VOLUMEN ALFONSO RICO RODRÍGUEZ

La recopilación de artículos presentados en este documento fue realizada en la Coordinación infraestructura del Instituto Mexicano del Transporte, por la Dra. Natalia Pérez García y el Dr. Paul Garnica Anguas.

Se agradece el apoyo de los siguientes estudiantes por su colaboración en la transcripción y reproducción de los dibujos: Monica Gudiño Espino de la Universidad Marista de Querétaro, Dulce Valeria Guzmán Ortiz de la Universidad de Guanajuato (Campus Celaya Salvatierra) y José Luis González Rufino de la Universidad Autónoma de Querétaro.

Índice

1. PRÓLOGO 1

2. INTRODUCCIÓN 3

3. DATOS BIOGRÁFICOS 5

4. ARTÍCULOS SOBRE TÓPICOS DE GEOTECNIA Y VÍAS TERRESTRES 11

Visión personal de algunas cosas 11

Investigations of instability and remedial Works on the Tijuana-Ensenada highway, Mexico 21

Cimentaciones sobre pilotes de fricción en suelos con hundimiento regional 41

Some mechanical correlations in the Valley of Mexico Clay 61

Analysis of slope stability 71

Efecto de los finos en el comportamiento mecánico de los triturados para base de pavimentos 87

Comportamiento mecánico de algunos suelos compactados por cuatro métodos, incluyendo vibración 99

Agrietamiento longitudinal en carreteras 109

Efecto de rotura de granos en capas de balasto bajo carga repetida 131

Consideraciones sobre deformaciones permanentes en materiales granulares 141

Algunas divergencias entre prácticas comunes de compactación y lo que la investigación parece indicar 149

Consideraciones sobre compactación de suelos en obras de infraestructura de transporte 167

La ingeniería geotécnica de las vías terrestres 173

El papel de la mecánica de suelos en el proyecto y construcción de 189

las obras viales

Algunos aspectos comparativos entre los pavimentos flexibles y rígidos 195

En torno al uso del concreto hidráulico en la red carretera nacional 205

Pavimentos flexibles, problemática, metodologías de diseño y tendencias. Visión Mexicana 211

Pavimentos 217

Reflexiones sobre el efecto del incremento de carga en el comportamiento de pavimentos flexibles 235

5. ARTÍCULOS SOBRE TRANSPORTE 243

La ingeniería y el sector transporte 243

Algunas consideraciones operativas y de proyecto geométrico para vehículos de carga 255

En busca de una estrategia de conservación de carreteras 265

Reflexiones sobre el transporte 277

Main freight land transport corridors in Mexico 299

A Mexican field study to obtain basic information on truck transport 321

Financial mechanism for road maintenance in developing nations 333

Some elements of an optimal highway network pavement maintenance strategy 345

6. ARTÍCULOS SOBRE CIENCIA Y TECNOLOGÍA 361

Ideas sobre la adecuación de tecnologías extranjeras en el campo de la ingeniería civil 361

La tecnología: ¿En provecho del desarrollo social de la humanidad o en contra de él? 383

Adopción e implementación de innovaciones tecnológicas 389

Ciencia, técnica e investigación 399

Políticas de investigación y fuentes de financiamiento en los centros de investigación del transporte 413

La investigación tecnológica, ¿Una actividad secundaria? 425

7. ARTÍCULOS SOBRE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE 433

Algunos aspectos de la enseñanza superior 433

Algunas reflexiones sobre la práctica y la enseñanza de la ingeniería civil 439

La enseñanza de la mecánica de suelos en la facultad de ingeniería de la Universidad Autónoma de México 449

Contribución parcial del Ing. Alfonso Rico Rodríguez. Congreso Internacional de Ingeniería. 1991 465

8. COMENTARIOS EN CONGRESOS 485

Conclusiones de la reunión y perspectivas al futuro (XIII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos) 485

Discusión a la conferencia principal. VIII Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones 505

9. ARTÍCULOS MISCELÁNEOS 507

Desarrollo histórico del concepto boina 507

Entrevista realizada por el Ing. Carlos Enrique Ruiz al Ing. Alfonso Rico Rodríguez durante el VIII Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones 511

10. REFERENCIAS 519

1 PRÓLOGO

La inmortalidad si existe; lo hace cuando se recuerda al que se ha ido. Lo hace cuando nos damos cuenta que la vida de aquel que ya no veo ha impregnado la mía. De algún modo sigue viviendo cuando sus palabras y pensamientos han conformado los nuestros.

Este volumen trata de ser un homenaje al Maestro Alfonso Rico Rodríguez, servir de herramienta para no olvidar su legado, como un ser humano excepcional y un profesionista admirable.

Que la lectura y reflexión de lo aquí contenido, sirva para recordar al maestro y al amigo.

Los autores

2 INTRODUCCIÓN

Muchos son, sin duda, los ámbitos y temas sobre los que al Maestro Alfonso Rico Rodríguez le gustaba reflexionar, opinar, debatir, analizar y en otros casos, escribir. De estos últimos este libro recoge las versiones integrales de la gran mayoría de los artículos que el Maestro publicó en revistas, congresos y eventos relacionados con su quehacer profesional, gremial y docente.

Los trabajos se han agrupado en varios ejes temáticos, que constituyen cada uno de los capítulos del volumen. El primero trata de tópicos relacionados con la geotecnia y las vías terrestres, en donde se encontrarán artículos sobre la problemática de la autopista Tijuana-Ensenada, cálculo de capacidad de carga en pilotes de fricción, propiedades de la arcilla de la ciudad de México, estabilidad de taludes, comportamiento de materiales granulares y suelos compactados, la compactación de suelos, el agrietamiento longitudinal y el problema de las deformaciones permanentes en carreteras. Enseguida aparece un capítulo sobre Transporte, en donde se encuentran trabajos sobre la seguridad y operación de carreteras, estrategias de conservación, financiamiento y transporte de carga. Un tercer tema abarca una serie de reflexiones sobre ciencia y tecnología, como lo es la adaptación de tecnologías extranjeras en el campo de la ingeniería civil, la tecnología, la innovación y la investigación. Hay también un tema sobre el proceso de enseñanza aprendizaje en ingeniería civil en general y en la mecánica de suelos en particular. Enseguida un par de artículos con comentarios y discusiones en los que el Maestro Rico participó en algunos congresos y finalmente aparecen dos artículos singulares: uno sobre un tema que le parecerá sorprendente al lector, y que le dejaremos descubrir por sí mismo, y el otro una entrevista que le realizó el Ing. Carlos Enrique Ruiz al Maestro Rico en el marco del VII Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones.

Los trabajos han sido capturados nuevamente, y las tablas y figuras rehechas prácticamente en su totalidad. De esta forma se asegura una homogeneidad en formato y calidad que facilitará su estudio, referencia y consulta por todos aquellos interesados en conocer a uno de los grandes ingenieros civiles que el País ha tenido, País al que el Maestro Rico dedicó su vida.

Justamente en el último artículo de este volumen dedicado a su Memoria, a la pregunta de ¿qué es ser ingeniero?, el Maestro responde: “Ser ingeniero es tener un modo de vida, que responde a lo mejor a una vocación, o a lo mejor a otras circunstancias…A mí me parece que la meta más alta a la que puede aspirar el ingeniero, concomitante con la ingeniería misma, es una meta sencilla de alcanzar; esa meta es el espíritu de servicio social a la comunidad”. Esa meta lo describe a la perfección. Llegó a México de otro País porque el destino así lo

quiso, y se quedó aquí hasta el final, amando a México con todo su ser. Sirva este libro a contribuir a que su memoria no se olvide.

Dr. Paul Garnica Anguas
Enero 2014

3 DATOS BIOGRÁFICOS

ALFONSO RICO RODRÍGUEZ

Alfonso Rico Rodríguez nació en el año de 1930 en el Ferrol, ciudad y municipio español situado al norte de la provincia de la Coruña, en Galicia (Figura 1). Sus padres fueron Juan Rico González y Doña Blanca Rodríguez de Rico.

Figura 1. Localización de El Ferrol[1]

Figura 2. Alfonso Rico Rodríguez en la Academia Militar de Toledo donde estudio su padre Juan Rico González

[1]https://maps.google.com.mx/maps?q=el+ferrol&ie=UTF-8&hq=&hnear=0xd2e7618d703d177:0x90284b0722a8b65b,Ferrol,+A+Coru%C3%B1a,+Espa%C3%B1a&gl=mx&ei=81PMUqz5BcXj2AWgqoGgAg&ved=0CJ8BELYD
[2] Ruiz, L. T. Semblanza leída en el Auditorio Fernando Díaz Ramirez. Semana de Ingeniería, 1999.
[3] Orozco, J.M. (1998). Prólogo y presentación del conferencista. Decimocuarta Conferencia Nabor Carrillo. Alfonso Rico Rodríguez. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.
[4] Comunicación personal con el Ing. Hermilo del Castillo
[5] Ruiz, L. T. (2002). Atenta Nota. Instituto Mexicano del Transporte. Noviembre 2002.

El Ing. Alfonso Rico llegó a México en el año de 1949 e ingresó en 1950 a la entonces Escuela Nacional de Ingenieros de la U.N.A.M situada en el Imponente Palacio de Minería de la Ciudad de México, para estudiar la carrera de Ingeniero Civil [2], obteniendo el título con la tesis "Influencia de la Pendiente en el Costo de operación de los vehículos", bajo la dirección del Ingeniero Fernando Espinosa Gutiérrez[3].

En 1958, obtuvo el grado de Maestro en Ingeniería, con especialidad en Mecánica de Suelos, en la recién fundada División de Estudios Superiores de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional Autónoma de México, siendo uno de los tres primeros graduados en dicha institución, con la tesis "Consideraciones Elastoplásticas en la Estabilidad de un Talud de Tierra", bajo la dirección del Dr. Eulalio Juárez Badillo[3](Figura 3), con el cual escribió los libros Mecánica de Suelos Tomo I (Fundamentos de la mecánica de suelos), II (Teoría y Aplicaciones de la Mecánica de Suelos) y III (Flujo de agua en suelos).

Figura 3. Dr. Paul Garnica Anguas, Ing. Alfonso Rico Rodríguez, Dr. Eulalio Juárez Badillo, Dr. Eduardo Rojas y M.I. José Alfredo Zepeda Garrido (de izquierda a derecha)

Durante el periodo en el cual el Ing. Alfonso Rico, el Ing. Manuel Jara López y el Ing. Hermilo del Castillo (que fueron comisionados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes) llevaron a cabo estudios de Postgrado en la Universidad Autónoma de México, forjan una profunda amistad (Figura 4). El Ing. Alfonso Rico y el Ing. Hermilo del Castillo además tenían una cosa en común: su afición a la música clásica[4]. A partir de esta amistad y percibiendo las necesidades que se tenían en México por tener un libro de referencia sobre vías terrestres, deciden escribir los libros "La ingeniería de Suelos en las Vías terrestres Tomo I y Tomo II", los cuales les llevaron 2 y tres años para escribirlos, respectivamente[4].

Figura 4. Familia del Ing. Alfonso Rico y del Ing. Hermilo del Castillo en el zoológico de Chapultepec (1972)

Estos últimos libros fueron traducidos al inglés por George F. Sowers del Georgia Institute of Technology, el cual es el tercer autor de la obra en inglés.

El Ing. Rico inició una fructifica y brillante carrera en la administración pública. En 1953, un año antes de completar sus estudios de licenciatura, ingresó a la entonces Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas (SCOP), la que posteriormente se transformó sucesivamente en Secretaría de Obras Públicas (SOP), Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, para llegar a la actual Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). En ellas ocupó los cargos de Jefe de la Sección de Estudios, Jefe del Departamento de Geotecnia e Hidrología y Director General de Servicios Técnicos[3].

Desde prácticamente su ingreso a la entonces Secretaría de Obras Públicas, estaba convencido de la necesidad de que el Sector Transporte Nacional contara con un Organismo de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Lo anterior lo constatan varias ponencias que sobre el tema escribió, así como su incansable labor para tecnificar a la Secretaría, desde su trinchera como Jefe del Departamento de Geotecnia.

Como Director General de Servicios Técnicos, a partir de diciembre de 1982, fue ya un incansable promotor con el Secretario en turno, y con los 3 Subsecretarios (de Infraestructura, de Operación y de Comunicaciones y Desarrollo Tecnológico), de la creación del Organismo. Fue comisionado a reuniones con el último de los Subsecretarios mencionados para conformar un Plan de creación de la institución de investigación y desarrollo tecnológico del Sector Transporte. Lo anterior fructificó con un Acuerdo Presidencial del 15 de abril de 1987, en el que se crea el Instituto Mexicano del Transporte[5].

El entonces Secretario de Comunicaciones y Transportes, Ing. Daniel Díaz Díaz, lo comisionó inmediatamente después a buscar sede para el Instituto[5]. Después de visitar algunos estados, eligió localizarlo en Sanfandila, municipio de Pedro Escobedo, Querétaro. Es así como en Septiembre de 1987 fue nombrado Coordinador General del IMT y conformó un pequeño grupo de trabajo que se instaló inicialmente en una oficina provisional en el centro de la Ciudad de Querétaro, para iniciar los trabajos de investigación y para realizar la primera etapa constructiva de sus instalaciones definitivas, mismas que se ocuparon a partir de septiembre de 1989[4] (Figura 5 y 6).

Figura 5. Instalaciones del Instituto Mexicano del Transporte
aún en construcción (1991)

Figura 6. Visita al Instituto Mexicano del Transporte del Secretario de Comunicaciones y Transportes Andrés Caso Lombardo en 1991

Como anécdota, el Ing. Tristán Ruiz Lang comenta que cuando lo invitó a trabajar en el grupo iniciador del recién creado IMT, éste tuvo otra oferta interesante para trabajar en el Sistema Portuario Tampico-Altamira a lo cual el Ing. Rico le dijo:

“No creo que sea difícil decidir entre coordinar estibadores y coordinar investigadores”.

Le sobreviven al Ing. Alfonso Rico Rodríguez su esposa Carmen Álvarez (con la cual contrajo nupcias en 1955) (Figura 7) y sus hijos Alfonso Rico Álvarez y Carmen Rico Álvarez (Figura 8).

Figura 7. Boda de Alfonso Rico y Carmen Álvarez (1955)

Figura 8. Familia del Ing. Alfonso Rico Rodríguez (1970)

4 ARTÍCULOS SOBRE TÓPICOS DE GEOTECNIA Y VÍAS TERRESTRES

VISIÓN PERSONAL DE ALGUNAS COSAS**

Alfonso Rico Rodríguez

Mi trabajo no puede ser sino modesto. No he querido tratar un punto específico de la disciplina. Preferí un enfoque general, que exprese algunos puntos de vista sobre el actual desarrollo de la disciplina a que este libro está dedicado, pues dedicarlo a Jiménez Salas es dedicarlo a la Geotecnia.

No sé si todo lo que digo merecerá aprobación mayoritaria, pero no puedo sino expresar algunas ideas a las que he llegado después de batallar con los suelos y las rocas durante muchos años; debo decir que generalmente en problemas dedicados a carreteras. Me preocupa el desenvolvimiento actual de las ciencias geotécnicas, porque veo una tendencia creciente hacia la automatización y al algoritmo numérico en una actividad que pienso debe estar fundamental y continuamente dirigida por lo que los suelos enseñen y para recibir sus mensajes, hay que ir a ellos.

De todas las ramas de la ingeniería, no es arriesgado decir que por lo menos desde varios puntos de vista, la Mecánica de Suelos es una de las más antiguas. El día que se puso derecha la primera laja de piedra para bailar alrededor de ella, nació el primer problema de cimentación. Se ve de inmediato que la antigüedad de la Mecánica de Suelos no es única; en el ejemplo anterior está claramente involucrada la Mecánica de Rocas. Que los problemas de cimentación, en forma especial aprendieron a ser dominados en muchos casos con éxito espectacular, lo testifican tantas y tantas construcciones realizadas en los últimos dos o tres milenios en forma que enorgullecería a cualquier ingeniero de suelos actual.

Esos éxitos en evolución mucho más rápida de lo que se hubiera pensado fueron pasando a ser obra, ya no de gente con sentido de la observación anormal, sino que se hicieron patrimonio bastante general de casi todas las culturas. De hecho el manejo de los suelos se extendió rápidamente en muchos otros aspectos. Grandes obras de control de ríos, uso de la compactación, desarrollo de vías de comunicación, la minería y otros, son ejemplos de una rápida diseminación de lo que el hombre fue aprendiendo sobre los suelos, como usarlos y como prevenir que se caigan o que los hagan caer.

Todo ese conocimiento, almacenado con el tiempo, fue producto del error y el éxito; de fijarse más, quizá, en lo que había salido mal que en lo que había salido

**Rico, R.A. (2000). Visión personal de algunas cosas. Libro homenaje a José Antonio Jiménez Salas. Geotecnia en el año 2000.

bien, de atesorar reglas, de escuchar a los maestros y de pasar sus enseñanzas a discípulos.

Lo que hubo debajo de ese desarrollo de técnico fue siempre la observación de la naturaleza, el anotar con cuidado lo que había llevado al éxito y el anotar, aún con más cuidado, lo que había llevado al fracaso.

Con siglos de tal aprendizaje, en la época moderna (que es la prehistoria de la mecánica de suelos, tal como hoy se entiende), el hombre llegó a un manejo de los materiales térreos, que en cierto sentido parece no haber evolucionado más rápidamente en los años recientes que antaño. Muchas de las obras más famosas de la ingeniería mundial de presas, puentes edificaciones, canales, túneles, minería, etc. datan de hace un siglo o dos, para no hablar de otras muchas que datan de mucho más tiempo.

Sin embargo, en la primera cuarta parte de este siglo XX ocurrió un hecho decisivo en la marcha relativa serena que la mecánica de suelos había sostenido durante los milenios anteriores: La Mecánica de Suelos conoció a Terzaghi. Como todos los matrimonios de éxito decisivo, éste fue en gran medida obra de la casualidad; parece que ni siquiera fue amor a primera vista, pero eso sí, una vez establecido el matrimonio fue hasta la muerte.

De acuerdo con cánones pacatos de la sociedad, Terzaghi no fue todo lo fiel que las señoras de edad quisieran: sin dejar de amar siempre a su esposa, tuvo devaneos con la Geología Aplicada y con la Mecánica de Rocas. Felices devaneos.

Parece ser que el papel de Terzaghi con respeto a la Mecánica de Suelos fue, en primer lugar, introducirla de lleno entre las disciplinas fundamentales de la Ingeniería Civil, sacándola un poco de un papel anterior que no dejaba tener sesgos de un oficio venido a más.

Urge ya decir que, como siempre sucede, el papel de Terzaghi no fue la obra de un hombre ni de un juicio, sino la de una circunstancia que movilizó a un grupo selecto que, estoy seguro de ello, aunque acepta a Terzaghi como su líder de espíritu, podrá reclamar para sí méritos protagónicos. Este libro está dedicado a uno de esos hombres que participaron en esa nueva concepción y visión de la ingeniería y de la ingeniería de suelos. Difícil será que vuelva a reunirse un grupo tan dotado de talento, tan innovador y tan repartido por la geografía de todo el orbe como el de aquellos que crearon la Mecánica de Suelos que hoy conocemos.

El problema que Terzaghi y sus compañeros encararon no fue fácil, pues los suelos, reconocidos por ellos como intrincadas mezclas de sólidos, líquidos y gases mostraron comportamientos, y al verlos a través de los ojos de la ciencia, que no podían ser explicados por lo que en el primer cuarto de este siglo se sabía.

Es fácil de comprender esto al pensar que tres cuartos de siglo más tarde siguen sin saberse en muy amplia medida.

El trabajo de Terzaghi y los precursores ocurrió en el pleno desarrollo de la linealidad en las ciencias de los materiales. La teoría de la Elasticidad y la Teoría de la Plasticidad eran invocadas como las llaves del reino de toda la tecnología. Consciente o inconscientemente.

Terzaghi y aquellos pensadores pudieron aceptar la idea de un mundo lineal, de una Mecánica de Suelos lineal con suelos obedientes a la Ley de Hooke y a teorías matemáticas que daban para escribir obras hasta en 33 volúmenes (Müller-Breslau). Pero Terzaghi sintió que el mundo no era lineal y que la mecánica de suelos no podría ser lineal; por ello buscó nuevos derroteros para resolver sus problemas. La Mecánica de Fluidos ofreció de inmediato un campo por explorar; algunos descubrimientos recientes de la física de contactos sólidos como la fricción, por citar alguno, también. Todos ellos fueron invocados para entender materiales tan complejos y heterogéneos como parecían ser los suelos.

Desde un principio también aquellos pioneros entendieron que no bastaba pensar y resolver integrales para cimentar rascacielos: había que ir al suelo y untarse de él. Así nació el Laboratorio de Mecánica de Suelos y ahí brilló muy especialmente Casagrande. El Laboratorio de Mecánica de Suelos tiene una antigua rencilla con el Laboratorio de Hidráulica para definir cuál es el primero que floreció en la historia moderna, pero evidentemente esas carreras no interesan. Lo importante es que nació el Laboratorio de Mecánica de Suelos, que hizo que los ingenieros se mancharan de tierra y abrieran nuevos horizontes.

Al rato, Terzaghi y sus amigos vieron que entre el laboratorio y lo que pasaba afuera había un tremendo efecto de escala y pensaron que sin entenderlo poco podría entenderse. Nació así la instrumentación de campo, con la cual se pretende entrar en las intimidades de grandes formaciones reales. A todas estas ya se había planteado un gran problema de exploración y muestreo, que fue resolviéndose año con año de manera más adecuada.

Así, la Mecánica de Suelos llegó a ser probablemente el área de la ingeniería civil con mayor contacto laboral con la naturaleza. El resultado fue espectacular.

Contaba Nabor Carrillo que en la actual legislación de los Estados Unidos hay una ley no derogada, de los primeros años de este siglo que prohíbe construir bordos de retención de agua de más de 20 m de altura por ser “intrínsecamente inestables”. Sin comentarios. No hace falta decir más para ver los éxitos realmente espectaculares que logró la Mecánica de Suelos al cimentar edificios de 40 pisos en el centro de la ciudad de México al construir presas de tierra de 300 ó 400 m de altura en muchas partes y al llevar a cabo otras muchas obras mencionables que todo el mundo conoce.

Es cierto que el avance tecnológico, lo que se aprendió moviendo suelos, probando suelos y, en general tratando a los suelos, no siempre quedó respaldado por un conocimiento científico que avale rigurosamente las exitosas manipulaciones que todos conocemos. Esa presa de 300 o 400 m de altura tiene unos taludes que no sabemos cómo funcionan, por citar un ejemplo.

En las manipulaciones de la Mecánica de Suelos se usan factores de seguridad, sean definidos toscamente como hacemos muchos o con sofisticados análisis de confiabilidad, que aún son muy altos pero que resultan enormemente bajos cuando se les compara con los que se utilizan en los cálculos que hacen uso de teorías elásticas o plásticas. Desde luego cualquier sastre que trabajara con los factores de seguridad de los más afamados ingenieros de suelos, quebraría en dos semanas, pero dejemos esa digresión porque los sastres no son hombres de ciencia.

En el primer tercio de este siglo que agoniza, los esfuerzos del grupo estelar al que se hizo referencia habían arrojado luces muy claras y útiles sobre algunos aspectos vitales en el comportamiento de los suelos. Si el verbo calcular se toma con holgura en el sentido de permitir llegar a resultados suficientemente bien orientados como para poder trabajar en forma razonable y segura, los ingenieros de suelos podían predecir asentamientos en suelos blandos y para ello contaban con un algoritmo interesante; podían estimar la resistencia de los suelos ante varias condiciones de trabajo frecuentes e importantes, y lo más interesante, habían aprendido que la resistencia no era constante del material, sino una respuesta del mismo íntimamente ligada a la excitación que se le produjera (mensaje que debió de ser cuidadosamente leído por ingenieros dedicados a otros materiales que pensaban en una “resistencia del material”, independiente de las condiciones de trabajo, craso error del que todavía parecen quedar serias reminiscencias en aulas y prácticas); el efecto del flujo de agua en el interior de la masa de suelo se entendía razonablemente bien en formaciones homogéneas, por lo menos lo suficientemente para incrementar la estabilidad de presas de tierra, hasta el extremo de poderse decir que se había abierto un nuevo capítulo de la ingeniería. Algunas otras cosas de la ingeniería se fueron aprendiendo también en referencia siempre a cuestiones que no sólo pudieron manejarse en las obras sino que fueron entendidas, sin duda no en todos sus detalles con una compresión que ya de algún modo se acercaba a lo científico.

En otros casos, el manejo de los suelos, su uso cercano fue dando algunos criterios prácticos, no fundados en teorías pero si en la sucesión de éxitos y fracasos que se tuvieron como resultado del uso frecuente de ciertas técnicas. Casos en los que no se llegó a una comprensión teórica del problema pero sí a métodos para resolverlos con suficiente seguridad haciendo uso de la experiencia anterior bien diversificada en relación al tipo de obra y al tipo de suelos presentes. Ejemplos típicos de estos casos se tienen en muchas técnicas de cimentación y, muy típicamente, en los análisis de estabilidad de taludes, que permiten manejar

enormes masas de suelos en obras fundamentales con amplia carencia del conocimiento íntimo de los fenómenos involucrados en su estabilidad (aceptando el concepto de esfuerzo, debe recordarse que éstos no se conocen por medio de ninguna teoría en el interior de la masa de un talud, ni aun cuando éste fuera de perfecta homogeneidad).

Lo que pudiera ser más importante es que la Mecánica de Suelos, había emitido un juicio ampliamente aceptado de que el comportamiento de las masas térreas, aún haciendo concesiones hacia las de más homogeneidad, no podía ser descrito por teorías de comportamiento lineal, del tipo de las teorías generales de la Elasticidad o de la Plasticidad.

El caso del empuje de tierras sobre elementos de contención ilustra una situación un tanto intermedia en la historia de la Mecánica de Suelos. Aquí las épocas anteriores al siglo XX habían desarrollado teorías con aparente entidad física. Sin embargo, cuando llegó la época de las mediciones en modelo o in situ y cuando esas teorías fueron analizadas más a fondo, fue bastante evidente que, valga la redundancia carecían de real consistencia teórica. Especialmente cuando se desarrollaron elementos de retención de carácter francamente flexible.

Este es un caso en que se mezclan por parte de los especialistas, los cálculos con la enseñanza empírica de experiencias pasadas, nacida de los resultados de analizar obras anteriores instrumentadas.

En las épocas recientes han aparecido sistemas de análisis del interior de masas de suelos de gran minuciosidad y potencialidad. Son una consecuencia de una visión matemática de la naturaleza de los suelos y de la posibilidad de utilizar los recursos del cómputo moderno. Las bases teóricas de esos modelos descansan en la Teoría de la Elasticidad o en la Teoría de la Plasticidad, que a veces se mezclan en diferentes dosis. Este hecho tiñe de fuertes sospechas la utilización de los mismos y el realismo de sus resultados. Sin embargo, sería muy arriesgado y probablemente muy erróneo condenarlos apriorísticamente y negarles toda capacidad de ayudar al ingeniero en la resolución de problemas complejos.

Una característica muy positiva de estos recursos actuales es la enorme capacidad de repetitividad de análisis complejos que permite la realización reiterada de esos análisis con muy diversas combinaciones de datos. Aplicada a un problema real, esta circunstancia puede llegar a dar una trascendental capacidad al ingeniero para justipreciar el peso relativo de diferentes situaciones y de sus combinaciones, lo cual puede resultar de un valor decisivo.

Pero la ventaja anterior tiene, a no dudarlo, una cortapisa; exige un muy amplio conocimiento de datos reales y aún de sus variaciones y tendencias de manera que los diferentes balances de la situación que el modelo pueda ofrecer cubran las situaciones relevantes.

De esta manera, tras un trabajo inteligente con el modelo podrá llegarse a tener una sensación muy útil de las situaciones más desfavorables y de los parámetros que hacen llegar a ellas. El conocimiento del problema y sus posibilidades de variación que el ingeniero adquiere con el uso del modelo, combinado con las posibilidades reales de variación de esos parámetros proveniente del conocimiento de la situación real y de mediciones de campo, tienen que ayudar decisivamente a detectar las condiciones críticas a la vez que han de proporcionar una útil orientación de cómo sopesarlas y tratarlas en la solución.

Sin embargo, estas nuevas y poderosas técnicas no están exentas de graves peligros que con alta probabilidad pueden convertirse en gravísimos, sobre todo si el que usa el modelo cree firmemente en él.

En primer lugar, no puede olvidarse que la base científica de los modelos que el autor de estas líneas conoce con sus viejas y muy sospechosas amigas, la Elasticidad y la Plasticidad o sea ese clásico mundo lineal al que él achaca casi todos los males de la ingeniería actual. Quiere decirse con eso, que lo único que hay según su criterio, peor que cerrarse a todo tipo de utilización de tales herramientas es creer ciegamente en ellas.

Una condición absolutamente imprescindible para la inteligente utilización de tan procelosas herramientas parece ser un conocimiento tan perfecto como sea posible de las condiciones geotécnicas del problema que se analiza. La exploración de los suelos, amplia y cuidadosa, el conocimiento de su comportamiento, en movimientos, cambios estacionales, variaciones de las solicitaciones, el efecto de flujo de agua o endurecimiento por sequedad, la justipreciación de los parámetros de resistencia, junto con una justificación clara de la naturaleza de esa resistencia desde efectos rápidos hasta valores residuales, según sea la naturaleza del problema y una visión realista de los mecanismos posibles o previsibles de fallas, movimientos o cambios de cualquier naturaleza son necesarios como mínimo, con la misma intensidad que si ningún modelo fuera a ser usado y el ingeniero fuera a contar únicamente con el conocimiento y experiencia que tuviera para resolver el problema.

Estas nuevas herramientas, empaquetadas en un software comercial, tienen el gravísimo peligro de ser tomadas como “el medio” de solución de un problema geotécnico. Hoy se tiene la sensación, al leer la literatura técnica alusiva de que en muchas ocasiones se piensa que una visión general de un problema que permita sentir afinidad con algún software existente, basta para usarlo y realizar lo que él indique. Que la identificación de un software que trate problemas similares a los que sospecha enfrentar, es la garantía de una solución; en tal caso basta hacer un sondeo o dos para identificar rápidamente en laboratorio los parámetros que el software exige; el resto, es computo. Si así se consideran las cosas, el papel de estos métodos debe considerarse absolutamente inapropiado.

Las implicaciones del criterio aquí expuesto, si se considerara razonable, llegarían a las aulas universitarias, exigiendo a los profesores un mensaje de que en la Geotecnia actual nada sustituye a la exploración de campo, la concepción de la dinámica del problema y el conocimiento y experiencia del ingeniero.

La investigación actual en la Mecánica de Suelos no está exenta de algunas directrices que merecen comentario. Cuando se ve el conjunto de trabajos presentados a congresos importantes o, inclusive cuando se leen libros recientes, se percibe un gran volumen de trabajo destinado a difundir los llamados “estudios de caso”, en los que se presenta alguna situación generalmente conflictiva, lo que se hizo para ver qué estaba pasando o qué amenazaba pasar y se proponen o describen medidas correctivas o reconstructivas, que el responsable del trabajo considera oportunas. No todos los casos presentados se describen con base en la exploración minuciosa y las medidas de campo que la actual tecnología permite realizar; son frecuentes las presentaciones en que con base en un conocimiento relativamente somero se obtienen los datos necesarios para la aplicación del cada vez más frecuente software salvador; rara vez se ve seguimiento de las medidas tomadas para resolver un caso específico, para informar a los colegas de la medida del éxito alcanzado en los tiempos subsecuentes a la realización de las medidas correctivas o reconstructivas.

En la mayor parte de las situaciones descritas en los trabajos no se resalta, como parece hacerlo la naturaleza, la enorme e intrincada relación entre las masas de suelo propiamente dichas y las masas de roca con las que suelen interactuar. Aquí aparece un punto que debe preocupar al investigador y al profesor en el sentido de resaltar la urgencia de eliminar las fronteras actuales entre la Geología Aplicada, la Mecánica de Rocas y la Mecánica de Suelos. Son evidentes para todos, los loables esfuerzos que se han hecho en los últimos varios años para unificar convenientemente estas tres disciplinas que desafortunadamente nacieron y se manejaron durante un tiempo excesivo como entidades relativamente separadas. Esta separación aún es perceptible en muchos programas de estudio. Afortunadamente, también son perceptibles fuertes movimientos hacia la unificación de los materiales de la corteza terrestre con que el ingeniero batalla; la misma palabra Geotecnia es testimonio de estas luchas benéficas; sin embargo, parece todavía preciso insistir conceptualmente y actuar en la unificación señalada en trabajos de investigación y en la formación de nuevos ingenieros.

En su origen los grandes temas de investigación en la Mecánica de Suelos surgieron de problemas locales e indujeron tradiciones que aún hoy parece difícil eliminar de la mente de todos nosotros. Los terrenos blandos en amplias formaciones son, para tomar un ejemplo, frecuentes en grandes ciudades porque ellas nacieron o cerca del mar o a la vera de los ríos importante (una excepción es México, que se construyó en el centro de un lago y la razón para ello, según la tradición es que allí se vio un águila tratando de comerse a una serpiente; si esto es cierto, se ve claramente que este evento no constituye un criterio geotécnico

adecuado para crear una urbe que llegó al gigantismo). La consecuencia es doble. En primer, lugar este hecho produjo un loable interés por los problemas de cimentaciones en formaciones blandas homogéneas, pero con una polaridad que durante bastante tiempo hizo que los ingenieros descuidaran relativamente otros problemas no menos importantes, la segunda consecuencia fue un interés tremendamente polarizado hacia los suelos transportados, dispuestos en amplios estratos de suelos finos, blandos y básicamente saturados.

Muchas de las técnicas básicas más elementales pero a veces más útiles de la Mecánica de Suelos actual están teñidas por estos hechos. El descuido de la mecánica de los suelos no saturados hasta épocas relativamente recientes ha sido notorio; el descuido de crear una Mecánica de Suelos residuales también. Aquí está abierto un enorme horizonte de investigación que cubre cosas importantes como la que más. Las extensiones de suelos residuales en el mundo son enormes. Al principio se creyó que el asunto no era para tanto pero hoy se ve que afecta a la totalidad del planeta en gran escala y que las primeras quejas de los que hacían ver que tecnologías tan vitales como el uso de la carta de plasticidad no funcionaban adecuadamente en su medio, no son asuntos de minorías; las diferencias de comportamiento entre los suelos residuales y los suelos transportados resultan en un campo de investigación que urge desarrollar, independientemente de que hoy se expande en mayor medida que en el pasado.

Otro tanto podía decirse de la Mecánica de los Suelos no saturados. De nuevo las ciudades paradigmáticas presentaron sus mayores problemas en suelos saturados o casi y otra vez descubrimos que, además de en la compactación, ese tipo de suelos están presentes en otros problemas continuamente.

Es probable que en las líneas anteriores se hayan mencionado los polos de investigación básicos para el futuro contemplable, pero no serán los únicos. Por ejemplo, resultará difícil entender la mecánica de un talud o de una gran ladera si no se encuentra el modo de entrar en ellos y descubrir sistemáticamente las formaciones geológicas que los han creado.

No debe olvidarse que cuestiones tan trilladas como el comportamiento de un pilote de fricción tiene muchos aspectos de fundamental importancia, en pleno debate. En rigor, esto sucede en casi todos los aspectos de la Mecánica de Suelos por doquier.

Todo un capítulo vital para la comprensión de los suelos y su comportamiento se abre cuando se trata de penetrar en sus estructuras íntimas en su físico-química, en sus relaciones con el agua y sus sustancias en solución. De hecho seguramente no se logre comprender la intimidad de los suelos en tanto no se penetre seriamente en ese mundo.

De las líneas anteriores parece que podría deducirse cuál es el pensamiento del

que escribe esta nota en torno al cual debe ser la orientación de la enseñanza en la Mecánica de Suelos. Quizá podría resumir su criterio con una simple frase: olvidar la linealidad que la naturaleza parece no conocer, volver al suelo, desde lo macro hasta lo micro y prepararse para un desarrollo lento y difícil pero que será sin duda sostenido; si así se hace, si se vuelve al suelo, al laboratorio, a la medición, al monitoreo de lo que funciona y de lo que no, es de pensarse que habrá un desarrollo científico adecuado de esta misteriosa tecnología

INVESTIGATIONS OF INSTABILITY AND REMEDIAL WORKS ON THE TIJUANA-ENSENADA HIGHWAY, MEXICO**

A. RICO, G. SPRINGALL and A. MENDOZA

This paper presents two important instability cases in a Mexican toll road. Such instability cases involve large earth masses and special failure mechanisms due to cumulative deformation associated with residual shear strength. The nature of the problems demanded, as a prerequisite, the determination of the kinematic failure mechanism; accordingly it was necessary to implement a large field instrumentation programme. A series of laboratory tests was carried out in order to define the actual residual shear strength and to be able to compare it with that obtained from analysis considering a factor of safety equal to one. Stabilizing programmes with large factors of safety would lead to large expenses, so the factor of safety in these cases was limited to appropriate values. Underdrainage plays an important role in the correction of these failures. Finally, data taken over a period of five years from the observed behaviour of the correction works adopted are presented.

Dans cet article nous présentons deux problèmes d'instabilité qui se sont présentés sur une importante autoroute mexicaine. De tels problèmes d'instabilité intéressent des grandes masses de terre et entraînent des mécanismes particuliers de rupture dûs à des déplacements cumulés mettant en jeu la résistance résiduelle. La nature du problème établit comme condition préliminaire indispensable la connaissance du mécanisme cinématique des glissements, ce qui a rendu nécessaire de mettre au point un important programme d'instrumentation in situ. Nous avons effectué une série d'essais de laboratoire afin de pouvoir déterminer la résistance résiduelle actuelle en faisant des comparaisons avec la résistance estimée, obtenue par le calcul en supposant le coefficient de sécurité égal à 1. Essayer d'obtenir des solutions avec des coefficients de sécurité importants aboutirait à des coûts trop élevés, raison pour laquelle le coefficient de sécurité a été limité pour ces problèmes. Le drainage profond joue un rôle important dans le traitement de ces glissements. Finalement, nous présentons les données obtenues pendant l'observation des travaux de confortement adoptés, réalisés depuis cinq ans.

GENERAL DESCRIPTION

Introduction

The Tijuana-Ensenada highway runs 110 km along the north-western coast of Lower California, in Mexico (Fig. 1).

**Rico, R.A., Springall, G., and Mendoza, A. (1976). Investigations of instability and remedial works on the Tijuana-Ensenada highway, Mexico. Geotechnique 26, No. 4, 577-590.

Fig. 1. Tijuana-Ensenada highway

Local instabilities, previously detected during the planning stage (Puig, 1963), became evident while the highway was still under construction over a section between 12 km and 22 km from Ensenada, the point of origin. However, the decision was taken to attempt to overcome the problem of instability, rather than to divert the route because of this route's attractiveness from the point of view of the tourist industry.

Only two of the nine potential slides within the section of the highway will be discussed in detail, to illustrate the nature of the problem.

Geology and meteorology

The coastal zone basically comprises four geological formations (Fig. 2) (Rico et al., 1969). Andesite lava flows of variable thickness are found at the highest elevations. This formation is underlain by a sedimentary formation of marine origin consisting of clay shales, sandstones and conglomerates. These rocks form buttresses that extend into the sea. The third formation is composed of sandy-silty soils which cover a great part of the previous two. The fourth comprises talus debris deposited superficially between the sedimentary buttresses. The unstable zones are located precisely within the areas of talus debris.

Fig. 2. Map of unstable zones

The chart of annual distribution of rainfall (Fig. 3) is based on data from the meteorological station in Ensenada. Rainfall running off towards the sea causes the saturation of the clay shales and, occasionally, the saturation of the contact between the latter and the talus debris.

Fig. 3. Rainfall graph, based on data from meteorological station, Ensenada, Baja California Norte

The groundwater level is subject to seasonal variations, clearly associated with an internal flow regimen derived from a wide area; although local seepage within old borrow zones may be of some importance. Fig. 4 provides an example of the variation in the groundwater level against time for a specific zone.

Fig. 4. Water table variation, km 15+500

Failure mechanism

During the construction of the highway, cuts were made through the clay shales and sandstones. High embankments, sometimes of more than 20 m, were built over deposits of talus debris. The cuts have shown normal behaviour, but cracking, indicative of a movement towards the sea, became apparent in the embankments right from the beginning. Although instability was certainly characteristic of many of the zones in question before the embankments were built, it is very likely that their weight contributed to the deterioration of a rather precarious stability in some cases.

The mechanism that generates the instabilities has been visualized as follows (Rico and del Castillo, 1974): the clay shale buttresses extend from the igneous formation of the meseta towards the sea rather like the fingers of an outstretched hand. The spaces between the buttresses have become filled with debris deposits which, since their emplacement was due to effect of gravity alone, acquired a final configuration necessarily close to the critical angle of equilibrium. Inevitably, many slides occurred in these deposits, some of them totally collapsed, and the results are still visible in the typical amphitheatre forms which reveal the heads of the ancient failures, as well as in the promontories extending into the sea. In other cases, involving enormous earth masses, significant downhill deformations have occurred in the mass. Since a slide surface associated with soil rupture might be generated as a result of the extent of the deformations, no catastrophic slide actually occurs owing to restrictions imposed by the heterogeneity, both of the slide surface formed and of the materials involved, as well as by the irregular shapes of the most resistant strata of the supporting formations.

Such a mechanism is the origin of very slow downhill movements of great masses of talus deposits over well-defined slide surfaces. In this paper such surfaces are referred to as ancient slide surfaces. Since highways are quite commonly built along slopes within which similar phenomena may be generated, it may be assumed that such ancient slide surfaces are more relevant to highway stability problems than hitherto had been believed; indeed, the authors strongly suspect that a significant percentage of highway stability problems are the consequences of the reactivation of ancient slide surfaces.

It is logical to suppose that should a more resistant formation underlie talus debris, the contact between them will constitute a likely place for slide surfaces to be generated due to cumulative deformations. It is equally logical to believe that if pore-water pressure is generated in the slide surface, then the rate of movement is likely to be increased. It is not an easy task to attempt the solution of problems posed by such immense movements (in some cases the slide masses are 300 m long, 150 m wide and 30 m deep) and an indispensable requisite is the determination of the kinematic mechanism.

FIELD STUDIES AND STABILITY ANALYSIS

Field studies

Field studies were planned to obtain the following data:

(a) topography of the masses in movement;
(b) direction and magnitude of surface displacements;
(c) geological characteristics and mechanical properties of the soil mass;
(d) geometry and depth of the slide surfaces;
(e) geohydrological conditions of the soil mass.

The topographical surveys were carried out using photogrammetrical methods in some cases and conventional procedures in others. Surface displacements were measured, both vertically and horizontally, by reference to points along fixed lines, the ends of which extended to stable ground. Vertical displacements were determined by precision leveling at each point, with references at the same benchmarks. Borings were made in each unstable area. They were drilled along lines parallel to the direction of the movement, with one line always along the symmetrical axis of the moving mass. The number of borings at each slide varied according to the topography and size of each moving mass and upon data obtained from the first borings drilled. The minimum number of borings at a slide was four, and the maximum seventeen. Deformometers of the slope indicator type (Wilson and Hancock, 1959) were installed in the boreholes to determine the geometry and depth of the slide surfaces. The installed length was always greater than the depth at which sound sedimentary rock had been found, and varied from 8 to 65 m. The total number of instruments installed was 82. In many cases these instruments were installed in the borings and they were all distributed along axes roughly parallel to the principal direction of the movements. Profiles of typical subsurface formations, revealing the contacts at which the slide surfaces were generated in two of the failure zones are drawn in Fig. 5. Those are the cases that will be used as illustration in this paper.

Fig. 5. Geometry of sliding surfaces

Relationship between regional rainfall regimen and the slides

Figure 6 provides information of great interest regarding the relationship between observed movements and regional rainfall. Although only three failure zones are

covered and only horizontal movements over a period of four years are referred to, the data consistently exemplify a general phenomenon invariably recognized with precisely the same characteristics.

At the beginning of each rainy season, well defined in this region, there occurs a lapse of one and a half to two months before movements begin to accelerate drastically. The movements continue until the same length of time after the beginning of the dry season, when they diminish in an equally notable fashion. This phenomenon was interpreted as reflecting a marked influence of the internal flow of water from more elevated areas upon the movements observed. The flow clearly increased water pressures in the zones adjacent to the slide surfaces, diminishing shear strength and favoring movements.

Fig 6. Relation between rainfall and magnitude of movements

Results of measurement

Figure 7 provides an example of how instruments to measure subsurface horizontal displacements were located, while Figs 8 and 9 are indicative of the type of information obtained. This information, together with that regarding surface movements, made it possible to establish the nature of the kinematic mechanism in a satisfactory manner. Table 1 summarizes some of the data of the slide surfaces, referring to the time when their geometries were determined after field studies had

been carried out. Mean velocities of movement during the dry and rainy seasons of the two slides taken as examples in this paper are given in Table 2.

Fig. 7. Plan view slides at km 15+050, km 15+200 and km 15+500

Fig. 8. Inclinometer IC-4, km 15+500

Fig 9. Inclinometer IC-6, km 15+500

Table 1. Data of slide surfaces

km	Section	ϕ_r (calculated) FS = 1	ϕ_r (laboratory)	Dimensions, m			Slide surface materials
				Highway direction length	Width	Thickness	
12 + 360		11.6° - 13.3°	10° - 12.4	300	120	20	Sandstone interstratified by shales
15 + 050		13.2°		150	600	19	Contact between talus and weathered shale
15 + 200		13.2°		150	700	11	Contact between talus and weathered shale
15 + 500		7.1° - 13.2°	6.5°-8°	200	450	37	Contact between talus and weathered shale
16 + 000		15.9°		60	150	12	Contact between talus and weathered shale
16 + 800		15.2°		60	350	20	Contact between talus and weathered shale
19 + 300				250	230	30	Contact between talus and weathered shale
20 + 415		20.6°		230	250	20	Conglomerate

Table 2.

Slide km	Velocity of horizontal displacement, cm/month		Velocity of vertical displacement, cm month	
	Dry season	Rainy season	Dry season	Rainy season
12+360	2-0	4-0	0.8	2.5
15+500	3-0	4-0	1.3	1.8

Analysis of stability and shear strength

The strength of the soils along the slide surfaces was measured in terms of the residual strength (Skempton, 1964), according to the equation

$$S_r = \bar{\sigma} \tan \phi_r \quad \text{.....} 1$$

Assuming a factor of safety of one for the slides, it was possible to estimate the values of ϕ_r for more than one section of the slides considered. The values in Table 3 were compared with laboratory tests carried out on representative specimens of the soils, some of which contained the slide surface whereas others did not. The laboratory equipment used was either a standard shear apparatus adapted to permit very considerable deformations both forwards and backwards, or an annular torsion apparatus capable of dealing with very large samples (external diameter 49.6 cm; interior diameter 26.4 cm; thickness of sample 15 cm). This apparatus was also modified, in this case to increase angular displacement up to 340°. It was this instrument that made it feasible to test specimens containing the slide surface[1] . Examples of the stress-strain curves obtained using both types of equipment are given in Figs 10 and 11, while the resultant Mohr's envelopes are drawn in Fig. 12. Table 3 contains the values of ϕ_r determined in the laboratory for the two slides in question.

Fig 10. Shearing test, km 15+500, σ_n = 1 kg/cm^2

Fig. 11. Torsion tests, km 15+500, σ_n = 0.727 kg/cm^2

Fig. 12. Shearing test

Table 3.

Slide km	Calculated values of ϕ_r	Laboratory tests values of ϕ_r
12 + 360	13.3°	10°
	11.6°	12.4°
15 + 500	7.1°	6.5°
	13.2°	8°

REMEDIAL WORKS, SOLUTIONS ADOPTED AND SUBSEQUENT BEHAVIOUR

The slides were characterized by certain common features, which may be summarized as follows:

(a) great earth masses in movement, with volumes ranging from half a million to three million m^3;

(b) the slides occurred over failure surfaces formed prior to construction of the highway and these surfaces were generally planar and only slightly inclined;

(c) strength mechanisms were to be understood in terms of residual strength;

(d) there was a clear relationship between rates of movements and regional groundwater flow;

(e) there was a clear relationship between movements and local geology; slide surfaces developed along the contacts between deposits of talus debris and stronger sedimentary formations.

Prior to solving the problems it was judged essential to determine the kinematic mechanisms involved: the geometries and positions of the slide surfaces, the magnitude and direction of displacements and all relationships between these factors and environmental conditions. The required data were obtained by field instrumentation.

The magnitude of the masses involved made it evident that restrictive solutions, implying the attempt to halt the movements by simple restraint, would prove difficult, unless the root causes were attacked. Thus consideration was given to solutions that implied stimulating the earth masses to come to a halt themselves, either by increasing the strength of the soils or by reducing the disturbing forces.

The correlation observed between internal groundwater flow and the movements suggested that subdrainage might constitute a standard criterion.

The choice of specific solutions was dependent in each case on local topography,

depth of water table, shape of slide surface and economic considerations. Economic factors prohibited attempts to achieve very high factors of safety; the estimated increase in all cases ranged between 10 and 20 per cent.

Limitations of present calculation methods make it impossible to evaluate the effect of each of the solutions adopted with any precision, due to the multiplicity of factors. For this reason, the observation of displacements after corrective solutions have been put into effect constitute the only definitive frame of reference. A brief summary of the solutions adopted in the cases of the two slides chosen to exemplify the problem is given below, together with some information regarding subsequent behavior.

Slide at km 12 + 360

The length of highway affected by the slide was in the order of 450 m, and it is located close to the sea. The highway embankment is laterally supported by a masonry wall some 7 m high, built within the zone where marine erosion is intense. Three lines of surface control points were run and twelve inclinometers installed (Fig. 13) to determine the nature of the failure mechanism. It was established that the failure surfaces were cylindrical across certain sections and compound (circular and planar) across others. Slide velocities were found to be constant, obeying a cyclical law, increasing as a result of the pore-water pressure increase due to seasonal rainfall.

Fig. 13. Plan view of slide at km 12+360

Given the geometry of the slide surface, and applying the criterion of residual shear strength, the solution adopted involved the removal of material from the head of the failure (Fig. 14) and waterproofing the exposed surface. Some 70 000 m^3 of material were removed. The retaining wall was reinforced by dumping large stones along the shore to stop erosion as shown in Fig. 5. Horizontal drains were placed using perforated pipes.

Fig. 14. Section showing removal of overburden material

The horizontal and vertical displacements along a line of control points before and after undertaking the remedial works are shown in Fig. 15.

Fig. 15. Horizontal and vertical displacements observed on line 2, km 12+360

Slide at km 15 + 500

This was the largest of the slides, covering an area of 8 ha and affecting some 230 m of highway (Fig. 7). A 17 m high embankment was built across deposits of talus debris with depths of up to 37 m. Four lines of surface control points were run and 17 inclinometers were installed. It was discovered that something like 40% of the

rotational type slide surface lay beneath groundwater level (Fig. 5). Stabilization works comprised a drainage gallery with a total length of 230 m, driven beneath the slide surface and constructed, in the form of a T; a cross-section is drawn in Fig. 16. Fans of drainage pipes in the form of perforated pipes installed in drilled holes extended from the gallery to the slide surface. Some 15 000 m^3 of soil were removed from the head of the failure as a supplementary stabilizing measure. The horizontal and vertical displacements along a line of control points before and after undertaking the remedial works are shown in Fig. 17.

Fig. 16. Cross-section of drainage gallery

Fig. 17. Horizontal and vertical displacements observed on line C, km 15+500

REFERENCES

Puig, J. B. (1963). Private communication.

Rico, A., Springall, G. & Springall, J. (1969). Slides on the Tijuana Ensenada Highway. Seventh Int. Conf. Soil Mech. Fdn Engng, México City.

Rico, A. & Del Castillo, H. (1974). La ingeniería de suelos en las vías terrestres 1, chapter 7, pp. 427-442. México City: Ediciones Limusa SA.

Rico, A., Aguirre, L. & Moreno, G. (1967). Estabilización de un deslizamiento en la carretera Tijuana-Ensenada. Proc. 3rd Panamerican Conf. Soil. Mech. Fdn Engng, Caracas 2, 51-64.

Skempton, A. W. (1964). Long-term stability of clay slopes. Fourth Rankine Lecture: Géotechnique 14, No. 2, 77-101.

Wilson, S. D. & Hancock. C. W. (1959). Horizontal displacements of clay foundations. Proc. 1st Panamerican Conf Soil Mech. Fdn Engng, Mexico City.

CIMENTACIONES SOBRE PILOTES DE FRICCION EN SUELOS CON HUNDIMIENTO REGIONAL**

Alfonso Rico Rodríguez, Juan Manuel Orozco y José Luis León Torres

RESUMEN. Se presenta con detalle un mecanismo de carga en pilotes de fricción en un suelo con hundimiento regional cuando no emergen respecto al terreno circundante. Se analiza el efecto de una "costra" superficial de suelo que no se enjuta y se establece un límite al factor de seguridad, FS, de los pilotes si se ha de evitar que emerjan. Con base en lo anterior se analiza el caso de cimentaciones apoyadas sobre pilotes de fricción si se desea evitar que la losa de cimentación se despegue del suelo. Se propone que la carga transmitida por la losa sea considerada igual a la compensación y que se tome en cuenta el incremento, a medida que pasa el tiempo, en la adherencia suelo-pilote; en esa forma se llega al máximo valor conveniente de la capacidad de carga de los pilotes con tal de que no emerjan. También se presentan los resultados de mediciones que indican la distribución de deformaciones en la capa de arcilla entre 0 y 30 m asociadas al hundimiento regional. Finalmente se presenta un ejemplo hipotético.

ABSTRACT. A load Mechanism in friction piles supported on subsoil under regional settlement is presented. The effect of a surficial crust which is not under consolidation is analyzed and, to avoid pile emersion, one limit is established to the piles factor of safety, FS. The case of foundations supported on friction piles is analyzed when the foundation slab should be always in contact with the supporting soil. It is proposed to be considered that the load transmitted by the foundation slab is equal to the compensated weight and it is suggested that the increase with time, in pile-soil adherence should be taken into account; finally, a maximum value is obtained for the pile's capacity in order to avoid emersion. The results of measurements indicating the distribution of deformation in the clay layer between 0 and 30 m depth are shown. Finally, an example is presented.

1. INTRODUCCIÓN

El fenómeno de hundimiento regional es cada vez más frecuente en sitios donde, por razones económicas, se extraen líquidos del subsuelo. En el valle de México, donde ha sido necesario extraer agua desde hace varias décadas, es particularmente importante el enjutamiento de las capas superficiales de arcilla lacustre, que por el abatimiento de la presión hidrostática en algunos depósitos de arena interestratificada, se encuentran en proceso de consolidación.

**Rico, A., Orozco, J.M., y León, J.L. (1993). Cimentaciones sobre pilotes de fricción en suelos con hundimiento regional. Proceedings Third International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering. St. Louis Missouri. June 1-4, 1993. Este artículo se presentó en inglés.

La Ingeniería de Cimentaciones en el Valle de México ha tenido que adaptarse a las circunstancias mencionadas antes, por lo que ciertos tipos de cimentación, usuales en condiciones “normales", han dejado de ser empleados y otros, en cambio, han visto incrementado su uso. Así, los pilotes de punta han disminuido en la "zona del lago" (Ref. 1) y en casi todos los casos se recomienda, o se requiere, el uso de controles cuyo objetivo es que la estructura no sobresalga respecto al terreno circundante. En la misma "zona del lago" ha proliferado el uso de pilotes de fricción debido, probablemente, a que, entre otras cosas, se piensa que en forma automática siguen el movimiento del terreno circundante; otra posible razón es que su colocación es relativamente sencilla.

Fig. 1. Desplazamiento vertical del suelo y distribución de esfuerzos cortantes en el pilote

Si bien es cierto que ya desde hace bastante tiempo (Refs 2, 3 y 4) se ha reconocido que en las condiciones muy particulares del subsuelo en el Valle, es necesario que el factor de seguridad de los pilotes de fricción sea cercano a uno para que la estructura no emerja; también es verdad que se suele usar un factor mayor en aras de una sensación de seguridad por parte del proyectista. En este caso, si el valor de FS es mayor que la unidad, es concebible que la losa de cimentación se despegue del suelo debido a la diferencia entre los desplazamientos verticales de los pilotes y del suelo. Con objeto de que FS>1 y aun así evitar que la losa de cimentación se despegue del suelo por el fenómeno de hundimiento regional, se propone en este artículo que las cimentaciones sobre pilotes de fricción siempre estén parcialmente compensadas y que la compensación varíe dentro de ciertos límites. Lo anterior evitará los efectos dañinos que pueden producirse debido a que la losa de cimentación se

despegue del suelo. Uno de esos efectos puede ser, por ejemplo, el hundimiento repentino de la estructura cuando se ve solicitada por cargas accidentales debidas a un sismo.

Por otro lado, con anterioridad se han establecido las condiciones de equilibrio y deformación (Refs 5 y 6) que permiten estimar la posición del eje neutro, EN, es decir, la profundidad a la que existe un cambio en el sentido de los esfuerzos cortantes actuando en el fuste de los pilotes (fig.1). Aunque los casos analizados son relativamente simples, ha sido posible efectuar una estimación de la posición del EN cuando los pilotes emergen.

En los párrafos siguientes se describe un mecanismo de carga que permite estimar la distribución de esfuerzos cortantes en el fuste si el pilote no emerge. Además, se analiza el efecto de una "costra" superficial de suelo que no se enjuta y se establece un límite al factor de seguridad que asegura la no emersión tanto de pilotes solos como de cimentaciones apoyadas en ellos.

2. MECANISMO DE CARGA

En la Ref. 5 se analiza la distribución de esfuerzos cortantes a lo largo del fuste de pilotes de fricción suponiendo que el estrato de suelo se enjuta según una ley de distribución de deformación uniforme (fig. 1). Se establece que, para cumplir con el equilibrio, el pilote tiene que emerger δ_e respecto al terreno circundante (δ_e es el desplazamiento vertical de la superficie de suelo respecto a EN).

La distribución de la deformación vertical puede generalizarse a casos más usuales, según se indica en la fig. 2; en ella, se muestra la posible deformación vertical en las capas de suelo blando debidas al abatimiento de presión hidrostática en un estrato de arena interestratificado y en la "capa dura" (Ref. 1). También se considera posible que ocurran deformaciones entre el nivel freático, NAF y la parte superior del estrato de arcilla en proceso de consolidación por efecto de un cambio en la posición de aquel. El resultado es, en un cierto periodo de tiempo Δt, un desplazamiento vertical, relativo al punto 0, como se indica al final de la misma figura. Es lógico suponer que el proceso anterior es variable en el tiempo y, aún más, depende de los propios abatimientos de presión hidrostática en las capas de arena que, por supuesto, no son constantes con el tiempo.

Fig. 2. Presión de agua abatida y
deformaciones y desplazamiento que produce

A continuación se discute el mecanismo de carga y deformación en los pilotes de fricción, suponiendo que existe una deformación relativamente grande dentro del fuste de los pilotes (fig. 3). Lo anterior no es restrictivo si se considera que los desplazamientos relativos necesarios para desarrollar la adherencia suelo-pilote son muy pequeños (ref. 5)

Fig. 3. Deformación en una capa de arcilla dentro del fuste del pilote

Considérese la discusión de los siguientes dos casos, (Fig.3).

En el primero (fig. 3a) se supone un delgado estrato de arena (*) con presión hidrostática abatida ubicado relativamente cerca de la punta del pilote. En principio se produciría en el terreno la distribución de desplazamiento rayada. Como cuerpo indeformable, el pilote debe tender a descender con el terreno y efectivamente lo hará puesto que la fricción negativa en la zona rayada será siempre mayor que la positiva bajo el estrato de arena; esta última no será suficiente para "detener" al pilote. (De hecho al bajar el pilote con el terreno no se desarrollará fricción negativa en su fuste, excepto algo en la parte inferior, justamente la necesaria para equilibrar la fricción positiva que se genera desde el estrato de arena hasta la punta). En el segundo caso (fig. 3b) el estrato rígido está muy cerca de la cabeza del pilote. Ahora, el desplazamiento y por ende la fricción negativa ocurre en una región pequeña y la fricción positiva puede ocurrir en la mayor parte del fuste. En este caso se contendrá en el pilote la tendencia a bajar con el terreno y éste habrá de colgarse de aquel cerca de la cabeza. La consecuencia es que el pilote emergerá respecto al terreno.

Estratos de arena como los anteriores, con presión abatida, existen siempre en la práctica, pero podría imaginarse un caso como el de la Fig. 4 donde se supone su inexistencia y que el descenso del terreno ocurre por una consolidación que se genera en el nivel del punto 0, debajo del pilote. Si 0 no se moviera y la superficie del terreno si, existirá una distribución, rayada en la figura, del desplazamiento relativo real como el presentado con punto y raya, decreciente hacia abajo, de manera que en un cierto tiempo Δ_{z1} será mayor que Δ_{z2}. Obviamente este efecto tiende a hacer que el pilote emerja y el suelo se "cuelgue" de él, estando la parte superior del fuste sujeta a fricción negativa y la inferior a fricción positiva, con el eje neutro definido por la condición de equilibrio.

Antes de continuar es conveniente establecer una suposición de la distribución de esfuerzos cortantes, τ, debidos a la carga inicial de la estructura. En lo que sigue se supone que se distribuye según se indica en la fig. 5. El hecho de suponer que el esfuerzo cortante es igual a la adherencia, en cada estrato atravesado, no es estrictamente cierto; sin embargo, para los fines que se persiguen en este artículo se considera que el error es pequeño debido a los desplazamientos relativos suelo-pilote que seguramente ocurrirán después. Además, pruebas a escala natural indican que en tanto no se alcance la fricción límite los esfuerzos cerca de la punta son prácticamente nulos.

*En el caso del Valle de México, pequeñas intercalaciones muy delgadas de ceniza volcánica no son raras dentro de la formación arcillosa superior (ref 1).

Fig. 4 Desplazamiento del suelo respecto a la capa dura y respecto a la punta del pilote

Fig. 5. Distribución de esfuerzos cortantes debidos a la carga de la estructura

3. CONDICIONES NECESARIAS PARA LA EMERSIÓN

Ahora se está en posibilidad de hacer un análisis de la influencia del factor de seguridad, FS, de los pilotes de fricción en el fenómeno de emersión.

$$FS = \frac{C_p + Q_{ad}}{Q} \tag{1}$$

Donde:

C_p = Capacidad de carga en la punta, t

Q_{ad} = Carga total que pueden tomar los pilotes por adherencia; se calcula con la resistencia actual del suelo, t

Q = Carga que actúa sobre el pilote, t

Debe notarse que Q_{ad} es el valor límite de la fricción positiva o la negativa y que siempre se debe cumplir que:

$$FP + FN \leq Q_{ad} \tag{2}$$

Donde:

FP = Fricción positiva, t

FN = Fricción negativa, t

Ahora bien, las condiciones iniciales de carga imponen necesariamente que:

$$Q = FP + C_{pi} \tag{3}$$

Donde:

C_{pi} = Carga que recibe la punta del pilote, t

Recordando que, en tanto no se desarrolle la fricción límite, los esfuerzos en la punta son prácticamente nulos, en lo que sigue se supone que C_{pi} vale cero para cualquier valor de FS mayor que 1. Por lo anterior, la profundidad, z_q, hasta la que se desarrolla FP se calcula en la siguiente forma:

$$Q = \int_0^{z_q} p \cdot a_d \cdot d_z \tag{4}$$

Donde:

a_d = Esfuerzo de adherencia pilote-suelo, es función de la resistencia del suelo, t/m^2
p = Perímetro del pilote, m

z_q = Profundidad hasta la que se desarrolla fricción positiva debido a Q, m

A medida que FS sea mayor, z_q/z_p será más pequeña; siendo z_p profundidad de la punta de los pilotes.

Considérese ahora el efecto de un enjutamiento entre z_p y una profundidad cualquiera, z_e. Lo anterior implica que existe una "costra" superficial que no se enjuta, cuyo espesor es precisamente z_e (fig. 6).

Fig. 6. Posibles posiciones del pilote de fricción respecto a la superficie

Como se mencionó antes, el movimiento está determinado por la condición de equilibrio y de deformación relativa suelo-pilote; además, es necesario tomar en cuenta los estados límite, es decir, que los esfuerzos cortantes en el fuste del pilote no pueden ser mayores que a_d.

En la fig. 6, se han dibujado tres posibles posiciones del pilote; además, se indica una ley de distribución del desplazamiento vertical del suelo respecto a la punta. A continuación se discute cada una de las posiciones a, b y c.

La posición a corresponde al caso en que el pilote no emerge. Su desplazamiento vertical respecto a la punta es igual que el de la superficie. La profundidad del eje neutro, z_n, coincide con la frontera inferior de la "costra", z_e.

La condición de equilibrio será:

$$FP]_{z_e}^{z_p} + Cp + FP]_{0}^{z_1} = Q + FN]_{z}^{z_e} \tag{5}$$

Donde:

$FP]_{0}^{z_1}$ Corresponde a la fricción positiva que se generó desde la carga inicial de la estructura; en este caso z_1 debe ser menor o igual que z_q

$FN]_{z}^{z_e}$ Es la fricción negativa que se produce como una reacción positiva a la fricción positiva $FP]_{z_e}^{z_p}$, debida a la penetración del pilote desde z_e hasta z_p.

Como puede verse, el valor de z en este término puede ser igual al valor de z_1 dependiendo de la posición de z_e.

De la ec. 5 se obtiene entonces la condición necesaria para emersión; ésta es:

$$FP]_{z_e}^{z_p} + C_p < Q + FN]_{0}^{z_e} \tag{6}$$

Recordando que:

$$FS \cdot Q = FN]_{0}^{z_e} + FP]_{z_e}^{z_p} + Cp \tag{1'}$$

Se puede despejar:

$$FP]_{z_e}^{z_p} + C_p = FS \cdot Q - FN]_{0}^{z_e} > Q + FN]_{0}^{z_e}$$

Lo anterior lleva a:

$$FS \leq 1 + \frac{2FN]_{0}^{z_e}}{Q} \tag{7}$$

Si $z_e = 0$, evidentemente FS = 1; si $z_e = z_q$ entonces

$FN]_{0}^{z_e}$ es igual a Q (ec. 4) y en la ec 7 se ve que FS ≤ 3;

Si $z_e = z_p$ no tiene relevancia el valor de FS pues es obvio que el pilote no puede

emerger.

En la posición b del desplazamiento del pilote respecto al del suelo, la condición de equilibrio es:

$$FP]_{z_n}^{z_p} + C_p = Q + FN]_0^{z_n} \tag{8}$$

Ahora el valor de z_n será el necesario para cumplir con la ec. 8 y el pilote emergerá respecto a la superficie del terreno; δ_e es el enjutamiento del suelo comprendido entre z_e y z_n; a medida que z_n se aleje de z_e la emersión será mayor.

Analícese qué relación existe entre z_n y FS.

La ec. 8 se puede modificar a:

$$FP]_{z_n}^{z_p} + C_p + FN]_0^{z_n} = Q + 2 \cdot FN]_0^{z_n} = Q \cdot FS$$

De donde se obtiene:

$$FN]_0^{z_n} = \frac{Q \cdot (FS - 1)}{2} \tag{9}$$

Puede deducirse de la ec.9 que si FS crece, también crecerá z_n y δ_e será mayor.

También puede observarse que si se emplean valores de FS como los indicados en la ec. 7 se obtendrán valores de z_n menores que z_e; esto es irrelevante ya que el límite inferior de z_n es z_e y cuando $z_n = z_e$ es la condición de no emersión.

La posición c es la característica de los pilotes de punta. En efecto, en esta posición la punta del pilote no se mueve respecto al suelo y se desarrolla fricción negativa a lo largo de toda su longitud. Por lo anterior no se discute más en este artículo.

Finalmente debe mencionarse que lo expresado en los párrafos anteriores se considera aplicable a cualquier distribución de desplazamiento relativo del suelo respecto a la punta del pilote; por ejemplo, cualquiera de las indicadas en la fig. 3 que representa la existencia de una capa de arena, con la presión de agua inferior a la hidrostática, en una profundidad comprendida entre la cabeza y la punta del pilote. En este último caso, habría que estimar adecuadamente z_n y z_e.

4. ESTABILIDAD DE CIMENTACIONES PARCIALMENTE COMPENSADAS Y APOYADAS EN PILOTES DE FRICCIÓN

Una condición suficiente para que la cimentación no falle es:

$$\sum Q - W_c = \frac{\sum Q_{ad}}{FS_1} \qquad (10)$$

Donde:

ΣQ = Suma de las acciones verticales permanentes y variables, t.

W_c, Compensación calculada como el peso sumergido del suelo excavado debajo del NAF y el peso total del suelo excavado arriba de él, cuyo objetivo sea compensar parcialmente la excavación, t

ΣQ_{ad}, Carga total que pueden tomar los pilotes por adherencia; se calcula con la resistencia actual del suelo, t.

$$\sum Q_{ad}, = A_L \cdot f + \sum C_p \qquad (11)$$

A_L, Superficie lateral de todos los pilotes de fricción; para su cálculo debe tomarse en cuenta la presencia de grupos de pilotes de tal forma que siempre se obtenga el valor más pequeño, m^2.

f, Adherencia lateral media actual pilote-suelo, t/m^2.

FS_1 Factor de seguridad del conjunto de pilotes de fricción, mayor que la unidad.

ΣC_p Capacidad de carga en la punta de todos los pilotes de fricción, t.

La ec. 10 implica que la presión de contacto losa-suelo es igual a Wc/A (donde A es la superficie de la losa de cimentación) y por tanto la carga que reciben los pilotes es:

$$\sum Q - W_c$$

El valor de W_c puede establecerse como una proporción del peso total de la estructura de la siguiente forma:

$$W_c = C_o \cdot \sum Q \qquad (12)$$

Donde:

C_o, factor de compensación.

Además la condición suficiente y necesaria para que siempre exista contacto losa-suelo es que el conjunto de pilotes no emerja respecto al suelo. Esto se cumplirá si se cumple la ec. 7 para todos y cada uno de los pilotes que integran la cimentación. En lo que sigue se supone que la ec. 7 puede generalizarse al conjunto de pilotes obteniéndose:

$$FS \leq 1 + \frac{2FN]_0^{z_e}}{Q} \qquad (7')$$

Desde ahora $FN]_0^{z_e}$ es la fricción negativa que puede generarse en todos los pilotes entre z = 0 y z = z_e.

El valor de FS representa el factor de seguridad del conjunto de pilotes (en caso de que no haya contacto losa suelo) y su cálculo puede hacerse empleando la ec. 1 generalizada en la misma forma que se hizo para la ec. 7'. Así, se obtiene lo siguiente:

$$FS = \frac{\sum Q_{ad}}{\sum Q} \qquad (1')$$

Tomando en cuenta que la adherencia entre el pilote y el suelo puede incrementarse a medida que pasa el tiempo, debido a la carga neta aplicada por la estructura y el abatimiento de la presión hidrostática en el suelo alrededor de los pilotes, conviene incrementar el valor de Q_{ad} actual con un factor F_1, mayor que uno, para obtener la capacidad de carga a largo plazo, obteniéndose:

$$FS = \frac{F_1 \cdot \sum Q_{ad}}{\sum Q} \qquad (13)$$

Donde:

F_1 = Es un factor variable que toma en cuenta el efecto descrito antes.

Si se llama f_L al esfuerzo de adherencia lateral media a largo plazo, entonces:

$$F_1 = \frac{f_L}{f} \tag{14}$$

De la ec. 13 se obtiene:

$$\sum Q = \sum Q_{ad} \cdot \frac{F_1}{FS}$$

y sustituyendo en la ec 7' con el signo de igualdad:

$$FS = 1 + \frac{2 \sum FN]_0^{z_e}}{Q_{ad} \frac{F_1}{FS}}$$

Llamando x a la relación $\frac{FN]_0^{z_e}}{Q_{ad}}$ se obtiene:

$$FS = \frac{F_1}{F_1 - 2x} \tag{7''}$$

Nótese que x es independiente del número de pilotes; es decir, su valor se puede obtener una vez conocida, o supuesta, la longitud. Sustituyendo 7'' en 13 se obtiene el Q_{ad} máximo actual conveniente de los pilotes

$$Q_{ad} = \frac{Q}{F_1 - 2x} \tag{15}$$

Esta ecuación indica que el valor de Q_{ad} crece a medida que el espesor de la "costra" superficial aumenta.

Sustituyendo las ecs. 15 y 12 en la ec 10 se obtiene:

$$\frac{1}{FS_1} = (1 - C_o) \cdot (F_1 - 2x) \tag{16}$$

Las ecs. 15 y 16 tienen mucho interés práctico pues permiten calcular el máximo valor de FS_1 como una función del espesor de la "costra" y por tanto, estimar el número máximo de pilotes por colocar.

5. INCREMENTO DE LA ADHERENCIA

Existen varios efectos que tienden a aumentar la adherencia suelo-pilote con el tiempo; entre ellos se pueden mencionar el remoldeo producido por el hincado, el incremento de carga neta transmitida por los propios pilotes a través de los

esfuerzos cortantes en el fuste y la consolidación del suelo circundante debido al abatimiento de la presión hidrostática. El primero de los efectos mencionados ha sido tratado por otros autores (ref. 7) y no se considera en este artículo; además se ha observado que en un muy corto plazo (del orden de unos cuantos días) la adherencia del suelo se estabiliza. Respecto a los otros dos efectos puede afirmarse que su estimación es difícil desde el punto de vista teórico, pues requiere conocer el estado actual de esfuerzos efectivos en el suelo circundante a los pilotes. A continuación se indican algunas variables que pueden influir en ellos.

a) La presencia de una costra superficial. A medida que su espesor sea mayor, como una proporción de la longitud de los pilotes, el valor F_1 será menor. Esto se debe a que el suelo que constituye la costra no cambiará significativamente su resistencia.

b) El grado de consolidación del suelo circundante a los pilotes. Si la arcilla que los rodea estuviera normalmente consolidada, el valor de F_1 será mayor que si estuviera preconsolidada por efecto del abatimiento en la presión hidrostática.

Tomando en cuenta lo anterior parece recomendable que el valor máximo de F_1 sea 1.3, excepto cuando se demuestre lo contrario mediante estudios más precisos. La práctica corriente en el Valle de México suele considerar un incremento de 30 por ciento en la adherencia con el tiempo, lo cual probablemente es algo conservador y lleva al valor de F_1 propuesto. El proyectista podría utilizar en su diseño un valor comprendido entre 1 y 1.3, dependiendo de los resultados del estudio del subsuelo que haya efectuado.

Lo anterior es aplicable para fines prácticos a la zona del lago del Valle de México en donde hasta ahora se han observado hundimientos de consideración en la superficie. En otras zonas donde el espesor de arcilla lacustre es mayor que 30 m y donde el abatimiento de presión hidrostática ha sido pequeño, bien podrían obtenerse valores de F_1 mayores que 1.3.

6. OBSERVACIONES DEL HUNDIMIENTO REGIONAL

Las primeras observaciones que se conocen acerca del hundimiento regional del Valle de México son de Gayol (ref. 8). Posteriormente, la Comisión de Aguas del Valle de México (ref. 9) inició una serie de mediciones de hundimientos y abatimientos del nivel piezométrico cercanos a los pozos que ha abierto para el abastecimiento de agua de la Ciudad. Después se han publicado excelentes trabajos de recopilación de datos relativos al hundimiento y su velocidad (refs. 10 y 11). Además de lo anterior, los autores tienen conocimiento de varios trabajos inéditos en los que se han efectuado mediciones similares. En todos ellos se ha observado el hundimiento regional respecto a bancos de nivel fijos ubicados en los cerros o en las capas "duras" existentes a 30 m de profundidad

o más.

Con motivo de los trabajos de rehabilitación de las estructuras del Centro SCT dañadas par los sismos ocurridos en 1985, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes inició una serie de mediciones entre las que se incluyó la observación del hundimiento del terreno natural respecto a bancos de nivel profundos localizados a diversas profundidades. A continuación se describen dichos trabajos y se presentan resultados obtenidos.

En la fig. 7 se muestra la localización de los bancos de nivel profundo. Se instalaron a las profundidades de 42, 32, 26.5, 22.5 y 14.5 m. Los resultados de las observaciones se presentan en la fig. 8. Se muestran los desplazamientos verticales de los BNP3, BNP4, BNP5 y de la superficie, todos respecto al BNP2 (cuya profundidad de instalación es de 32 m.) vs la profundidad (fig. 8a) y vs el tiempo (fig. 8b). Los resultados de la fig. 8a indican que el enjutamiento de la capa de arcilla entre 0 y 32 m. de profundidad está distribuido en la siguiente forma:

Entra fig. 7 Localización de bancos de nivel profundo en el centro S.C.O.P

Intervalo de profundidad , m	Porcentaje de contribución al enjutamiento de la capa entre 0 y 32 m	Velocidad de deformación promedio, % año
0 – 14.5	22	-
14.5 – 22.5	17	0.26
22.5 – 26.5	9	1.17
26.5 - 32	22	0.47

Nota.- No se ha indicado la velocidad de deformación del intervalo 0-14.5 por la presencia de una costra superficial; los valores indicados fueron calculados en el periodo del 14 de julio al 26 de septiembre de 1986.

Lo anterior es contrario a la idea que se tiene que el enjutamiento es debido a la deformación de una pequeña parte de la capa de arcilla cercana a la capa dura; por ejemplo, entre 26 y 30 m. Es muy probable que la contribución de las capas superiores al enjutamiento se deba a la presencia de algunas lentes de arena localizadas a profundidades menores que las de la capa dura.

Fig. 8. (a) Desplazamientos verticales relativos del terreno a varias profundidades respecto al BNP2; (b) Desplazamientos verticales relativos del terreno a varias profundidades respecto al BNP2 versus el tiempo

7. EJEMPLO ILUSTRATIVO

Considérese el caso de un edificio de 12 niveles en una superficie de 16 x 20 m que transmite al terreno una carga, incluidas las permanentes y variables, de 3840 t sin el peso de la cimentación. El subsuelo en el que se apoyará el edificio consiste en lo siguiente: Una costra superficial de suelo limoso de consistencia firme, preconsolidado por desecación y una capa de arcilla hasta 7 m de profundidad que, a pesar de no haber sufrido desecación, tiene valores de contenido de agua, w, respecto a los límites líquido y plástico, LL y LP, que indican que ha sufrido algún proceso de consolidación probablemente debido al abatimiento del NAF.

Se supondrá que el valor de F_1 es 1.3. En un primer tanteo supóngase que se efectuará una compensación de 2.5 m, y que se emplearán pilotes de fricción, cuadrados de 40 m de lado, cuya punta se encuentre a 26 m de profundidad; la capacidad de carga última por fricción y punta es de 64.6 t.

El peso de la cimentación resulta de 480 t y por tanto el peso total de la estructura es de 4320 t. El valor de la compensación, suponiendo un peso

volumétrico del material excavado igual a 1.6 t/m^3, es 1280 t. El valor C_o resulta 1280/4320 = 0.296.

La fricción negativa que puede generarse entre 2.5 y 7 m es 13.7 t. De lo anterior se obtiene que x es 0.213.

El valor de Q_{ad} resulta, aplicando la ec. 15,
Q_{ad} = 4320/(1.3-2x0.213) = 4943 t

El valor de FS_1 resulta, aplicando la ec. 16, FS_1 = 1.626

El número de pilotes máximo por utilizar resulta N = 4943/64.6 = 76.

Se verificará la capacidad de carga ante cargas dinámicas en el caso de un sismo; se considerará la capacidad de la losa junto con la de los pilotes.

Para el ejemplo considerado es razonable suponer un momento sísmico de 12800 t-m al nivel del terreno natural, así como una fuerza horizontal de 512 t. Suponiendo que no hay una reacción del terreno entre la superficie y el desplante de la losa, el momento sísmico a este nivel es 14080 t-m.

El momento anterior produce una excentricidad, e. igual a 14080/4320 = 3.26 m que permite contar con una área de losa "efectiva" de 20 x (16 - 2 x 3.26) = 189.6 m^2. Asimismo, si los pilotes están uniformemente repartidos, el número "disponible" es 40.

La capacidad de carga de los pilotes "disponibles" y del área "efectiva" de losa puede calcularse; en el caso de los pilotes se supondrá que soportan 64.6 t cada uno y en el caso de la losa, la capacidad de carga de una zapata al nivel de desplante resulta igual a 12 t/m^2. Entonces, la capacidad de carga total resulta igual a 40 x 64.6 + 12 x 189.6 = 4859 t. El factor de seguridad de carga sísmica es, entonces 4859/4320 = 1.12; este valor es muy bajo y por tanto conviene efectuar otro intento cambiando la longitud de los pilotes o aumentando la compensación.

En su segundo tanteo se supondrá la punta de los pilotes a 20 m de profundidad. Es conveniente mencionar que la disminución en la longitud de los pilotes obedece a que en esa forma se puede incrementar el valor de Q_{ad} debido al aumento en el valor de x. Su capacidad de carga total es 47.4 t; la fricción negativa que se puede desarrollar en la "costra" es la misma que en el caso anterior; es decir 14.4 t. El valor de x resulta entonces, 0.304. El valor de Q_{ad} es igual a:

Q_{ad} = 4320/(1.3 – 2 x 0.304) = 6243 t. El valor de FS_1 resulta igual a 2.05 y el número máximo de pilotes por utilizar es 6243/47.4 = 131.

Ante sismo el número “disponible” de pilotes es 70; el área “efectiva” de losa es 189.6 m^2 y la capacidad de carga de una zapata al nivel de desplante es 12 t/m^2.

La capacidad de carga total ante sismo es:

189.6 x 12 + 70 x 47.4 = 5591 t y el factor de seguridad ante carga sísmica es 5591/4320 = 1.29 Este valor se considera razonable para los fines de este trabajo.

8. CONCLUSIONES

Se han explicado con cierto detalle las condiciones de carga en pilotes de fricción que no emergen y apoyados en un suelo que se enjuta y se ha analizado el efecto de una "costra" rígida superficial cuyo espesor es z_e. Se ha llegado a las siguientes conclusiones:

a) Si el factor de seguridad es

$$FS \leq 1 + \frac{2FN]_0^{z_e}}{Q}$$

El pilote no emerge. En este caso z_e es el espesor de la “costra” que no se enjuta y se calcula como la diferencia de niveles entre la cabeza de los pilotes z = 0 (nivel de la losa de cimentación) y la frontera inferior de la propia “costra”, $z = z_e$.

b) Si el factor de seguridad es mayor que el indicado en la conclusión anterior, entonces el pilote emergerá “e” con respecto a la superficie, “e” es el enjutamiento del suelo comprendido entre la frontera inferior de la “costra” superficial y el nivel del eje neutro ($z = z_n$). z_n se puede calcular con la siguiente ecuación.

$$FN]_0^{z_n} = \frac{Q\,(FS - 1)}{2}$$

c) Parece razonable concluir que un diseño "óptimo" de los pilotes de fricción, en suelos con hundimiento regional y con posibilidades de tener una "costra" superficial que no se enjuta, sea aquel que emplee la igualdad de la ec 7.

Observación. Debe notarse que, puesto que el valor de adherencia lateral suelo-pilote generalmente crecerá con el tiempo, el factor de seguridad con que se diseñen los pilotes tenderá a crecer con el tiempo, a partir del valor inicial recomendado en este artículo. Esto puede poner a la estructura en malas condiciones a partir de un cierto lapso.

d) Se ha generalizado la ecuación obtenida para un pilote al caso de

cimentaciones parcialmente compensadas apoyadas en pilotes de fricción y se presenta un ejemplo ilustrativo.

e) Se presentaron los resultados de mediciones de hundimientos en bancos de nivel profundos colocados a 14.5, 22.5, 26.5 y 32 m de profundidad que indican que la capa de arcilla conocida como formación arcillosa superior se está enjutando en prácticamente todo su espesor y no solamente en los 3 ó 4 m más cercanos a la capa dura.

9. REFERENCIAS

1. Marsal, R.J. y Mazari, M. (1959). "El Subsuelo de la Ciudad de México". Contribución del Instituto de Ingeniería al 1er. Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones. México, D. F.

2. Ellstein, A. (1970). Comunicación personal.

3. Correa Racho, J. J. (1970). Clase de Cimentaciones en la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería. UNAM. México.

4. Zeevaert, L. (1980). "Deep Foundation Design Problems Related with Ground Surface Subsidence" Memorias. 6o. Congreso del Sudeste Asiática de Ingeniería de Suelos, Vol. 2, Taipei.

5. Reséndiz, D. et al (1970). "Información Reciente sobre las Características del Subsuelo y la Práctica de la Ingeniería de Cimentaciones en la Ciudad de México" Memorias. V Reunión Nacional de Mecánica de Suelos. México, D. F.

6. Reséndiz D. and Auvinet, G. (1973). "Analysis of Pile Foundations in Consolidating Soil". Proceedings VIII Congreso Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones. Vol. 2. Parte 1. pp 211-218. Moscú.

7. Zeevaert, L. (1972). "Foundation Engineering for Difficult Subsoil Conditions" Van No strand Reinhold. New York.

8. Gayol, R. (1929). "Breves apuntes relativos a las obras de saneamiento y desagüe de la capital de la Republica y de las que, del mismo género, necesita con grande urgencia". Revista Mexicana de Ingeniería y Agricultura, VII, México.

10. R. del Castillo M. (1978). Simposio "El Subsuelo y la Ingeniería de Cimentaciones en el Área Urbana del Valle de México" Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, México, D. F.

10. RECONOCIMIENTO

El Ing. Carlos Espino D. colaboró en la preparación de la información disponible y en la preparación de las figuras, los Ings. Pedro Martínez M. y Alfonso López O., llevaron a cabo las mediciones de hundimiento en los bancos de nivel profundo.

SOME MECHANICAL CORRELATIONS IN THE VALLEY OF MEXICO CLAY**

CORRELATIONS DES PROPRIETES MECANIQUES DE L'ARGILE DE LA VALLEE DE MEXICO

A. Rico., J. L. León T., E. Juárez Badillo y J. M. Orozco

SYNOPSIS. Some mechanical correlations of a clay from the Texcoco Lake in the Valley of México are presented. First, the values of γ (slope of the log (1+e) - log $\sigma'v$, in virgin region) are related to the liquid limit, w_L. Second, the undrained shear strength, s_u, and the cone penetrometer strength, σ_c, are related to the in-situ effective vertical stress, σ'_v. Some practical conclusions are proposed and finally a warning is commented about the indiscriminate use of the electric cone penetrometer.

1. INTRODUCTION

As it is well known, a great amount of research has been done about the strength and compressibility of the Valley of Mexico Clay. In this paper another contribution is presented for gaining more experience about its behavior.

Due to maintenance necessities it was needed the execution of five borings in the Mexico City Airport. Adjacent, five electric cone penetrometer explorations were done. The results of triaxial unconsolidated undrained and cone penetration tests were analyzed and some conclusions are proposed. The results of consolidation tests were used to apply the theory developed by Juárez-Badillo (1969); some new correlations and interesting conclusions are proposed.

In the following paragraphs, a description of all works and analysis is presented.

2. WORK DESCRIPTION

All five borings were executed using the conventional Shelby sampler. Four inches diameter undisturbed samples were obtained. The maximum depth varied from 20 to 57 m. Four borings were made in a first stage and the fifth was executed in a chosen place for comparison purposes. All triaxial tests were performed in samples obtained in the fifth boring.

The five electric cone penetrometer explorations were executed employing a device consisting of two electric cells to measure the necessary force to penetrate a 60 degree and 3.6 cm diameter cone. It is possible to measure lateral friction, as

**Rico. A., Leon, J.L., Juarez-Badillo, E. y Orozco, J.M. (1985). Some Mechanical correlations in the Valley of Mexico Clay. Proceedings of the Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. San Francisco. 12-16 August. 1985. Pp. 933-936.

it is usual in this type of apparatus, but the results are not presented here. The penetration rate employed during all tests was 2 cm/seg. A detailed description of the device is given by Santoyo and Olivares (1980). The maximum depth explored varied between 28 and 38 m. Fig. 1 shows the location of all borings and explorations executed. The consolidation tests were performed in standard consolidometers. Load increments were applied every 24 hours. In some tests the load increment ratio was smaller than one mainly at vertical stresses, σ'_v, smaller than the pseudo-preconsolidation stress, σ'_p. The data obtained was plotted in e-log σ'_v and log (1+e) – log σ'_v curves.

Fig. 1. Location of borings Mexico City International Airport

3. RESULTS OBTAINED

3.1 Compressibility

Figs. 2 and 3 show four e-log σ'_v curves obtained; the same data is presented in curves log (1+e) - log σ'_v in Figs. 4 and 5. It is interesting to note that similar values of σ'_p can be obtained in both type of curves. In the e-log σ'_v curves, the pseudo-preconsolidation stress was estimated using Casagrande's procedure; in log (1+e) - log σ'_v, it was obtained simply with the intersection of two straight lines fitted to the points graphed.

The values of γ were calculated from all results. In Fig. 6, all γ values are plotted versus liquid limit, w_L, of samples. For comparison, the line proposed by Juarez-Badillo (1975) is shown. It is important to note that no single relationship can be obtained from the points drawn. Furthermore, the authors claim that no such relationship exists. The σ'_P values are plotted versus depth in Fig.7. When comparing these values to the in-situ vertical stresses it is concluded that all strata are preconsolidated. This is in accordance with the results already obtained by Zeevaert (19). It is probable that delayed consolidation be the main cause for this condition.

It is observed, too, that soil is strongly preconsolidated from surface to about 10 m

depth.

Fig. 2. e versus log σ_v' curves, depth 5.5-6.4 and 9.3-10.2 m

Fig. 3. e versus log σ_v' curves, depth 10.4-11.20 and 8.40-9.20 m

Fig. 4. log(1+e) versus σ_v' curves, depth 5.5-6.4 and 9.3-10.2 m

Fig. 5. log(1+e) versus σ_v' curves, depth 10.4-11.20 and 8.40-9.20 m

Fig. 6. γ versus wL

3.2 Strength

The undrained strength, s_u, obtained in all triaxial tests is plotted in Fig. 7. A linear relationship can be fitted only between, say 12 to 38 m (the maximum depth at which samples were tested). It can be concluded from this graph that soil is preconsolidated, due to effects other than delayed consolidation, from surface to about 12 m depth. The best fit straight line through points below 12 m crosses the $s_u = 0$ line about 8 m above the surface. The relation s_u/σ'_v varies between 0.22 and 0.29; these values are low as compared with those usually found for similar subsoil. However, it should be remarked that it is usual to find s_u values as low as 1 ton/m^2 in this clay.

Fig. 7. Values of s_u, σ_v' and σ_p' versus depth

The cone penetration strength, σ_c obtained in an exploration carried out adjacent to fifth boring is plotted in figure 8. Two well-marked tendencies can be observed. The

first, near the surface, indicates that soil is preconsolidated down to 5 m depth and the second shows an almost linear increase in strength with depth. It should be emphasized that from 5 to 10 m the σ_c increase with depth is larger than from 11 m down. It is not clear if the differences could be due to different type of material or to the fact that first stratum is preconsolidated. It is supposed this information is not in disagreement with the asseveration that soil is preconsolidated down to about 12 to 13 m for effects other than delayed consolidation. The σ_c/s_u value varied from 17 to 25. These values are large when compared to those reported in the literature and should be taken as a warning when judging the cone penetrometer results. To sustain this warning it should be said that, in three of five explorations, it was observed σ_c values constant with depth for lengths greater than 10 m.

Fig. 8. Values of σ_c' and σ_v' versus depth

4. SOME COMENTS

In the Mexico City International Airport there are two runways. Both have two different structural sections; one is the so-called "compensated section" and the other is the usual type; this last case corresponds to a total length of runway of

about 5500 m. The maintenance works in the runways are needed only in the usual type section and consists mainly in an over layer of asphaltic concrete, 10-15 cm maximum thickness, for restitution of drainage. They are done every two years as at this period of time the runway transversal slope is almost reversed and some free water is observed after normal rainstorms.

During the last years the questions have been raised about the benefits of a preconsolidated layer near the surface in reducing differential settlements. From the observations quoted, it is concluded that, in the Mexico City International Airport, the secondary consolidation effects are greater than the "slab" effect due to a preconsolidated layer of about 11 m near the surface. At this moment, a test program is being carried out about the secondary consolidation and its effects in the runway settlements. It is hoped that a better understanding will be obtained about the phenomenon described before; the results will, hopefully, be applied to other runways constructed on similar subsoils.

5. CONCLUSIONS

All clay strata are preconsolidated down to the maximum depth explored. Two main causes are distinguished: the first is delayed consolidation effect and the second is desiccation. An upper crust of about 12 m thickness was found to exist at the site.

No unique relationship was found between γ (slope of the virgin zone in log (1+e) - log σ'_v plot) and w_L.

It was easier to estimate the pseudo-preconsolidation stress, σ'_p, from log (1+e) - log σ'_V plots than from the usual e-log σ'_v plots. The differences between corresponding σ'_p values were small.

The relations, s_u / σ'_V and σ_c / s_u found varied between 0.22 and 0.29 and between 17 and 25 respectively.

The first relation, s_u / σ'_V, is low as compared to values found in similar subsoils. The second relation, σ_c / s_u, is large as compared to values reported in literature.

6. ACKNOWLEDGEMENTS

The consolidation results in e-log σ'_v graphs were kindly given by Geosol, S.A.

The participation of Carlos Espino in producing all drawings is strongly appreciated.

7. REFERENCES

Juarez-Badillo, E. (1969), "Pore Pressure and Compressibility Theory for Saturated

Clays". Specialty Session N° 12 on Advances in Consolidation Theories for Clays, University of Waterloo, Canada, pp 99-116.

Juarez-Badillo, E. (1975) "Constitutive Relationships for Soils "Symposium on Recent Developments in the Analysis of Soil Behaviour and their application to Geotechnical Structures, Australia, pp 231-257.

Santoyo E. and Olivares, A. (1980) "Penetrómetro Estático para Suelos Blandos" Technical Report, Institute of Engineering, UNAM. Mexico.

ANALYSIS OF SLOPE STABILITY**

Alfonso Rico Rodríguez

Summary

The author sets forth the elastic-plastic conditions which must be satisfied by the stresses on a plane of failure in a cohesive material. He has studied the equilibrium of a sliding mass in accordance with the Swedish method, assuming the usual boundary conditions. He determines the equilibrium of a mass of soil for various angles of slope. Finally, he suggests certain modifications of the boundary conditions which are necessary to reduce errors.

Introduction

The analysis of the stability of an earth slope is usually made by the "Swedish Method" which assumes a cylindrical plane of failure for the mass of earth. (PATTERSON and HULTIN, 1916; before, Collin).

Kotter developed two equations which must be satisfied if incipient failure of a slope is to be avoided. He assumes a factor of cohesion of zero. Formulae were also put forward in 1936 by JACKY [1], later simplified by Dr. N. CARRILLO [2].

The Kotter equations are:

$$\frac{d\tau}{d\alpha} = 2\, tg\, \phi \cdot \tau - \gamma R\, sen\, \phi\, sen\, (\alpha - \phi) \ldots \qquad (1)$$

$$\frac{d\sigma}{d\alpha} = 2c + 2\sigma\, tg\, \phi - \gamma\, R \cos\phi\, sen\, (\alpha - \phi) \ldots \qquad (2)$$

(For cylindrical failure) in which:
τ = Shear stress acting in the sliding surface
σ = Normal stress on the same surface
α = Angle which fixes the position of the element on the circular sliding surface, in reference to the vertical through center. It is the "independent variable"
Φ = Apparent angle of internal friction of the soil
c = Apparent cohesion
γ = Unit weight
R = Circle of failure radius

The Kotter equations represent a theoretical condition to be satisfied by the soil element.

**Rico. A. (1961) Analysis of Slope Stability. Proceedings of the Fifth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Paris, 17th to 22nd July, 1961. Pp. 709-716.

According to Kotter equations we are able to know the resistant elements which act on failure surface preventing the slip.

Integrating equation (1), we obtain:

$$\tau = \frac{nm}{1+n^2}\, sen\,(\alpha - \phi) - \frac{m}{1+n^2}\cos(\alpha - \phi) + \frac{k}{e^{n\alpha}} \ldots \qquad (3)$$

Where

$$n = -2\, tg\, \phi\, and\, m = -R\, sen\, \phi$$

And integrating equation (2), we find

$$\sigma e^{n\alpha} = \frac{2c}{n}\, e^{nx} + \frac{Mn}{1+n^2}\, e^{n\alpha}\, sen\,(\alpha - \phi) - \frac{M}{1+n^2} e^{n\alpha}\, \cos\,(\alpha - \phi) + c \ldots \qquad (4)$$

Where

$$n = -2\, tg\, \phi\, and\, M = -\gamma R\, cos\, \phi$$

The integration constants were calculated assuming certain boundary conditions. The conditions which here were used are:

$$If\ \alpha = \beta\, ..\, \sigma = 0 \text{ Fig. (1)}$$

Fig. 1. Plane of failure.

From which it follows that:

$$C = \frac{M}{1+n^2}\, e^{n\beta} \cos\,(\beta - \phi) - \frac{Mn}{1+n^2}\, e^{n\beta}\, sen\,(\beta - \phi) - \frac{2c}{n}\, e^{n\beta}\, \ldots \qquad (5)$$

Now

$$\tau = c + \sigma\, tg\, \phi$$

From which

$$K = ce^{n\beta} + \frac{m}{1+n^2} e^{n\beta} \cos(\beta - \phi) - \frac{mn}{1+n^2}\, e^{n\beta}\, sen\,(\beta - \phi)\, \ldots \qquad (6)$$

The horizontal resistant force as produced by shear stress is:

$$H\tau = \int_v^\beta R\tau \cos\alpha\, d\alpha\, \ldots \qquad (7)$$

Replacing (3) in (7) and integrating:

$$H\tau = \frac{1}{2}\, R \frac{m}{1+n^2}\, (sen^2\beta - sen^2 v)(n\, cos\phi - sen\phi) - \frac{1}{2}\, R \frac{m}{1+n^2}\, (\beta - v)$$
$$(n\, sen\, \phi + cos\phi) - \frac{1}{4}\, R\, \frac{m}{1+n^2}\, (sen2\beta - sen2v)(n\, sen\Phi + cos\Phi) + \frac{RK}{1+n^2} (e^{-n\beta} sen\beta -$$
$$ne^{-n\beta} cos\beta + ne^{-nv} cosv - e^{-nv} senv)$$
$$\ldots \qquad (8)$$

The horizontal resistance due to normal stress is:

$$H\sigma = \int_v^\beta R\sigma\, sen\, \alpha\, d\alpha\, \ldots \qquad (9)$$

Replacing (4) in (9) and integrating.

$$H\sigma =$$
$$-\frac{2C}{N}\, R\, (cos\beta - \cos v) + \frac{1}{2}\, R \frac{M}{1+n^2}\, (\beta - v)(n\, cos\, \Phi - \mathrm{sen}\Phi) + \frac{1}{4}\, R\, \frac{M}{1+n^2}\, (sen2\beta -$$
$$sen2v)(sen\Phi - n\, cos\Phi) - \frac{1}{2}\, R\, \frac{M}{1+n^2}\, (sen^2\beta - sen^2 v)(n\, sen\Phi + cos\Phi) +$$
$$\frac{2KR}{1+n^2}\, (\frac{1}{n}\, e^{-n\beta} cos\beta + e^{-n\beta} sen\beta - \frac{1}{n} e^{-nv}\, \cos v - e^{-nv}\, sen\, v)$$
$$\ldots \qquad (10)$$

From which the total horizontal resistance is:

$$H_R = H_\tau - H_\sigma = -\frac{c}{tg\Phi}\, R\, (cos\beta - cosv) - \frac{R^2\gamma}{1+4tg^2\Phi}\, (\beta - v)$$

$$(sen\Phi cos\Phi + sen^2\Phi tg\Phi) + \frac{1}{2}\frac{\gamma R^2}{1+4tg^2\Phi}(sen^2\beta - sen^2 v)(5sen^2\Phi - cos^2\Phi) - \frac{1}{4}\frac{\gamma R^2}{1+4tg^2\Phi}\ (sen\ 2\beta - sen\ 2v)$$
$$(-2\ sen\ 2\Phi + 2\ sen^2\Phi\ tg\Phi) - \frac{KR}{1+4\,tg^2\Phi}$$

$$(-\frac{2tg^2\Phi+1}{tg\Phi}\ e^{2\,tg\Phi\cdot\beta}cos\beta + e^{2\,tg\Phi\cdot\beta}sen\beta + \frac{1+2tg^2\Phi}{tg\Phi}\ e^{2\,tg\Phi\cdot v}cosv - e^{2\,tg\Phi\cdot v}sen\ v)$$

……(13)

Similarly the vertical resistance is

$$V\tau = \int_v^\beta \tau R\ sen\alpha\ d\alpha\ \ldots \tag{14}$$

$$V\sigma = \int_v^\beta R\tau\cos\alpha\ d\alpha\ \ldots \tag{15}$$

Replacing (3) and (4), integrating, and making an algebraic sum, we obtain:

$$V_R = V_\tau - V_\sigma = -\frac{c}{tg\Phi}R(sen\beta - sen\ v) + \frac{1}{2}\frac{\gamma R^2}{1+4tg^2\Phi}(\beta - v) + \frac{1}{2}\ \frac{\gamma R^2}{1+4tg^2\Phi}$$

$$(sen^2\beta - sen^2 v)(4\ sen\ \Phi\ cos\Phi - 2\ sen^2\Phi\ tg\Phi) + \frac{1}{4}\ \frac{\gamma R^2}{1+4tg^2\Phi}\ (sen\ 2\beta - sen\ 2v)$$
$$(-5\ sen^2\Phi + cos^2\Phi) - \frac{RK}{1+4tg^2\Phi}\ (-\frac{1+2tg^2\Phi}{tg\Phi}e^{2\,tg\Phi\cdot\beta}\ sen\beta - e^{2\,tg\Phi\cdot\beta}\ cos\beta +$$
$$e^{2\,tg\Phi\cdot v}\ cosv + \frac{1+2tg^2\Phi}{tg\Phi}\ e^{2\,tg\Phi\cdot v}\ senv)$$
$$\ldots \tag{16}$$

The moment of resistance is:

$$M_R = \int_V^\beta \tau R^2 d\alpha\ \ldots \tag{17}$$

Replacing (3) in (17) and integrating

$$M_R = R^2\frac{\gamma R sen\Phi}{1+4tg^2\Phi}[sen\ (\beta - \Phi) - 2\ tg\Phi\cos(\beta - \Phi) - sen(v - \Phi) + 2\ tg\Phi\cos(\upsilon - \Phi)] + \frac{1}{2tg\Phi}KR^2(e^{-n\beta} - e^{-nv})$$

The active elements can be calculated from the geometry of the potential sliding mass as shown in Figs. 2 and 4.

Fig. 2. Slope section (V negative)

Fig. 3. Circular sector

Fig. 4. Slope section (V positive)

Obviously $H_A = 0$ and V_A = Weight of earth mass, So we obtain $H_A = 0$

$$V_A = \frac{\pi R^2 \gamma (\beta+v)^\circ}{360^\circ} - \frac{1}{2} R\gamma[H cot\theta(cosv - cos\beta) + Rcos\beta\ (sen\ \beta + senv) - H\ sen\ v] \quad (19)$$

The acting moment can be calculated using Fig. 3, and some geometrical considerations.

$$M = \frac{1}{3}\gamma R^3(\cos v - cos\beta) + \frac{1}{6}\gamma R^3(sen^2 v\ cosv) - \frac{1}{6}\gamma R^3(sen^2\beta\ cos\beta) - \gamma(\frac{1}{6}H^3 cot^2\theta - \frac{1}{2}RH^2\ sen\ v \cot\theta + \frac{1}{2}HR^2\ sen^2 v)$$

… (20)

Remark. – The above formulae are correct independently of the sign of angle ν. If ν is positive sin ν and tan ν terms are also positive: if ν is negative (turns to the left) sin ν and tan ν will also be negative.

So the elements according to the Kotter equations which resists shear can be compared with the usual elements given by the application of Swedish Method. The paper takes account of θ (slope angle) changing from 0° to 90° and Φ (shear resistance angle) changing from 0° to 45°.

N. JAMBU [3] gives stability numbers with the expression

$$N = Fs\frac{\gamma H}{c}$$

F_S = Safety factor: and also gives the critical center coordinates for circles passing through the base of the slope (Figs 5 and 6)

in that plots $\lambda c\Phi = \frac{\gamma H tg\Phi}{c}$ $and\ \lambda c\Phi = bN$

Where $b = tg\Phi$ and F_s = 1 (incipient failure). When b takes the values 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 and 0.8, the curves shown dotted in Fig. 5, are obtained, then:

$bN = \lambda c\Phi$ for different values of b

From the curves the N value for each θ and ϕ, can be obtained in the form:

$\frac{1}{N} = \frac{c}{\gamma H} with\ Fs = 1$

Also

$V = ang\ tg - \frac{x_0}{y_0}$ $and\ R_0 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}$ (According to Fig. 2)

Where
$R_0 = \frac{R}{H}$ $and\ cos\beta = \frac{y_{0-1}}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2}}$

Fig. 5. Stability numbers for critical circle in the base of slope (according to Ref. 3.). Showing the curves of equation $bN = \lambda c\Phi$

Now the $\lambda c\Phi$ values used in the N calculations above mentioned can be calculated with the expression

$$\lambda c\Phi = \mathrm{bN}$$

And with that values can be obtained the correspondent x_0 and y_0 values form Fig. 6; so it is determined the critical circle, by the base of slope.

The expression for the resistant elements can be written as dimensionless formulae:

$$H_t = \frac{H_R}{\gamma H^2} = -\frac{cR}{\gamma H^2} \cdot \frac{1}{b}(cos\beta - cosv) - R_0^2 \frac{b}{1+4b^2}\ (\beta - v) + \frac{1}{2}R_0^2$$
$$\frac{5b^2-1}{(1+4b^2)(1+b^2)}\ (sen^2\beta - sen^2 v) - \frac{1}{4}R_0^2 \frac{2b(b^2-2)}{(1+4b^2)(1+b^2)}\ (sen2\beta - sen\ 2v) -$$
$$-\frac{1}{4b^2+1}\left(e^{2b\beta} sen\beta - \frac{2b^2+1}{b}\ e^{2b\beta} cos\beta + \frac{1+2b^2}{b} e^{2b\beta} cos\beta - e^{2b\beta} senv\right)$$
$$\left[\frac{c}{\gamma H} R_0 e^{-2b\beta} - R_0^2 \frac{b}{(1+4b^2)\sqrt{1+b^2}}\ e^{-2b\beta} \cos(\beta - \Phi) - R_0^2 \frac{2b^2}{(1+4b^2)\sqrt{1+b^2}}\ e^{-2b\beta} \operatorname{sen}(\beta - \Phi)\right]$$
… (21)

$$V_t = \frac{V_R}{\gamma H^2} =$$
$$-\frac{c}{\gamma H} R_0 \frac{1}{b}(sen\beta - senv) + \frac{1}{2}\ R_0^2 \frac{1}{1+4b^2}(\beta - v) - \frac{1}{2}\ R_0^2 \cdot \frac{2b(b^2-2)}{(1+4b^2)(1+b^2)}\ (sen^2\beta -$$
$$sen^2 v) - \frac{1}{4}\ R_0^2 \frac{5b^2-1}{(1+4b^2)(1+b^2)}\ (sen\ 2\beta - sen\ 2v) -$$
$$\frac{1}{(1+4b^2)}\left(e^{2vb}\ cosv + \frac{2b^2+1}{b}\ e^{2bv}\ senv - e^{2b\beta}\ cos\beta \frac{2b^2-1}{b}\ e^{2b\beta}\ sen\beta\right)$$

$$\left[\frac{c}{\gamma H} R_0\ e^{-2b\beta} - R_0^2 \frac{b}{(1+4b^2)\sqrt{1+b^2}} e^{-2b\beta}\ \cos(\beta - \Phi) - R_0^2 \frac{2b^2}{(1+4b^2)\sqrt{1+b^2}}\ e^{-2b\beta}\ \operatorname{sen}(\beta - \Phi)\right]$$
. (22)

$$M_t = \frac{M_R}{\gamma H^3} = R_0^3 \frac{b}{(1+4b^2)\sqrt{1+b^2}}\ [sen(\beta - \Phi) - 2b\cos(\beta - \Phi) - sen(v - \Phi) +$$
$$2bcos(v - \Phi)] + \frac{1}{2b}(e^{2b\beta} - e^{2bv})$$

$$\left[\frac{c}{\gamma H}\ R_0^2 e^{-2b\beta} - R_0^3 \frac{b}{(1+4b^2)\sqrt{1+b^2}} e^{-2b\beta}\ \cos(\beta - \Phi) - R_0^3 \frac{2b^2}{(1+4b^2)\sqrt{1+b^2}}\ e^{-2b\beta}\ \operatorname{sen}(\beta - \Phi)\right]$$
. (23)

Where $b = tg\Phi$ as usual.

The acting elements can be expressed also in dimensionless form:

$$V_{At} = \frac{V_A}{\gamma H^2} = \frac{\pi(\beta+v)^\circ}{360^\circ} \; R_0^2 - \frac{1}{2} R_0 \left[cot\theta \; (cosv - cos\beta) + R_0 \; cos\beta (sen\beta + senv) - senv\right]$$

… (24)

$$M_{At} = \frac{M_A}{\gamma H^3} = \frac{1}{3} \; R_0^3 (cos \; v - cos \; \beta) + \frac{1}{6} \; R_0^3 sen^2 \; v \; cos \; v - \frac{1}{6} \; R_0^3 sen^2 \; \beta \; cos \; \beta - \frac{1}{2} \; R_0^2 sen^2 \; v - \frac{1}{6} \; cot^2 \; \theta - \frac{1}{2} sen \; v \; cot \; \theta$$

… (25)

The formulae (21), (22) and (23) can be tabulated for θ from 15° to 90° (the sequence 15°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80°and 90° was used). For every θ value it was considered a variation for ϕ in the ranges which can be obtained from the Jambu curves [3].

The values for the resistant elements result as a function of $c/\gamma H$ which depends upon specific soil conditions.

Also the acting elements (Eq. 24 and 25) were tabulated as a function of the geometry of the slope.

Fig. 6. Coordinates of the center of the critical circle in the base of slope (according to ref. 3).

Fig. 7. Comparison between the c/γH values according to Kotter and N. Jambu

Equalizing the resistant and acting moments the term $c/\gamma H$ can be calculated. In that case the slope would be in incipient failure condition and $c/\gamma H$ will be just the necessary for the equilibrium on that condition.

In Fig. 7 a comparison between $c/\gamma H$ by Kotter and by Jambu is shown. The $c/\gamma H$ term according to Jambu was calculated with the equation.

$$\frac{1}{N} = \frac{c}{\gamma H} (with\ Fs = 1)$$

The values from the Swedish Method (Jambu) are larger than those of Kotter values for the same “b”.

After calculating $c/\gamma H$ can be obtained the VT and HT

Values in equations (21) and (22)

For representing the discrepancies found, the expressions

$$\frac{V_T - V_A}{V_A} \; and \; \frac{H_T}{V_A}$$

were calculated and plotted.

Fig. 8. $\frac{V_T - V_A}{V_A}$ values

Fig. 9 $\frac{H_T}{V_A}$ values

Conclusions

The usual boundary condition (σ = 0 in the top of the slope) is deficient according to the Kotter equations.

The Swedish Method gives values which differ from those calculated the by Kotter

equation.

A new boundary condition seems desirable in order to reduce discrepancies to a minimum. That boundary condition may agree with the experimental fact of the presence of tension cracks in the top of the slope. The mathematical way for it appears clear continuing this work.

The ”c” value in Jambu´s work is larger than that obtained from Kotter equations. The Swedish Method gives a higher factor of safety than that derived from the Kotter equation.

References

[1] JACKY, J. (1936). *Stability of slopes. Proceedings of the international conference of Soil Mechanics and Foundations Engineering,* Vol. II, pp. 200-207.

[2] CARRILLO, N. (1943). Perfil de un talud plástico de resistencia uniforme. *Anuario de la Comisión Impulsora y Coordinadora de la Investigación Científica,* México, D.F.

[3] JAMBU, N. (1954). *Stability Analysis of slopes with dimensionless parameters.* Harvard University Editions.

EFECTO DE LOS FINOS EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS TRITURADOS PARA BASE DE PAVIMENTOS**

EFFECT OF FINES ON THE MECHANICAL BEHAVIOR OF GRANULAR ROADBASE MATERIALS

Alfonso Rico R. y J. M. Orozco y O.

Resumen

En este trabajo se presenta un estudio realizado con vistas a definir el efecto de la incorporación de finos, menores que la malla No. 200, a materiales triturados para base de pavimentos. Al efecto, se presenta un estudio de las relaciones esfuerzo-deformación y de la resistencia de mezclas de material triturado con diversos porcentajes de distintos finos, como son un suelo CL-ML, una caolinita y una bentonita comerciales. También se estudia la variación del C.B.R. de las diferentes muestras preparadas. Se presentan conclusiones destinadas a proporcionar criterios para la formulación de especificaciones de construcción relativas al problema.

Synopsis

In this paper a study to define the effect of fines on the mechanical behavior of crushed materials for bases is presented. The study refers to stress-strain and shearing resistance characteristics of several mixes of crushed stone with CL-ML natural material and a commercial kaolinite and bentonite. The variations of C.B.R. values of different mixes are also reported. The conclusions aim at establishing construction specifications.

I. PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

En la práctica de las vías terrestres existe desde antiguo una disyuntiva en relación a la incorporación de materiales menores que la malla No. 200 a las bases trituradas. Para justificarla se aduce un mejoramiento en la trabajabilidad del material y en la permanencia de las características de compactación logradas. Muchas especificaciones aceptan contenidos entre 5 y 20% de finos no plásticos incluyendo algún mecanismo de control de dicha plasticidad. Por otra parte el uso de finos es atacado por quienes desean un comportamiento puramente friccionante en las bases y un bajo nivel de deformabilidad y por quienes consideran que:

**Rico. A. y Orozco, J.M. (1975). Efecto de los finos en el comportamiento mecánico de los triturados para base de pavimentos. V Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones. Buenos Aires, Argentina. Pp. 32-41.

1. No es fácil defender la importación de volúmenes pequeños de un material fino y gastar dinero en manipularlo y mezclarlo con un triturado obtenido a alto costo, para llegar como producto final, a una mezcla de características aleatoriamente inferiores; aleatoriamente porque los métodos de control de rutina difícilmente pueden detectar oportunamente cambios desfavorables en la calidad del material que se mezcla.

2. El material importado, usualmente menor que la malla no. 4, contiene una fracción gruesa que también suele disminuir la calidad del conjunto.

3. Sobre todo en caminos modestos, es frecuente que las bases se coloquen sobre capas mucho más finas, que las contaminan con el tiempo, elevándose el contenido de finos por arriba de los valores originalmente considerados convenientes. El mismo efecto tendrá la ruptura de granos que ha de ser importante en bases.

Desde luego, el problema de la incorporación de finos ha de ser estudiado diferenciando los caminos de alto tránsito de los de bajo. En los primeros, las carpetas de gran espesor darán suficiente confinamiento a bases puramente granulares; en los segundos, carpetas muy delgadas darán confinamiento menores. No cabe duda de que en este segundo caso, un cierto contenido de finos decididamente no plásticos podrá contribuir a una estabilización mecánica que podrá ser conveniente.

El objeto de este trabajo es cuantificar los riesgos del empleo de finos en bases, pues los autores han visto que, a despecho de lo extendido de la polémica en torno a este tema, falta mucha información cuantitativa para respaldar una u otra actitud.

II. DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO

A. Preparación de mezclas

Se prepararon con base en una misma matriz, que es un basalto triturado en laboratorio a tamaño máximo de ¾”. Se elaboraron mezclas de este material con tres tipos de finos, uno de ellos natural y poco plástico (CL-ML), otro una caolinita comercial y el último una bentonita comercial. Las tres mezclas se usaron con variantes de 5, 10, 15 y 20% de material fino incorporado a la matriz. La tabla II-1 muestra algunas propiedades índice de los diferentes materiales empleados.

Tabla II-1
Propiedades índice

Material	L.L.	L.P.	I.P.	Equivalente de arena
-----	%	%		%
Matriz (triturado)	24	---	---	60
CL-ML	49	28	21	---
Caolín	94	29	65	---
Bentonita	135	37	98	---

La Figura 1 muestra las propiedades índice de todas las mezclas preparadas.

Fig. 1. Propiedades indicativas de la plasticidad y granulometrías de las mezclas

B. Pruebas realizadas

En el laboratorio se realizaron pruebas triaxiales en dos modalidades:

B-1. Se compactaron las mezclas dinámicamente con el equipo y el método de Texas (Ref.1). Lo que se tomó como humedad de fabricación fue un valor

arbitrario, algo mayor que el óptimo de la prueba, con vista a acercarse a la humedad de equilibrio en el campo. Las humedades de compactación se muestran en la Tabla II-2.

Tabla II-2
Humedades de prueba en las dos modalidades

Mezcla	Humedad de fabricación (considerada de equilibrio) 1ª. Modalidad de prueba	Humedad de saturación
---	%	%
Matriz	7.0	---
Matriz + 5% CL-ML	6.5	8.0
+ 10% CL-ML	7.5	8.5
+ 15% CL-ML	9.5	9.5
+ 20% CL-ML	10.0	10.5
Matriz + 5% Caolinita	8.0	8.5
+ 10% Caolinita	10.5	11.0
+ 15% Caolinita	12.0	12.0
+ 20% Caolinita	12.5	13.0
Matriz + 5% Bentonita	9.0	9.0
+ 10% Bentonita	10.5	10.5
+ 15% Bentonita	14.0	14.5
+ 20% Bentonita	15.5	16.0

B-2. En la segunda modalidad de prueba, los especímenes se fabricaron igual que en la primera, pero después se colocaron, aún en la cámara triaxial, bajo presión lateral de 0.07 kg/cm^2 (1 psi) y vertical de 0.45 kg/cm^2 con lo que se trató de reproducir el confinamiento de campo, en un ambiente húmedo, de manera que pudieran modificar su humedad, sin estar sumergidos. El contenido de agua al que se llegó es el que se llama de saturación en la Tabla II-2.

De cada una de las mezclas se fabricaron cinco especímenes que se probaron a las presiones de confinamiento, en kg/cm^2, de: 0.351 (5 psi), 0.703 (10 psi), 1.055 (15 psi), 1.406 (20 psi) obteniéndose para cada prueba la curva esfuerzo-deformación y las envolventes de falla correspondientes a niveles de deformación de 1.25%, 2.5% y 5%.

Como las humedades de fabricación y saturación resultaron similares, también lo fueron los resultados obtenidos en ambos casos, por lo que en lo que sigue se reportan sin diferenciarlos.

B-3. Se realizó también un estudio de la variación del C.B.R., en especímenes saturados por inmersión y sin saturar, compactados con la energía AASHTO estándar en todos los casos.

III. TIPIFICACIÓN DE RESULTADOS

A. Esfuerzo-deformación

A despecho de haberse obtenido la información triaxial correspondiente a todas las pruebas mencionadas, se presenta en este artículo sólo la relativa a presiones de confinamiento de 0.703 kg/cm^2 (10 psi) y a niveles de deformación unitaria de 2.5%, que se cree pudieran aproximarse al rango de trabajo de las mezclas en los pavimentos reales.

La Fig. 2 muestra las relaciones esfuerzo-deformación obtenidas para las diferentes mezclas preparadas en distintas proporciones.

Fig. 2. Curvas esfuerzo-deformación de las tres mezclas usadas σ_3 = 0.7 kg/cm^2

La influencia de los finos es notable para todos los tipos de éstos, pero los porcentajes que deben resultar claramente dañinos, sí son variables. En el caso de los finos menos plásticos, porcentajes hasta del orden del 15% parecen no tener influencia muy notable; en cambio en el caso de la caolinita, todo lo que pase del 10% puede afectar mucho y en la bentonita, cantidades mayores del 5% abaten drásticamente el esfuerzo resistente desarrollado, incrementan la deformabilidad por arriba de todo límite y hacen cambiar radicalmente el

comportamiento esfuerzo-deformación del material.

La Fig. 3 es otro arreglo de la misma información que habla por sí solo.

Figura 3. Influencia del contenido de finos en la respuesta resistente de las mezclas, σ_3 = 0.7 kg/cm^2. Def. unitaria = 2.5%

B. Resistencia triaxial

Esencialmente la prueba triaxial de Texas equivale a una triaxial rápida (sin consolidación y sin drenaje) realizada sobre especímenes grandes, (15 cm de diámetro) muy representativos de los materiales que se utilizan en la tecnología de carreteras. El tamaño máximo de las partículas en la muestra es de 2 cm. En la Fig. 4 se presentan las envolventes de resistencia obtenidas para el nivel de deformación de 2.5%. El efecto de la incorporación de finos es evidente, naturalmente más acentuado cuanto más plásticos son. De nuevo parece que en finos inertes puede llegarse sin mayor peligro a contenidos en el orden de 15%, pero con finos de tipo caolinítico o desde luego, bentonítico, porcentajes arriba del 5% resultan ya muy perjudiciales.

Figura 4. Envolventes de resistencia de las diferentes mezclas. Nivel de deformación 2.5 %.

C. Variación del C.B.R. y otras propiedades de interés

A las mezclas con diferentes contenidos de finos se les realizaron pruebas de C.B.R., habiendo formado los especímenes con compactación dinámica tipo AASHTO estándar, de forma que aún es usual en la práctica mexicana. Se realizaron pruebas sobre especímenes con la humedad óptima AASHTO estándar y también con otros análogos, previamente saturados tras un período de inmersión de 72 hrs. Una vez más, los contenidos de agua a que se llegó no fueron muy diferentes, de manera que la información de ambos grupos de pruebas no muestra diferencias de concepto. En este trabajo se reportan para este caso los resultados obtenidos sobre los especímenes saturados.

La Fig. 5 resume la información obtenida. En la parte a) se muestran los diferentes pesos volumétricos secos máximos a que se llegó con los diferentes contenidos de finos. Puede verse como el máximo peso volumétrico ocurre con el contenido de finos comprendido entre 0% y 5%, dependiendo de la naturaleza de los finos. Esto explica la preferencia que muchos ingenieros tienen por añadir finos a los materiales de bases, pues así se alcanza un peso volumétrico más alto, lo que frecuentemente se considera la medida de una mejor compactación. Se desprende, sin embargo, de los resultados de este trabajo, que tal aumento de peso volumétrico se logra perjudicando muy seriamente en muchos casos las propiedades fundamentales de comportamiento de los materiales.

La parte b de la Fig. 5 muestra la evolución del C.B.R. estándar con el contenido de finos en las mezclas estudiadas. La información es autoexplicativa y muy importante, dado que el C.B.R. es aún el módulo de diseño más frecuente en pavimentos en casi todas partes. La similitud de los resultados obtenidos con el caolín y la bentonita sugiere que el efecto de los finos en el C.B.R. es un tanto independiente de su actividad; así, los estudios de C.B.R. resultan insensibles a la plasticidad y actividad de los finos empleados, lo que no sucede en los estudios

con la cámara triaxial.

El aumento del C.B.R. con pequeñas cantidades de finos poco plásticos hace ver la influencia de la granulometría en este concepto y sugiere la conveniencia de lograr materiales triturados muy bien graduados, que exhiban un alto C.B.R. sin necesidad de añadirles finos posteriormente.

La parte C de la misma Fig 5 muestra la variación de los pesos volumétricos máximos con el contenido de los distintos finos, obtenidos en pruebas estáticas Porter. Puede notarse en este caso como los mayores pesos volumétricos se obtienen con contenidos de finos entre 10% y 15%. Puesto que ésta es la prueba usual para materiales granulares, los resultados obtenidos en ella refuerzan la tendencia a añadir finos, comentada más arriba.

Fig. 5. Variación del peso volumétrico y el C.B.R. con diversos porcentajes de los diferentes finos.

Finalmente la Fig. 6 es una comparación del esfuerzo desviador, correspondiente a una deformación de 2.5% con el equivalente de arena de las mezclas. En el caso de la bentonita, la prueba de E.A. es ya poco sensible a despecho del derrumbe de resistencia, que se tiene cuando aumenta sus porcentajes. Otra

conclusión de interés es que el límite E.A. = 50% para bases, muy común en muchas normas, podría bajarse a 40% sin mayor riesgo.

Fig. 6. Variación del esfuerzo principal neto con el equivalente de arena

IV. CONCLUSIONES

De los resultados presentados parecen desprenderse las siguientes conclusiones:

1. La incorporación de finos a los materiales triturados para base disminuye la resistencia y aumenta la deformabilidad de estas capas, en las que ambos requisitos son esenciales.
2. El deterioro de las propiedades de los materiales triturados crece muy rápidamente con la plasticidad de los finos incorporados y con su cantidad. Tal parece que los finos arcillosos deben ser radicalmente excluidos y que, porcentajes superiores a 8-10% de cualquier clase de finos, son nocivos.
3. El efecto de los finos parece ser particularmente dañino en la capacidad de generación de resistencia de las mezclas, dentro de los niveles de deformación tolerables. Independientemente de que la evolución de las envolventes de falla hace ver que la resistencia al corte se abate drásticamente cuando crece la proporción de finos, los que probablemente generan las situaciones más peligrosas son aquellos casos en que la mezcla aún es capaz de dar la respuesta resistente que se le demanda, pero ello se logra a niveles de deformación fuera de toda prudencia.

4. La prueba de C.B.R. resulta poco sensible para detectar el daño que causa la incorporación a los materiales triturados de finos plásticos en pequeña cantidad y no distingue sobre la actividad de dichos finos. Con base en ella, finos de muy diferente actividad e influencia parecen producir efectos análogos, de tal manera que un ingeniero que proyecta y controla un pavimento sólo con base en el C.B.R., como es usual, no dispone de un mecanismo para distinguir un fino activo de otro más inactivo, cuyos efectos a largo plazo serán, por otra parte, muy diferentes.

V. COMENTARIO FINAL

Como comentario final, parece conveniente insistir en que cualquier límite que arbitrariamente se fije para el contenido de finos aceptable o para la plasticidad de éstos, difícilmente podrá aspirar a mantenerse sin fluctuaciones importantes en una construcción normal. Los mecanismos de ruptura de partículas, a los que las bases han de ser particularmente susceptibles, de incrustación o de contaminación por arrastre de agua, harán que, en muchos casos, los límites inicialmente fijados se alteren, siempre para crecer. Este es un hecho que, a juicio de los autores de este trabajo nunca será suficientemente tomado en cuenta.

Referencia

1. Texas Highway Department. Materials and Test Division. Método de prueba Tex-114-E (Revisado en Abril 1970). Austin, Tex., 1970.

COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ALGUNOS SUELOS COMPACTADOS POR CUATRO MÉTODOS, INCLUYENDO VIBRACIÓN**

MECHANICAL BEHAVIOR OF SOME SOILS, COMPACTED BY FOUR METHODS, INCLUDING VIBRATION

Alfonso Rico y Juan M. Orozco

RESUMEN

Se presentan resultados de resistencia, compresibilidad y C.B.R. de tres suelos, una arcilla franca, una arcilla de baja compresibilidad y un limo no plástico, compactados en laboratorio por los métodos estático, dinámico, amasado y vibración. Para cada método se compactaron especímenes a dos pesos volumétricos, correspondientes al 95% de los máximos de las pruebas AASHTO estándar y modificada, uno en la rama seca y otro en la húmeda de cada curva. Se fabricaron dos series de especímenes; la primera se ensayó inmediatamente y la segunda tras un periodo de 90 días en cuarto húmedo. En el caso del C.B.R., esta segunda serie se ensayó tras 72 horas de inmersión en agua.

Se destacan las diferencias de comportamiento observadas al variar la energía, contenido de agua y método de compactación, así como el efecto de almacenamiento en cuarto húmedo o inmersión según el caso. Se concluye que estas diferencias son lo suficientemente significativas como para considerar peligroso calificar la calidad de un suelo compactado en base a su peso volumétrico exclusivamente.

SYNOPSIS

Shear strength, compressibility and C.B.R. values for three different soils (a heavy clay, a silty clay and non-plastic silt) compacted at laboratory by static pressure, dynamic, kneading and vibration. Specimens were compacted to two different dry unit weights, (95% of AASHTO standard and modified) and with four water contents, defined at dynamic compaction curves, two on the dry and two on the wet sides, for 95% of both maximum dry unit weights.

Two series of tests were run, one on just compacted specimens and another on 90 day wet room stored specimens. For C.B.R. values, the second series of specimens was saturated during a 72 hrs. period.

Mechanical behavior differences observed due to variation in compaction method, energy and water content, as well as those due to wet room storage or saturation, are pointed out. It is concluded that such differences are large enough to consider

**Rico. A. y Orozco, J.M. (1979). Comportamiento mecánico de algunos suelos compactados por cuatro métodos, incluyendo vibración. Memorias del Sexto Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones. Lima, Perú. Pp. 503-511.

dangerous the usual practice of controlling a compaction work on the bases of dry unit weight alone.

1. INTRODUCCIÓN

Es práctica común calificar a los suelos compactados con base en el peso volumétrico seco alcanzado o en el grado de compactación, aunque esta práctica haya sido objeto de crítica (Ref. 1 y 2). Por otra parte, la información disponible muestra que el método de compactación influye decisivamente en las propiedades de los suelos compactados (Ref. 3, 4, 5 y 6, por sólo citar algunas). De estas propiedades, el comportamiento esfuerzo-deformación, la resistencia, la compresibilidad y, en menor escala, la permeabilidad, han sido las más mencionadas. De los métodos de compactación, el estático, el dinámico y el de amasado, son los más estudiados; el método vibratorio, a pesar de su utilización cada vez mayor ha recibido menor atención, aunque existen ya algunos trabajos de índole experimental (Refs 7 y 8). La diferencia en la estructura que adquieren los suelos compactados por los diversos métodos es considerada como la causa principal de las diferencias observadas en sus propiedades (Refs 9 y 10). A pesar de lo anterior en la práctica sigue siendo difícil responder a dos preguntas esenciales:

a. ¿Cómo pueden lograrse determinadas propiedades en un suelo fino que se compacta en el campo?
b. ¿Qué propiedades pueden esperarse de un suelo compactado con un determinado equipo, del que se dispone en el campo?

En el presente trabajo se estudian las propiedades adquiridas por tres suelos finos, cuyas plasticidades cubren un amplio espectro, cuando se compactan en el laboratorio por los métodos estático, dinámico, amasado y de vibración, siempre hasta el mismo peso volumétrico seco. El efecto del tiempo se estudia repitiendo los ensayes con especímenes almacenados tres meses en cuarto húmedo.

2. SUELOS UTILIZADOS

Suelo (CH) W_L = 79%; W_P = 26%; 90% menor que la malla # 200

Suelo (CL) W_L = 36%; W_P = 22%; 70% pasa malla # 200

Suelo (SM) W_L = 20%; W_P = inapreciable; 100% pasa malla # 4 y 40% pasa malla # 200

3. ENSAYES EFECTUADOS

Cada uno de los tres suelos se compactó hasta dos pesos volumétricos y con dos contenidos de agua para cada peso, obteniéndose por los cuatro métodos de compactación 48 especímenes diferentes. A partir de éstos se labraron probetas de 3.5 cm de diámetro que se ensayaron en cámara triaxial y probetas que se

ensayaron en consolidómetro convencional. Los valores de C.B.R. se obtuvieron al penetrar los especímenes en los propios moldes de compactación. Todos los especímenes se fabricaron por duplicado, para ensayar la primera serie de inmediato y la segunda tras 90 días de reposo en cuarto húmedo, ó 72 horas de inmersión para los ensayes de C.B.R. Se ensayaron así los 96 especímenes diferentes en tres tipos de pruebas, o sea un total de 288 ensayes.

Dos de los contenidos de agua de compactación son los correspondientes al 95% del peso volumétrico seco máximo, uno en la rama seca y otro en la rama húmeda, de la curva de compactación AASHTO estándar. Los otros dos contenidos de agua corresponden a la prueba AASHTO modificada. Los pesos volumétricos corresponden al 95% de los propios ensayes AASHTO estándar (energía específica de 6.05 $Kg.cm/cm^3$) y modificado (energía específica 16.38 $Kg.cm/cm^3$).

La compactación estática se efectuó en molde de 15 cm (6''), varillando el material por capas y aplicándole al espécimen la carga necesaria para alcanzar el peso volumétrico preestablecido. La compactación dinámica también se efectuó en molde de 15 cm (6”). Para la compactación por amasado se utilizó el compactador Hveem, variando la presión máxima y el número de aplicaciones a modo de alcanzar los pesos volumétricos deseados. La compactación por vibración se efectuó combinando una mesa vibratoria tipo ASTM con la carga estática necesaria para alcanzar el peso volumétrico preestablecido.

4. RESULTADOS OBTENIDOS

La Fig. 1 resume las resistencias y, hasta cierto punto el comportamiento esfuerzo-deformación, al comparar el esfuerzo desviador resistido por los especímenes compactados del lado seco con el correspondiente a los especímenes compactados del lado húmedo. Las comparaciones se hacen a niveles de deformación de 1.25, 2.5 y 5%, bajo presión confinante de 2 kg/cm^2. La información presentada merece los siguientes comentarios:

a. La resistencia en la rama seca es mayor que en la húmeda para prácticamente todos los casos. La tendencia es más clara en los suelos más plásticos.
b. A mayores pesos volumétricos las diferencias en la estructura adquirida del lado seco y del lado húmedo son mayores. Dichas diferencias son más notorias a mayores niveles de deformación. En la arcilla CH la resistencia crece con el peso volumétrico para cualquiera de los tres niveles de deformación; este aumento es mayor en el lado seco que en el húmedo, lo que implica que las diferencias en estructura son mayores a mayores energías de compactación; este efecto disminuye con la plasticidad.
c. Los métodos de compactación producen diferencias en la resistencia que son más acusadas en los suelos más plásticos, compactados con mayor energía, del lado húmedo y en los suelos menos plásticos, compactados del lado seco.

d. Almacenar a los suelos en cuarto húmedo no produjo cambios significativos en los no plásticos aunque se observa la tendencia a parecerse más las resistencias del lado seco y del húmedo. En el CH produjo incrementos en la resistencia del lado seco y del húmedo, lo que equivale a menores diferencias en estructura. En el CL se observó la misma tendencia, acercándose las curvas a la línea a 45°, pero la influencia del método de compactación parece ser ahora más importante.
e. Información adicional sobre matices en las diferencias puede ser obtenida de las gráficas; por ejemplo, en los suelos CH la permanencia de las resistencias obtenidas con métodos estáticos del lado seco parece ser muy problemática a partir de las condiciones iniciales, efecto que se diluye hacia los suelos menos plásticos.

Fig. 1. Efecto del método, energía y contenido de agua de compactación en la resistencia inmediata y a 90 días

La Fig. 2 compara la compresibilidad (medida por la variación de la relación de

vacíos para incrementos de presión fijos) que los suelos mostraron en la rama húmeda con la de la rama seca, para los cuatro métodos de compactación. De esta figura pueden hacerse los siguientes comentarios:

a. Resultan notoriamente menos compresibles los suelos compactados con mayor energía.
b. El suelo CH probado de inmediato mostró mayor compresibilidad en el lado seco bajo presiones de importancia. Cuando éstas son pequeñas, la compresibilidad en el lado húmedo es mayor o tiende a ser similar en ambas ramas. Parece obvio que para presiones suficientemente altas ambas compresibilidades pueden igualarse. Lo anterior es especialmente cierto para la vibración y el amasado; para el método dinámico, la tendencia se invierte y para los suelos compactados estáticamente ambas compresibilidades tienden a ser siempre muy parecidas, si bien para presiones medias es mayor en la rama seca y para presiones grandes en la húmeda.
c. En los suelos CH probados tras 90 días se mantienen las tendencias anteriores, pero se observan cambios significativos, especialmente en el amasado, donde los suelos compactados con mayor energía se acercaron al comportamiento de los compactados con menor energía, pero probados de inmediato. La vibración y energía alta derivó hacia mayor compresibilidad en la rama seca para altas presiones. El tiempo de reposo también produjo modificaciones en los especímenes compactados estática y dinámicamente.
d. Los suelos CL probados de inmediato mostraron mayor compresibilidad en la rama húmeda en todos los casos, excepto para la vibración con alta energía. Una vez más se observa que la vibración produce los suelos más compresibles en términos absolutos. Tras el período de reposo, los suelos compactados por vibración muestran cambios estructurales que acercan las compresibilidades de la rama seca y de la húmeda; cuando se emplea energía alta, la compresibilidad en la rama húmeda aumenta, en tanto que para bajas energías, durante el período de reposo aumenta la compresibilidad en la rama seca.
e. En los suelos SM probados de inmediato el contenido de agua de compactación y el período de reposo no afectan la compresibilidad, aunque la vibración se aparta de esta tendencia, pues la resistencia en la rama seca aumenta notablemente mientras que la húmeda se conserva. En este caso, los suelos compactados por vibración en la rama seca alcanzaron pesos volumétricos 3% menores, diferencia que no se considera significativa.

Fig. 2. Efecto del método, energía y contenido de agua de compactación, en la compresibilidad y a 90 días.

La Fig. 3 muestra los valores de C.B.R. obtenidos. De ellos se hacen los siguientes comentarios:

a. El C.B.R. aumenta con la energía de compactación.
b. Los C.B.R. en la rama seca son mayores que los de la rama húmeda.
c. Tras el período de inmersión, los C.B.R. del suelo CH son prácticamente iguales para cualquiera de las dos energías, confirmando la reconocida tendencia de esta prueba de perder toda capacidad de matizar a los suelos finos cuando se les sumerge después de compactados.
d. Para los suelos más plásticos, la inmersión disminuye enormemente el C.B.R. de la rama seca, mientras que el de la rama húmeda disminuye comparativamente menos. Al disminuir la plasticidad esta tendencia es menor y se invierte para los suelos no plásticos.
e. Los C.B.R. obtenidos por los diversos métodos de compactación son muy diferentes para la arcilla CL y tienden a ser similares para los otros suelos. Los métodos estático y dinámico tienden a producir los mayores C.B.R. en todos los casos.

Fig. 3. Resultados de las pruebas de C.B.R.

5. CONCLUSIONES

a. Las diferencias de comportamiento entre los especímenes del mismo suelo, compactados por diferente método hasta el mismo peso volumétrico, son tan significativos que debe considerarse peligroso calificar a los suelos sólo por el peso volumétrico alcanzado, dejando al constructor la elección del equipo y contenido de agua de compactación. Estas diferencias pueden ser hasta de tres veces en resistencia, cinco veces en compresibilidad y dos veces en C.B.R.
b. En general la vibración y el amasado producen los suelos más compresibles; los métodos estático y dinámico producen las mayores resistencias. Lo anterior es un tanto más cierto cuanto más plástico sea el suelo. La influencia del período de reposo es mayor en los suelos más plásticos.

REFERENCIAS

1. Juárez Badillo, E. y Rico A. –Mecánica de Suelos. Tomo I. Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Capítulo XIV. –Ed. Limusa. –México, D.F. 1977.

2. Hveem, F. N. –Maximus Density and Optimum Moisture of Soils. –What do these Terms Mean? 36th Annual Meeting of the HRB.– Washington, D.C., 1957.

3. Seed, H. B., Chan, C. K. –Structure and Strength Characteristics of Compacted Clays. – Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE. –Vol. 85. 1959.

4. Seed, H. B., Mittchel, J. K. and Chan, C. K. – The Strength of Compacted Cohesive Soils. – Research Conference on Shear Strenght of Cohesive Soils. –ASCE.– University of Colorado, U.S.A. 1960.

5. Lambe, T. W. –The Engineering Behavior of Compacted Clays. Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE. Vol. 84, 1958.

6. Rico A. y Del Castillo H.-La ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres. –Tomo I, Capítulo IV. –Ed. Limusa 1976.

7. Broms B. B. and Forssblad, L. –Vibratory Compaction Cohesionless Soils. –Soil Dynamics Speciality Conference. VII Congreso Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones. –México, 1979.

8. Forssblad, L. –Vibratory Soil Compaction. Research Results and Practical Applications. –Publicación de A. B. Vibro-Verken. –Solna, Suecia, 1972.

9. Maranha das Neves, E. –Influenza das Tensoes Neutras Negativas nas Características Estructurais dos Solos Compactados. –Memoria N°386 del Laboratorio Nacional de Engenhiería Civil. –Lisboa, 1971.

10. Marsal, R. J. y Reséndiz, D. –Presas de Tierra y Enrocamiento. – Capítulo IX. –Ed. Limusa, S. A. –México, 1975.

AGRADECIMIENTO

Los autores desean expresar su agradecimiento a los Ings. Eligio Muñoz Ramírez y Mariano Rodríguez Elizalde, así como al equipo técnico de los laboratorios de Mecánica de Suelos, del departamento de Geotecnia, Dirección General de Servicios Técnicos, SAHOP, en donde se efectuaron todos los ensayes.

AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL EN CARRETERAS**

Alfonso Rico Rodríguez

En muchos países del área latinoamericana, africana y asiática, se presenta con frecuencia una falla en las carreteras de nueva construcción o en las que se reconstruyen y amplían por necesidades de un tránsito creciente.

Esta falla consiste en Ia aparición de una grieta o familia de ellas, con trazas muy próximas que se desarrollan sistemáticamente, a 1 ó 2 m del borde del terraplén, usualmente en el acotamiento, muy pegadas al fin de la carpeta. Estas grietas corren longitudinalmente durante cientos de metros o aun kilómetros en un curso muy regular, normalmente a los dos Iados de la carretera.

De no ser atendidas, su ancho y profundidad van creciendo y otras paralelas van apareciendo. Probablemente se deba a Ia acción del agua pluvial que las llena; su efecto final es la generación de fallas de talud que cae empujado por la acción de hidrostática del agua almacenada. Un importante efecto secundario es Ia destrucción de Ia uniformidad de Ia superficie del terraplén por desmoronamiento en los bordes de las fisuras, además de que éstas tienden a propagarse hacia el centro del camino, de no ser corregidas, destruyendo la superficie de rodamiento.

En resumen, el agrietamiento longitudinal destruye Ia carretera de no ser corregido a tiempo.

Ya se dijo que este deterioro se presenta tanto en carreteras nuevas, como en las antiguas que se reconstruyen, refuerzan o amplían. Esta última aparición es debida a Ia influencia de la compactación. Por lo menos en el área latinoamericana, que es Ia que me resulta familiar como ambiente de trabajo, ocurre que antaño la compactación se empleaba poco o no se empleaba, en la construcción de carreteras. En México, por ejemplo, Ia primera carretera compactada en el sentido actual del término, se comenzó en 1950. De esta manera, muchos de los caminos antiguos, que hoy han de ser modernizados y ampliados, estuvieron mal compactados. No he de insistir en cómo y cuánto la compactación aumenta Ia susceptibilidad de los suelos finos o con contenido apreciable de finos, al agrietamiento. Así, ocurre que un camino con 25 ó más años de uso, sin presentar agrietamiento longitudinal, se repara y moderniza y el agrietamiento se presenta con rapidez. Naturalmente, las ampliaciones y refuerzos se hacen empleando técnicas de compactación modernas y supuestamente adecuadas. Esta aparición de la falla causa una deficiencia estructural evidente, pero causa también un daño, quizá más grave, en la imagen de la técnica y de los técnicos actuales, que descomponen al tratar de arreglar los caminos modestos,

**Rico. A. (1987). Agrietamiento longitudinal en Carreteras. Tópicos de Geotecnia. Universidad Nacional Autónoma de México. Pp. 61-95.

pero a nivel de servicio tolerable, para sustituirlos por otros de mejor vista y mayor amplitud que en cambio se destruyen con rapidez.

Quizá no puedan entenderse las causas remotas del problema del agrietamiento longitudinal, sin insistir algo más sobre la evolución de las políticas de compactación de suelos en Latinoamérica y sin señalar algo sobre los materiales allí empleados para construir carreteras.

Algunos ingenieros que tenemos más años de servicio de los que nos gustaría especificar, recordamos cuando hace 30 ó 35 años Ia opinión mayoritaria de nuestros colegas se manifestaba contraria a Ia necesidad de compactar terraplenes. Decían entonces los viejos camineros que Ia compactación era una técnica novedosa y un poco esnobista, cuyo costo no se compensaba de ninguna manera por los beneficios alcanzados. En suma, una técnica exótica, ajena a Ia idiosincrasia nacional, que no valía Ia pena entronizar en el medio local. Un caso típico de Ia tenaz resistencia que Ia tradición y la costumbre suelen oponer a las novedades. Obviamente esta actitud no pudo durar mucho tiempo y la compactación se fue imponiendo, inclusive rápidamente, en todos los planes de construcción y, de hecho, como también es usual en estos casos, se produjo un movimiento pendular que llevó los criterios a la vertiente opuesta y la compactación se transformó en elemento indispensable y jamás faltante de la construcción de caminos. Debido en parte al vicio original de la definición de la compactación en términos de un mejoramiento del peso volumétrico de Ia tierra y en parte a una cierta falta de comprensión de la naturaleza del proceso, que nos aqueja a todos y en especial a muchos de nuestros colegas encargados de la construcción en el campo, las ideas evolucionaron hasta llegar a lo que yo considero la época de la "compactación a ultranza", en la cual cuanto más se compacte un material, las cosas resultarán mejor, independientemente de toda otra consideración y en la cual, Ia compactación ya no es un método más para mejorar las características de comportamiento mecánico de un suelo, sino con desgraciada frecuencia, el único tomado en consideración.

Añádase a lo anterior otra condicionante muy importante para definir el ambiente de Ia construcción de las carreteras en el área latinoamericana. Tradicionalmente, nuestras redes nacionales de caminos han sido de bajo tránsito; hoy las cosas van cambiando y en México, por ejemplo, ya tenemos carreteras con más de 20,000, 50,000 ó hasta 150,000 vehículos diarios, pero estos caminos representan aún ahora una fracción minoritaria de Ia red total, que quizá no alcance un 25% de ella. En otras naciones de Latinoamérica, los niveles de ocupación de las carreteras son más bajos. En el área latinoamericana aun es frecuente la construcción de vías con previsión de 500 ó 1000 vehículos al día o aún menos.

Además, existe una aguda conciencia del papel que juega el transporte en el desenvolvimiento social y aun político de los países en desarrollo. Esta conciencia lleva a una búsqueda compulsiva del costo inicial mínimo en las obras que se

ejecuten, criterio que se ampara en la idea de lo mucho que necesita realizarse para corregir tantas carencias ancestrales de la gente. En mi opinión, este criterio se está llevando demasiado lejos, con graves consecuencias, pues al cuidar excesiva y únicamente el costo inicial de las carreteras, se descuida el de su conservación y el de su operación. Esto, en países que se desarrollan con la rapidez con que hoy lo hace México, conduce a redes nacionales de transporte poco adecuadas al presente y conflictivas a un futuro que necesariamente verá volúmenes de tránsito y cargas que hoy apenas vislumbramos. En resumen, parece estarse olvidando la necesaria matización en la planeación y construcción de una red nacional de transporte carretero, en aras de considerar únicamente el mínimo costo inicial de cada carretera.

Esta ideología lleva a la aceptación de materiales para construcción de caminos que difícilmente pueden considerarse recomendables para tal fin. Es común el uso de materiales finos, con parámetros de plasticidad muy elevados. Por otra parte, es raro el uso de técnicas de protección de suelos en terracerías y pavimentos, como por ejemplo el subdrenaje. La utilización de suelos estabilizados es casi inexistente en carreteras.

Piénsese en el comportamiento de las vías terrestres; por un lado, la utilización frecuente de materiales de calidad dudosa y, por el otro, la idea de que la compactación es siempre mejor cuanto mayores los niveles de energía empleados. No es raro que los problemas de estabilidad volumétrica de terracerías y pavimentos ante la acción del agua, sean los más frecuentes en nuestros caminos. Naturalmente, la fatiga es otro problema importante en el 25 por ciento de la red a la que anteriormente me referí. Este es el ambiente en el que debe situarse el problema del agrietamiento longitudinal de terraplenes en el área latinoamericana.

El mecanismo del agrietamiento se ha concebido como sigue:

a) Previamente a la construcción de un camino, existe en cualquier punto del terreno natural un equilibrio hidráulico entre la evaporación superficial y el aporte a dicho punto de agua procedente de capas inferiores del subsuelo, sea por capilaridad o por ascensión del nivel freático en periodo de lluvias. La precipitación pluvial en la zona es otro elemento que contribuye al equilibrio general.
b) La colocación del terraplén de la carretera modifica ese régimen hidráulico, en el sentido de que impide la evaporación en el terreno situado bajo el terraplén. Esta es la razón por la cual el contenido del agua tiende a aumentar en los suelos que quedan bajo áreas impermeabilizadas, en climas de fuerte acción solar.
c) Si el terraplén que se coloca tiene una cantidad de finos suficientemente grande, su contenido de agua tenderá a aumentar por efecto del agua ascendente del subsuelo, sobre todo en la estación lluviosa. Por otra parte, si existe una acción solar intensa, lo que ocurrirá sobre todo en época de

sequía, se producirá evaporación de agua en los materiales que constituyen el terraplén. Sin embargo, esta evaporación no puede ser uniforme en todo el cuerpo del mismo, puesto que mientras los taludes constituyen una zona particularmente expuesta al fenómeno, por quedar los suelos en ellos más próximos a la frontera abierta al aire, el suelo en la parte central del terraplén está mucho más protegido, especialmente si existe un pavimento. Tiene lugar así un efecto de evaporación diferencial entre los suelos situados en los taludes y los del centro del terraplén. Es común observar que mientras durante la estación seca el contenido del agua en los taludes disminuye fuertemente, el de los suelos en el centro del terraplén se mantiene sensiblemente igual al que se tenía en la estación lluviosa e, inclusive se han reportado casos en que aumenta.

d) Cuando un suelo con abundantes finos pierde agua por evaporación, sufre procesos de contracción volumétrica. Así, al proceso de evaporación diferencial debe corresponder, como reflejo, un proceso de contracción diferencial. Los suelos situados en los taludes del terraplén se contraen más que los situados en las zonas centrales del mismo y este proceso de deformación diferencial produce el agrietamiento, tanto mayor cuanto más susceptibles sean los suelos empleados a los cambios volumétricos por secado. En cualquier sección transversal del terraplén, la zona de grietas aparecerá en algún lugar comprendido entre el centro y los hombros; como todas las secciones transversales en un tramo dado están en condiciones similares, la zona de agrietamiento coincidirá sensiblemente en todas ellas y en la carretera, como un todo, aparecerán entonces dos zonas de agrietamiento longitudinal, una a cada lado y corriendo en la dirección de la carretera.

e) Si el mecanismo anterior es razonable, las grietas se formarán al principio de la época de sequía, en forma relativamente brusca.

f) Se sabe que en el subsuelo, sobre el nivel de aguas freáticas, existe agua que prácticamente satura los vacíos hasta un cierto nivel, a partir del cual y hacia arriba disminuye el grado de saturación. Toda esta agua capilar se encuentra en tensión, la que aumenta al disminuir el grado de saturación. En la zona de saturación parcial, además del agua existe vapor de agua, cuya presión de vapor puede disminuir por evaporación superficial o por un descenso de la temperatura. En la parte baja de esta zona, ya relativamente cerca del límite en que la ascensión capilar produce saturación prácticamente total, aún existe continuidad en el agua, pero los esfuerzos efectivos ya no son los totales menos los del agua, puesto que ésta no llena la totalidad de los poros. En la parte alta de la zona de saturación parcial, el agua ya no presenta continuidad y el grado de saturación disminuye rápidamente hacia la superficie del terreno. Los movimientos del vapor de agua dependerán ahí del gradiente de presión de vapor que pueda existir. Si aumenta la tensión de vapor, por ejemplo por un aumento de la temperatura ambiente, se propicia la ascensión del agua en el terreno, disminuyendo el espesor de la capa de saturación parcial, pero al mantenerse en su frontera superior en contacto

con el aire, las mismas condiciones y por ende Ia misma tensión capilar (que depende del ambiente exterior y del tipo del suelo) la distribución de tensiones en el agua será mayor que la correspondiente a una ley lineal y deberá equilibrarse con una disminución del radio de los meniscos, estableciéndose así un flujo continuo de agua hacia Ia superficie del terreno, como es típico en las regiones áridas durante las épocas de sequía bajo intensa acción solar.

Al considerar el mecanismo y condiciones de falla atrás mencionados surgen como condiciones básicas para Ia aparición del agrietamiento longitudinal las siguientes:

1. Alternación de período lluvioso y seco, con acción solar intensa durante el período seco.
2. Acción capilar intensa, tanto en el terreno natural, bajo el terraplén, como en el propio terraplén. El nivel freático debe encontrarse relativamente próximo a la superficie del terreno natural, lo que ocurre en zonas planas y en depresiones.
3. Utilización de suelos con susceptibilidad a fuertes cambios volumétricos por cambios en su contenido de agua.

En la República Mexicana se dan con frecuencia las condiciones que producen el agrietamiento longitudinal. Esto, unido al empleo de suelos con contenido abundante de finos en terracerías y subrasantes y al uso sistemático de compactación, explica que el agrietamiento longitudinal sea un problema no imposible de apreciar en las carreteras mexicanas. Este hecho explica, a su vez, el interés que los ingenieros de México han puesto en el tema, el cual se viene investigando en México desde hace más de 10 años. La Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas del Gobierno Federal, por ella misma o a través del Instituto de ingeniería de Ia Universidad Nacional, en investigaciones patrocinadas o conjuntas, ha sido el principal canal para conducir ese interés. La investigación mexicana se ha realizado con vistas a cumplir tres objetivos estrechamente entrelazados, pero algo distintos en su matización:

1. Se ha hecho investigación para conocer las condiciones de campo en las que el agrietamiento ocurre, cómo evoluciona éste y qué medidas pueden tomarse para corregirlo cuando ya se presentó o para evitarlo o paliarlo, en proyectos nuevos.
2. Se ha hecho investigación experimental para establecer cuáles son los suelos más comúnmente asociados al problema del agrietamiento y para desarrollar criterios que permitan detectarlos oportunamente, tratando de desarrollar métodos que permitan clasificar a los suelos de acuerdo con su susceptibilidad al fenómeno.
3. Se ha hecho investigación teórica para conformar los mecanismos generadores del problema y ver cómo estos se relacionan

cuantitativamente con las condiciones de campo y sus cambios.

I. Investigación en el campo

En los principios de Ia investigación se realizó mucho trabajo tendiente a conocer cómo reacciona el suelo y un terraplén, en cuanto a cambios volumétricos, al pasar con la relativa brusquedad que es usual en México, de una estación seca a otra francamente lluviosa. La Fig. 1 ilustra un caso típico, representativo por los demás de muchísimos otros: presenta las expansiones sufridas por una carretera típica construida sobre material arcilloso, con un terraplén del orden de 1.5 m de altura, también formado por un suelo con un muy apreciable contenido de finos. Puede verse cómo el terreno natural muestra expansiones intensas al final del período de lluvias (línea punteada), respecto a una posición inicial, obtenida al final del periodo de la sequía (líneas llenas); debe notarse la influencia del préstamo lateral demasiado cercano a la sección que se inundó. Resalta lo poco que se movió el cuerpo del terraplén propiamente dicho, en comparación a sus taludes y al terreno natural. Este esquema concuerda con las hipótesis sobre la situación formulada más atrás.

Existen también numerosas investigaciones de campo sobre los cambios en los contenidos de agua en los terraplenes y en los suelos de cimentación, obtenidos por medio de investigación directa, que incluye toma de muestras y pruebas de laboratorio. A este respecto, la figura 2 muestra una secuencia típica. La figura superior corresponde a un terraplén de unos 4 m de altura, que se construyó con una arena arcillosa, producto de la desintegración y descomposición parcial de una caliza; el terraplén tiene una zona interior de arcilla franca, descomposición final de la misma roca. Se trata de un caso de modernización y ampliación, en el cual un terraplén original de arcilla fue recubierto y protegido por la arena arcillosa. El terraplén se apoya en la misma arcilla que constituye el terreno natural. Los números entre paréntesis corresponden a los contenidos de agua al fin de Ia construcción y, climatológicamente, el caso corresponde al final de la época lluviosa. En esta etapa, se dejó la superficie del terraplén sin recubrir. La arena arcillosa se compacto al 95 por ciento del peso volumétrico seco máximo Proctor estándar, con humedad óptima de 17.5 por ciento y la arcilla inferior estaba compactada al 90 por ciento respecto al mismo estándar, con humedad óptima de 37.5 por ciento.

Fig. 1. Movimientos del suelo en una sección natural

FASE I: Terraplén sin protección. Al final de la época de lluvias.

FASE II: Terraplén sin protección. Al final de la época de estiaje.

FASE III: Terraplén poco protegido. Al final de la época de lluvias.

Fig. 2. Secuencia de cambios volumétricos para un terraplén carretero

La figura inmediatamente inferior muestra el mismo terraplén sin revestir tal como se encontraba al final de la época de sequía. Los números entre paréntesis representan los contenidos de agua ahora medidos y los números sin paréntesis representan los porcentajes de cambios volumétricos que tuvieron lugar en el terraplén. Nótese que el primitivo terraplén arcilloso no cambia su contenido de agua, a diferencia del terreno natural y de la arena arcillosa.

Al final de esta época de sequía, se revistió la superficie de rodamiento de terraplén; las condiciones mostradas en la figura 3 corresponden al final de la época de lluvias siguiente. De nuevo los números entre paréntesis representan los contenidos de agua medidos en el cuerpo del terraplén y en el terreno natural. Los números sin paréntesis representan los cambios volumétricos que tuvieron lugar, ahora expansiones. Nótese la mayor expansión ocurrida en la zona de taludes y, desde luego, las grandes expansiones que tienen lugar en el terreno natural, sobre todo en el no protegido. Nótese también como el contenido de agua en el interior del terraplén se mantuvo por abajo de la humedad óptima, en tanto que en la zona de los taludes llega a ser bastante mayor. El potencial capilar puede explicar el ligero aumento en el contenido de agua del terraplén original de arcilla, con respecto a la humedad original.

A continuación se pavimentó el terraplén con una carpeta asfáltica. La figura 4, inferior, muestra las medidas realizadas al final de la siguiente época de sequía. Nuevamente los números entre paréntesis representan los contenidos de agua, en tanto que los números sin paréntesis muestran contracciones volumétricas cuando tienen signo negativo, y expansiones cuando tienen signo positivo. Es evidente que al final de la época de sequía, en el terraplén protegido por carpeta asfáltica se mantuvo el contenido de agua en el terraplén o aún crecía ligeramente, en tanto que se desecaron y contrajeron las zonas de los taludes. En el terreo natural se secó fuertemente la zona no protegida por el propio terraplén.
La secuencia anterior de información, que es representativa de todas las secciones investigadas, respalda vigorosamente la concepción que se había expuesto sobre el fenómeno.

Otro trabajo de campo que merece ser mencionado es el conjunto de medidas de resistividad eléctrica que se realizaron en varias secciones de control colocadas en diversos caminos que mostraban agrietamiento. El objeto era, naturalmente, determinar indirectamente el contenido de agua en muchos puntos y su variación estacional por medio de una prueba no destructiva. El procedimiento de medición fue convencional, mediante la colocación de electrodos de resistividad en el cuerpo del terraplén.

La figura 3 muestra resultados típicos obtenidos en un terraplén de 14 m de ancho y 3 m de altura, construido con un material que posee un 35 por ciento de arcilla y que descansa sobre un terreno natural que es arcilloso y activo.

Fig. 3. Medidas de resistividades típicas en un terraplén carretero

La parte superior de la figura proporciona las medidas de resistividad al final del periodo de sequía, en tanto que la inferior da los valores de la misma sección al fin del periodo de lluvias. Una vez más se ve que el secado del terraplén afecta la zona de los taludes, pero no es relevante en el centro del cuerpo; también se ve cómo el terreno natural tiende a secarse fuertemente por evaporación cuando no está protegido por el terraplén. En las zonas de los taludes, la resistividad puede aumentar hasta el doble tras la época de sequía, lo que indica una disminución correspondientemente en los contenidos de agua.

II. Investigación en el laboratorio

A. Trabajos dirigidos por A. Rico y R. V. Orozco en Ia Secretaría de Obras Públicas del Gobierno Federal Mexicano.

Mencionaré aquí los realizados con materiales usuales en Ia construcción de caminos en Ia zona de la Península de Yucatán. Los materiales objeto del estudio fueron dos. Uno es una arcilla de alta compresibilidad y otro es una arena calcárea, limosa o arcillosa; ambos son producto de Ia desintegración o de la descomposición de Ia roca caliza que es característica de la zona cárstica yucateca.

La arcilla representa básicamente los terrenos naturales más conflictivos, aunque, como se vio atrás, puede figurar en los terraplenes en casos de reconstrucciones. La arena es el material básico de terraplén usado en la zona. La Tabla que aparece resume algunas propiedades de los dos materiales.

Suelo	Muestra	LL %	LP %	lp %	LC %	Coloides %	S_s %	O.M. %	CO_3Na_2 %	CO_3HN_a %	CLN_a %	Expansión potencial de acuerdo con Holtz y Gibbs
Arena arcillosa	Alterada	31	20	11	18	7	2.74	2	70	0.7	0.06	Moderada a media
Arcilla natural	Inalterada	94	37	57	13	59	2.39	22	--	07	0.07	Alta a muy alta
		III	38	73	3	74	2.36	19	--	0.4	0.08	Muy alta
		II2	34	78	10	37	2.38	12	--	0.7	0.06	Muy alta
Arcilla compactada	Alterada	88	36	52	--	56	--	--	--	--	--	Alta a muy alta
		103	37	56	--	66	--	--	--	--	--	Muy alta
		125	41	84	--	64	--	--	--	--	--	Muy alta
		95	34	61	--	--	2.48	--	--	--	--	Alta a muy alta
		98	29	69	--	--	2.45	--	--	--	--	Alta a muy alta
		122	26	96	--	--	2.39	--	--	--	--	Muy alta
		115	28	87	--	--	2.38	--	--	--	--	Muy alta
		116	31	85	--	--	2.40	--	--	--	--	Muy alta

LL= Límite líquido, LP=Límite plástico, lp=Índice de plasticidad; LC = Límite de contracción, Ss = Densidad de Sólidos; OM = Contenido de materia orgánica

Fig. 4. Propiedades del suelo

Realizando pruebas de expansión en el expansiómetro de Hveem fue posible obtener las llamadas trayectorias "compactación-contenido de agua". Estas curvas se generan como sigue. Se seleccionó el peso volumétrico seco máximo Proctor estándar como referencia, de manera que lo que se llama "porcentaje de compactación" es la relación entre el peso volumétrico que se tiene en un determinado momento y la referencia. Diferentes muestras de arena y de arcilla fueron compactadas, generalmente del lado seco y puestas en el expansiómetro de Hveem, permitiéndose su expansión libre, hasta llegar a una condición final que se llamó de saturación. En todos los casos se vio la evolución del peso

volumétrico con el cambiante contenido de agua y esa evolución es a lo que se le denomina una "trayectoria", de la que se obtiene una para cada muestra probada.

La figura 5 muestra lo que pudiera llamarse la trayectoria típica en estos suelos particulares. Naturalmente cuanto más horizontal es la trayectoria, el suelo es menos susceptible a los cambios volumétricos. Es de notar que las familias de trayectorias realmente obtenidas mostraron notablemente consistencia con las que ahora se presentan como trayectorias típicas. Las trayectorias obtenidas en la arena y en la arcilla compactada fueron rectas, en tanto que en la arcilla natural resultaron ligeramente curvas, curvatura que se ha omitido en la trayectoria tomada como representativa.

Se consideró que la fórmula que se muestra también en la figura 5 constituye una relación que expresa los cambios volumétricos sufridos por el suelo en comparación con los grados de compactación inicial y final de cada muestra, siempre refiriendo cada grado al peso volumétrico seco máximo Proctor estándar. Para hacer aplicable la fórmula en un caso de campo, debe seleccionarse la trayectoria que contenga las condiciones iniciales de compactación y contenido de agua del suelo específico que se desee estudiar. En tal caso, las trayectorias proporcionan un criterio para poder estimar cuál va a ser el porcentaje de cambio volumétrico de ese suelo cuando su contenido de agua varíe. En este sentido han sido utilizadas en problemas de diseño, permitiendo hacer estimaciones razonables del comportamiento futuro y, desde luego, muy útiles.

No es difícil obtener la expresión 2 que aparece en la misma figura 5 de la expresión 1. En la fórmula 2, w es el máximo contenido de agua que se espera que llegue a tener en el terraplén el suelo analizado y w_i es el contenido inicial de agua de ese suelo, que probablemente será la humedad óptima de compactación en el campo; K es un parámetro adimensional que depende de la inclinación de la trayectoria con que se trabaje y del grado de compactación inicial del suelo. El interés de la expresión 2 es que permite establecer un criterio de proyecto para fijar el grado de compactación y el contenido de agua que debe darse a un suelo al tenderlo en un terraplén para minimizar su susceptibilidad a los cambios volumétricos. Como ilustración en la figura 6 se muestran curvas que relacionan el valor de K como el contenido de agua inicial, para el caso de la arena limosa o arcillosa de la que se viene hablando. Esta gráfica proviene de una investigación de laboratorio que es preciso hacer en un expansiómetro que proporcione los cambios volumétricos del suelo al pasar su contenido de agua de un cierto valor inicial a la condición final o de saturación en el expansiómetro.

Fig. 5. Curvas de compactación-contenido de agua

Fig. 6. Valores de K para diferentes contenidos iniciales de agua y compactación

Por ejemplo, si la humedad óptima de compactación del material en el campo va a ser 17.5%, en la figura se ve que con 96% de compactación inicial se tiene un valor de K de 6.5, pero con 100% de compactación inicial, la K se reduce a 3.5. Con estos valores de K y una estimación del contenido de agua que alcanzará el suelo en el terraplén, la ecuación 2 permite calcular los cambios volumétricos que corresponden a las dos compactaciones, viéndose en este caso particular que una compactación de 96% es más conveniente que una de 100%. La forma complicada de las curvas que proporcionan el valor de K hace ver que no existe una relación evidente, ni aun sencilla, entre el grado de compactación que se dé al suelo en el terraplén y el cambio volumétrico que pueda sobrevenir, para cada suelo particular y en cada condición específica. Creo que esto confirma una sensación que debe ser común a todos los ingenieros de caminos y, a la vez, una justificación para emprender en cada proyecto una laboriosa investigación como la que aquí se ha reseñado.

B. Trabajos dirigidos por Jesús Alberro en el Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Estos trabajos estuvieron fundamentalmente orientados a conocer la susceptibilidad a la deformación volumétrica de los suelos que usualmente se emplean en la construcción de terraplenes, con respecto a su contenido de agua y peso volumétrico iniciales.

En este caso se mencionará una investigación llevada a cabo en dos materiales, ambos con clasificación CH en la Carta de Casagrande, con L.L. = 85% y 79%, respectivamente; I.P. = 55% y 47% y L.C. que resultó ser de 13.7% en ambos casos.

La investigación se condujo en el laboratorio sobre especímenes compactados con energías de 7.5 kg-cm/cm^3 en el primer material y con energías de 1, 3.3, 7.5 y 30.1 kg-cm/cm^3, en el material dos. Las pruebas de expansión volumétrica se llevaron a cabo durante la realización de pruebas triaxiales hechas a especímenes compactados con las diferentes energías, con distintos contenidos de aguas iniciales y utilizando diversas presiones de cámara y también diversas contrapresiones.

La figura 7 muestra las expansiones volumétricas exhibidas por el material dos, compactado con tres energías diferentes, en función del contenido de agua inicial y la figura 8 da la expansión volumétrica de los mismos especímenes en función de la presión efectiva de confinamiento, utilizada en el aparato triaxial.

Las pruebas de expansión se complementaron con pruebas de contracción por secado lento al ambiente.

En el trabajo de Alberro se reportan los siguientes puntos de interés como resultado del trabajo experimental.

1. Influencia del peso volumétrico inicial

Según se ve en la figura 7, para un mismo contenido de agua de compactación, las muestras más densas mostraron mayor expansividad, lo cual concuerda con todos los resultados reportados en la literatura. Las curvas de expansión tienen una envolvente común, lo que indica que la expansión de todas las muestras formadas con un contenido de agua superior al óptimo correspondiente, depende preponderantemente del contenido de agua de compactación.

Fig. 7. Expansión vs contenido inicial de agua

2. Influencia del contenido de agua de compactación

La expansión volumétrica aumenta cuando disminuye el contenido de agua con que se forma el espécimen. Este hecho ha sido también ampliamente reseñado en la literatura.

3. Influencia de la estructura de la muestra

Es sabido que los suelos inalterados se expanden menos que los suelos compactados, para un mismo contenido de agua. También se sabe que la estructura de un suelo compactado está ligada a la posición de ese suelo dentro de su curva de compactación. El hecho ha sido ampliamente comentado en la literatura tradicional y los trabajos de Maranha das Neves, en Lisboa o los de Lambe, en el M.I.T., los cuales han sugerido la formación de estructuras floculadas en suelos compactados con humedades menores que las óptimas y de estructuras

crecientemente orientadas, cuando el contenido de agua de formación vaya siendo mayor que el óptimo.

La investigación reciente realizada en México sobre comportamiento de suelos finos compactados sugiere que la descripción de la estructura de estos suelos en términos de la posición y relaciones de sus partículas individuales no es factible y que la estructura de los suelos finos compactados es ante todo una cuestión del acomodo y las ligas entre grumos y no entre partículas. En este momento, se hacen esfuerzos en México para tratar de establecer las estructuras que forman los grumos. Parece que para contenidos de agua superiores al óptimo todos los suelos finos llegan a estructuras prácticamente idénticas, independientemente de la energía de compactación; por el contrario, para contenidos de agua de formación del espécimen inferiores al óptimo, la estructura adquirida por los grumos del material o los nexos que entre esos grumos se desarrollan, son muy diferentes y dependen fuertemente de la energía de compactación, de manera que las mayores energías conducen al desarrollo de mayores presiones capilares y osmóticas, que, a su vez, desencadenarán expansiones mayores cuando por humedecimiento, se disipen.

4. Influencia de la presión confinante

La expansión de un suelo compactado con un cierto contenido de agua y un peso volumétrico iniciales, disminuye notablemente cuando aumenta la presión confinante efectiva, según hace ver la figura 8. Al aumentar la presión confinante efectiva disminuye el llamado contenido de agua de equilibrio, a partir del cual la muestra, en contacto con agua libre, aumenta su grado de saturación, pero sin variar su volumen.

Fig. 8. Expansión vs presión efectiva de confinamiento

5. Influencia del tiempo de reposo

Al aumentar el lapso que separa la preparación de la muestra con su contenido de agua de compactación y Ia compactación efectiva de la misma, disminuye su potencial de expansión. Este fenómeno ha de relacionarse con las propiedades tixotrópicas de las arcillas. Al crecer la resistencia al cortante de las muestras al instante de la compactación, disminuye la efectividad de la energía y se logran pesos volumétricos menos elevados; correspondientemente, disminuye el potencial de expansión.

El resultado final de los trabajos de Alberro consistió en Ia obtención de ecuaciones que relacionan los cambios volumétricos de los suelos en expansión y contracción con índices de comportamiento sencillos de los mismos, tales como el índice de plasticidad, el contenido de agua inicial, el peso volumétrico inicial, el límite de contracción, etc. Para ilustrar el grado de efectividad de estas ecuaciones, me permito mostrar la figura 9, con los resultados logrados en la predicción de expansiones en suelos empleados en Ia construcción de una carretera en México. Cabe aclarar que se comparan las expansiones predichas con las medidas en laboratorio.

Las ecuaciones de Alberro han sido publicadas en las Memorias del Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos, recientemente celebrado en Lima.

Fig. 9. Cambios volumétricos calculados y observados

III. Desarrollo de un modelo matemático, representativo del fenómeno del agrietamiento longitudinal

Dentro de las investigaciones patrocinadas por Ia Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas para ser desarrolladas en el Instituto de ingeniería de Ia UNAM, de manera coordinada por ambas Instituciones, se juzgó importante desarrollar un modelo fisicomatemático del problema del agrietamiento longitudinal en terraplenes.

Para ello fue necesario estudiar:

a) La distribución de los esfuerzos y de los desplazamientos inducidos en un terraplén, al imponer a éste o a su terreno de cimentación, deformaciones volumétricas de contracción o expansión.

b) Las deformaciones volumétricas de los suelos en función de su contenido de agua y de su peso volumétrico iniciales.

c) La distribución y la variación del contenido de agua de los suelos constitutivos del terraplén y del terreno de cimentación, al sobrevenir los cambios estacionales.

Para llegar a un modelo que fuera capaz de conjuntar racionalmente los tres puntos anteriores, se llevó a cabo un estudio utilizando el método del Elemento Finito. Se trataba de determinar la magnitud de los desplazamientos, de los esfuerzos efectivos y de las presiones de poro generadas, por efecto de los cambios volumétricos ocurridos en la masa del suelo. Se utilizó una malla de elementos triangulares. En la formulación matricial del problema se introdujo:

- Una matriz de rigidez del conjunto de los elementos triangulares, en términos de los esfuerzos efectivos.

- Una matriz de relación entre la deformación volumétrica de los triángulos y los desplazamientos de los nudos.

- Una matriz de relación entre el volumen de cada triángulo y la presión de poro.

- Una matriz de fuerzas de peso propio y sobrecargas.

- Una matriz de las deformaciones volumétricas impuestas a los elementos.

Pudo llegarse a un modelo de computadora tal que al ser alimentado con las expansiones y contracciones de los materiales del terraplén y del terreno de cimentación, proporcionase la magnitud de Ia distribución de los esfuerzos de

tensión generados. La utilidad del modelo es doble, como suele suceder en este estilo de simulaciones de los fenómenos físicos. AI alimentarlo con datos reales, obtenidos de mediciones de campo en terraplenes existentes, permite calcular las tensiones generadas. En terraplenes en proyecto, en donde conocidas las propiedades de los materiales y utilizados los criterios atrás expuestos, puedan estimarse los cambios volumétricos, el modelo permitirá llegar a una idea de los esfuerzos de tensión que se producirán y de su distribución. Pero además de esta utilización obvia, como se dijo, los modelos de este estilo tienen otra que parece no menos útil. Gracias a la facilidad de cálculo que Ia computadora representa, puede alimentarse el modelo con datos inventados, de manera que es posible ir adquiriendo una sensación muy valiosa del peso relativo de cada uno de los parámetros que intervienen y de sus relaciones. Con ello, el criterio de los proyectistas gana en sensibilidad y matización.

Se consideró, en términos generales, el 20 por ciento como la expansión o contracción máxima que sería posible llegar a presentarse en un problema real, y cero como las mínimas. Es curioso hacer notar que, alimentado con datos provenientes de observación de obra, el modelo llega a proporcionar esfuerzos de tensión principal efectiva máxima de 75 kg/cm^2, lo que sobra para explicar los efectos de agrietamiento observados.

Las figuras 10, 11 y 12 muestran los esfuerzos de tensión proporcionados por el modelo, en kg/cm^2, al suponer una zona de expansión en el centro y bajo el terraplén y una zona de contracción en los taludes y en el terreno natural no cubierto por el propio terraplén. Las magnitudes de las expansiones y contracciones supuestas aparecen en cada figura.

De acuerdo con los resultados del modelo:

1. Las máximas contracciones tienen mayor influencia en el desarrollo del agrietamiento que las máximas expansiones.
2. Es mucho más significativo el cambio volumétrico diferencial en el cuerpo del terraplén que en el terreno de cimentación.

Ambas conclusiones están sobradamente fundamentadas por la observación de campo. Se han visto grietas en terraplenes de suelo fino apoyados en roca, lo que naturalmente no es una situación común, pero en estos casos, las grietas siempre son de menor abertura, pues falta la aportación de agua del subsuelo, que es la gran alimentadora del proceso de un cambio volumétrico importante.

Los valores corresponden a esfuerzos de tensión, en kg/cm²

FIG. 10

FIG. 11

FIG. 12

Fig. 10, 11 y 12. Esfuerzos principales de tensión

IV. Soluciones utilizadas ante el problema del agrietamiento

Obviamente hay dos casos de interés:

1. Corrección del problema en terraplenes ya construidos.

2. Proyecto de nuevos terraplenes no susceptibles al fenómeno o protegidos contra él.

En lo que respecta al primer tipo de soluciones, se han utilizado fundamentalmente dos: una es la ampliación de la sección completa, en un ancho de 2.00-3.00 m a cada lado del terraplén; esta solución no impide el agrietamiento, pero aleja las grietas de donde más daño pueden hacer; otra solución ha sido proteger los terraplenes con taludes sobrepuestos a los existentes y con mayor inclinación (de 3:1 a 5:1). Se ha visto que esta solución es más económica que la anterior y da mejores resultados, pues ahora las grietas aparecen sobre los taludes adosados, donde su daño es mínimo, especialmente si se vegetan, de tal manera que esta solución parece no requerir ninguna conservación posterior. También se ha observado que, como resulta lógico, la vegetación es un elemento que ofrece muchas ventajas y que, inclusive, puede ser suficiente en problemas de poca virulencia.

Respecto a la construcción de nuevos terraplenes, una manera obvia de protegerlos es la utilización de materiales no susceptibles a cambios volumétricos, pero esta solución no está siempre en concordancia con los requerimientos de costo que frecuentemente se tienen en caminos de baja ocupación. La construcción de una capa rompedora de capilaridad, con 20 ó 25 cm de espesor y muy porosa, se ha revelado siempre como una solución totalmente segura y confiable; desgraciadamente también es cara y difícilmente se justifica en carreteras modestas. En México, el uso de telas de plástico o elementos afines se halla en sus primeras etapas de experimentación.

En algunas ocasiones se han construido terraplenes nuevos con las normas de protección mencionadas para corregir el agrietamiento en terraplenes construidos con anterioridad.

Un criterio que merece un comentario adicional es el que se refiere a la estabilización de suelos muy susceptibles a los cambios volumétricos, por medio de la incorporación de pequeños porcentajes de otros suelos. Es realmente sorprendente el resultado tan económico y excelente que puede llegar a obtenerse al investigar sistemáticamente estas posibilidades, por lo que es recomendable que el proyectista tenga siempre esta línea de acción como alternativa en su proceder.

En México existen una gran cantidad de carreteras en operación y de tramos de

prueba que avalan el valor relativo de las diferentes soluciones que se han ido ocurriendo para estos problemas.*

*Esta conferencia fue pronunciada en París en julio de 1981 y fue organizada por la escuela politécnica de Francia y de Ingenieros de Puertos y Calzadas en París.

EFECTO DE ROTURA DE GRANOS EN CAPAS DE BALASTO BAJO CARGA REPETIDA**
CRUSHING OF BALLAST UNDER REPEATED LOADING

A. Rico, P. Garnica, J.A. Gómez y L.E. Suárez

SINOPSIS. Los autores presentan una serie de ensayes, de compresión confinada y bajo carga repetida, en material basáltico triturado utilizado para construir las capas de sub-balasto y balasto de una vía férrea. Se pone en evidencia la rotura de granos por medio de una comparación de curvas granulométricas antes y después del ensaye, y se cuantifica dicha rotura por medio del coeficiente de rotura de granos definido por Marsal, 1965. Se muestra que un material con una granulometría uniforme sufre una rotura de granos mucho mayor que un material bien graduado, lo que permite sugerir el uso de granulometría bien graduadas en las especificaciones para balasto, contrariamente al material sumamente uniforme recomendado actualmente a nivel mundial.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la sección típica de una vía férrea está estructurada a partir del terreno de cimentación, por un cuerpo de terraplén, una capa subrasante, una capa de sub-balasto y una capa de balasto. De entre estas capas es la del balasto la que juega el papel más importante, ya que es ella la que distribuye la carga de trenes sobre las capas inferiores, drena el agua de la vía y permite el nivelado y el alineado de la misma. Las especificaciones para balasto se han establecido desde hace mucho tiempo, en México hace aproximadamente cuarenta años, sin que hasta la fecha hayan sufrido ninguna modificación y sin que, hasta donde se sabe, se haya dedicado a este tema un monto de reflexión correspondiente a su importancia.

En la actualidad todos los balastos que se recomiendan en el mundo consideran un material sumamente uniforme, comprendido entre las mallas de 64 mm (2 ½") y la de 4.76 mm (No. 4). A este material se le encuentran algunos defectos básicos (I.M.T., 1991):

- La extrema uniformidad de los granos hace que el contacto entre ellos ocurra a través de pocos puntos, con lo que las cargas de los ferrocarriles modernos y los efectos dinámicos correspondientes producen muy altos esfuerzos en esos contactos que propician la ruptura de las partículas y aún el flujo de plástico entre ellas, con el consiguiente aumento de la deformabilidad y disminución de resistencia.

**Rico. A., Garnica, P., Gómez, J.A. y Suárez, L.E. (1995). Efecto de rotura de granos en capas de balasto bajo carga repetida. X Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones. Vol. 1. Guadalajara, México. P.397-404.

- La misma granulometría uniforme en exceso es inconveniente desde el punto de vista de la posibilidad de la incrustación del balasto en capas subyacentes.

Por otra parte, en México actualmente el ferrocarril está en condiciones de trasmitir a las terracerías un esfuerzo elevado debido a que sobre el riel la carga por eje es hasta de 36.3 toneladas.

En este trabajo se presenta primeramente algunos antecedentes sobre el tema, describiendo enseguida el material y el ensaye de rotura de granos utilizados y finalmente se discuten la importancia e implicaciones de los resultados obtenidos.

2. ANTECEDENTES

Los suelos granulares son moderadamente comprensibles bajo altas presiones, y la compresión y deformación que sufren son acompañadas por el rompimiento de las partículas del suelo. El campo de la ingeniería civil donde más se ha estudiado este fenómeno es, sin duda, el campo de las presas, donde un aspecto práctico del rompimiento de las partículas y la degradación de los suelos a altas presiones se relaciona al diseño de drenes de grava y filtros de suelos en presas de tierra de gran altura. En arenas, el rompimiento de partículas ha sido observado por autores como Terzaghi *et al,* 1948, Roberts *et al,* 1958 y Hall *et al,* 1963, todos ellos citados por Lee *et al.* En enrocamientos, los trabajos pioneros de Marsal, 1965, permitieron establecer que la rotura de granos depende fundamentalmente del tamaño de las partículas, de su distribución granulométrica y de la relación de vacíos en menos grado. Esto llevó a pensar en la intensidad de las fuerzas intergranulares como factor determinante de la rotura de granos, la magnitud de dichas fuerzas está ligada al número de contactos por unidad de superficie, la cual está función de la granulometría del material y de la relación de vacíos. Así entonces, los datos disponibles indican que la compresión y el rompimiento de las partículas, en materiales granulares, parecen ser aceleradas por la adición de agua y por los factores siguientes:

- Incremento en la uniformidad de una muestra de suelo,
- Incremento del tamaño de las partículas,
- Incremento en la angularidad de las partículas,
- Reducción de la resistencia individual de las partículas,
- Aumento de la presión de confinamiento y
- Incremento en el esfuerzo cortante a una presión de confinamiento.

Sobre la base de consideraciones de resistencia, balastos bien graduados son mejores que los de granulometría uniforme. Sin embargo, otros factores tales como la durabilidad y segregación de tamaños deberán considerarse en la selección de tamaños. Más investigación sobre estos factores es necesaria antes

de poder establecer una granulometría óptima. Otros factores como las características esfuerzo-deformación y resistencia pueden gobernar la selección del tamaño. En este trabajo se estudia únicamente la influencia de la granulometría en la rotura de granos en material de balasto.

3. MATERIAL UTILIZADO

El material utilizado fue balasto triturado que cumple con los requisitos de peso, de desgaste, de intemperismo acelerado, de forma de partícula y de índice de durabilidad, especificados por las Normas de Materiales de Construcción de La Secretaria de Comunicaciones y Transportes (S.C.T.) de México, según se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Pruebas de calidad del material de balasto utilizado.

Requisitos	**Valor**	**Norma Mexicana S.C.T.**
Peso volumétrico seco Suelto (kg/m^3)	1425	1100 mínimo
Desgaste en la prueba Los Ángeles (%)	21,5	40 máximo
Intemperismo acelerado (%)	16,3	10 máximo
Forma de Partículas (%)	82,5	60 máximo
Índice de Durabilidad (%)	56	35 mínimo

Se utilizaron dos granulometrías, una corresponde a un material uniforme (denominado D4), y que cumple con las Normas de Calidad de Materiales de la S.C.T. y otra que corresponde a un material bien graduado (GW) y que ha sido propuesta por el Instituto Mexicano del Transporte (I.M.T.). Las curvas granulométricas correspondientes se muestran en la Fig. 1. Se considera que las permeabilidades correspondientes a esas curvas son suficientes para cumplir la función de drenaje.

Fig. 1. Curvas granulométricas utilizadas para el conformado de las probetas.

4. MÉTODO DE PRUEBA Y RESULTADOS

Las probetas se conforman, con una dosificación de tamaños correspondientes a una de las dos curvas granulométricas que se muestran en la Fig. 1, colocando el material en un molde cilíndrico de 30 cm de diámetro (D) y 50 cm de altura. Dado que el tamaño máximo (Tmáx) de agregados es de 1 ½", la relación D/Tmáx es tal que el efecto de escala se considera despreciable (Marsal, 1972). El molde de prueba se coloca entonces en un marco de carga (Instron Modelo 8500) que va a transmitir a la probeta una carga repetida, con una señal de forma trapezoidal, de 12 toneladas con una frecuencia de 1.2 Hertz. Dicha carga es la obtenida considerando a la máquina más pesada que circula actualmente sobre las vías férreas mexicanas. En este estudio se han considerado constantes la magnitud de la carga y la frecuencia.

Después de realizada la prueba, con una duración definida, se realiza un análisis granulométrico para compararlo con el inicial. Como medida de rotura de granos se tomará el parámetro denominado B por Marsal, 1965, y que se define como la suma de las diferencias de un mismo signo, entre los porcientos retenidos en cada malla de la muestra original y los del espécimen después de ser ensayado.

La tabla 2 muestra un ejemplo de determinación del parámetro B, obsérvese que la suma de las diferencias positivas y la de las negativas son en valor absoluto iguales; por lo tanto, ambas representan al parámetro B. Se le atribuye a B el signo positivo cuando ocurra fragmentación de partículas (rotura de granos), y el negativo para el caso, poco común, de aglutinarse los granos (Marsal, 1965).

Tabla 2. Ejemplo de determinación del parámetro B de rotura de granos (Marsal, 1965).

Malla No.	% **retenido antes de la prueba**	**% retenido después de la prueba**	**Diferencias %**	**% que pasa después del ensaye**
1"	5	4,74	0,26	95,26
¾"	37	37,62	-0,62	57,64
½"	33	28,52	4,48	29,12
3/8"	17,5	16,54	0,96	12,58
No. 4	7,5	10,04	-2,54	2,54
Pasa No. 4	0	2,54	-2,54	--

B=5,7

La Fig. 2 muestra la evolución de la rotura de granos (parámetro B), en función del tiempo de duración de la prueba, para el material de balasto con granulometría uniforme (denominada D4). Se utilizaron tiempos de duración de 2, 4, 8, 16 y 24 horas; la rotura de granos tiende a estabilizarse a partir de 20 horas de duración.

En la misma gráfica se muestran los resultados de dos series de ensayes diferentes, en la primera las partículas están directamente en contacto con el molde (serie de ensayes sin teflón) y la segunda se utiliza una placa antifriccionantes (serie de ensayes con teflón). El uso de la placa antifriccionante permite una mejor distribución de esfuerzos dentro de la probeta y una rotura de granos más homogénea. Las placas de teflón son cuadradas, de cinco centímetros de lado, y se colocan sobre las paredes del molde donde previamente se ha aplicado una capa de grasa. Sin el uso de la placa de teflón la rotura de granos aumenta ya que la mala distribución de esfuerzos produce concentraciones excesivas de éstos en ciertas zonas dentro de la probeta, es lo que se conoce como fenómeno de arqueo.

Para una duración de prueba de 24 horas la rotura de grano obtenida con las dos granulometrías que se muestra en la Fig. 1, se observó efectivamente (ver Fig. 2) que en un material bien graduado la rotura de granos es inferior a la obtenida con un material uniforme.

En la Fig. 3 se muestran los pesos volumétricos obtenidos antes y después de la realización de la prueba de rotura de granos bajo carga repetida, es necesario señalar que en la gráfica los pesos volumétricos muestran una tendencia a estabilizarse, esto independientemente de la rotura de los granos arrojada al final de la prueba. Nótese que los pesos volumétricos iniciales y finales para el material bien graduado son bastante mayores a los correspondientes al material uniforme.

Fig. 2. Evolución de la rotura de granos en el material de balasto utilizado.

Fig. 3. Pesos volumétricos antes y después de los ensayes de rotura de granos.

En la Fig. 4 se puede observar la deformación que sufre la muestra de balasto para las condiciones de prueba ya señaladas. Además, la curva obtenida para el caso del balasto uniforme (Normas S.C.T.) sin placa antifriccionante indica que los esfuerzos debidos a la aplicación de la carga no fueron bien distribuidos pues

presenta quiebres notorios, reflejándose esto en la rotura de granos. Por el contrario, la curva para el caso en que se usó teflón muestra una tendencia lineal, de tal modo que hubo una mejor distribución de esfuerzos en la muestra.

Fig. 4. Deformación de la muestra en las pruebas de rotura de granos.

La variación de la relación de vacíos Δe (Fig. 5), antes y después de la prueba, permite tener una idea de los posibles asentamientos que se presentarían por el efecto de rotura de granos. Es claro que en un material de balasto bien graduado, los asentamientos estimados serían del orden de la mitad de los que se obtendrían en un material uniforme. Las implicaciones prácticas son importantes, sólo en lo que a mantenimiento se refiere, el ahorro que se obtendría en reposición de balasto para calzar y dar nivel nuevamente a los rieles, sería considerable.

El uso de material de balasto bien graduado permitiría también importantes ahorros durante la etapa de construcción de una vía férrea, ya que los procesos de trituración y cribado para la obtención de material de balasto con una granulometría uniforme son muy costosos.

Para vías férreas que soportarán el paso de cargas superiores a los 30 millones de toneladas netas/año, incluyendo las vías electrificadas, el Instituto Mexicano del Transporte (IMT, 1991) propone para balastos, además del uso de granulometría bien graduadas como la que se muestra en la Fig. 1, espesores mínimos de 20 cm, un peso volumétrico seco mínimo de 1800 kg/m^3, un porcentaje máximo de partículas angulosas del 90%, un índice de durabilidad mínimo del 50% y un porcentaje máximo en la prueba de desgaste Los Angeles del 50%. Se recomienda también la trituración del material de balasto a partir del tamaño

máximo de 38 mm, lo que es compatible con colocación manual o con equipo.

Fig. 5. Diferencias en las relaciones de vacíos inicial y final observadas en las pruebas de rotura de granos.

5. CONCLUSIONES

Este trabajo recoge la iniciativa del Instituto Mexicano del Transporte tendiente a la necesidad de conocer a detalle el fenómeno de rotura de granos en el material granular utilizado en la construcción y mantenimiento de las vías férreas. La experiencia ha mostrado la importancia que ejerce la rotura de granos en material de balasto, debido principalmente a que el material utilizado es uniforme en la granulometría, por lo que se presenta pocos contactos entre sus partículas originándose una alta concentración de esfuerzos por las cargas que transmite el ferrocarril. Lo anterior provoca el rompimiento de partículas, en algunas ocasiones excesivo, de tal modo que origina desalineamiento y pérdida de la rasante poniendo en riesgo la seguridad en el transporte de bienes y personas a través de ferrocarril.

Los resultados presentados en este trabajo avalan la recomendación de utilizar granulometría bien graduada, contrariamente a las uniformes mundialmente utilizadas, que sin dejar de cumplir la función de drenaje ya que la permeabilidad sigue siendo la apropiada, disminuye el fenómeno de la rotura de granos y también los gastos ocasionados en el mantenimiento y construcción de vías férreas. El estudio de los otros factores que influyen en la rotura de granos, origen geológico, forma de partícula, etc., está actualmente en investigación.

6. RECONOCIMIENTO

Para la realización de este trabajo se contó con la asesoría del Ing. Jesús Alberro del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

7. REFERENCIAS

Instituto Mexicano del Transporte (I.M.T.) (1991), “Manual de calidad para Materiales en la Sección Estructural de Vías Férreas”, Documento Técnico 2, Querétaro, Qro., México.

Lee K.L., Farhoomand I., “Compressibility and crushing of granular soil in anisotropic Triaxial compression”, *Canadian Geotechnical Journal,* Volumen IV, No. 1, Canada.

Marsal R.J. (1965), “Investigaciones sobre el comportamiento de suelos granulares y muestras de Enrocamiento”, Comisión Federal de Electricidad, México.

Marsal R.J. (1972) “Resistencia y comprensibilidad de enrocamientos y gravas”, Publicación 306, Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (S.C.T.) (1981), “Normas de Materiales de Construcción”, Libro VIII, México.

CONSIDERACIONES SOBRE DEFORMACIONES PERMANENTES EN MATERIALES GRANULARES**

Paul Garnica Anguas, Alfonso Rico Rodríguez y José Antonio Gómez López

Resumen

En este trabajo se presentan algunos resultados de un estudio experimental destinado a arrojar luz sobre algunos aspectos de la deformabilidad de materiales granulares comúnmente utilizados en la construcción de carreteras. En el trabajo se manejan cuatro granulometrías (tamaños máximos de partícula de 38 mm y mínimos de 0.074 mm) de un material basáltico triturado y con ellas se fabricaron especímenes de 30 cm de diámetro que fueron sometidos en laboratorio a repeticiones de carga en condiciones de compresión confinada. Los resultados muestran que la deformación permanente a la que llega el material granular queda definida por el esfuerzo máximo que se le aplique. Cualquier número de repeticiones adicionales de un esfuerzo menor posteriormente aplicado o cualquier secuencia de esfuerzos crecientes que llegue al máximo previamente ejercido ya no inducen deformaciones posteriores. Además, la estabilidad de una capa granular bajo carga repetida parece ser mayor en granulometrías uniformes que en granulometrías bien graduadas. Del estudio realizado parece desprenderse un criterio que induzca a potenciar la compactación inicial de capas granulares sujetas a esfuerzos repetidos (caso de las carreteras) y a buscar granulometrías iniciales relativamente uniformes.

1. INTRODUCCIÓN

El comportamiento mecánico de materiales granulares sin finos (tamaños mayores que la malla No. 200) tiende a ser objeto de interés creciente en aplicaciones diferentes como problemas de flujo de agua, licuación, filtro, etc., que de alguna manera se han venido manejando desde épocas anteriores. La atención actual se refiere al comportamiento masivo de esos materiales en cimentaciones, estabilidad de tierra y particularmente, en problemas de diseño y construcción de pavimentos. Probablemente la preocupación más importante de la profesión no esté hoy en problemas de resistencia, puesto que se acepta que con un grado de compactación razonable, y fácil de proporcionar, se puede llegar a resistencias también razonables para muchos fines; quizá la preocupación más central en torno al uso de esos materiales está en su deformabilidad, especialmente bajo

**Garnica, P., Rico, R.A. y Gómez, J.A. (2000). Consideraciones sobre deformaciones permanentes en materiales granulares. XX Reunión Nacional de Mecánica de Suelos. Vol. 1. Oaxaca, Oaxaca, México. P.39-42.

cargas repetidas aún en casos en que éstas no sean espectacularmente grandes y estén notoriamente por debajo de límites de falla.

Actualmente los tráficos que resisten las carreteras exigen unas condiciones de rodamiento muy estrictas, so pena de caer en costos de operación muy elevados para las necesidades de cualquier sociedad. En este trabajo se presentan algunos resultados destinados a arrojar luz sobre algunos aspectos de la deformabilidad de materiales granulares (en la investigación, tamaño máximo de 38 mm), seleccionados hasta el tamaño correspondiente a la malla 200, que tradicionalmente se ha considerado como límite superior de los suelos “finos”.

En el trabajo se manejan cuatro granulometrías de un material basáltico triturado artificialmente, con las granulometrías que muestra la Figura 1. Las cuatro variantes del material fueron sometidas en laboratorio a repeticiones de carga en condiciones de compresión confinada, utilizando una máquina universal INSTRON. En todos los casos se utilizó una frecuencia de 1 ciclo por segundo y se hizo variar en los diferentes ensayes el número de tales ciclos y la magnitud de la carga aplicada bajo la que se produjo la vibración.

Se presentan algunos resultados que se espera arrojen alguna luz sobre el comportamiento de los materiales granulares sujetos a condiciones de carga que pueden ser representadas por el modelo.

Figura 1. Curvas granulométricas de los materiales estudiados

2. DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

El material se colocó en todos los casos en un molde cilíndrico de 30 cm de diámetro y 50 cm de altura. El material se dispuso en el molde en tres capas iguales, empleando una muestra total de 50 kg en cada espécimen. En todos los casos se recubrió la superficie interna del molde con una capa de teflón, a fin de aislar el espécimen en lo posible, minimizando cualquier efecto local del contacto con la pared del molde. La muestra dentro del molde se sujetó a la carga repetida (un ciclo por segundo) que proporcionó una máquina universal INSTRON, empleando diferentes niveles de esfuerzo, variando entre 60 y 1000 kPa.

Las cuatro granulometrías manejadas tienen la composición que se desprende de la Figura 1. En todas las pruebas se continuó la aplicación de la carga dinámica hasta que se alcanzó sin lugar a dudas la deformación permanente a que se llegó en cada caso.

Durante todos los ensayes se midieron las deformaciones permanentes verticales de las muestras bajo la carga y la recuperación instantánea de la misma al cesar la acción de la carga en cada ciclo.

En total se realizaron 9 pruebas sobre especímenes con la granulometría G1 (variando los niveles de esfuerzos). De esas pruebas, 4 se hicieron con un nivel de esfuerzo único en todo el desarrollo de la prueba; las otras 5 se hicieron con niveles de esfuerzo variables, obteniendo gráficas escalonadas.

Se realizaron 6 pruebas con la granulometría G2, 7 pruebas con la G3 y 4 con la granulometría G4. También en esos casos hubo algunas pruebas con aplicación de niveles de esfuerzo variables.

La consistencia formal de todas las gráficas que representan el conjunto de experimentos realizados, es tal que a juicio de los autores, debe bastar reflexionar sobre algunas de ellas. En este trabajo se enfocó la presentación de resultados con relación a la granulometría G1 aunque se harán algunos comentarios pertinentes sobre lo obtenido en las otras tres granulometrías

3. RESULTADOS EN CUANTO A DEFORMACIÓN PERMANENTE

La Figura 2 ejemplifica el resultado general obtenido por esta investigación. Indica como los primeros ciclos de carga conducen a una deformación permanente que para efectos prácticos ya no cambia con cualquier aumento de repeticiones de la

misma carga.

Figura 2. Evolución de la deformación de un material granular para un esfuerzo vertical de 1074 kPa y granulometría G1

La Figura 3 muestra otro tipo de resultados consistentemente obtenidos en los trabajos que se describen en este artículo. Se compara la deformación permanente a la que llega un espécimen bajo diferentes cargas (707 kPa y 251 kPa, ambas con la granulometría G1). El patrón de evolución de la deformación es prácticamente el mismo para ambos niveles de esfuerzos. La figura muestra una gráfica de deformación permanente aplicada por tres cargas diferentes, crecientes, en el caso de la carga aplicada de 251 kPa. Ahora es notable y también es un resultado consistentemente encontrado en otras pruebas que no se muestran en este trabajo, que la deformación permanente a que se llega es prácticamente la misma si todo el proceso de repetición de carga se hace desde un principio con la carga máxima o se llega a dicha carga máxima con cargas crecientemente escalonadas. Esto es más consistentemente cierto cuanto más uniforme sea la granulometría que se prueba. La Figura 4 muestra para la granulometría G4 la deformación permanente a la que se llega en pruebas bajo cargas aplicadas decrecientes desde 1073 kPa a 275 kPa. El material alcanzó la máxima deformación permanente en los primeros 100,000 ciclos de carga. Después se redujo el nivel de la carga máxima aplicada en forma escalonada, observándose

que no ocurre ninguna deformación permanente adicional. A continuación se elevó la carga bajo la que se hace el experimento a valores cercanos a los de la carga máxima inicial (hasta 806 kPa) observándose que la deformación permanente tampoco sufrió variación en este proceso de “recarga”. Tal parece que si el suelo granular alcanza una deformación permanente determinada, bajo una cierta carga, esa deformación ya no será sobrepasada por ningún número de ciclos de una carga menor o igual que la primera.

Figura 3. Evolución de la deformación permanente acumulada en ensayes con granulometría G1 y diferentes niveles de esfuerzo

Figura 4. Evolución de la deformación permanente para una secuencia de esfuerzos de 1073, 806, 543, 275, 539 y 806 kPa en material G4

Un resultado importante a juicio de los autores que parece que debe ser analizado al mismo tiempo que el que acaba de ser comentado, se presenta en la Figura 5, en la que se relaciona la deformación permanente a la que se llega estando el espécimen sometido a un esfuerzo repetido de 550 kPa, pero variando la relación de vacíos inicial del experimento. En el caso de la figura presentada (consistente con los resultados obtenidos en pruebas similares en las otras granulometrías y cargas repetidas manejadas) se comparan pruebas realizadas en especímenes con relación de vacíos inicial en el orden de 0.5 con otras cuya relación de vacíos inicial fue del orden de 0.6. Puede verse que diferencias en la relación de vacíos inicial tan pequeñas como 0.1 basten para producir diferencias en la deformación permanente obtenida del 100%. Este resultado hace ver la fundamental importancia de la compactación inicial en el comportamiento de capas granulares sujetas a cargas repetidas. En términos de peso volumétrico seco, equivale a decir que la deformación permanente que sufren los especímenes en las condiciones de pruebas descritas se duplica cuando el peso volumétrico seco del material (granulometría G1) pasa de 1.7 ton/m^3 a 1.8 ton/m^3.

Finalmente, puede ser de interés la información que se desprende de la Figura 6 en la que se observa la deformación acumulada de tres muestras, correspondientes a tres granulometrías (ver Figura 1). Puede observarse que la deformación permanente sufrida por el material es mayor cuanto mejor graduado

sea. Ello hace ver que desde el punto de vista de utilización en carreteras las granulometrías uniformes son las que mayor garantía de estabilidad ofrecen a largo plazo.

Figura 5. Deformación permanente acumulada en material con granulometría G1 y diferentes valores de relación de vacíos iniciales, con esfuerzo vertical de 550 kPa

Figura 6. Evolución de la deformación permanente en muestras con diferente granulometría y sometidas a un esfuerzo de 251 kPa

4. CONCLUSIONES

1.- En el empleo de materiales granulares compactados el paradigma de diseño debe estar enfocado hacia la deformación permanente y no tanto a la resistencia.

2.- La deformación permanente a la que llega un material granular queda definida por el esfuerzo máximo que se aplique al material. Cualquier esfuerzo menor posteriormente aplicado o cualquier secuencia de esfuerzos crecientes que llegue al máximo previamente ejercido ya no inducen deformaciones posteriores.

3.- La compactación inicial de una capa define la deformación permanente máxima bajo un esfuerzo repetido.

4.- La estabilidad de una capa granular bajo carga repetida parece ser mayor en granulometrías uniformes (menores contenidos de partículas de tamaños comparativamente pequeño) que en granulometrías bien graduadas. Este hecho parece inducir a la conveniencia de aplicar normas más estrictas en el sentido que se desprende de lo anterior, en las curvas que normalmente se aceptan en las especificaciones de construcción de casi todas partes.

De lo anterior parece desprenderse un criterio que induzca a potenciar la compactación inicial de capas granulares sujetas a esfuerzos repetidos (caso de las carreteras) y a buscar granulometrías iniciales relativamente uniformes. Esta conclusión final parece inducir los criterios a buscar materiales gruesos en capas granulares, relativamente resistentes a la degradación bajo carga repetitiva.

ALGUNAS DIVERGENCIAS ENTRE PRÁCTICAS COMUNES DE COMPACTACIÓN Y LO QUE LA INVESTIGACIÓN PARECE INDICAR**

Alfonso Rico Rodríguez

RESUMEN: Se evoca la importante contribución de Raúl J. Marsal a la tecnología de compactación de suelos. Una parte de esos trabajos se realizaron par la actual Secretaría de Comunicaciones y Transportes y están, lógicamente, enfocados hacia el proyecto y la construcción de vías terrestres.

De la información arrojada por las investigaciones realizadas en el Instituto de Ingeniería bajo la dirección de Marsal se desprenden recomendaciones prácticas que los ingenieros de laboratorio y campo dedicados a las vías terrestres deberían invariablemente de guardar, aunque en algunas ocasiones no se guarden con el cuidado debido. Por esta razón se ha dado al trabajo una forma en la que se comparan las recomendaciones convenientes con las normas de trabajo práctico a veces no tan cuidadosas, esa comparación se presenta bajo el nombre genérico de discrepancia.

Se espera que el trabajo cumpla una función de utilidad y que sirva para recordar las importantes contribuciones de Raúl J. Marsal a la compactación de suelos.

1. PROPÓSITO

Cuando se observa la práctica de compactación en el campo y en el laboratorio y se la compara con la información confiable que ha ido produciendo la relativamente escasa investigación seria que se ha hecho sobre este proceso de uso casi universal, no puede dejar de observarse algunas discrepancias importantes. En algunos casos se trata de prácticas de laboratorio establecidas por añejadas tradiciones, emanantes de juicios basados en una experiencia nunca comprobada; en otros casos son seguramente falsas interpretaciones de fenómenos no bien estudiados y, finalmente, algunos casos procederán de no haber retirado a tiempo prácticas que parecían razonables antes de sobrevenir conocimientos posteriores.

De ninguna manera pretende este trabajo ser original. Su función principal es evocar la contribución de Raúl Marsal a estos temas, que no fue escasa, que siempre fue original y también siempre importante. En segundo lugar, si este trabajo cumpliera una cierta función de difusión didáctica habría llenado todas las aspiraciones de su autor.

Debe decirse de una vez por todas que casi todos los detalles finos de información que se citan en este escrito provienen del conjunto de trabajos realizados por

**Rico, R.A. (1992). Algunas divergencias entre prácticas comunes de compactación y lo que la investigación parece indicar. Volumen Raúl J. Marsal. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. P.265-273.

Marsal y sus colaboradores para la actual Secretaría de Comunicaciones y Transportes (1992). La referencia más consultada fue El Comportamiento de Suelos Cohesivos Compactados (J. Alberro, R.J. Marsal y M.J. Mendoza. Publicación 493 del Instituto de Ingeniería de la UNAM, 1985); otras referencias más especificadas también se mencionarán al final.

En tanto no se diga otra cosa este trabajo se refiere a suelos cohesivos.

2. PRIMERA DISCREPANCIA. EN LOS OBJETIVOS DE LA COMPACTACIÓN

En contra de toda lógica, muchas definiciones escritas y muchas acciones de campo apoyan la creencia de que para vastos sectores de la profesión el objetivo de la compactación es establecer un peso volumétrico en el suelo, con la aparente creencia implícita de que cuanto mayor sea éste, se tendrá un más favorable comportamiento de campo (1).

Obviamente el pensamiento actual establece que la compactación tiene por objetivo mejorar propiedades de comportamiento mecánico claramente identificadas, entre las que suele mencionarse la resistencia, la deformabilidad, las características esfuerzo-deformación, la permeabilidad, la flexibilidad y la resistencia a la erosión principalmente.

Es sabido el papel histórico del peso volumétrico en el desarrollo de los trabajos de compactación y la utilidad actual del concepto como base de pago y como índice representativo de la descripción del suelo con vistas a comparaciones relativas.

La investigación actual indica que no existe ninguna correlación confiable (y menos, segura) entre el peso volumétrico que adquiere un suelo y las propiedades mecánicas alcanzadas. El conocimiento actual hace ver que un enorme número de parámetros ajenos a la simple evolución del comportamiento de los suelos cohesivos compactados. Las referencias 2, 3 y 4 permiten obtener abundante información suplementaria sobre este básico aspecto. También se mencionará en otras partes este escrito.

3. SEGUNDA DISCREPANCIA. NO ESPECIFICAR EL CONTENIDO DE AGUA CON EL QUE SE COMPACTA

En muchos trabajos importantes de compactación no se tiene suficiente control (y a veces, casi ninguno) sobre el contenido de agua con el que se compacta en el campo.

Evidentemente, todo lo que se ha investigado hasta este momento sobre compactaciones indica que la influencia de este valor es decisiva en los resultados obtenidos y en el control de proceso, siendo uno de los mecanismos más propicios

para ajustar los resultados obtenidos en el campo a los efectos deseados. A despecho de que la importancia del contenido de agua en los resultados de la compactación aparecerá en todo lo que sigue, parece conveniente presentar aquí las Figs. 1 y 2 que la ilustran algunos de los aspectos prácticos de agua de compactación altamente relevante.

La Fig. 1 hace ver como se relaciona el contenido de agua con la energía de compactación (que se hace crecer en las sucesivas curvas de peso volumétrico máximo también creciente); estas relaciones permiten obtener resultados equivalentes en el campo con equipos y operaciones de diferente energía, sin más que variar convenientemente los contenidos de agua y también permiten ver como dentro de límites muy amplios se puede ajustar el proceso a contenidos de agua determinados variando la energía empleada.

Fig. 1. Diagrama cualitativo de γ_d vs w para diversas energías de compactación.

La Fig. 2 detalla este tipo de relaciones para aumentos de energía logrados con incrementos del número de pasadas o variaciones en la presión de inflado de llantas neumáticas. Las Refs. 3 y 5 detallan más este asunto.

A la luz de toda la información disponible debe considerarse como inadecuado un proceso de compactación en el que no se lleve un estricto control del contenido de agua de compactación y sus cambios.

Fig. 2. Efecto de la presión de inflado, del número de pasadas y de la humedad de compactación.

4. TERCERA DISCREPANCIA. ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE LA ESTRUCTURA DE SUELOS FINOS COMPACTADOS

Es cierto que el ingeniero que compacta en el campo no suele mostrar mayor interés por la estructura (arreglo y disposición de las partes sólidas cristalinas) que adquieran los materiales que compacta, a despecho de que para cualquier ingeniero debe ser una idea primaria que el arreglo y conexiones de las piezas estructurales ha de ser vital para definir el comportamiento conjunto. De hecho, en rigor, esta discrepancia podría decirse que surge más entre las ideas aún recientes de muchos investigadores y las concepciones actuales. Hasta hace poco tiempo se hablaba de estructuras de los suelos finos en términos del arreglo y disposición de sus partículas individuales; se mencionaban las estructuras orientadas y floculadas como las más típicas (Refs. 3, 4 y 5).

En la actualidad se piensa que las partículas individuales de los suelos arcillosos se agrupan en unidades (paquetes) con fuerzas de interconexión muy superiores a las que puedan ejercer los métodos de compactación; de hecho estos paquetes submicroscópicos, se integran a su vez en flóculos que forman grumos, ya perceptibles a simple vista. Se piensa que la estructura mecánica queda determinada por las interrelaciones entre esos paquetes y, sobre todo, entre los grumos.

El contenido de agua se considera un elemento esencial del funcionamiento estructural, en el sentido de que cuando son bajos limitan el desarrollo de capas de agua en la superficie de los grumos y proporcionan altas concentraciones de iones, reforzando los nexos electrónicos entre ellos, en tanto que contenidos de agua altos conducen al efecto contrario, así puede explicarse las grandes diferencias que se obtienen al compactar de la misma manera en el lado seco y en el lado húmedo de la curva de compactación o al utilizar diferentes métodos de compactación.

Investigaciones recientes realizadas en el Instituto de Ingeniería de la UNAM (Ref. 4, también citadas en la Ref. 5) hacen ver la importante diferencia que en resistencia y otras propiedades se obtiene al compactar de la misma forma un mismo suelo en el que se han permitido diferentes grados de aglomeración particular.

No resulta fácil todavía incorporar estos resultados a los métodos de compactación de campo o a los de proyecto basados en pruebas de laboratorio, tal como ahora se realizan, pero la importancia de estos efectos hace urgente completar la investigación necesaria.

5. CUARTA DISCREPANCIA. OPINIÓN COMÚN DE QUE AL CAMPACTAR SUELOS FINOS, CUANTO MAYOR SEA EL PESO VOLUMÉTRICO ALCANZADO, SE OBTIENE MENOS COMPRENSIBILIDAD

El comentario que desea hacerse está orientado a alertar al ingeniero de campo contra los problemas de la sobrecompactación y en este sentido podrá agruparse con algunas otras discrepancias que se tratarán más adelante en este mismo escrito. En todas ellas, el mensaje que se trata de transmitir es que el cumplimiento de los objetivos fundamentales de la compactación exige un cuidadoso equilibrio entre muchos factores contradictorios y que el exceso de compactación, además de dispendioso, puede ser fuente de graves problemas de comportamiento.

En lo referente al planteamiento de la presente discrepancia se mencionará el hecho de que la compactación excesiva puede llevar a los materiales finos a condiciones de deformabilidad bajo carga altamente perjudiciales. La Fig. 3 es un modo no único de comprobar la información anterior.

Dos muestras de un mismo suelo compactado por el mismo peso volumétrico seco, pero seleccionadas una en la rama húmeda y otra en la rama seca de la curva de compactación se colocan en condición de libre acceso al agua y sin restricción externa a cambio volumétrico. Puede verse que la muestra compactada del lado seco adquiere un potencial de succión muy importante que la lleva a manifestarse una alta expansividad, en tanto que la muestra compactada del lado húmedo tiene una gran tendencia a conservar, bajo las condiciones señaladas, el estado adquirido por la compactación inicial. En otras palabras un suelo fino intensamente compactado puede convertirse fácilmente en un material altamente expansivo, que al absorber agua muestre una comprensibilidad mucho mayor a la que se tendría con un grado de compactación inicial menor. Las Refs. 4 y 5 permitirán detallar estos aspectos.

Fig. 3. Comprensibilidad y expansividad de un suelo arcilloso compactado a una misma relación de vacíos con contenidos de agua a ambos lados del óptimo.

La Ref. 1 hace ver que especialmente en suelos finos con minerales muy sensibles al agua, como la montmorilonita o la bentonita, una compactación intensa del lado seco, seguido de una absorción posterior de agua, puede conducir al suelo compactado, cuando sobre él actúan presiones por material sobreyacente y otros efectos externos, a un verdadero colapso estructural capaz de producir deformaciones de importancia. Tales minerales propician la formación de flóculos y grumos muy sensibles a la acción del agua.

Al quedar sujetos a presiones los grumos se debilitan en sus nexos estructurales, cuando por efecto natural de tales presiones externas disminuye la tensión del agua contenida en sus poros. En la misma Ref. 1 se hace ver que aún con contenidos de agua de compactación cercanos al óptimo pueden presentarse ligeros colapsos estructurales si la absorción de agua se efectúa bajo cargas axiales reducidas, lo que podría contribuir a explicar fenómenos de agrietamiento (por ejemplo longitudinal en terraplenes de escasa altura).

Otro importante resultado mencionado en la Ref. 1 se refiere al comportamiento anisotrópico de los suelos activos en cuanto a deformabilidad, cuando se compactan del lado húmedo; ocurre entonces que la deformabilidad vertical es mayor que la horizontal. En la rama seca, el comportamiento en cuanto a anisotropía es mucho menos sistemático.

La Fig. 4 establece la importante influencia del método de compactación (comparando en este caso el de amasado con el de compactación estática) en las características de contracción y expansión de los suelos finos. La influencia del contenido de agua de compactación destaca también como importante.

Fig. 4. Expansión y contracción de una arcilla arenosa compactada estáticamente y por amasado.

Finalmente, la Fig. 5 indica el tipo de relación que se establece entre la presión de expansión que puede generar un suelo compactado y las condiciones de la propia compactación (en este caso compactación estática), corroborándose una vez más que en muchas circunstancias comunes, el empleo de energías de compactación intensas, especialmente asociado a una falta de control en el contenido de agua del proceso, puede generar problemas de deformabilidad muy serios, especialmente en etapas subsecuentes de la vida de la estructura a la que se integre el suelo compactado.

Fig. 5. Relación entre presión estática de compactación y la presión de expansión en una arcilla.

6. QUINTA DISCREPANCIA. LA CREENCIA COMÚN ENTRE LOS INGENIEROS DE CAMPO DE QUE CUANTO MÁS SE COMPACTE UN SUELO, MAYOR ES LA RESISTENCIA ADQUIRIDA

Los comentarios que se harán respecto a este importante tópico enfocarán únicamente a la resistencia a la compresión simple o a la resistencia triaxial no drenada, probablemente los dos índices más utilizados en valuaciones relacionadas con obras lineales.

La Fig. 6 (Ref. 4) ejemplifica la información obtenida en el laboratorio en el sentido de que la resistencia a la compresión simple crece con la energía de compactación empleada (impactos, en el caso de la figura) y disminuye substancialmente, para grados de saturación del suelo altos; tendencias análogas se manifiestan para todos los métodos de compactación. Se señala también en la misma Ref. 4 que muy altas energías de compactación empleadas en tan fuerte remoldeo de la estructura de grumos, que llegue a causar una disminución de la resistencia y un aumento en la deformabilidad, este hecho debe relacionarse con el hecho ya mencionado de que en el lado húmedo tiende a disiparse las tensiones capilares en el agua entre grumos, favoreciéndose así el mencionado remoldeo y la pérdida de nexos estructurales. Nótese también que el aumento de la resistencia a la compresión simple con la energía de compactación pudiera ser un efecto inicial en el suelo, especialmente si el material ha sido compactado con

bajos contenidos de agua, el efecto del aumento de resistencia podría evolucionar a drásticas disminuciones de la misma cuando el suelo absorbiese agua.

El efecto del método de compactación, de la energía empleada y del contenido de agua en la resistencia a la compresión simple se especifica en la Fig. 7 (Ref. 1) para una arcilla activa. Puede verse de nuevo como la resistencia aumenta cuando el contenido de agua de compactación disminuye, si bien para contenidos de agua del orden del óptimo de compactación y mayores esa resistencia vuelve a disminuir.

Fig. 6.Resistencia no confinada en función de γ_d para valores diferentes G_w.

Fig. 7. Resistencia a la compresión simple q_u para distintos tipos de compactación, en función del contenido de agua de compactación w_c (Ref. 1).

La misma Ref. 1 hace ver que los resultados son bastante similares para los diferentes métodos de compactación.

En referencia a la también comentada evolución de la resistencia por absorción de agua, son de señalar los resultados mostrados en la Fig. 8 que explican claramente las disminuciones de resistencia que se tiene al incrementar la energía de compactación, especialmente aplicada con bajos contenidos de agua.

Las Figs. 9 y 10 (Refs. 3 y 5) muestran el comportamiento típico de suelos arcillosos compactados en prueba triaxial sin consolidación y sin drenaje. Se muestran líneas que unen puntos de igual resistencia en kg/cm^2 y para dos presiones de confinamiento en la cámara. Obsérvese en primer lugar que la evolución de la resistencia no drenada es fundamentalmente una función del contenido de agua de compactación, pero debe notarse que sobre todo para la mayor presión de confinamiento, la resistencia correspondiente a cada contenido

de agua de compactación es independiente del peso volumétrico alcanzado en el proceso; este efecto se produce también aunque en forma un poco menos notoria para presiones de confinamiento muy pequeñas. Lo anterior hace ver una vez más que el aumento de peso volumétrico obtenido con la compactación no siempre se refleja en un incremento en la resistencia del material compactado.

El efecto del método de compactación en la resistencia no drenada de los suelos finos aparece abordado por las gráficas de la Fig. 11 (Refs. 2, 3 y 5). El método de compactación actúa en forma importante sobre la estructura a que llega el suelo compactado, y como es lógico e inclusive intuitivo, este influye poderosamente en la resistencia alcanzada. El mensaje principal de la Fig. 11 es que cualquier análisis de laboratorio para fines de proyecto con materiales compactados deberá de utilizar el mismo método de compactación utilizado posteriormente en el campo. Desde este importante punto de vista, las pruebas de compactación de laboratorio más lógicas resultarán ser las de amasado y las de impactos (Refs. 2 y 4).

Fig. 8. Ensayes de succión en un suelo fino activo [CH] (Ref. 1).

Fig. 9. Líneas de igual resistencia a la compresión en prueba rápida, sin saturación previa y con presión confinante de 4 kg/cm^2.

Fig. 10. Líneas de igual resistencia a la compresión en prueba rápida, sin saturación previa y con presión confinante de 1 kg/cm^2.

Fig. 11. Efectos de procedimientos de compactación en la resistencia en prueba rápida (saturación previa de muestras compactadas a mismos γ_d y w) con compactación estática y de amasado.

7. SEXTA DISCREPANCIA. LAS TÉCNICAS DE LABORATORIO NO SIEMPRE CONCUERDAN CON LO QUE EL CONOCIMIENTO ACTUAL INDICA

Según se sabe hoy, el peso volumétrico obtenido con la compactación aumenta con el porcentaje de las partículas gruesas que hay en el suelo hasta un cierto límite, arriba del cual disminuye; el aumento señalado es tanto más acusado cuanto más variado sea la granulometría de los gruesos. Lo anterior hace ver como objetable una práctica bastante usual de laboratorio, según la cual la fracción retenida en una cierta malla (frecuentemente la de 3/4"), se retira y es reemplazada en la muestra por el mismo peso de material de tamaños menores (también frecuentemente entre la ¾" y la No. 4).

En muchos suelos muy activos y en suelos residuales se manifiestan fuertes tendencias a la formación de grumos cuando se permite su secado, lo que hace variar la granulometría de sus gruesos. No es extraño entonces que los resultados de las pruebas de compactación varíen con cualquier cambio del contenido de agua que suceda durante períodos de tiempo en los cuales el material esté almacenado. Este efecto es detalladamente estudiado en la Ref. 1, de la que aquí se toma la Fig. 12. En dicha figura se presentan resultados de dos pruebas de compactación por impactos, una con material previamente secado al ambiente y otra con el material natural sin secado previo. El material muestra pesos volumétricos menores para cualquier contenido de agua de compactación.

En la misma referencia se hace ver que las máximas resistencias a la compresión simple de ambas muestras son similares, si bien en contenidos de agua mayores. Estos resultados han sido reportados para otros suelos volcánicos residuales (Ref. 1).

Fig. 12. Efecto del contenido de agua inicial en los resultados de la compactación. (Ref. 1).

En el secado previo de un material residual antes de someterlo a una manipulación normal para realización de pruebas de compactación en el laboratorio, parece inducir (Ref. 1) un efecto de endurecimiento en los grumos por preconsolidación debida a succión y hace aparecer la posibilidad de cementación por depósito de sales. Los suelos con menor contenido de almacenamiento muestran sistemáticamente mayores pesos volumétricos en la rama seca y resistencias a la compresión simple más grandes cuanto menor contenido de agua al fin de dicho período de almacenamiento. Ello es debido a que la compactación se hace menos efectiva cuanto más secos estén los grumos (en consecuencia, más endurecidos) y ello produce mayor resistencia a la compresión y mayor peso volumétrico.

Todo lo anterior indica la necesidad de controlar la humedad adquirida por el suelo durante el período de almacenamiento anterior a la compactación.

La propia Ref. 1 hace ver que también influye en los resultados de la compactación el tiempo de curado, o sea el que transcurre entre el momento en que se añade agua a la muestra y el de su compactación, durante el cual se permite una distribución uniforme del agua. Se ha visto que las mayores diferencias en el peso volumétrico y en la resistencia a la comprensión simple se presentan cuando varía el tiempo de curado, en la rama seca de la curva de compactación.

Parece conveniente fijar el tipo de curado; en la Ref. 1 se propone un día, atomizando el agua por añadir al material almacenado a punto de neblina.

El tiempo de reposo, que transcurre entre la compactación y el inicio de las pruebas de resistencia parece ser también de importancia en los resultados obtenidos y, por ende, debe ser también controlado, lo que no es práctica usual, para obtener pruebas repetibles con resultados comparables. En la Ref. 1 se define una relación Rq como el cociente de la resistencia a la compresión simple determinada en muestras con un contenido de agua y un tiempo de reposo t y la misma resistencia con el mismo contenido de agua para un tiempo de reposo de 30 minutos. Se reporta que Rq puede llegar a ser el orden de 2.5 para 500 días de tiempo de reposo; el efecto, es tanto mayor cuando mayor sea el contenido de agua de compactación. También la deformabilidad del suelo varía notablemente con el tiempo de reposo.

REFERENCIAS

Alberto, J., Marsal R.J. y Mendoza, M.J.- Comportamiento de Suelos Cohesivos Compactados.- Publicación No. 493 del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M.- México, D.F.-1985.

Marsal, R.J. y Reséndiz, D.- Presas de Tierra y Enrocamiento.- Editorial Limusa.- México, D.F.- 1975 (De particular interés el Capítulo 9).

Rico A. y del Castillo H.- La ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres.- Tomo I.- Capítulo IV.- Editorial Limusa,- México, D.F.- 1984.

Mendoza, M.J.- Enfoques Recientes en la Compactación de Suelos.- Trabajo elaborado para el Instituto Mexicano del Transporte en 1991.

Rico, A. y del Castillo H.- Consideraciones sobre Compactación de Suelos en Obras de Infraestructura de Transporte.- Publicación del Instituto Mexicano del Transporte.- Querétaro, 1992.

CONSIDERACIONES SOBRE COMPACTACIÓN DE SUELOS EN OBRAS DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE**

Alfonso Rico Rodríguez

RESUMEN. En el trabajo se presenta una muy breve revisión de algunos conceptos básicos para la comprensión de la compactación de suelos, que en ocasiones se omiten a favor de los aspectos puramente tecnológicos.

Para las finalidades de este trabajo la compactación es un proceso mecánico destinado a mejorar las características de comportamiento de los materiales térreos que constituyen la sección estructural de las carreteras, los ferrocarriles o las aeropistas, entre otras obras.

Es evidente que conviene detallar cuales son las características de comportamiento que pueden ser mejoradas al compactar un suelo. En el caso de las vías terrestres existen tres de ellas cuya mejoría se busca prácticamente en todos los casos. Son la deformabilidad, que implica la intención de disminuir la compresibilidad de los suelos e incrementar su estabilidad volumétrica, especialmente ante la absorción o pérdida de agua; la resistencia, especialmente al esfuerzo cortante, obviamente en el sentido de obtener los mayores valores posibles y unas adecuadas relaciones esfuerzo-deformación que garanticen un balance conveniente en el comportamiento.

Algunas otras características cuya mejoría se busca en ocasiones son la flexibilidad de la formación (es decir, la no-susceptibilidad al agrietamiento); la permeabilidad (cuyo control es mucho más típica en la construcción de presas de tierra) y el incremento de la resistencia de los suelos compactados a la erosión.

De la enumeración del inciso anterior se desprende que la compactación puede ser un proceso de objetivos múltiples; además, es evidente que esos objetivos pueden ser contradictorios entre sí en muchos problemas concretos, en el sentido de que las acciones que se emprendan para cumplir uno pudieran perjudicar a algún otro. Por ejemplo, en términos generales puede ser cierto que una compactación muy intensa produce un material más resistente, pero seguramente muy susceptible al agrietamiento o poco estable al absorber agua.

Al considerar que los suelos compactados han de tener una vida larga, conservando básicamente sus características, se comprende que alguno de los objetivos anteriores podrá ser inclusive contradictorio consigo mismo. Por ejemplo, un suelo fino intensamente compactado podrá ser poco deformable, pero si absorbe agua, su deformabilidad puede hacerse extrema, de manera que el esfuerzo al compactarlo puede resultar altamente contraproducente, dando lugar a un suelo aún más deformable que en su estado natural.

**Rico, R.A. (¿?). Consideraciones sobre compactación de suelos en obras de infraestructura de transporte. Referencia desconocida.

Cuando por compactar demás un suelo se le hacen adquirir características indeseables, se dice que el suelo ha sido sobre compactado. El convertir a los suelos finos en altamente expansivos a costa del dinero y el esfuerzo que representa la compactación es uno de los pecados más frecuentes, pero no el único, de la sobrecompactación.

En suma debe concluirse que no existe una relación fija entre la compactación que se da a un suelo y los resultados obtenidos; mucho habrá de depender de las circunstancias futuras en que la obra se desenvuelva y la consideración que se haga de tales circunstancias al planear el proceso de compactación.

El problema de la compactación de los suelos estuvo desde un principio ligado a la necesidad de controlar los trabajos de campo. En las vías terrestres, estos trabajos suelen realizarse a contrato, por lo que la verificación de lo realizado está ligada a problemas de pago y otros de carácter legal. La verificación no sólo ha de referirse a que el contratista ejecute todas las operaciones que se le encomienden, sino también a que se alcancen en la obra los resultados técnicos exigidos por el proyecto.

Para medir la resistencia, la compresibilidad, la permeabilidad y todas las demás propiedades relevantes de los suelos se requieren pruebas especializadas, que necesitan laboratorios con un cierto nivel de equipamiento y tiempos de ejecución casi siempre demasiado largos para controlar un proceso de compactación que avance de manera normal. Por ejemplo, para controlar la compresibilidad de suelos finos podría pensarse en la utilización de pruebas cada una de las cuales exige varios días de trabajo. En otros casos, no existen pruebas estandarizadas y reconocidas, tal como podría suceder al desear controlar la resistencia a la erosión.

Esta situación, existente desde los primeros años de la década de los treinta, cuando volvieron a actualizarse las técnicas de la compactación en un sentido moderno, llevó a los pioneros de entonces a buscar alguna característica del suelo compactado que representara la compactación obtenida con suficiente confiabilidad para servir de base de pago y de elemento de control y que, a la vez, pudiera conocerse con gran prontitud. Partiendo de la idea intuitiva de que la compactación disminuye el volumen de los suelos tanto más cuanto más se compacten, juzgaron que el peso volumétrico era la característica buscada.

Aquellos pioneros realizaban en laboratorio la compactación de diferentes muestras del suelo a utilizar, para elegir una que les parecía satisfactoria en cuanto a comportamiento esperado y a la que, naturalmente, corresponda un cierto peso volumétrico (pensaron en referirse al peso volumétrico seco, γ_d=Ws/Vm, pues esta cantidad sólo varía cuando varía el volumen del suelo). Juzgaron también que al pactar con el contratista el peso volumétrico al que había que llegar en la obra, bastaría medir en ésta el peso volumétrico alcanzado (lo

cual se logra con una prueba que requiere poco tiempo) para garantizar que se había obtenido en el campo el suelo seleccionado en los estudios de laboratorio y fundamento del proyecto.

La costumbre ha perpetuado el uso del peso volumétrico seco como un cómodo indicador de ciertos aspectos, sobre todo de carácter legal y administrativo del trabajo del contratista.

La utilidad del peso volumétrico seco en lo referente a trabajos administrativos y de carácter legal no se discute, -pero la utilización de tal índice de compactación tiene implicaciones técnicas que deben ser analizadas.

Si se acepta que en un estudio para proyecto se ha seleccionado un suelo compactado ya con los criterios actuales, de manera que se garanticen unas propiedades fundamentales adecuadas (presentadas como objetivos de la compactación) y se acepta también que ese suelo queda tipificado por su peso volumétrico seco, de manera que al llegar e ese valor del peso volumétrico en el campo se tiene el suelo deseado, con las propiedades consideradas previamente, se está aceptando como válida la hipótesis: Los suelos compactados hasta el mismo peso volumétrico seco con diferentes métodos de compactación adquieren las mismas propiedades.

Es evidente que los procedimientos de compactación que se utilizan en el laboratorio y los que después se usan en el campo no son idénticos. También, como se irá mencionando en lo que sigue, actualmente se sabe que diferentes métodos de compactación por los que se lleve a muestras de un mismo suelo al mismo peso volumétrico seco producen suelos con diferentes propiedades mecánicas. También se sabe que estas diferencias son relativamente menos importantes en gravas, arenas y, en general, en suelos con partículas de forma equidimensional de estructura simple, que en suelos finos de carácter arcilloso, con partículas de forma laminar y estructuras elaboradas y basadas en nexos interparticulares de carácter electroquímico.

La técnica anterior del proyecto, basada en la elaboración y análisis de muy diversos especímenes, en la elección de alguno de ellos con propiedades satisfactorias y en la tipificación de ese suelo por su peso volumétrico seco, se realiza usualmente en la construcción de presas en tierra; allí, el peso volumétrico seco especificado para el campo es el previamente seleccionado en los estudios para proyecto y se utiliza como base de pago, pero se reconoce generalmente que al llegar a ese valor en la obra con un método de compactación distinto, probablemente cambian las propiedades fundamentales deseadas, razón por la cual es usual en la tecnología de presas llevar dos controles paralelos.

Adicionalmente a la medida del peso volumétrico seco, realizada rutinariamente para controlar legal y administrativamente al contratista, se lleva otro control con medición directa de las propiedades fundamentales, utilizando las pruebas de

laboratorio disponibles, generalmente en laboratorios a pie de obra, independientemente de su duración en el tiempo. De esta manera se adquiere la posibilidad de ir realizando los ajustes necesarios en el proceso de compactación para que las propiedades obtenidas en obra vayan concordando con las consideradas en el proyecto.

Por su importancia intrínseca, la gran utilización que se hace de materiales procedentes de un número no exagerado de bancos y el monto de las inversiones involucradas, las construcciones de presas de tierra permiten sobradamente este proceder.

En el caso de la construcción de obras lineales, tales como carreteras y ferrocarriles, la metodología de trabajo anterior sin duda se complica por la variabilidad de los bancos y los volúmenes no muy grandes de material que se utilizan de cada uno, las distancias cubiertas y otras situaciones de trabajo, también es justo considerar que una falla de carácter más o menos parcial en una obra de esta naturaleza no tiene la importancia que pudiera llegar a tener en una presa de tierra. Por estas razones, la rutina de construcción de carreteras en muchos lugares consiste más bien en ceñirse al uso de ciertos materiales sujetos a determinados tratamientos y todo ello dentro del marco de un conjunto de reglas que están destinadas a que los materiales, en calidad intrínseca y en características adquiridas por los tratamientos, lleguen a una condición que garantice un comportamiento razonablemente adecuado para lo que de ellos se espera en la operación de la estructura. Ese conjunto de reglas se llaman Especificaciones de Construcción y una de ellas se refiere a requerimientos de compactación, siempre referidos al peso volumétrico seco que debe ser obtenido en la obra (generalmente expresado a través del concepto grado de compactación). Así, es frecuente ver dentro de esas especificaciones que se diga, por ejemplo: “las subrasantes deberán compactarse hasta determinado grado de compactación”, con base en una prueba estándar también especificada.

En rigor y si se considera sólo el requisito de compactación, lo anterior equivale a aceptar que cualquier suelo que se encuentre en la naturaleza, compactado hasta el límite especificado adquiere las mismas propiedades, vale decir aquellas que se considere debe cumplir una subrasante; por seguir con el ejemplo anterior. Es evidente que esta segunda hipótesis resulta de una generalidad inaceptable. La defensa del método está en la consideración de que el material no se sujeta a reglas únicamente en lo referente a compactación, sino en otros aspectos tales como plasticidad y granulometría principalmente.

Al considerar esta metodología de trabajo destaca la enorme y particular importancia que tienen en las obras lineales esas especificaciones de construcción, pues su aplicación suele dispensar la mayor parte de las veces de otros estudios y análisis.

No sobra decir que el criterio de los ingenieros proyectistas y de campo deberá ser

capaz de distinguir aquellos casos en que la aplicación de unas especificaciones de construcción aún muy adecuadas, no baste para garantizar la calidad de la obra. También, en materia de obras relacionadas con el transporte, debe señalarse que la construcción de aeropistas perece propicia para la utilización de la metodología del trabajo utilizada en presas, sin mayores impedimentos de carácter práctico.

La ulterior discusión de las características importantes de los procesos de compactación en el campo requiere algunas consideraciones conceptuales previas, que se hacen a continuación.

Todo proceso de compactación implica una doble acción sobre la estructura de los suelos. En primer lugar será preciso romper y modificar la estructura original que el suelo tenía en el lugar de donde fue recogido; en segundo lugar, habrá que actuar sobre él, modificando la disposición o acomodo de sus grumos o partículas, para hacer que el conjunto adopte una nueva estructura, más densa. Es dudoso pensar que efectos de compactación alcancen en suelos finos a disgregar los grumos en sus partículas individuales y es posible que sea más conveniente hablar de estructura de grumos, antes que de estructura de partículas.

En el caso de suelos arenosos, la actuación sobre una estructura simple original (análoga a la de un montón de canicas o a la de un común montón de grava) no puede producir más que otra estructura simple, más densa. Como se sabe esta estructura es básicamente estable ante la absorción o pérdida de agua, presenta la compresibilidad típica de estos suelos (debida a simple acomodo por pequeños colapsos y a ruptura de partículas o flujo plástico del material, en casos extremos altos niveles de esfuerzo) y presenta una resistencia fundamentalmente dependiente de la compacidad alcanzada (aunque, como se sabe, es también influenciada en forma apreciable por la angulosidad de los granos), la que para todos los efectos prácticos se mantiene en tanto no se modifique esa compacidad. De esta manera la compactación creciente de estos suelos suele conducir a formaciones cada vez menos compresibles y más resistentes; el carácter disgregado de la estructura no hace a estos suelos proclives al agrietamiento. Si fuera posible en temas de compactación hacer una afirmación de carácter tan general, casi podría decirse que en estos suelos cuanto mayor sea la compactación se obtienen mejores comportamientos. Pero aún en ellos se encuentran inmediatamente acotaciones a tanta generalidad; una, podría ser la ya mencionada sobrecompactación de materiales ligeros tales como los tezontles, por ejemplo, que los transforma en pesados si se rompen las partículas; otra, aunque menos frecuente podría ocurrir al emplear presiones tan altas que se llegara a producir flujo plástico en las aristas de los granos o ruptura de partículas “duras” y podría haber otros casos.

En los suelos arcillosos, la ruptura de las estructuras iniciales, generalmente muy complicadas especialmente cuando el banco de suelo original contiene suelos

transportados, seguida del posterior reacomodo que da la compactación para lograr una estructura nueva más densa, produce de nuevo estructuras muy elaboradas, compresibles, tan inestables al absorber agua cuanto más densificadas y más rígidas por compactación creciente; la resistencia de los suelos tiende a aumentar con la compactación (si bien esta regla tiene importantes excepciones), pero esa resistencia podrá perderse en gran medida si el suelo, a expensas del potencial de succión adquirido al ser compactado, toma agua y se expande.

En este tipo de suelos actúan con toda su fuerza las ideas expresadas más atrás, de las contradicciones entre los diferentes objetivos de la compactación.

LA INGENIERIA GEOTÉCNICA DE LAS VIAS TERRESTRES**

Alfonso Rico Rodríguez

I – Introducción

Para los fines de esta nota se entenderá por vías terrestres el conjunto de medios de comunicación que facilitan en cualquier país el intercambio de bienes y servicios y constituyen lo que suele llamarse una red básica del transporte. Cabe decir, se hará referencia a las carreteras, desde las más importantes autopistas hasta los más modestos caminos alimentadores; a los ferrocarriles y a las aeropistas. Como el enfoque de esta nota será el geotécnico, el énfasis de lo señalado estribará en aquellos elementos y conceptos en los que las ciencias geotécnicas tengan un papel preponderante. Desde ahora ha de advertirse que, de acuerdo con esta condicionante, elementos tan importantes como las rutas aéreas o los edificios y actividades técnicas tan importantes como el proyecto geométrico, el control del tránsito y de su seguridad o la construcción de grandes estructuras para puentes, viaductos, edificaciones, etc. no serán objeto de atención. Aún dentro de las actividades puramente geotécnicas, el problema de las cimentaciones será solamente contemplado en forma referencial.

No cabe duda que la actividad tecnológica ejercida por los diferentes especialistas tiene una gran cantidad de factores comunes que llevan a pensar con frecuencia que, a fin de cuentas, todas las especialidades de la ingeniería o todos los ingenieros de una misma especialidad que trabajan en áreas diferentes, hacen en última instancia lo mismo. Si se adopta un enfoque suficientemente lejano y fundamental, se contemplará al ingeniero como un físico aplicado, cuya labor consiste en aprovechar las diferentes formas de la energía que otros físicos más teóricos han ido descubriendo y domeñando y en dominar las formas en que unas energías pueden transformarse en otras, buscando siempre un efecto doble, a la vez utilitario y económico, de manera que la energía extraída a los movimientos naturales o a las características íntimas de la materia, rinda una utilidad social que contribuya a mejorar el modo de vida de los hombres, con la condición de que la forma de energía finalmente utilizada tenga un valor rentable, en términos económicos, en comparación a la energía inicialmente explotada y al valor de los pasos de transformación a los que probablemente ha tenido que recurrirse. Esta condicionante económica puede ser únicamente violada en la fase de investigación tecnológica.

**Rico, R.A. (1994). La ingeniería geotécnica de las vías terrestres. IX Reunión Nacional de Profesores de Mecánica de Suelos. Xalapa, Veracruz. Noviembre 1994. Pp. 127-152.

Cuando se contempla la actividad ingenieril de esta manera, es fácil ver que las formas de energía que la física actual conoce y enseña a manejar son relativamente pocas y que los procesos de transformación son sólo unos cuantos, por lo que, en rigor, todos los ingenieros han de moverse dentro de un estrecho campo. El panorama teórico al que puede recurrir un ingeniero que transforma energía eléctrica en la energía mecánica que mueve la maquinaria de una fábrica es el mismo que aquel al que ha de acogerse el ingeniero que transforma la energía de una masa de agua que salta en la electricidad que nutre la actividad del anterior. Aun formas de energía tan aparentemente distinta que las que nos son usuales a los ingenieros civiles normales, como la ingeniería nuclear por citar un ejemplo, terminan cuando se las analiza de cerca, por obedecer a los mismos eternos esquemas mecanicistas y sus mecanismos de transformación tampoco son diferentes a los que nos son familiares.

A despecho de lo anterior, cuando se abandona este punto de vista teórico y general y se penetra en los aspectos más específicos de la rutina diaria del ingeniero, si hay una serie de reglas de arte, de normas de experiencia, de "modos" de actuar, que distinguen una especialidad ingenieril de otra o, aún dentro de la misma especialidad, un campo de acción de otro. Desde este punto de vista, la actividad geotécnica de un ingeniero dedicado a la cimentación de grandes edificios puede parecer diferente a la de otro ingeniero cuya esfera de trabajo sea la construcción de presas y sistemas de irrigación. Es únicamente dentro de este contexto en el que tiene sentido hablar de una Ingeniería de la Vías Terrestres.

También antes de seguir adelante he de enfatizar que lo que sigue expresa opiniones personales, producto de 30 años de dedicación principalmente al proyecto y a la supervisión de campo de vías terrestres, contempladas en sus problemas geotécnicos. Estas opiniones se expresan con plena conciencia de su falibilidad y están sujetas a controversia y a continua revisión, inclusive por el que habla.

II- El papel de la Geotecnia en la Ingeniería de Vías Terrestres

Deseo declarar que en mi opinión la geotecnia tiene dentro del proyecto, la construcción y la conservación de las vías terrestres un papel de técnica de apoyo. Y no es, por cierto, la única técnica de apoyo que a fin de cuentas resulta importante. Me parece fuera de toda duda que el elemento esencial en la concepción misma de una vía terrestre es su planeación.

Me refiero a una planeación que seleccione la vía terrestre adecuada a la necesidad nacional, contemplándola en sí misma y en los beneficios que hay que rendir en lo social, en lo económico y en lo político y a una planeación que integre a esa vía terrestre dentro de una red de transporte general, en la que la carretera, el ferrocarril, el aeropuerto, el puerto, la vía fluvial y todos los demás medios que puedan ocurrirse, reciban una atención integrada, no preferencial y eslabonada en

consideración a las expectativas de la vida del país. Este es el elemento esencial y todo lo demás es el apoyo que hace posible la consecución del fin. Naturalmente, después la vía terrestre resulta ser en lo fundamental una obra de tierra, construida sobre tierra y, por lo tanto, tiene que plantear toda una problemática que en muchos aspectos tiene que ser resuelta obedeciendo las leyes de la mecánica de suelos, de la mecánica de rocas y de, no olvidarlo, las geología aplicada; es decir, obedeciendo las leyes de la geotecnia.

Es obvio que las técnicas del proyecto geométrico, hoy tan complejas y sofisticadas o las de la ingeniería de tránsito, no constituyen tecnologías de apoyo de menor importancia. Y otras disciplinas intervienen, como la ingeniería de sistemas, el diseño estructural, la hidrología o la hidráulica. Se llega así a la concepción de la vía terrestre, como una obra que sólo puede concebirse con el producto del trabajo de un equipo multidisciplinario, en lo que nadie salvo el planeador original, puede aspirar a llevar una voz preponderante. Por otro lado, es evidente que todas estas disciplinas se interaccionan en muchos casos específicos, debiendo armonizarse, aún a costa de sacrificios en lo que cada una de ellas entiende por su óptimo particular. También es evidente que la acción de todas estas disciplinas de apoyo está afectada por el costo que ha de pagarse para alcanzarla; en nuestro ambiente particular este es otro efecto que frecuentemente establece una diferencia entre el óptimo deseable para cada especialista y la ejecución real. Este costo no se referirá, naturalmente, sólo al precio que haya de pagarse por hacer la vía terrestre; ésta ha de conservarse en el tiempo dentro de un nivel de servicio que frecuentemente cambia, no sólo por el deterioro que tiene lugar entre cada dos acciones importantes de conservación, sino también por los cambios que ocurran en la importancia misma de la obra, debidos al desarrollo regional o general del país y, como consecuencia, a los niveles de ocupación de la propia vía. También y quizá sobre todo, ha de considerarse el costo de operación, que a poco que crezca el tránsito representa cifras de un orden de magnitud mucho mayor que los otros dos atrás mencionados.

Otro aspecto importante que tiene que presidir la acción del equipo interdisciplinario es el concepto de riesgo, que representa de alguna manera la probabilidad de falla, deterioro o descenso del nivel de servicio que se acepte en las diferentes etapas de desarrollo de las vías terrestres. Es natural que cada especialista procure que los riesgos sean mínimos en la parte que le toque desempeñar y de la que se siente particularmente responsable dentro del conjunto. Evidentemente este criterio de riesgo mínimo por doquier conduce a costos excesivos y a obras frecuentes rígidas y sobre-diseñadas. En una vía terrestre, el riesgo debe ser muy variable y sabiamente dosificado en cada una de sus partes y no debe permitirse que consideraciones de costo y menos aún, de prominencia disciplinaria, influyan en tal dosificación. Quizá pueda decirse que una razonable distribución de los riesgos aceptados en las diferentes partes de una vía terrestre sea el elemento final que viene a definir la calidad de un

proyecto. No es raro ver graves pecados cometidos contra este concepto fundamental. A veces todos los problemas de estabilidad de tierras se resuelven con idénticos criterios de seguridad, sin distinguir toda la infinita gama de diferentes problemas que pueden desatarse por la falla o el deterioro de cada talud particular, que van desde tragedias de orden nacional hasta caídos sin importancia alguna. Es también frecuente ver aplicados los mismos criterios de riesgo a caminos, ferrocarriles o aeropistas o a vías terrestres de muy diversa importancia. El ejemplo de homogenizar el riesgo aceptado en toda la sección estructural de una carretera es un ejemplo clásico; de hecho, en México suele aceptarse inclusive un riesgo mayor en las capas inferiores de dicha sección estructural que en las superiores, llamadas pavimento, con la consecuencia de que los procesos de modernización que el desarrollo de la propia vía suele exigir no pueden llevarse a cabo, sin recurrir a verdaderas reconstrucciones integrales que afecten a toda la sección estructural. Sin duda, el criterio más sano es aceptar un mayor riesgo en las capas superiores de la vía que en sus terracerías y subrasantes, pues así esos llamados pavimentos pueden reforzarse, cuando la vía se desarrolle, de un modo sencillo y económico y sin afectar la obra integral.

Claro está que a la hora de matizar el riesgo ha de tenerse muy presente como varía en cada caso la o las causas que producen deterioro o falla, pues estas son también de infinita variedad.

III – Peculiaridad de la vía terrestre como estructura

Por sus características mismas, la vía terrestre impone ciertas modalidades de trabajo al ingeniero geotécnico que ha de intervenir en su proyecto o que ha de realizar los estudios para fundamentarlo. Evidentemente estas peculiaridades han de reflejarse en el trabajo del Ingeniero geotécnico durante la conversación. También en las actividades de control de obra.

Las vías terrestres suelen exigir inversiones de un monto que no queda a la zaga de ninguna otra manifestación de la construcción pesada; tampoco puede discutirse que la importancia nacional de una red de transportes no es menor que la de cualquier otro sistema que el ingeniero pueda edificar.

Pero las carreteras y los ferrocarriles distribuyen esa inversión y esa importancia en grandes longitudes, en muy diferentes paisajes y en ambientes que representan interferencias exteriores muy diversas en cuanto a la importancia de sus repercusiones sobre el comportamiento de la vía.

Hoy el ingeniero geotécnico tiene a su disposición medios para adquirir e interpretar información procedente de los suelos y las rocas con que ha de trabajar, más competentes que los que jamás tuvo en el pasado; además interviene en obras cada día mayores, más importantes y más costosas. Como consecuencia se ha acostumbrado a trabajar con niveles de información completos, de manera que sus decisiones suelen estar sustentadas por un buen

conocimiento de las situaciones. La distribución longitudinal de la vía terrestre prohíbe estas ambiciones; si el ingeniero quisiera adquirir en sus estudios en carreteras a ferrocarriles la densidad de información que es razonable adquirir en presas o en cimentaciones de grandes edificios, se vería enfrentado a una tarea imposible, por el tiempo disponible y por las disponibilidades de personal capaz o de dinero. No es posible, como política general, aspirar, por ejemplo, a diseñar cada corte o terraplén, siguiendo los cánones que la Geotecnia actual señala. En este sentido podrían señalarse otros numerosos ejemplos. Lo anterior en el supuesto de que la heterogeneidad de las secciones con que trabaja y la intricada variedad de materiales que encuentra permitieran manejar los métodos de diseño disponibles, la mayoría de los cuales tienen requisitos importantes de homogeneidad y de características de comportamiento de los materiales. Como una consecuencia de lo anterior, el ingeniero geotécnico ha de resignarse a tomar importantes decisiones para el proyecto de vías terrestres con base en información somera e incompleta. Los estudios geotécnicos que se hacen para fundamentar los proyectos de vías terrestres constituyen una buena muestra de lo dicho.

Claro que si han de tomarse decisiones de importancia con información escasa es de desear que quien las toma posea un alto nivel de competencia, con conocimientos disciplinarios suficientes para ubicar correctamente la experiencia procedente y para vislumbrar los signos índice del comportamiento que se ha de esperar en la formación o en el caso al que en un momento dado se enfrente.

En el esquema anterior está ausente la aeropista, obra que por su naturaleza ofrece la oportunidad de adquirir densidades de información muchos mayores. Es sin duda indebido ver como en muchos casos se da a los estudios para proyecto de aeropistas una metodología análoga a la que se da para carreteras y ferrocarriles; en más de un sentido el modelo metodológico de la aeropista debiera ser más bien la presa de tierra.

Claro está que aún dentro de la carretera o ferrocarril se presentan situaciones especiales en donde se requiere adquirir niveles de información más altos y, a veces, mucho más altos. Este es el caso probablemente de todos los estudios que hayan de hacerse para corregir zonas de falla o de deterioro acelerado e improvisto, en donde el ingeniero no podrá conformarse con menos que llegar a conocer de un modo satisfactorio las causas de la falla o el deterioro. Terraplenes altos, cortes especiales, cruzamiento sobre suelos blandos o compresibles, formaciones rocosas en condiciones difíciles de voladura o de equilibrio, estudios hidráulicos para obras de cruzamiento sobre corrientes de importancia, etc. , son ejemplos de casos en que toda la información que sea posible adquirir es deseable y, de hecho, muchos de esos casos han desembocado en estudios geotécnicos de gran envergadura, incluyendo mucho trabajo de exploración, laboratorios, calculo, instrumentación de campo y estudios de modelos en

laboratorio o en escala natural.

Los métodos de exploración detallada que convienen para el campo de las vías terrestres, no son diferentes que los que se utilizan en otros casos de aplicación de la mecánica de suelos o de la mecánica de rocas. Lo que puede variar es el énfasis en la utilización de tales métodos. Las cimentaciones de los grandes puentes, las laderas naturales en sospecha de inestabilidad o los grandes cortes y terraplenes de carácter especial demandan los más sofisticados métodos de exploración y mucho trabajo de laboratorio. Los puentes de tamaño medio o los bancos de materiales suelen resolverse con metodología más sencilla, que conduzca a una idea suficientemente aproximada de los perfiles estratigráficos y de las calidades de los materiales involucrados. En este sentido el uso de la prueba de penetración estándar u otras parecidas es muy abundante. Para las obras de drenaje y otras singularidades de similar importancia se utilizan profusamente métodos de exploración somera, tales como posteadoras, barrenos helicoidales y, desde luego, pozos a ciclo abierto. Estos mismos elementos aparecen en las exploraciones rutinarias para los estudios geotécnicos. En bancos, inspección de pavimentos y situaciones análogas se hace mucho uso de pozos a cielo abierto, calas, zanjas exploradoras y elementos afines.

En todos los trabajos relacionados con los estudios previos para anteproyecto y proyecto de las vías terrestres son especialmente útiles los métodos de exploración de gran cobertura a bajo costo; el estudio de cartas geológicas, la fotointerpretación de pares estereoscópicos de fotografía aéreas y, desde luego los métodos geofísicos, son los principalmente usados entre los de esta clase. En México se ha utilizado principalmente la geofísica sísmica y la eléctrica, la primera para determinar secuencia estructural, arabilidad de terrenos y aspectos similares y la segunda para analizar problemas en conexión con la presencia de agua subterránea.

Quizá sea cierto pensar que este hábito de trabajo rutinario con poca información y mucha atención en el propio criterio personal ha fomentado en el ingeniero de vías terrestres una cierta costumbre de resolver sus problemas con confianza excesiva en su propia opinión y cierta predisposición al descuido en la investigación de la naturaleza y de sus mecanismos de acción no evidentes. El ingeniero geotécnico deberá estar muy en guardia contra estas temeridades y parece cierto que en el establecimiento del necesario equilibrio entre el estudio detallado y el ejercicio del criterio personal está quizá el elemento fundamental de la actuación de los que nos dedicamos a la fascinante actividad de ejercer la geotecnia en las vías terrestres.

IV- Problemas conectados con la estabilidad de masas de tierra

Una función obvia de un ingeniero geotécnico en el proyecto o la construcción de vías terrestres es responsabilizarse de la estabilidad de las masas de tierra que pueden afectar a la vía o que son afectados por ella; lo anterior incluye a la propia

vía terrestre. Esto conduce al enfrentamiento de muchos problemas planteados por laderas naturales previamente inestables o desestabilizadas por la propia obra. La detección del primer tipo de problemas es función esencial del ingeniero geotécnico, pues el asentar una vía terrestre sobre una ladera inestable conduce a situaciones de solución imposible o muy difícil, desde luego siempre a muy alto costo. La gran mayoría de estos problemas que es posible ver hubieran podido resolverse fácilmente con un cambio de trazo, a costo nulo. La posibilidad de desestabilizar una ladera natural por la implantación de la vía debe tenerse siempre en cuenta por el ingeniero geotécnico. Esto ocurre o por la colocación de un gran terraplén, o por la ejecución de un corte importante o por la modificación de una condición de drenaje preexistente, causada por la presencia de la propia vía. En cualquiera de estos casos, el cambio de trazo es una posibilidad a contemplar; otro lo es la modificación de dicho trazo, pues un ingeniero experto en diseño geométrico, cuando es oportunamente advertido puede convertir un gran terraplén en uno pequeño o un gran corte en otro mucho menor sin más esfuerzo que su propio ingenio. En las laderas en roca, una frecuente e importante causa de desestabilización suele ser el uso poco inteligente o inmoderado de los explosivos; la buena utilización de éstos suele ser una técnica muy especializada que el ingeniero geotécnico quizá domine en todos sus matices, pero a él le compete detectar el problema y acudir a una consultoría competente y oportuna. Suele olvidarse que una vía terrestre es de por sí un dique opuesto al régimen de escurrimiento preexistente; en este sentido pueden cometerse pecados de enorme trascendencia que el ingeniero geotécnico debe prever con la ayuda y asistencia del hidrólogo.

Los cortes y los terraplenes propios de la vía terrestre son otra fuente de problemas de estabilidad. Ahora se trata de taludes artificiales en los que la definición está íntimamente asociada al concepto de un riesgo calculado. Conocido el desfavorable efecto que el flujo de agua subterránea causa en los taludes, la primera disyuntiva que suele presentarse para la condición de flujo o sin darle a esta ninguna consideración. Muchas razones pueden esgrimirse a favor o en contra de una u otra actividad; no cabe duda de que en la decisión están involucradas grandes cantidades de dinero y también muchos argumentos sobre riesgo y seguridad. La política general adoptada por México es el diseño rutinario sin considerar el flujo de agua interno como evento posible. Bajo este criterio se han formado las tablas y normas de inclinación de cortes y terraplenes que actualmente se usan y bajo este supuesto se diseñan muchos taludes de los que llegan a calcularse. Obviamente se exceptúan aquellos casos en que signos exteriores hacen ver que el flujo interno es una realidad y también se exceptúan grandes cortes o terraplenes cuya falla implique alto riesgo de pérdida de vidas y todos los casos en que se haya producido previamente una falla en la que el flujo de agua aparezca como causa concurrente. Una política como la anterior conduce a un cierto número de fallas, de los que afortunadamente la mayoría ocurren durante el período de construcción, pero otras tienen lugar generalmente ligadas a períodos lluviosos subsecuentes. Pienso que esta política fue razonable en

épocas pasadas, pero que quizá llega el momento de revisarla, en función de la importancia de la vía y de las consecuencias sociales y económicas de las interrupciones por caídos.

Los niveles de ocupación de algunas de nuestras carreteras hacen ya que las pérdidas por horas o días fuera de servicio sean muy grandes. También ha de decirse que prácticamente todos nuestros ferrocarriles deben quedar fuera de la política anterior, que debe verse como caminera, pues en las vías férreas son mucho mayores los riesgos humanos de un derrumbe y las consecuencias económicas del mismo.

No pretendo, por supuesto, hacer ahora un catálogo de todas las tareas que un ingeniero de estudios geotécnicos o un supervisor de construcción debe realizar en conexión con problemas de estabilidad de tierras, pero antes de abandonar el tema quisiera referirme todavía a otro punto que creo de interés. Es común, como dije, que durante el período de construcción el ingeniero haya de revisar las normas inicialmente dadas para proyecto, referentes a inclinación de cortes y terraplenes, en vista de un número mayor del conveniente de fallas o derrumbes. En tal caso, es fácil observar que la recomendación de abatimiento de taludes es casi universalmente usada. Frecuentemente la recomendación se da sin investigar sus repercusiones en el costo de la corrección, que puede ser enorme a poco desfavorable que sea la inclinación de la ladera natural. Además, no suele tomarse en cuenta que abatir un talud no es siempre igualmente eficiente. La Mecánica de Suelos enseña que la eficiencia es máxima en arenas y prácticamente nula en arcillas puras; en el medio varía correspondientemente. Esta preferencia por el abatimiento de taludes ignora también la gran cantidad de métodos disponibles para la tarea; pocos problemas ofrecen tantas alternativas de solución como mejorar un talud, de manera que siempre es posible encontrar alguna o algunas realmente eficientes para el caso concreto y es probable que algunas de ellas estén ligadas a soluciones de subdrenaje.

V- Problemas conectados con la sección estructural de la Vía Terrestre

Es probable que en la actual situación de México y su red nacional de transporte, los problemas conectados con el diseño y la construcción de las secciones estructurales de carreteras, ferrocarriles y aeropistas sean uno de los problemas que más deban preocupar al ingeniero geotécnico. Me referiré principalmente al caso de las carreteras, en la inteligencia de que mucho es aplicable al mantenimiento y desarrollo de la red ferrocarrilera y aeroportuaria.

Como es sabido, México dispone en este momento de una red carretera importante, cuya longitud total está en el orden de los 220,000 km, de los cuales algo más de 80,000 corresponden a carreteras de especificación relativamente alta y pavimentadas con asfalto. Prácticamente no se han construido carreteras con concreto hidráulico.

La mayor parte de esta red ha sido construida hace mucho tiempo, cuando las condiciones de la vida industrial y comercial de la nación eran radicalmente distintas a las actuales. Como consecuencia, una parte substancial, que abarca quizá un 30% de la fracción pavimentada con asfalto, o sea unos 25,000 o 30,000 km, empieza a mostrar ahora una cierta inadecuación en relación al servicio que actualmente se le exige.

Esta inadecuación se manifiesta en aspectos de capacidad, que afectan al diseño geométrico y a la ingeniería de Tránsito, pero quizá no es exagerado decir que las mayores deficiencias empiezan a observarse en el comportamiento de la sección estructural de los caminos. En este mismo sentido incide el cambio recientemente aprobado en el Reglamento de Pesos y Dimensiones de los vehículos a circular por las rutas nacionales. Este reglamento, recientemente acabado, contempla sustanciales incrementos en los pesos brutos vehiculares, en las cargas por eje y autoriza la circulación de grandes unidades con ejes triples. Dejando a un lado el efecto muy trascendente que las nuevas cargas producen sobre un gran número de puentes carreteros construidos para especificaciones menos exigentes, los nuevos vehículos autorizados producen cargas más grandes sobre las secciones estructurales de las carreteras y, en muchos casos, hacen llegar los efectos de esas cargas a profundidades mucho mayores.

Como una consecuencia a la vez del efecto de las nuevas cargas autorizadas y de un incremento realmente vertiginoso en el número de vehículos circulantes, el país se enfrenta a la necesidad perentoria de modernizar y reforzar esa fracción de la red muy transitada a la que me he referido. Como quiera que esas carreteras se han construido para condiciones muy diferentes a las que prevalecen hoy y con especificaciones correspondientes a las necesidades de otras épocas, esta modernización y reforzamiento equivale en muchos casos a auténticas reconstrucciones, pues las capas inferiores de la sección estructural de las carreteras actuales, las terracerías y las subrasantes, están construidas con materiales de una calidad que las hace insalvables si se han de afrontar los embates del tránsito actual, por no hablar del futuro. Desde luego, esto enfrenta a las Instituciones responsables a un cambio importante, en algunos casos drástico en las especificaciones de construcción especialmente referente a la calidad de los materiales, cambios que habrá que establecer y que se están estableciendo, con mucho cuidado, pues si bien es cierto que tiene que lograrse la meta de dotar a México de los caminos que necesita para su desarrollo, también lo es que los cambios de especificaciones en que pudiera pensarse se reflejan de tal manera en los costos de construcción, que un sobrediseño pudiera comprometer gravemente el necesario desenvolvimiento de la red nacional de carreteras.

El ingeniero debe ser muy consciente de estas realidades, tanto cuando actúe en modernizaciones o reconstrucciones, o cuando estudie nuevos caminos.

La primera cosa que habrá de considerar es que su criterio deberá emplearse

cuidadosamente matizado, de acuerdo con el volumen y características del tránsito que ha de soportar el camino y con todas las demás condiciones que influyen; deben considerarse acabados los tiempos en que un ingeniero de carreteras afrontaba toda su problemática con criterios uniformes firmemente sustentados. La gran mayoría de la red nacional de carreteras sigue y seguirá estando subocupada, pero los 25,000, o 30,000 km hoy muy activos irán creciendo inexorablemente y, quizá, a un ritmo muy vivo. Hay entonces caminos que hay que concebir para tránsitos muy altos y rápidamente crecientes; otros, no menos importantes que hay que concebir para tránsito muy bajo y creciendo lento y, finalmente, habrá caminos que hoy posean tránsitos bajos, pero cuya tasa de crecimiento previsible deba considerarse muy elevada. Esta última condición es, naturalmente, la más difícil de manejar y el éxito que en ello se tenga dependerá en gran medida de la precisión que se vaya alcanzando en los estudios socioeconómicos y de factibilidad que aporte la planeación.

Pero parece haber algunos criterios generales que el ingeniero geotécnico debe considerar.

En primer lugar está la misma lista de sus enemigos tradicionales. Era un hecho generalmente aceptado en el pasado que el enemigo de una carretera era el agua y la inestabilidad volumétrica que sufrían las carreteras por su acción; la acción del tránsito venía en segundo lugar. Hoy, la fatiga producida por el paso repetido de cargas importantes va a ser, cada vez con mayor frecuencia, el enemigo principal y la inestabilidad volumétrica de los materiales por la acción del ambiente tendrá en cambio que ser un enemigo prácticamente inexistente, en el sentido de que las secciones capaces de soportar la fatiga del tránsito habrán de ser prácticamente insensibles a la acción del agua.

En el pasado, la filosofía de los proyectistas tendía a aceptar los materiales más riesgosos en las capas inferiores de la sección estructural, en tanto se recomendaba reforzar el último par de capas, abarcando quizá los 30 o 40 cm por debajo de las llantas. Esta distribución del riesgo aceptado debe considerarse hoy errónea. En los caminos importantes o en los que se sospecha que pueden llegar a serlo, deberá por el contrario extremarse la seguridad en las capas de basamento y, si algún riesgo puede ser aceptado, éste deberá estar ligado a las capas superiores, en donde el deterioro es fácilmente detectable y el refuerzo es una simple adición, que no exige una reconstrucción total desde lo profundo.

El número y las características de los vehículos modernos hacen que frecuentemente sus efectos lleguen a profundidades que antaño eran inimaginables. Los 30 a 40 cm reforzados de que entonces se hablaba se transforman hoy en un metro y más, bajo los modernos ejes triples. De hecho, bajo estas cargas ya no es posible hablar de una sección superficialmente reforzada, sino de secciones homogéneamente adecuadas en todo su perfil.

Todas las consideraciones anteriores llevan a la urgencia de modificar la filosofía

con la que se concibe todavía con frecuencia la sección estructural de la carretera: Una terracería inferior y una subrasante que puedan descuidarse y un pavimento suprayacente, más o menos reforzado. Esta visión debe sustituirse por la concepción estructural, integrada bajo el concepto de resistencia proporcionada a la necesidad. La sección estructural comienza en el terreno de cimentación, que debe formar parte de ella y llega a la carpeta. Dentro de ese perfil, cada capa debe tener las características que le correspondan para que el conjunto funcione armoniosamente. Es posible que las capas superiores continúen teniendo un especial requerimiento de resistencia, pero las inferiores deben tener la necesaria de acuerdo con las leyes aceptadas de distribución, además de cumplir un requisito de deformabilidad y estabilidad en presencia del agua congruente con la amenaza de fatiga que, como se sabe, crece desmesuradamente con el aumento de la cedencia bajo la carga.

Al hablar de estudios geotécnicos para carreteras, parece conveniente enfatizar un poco dos casos extremos, uno correspondiente a los niveles de más alta ocupación y otro correspondiente a los caminos más modestos.

El primer caso se refiere a la necesidad ya hoy presente, pero sin duda más importante en el futuro próximo, de comenzar a pensar y en recomendar el uso de capas estabilizadas. Probablemente es cierto que tránsitos elevados, con más de 20,000 a 30,000 vehículos pesados al día, ya no pueden ser soportados por secciones estructurales formadas por materiales naturales. Habrá que hacer uso cada día más frecuente de capas estabilizadas con cal, cemento, asfalto, etc. No es improcedente llamar la atención sobre los excelentes resultados que frecuentemente se obtienen con estabilizaciones mecánicas (mezclas de materiales), sobre todo cuando se desea variar plasticidad, resistencia o rebote elástico; estas estabilizaciones resultan con frecuencia sumamente económicas. También debería hacerse un llamado hacia un mayor énfasis en el estudio de alternativas con túneles, que muchas veces tienen repercusiones importantes en los costos de operación. Obviamente el drenaje tendrá que ser una preocupación siempre presente en quienes estudian o supervisan caminos de alto tránsito. Aparecerán los pavimentos rígidos.

A este respecto hay que tener muy presente que las más exigentes especificaciones sobre calidad de materiales no bastan. Cuando estas especificaciones se aplican rígidamente pueden conducir a aberraciones en materia de costo, cuando los excelentes materiales deseados no están al alcance; en muchos de estos casos, es posible lograr los mismos niveles de calidad, con el empleo de otros materiales más fácilmente disponibles, con tal de proteger a éstos o tomar con ellos medidas de carácter técnico que incrementen su calidad original. El ingeniero geotécnico no debe olvidar que ningún conjunto de normas sustituye a su conocimiento, su ingenio y su interés por el trabajo. Las normas fijan un marco de referencia para la calidad a que debe llegarse, pero hay muchas

maneras de alcanzarla.

En los caminos más modestos, el estudio geotécnico debe de tener una filosofía diferente. Evidentemente el camino puede protegerse poco por medio de elementos o medidas que cuesten; entonces, será necesario protegerlos con criterios que no cuestan. Los ingenieros debemos preguntarnos más a menudo por qué un ciclón arrasa nuestros caminos o daña nuestros grandes puentes y no hace nada a los matorrales vecinos. Integrando un camino a la topografía, convirtiéndolo en el menor obstáculo posible para el ambiente natural previamente establecido, pueden lograrse resultados tan decisivos como con el empleo de la técnica más sofistica. Afortunadamente, los caminos modestos aceptan en su alineamiento normas que son prohibidas para otros más importantes en que la operación vehicular rige.

Mucho de lo que se ha dicho es aplicable punto por punto a los ferrocarriles; también hoy los avances de su tecnología permiten movimientos y velocidades que implican el diseño de secciones estructurales nuevas, tanto en la parte de tierra, como en la propia vía.

VI – Control de Calidad

El papel del ingeniero geotécnico en las vías terrestres no estaría completo sin hacer una referencia al control de calidad de la misma obra. De hecho, tal parece que no hay ninguna actividad en la que exista una mayor confusión que en ésta. Frecuentemente se concibe el control de calidad como el conjunto de actividades que tiene por objeto señalar los defectos de lo que se hace, para distinguir lo que puede ser pagado sin remordimiento de conciencia de lo que ha de ser reclamado. Parece que ésta es una visión pobre de una actividad tan trascendente. Más bien el control de calidad debe concebirse como una actividad plenamente prevista en los estudios, en el proyecto y en el calendario de la construcción, cuyo objetivo es poner de manifiesto las deficiencias del propio proyecto o de los métodos constructivos para corregirlos en beneficio de la obra. Lo importante es pues la misión retroalimentadora de información relevante, resultando secundaria la necesidad de corregir lo que haya de ser corregido. Desde este punto de vista es indispensable que el control de calidad proporcione información que pueda ser rápidamente digerida y asimilada, a fin de extraer de ella las conductas necesarias o sus cambios. Para que la información sea confiable y relevante el control ha de ser estadístico y enfocado hacia lo fundamental; no en todos los pasos ha de ponerse el mismo énfasis, sino que habrá que enfatizar los importantes. Para que sea asimilable con rapidez, habrá de ser sencillo, es decir, fundado en pocas pruebas, pero relevantes, que puedan vaciarse en una presentación estadística confiable, como por ejemplo en cartas de control. Los mecanismos de comunicación entre proyectista, constructor y controlador deben ser limpios y expeditos.

Parece conveniente que el proyecto, la construcción y el control se encomienden a

tres cabezas diferentes. El proyectista suele pecar de perfeccionista, a despecho de que, como se dijo, frecuentemente ese perfeccionismo está fundado en una información precaria. El constructor, en cambio suele ser un hombre preocupado por programas de obra, fechas de terminación y eficiencias de producción, todo lo cual puede conducir a un cierto apresuramiento en las acciones. El control de calidad es el árbitro natural entre estas dos tendencias; su información juzga a la vez la viabilidad del proyecto y la calidad de la ejecución. De la conjunción de su punto de vista objetivo e independiente con el conocimiento de quien hizo los estudios y el proyecto y con quien ha de realizar este proyecto, sufriendo sus deficiencias, no pueden sino resultar beneficios para la obra.

En lo personal, creo que sería conveniente responsabilizar a las empresas contratistas de una parte del control de calidad, reservándose el contratante los aspectos que implican aprobación o rechazo final o aquéllos que se refieren a la base misma de los trabajos, como pudieran ser el garantizar la calidad de los materiales empleados. De esta manera se elevaría el nivel técnico de las empresas contratistas, así como su compromiso con la obra misma.

La labor del ingeniero será fundamentar sus estudios y proyectos en normas simples, verificables por medio de pruebas sencillas, de ejecución rápida, rigurosamente estandarizadas y de ejecución segura dentro de las realidades de un laboratorio a pie de obra. Después, analizar los resultados del control y ayudar a establecer las recomendaciones pertinentes. También introducir el control en el proyecto, de manera que el controlador de calidad no resulte después un huésped inoportuno que viene a complicar la ejecutividad de los trabajos.

VII- Necesidades de investigación

La realización de una vía terrestre implica siempre una buena cantidad de requerimientos de investigación específica. No se habla naturalmente de la investigación científica general que tenga por objeto mejorar la tecnología de las vías terrestres o, en particular, la de geotecnia a ellas aplicada, sino de la investigación que defina las condiciones concretas en que la tecnología disponible está siendo aplicada al caso particular.

Esto es debido a que una gran cantidad de la tecnología disponible para el ingeniero geotécnico es de origen experimental y se funda en correlaciones con índices de experiencia; estas correlaciones son generales y han de ser verificadas en el caso específico. En otros casos, estas correlaciones se han hecho en otros lugares del propio país o del extranjero, en condiciones que de ningún modo son idénticas a las del caso que se afronte. También es frecuente que muchas decisiones se basen no en tecnología experimental, sino en teoría y los alcances e hipótesis limitativas de ésta han de ser verificados. También es cierto que existen acciones o elementos de la vía terrestre que se aplican de una manera frecuente y repetitiva, que hacen conveniente su estudio en mucho detalle, con fines de

optimización.

Finalmente, también ocurre que en ciertas regiones del país existen materiales a los que ha de recurrirse muchas veces, que conviene estudiar concienzudamente para definir sus diferentes comportamientos en diversos usos. Todos estos y otros muchos son factores que definen la necesidad de una investigación Institucional, diferente de la fundamental que realice, por ejemplo, un Instituto de Investigación Universitario. Una Institución no podrá calibrar sus normas y hábitos de trabajo a las realidades de su nación, de sus hábitos tecnológicos, de sus medios y sus disponibilidades técnicas dentro de su industria nacional de la construcción, sin realizar esta investigación específica de la que se habla.

X X X X X X X X X

Desde el punto de vista de la ingeniería de vías terrestres, México se encuentra en lo que parece ser un periodo de transición. La transición de una nación rural a un moderno país agro-industrial, densamente poblado y con una vida comercial en consonancia. Esta transformación tiene que reflejarse en la ingeniería de las vías terrestres. Las carreteras hechas antaño estuvieron seguramente bien hechas; cubrieron sus fines y permitieron el desarrollo hasta este momento. Hoy, el país requiere otras y ha de buscarlas modernizando y adaptando las existentes o construyendo otra nuevas, pero ya correspondientes al México actual. Claro está que las transformaciones que se están sufriendo no pueden ser homogéneas y al unísono en un país tan complejo como el que vivimos. La consecuencia es que en este momento hay varios Méxicos y coexisten estructuras correspondientes a un país financiero y altamente industrializado, con otras propias de un país con industrialización incipiente, con sociedades agrícolas y aún con regímenes de organización todavía más primitiva. Tal diversidad de distribución de los ambientes socioeconómicos en la geografía ha de reflejarse en la red nacional de transporte. Quizá durante bastante tiempo, la mayor parte de nuestra red de carreteras tendrá tránsitos modestos y habrá de ser construida antes para el paso de ideas que de vehículos, pero una fracción rápidamente creciente, que hoy puede considerarse en el orden de un 30% de la red principal, soporta los embates de un tránsito muy importante y muchos caminos están en posición intermedia y se movilizan rápidamente dentro de la escala siempre hacia arriba. Los ferrocarriles, indudablemente descuidados durante muchos años, reclaman hoy un lugar que ya no puede negárseles dentro del concierto del transporte nacional; muchas vías habrán de ser construidas, otras modernizadas, pero no todas tendrán la misma importancia o requerirán de las mismas características. La red aeroportuaria nacional se ha desarrollado intensamente en los últimos años, pero no está completa y también aquí es fácil encontrar diversos pesos relativos. El esfuerzo realizado en materia de grandes puertos industriales, que habrá de ser completado, no quita la necesidad de contar con muchos otros puertos más pequeños, para dar a nuestras costas esa importante actividad de pesca y cabotaje que tanto ha de ayudar a nuestra movilización futura. Por donde se

extienda la mirada hacia lo que tendrá que ser la red del transporte en el futuro mediato e inmediato se encuentra diversidad, matices, obras con diferentes características y objetivos y a esta profusión habrá de adaptarse la mentalidad y el conocimiento del ingeniero geotécnico.

Hoy se tiene un poco la sensación de que esta mentalidad no está suficientemente matizada; se habla de normas para carreteras, criterios para ferrocarriles, pero cuando se penetra en estos casos más cerca se ve que no se diferencia lo suficiente una carretera de otra, un ferrocarril de otro. Esta adaptación a un mundo cambiante y matizado es quizá el reto fundamental del ingeniero actual, el cual tendremos que superar so pena de no servir a un país que nos superará rápidamente. Y claro está que este trabajo matizado debe verse desde el planteamiento y la ejecución de los estudios geotécnicos para las vías terrestres.

EL PAPEL DE LA MECÁNICA DE SUELOS EN EL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS VIALES**

Alfonso Rico Rodríguez

Afortunadamente parece hoy ya innecesario defender la obligatoriedad de que la Mecánica de Suelos juegue en el proyecto y en la construcción de obras viales un papel fundamental. Se entiende en México y sin duda ya para siempre, que las obras viales son estructuras de tierra que se construyen sobre tierra; se reconoce también que la Mecánica de Suelos ha tenido en los últimos 50 años aportaciones de tal importancia al conocimiento de los materiales térreos, por lo menos dentro del campo tradicional de lo que genéricamente se denomina Resistencia de Materiales, que resultaría inconveniente y antieconómico ignorarlas. Todo ello hace que la técnica nacional en estos campos dé entrada a la Mecánica de Suelos en forma sistemática. Sin embargo, aún parece conveniente discutir el papel que ha de desempeñar, desde algunos puntos de vista.

En primer lugar, para fijar los matices de grado en que la Mecánica de Suelos puede ser útil. A veces, las propiedades mecánicas de los suelos involucrados son tan críticas que, fácilmente se comprende que sin soluciones ingenieriles tan formales como las que la Mecánica de Suelos ofrece actualmente, será imposible o irracionalmente arriesgado afrontar los problemas que se presenten. Pero otras veces los materiales térreos presentan características más favorables y en éstas, solía existir en el pasado y quizá aún persista en alguna medida, una tentación a proceder al margen de las normas técnicas de la Mecánica de Suelos, que tienden a ser vistas como una cortapisa para un trabajo supuestamente más libre y dinámico; hay ocasiones en que, inclusive, se ha llegado a oír que en estos casos representan una cortapisa para un trabajo más económico. No cabe duda de que una de las misiones más trascendentales de los especialistas nacionales en Mecánica de Suelos, que apliquen esta disciplina a las obras viales, será precisamente convencer a sus colegas menos familiarizados con su disciplina, de que la Mecánica de Suelos no es ave de tormentas, que sólo tenga aplicación razonable ante situaciones dramáticas y de peligro inminente, sino una respetable rama más de la Resistencia de los Materiales, que proporciona criterios para el manejo óptimo de los suelos en toda ocasión. Cuando se planteé una situación altamente conflictiva, donde converjan otras de importancia y condiciones naturales desfavorables, las normas de la Mecánica de Suelos conducirán seguramente a estudios importantes y análisis detallados; a este precio proporcionarán condiciones de seguridad y garantía que, no cabe dudarlo, no podrían obtenerse sin ellas. Cuando la naturaleza de los materiales, los retos del ambiente o la importancia del trabajo, conduzcan a una situación mucho menos crítica, las normas de la Mecánica de Suelos habrán de permitir optimizar la utilización de éstos, con niveles de estudio, de interferencia en el arte del

**Rico, R.A. (1978). El papel de la mecánica de suelos en el proyecto y construcción de las obras viales. IX Reunión Nacional de Mecánica de Suelos. Mérida, 1978. Pp. II-2 a II-5.

constructor y de gasto, mucho menores. Los especialistas de Mecánica de Suelos dedicados a las obras viales habrán de dosificar cuidadosamente los niveles de intervención de su especialidad, para hacerlos acordes con la problemática existente en cada caso particular, comprendiendo que cualquier exageración en el nivel prefijado a los estudios o en la cantidad y calidad de la información previa requerida para la formulación de criterios y el establecimiento de recomendaciones tendrá en las obras viales efectos nocivos muy especiales, en comparación a otros campos de aplicación de la Mecánica de Suelos, por el bien conocido, pero no siempre reconocido a fondo, efecto de la gran extensión de dichas obras viales, en comparación a las reducidas áreas en que ocurren los problemas de cimentación o las que son familiares a los hombres que aplican la Mecánica de Suelos a las presas de tierra por ejemplo. Los niveles de información que deben requerirse en los pocos metros cuadrados en que se ventila un gran problema de cimentación edificacional conducirían a rígidos absurdos en decenas de kilómetros por los que ha de desarrollarse una obra vial.

En este último aspecto radica otro matiz de la aplicación de la mecánica de Suelos a las obras viales, que merece ser comentado ahora en dirección a los especialistas de esta disciplina, sobre todo a los jóvenes. Cuando estos se acercan a las carreteras o a los ferrocarriles, para aplicar detalladamente lo aprendido en su recién adquirida Maestría o Doctorado, es frecuente verlos frustrarse por lo que consideran un bajo nivel de aplicación de la especialidad. Vista ésta desde su enfoque físico-matemático. Alegan estos jóvenes que la teoría trabajosamente adquirida no se aplica en el grado necesario en el campo de las vías terrestres y que en éste impera la improvisación y las decisiones tomadas a la ligera. En términos generales, esta opinión representa una insuficiente comprensión del problema de las vías terrestres. El problema de la extensión ya ha sido mencionado; hace que en casi todos los trabajos de rutina, el nivel de información que puede adquirirse no permita una juiciosa utilización de teoría sofisticada. No tiene sentido utilizar un cuerpo teórico de mucho alcance cuando las ecuaciones correspondientes han de alimentarse con pocos datos, cuya representatividad estadística está sujeta a serios entredichos. La naturaleza de la obra, sus condiciones y el riesgo de falla, hacen imperativo que sea el criterio del especialista el que resuelva muchos de los problemas rutinarios de naturaleza no especial. Además, en muchos problemas importantes, como en los de estabilidad de tierras, por ejemplo, la heterogeneidad de las formaciones naturales con que generalmente ha de tratarse, hace ilusorio el uso de una teoría obtenida bajo hipótesis rígidas de homogeneidad. Aun suponiendo, lo que sería imposible, que por exploración y muestreo, se tuviera la información necesaria en cada corte o terraplén de una carretera, no sería factible el manejo de parámetros de cálculo seriamente representativos de la mayor parte de las formaciones existentes, a la luz de la Geología intrincada y la heterogeneidad de suelos y rocas presentes. Hablando en términos generales, estos son problemas que en mucho han de dejarse al criterio de los especialistas.

A la vez, se dan en las obras viales las condiciones de importancia social y económica que las hacen obras de fundamental importancia nacional, por lo que la improvisación o la técnica a la ligera tienen que estar naturalmente, proscritas en este campo. Si muchas decisiones han de basarse en criterio de especialista, sustentado en los niveles de información que la obra requiere y que, lógicamente, no son los mismos que requieren y justifican las presas o los grandes edificios, será necesario que ese criterio sea de primera clase. Es ahí donde caben todas las Maestrías y todos los Doctorados en que se pueda pensar y en donde todo el conocimiento empleado resultará de utilidad imprescindible. No es que las vías terrestres no usen el conocimiento de sus hombres; es que lo usan de un modo diferente, adoptado a su propia naturaleza.

Es obvio que el criterio general anterior ha de matizarse cuidadosamente, pues dentro de las obras viales caben, y por cierto con frecuencia e importancia, obras y problemas en que todo el detalle teórico puede y debe emplearse. Los aeropuertos representan inversiones enormes hechas en una pequeña extensión territorial; lo que el ingeniero encargado no sepa de los suelos involucrados será su falta. Los túneles, una de las obras más exigentes a la que se ha dado aplicar la Geotecnia en todos los niveles, son una estructura típica de las obras viales. Los pavimentos ofrecen un campo de continua aplicación y desenvolvimiento de la especialidad. En los problemas de estabilidad, aparecen con frecuencia casos especiales en los que, por su importancia, han de emplearse los recursos más alambicados de la teoría, apoyada por una información básica producida por la exploración y el muestreo más acuciosos o por la instrumentación de campo más detallada; prácticamente todos los problemas de esta índole en los que el uso del criterio y el arte del especialista haya desembocado en la producción de fallas de consideración, han de verse como de este estilo; muchas veces, los muros de retención a emplear no son ya estructuras rutinarias.

Las cimentaciones de los puentes ofrecen un campo en que la Mecánica de Suelos ha de aplicarse con mucho detalle: no sólo los problemas de capacidad de carga y selección de tipo de cimentación, sino los de socavación y de control de agua en excavaciones, ha de analizarse con mucho cuidado.

Los estudios geotécnicos, que rutinariamente han de hacerse buscando niveles de información general, detectan con frecuencia (y ese es uno de sus objetivos fundamentales) casos especiales de cruce por suelos blandos, por zonas inundables, por zonas de geología desfavorable, con inestabilidad de laderas naturales, etc. Todos estos casos justifican por lo común estudios de detalle.

No ha terminado la utilización que puede hacerse de la Mecánica de Suelos en las obras viales. Cuando se dice esto no se piensa en los avances que la investigación dé a la disciplina en el futuro, sino en el uso más racional y completo del material hoy existente. Parece cierto que la Mecánica de Suelos se viene aplicando a las obras viales de una manera un tanto falta de coordinación,

utilizándola en una serie de actividades aisladas, pero que falta algún tipo de integración general, que permita concebir a la obra vial como un todo, aprovechando formalmente las posibilidades de retroalimentación de conocimiento que se obtienen al analizar los problemas aislados, incrementando así la eficiencia de la disciplina.

Hoy se aplica la Mecánica de Suelos a un muro de retención, a la estabilidad de un talud, a la cimentación de un puente, a un problema específico de compactación o a la obtención de datos para la formulación de una curva masa; de la misma manera, a otros muchos aspectos, siempre específicos y un tanto insulares. El estudio geotécnico general, concebido como una de las bases fundamentales de un proyecto vial es uno de los pocos esfuerzos integradores, en el que, por cierto México ha sido pionero desde hace 20 años. En él se integra la Geología, la Mecánica de Suelos y la Mecánica de Rocas en un intento de situar a la obra vial como un conjunto dentro de un ambiente natural, de manera que, en el nivel general contemplado, se armoniza la situación de la obra sobre la corteza terrestre, considerando la topografía afectada; se consideran las formaciones de suelo y roca presentes en su influencia sobre la obra en conjunto; se estudia la disponibilidad de los materiales existentes, de manera que este conocimiento previo alimenta al proyecto posterior; se considera la utilización que puede hacerse de esos materiales para que la vía terrestre quede en las mejores condiciones de enfrentar un ambiente natural siempre hostil; se estudian también los métodos de explotación y transporte de los materiales para definir el costo de la obra por ejecutar; se dan las recomendaciones para la construcción de la sección de la obra, tanto en lo que se refiere a estabilidad de cortes y terraplenes, como al tratamiento de los materiales que hayan de transportarse y colocarse; se detectan los problemas especiales, necesitados de estudio detallado posterior, señalando la necesidad de drenaje, subdrenaje y de la construcción de las obras complementarias de protección. Todo ello con referencia a todas las posibles alternativas de ruta sugeridas por la socioeconomía, la geología general o el trazo geométrico. En el estudio geotécnico se contempla en conjunto la obra vial dentro de un ambiente geológico y geotécnico, como un todo que ha de preservarse durante una vida útil.

Pero como se ha dicho, el enfoque de un estudio geotécnico es necesariamente general y en la metodología actual de la mayor parte de los países del mundo, el eufemismo con el que se les quiere señalar a todos, esta actividad integradora no se sostiene en el proyecto de detalle.

El mejor ejemplo para ilustrar la afirmación anterior está en el campo de los pavimentos. Por razones históricas y de ausencia de una debida cobertura técnica, en momentos en que la Mecánica de Suelos aún no existía como hoy se la conoce, la tecnología de los pavimentos nació y se desarrolló un tanto al margen de los criterios generales de Resistencia de Materiales que se iban entronizando en otros campos de la ingeniería. Los pavimentos se fundamentaron

en reglas de arte, obtenidas de la interpretación de una experiencia personal poco medida y fundada en gran parte en el sentimiento y en la observación visual, que tanto engañan; se desarrollaron en estas tecnologías métodos de diseño basados en correlaciones entre pruebas especiales de laboratorio y comportamiento estructural observado, pero en tiempos en que dicho comportamiento estructural no se conocía bien y no se sabía a ciencia cierta de que dependía. Así, no es de extrañar que muchas de esas pruebas, erigidas en índice experimental no consideraran convenientemente los parámetros del verdadero comportamiento estructural, de manera que resultaron, en grado importante, no representativas y quizá no correlacionables en forma satisfactoria con el comportamiento estructural. La mayoría de esas pruebas han persistido hasta nuestros días por un fenómeno de costumbre, alentado por las reconocidas dificultades que el ser humano encuentra para ser crítico; muchas de esas pruebas son hoy de uso común y las correlaciones de comportamiento en ellas sustentadas son la base de muchas decisiones importantes.

Esta tecnología, en alto grado empírica, se incorporó a las obras viales para el proyecto y construcción de los pavimentos actuales e hizo nacer dentro de la tecnología general de las vías terrestres toda una subespecialidad que se ha desarrollado de continuo con la mirada puesta en un pequeño fragmento de la obra vial, que comprende los centímetros superiores de una carretera. En casi toda la literatura técnica, un pavimento es un conjunto de capas que se colocan en los últimos 40 ó 50 cm de la obra vial. Al nacer y crecer especialistas atentos a tan pequeña zona, que ofrece, por otra parte, tantas dificultades de comprensión y posibilidades de estudio, se produjo inevitablemente un cierto divorcio entre esta parte de la sección de la vía y el resto. El problema se complica cuando se ve que tal diversificación de esfuerzos llega al plano administrativo (lo que no podía dejar de suceder, sin culpa para los administradores), de manera que un grupo de hombres atienden los problemas generales de la sección de la vía, sus taludes, su drenaje, su subdrenaje, los materiales que formarán las camas de los cortes y los cuerpos de los terraplenes, etc., en tanto que otro grupo dedica todos sus desvelos a aquellos 50 cm. El lazo de unión entre ambos grupos, que existe, es algo tan endeble en lo fundamental como, por ejemplo, el valor relativo de soporte de una terracería o una subrasante.

Las consecuencias de esta división de panoramas son previsibles y se miden en la gran cantidad de oportunidades que se sacrifican actualmente para lograr una sección estructural bien balanceada. La interacción entre una terracería y un pavimento es de mucho más fondo y matiz que todo lo que puede significar un valor relativo de soporte. La geología, el flujo de agua, la inclinación de los taludes, los materiales utilizados en las terracerías o los existentes en el terreno de cimentación y otros muchos, son factores que influyen en el comportamiento estructural general, y concretamente, en el del pavimento.

Parece pues necesario borrar esa frontera artificial. Dejar de hablar de pavimentos

para hablar de sección estructural de la obra vial. De la misma manera, dejar de hablar de estabilidad de cortes, para hablar de sección estructural general. Y esta última empieza en el terreno de cimentación, que tanto influye y termina en los límites de las cuencas cuyo escurrimiento afecta a la vía terrestre y erosiona sus materiales.

Parece pues oportuno que la labor futura de los especialistas en Mecánica de Suelos Aplicada a las Obras Viales se dirija mucho hacía esa labor integradora, en la que cada problema no se vea aisladamente, como se vio, por razones quizá justificadas, cuando en los años de aprendizaje cada problema era un capítulo distinto del libro de texto. La naturaleza, por supuesto, no actúa en paquetes de información, sino en forma conjunta, armónica y llena de interacciones.

ALGUNOS ASPECTOS COMPARATIVOS ENTRE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS**

Alfonso Rico Rodríguez, Alberto Mendoza D., Rodolfo Téllez G. y Emilio Mayoral G.

RESUMEN

En este trabajo se hace una reflexión sobre el comportamiento de los pavimentos flexibles y rígidos, con el propósito de establecer algunos elementos comparativos entre ellos.

Las condiciones que privan en los análisis realizados se apoyan en dos vertientes, la económica y la funcional. La primera considera los costos inicial, de conservación y de operación durante el ciclo de vida. La segunda se refiere a los inconvenientes que se generan al tránsito como resultado de las acciones de conservación.

A partir de los análisis realizados se indican las principales tendencias observadas en el comportamiento de las dos alternativas, se generan algunas recomendaciones y se establecen algunas comparaciones para tratar de delimitar las condiciones generales que pudiesen hacer conveniente la utilización de uno u otro tipo de pavimento.

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se pretende hacer una reflexión sobre el comportamiento de los pavimentos asfálticos y de los pavimentos rígidos, con la finalidad de proporcionar criterios que permitan optar por uno u otro en los proyectos carreteros.

El punto de vista que sirve de partida a estas reflexiones es que ambas modalidades puedan resolver satisfactoriamente los requerimientos de una carretera que se construya en el México actual, con tal de que cualquiera de las dos modalidades se proyecte o se realice convenientemente. De esta manera, los criterios diferenciales entre las dos alternativas tendrán que caer necesariamente en una de las dos vertientes siguientes:

- La económica, que se refiere al costo inicial de cada alternativa, al costo de conservación de la misma en un determinado ciclo de vida y al costo de operación de los vehículos que transiten sobre el pavimento considerado, con énfasis especial en los vehículos de carga.

**Rico, A., Mendoza, A., Téllez, R., y Mayoral, E. (1998). Algunos aspectos comparativos entre los pavimentos flexibles y rígidos. XIIIa Reunión Nacional de Vías Terrestres. Oaxtepec, Mor. Agosto.

- La funcional, entendiendo por tal, la desventaja o inconveniente que se tenga por las dificultades de tránsito que emanen de acciones de conservación importantes que conlleven interrupciones en la fluidez del mismo.

Este trabajo no considera costos de conservación rutinaria, tales como reposición de riegos, ocasional sellado de grietas de aparición no sistemática u otros. Tampoco se toman en cuenta trabajos emanantes del mantenimiento de todas las estructuras del camino ajenas al pavimento.

En primer lugar, se dará consideración en este trabajo a los pavimentos asfálticos y en una parte posterior se tomarán en cuenta los pavimentos rígidos, para terminar en una tercera parte que permita establecer las comparaciones adecuadas, dentro de los criterios arriba señalados, para tratar de delimitar las condiciones generales que hagan conveniente la utilización de uno u otro tipo de soluciones.

Los análisis mostrados en este artículo se presentan con mucho mayor detalle en la Referencia 1.

ANÁLISIS DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Los análisis se realizan para una serie de alternativas obtenidas de variar la magnitud del flujo vehicular, la resistencia estructural del pavimento y los periodos entre intervenciones de conservación mayor. Se mantienen constantes a valores reales observados, la distribución vehicular, el peso y coeficiente de daño promedio de cada tipo de vehículo y la tasa de crecimiento anual del tránsito.

Las condiciones que privarán en los análisis incluidos en este trabajo, son las siguientes:

- En el trabajo se toman en cuenta tránsitos diarios promedio anual (TDPA) de 10 mil, 30 mil y 50 mil vehículos, con la distribución vehicular realmente detectada en las carreteras mexicanas del tipo señalado por estudios de campo realizados por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) (Referencias 2, 3 y 4).

- Los tránsitos seleccionados no implican que los pavimentos de concreto sean privativos de carreteras muy ocupadas. Independientemente de que esta idea sea frecuentemente aceptada, debe tenerse presente que existen muchos casos en que las carreteras con volúmenes relativamente bajos pueden resolverse ventajosamente con pavimentos rígidos. En este trabajo, sin embargo, no se hace énfasis en estos casos puesto que la intención es mostrar el efecto de los costos de conservación y sobre todo de operación.

- La Tabla 1 muestra la distribución vehicular que se adoptará en el trabajo. Conviene hacer algunas precisiones al respecto. La distribución de flujos vehiculares proviene, como se dijo, del Estudio Estadístico de Campo del Autotransporte Nacional. El peso legal de cada tipo de vehículo se tomó del Reglamento Actual (1997) de Pesos y Dimensiones vigente en el país (Referencia 5). El peso real representativo de cada tipo de vehículo se ha obtenido de la Referencia 3, considerando el porcentaje de cada tipo de vehículo de carga que circula en vacío o con diferentes porcentajes de peso de carga, incluyendo el caso de vehículos sobrecargados; esta información proviene del Estudio del IMT antes citado, durante el cual se realiza un pesaje que proporciona los pesos brutos realmente existentes y sus respectivos porcentajes de carga. La última columna proporciona los coeficientes de daño promedio de cada vehículo, ponderando la fracción que muestra cada condición de carga parcial, carga legal o sobrecarga.

- En los análisis de este trabajo se acepta que el tránsito a considerar tiene un crecimiento anual de 3%, valor que se estima válido para todos los tipos de vehículos. En el trabajo, todas las alternativas presentadas llegan a un horizonte o ciclo de vida total de 30 años. En esas alternativas se varía el lapso que se considera debe existir entre dos acciones de conservación mayor (las acciones de conservación rutinaria, como se dijo, no se toman en cuenta en el trabajo).

Tabla 1. DISTRIBUCIÓN Y PESOS DE LOS VEHÍCULOS CONSIDERADOS

TIPO DE VEHÍCULO	% DEL FLUJO TOTAL	PESO (TON)		COEFICIENTE DE DAÑO PONDERADO
		LEGAL	REAL PONDERADO	
A	60.0	--	--	0.0005[1]
B[2]	10.0	26.0	23.0	2.50
C2	10.5	12.5[3]	6.5	5.43
C3	7.0	26.0	18.8	2.29
T3-S2	7.5	44.0	30.5	4.78
T3-S3	4.5	48.5	39.4	8.78
T3-S2-R4	0.5	66.5	49.3	1.91

Notas:
[1] Este valor de coeficiente de daño proviene de una estimación aproximada del flujo de automóviles que realmente circula por las carreteras mexicanas.
[2] Se consideró como representativo, el autobús que en los reglamentos actuales de pesos y dimensiones se denomina B3.
[3] Este valor proviene de una estimación de los vehículos C2 y de otros vehículos de carga menores. Para dicha estimación se utilizaron datos reales del Estudio Estadístico de Campo del Autotransporte Nacional (Referencias 1, 2 y 3).

- El tránsito que toma en cuenta se divide en uno y otro sentido por mitades y se consideran carreteras de 4 carriles. Siguiendo un criterio frecuente en literatura alusiva, la base de los diseños es el carril de carga, en el que se supone concentrado el 80% del flujo total en cada dirección. Se acepta

desde este momento que los criterios a que pueda llegarse en la forma descrita orientan suficientemente el criterio a adoptar para el proyecto de carreteras de 2 carriles, que por otra parte sólo caben en los menores tránsitos considerados en este trabajo.

- En la mayoría de los casos se considera que el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) inicial del camino es de 2.5 (m/km) y que se permite que evolucione hasta 4.0, momento en el cual habrá de realizarse una operación de conservación mayor para recuperar el valor de 2.5 de partida.

- En lo referente a la constitución de la sección estructural de los pavimentos, se acepta en el trabajo que constará de un cuerpo de terraplén, una subrasante, una subbase, una base y una carpeta asfáltica. Se supone también en este trabajo que se ha adoptado un criterio de diseño inicial que permita en todos los casos que todos los refuerzos correspondientes a las acciones de conservación mayor se realicen reforzando la sección estructural únicamente con adiciones hacia arriba, de manera que cada acción se aproveche una subestructura básica constituida por la subrasante y la subbase iniciales; los refuerzos consistirán entonces en acciones sobre la base y la carpeta, reusando, por ejemplo, esta última en una mezcla con la base existente, añadiendo lo necesario de material de base y colocando sobre este conjunto el espesor de carpeta mínimo necesario, en atención al superior costo de esta capa. En otras ocasiones, el refuerzo será a base de sobrecarpetas.

- De esta manera, en el cuerpo del terraplén se aceptará que la capa superior, con un espesor mínimo de 1 metro, se construya con un Valor Relativo de Soporte (VRS) mínimo de 10 y con características muy adecuadas de compactación. La subrasante, de 40 cm de espesor mínimo, se considerará con un VRS mínimo hasta de 10, 100% de compactación AASHTO estándar (determinado en laboratorio con contenido de agua igual a la del material en banco a 1.5 m de profundidad), límite líquido máximo de 30% y tamaño máximo de partículas de 7.5 cm. La subbase se considerará con un VRS mínimo de 50%, límite líquido máximo de 25%, índice de plasticidad máximo de 6 y con una compactación de 100%, utilizando la prueba AASHTO modificada. A la base original del pavimento se le asignará un VRS mínimo de 100, con límite líquido máximo de 25%, índice de plasticidad máximo de 6 y compactación de 100% respecto a la prueba AASHTO modificada, con equivalente de arena de 50% como mínimo. Sobre todo lo anterior se considera colocada una carpeta de concreto asfáltico de espesor mínimo de 7.5 cm.

- Los costos que se utilizan en los análisis corresponden a los usuales en la República Mexicana a principios de 1997. Los espesores iniciales de base y

subbase resultan los necesarios para llegar a una sección inicial que revista el periodo que se señale para la primera acción de conservación mayor. Aproximadamente la sección inicial resulta ser una carpeta de 5 ó 10, con una base de 30 cm y una subbase de 35 cm.

Para todas las alternativas se diseña el pavimento y se evalúa su comportamiento durante el horizonte de análisis (índice internacional de rugosidad vs tiempo) utilizando los métodos de la AASHTO. Se calculan costos de construcción y mantenimiento, costos de operación vehicular y costos totales durante el horizonte de análisis o ciclo de vida.

A manera de ejemplo de los análisis realizados para cada alternativa se presenta la Tabla 2, la cual muestra, para la primera alternativa analizada de pavimento flexible, el tránsito asumido al inicio del periodo de análisis; los intervalos entre acciones de conservación mayor; el número estructural AASHTO requerido para afrontar el tránsito de cada intervalo (el cual crece de acuerdo con la tasa anual de crecimiento asumida); los costos de construcción y conservación por kilómetro de cada intervalo (no descontados y descontados); los costos de operación vehicular descontados; el IRI promedio y la suma de los costos anteriores para todo el ciclo de vida.

Tabla 2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS REALIZADO PARA LA ALTERNATIVA 1 DE PAVIMENTO FLEXIBLE

ALTERNATIVA	TRÁNSITO (VEHI/DIA)	INTERVALO ENTRE ACCIONES DE CONSERVACIÓN	NÚMERO ESTRUCTURAL AASHTO	COSTOS (PESOS DE 1997/KM)				IIR PROM. EN EL PERIODO
				DE CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN	DESCONTADOS DE CONTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN	OPERATIVOS DESCONTADOS	TOTALES	
1	10,000	0 a 5	5.43	1,555,643	1,555,643	24,232,223		3.42
		5 a 10	5.56	98,595	77,251	19,303,515		
		10 a 15	5.70	254,999	156,547	15,150,033		
		15 a 20	5.83	386,927	186,118	11,873,811		
		20 a 25	5.97	392,959	148,102	9,304,061		
		25 a 30	6.10	382,951	113,087	7,291,777		
Totales					2,236,748	87,155,420	89,392,168	

De los análisis realizados para los pavimentos flexibles se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- La sección estructural del pavimento, entendida en el sentido amplio que involucra todo el conjunto de capas hasta el cuerpo del terraplén, juega un papel supremo en el comportamiento de una carretera en cualquier horizonte temporal. Una sección estructural resistente y apropiada conduce a costos de conservación menores en la vida del pavimento y, sobre todo, a menores costos de operación; especialmente en este último caso, lo anterior es tanto más cierto cuanto mayor sea el tránsito. De lo atrás descrito se deduce que la adopción de criterios que permitan construir secciones estructurales de amplio horizonte, que puedan crecer únicamente por sucesivas adiciones, pero aprovechando siempre lo antes construido, constituye un criterio fundamental de proyecto. Al contemplar horizontes de vida amplios, no se requiere preparar inicialmente al camino para ellos,

pero sí adoptar secciones estructurales capaces de crecer con el tiempo, con utilización plena de lo antes hecho.

- Ciertas políticas de conservación no pueden realizarse por haber partido de una sección estructural débil; sin embargo, una sección oportuna y adecuada de conservación puede enderezar las cosas. En general, las acciones oportunas de conservación impiden un deterioro excesivo de la carretera que induciría a trabajos posteriores de un costo mucho mayor tanto en conservación como en operación.

- La mayor frecuencia de acciones de conservación importantes conduce a mayores costos de conservación y a mayores costos de operación.

- En plazos largos, los costos de conservación y de operación crecen significativamente cuanto mayor sea el deterioro al que se permite llegar el estado superficial de la carretera.

ANÁLISIS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

Las alternativas de pavimentos rígidos abarcan tránsitos de 5 mil, 10 mil, 20 mil, 30 mil, 40 mil y 50 mil vehículos diarios de todos los tipos y en ambas direcciones. En todos los casos se consideró una tasa de crecimiento del tránsito de 3% anual y utilización de concretos de 300 kg/cm^2 de Módulo de Ruptura a la tensión por flexión. También en todos los casos se consideró una losa de concreto simple con pasajuntas, apoyada siempre en una subbase de 15 a 20 cm; a dicha subbase se le consideró en todos los análisis un VRS de 50%; también en todos los casos se consideró la existencia de una subrasante con VRS de 20%. A este respecto conviene comentar que los autores hicieron una serie de cálculos no incluidos en este trabajo, haciendo variar en calidad y espesor las subrasantes y las subbases a considerar, llegando a la conclusión de que a partir de los espesores y las calidades arriba seleccionadas, mejorías ulteriores no tienen una influencia significativa en las características de la losa, en espesor, su costo y evolución de comportamiento con el tiempo.

También realizaron los autores numerosos cálculos con concretos de resistencia distinta a la seleccionada, llegando a la conclusión de que a partir de valores mínimos, del tipo del escogido en este trabajo (f'c = 300 kg/cm^2), aún incrementos importantes de ese valor se traducen en disminuciones de espesor de la losa poco significativas. Obviamente todos estos análisis deberán hacerse detalladamente en cada proyecto específico, pero los autores creen que para un enfoque general la adopción del concreto seleccionado es plenamente representativo.

Otro aspecto a tomarse en cuenta, pero que no se detalla en el trabajo, es la suposición implícita de que en la estructura de los pavimentos rígidos, se están cumpliendo los requisitos necesarios de calidad para evitar deterioros acelerados

de carácter evitable, tales como los que produce el bombeo, arrastre de materiales por flujos internos y otros. También se asume que la subbase satisface todos los requerimientos en cuanto a contenido de finos, de manera que la losa debe considerarse libre de problemas de bombeo u otros que aparecen como consecuencia de la presencia de dichos finos.

Para este tipo de pavimentos, todos los análisis fueron a treinta años de vida, sin acciones de conservación mayor en algunos casos y una acción de conservación mayor intermedia a los 15 años en otros. Para estas alternativas también se evaluó el comportamiento, así como los costos de construcción y mantenimiento, de operación y mantenimiento, de operación vehicular y totales durante el horizonte de análisis. Los costos utilizados en construcción, conservación y operación son los correspondientes a la práctica nacional en 1997. A manera de ejemplo de los análisis realizados para las alternativas de pavimento rígido, la Tabla 3 presenta el análisis realizado para la primera alternativa considerada.

Tabla 3. ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y DE COSTOS DE LA ALTERNATIVA 1 PARA PAVIMENTOS RIGIDOS

Tránsito. 5,000 veh./día
Crecimiento del tránsito: 3%
f'_c = 300 kg/cm^2
VRS (SB) = 50
VRS (SB = 15-20
VRS (SR) = 20
IIR = de 2.5 a 5.0

Intervalos entre acciones Años	Espesor de losa y adiciones cm	Costo				IIR promedio
		Inicial de conservación	Descontando 5 % de conservación	De operación descontado	Total descontado	
		Millones de pesos por kilómetro				
0 a 15	22	2.80	2.80	36.6	39.4	3.6
15 a 30	4(1)	0.35	0.17	27.4	27.6	3.6
			2.97		67.0	

(1) En esta y otras tablas se señalan espesores de refuerzo en las losas tales como expresa el cálculo; en algunos casos habría que utilizar espesores mayores por razones constructivas.

Las conclusiones más importantes obtenidas para este tipo de pavimentos son:

- Si se aceptan niveles de deterioro relativamente altos antes de ejercer acciones de conservación importantes, se producen incrementos de cierta trascendencia en los costos de operación, sin ahorros significativos en los de conservación y los costos de construcción inicial prácticamente son los mismos; lo anterior parece indicar como conveniente una política de construcción no restrictiva en cuanto a calidad y espesores de losa para garantizar un comportamiento adecuado durante la vida útil.

- Se obtuvo que una estructura inicial que conduzca a evitar toda acción de

conservación mayor en el periodo completo de 30 años disminuye los costos de operación sin un aumento desproporcionado del costo inicial, poniéndose de nuevo de manifiesto las ventajas de una sección estructural inicial suficientemente resistente.

-

ALGUNOS ASPECTOS COMPARATIVOS ENTRE PAVIMENTOS RÍGIDOS Y FLEXIBLES

Se confrontaron los resultados obtenidos entre pavimentos flexibles y rígidos, obteniéndose las siguientes conclusiones de interés:

- Los dos tipos de pavimento ofrecen opciones posibles para la buena construcción de carreteras.

- En ambos tipos de estructura parece no poder existir una política más perjudicial que el ahorro en la inversión inicial de construcción, sin su debido balanceo con los costos de conservación y de operación del transporte. Este balanceo puede aceptar diversas opciones estratégicas, de acuerdo con los correspondientes análisis de planeación.

- El pavimento rígido empieza a resultar preferente a medida que los tránsitos van siendo mayores (20 mil vehículos o mayores). Esta preferencia va acentuándose para tránsitos de 20 mil vehículos o mayores. Debe notarse a este respecto que en cualquier caso los pavimentos rígidos requieren de acciones de conservación mayor más espaciadas y que esas acciones implican costos no considerados en este trabajo y que se deben a dilaciones y molestias del tránsito durante los períodos de reparación. Este hecho tiende a acentuar la ventaja del uso de los pavimentos rígidos bajo tránsitos importantes.

- En general, el costo de construcción inicial y el de conservación en el período de 30 años es mayor en los pavimentos rígidos que en los flexibles, si bien para tránsitos elevados el rígido presenta un ahorro en operación que le permite resultar más ventajoso en el balance total.

- En cada caso, debe realizarse un análisis particular que permita tomar en cuenta la disponibilidad del material, así como el precio del petróleo. Para cada caso, puede resultar más conveniente uno u otro.

- Se debe de evitar dejar deteriorar excesivamente el IIR máximo de actuación, ya que los costos de conservación serían significativamente elevados, así como el costo de oportunidad de las inversiones.

REFERENCIAS

1. Rico A., Mendoza A., Téllez R. y Mayoral E. “algunos Aspectos Comparativos entre Pavimentos Flexibles y Rígidos”. Publicación Técnica No. 103, Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, Qro. 1998.
2. Mendoza A. y Cadena A. “Estudio de Pesos y Dimensiones de los Vehículos que Circulan sobre las Carreteras Mexicanas. Análisis Estadístico del Peso y las Dimensiones de los Vehículos de Carga que Circulan por la Red Nacional de Carreteras. Estaciones Instaladas durante 1991”. Documento Técnico No. 8, Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, Qro. 1992.
3. Mendoza A., Castillo M y Gutiérrez J.L. “Estudio de Pesos y Dimensiones de los Vehículos de Carga que Circulan por la Red Nacional de Carreteras. Análisis Estadístico de la Información Recopilada en las Estaciones Instaladas en 1992 y 1993”. Documento Técnico No. 17, Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, Qro., 1995.
4. Durán G., Gutiérrez J.L. y Mendoza A. “Estudio de Pesos y Dimensiones de los Vehículos de Carga que Circulan sobre las Carreteras Nacionales. Análisis Estadístico de la Información Recopilada en las Estaciones Instaladas en 1994”. Documento Técnico No. 18, Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, Qro., 1996.
5. Reglamento sobre el Peso, Dimensiones y Capacidad de los Vehículos de Autotransporte que Transitan en los Caminos y Puentes de Jurisdicción Federal. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Subsecretaría de Transporte. Dirección General de Autotransporte Federal. México, D.F., 1997.

EN TORNO AL USO DEL CONCRETO HIDRÁULICO EN LA RED CARRETERA NACIONAL**

Alfonso Rico Rodríguez y Roberto Aguerrebere Salido

I.- El concreto se ha utilizado en México amplia y profusamente en obras de todo tipo. Con este material arquitectos e ingenieros han concebido y construido un sin número de edificaciones con los usos más diversos, hospitales, estadios, puentes, escuelas, viviendas, así como obras de infraestructura que incluyen obras de demasías y cortinas de presas, canales, túneles, muelles, pistas y calles de rodaje en aeropuertos y vialidades casi exclusivamente urbanas.

En lo referente a obras viales, la utilización del concreto ha sido prácticamente nula en carreteras interurbanas pero, como se señaló, muy abundante en avenidas y calles citadinas y en muchos boulevares de acceso a ciudades, frecuentemente sujetos a tránsito interurbano intenso. A este respecto, caben muchas reflexiones preliminares pero, en este momento, quisiera señalar únicamente una de ellas. Al inaugurar una avenida puramente urbana con pavimento de concreto, suele afrontarse un periodo de tiempo importante en el que por una u otra razón sea preciso romperlo para corregir problemas de drenaje, conectar casas y edificios a diversos servicios, etc. Todo ello suele causar que el impecable y duradero pavimento original aparezca posteriormente parchado y demeritado. Se antoja pensar que un pavimento provisional de tipo asfáltico de horizonte temporal bajo y por ende barato, hubiese sido un buen prólogo a la utilización de un flamante y duradero pavimento de concreto.

De cualquier modo, puede afirmarse entonces que el uso de concreto hidráulico por la ingeniería y el gremio constructor del país, no ha representado en el pasado y tampoco parece representarlo en el presente, ningún problema tecnológico. Es decir, ante la evidencia de multitud de obras a lo largo y ancho del país, ni la producción de agregados pétreos, o la disponibilidad de cemento de calidad, la capacidad técnica para el diseño de las mezclas, la disponibilidad de aditivos que se haya juzgado necesario utilizar, el aprendizaje, adaptación o creación de procedimientos constructivos han sido limitantes u obstáculos al proyecto, uso y aprovechamiento del concreto como material básico en el desarrollo de las obras nacionales.

Hay que reconocer, sin embargo, que los equipos de fabricación y colocación del concreto en sus diversas variantes han evolucionado más allá de los comúnmente ocupados en el país, evolución derivada principalmente de desarrollos de la ingeniería mecánica que brinda alternativas de ejecución de trabajos en concreto hidráulico con mejor calidad de terminados y mayor eficiencia económica, considerando plazos suficientes para amortizar las inversiones que representan su adquisición. A este respecto se presenta en el país un típico círculo vicioso: las

**Rico, A. y Aguerrebere, R. (1994). En torno al uso del concreto hidráulico en la red carretera nacional. Tercer Congreso Nacional del Concreto. Acapulco.

empresas especializadas en la construcción de carreteras no tienen la última palabra en equipos para pavimentos de concreto y ello, precisamente porque no hay pavimentos de concreto que prestigien la solución.

II.- El concreto constituye una solución completa y, para fines prácticos, definitiva, para el problema planteado por los pavimentos carreteros. A juicio de los autores de esta nota, su principal enemigo sería el que es común a muchas de las obras que se construyen en México. Este enemigo es el subdiseño, al que pretende justificarse en aras de un costo inicial mínimo, al que se aspira aduciendo las múltiples necesidades de la nación. Este criterio, llevado a ultranza, conduce a obras de conservación cara y excesivamente frecuente en acciones, pero sobre todo, a una operación defectuosa, con importantes sobrecostos que gravan a la nación durante toda la vida útil de las obras (interrupciones del tránsito, incremento de riesgos de accidentes debido a lo anterior, incremento acumulativo de tiempos de viaje, sobrecostos directos de operación vehicular por el estado superficial deficiente y sobrecostos económicos debidos a una menor confiabilidad en el transporte).

No está de más repetir que si se considera unitario el costo de construcción de una carretera, el costo de conservación en cuarenta años de vida útil puede llegar a ser diez, pero el de operación en el mismo lapso se mide en cientos. Librado el subdiseño como enemigo, con un costo puramente marginal dentro del total de unos pocos centímetros en el espesor de la losa y un poco de cuidado supletorio en sus suelos de apoyo, puede llegarse a una solución duradera y estable.

Obviamente, si logra erradicarse el fantasma del subdiseño en aras del costo de construcción mínimo, el pavimento asfáltico también constituye una solución probada y confiable. Esta versión ha sido la universalmente seguida por México en su red carretera y ello ha sido seguramente acertado por dos razones. Primero, porque México país petrolero, era importante productor de asfalto y el modelo económico nacional era proclive a proporcionar ese asfalto a precios subsidiados, de manera que los pavimentos de asfalto resultaban de 2 a 2.5 veces más baratos que los de concreto. Segundo, porque las intensidades de tránsito que tenían las carreteras mexicanas (y en gran medida aún lo tienen) hacían la solución del pavimento asfáltico perfectamente compatible con los requerimientos. Si los pavimentos asfálticos empiezan a tener hoy ominosos detractores que los desprestigian, debemos preguntarnos si ello se debe a características esenciales de la solución misma o a que hayamos caído en el pecado del subdiseño atrás mencionado (cabe la reflexión reiterativa de si una política de costo inicial mínimo no llegará también a desprestigiar con la misma injusticia los pavimentos de concreto).

A juicio de los autores de esta nota, la cuestión no es de satanizar un tipo de solución en beneficio del otro. Ambos son buenos si se hacen bien y malos si se subdiseña.

Hoy, la mayor parte de los especialistas en carreteras opina que a partir de ciertos niveles de tránsito en número y peso, los pavimentos asfálticos empiezan a ser intrínsecamente desconfiables. Se mencionan cifras del orden de 12 a 15,000 vehículos diarios con porcentaje importante de vehículos pesados, como límites arriba de los cuales la mayor resistencia y durabilidad de los pavimentos de concreto los hacen ya, quizá, indispensables. No se ignora que ciertos elementos de las tecnologías modernas (georedes, geomallas, técnicas especiales de subdrenaje, uso de materiales térreos y pétreos fabricados en planta y otras) pueden extender algo el horizonte de los pavimentos asfálticos, pero se considera razonable pensar que hay un límite por arriba del cual deben pensarse en pavimentos de concreto no sólo como solución alternativa, sino probablemente como inevitable. En México, aforos como los mencionados son raros, pero las proporciones de vehículos pesados en el tránsito son dudosamentee altas (porcentajes del 30% o más de camiones de carga son usuales en los caminos más transitados).

La gran confrontación de los pavimentos asfálticos y los pavimentos de concreto ha terminado en todas partes por ser una competencia formal en dos terrenos, el económico y el de suministros.

Aún en los países petroleros, si el asfalto no se subvenciona y se proporciona a precio internacional, la relación de costo en el pavimento asfáltico y el de concreto, se reduce enormemente en relación a los valores atrás mencionados. De hecho, en países no petroleros, esta relación puede llegar a cambiar el signo, lo que es significativo. Otro factor a considerar es el desarrollo petroquímico que puede señalar utilizaciones ulteriores del asfalto aún provechosas.

El problema de los suministros se centra evidentemente en la disponibilidad de asfalto y cemento. En estos terrenos, como todos los demás que se refieren a la construcción de carreteras, parece que lo importante es señalar políticas claras fundamentadas en informaciones fehacientes, hasta donde el futuro pueda ser desentrañado.

III. Evidentemente la preferencia de un sistema de pavimentación sobre otro, no puede ser objeto de moda o política técnico-económica clara y consistente, necesariamente basada en los dos aspectos contrastantes que atrás se han señalado: el económico y el de suministros. La técnica pura no suele excluir alguna de las dos soluciones en forma tajante en cualquier análisis razonable; sin embargo, hay casos en que la prudencia lleva a inclinarse definitivamente por alguna de ellas.

Alguno se menciona en lo que sigue:

- En México es muy frecuente que se construya un camino para el tránsito modesto que represente un elemento generador de riqueza nacional aún

incipiente, pero que ese camino se desarrolle exitosamente en ambos conceptos.

Un razonable criterio de manejo de inversiones diferidas, por cierto frecuentemente utilizados, hace que a lo largo de los años esa carretera haya de sufrir refuerzos, rectificaciones de trazo y modernizaciones en lo general, que harían altamente desaconsejable la utilización prematura de carácter tan definitivo y difícil de modificar como un pavimento de concreto. Esos deberán de seguir siendo probablemente casos típicos de pavimentos asfálticos.

- En el otro extremo, carreteras de alto tránsito y con alto porcentaje de vehículos pesados deberían beneficiarse, sea en la construcción inicial o sea aprovechando la coyuntura de una modernización definitiva, de los pavimentos de concreto, mucho menos demandadores de conservación frecuente y más capaz de sostener un índice de servicio adecuado durante largos periodos de tiempo, con mínimas inversiones.

- Existen casos en carreteras o en otras obras relacionadas con el transporte en donde prácticamente no es factible pensar en la posibilidad de actuar con frecuencia en la superficie de rodamiento, sin caer en auténticos desastres operativos. Tal es el caso de muchas patios de maniobra, de terminales de carga y pasajeros, de explanadas operativas en puertos, de tramos carreteros conectados a grandes puentes, por ejemplo internacionales, boulevares de entrada a ciudades, otros muchos. Todos estos casos, más los que pudieran ocurrirse, se benefician extraordinariamente de sólidos y duraderos pavimentos de concreto, mucho menos demandadores de acciones continuas de regeneración de la superficie de rodamiento.

- Recientemente se están empleando con éxito recubrimientos con losas de espesor relativamente pequeño, empleadas sobre pavimentos asfálticos en operación previa. Este tipo de pavimento mixto pueden tener interesantes campos de aplicación, si bien no puede pensarse en ellos como una solución de utilización general. La condición es obviamente que la selección estructural previamente existente no sea deformable a un grado tal que la capa de recubrimiento sufra agrietamiento prematuro.

- La utilización de concreto rodillado ha sido exitosa en muchos de los casos

mencionados anteriormente, extendiéndose inclusive hacia los caminos de tránsito menor, o utilizándose como capas incorporadas a la sección estructural de pavimentos asfálticos.

- Los asfaltos son más proclives a ser atacados por elementos que los oxidan o los degradan. Las plataformas de los aeropuertos constituyen en caso típico, como lo son también ciertas intersecciones en zonas urbanas, productoras de frecuentes paradas y arranques de vehículos.

- Muchas autoridades en la materia piensan que los pisos de los túneles han de ser necesariamente de concreto, por no ser aceptable el mantenimiento frecuente, por obtener ventaja de reducción de gálibos y por menor peligrosidad en casos indecisos.

- El pavimento asfáltico resulta más favorable para muchos por comodidad de marcha y, donde luego lo es, desde el punto de vista de ruido, razón por la cual tiende a ser favorecido en la vecindad de hospitales, recintos universitarios y otros lugares.

- Se ha mencionado que la política de energéticos favorece al pavimento de concreto sobre el asfáltico, quizá no tanto por el proceso industrial en sí mismo, cuanto porque parece probado que el rodamiento sobre un pavimento rígido produce menor consumo de combustible en los vehículos.

La enumeración anterior no debe interpretarse como una preferencia de los autores por un tipo de pavimento. No hay que decir que la situación común de la red de carreteras sigue en México aceptando cualquiera de las dos soluciones, en la gran mayoría de los proyectos.

IV. Al margen de todas las consideraciones anteriores, parece claro que para definir una política nacional, consistente en lo relativo a la comparación de ambos sistemas, expertos en áreas que ya no son de vialidad ni de transporte han de omitir opinión y esa opinión afectará tanto al problema de comparación económica como al de suministros. Algunas interrogantes a formar serán:

- La evolución del precio del asfalto en el futuro contemplable y las posibilidades de la petroquímica para obtener de ese material beneficios ulteriores. También convendría una visión realista sobre la posibilidad de

obtener las calidades necesarias.

- La capacidad nacional de producir cemento y la conveniencia de dedicar ese cemento a obras viales. En el caso de que por exportación o dedicación a otros usos la capacidad nacional de disponer de cemento se viera en entredicho, habría que definir la posibilidad de obtenerlo ventajosamente en el extranjero.

Conclusión

Los autores no creen que haya un criterio general que de primacía a un sistema de pavimentación sobre todo, salvo en algunos casos específicos, algunos de los cuales se mencionaron. La comparación de costos totales y el problema de la conservación seguirá siendo el paradigma económico para muchas decisiones. Las posibilidades de suministro de ambos materiales deberán ser estudiadas por los distintos expertos, así como la probable evolución de su precio. Sin embargo, parece absolutamente fuera de duda que la red carretera mexicana ha llegado a una situación en la que la falta casi total de pavimentos de concreto implica una desventaja altamente cuestionable.

PAVIMENTOS FLEXIBLES. PROBLEMÁTICA, METODOLOGÍAS DE DISEÑO Y TENDENCIAS. VISIÓN MEXICANA**

Alfonso Rico Rodríguez, Rodolfo Téllez Gutiérrez y Paul Garnica Anguas

1. Introducción

Este artículo resume algunos de los aspectos más relevantes de un trabajo de investigación, realizado por los autores (Ref. 1), que considera la problemática general del comportamiento de los pavimentos flexibles, con estructura usual dentro de la práctica mexicana. El punto de vista básico utilizado para el análisis es el comportamiento geotécnico de tal estructura.

2. Problemática de los pavimentos en México

El gran crecimiento del transporte mexicano en número y peso de los vehículos presenta nuevas condiciones, que han de ser tomadas en cuenta por los actuales diseñadores y constructores de pavimentos asfálticos. Actualmente, es posible contemplar en la red básica mexicana tránsitos de más de 30,000 vehículo diarios, en ambos sentidos, con una proporción de vehículos de carga hasta de 30 ó 40%. En este sentido, México es uno de los países de mayor proporción de vehículos de carga dentro del flujo general. Además, es usual ver circular vehículos cuyo peso bruto supera las 60 toneladas.

Parece desprenderse de las condiciones actuales que el costo de operación del transporte y después el costo y frecuencia de las acciones de conservación y/o refuerzo deben ser el paradigma de diseño de los pavimentos flexibles, antes que el costo de construcción inicial. Obviamente esta conclusión es tanto más válida cuanto más ocupada sea la carretera y mayor sea la posibilidad de crecer en ocupación. Por ejemplo, si la construcción de una carretera en México vale 1, la conservación, en su sentido correcto, puede costar 10 ó 12, considerando, un periodo de utilización de 40 ó 50 años, pero la operación, es decir, los costos vehiculares directos en que incurre el transporte de carga y mercancías que circulan sobre los pavimentos, puede representar en el mismo periodo algo comprendido entre 200, 400 o aún más, según el nivel de ocupación.

Las condiciones particulares de México y probablemente de todo el mundo, parecen imponer la necesidad de dosificar el riesgo relativo aceptando los mayores en las capas superiores, minimizándolo en las inferiores, a fin de llegar a operaciones de conservación y/o reconstrucción y refuerzo que ocurran superficialmente, creciendo la estructura hacia arriba, con pleno aprovechamiento de lo ya hecho.

**Rico, A., Téllez, R., y Garnica, P. (1998). Pavimentos flexibles. Problemática, metodologías de diseño y tendencias. Visión Mexicana.2nd Asphalt Technology Conference of the Americas. Austin, Texas. USA. October 12-16.

3. Consideraciones sobre metodologías de diseño

Parece desprenderse de los análisis realizados y de la experiencia previa personal de los autores, la idea de que no existe un procedimiento fundado en una teoría general, producto de un conocimiento metodológico seguro, que permita diseñar los pavimentos flexibles. De hecho, parece que puede concluirse que no se conoce con el detalle suficiente el funcionamiento estructural de los mismos.

Con fines comparativos se muestran a continuación los resultados de 4 cálculos hipotéticos, manejando un tránsito pesado, uno que puede considerarse mediano y otro ligero. Para el tránsito pesado se consideraron 7,500 vehículos diarios en el carril de diseño (que aproximadamente corresponde a una carretera de 4 carriles con 25,000 vehículos diarios en ambas direcciones). Para el tránsito mediano se consideraron 5,000 vehículos en el carril de diseño (carretera de 2 carriles con 10,000 vehículos diarios como tránsito total en ambos sentidos). Para el tránsito ligero se consideró un camino con 1,500 vehículos en el carril de diseño (carretera de 2 carriles con 3,000 vehículos diarios en ambas direcciones).

Las secciones estructurales de los pavimentos se calcularon por el método del Instituto Norteamericano del Asfalto, el método AASHTO y el método del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, adoptando secciones usuales. Se calcularon también utilizando un método de diseño mecanicista, considerando al pavimento como un sistema de capas elásticas; los criterios de deterioro empleados en esos cálculos fueron los del Instituto del Asfalto, por lo que en aras de la diversificación el cálculo se repitió con otro modelo de deterioro que fue el de la Compañía Shell. Los módulos de resiliencia utilizados en todos los diseños fueron de 400,000, 30,000, 15,000 y 6,000 psi para carpeta, base, subbase y subrasante, respectivamente.

En todos los cálculos se diseñó para una vida útil de 20 años, antes de cualquier acción de rehabilitación importante. La Tabla 1 resume los resultados obtenidos, expresados en espesor de asfalto equivalente para fines de comparación. Para ello se consideró que 2 cm de base y 3 cm de subbase representan una equivalencia razonable con 1 cm de carpeta asfáltica

Tabla 1. SECCIONES ETRUCTURALES DISEÑADAS CON MÉTODOS Y NIVELES DE TRÁNSITO QUE SE INDICAN, EXPRESADAS EN ESPESOR DE ASFALTO EQUIVALENTE

Tránsito	**ESPESORES EQUIVALENTES DE CARPETA ASFÁLTICA, EN CM**				
	Instituto del Asfalto	AASHTO	II-UNAM	MECANICISTA Criterio 1	MECANICISTA Criterio 2
Pesado	53	45	31	54	39
Mediano	48	44	29	42	30
Ligero	38	34	24	31	22

Criterio 1: Modelos de deterioro del Instituto de Asfalto.
Criterio 2: Modelos de deterioro de la Compañía Shell

Los resultados ponen de manifiesto la dificultad que existe al tratar de comparar métodos de diseño entre sí. El diseño de un pavimento por diferentes métodos, para las mismas condiciones, puede conducir a muy diferentes geometrías. La confiabilidad de un método sólo se puede valuar a partir del rigor con el que se aplica el procedimiento de diseño correspondiente y de la estimación de la dispersión de los parámetros de diseño involucrados. A falta de una teoría científica sobre el comportamiento de los pavimentos, la validación de un método de diseño sólo se puede realizar a partir de la observación empírica del funcionamiento a largo plazo del pavimento.

De los resultados de la Tabla 1 no puede extraerse ninguna tendencia de carácter general. Por ejemplo, en la tabla se observa que el criterio de deterioro No. 2 conduce a un dimensionamiento menor que le criterio No. 1, pero esto no invalida la posibilidad de que con un abanico de datos diferentes no pudiera llegarse a resultados opuestos.

El comportamiento de los pavimentos flexibles depende en gran medida de condiciones no incluidas necesariamente en los métodos de diseño estructural. La temperatura, las condiciones de drenaje regional, la hidrología y otras pueden jugar papeles muy importantes y frecuentemente pueden ser objeto de consideración del responsable de diseño geométrico y geotécnico de la carretera, con muy adecuadas repercusiones en el resultado final.

Del análisis comparativo de los resultados de los métodos de diseño estudiados con detalle en la Ref. 1, pueden observarse diferencias importantes para todos los niveles de tránsito. El número estructural de un pavimento puede variar en más del 100% al cambiar el método de diseño. Estas diferencias tienden a agudizarse al aumentar la intensidad del tránsito. Esto parece ser consecuencia de la falta de un planteamiento científico del problema y de las diferentes concepciones y

experiencias de quienes propusieron los métodos.

En los métodos de carácter empírico en boga, los autores de este trabajo observaron que los elementos de cálculo no alcanzan a cubrir niveles de tránsito relativamente altos, pero ya presentes en el transporte mexicano actual (por ejemplo, tránsitos superiores a 30,000 vehículos diarios en ambos sentidos, no pueden manejarse con las tablas y gráficas proporcionadas, cuando se usan tasas de crecimiento y porcentajes de vehículos pesados que ya son frecuentes en la práctica actual). Este hecho confirma el origen empírico de estos métodos, pues en el momento de su nacimiento la mayoría de los niveles de tránsito eran más bajos de los que hoy son familiares y, correspondientemente, existía menos conocimiento experimental al respecto.

4. Tendencias en investigación

Las tendencias de la investigación actual en lo que se refiere a métodos de diseño, indica una preferencia marcada por el desarrollo de métodos mecanicistas. Estos métodos utilizan las soluciones basadas en las Teorías de la Elasticidad y Viscoelasticidad, que están edificadas sobre hipótesis simplificadoras que parecen no ser satisfactorias para quien tenga experiencia de materiales y de comportamiento de pavimentos. De hecho, la confiabilidad de esos métodos es baja.

Los criterios de deterioro aceptados actualmente incluyen el agrietamiento por fatiga y las deformaciones permanentes. Es usual relacionar el primero con la deformación unitaria máxima a tensión en el plano inferior de la capa asfáltica, y el segundo con la deformación unitaria máxima a compresión en la subrasante únicamente. Sin embargo, se considera que lo más razonable es realizar la acumulación de deformaciones debidas a cada una de las capas del pavimento.

En lo que respecta a materiales asfálticos, el programa americano de investigación sobre carreteras, denominado SHRP, ha propuesto nuevos procedimientos de ensaye y especificaciones para asfaltos, que pretenden relacionarse directamente con el comportamiento esperado del pavimento. Sin embargo, la investigación realizada sobre el comportamiento de las mezclas asfálticas, que constituyen realmente la capa superior de los pavimentos flexibles, es muy limitada. De hecho, no existe un procedimiento definido para el control de deformaciones permanentes en la carpeta asfáltica. El programa SHRP propone recomendaciones al respecto basadas en la selección de materiales y en las técnicas de diseño de la mezcla usando criterios fundamentalmente empíricos.

La validación del programa de investigación SHRP depende del comportamiento observado, a largo plazo, de pavimentos a prueba completamente instrumentados. Los tramos que se están utilizando en campo para seguir la evolución de variables están sujetos a todas las incertidumbres a que han venido estando sujetos los pavimentos en los últimos 200 años, lo que hace temer que exista en este aspecto

una actitud optimista en relación al futuro.

Los trabajos de SHRP en laboratorio han producido ya algunos instrumentos y métodos de experimentación que parecen prometedores y ventajosos; también han arrojado cierta luz sobre clasificación, tipología y utilización conveniente de diferentes tipos de asfaltos. En general, estas técnicas de laboratorio ofrecen un panorama alentador; sin embargo, quizá se deba echar de menos un esfuerzo mayor dirigido hacia las mezclas asfálticas.

5. Conclusiones

Es sentimiento de los autores que el buen comportamiento de una pavimento flexible depende más de los materiales empleados en construirlo y de las condiciones de trabajo de los mismos (por ejemplo, drenaje y subdrenaje) que del uso preferente de un determinado método de diseño. A este respecto, parece fundamental considerar la tecnología de pavimentos como una parte de la Geotecnia Aplicada.

Debe mencionarse también que en este momento existe a nivel mundial una profunda preocupación que se está traduciendo en esfuerzos concertados de investigación internacional, a todo lo cual México no es indiferente, por encontrar tecnologías de laboratorio que traten de informar sobre el comportamiento de los materiales en relación directa a propiedades fundamentales o a circunstancias específicas que afectan a los pavimentos reales. Estos esfuerzos están haciendo aparecer tecnologías de laboratorio generadas por procedimientos más razonables, pero aún no del todo confrontados con la realidad de las obras, por lo cual es difícil justipreciar cual va a ser su nivel de éxito. Lo que parece fuera de duda es que se observa una inquietud de los investigadores en el campo de los pavimentos, que produce una actividad creciente que no dejará de generar resultados favorables.

6. Referencias

1. A. Rico, R. Téllez, P. Garnica (1998), “Pavimentos flexibles. Problemática, Metodologías de Diseño y Tendencias”, Publicación Técnica No. 104, Instituto Mexicano del Transporte.

PAVIMENTOS**

Alfonso Rico Rodríguez

1.- INTRODUCCIÓN

Debe reconocerse que los pavimentos que México necesita en sus carreteras no son hoy los mismos que fueron en otras épocas. Circunscribiendo las ideas a la red nacional pavimentada, tal como es el objetivo del presente trabajo, debe aceptarse un muy importante cambio de circunstancias entre el momento actual y las épocas en que las carreteras mexicanas empezaron a ser construidas y en que en buena parte se desarrollaron.

La red nacional comenzó a formarse en el sentido actual a partir de la época 1920-1930 y creció a un ritmo relativamente moderado hasta 1950. Entre 1950 y 1970, la red fue objeto de un desarrollo muy importante y a partir de 1980 continuó creciendo significativamente, pero probablemente con un gradiente menor, si bien en los últimos años (en el período 1990-1995) tuvo lugar la incorporación de una red de modernas autopistas con longitud del orden de los 5,000 km.

En el desarrollo de la red nacional son discernibles tres etapas relativamente bien diferenciadas. En un principio, la motivación fundamental de la planeación fue conscientemente o por mandato inapelable de la red nacional, la integración sociopolítica de la nación. Se construyeron los enlaces carreteros que unen la capital nacional con las capitales estatales, después estas últimas con las principales ciudades de sus estados y con otras capitales estatales y finalmente se comunicaron todas esas localidades con la totalidad de las ciudades importantes del país. De esta manera se logró una integración nacional que garantizó la unidad económica, social y política, a la vez que se lograron las condiciones necesarias para la integración, defensa y homogeneización de la nación.

A esta etapa siguió otra en la que se reconoció que la red anterior, que podría considerarse como la red principal básica, tendría que ser complementada por una red alimentadora de carácter en gran parte rural y capilar, a fin de lograr un movimiento general más eficiente y de mayor penetración en todo el territorio nacional. De esta manera nació un muy importante número de caminos rurales y secundarios, pavimentados, empedrados, etc., siempre con el requisito de garantizar el tránsito en toda época del año. Esta red complementaria, que deberá expandirse constantemente en el futuro, no será contemplada en su mayor parte en este trabajo, que se refiere únicamente a carreteras pavimentadas con pavimentos asfálticos, que corresponden más bien a la red estatal y federal básicas.

**Rico, A. (¿?). Pavimentos. Referencia desconocida.

A la segunda etapa arriba descrita siguió lo que podría considerarse como una tercera, en donde el énfasis principal de la construcción se puso en carreteras muy modernas de altas especificaciones, frecuentemente de cuatro y más carriles. En esta etapa se desarrollaron también nuevas formas de financiamiento, responsabilidad y cuidado en conservación y operación, así como se convirtió en rutinaria una política ya bien conocida en el país de peajes y sistemas para transferir al usuario los costos del programa.

No hay que decir que la delimitación de las tres etapas atrás mencionadas no ocurrió ni ocurre en forma tajante. A lo largo de toda la historia reciente de México ha continuado la construcción de carreteras de carácter más tradicional, de tránsito libre y dos carriles, así como caminos alimentadores o, inclusive, autopistas modernas, algunas de las cuales tienen en el México actual antigüedades muy grandes. Lo que distingue a las etapas anteriores en todo caso es un cierto énfasis que sí parece estar presente.

Es de esperar que en el futuro una parte importante del esfuerzo constructivo nacional en el área carretera se dirija principalmente a lograr el tránsito expedito y rápido de bienes y mercancías, con la decidida meta de abatir, en todo lo que vaya resultando posible los costos operativos del transporte nacional, para respaldar el desarrollo económico y la generación y distribución de productos y de riqueza y oportunidades por todas partes. Independientemente de estas metas, parece evidente que habrá de continuar el desarrollo de la red alimentadora que, como se mencionó, no será el objetivo principal de este trabajo.

Obviamente muchos de los cambios anteriores fueron debidos a y a la vez produjeron, lo que podría considerarse un cambio muy importante en el transporte nacional y sus características. En todos esos años, la nación experimentó una transformación económica y estructural muy significativa, que fue haciendo aparecer una infraestructura industrial creciente, hasta alcanzar niveles importantes, de manera que una economía relativamente doméstica se fue convirtiendo en una economía necesitada de recurrir a la exportación de bienes para poder seguir su desarrollo. Lo anterior equivale a decir que el transporte como fenómeno económico fue adquiriendo una importancia cada vez mayor, de manera que podría decirse que una actividad que hasta hace relativamente poco tiempo se centraba en comunicar, hoy se ha transformado en un quehacer mucho más complejo y que, además, se centra en la necesidad perentoria de comunicar en condiciones económicas competitivas y ello dentro de un mundo en donde toda la actividad del transporte evoluciona rápidamente, siempre con la vista fija en el logro de un transporte cada vez más barato, más rápido y más seguro. Un mercado internacional tan altamente competido como el que hoy existe resulta menos accesible si se llega a él con un transporte relativamente más costoso que el que puedan utilizar los competidores comerciales. De esta manera el costo del transporte doméstico pasa a ser un eslabón fundamental en la cadena del

comercio internacional.

Las transformaciones anteriores sucedieron al mismo tiempo que se iban desarrollando transformaciones no menos importantes en los vehículos carreteros utilizados. Si en 1950 el vehículo más pesado que recorría las carreteras nacionales podía llegar a 7 u 8 y toneladas, en la actualidad es usual ver circular unidades cuyo peso bruto supera las 60. A la vez, esta multiplicación ocurrió no sólo en peso, sino también en número. Si en 1950 la carretera más importante de México podría tener 5 ó 6,000 vehículos diarios, de los que un 10% eran camiones de carga, hoy es posible contemplar en la red básica mexicana carreteras con 3 ó 4 veces mayor número de vehículos, además de que la proporción de vehículos de carga aumentó grandemente, hasta niveles de 30 ó 40% del tránsito diario; en este sentido, México es uno de los países de mayor proporción de vehículos de carga dentro del flujo general.

Estos hechos, para los que no puede verse un futuro con tendencia a paliarlos, sino probablemente lo contrario, conducen a condiciones radicalmente nuevas y mucho más onerosas en lo que se refiere al comportamiento de los pavimentos. Condiciones que habrán de ser tomadas en cuenta en los diseños y en la construcción de las secciones estructurales de las carreteras que se construyan en el futuro, en los proyectos de refuerzo que se hacen para adaptar las carreteras existentes a las nuevas condiciones y en las tareas de conservación normal de todas.

La antigüedad de la red básica mexicana presenta, en efecto, hoy una situación que viene exigiendo y así seguirá, importantes inversiones para poner lo existente a tono de lo que exige el presente y exigirá el futuro.

Es un homenaje a la visión de los planeadores que antecedieron a los tiempos actuales, el constatar que la red básica por ellos erigida con criterio sociopolítico, sigue formando hoy parte muy conspicua de la red básica actual, pero a la vez, este hecho trae consigo una importante carga económica, pues hace que una fracción muy importante de la red básica de México sea también la más antigua; vale decir, la que se desarrolló en condiciones más diferentes a las actuales.

Los vehículos de antaño ejercían esfuerzos superficiales sobre los pavimentos menores que los de hoy, puesto que los reglamentos al respecto han tenido que ir reconociendo la situación de facto del desarrollo de vehículos de carga en dimensiones y peso bruto. A la vez, aquellos esfuerzos superficiales disminuían mucho más rápidamente con la profundidad, de manera que en un pavimento típico de entonces era relativamente exigida una capa superior del orden de 30 ó 40 cm de espesor. Los vehículos actuales, con esfuerzos mayores, más que duplican esta profundidad de influencia.

Como consecuencia de aquella situación, los pavimentos se construían frecuentemente en México con materiales que hoy no podemos sino considerar

inadecuados y aún con ellos se cubrían pequeños espesores, bajo los cuales aparecían suelos naturales, generalmente producto de préstamo lateral en terrenos inmediatamente aledaños a la carretera en construcción. Los materiales eran frecuentemente tan endebles que se consideraba que el agua y sus efectos eran los enemigos de los ingenieros de caminos, pues convertía en altamente deformables las selecciones estructurales. Efectivamente, las carreteras se deformaban y tenían baches, todo lo cual influía fatalmente en los costos de operación, pero la operación era escasa y se trataba de conseguir comunicación dentro de una economía nacional relativamente de también escaso nivel.

Obviamente muchos de esos caminos tienen hoy funciones mucho menos conectadas con el transporte nacional más importante, pues en parte han sido substituidos por carreteras más modernas; en otros casos los caminos antiguos han sido reforzados con refuerzos estructurales hacia arriba y en tal caso presentan hoy un serio y recurrente problema de conservación, pues los modernos camiones envían sus efectos a las capas profundas no modernizadas, haciendo poco durables los añadidos superiores.

El gran crecimiento del transporte nacional en número y peso de los vehículos presenta entonces nuevas condiciones, que han de ser tomadas en cuenta por los actuales diseñadores y constructores de pavimentos asfálticos.

Es en este panorama histórico y conceptual en el que se ha pensado que un trabajo como el presente pudiera tener utilidad, al expresar la realidad del ambiente en que se desarrolla la construcción de nuevas carreteras y la conservación de las existentes, los cambios que seguramente resultarán útiles y necesarios en la conceptualización de proyectos de nuevos pavimentos o de refuerzos y los métodos con que hoy se cuenta o que están en una etapa de desarrollo avanzado, para diseñar en detalle las secciones estructurales de las carreteras que han de soportar un transporte nacional que, sin duda, será siempre creciente.

II.- Costos Asociados a la Tecnología de Pavimentos. Riesgos del Subdiseño

Puede afirmarse que en la filosofía del ingeniero de carreteras y aún en la de de la ingeniería nacional como un todo, ha llegado a entronizarse explícita o insidiosamente la idea de que el costo mínimo de construcción (la inversión inicial) es una meta ideal de todo proyecto. No se ignora, por otra parte, que si en torno a cualquier proyecto se trata este tema en forma contraria a esta opinión, permitiendo que los interlocutores teoricen, todos los responsables, sin excepción, negarán el hecho de que el criterio de costo inicial mínimo en la realización de una obra, sea realmente su paradigma personal. Pero lo es, con excesiva frecuencia.

El criterio del ingeniero no pude desarrollarse, obviamente, sin una consideración de los factores económicos involucrados, pero estos resultan siempre de una

amplitud y balance que trasciende enormemente la consideración única o preponderante del costo inicial de la misma construcción. Así, un análisis tan incompleto de los factores económicos puede y suele producir serios inconvenientes en los resultados finales de los esfuerzos de la Nación.

Más aún, la legislación y los mecanismos de contratación actuales resultan, debe reconocerse, excesivamente proclives a la aparición de nocivos aspectos en el funcionamiento de las cosas en el largo plazo, al alentar de manera exagerada el logro de un costo mínimo de inversión inicial. El pecado no es sólo mexicano, es mundial (o casi) en cierta escala y se transmite de padres a hijos, a través de libros, artículos, congresos y otros instrumentos.

Es claro que nadie es partidario de gastar el presupuesto nacional en números mayores que lo necesario en cada caso, pero el necesario raramente coincide con la mínima inversión inicial. Suele ser mayor, por tener que tomar en cuenta otros factores. De esta manera, el criterio del costo inicial mínimo ha llevado a México y a muchos países a infraestructuras deficientes en muchos casos; no preparadas para un futuro uso y crecimiento y, a veces, con un funcionamiento defectuoso en lo construido con alto costo y gran sacrificio.

Parece incontrovertible que la Nación debe gastar lo preciso para un funcionamiento adecuado y un crecimiento armónico.

Construidos los pavimentos, para circunscribir este trabajo a su tema central, deben conservarse y operar para cumplir sus fines de propiciar un óptimo transporte. Conservarse, no quiere decir tenerlos siempre flamantes como el día de su estreno. México crece y progresa y lo que se hace para cubrir un servicio que va a durar mucho más de lo que suele considerarse el período de vida útil de una obra, deberá cubrir en cualquier futuro fines cada vez más amplios en lo cualitativo y en lo cuantitativo; esta es experiencia del pasado. Conservar una carretera, quiere decir mantenerla todos esos años en la misma calidad de servicio, haciendo frente a una demanda sin duda creciente y muy frecuentemente, grandemente creciente. Este hecho, puede y debe ser previsto en el proyecto inicial.

El pavimento tiene que sostener una operación y ésta representa, si se toman en cuenta todos los costos nacionales involucrados, valores económicos muy superiores a lo que costó construir y conservar las cosas. Si la construcción de una carretera en México vale 1, la conservación, en su sentido correcto, puede costar 10 ó 12, considerando un período de utilización de 40 ó 50 años (y se está viendo que las carreteras duran mucho más), pero la operación, es decir, los costos vehiculares directos en que incurre el transporte de carga y mercancías que circulan sobre los pavimentos, puede representar el mismo período algo comprendido entre 200, 400 o aún más, según el nivel de ocupación.

Por otra parte, estudios realizados por el Instituto Mexicano del Transporte hacen

ver que la diferencia en costo de operación de un camión tipo normal en la red nacional, al circular con una pendiente de 3% es un 50% mayor que si circula por terreno plano; esta diferencia llega al 100% si han de superarse pendientes de 5 ó 6%, no raras en las carreteras de México.

Análogamente y según los mismos estudios, si el estado superficial de un pavimento pasa de lo que se considera un estado “óptimo” a otro calificado de “bueno”, el costo de operación por kilómetro recorrido, puede aumentar de un 15 a un 20% y, si el estado superficial llegara a “malo” este factor de incremento podría ser de 35 ó 40%.

Estos o parecidos incrementos afectan hoy tránsitos que en número de vehículos y en valor económico de la carga transportada, son incomparables con los de un pasado relativamente reciente. Para dar una idea de la actividad económica que mantiene hoy el transporte nacional, puede decirse que por la caseta de cobro de Tepotzotlán, de la Autopista México-Querétaro, pasa cada año un valor transportado del orden del 25% del Producto Interno Bruto del País, estimado en 300,000 millones de dólares anuales.

Esta enorme desproporción entre los costos (y los beneficios) de operar la infraestructura nacional, en comparación con los costos de construirla, hacen muy peligroso el criterio de que sea el costo de construcción mínimo el paradigma de un proyecto carretero. Hacen ver también el papel importante que un pavimento en buen estado juega en los ahorros posibles.

Todo lo anterior debe llevar al ánimo de los ingenieros responsables de la construcción y mantenimiento de los pavimentos de las carreteras mexicanas, lo importante que resulta lograr una buena calidad de rodamiento y una buena previsión de la conservación por venir.

III.- Reparto del Riesgo en el Diseño de los Pavimentos Flexibles de las Carreteras

Debe reconocerse que los mismos “enemigos” del ingeniero de carreteras han cambiado en México con los años. Si antaño era el agua y sus efectos más directos la causa de los más evidentes destrozos, hoy son otros los elementos nocivos más activos. En los pavimentos actuales, la acción de las cargas repetidas es la más notable causa del deterioro; como se dijo estas cargas han aumentado mucho, tanto, en magnitud como en número de repeticiones, lo que induce la posibilidad de fallas posfatiga y por el efecto de la deformación acumulativa.

La falla por fatiga es la que ocurre por la acción reiterada de un esfuerzo que, aplicado una sola vez, no provocaría ningún problema. Un ejemplo simple se tiene al doblar una y otra vez un alambre y constatar que en la operación número “x” se rompe el alambre, aunque aparentemente esa acción final fue idéntica a los doblajes procedentes. Un similar efecto reiterativo tiene el tránsito al pasar una y

otra vez sobre una carpeta asfáltica. Obviamente, este efecto reiterativo depende y esto es una evidencia experimental para cualquiera, de dos condiciones. Primero, de la intensidad de la acción reiterada, vale decir del esfuerzo aplicado cada vez y, segundo, de la magnitud de la deformación inducida en cada aplicación de la carga; también influye poderosamente la flexibilidad o rigidez de la capa del pavimento que soporta la repetición. En un pavimento, la intensidad del efecto es medida por la magnitud de la carga que se aplica a través de las llantas de un vehículo y la reiteración es medida por las repeticiones de esa carga sobre una misma zona de dicho pavimento. Como se dijo, ambas cosas han crecido mucho en la red básica pavimentada del México actual.

El efecto de deformación acumulativa resulta de la deformación que el pavimento sufre bajo el efecto de la llanta que pasa. Dicha deformación se recupera parcialmente cuando la llanta deja de oprimir, pero tal recuperación nunca es total; siempre queda un remanente, que conduce a una deformación permanente, la cual dificulta la marcha de los vehículos, aumentando su costo operativo y, eventualmente, contribuye a la ruptura y agrietamiento de la carpeta asfáltica.

Nótese que cuando se dijo que el agua ya no es el enemigo único de los pavimentos, no se implicó de ninguna manera que ahora, a diferencia del pasado, sea un amigo. Al agrietarse la carpeta pudiera penetrar el agua en el interior de la sección estructural, formada generalmente por materiales térreos que, de ser susceptibles, disminuirán su resistencia, creándose un efecto de cascada que llevará a una falla generalizada de la mencionada sección estructural. Téngase en cuenta que en un pavimento asfáltico la capa superior (carpeta asfáltica) es la más rígida del conjunto de la sección estructural. Naturalmente, una manera de defender la carpeta asfáltica del agrietamiento producido por el efecto reiterado del tránsito es hacerla con un espesor tal que el esfuerzo aplicado resulte muy pequeño en comparación con la resistencia de la capa; es decir, construirla por arriba de lo que se llama el umbral de la fatiga, pero ello llevará a la construcción inicial de carpetas de gran espesor. Como se dijo, la falla por fatiga en la carpeta puede combatirse de dos maneras. Primero, dando a la carpeta un espesor tal que el esfuerzo aplicado por el tránsito le permita aceptar todas las repeticiones con deformaciones tan pequeñas que no produzcan posibilidades de agrietamiento o de deformación acumulativa y, segundo, apoyando esa carpeta en otras capas suficientemente resistentes y poco deformables como para lograr el mismo efecto.

Estas capas de apoyo de la carpeta están formadas por materiales térreos (a veces inclusive estabilizados con cemento u otros materiales), que, si han de cumplir a conciencia su cometido, deberán ser resistentes y poco deformables, en relación a los niveles de esfuerzos que le vayan correspondiendo según su profundidad relativa; también deberán de ser poco susceptibles a la acción del agua, a fin de poder mantener con el tiempo esas cualidades iniciales.

Evidentemente estos materiales térreos resultan más baratos que las carpetas, de

manera que suele resultar más conveniente que la sección estructural de los pavimentos tenga la suficiente resistencia y deformabilidad relativas como para poder funcionar satisfactoriamente aún con carpetas más delgadas, pero obviamente convenientes. De esta manera se logrará también una sección estructural, carpeta incluida, que pueda crecer hacia arriba en forma económica y racional, si el camino ve acrecentando el tránsito circulante, lográndose secciones estructurales en las que todo lo antes hecho sea todo aprovechable y el refuerzo necesario por el crecimiento del tránsito, sea una adición sencilla (sobrecarpeta) que no exija acciones en profundidad, siempre mucho más costosas.

Las ideas anteriores llevan a un cambio conceptual de fundamental importancia en la filosofía del diseño y la construcción de los pavimentos en el México actual.

En el pasado el riesgo de falla se repartía de manera que fuera “mínimo” en la superficie de rodamiento y, cuando mucho, también en las capas subyacentes a la carpeta asfáltica en las profundidades más someras (base del pavimento), pero se aceptaba una rápida disminución en la calidad de las capas inferiores (subbases, y cuerpo de terracerías, pues en aquellas épocas era raro el empleo de subrasantes como capa de transición antes de la terracería propiamente dicha), a las que los vehículos de entonces enviaban ya esfuerzos relativamente pequeños.

Hoy sin embargo se impone un criterio de diseño radicalmente diferente, en el cual el riesgo mínimo se produzca en las capas inferiores a las que los vehículos actuales alcanzan a enviar esfuerzos que, aunque decrecientes con la profundidad, aún son claramente notables hasta profundidades que puedan llegar al orden de un metro. Si sobre una terracería razonablemente buena se van colocando una capa de subrasante apropiada y sobre ella una subbase y un base de calidades crecientes y francamente capaces de soportar los esfuerzos que les lleguen, tanto en resistencia como en posibilidades de deformación, una carpeta asfáltica siempre costosa de espesor razonable podrá soportar los embates del tránsito del momento, con cierto margen de previsión. Cuando el tránsito crezca, en número y peso tal como parece que ha de suceder en las carreteras mexicanas, esa sección estructural podrá reforzarse simplemente por adiciones sucesivas en la superficie del pavimento, sin necesidad de incurrir en mucho más costosas operaciones en las profundidades de la sección estructural que, de no hacerse, conducirán a un rápido agrietamiento y deformación excesiva al añadido superior que se haya colocado y a la continua necesidad de reiterar las operaciones de refuerzo una y otra vez, para verlas destruirse en muy cortos lapsos o a padecer, como alternativa una carretera en mal estado superficial permanente, con lo que ello significa en los costos de operación del transporte, de costo relativo muy superior al costo de construcción, a lo largo del tiempo.

De esta manera una política racional de diseño en el México actual debe llevar a secciones estructurales de suficiente calidad como para que las secciones de conservación asociadas al crecimiento del tránsito consistan en simples y mucho

más económicos refuerzos en la superficie, sin necesidad de realizar auténticas reconstrucciones de las secciones estructurales o de tenerse que resignar a una carretera en la que, a despecho de que hayan de realizarse reencarpetados frecuentes, se encuentren siempre en malas condiciones de rodamiento, con una repercusión muy desfavorable en los continuos y enormes costos de operación vehicular.

Debe señalarse que la actual tecnología de pavimentos permite cuantificar todas las magnitudes que se han mencionado en este análisis conceptual, permitiendo llegar a diversas alternativas que garanticen tanto distintos niveles de calidad de rodamiento, como diferentes tiempos en que la calidad inicial seleccionada llegue a la calidad mínima que se considere apropiada para una carretera particular, según su importancia, la que al ser alcanzada exija una nueva acción de refuerzo superficial.

También debe decirse que ciertas intensidades de tránsito producen en la carretera efectos tan importantes que debe dudarse la posibilidad de resolver el problema de alcanzar una calidad de rodamiento adecuada dentro de expectativas económicas razonables, a base de la utilización de pavimentos asfálticos formados por materiales naturales térreos. En este caso se abre el horizonte para la utilización de capas especialmente reforzadas dentro de la sección estructural, a base del empleo de suelo-cemento, suelo-asfalto, estabilizaciones mecánicas con mezclas de materiales u otros sistemas. En el caso de tránsitos realmente importantes, estos sistemas pueden también resultar insuficientes, abriéndose el panorama a los pavimentos de concreto, que convenientemente diseñados ofrecen soluciones que garantizan una condición de tránsito adecuada durante periodos de tiempo sumamente largos. Este último tipo de soluciones ha sido poco empleado en México, entre otras cosas porque los niveles de ocupación que los requiere se han presentado muy especialmente en tiempos recientes, pero no cabe duda de que el México actual requiere ya su empleo en algunas carreteras y que este requerimiento aumentará indefectiblemente en los años por venir. En cualquier caso, esta es una opción de diseño que convendrá explorar en muchas reconstrucciones y nuevas carreteras del futuro próximo y, en algunos casos, inclusive del presente. No debe permitirse que consideraciones de costo inicial de construcción desvíen el criterio de los proyectistas del manejo de estas opciones en el análisis de sus proyectos.

IV.- Consideraciones sobre los materiales frecuentemente utilizados en las secciones estructurales de carreteras en pavimento asfáltico

Al igual que en la casi totalidad de las aplicaciones de la Mecánica de Suelos, los materiales de esa naturaleza que se utilizan en la construcción de pavimentos, son de dos tipos claramente diferenciados. Los que se denominan materiales gruesos (arenas, gravas, fragmentos de roca, etc.) constituyen un primer grupo, siendo el segundo el formado por los suelos finos, cuyo arquetipo son los materiales

arcillosos.

Es bien conocida la gran diferencia que en comportamiento tienen ambos grupos de suelos, debido al mismo origen de los miembros de cada grupo. Dando atención únicamente a las características de resistencia y de deformación, se sabe que la diferencia de comportamiento entre los suelos gruesos y finos no es de carácter cuantitativo, sino que esas diferencias son de orden cualitativo, en el sentido de que las manifestaciones de esas propiedades en el comportamiento ingenieril no son de grado, sino de la naturaleza misma de los mecanismos íntimos operantes. También es cierto que en un plano más profundo de análisis, esos mecanismos últimos tienden a acercarse mucho entre los dos grupos de suelos; por ejemplo, una muy amplia corriente de opinión en la Mecánica de Suelos actual, tiende a explicar la generación de resistencia al esfuerzo cortante, de ambos grupos de suelos, con base en los conocimientos fundamentales que se tienen sobre fricción mecánica y, análogamente, muchas de las ideas en torno a la deformabilidad de los materiales térreos pueden conceptualizarse de una manera muy análoga en los suelos gruesos y en los suelos finos.

Independientemente de consideraciones teóricas que no pueden discutirse en este escrito, no puede dudarse que a nivel fenomenológico, es decir, tal como se manifiestan las cosas a los ingenieros civiles en sus obras, los mecanismos de la resistencia y de la deformación y la manera en que se desarrollan ambas cosas presentan diferencias que ameritan una mención por separado.

Es bien sabido también que muchas de estas diferencias en el terreno fenomenológico ocurren por la naturaleza y la estructura íntima que adoptan las partículas individuales o sus grumos, en el caso de los suelos finos, que forman agrupaciones compactas y bien familiares, en el caso de los suelos gruesos, pero que adoptan formas sumamente vaporosas con grandes volúmenes de vacíos y ligas poco familiares en el caso de los finos.

En los suelos gruesos tales como las arenas y las gravas, la deformación del conjunto por efecto de cargas externas sólo puede tener lugar o por acomodo brusco de partículas menores en los huecos que entre sí dejen las mayores, o por ruptura y molienda de las partículas. La expansión de suelos gruesos, es un fenómeno que para efectos prácticos no tiene presencia en la tecnología de carreteras. La estabilidad de las estructuras de los suelos gruesos ante la presencia del agua es grande, si se prescinde de la posibilidad de arrastres internos de partículas menores por efecto de agua circulante en el interior de los suelos, efecto que también es relativamente poco común en las carreteras. Como consecuencia, si el suelo grueso está constituido por partículas mineralógicamente sanas, su resistencia al esfuerzo cortante, que está basada en mecanismos de fricción interna entre los granos o en la resistencia que oponen esos mismos granos a deslizarse o moverse unos con respecto a otros, es grande relativamente hablando y depende de la fricción interna entre los granos y de su propia dureza,

que los ponga a cubierto de rupturas. Durante cualquier solicitación existe el hecho fundamental de que cuanta mayor presión ejerzan sobre el conjunto de granos las cargas exteriores, la resistencia del conjunto crece, tal como ordenan las leyes de la fricción. Evidentemente, cualquier aumento en la compacidad del conjunto trae consigo un aumento en su propia resistencia intrínseca y al reacomodo. En caso de llegarse a producir algún deslizamiento o reacomodo entre partículas, debido a altos esfuerzos, la deformación correspondiente es siempre de magnitud relativamente pequeña. Se insiste en que cualquier masa de esta naturaleza bien compactada, adquiere características de resistencia y difícil deformabilidad que son además muy permanentes en el tiempo y especialmente muy poco dependientes del contenido de agua que el conjunto tenga o adquiera.

Todas estas características son muy favorables para lo que el ingeniero desea que ocurra en la sección estructural de una carretera. Con estos suelos es fácil alcanzar una resistencia suficiente y una deformabilidad muy aceptable, recurriendo especialmente a técnicas de compactación bien conocidas y esas características son relativamente muy poco variables en el tiempo.

Se sabe también que el panorama es harto diferente en el caso de los suelos finos arcillosos. Ahora la tendencia a adoptar estructuras internas abiertas, con alto volumen de vacíos, hace que estos suelos tengan una capacidad de deformación mucho más alta. Si los suelos finos están saturados de agua, al ser objeto de presión son proclives al fenómeno de consolidación que induce al agua oprimida a salir del conjunto, produciéndose una reducción de volumen general que comprime la estructura del suelo en forma frecuentemente muy importante, dando lugar a deformaciones del conjunto que pueden llegar a ser muy grandes. En los suelos finos parcialmente saturados, la presión externa produce deformaciones que disminuyen los huecos, comunican presión al agua interior y, a fin de cuentas, movilizan también esa agua hacia el exterior, con el resultado de dar lugar a deformaciones volumétricas grandes. Las estructuras precomprimidas, al cesar la presión externa y absorber agua, tienden a dispar los estados de tensión superficial actuantes entre el agua que ocupaba parcialmente los vacíos y las partículas cristalinas del suelo, liberando energía que permite que la estructura sólida precomprimida se expanda, de manera que los suelos arcillosos son muy proclives a la compresión bajo cargas o a la expansión, cuando al cesar la acción de cualquier carga anterior, se produce la liberación de sus esfuerzos y actúa la succión interior de cualquier agua externa. En cualquier caso la estabilidad volumétrica de los suelos finos está amenazada y pueden ocurrir en ellos deformaciones volumétricas muy importantes. De compresión, a expensas de su gran volumen de vacíos y de la salida de agua interna por efecto de las cargas exteriores o de expansión, a causa de la succión interna que se produce cuando se expande la estructura sólida, absorbiendo agua exterior.

La magnitud de estos fenómenos (compresión de la estructura bajo carga externa o expansión de una estructura precomprimida por liberación de presión externa y

absorción de agua), depende de la naturaleza del suelo arcilloso. Hay arcillas como la bentonita o la montmorilonita, mucho más activas en estos procesos que otras, como, por ejemplo, la caolinita. Este cambio en la naturaleza físico-química y mineralógica influye en el comportamiento de interrelación de las partículas y los grumos, que se traduce en diferencias muy importantes en relación de vacíos o vaporosidad de su estructura interna. Si unas arcillas pueden tener una relación de vacíos de 3 ó 4 (volumen de vacíos 3 ó 4 veces más grande que el volumen de los sólidos), otras pueden llegar a relaciones de vacíos del doble o aún más, lo cual se va a traducir en una capacidad de deformación volumétrica mucho mayor. Por conocidas razones constructivas, las arcillas se disponen en los suelos que se utilizan en las carreteras, tras procesos de compactación, lo que hace que estén precomprimidas, por lo que son especialmente proclives inicialmente a procesos de succión de agua externa y/o expansión, tanto mayores cuanto más intensa haya sido la compactación con que se colocaron.

Obviamente, un cierto grado de compactación inicial es necesario, pero siempre ocurrirá que cuanto mayor sea ese proceso inicial, mayor será el potencial de succión comunicado y, por ende, también será mayor el potencial de expansión adquirido con absorción de agua, el cual al desarrollarse producirá un suelo, a su vez, muy proclive a la deformación por compresión de cualquier nueva carga actuante, produciéndose un “efecto de acordeón”, cuyas consecuencias son obvias en la carretera. Estas consideraciones hacen ver lo delicado que ha de ser el proceso de compactación de suelos finos en la carretera. Si no se alcanzan en principio condiciones adecuadas, la carretera será inestable, pero si la compactación se extrema por arriba de un límite, la carretera llegará a ser inestable con el tiempo, siempre que los materiales puedan tener contacto con agua libre exterior.

Obviamente las consideraciones anteriores conducen a la conclusión de que los suelos arcillosos son indeseables en el cuerpo general de las carreteras y, desde luego, en cualquier capa de la sección estructural de sus pavimentos. Sin embargo, razones constructivas obvias y razones económicas obligan a una cierta presencia de los suelos finos, si bien sus mecanismos de funcionamiento obligan también a que la presencia de los suelos finos sea mínima y cuidadosamente tratada.

En efecto, el material que se desea para construir carreteras está constituido por suelos gruesos, pero resultaría antieconómico e innecesario con el actual estado de la técnica, eliminar por completo a los suelos finos. Siempre que habrá que coexistir con un cierto volumen de éstos. También es evidente que cuanto más abajo aparezcan los suelos finos, recibirán esfuerzos de menor cuantía provenientes del tránsito, de manera que su presencia irá siendo menos nociva. Por ello, la tecnología tradicional exige el uso de suelos gruesos casi puros en las bases y subbases de pavimento y va aceptando contenidos crecientes de suelos

finos en subrasantes y terracerías.

La cantidad de suelos finos que pueden contener las capas que han de estar constituidas por suelos gruesos depende de la contaminación y naturaleza de los bancos de materiales de donde se extraigan estos suelos y de los tratamientos a que se sujeten. Probablemente no es posible, por razones económicas, eliminar del todo la presencia de suelos finos en ninguna capa de la sección estructural de una carretera, pero debe tenerse muy en cuenta que la Mecánica de Suelos actual indica que contenidos relativamente muy pequeños de arcilla formando parte de una matriz de suelo grueso bastan para dar a esa matriz un comportamiento indeseable, haciéndola compresible y expansiva. El límite en el contenido arcilloso depende de la actividad de la arcilla.

El tipo de análisis que las tecnologías actuales exigen para determinar la actividad de los suelos arcillosos hace prácticamente imposible el investigar la naturaleza de los finos dentro del proceso industrial de construcción de una carretera típica, por lo que el contenido de finos suele controlarse cuidando el porcentaje de partículas menores que la malla 200, dentro de las matrices del suelo.

La investigación disponible, desarrollada dentro de la tecnología de la Mecánica de Suelos hace ver (Ver por ejemplo: la Referencia 1) las grandes diferencias que la inclusión de finos arcillosos producen en una matriz de gravas del tipo generalmente utilizado en bases y subbases de pavimentos asfálticos, según sea la actividad y la naturaleza de las arcillas incorporadas, pero, a la vez, indica también que contenidos finos por abajo del 10% del total no tienen una influencia determinante en la resistencia y en la deformabilidad del conjunto, que mantiene un comportamiento que básicamente puede considerarse como el de un suelo grueso. Contenidos por arriba de ese valor van dando al suelo un comportamiento notablemente indeseable, de manera que contenidos de materiales arcillosos en el orden del 12% ya inducen un comportamiento que corresponde claramente a un suelo fino.

Por lo anterior, debe considerarse necesario que el contenido de materiales finos de cualquier matriz de suelo grueso que se utilice en las capas superiores (bases y subbases), no exceda de un 10% de partículas menores que la malla 200 y este valor debe reducirse a la mitad en la matriz que se utilice para la formación de carpetas asfálticas. Contenidos de finos superiores a estos límites deben considerarse de alta peligrosidad en una carretera moderna y valores que excedan con un 12% de finos en las bases y subbases deben considerarse como indicativos de un comportamiento absolutamente indeseable. Los números anteriores se refieren, se insiste, al contenido de partículas menores que el tamaño de la malla 200 (0.074 mm) y debe tenerse en cuenta que probablemente no menos de un 4% ó 5% de las partículas debajo de ese límite los va a aportar la propia fracción gruesa, durante los procesos usuales de trituración que han de emplearse dentro del proceso constructivo, hecho que debe reducir

correspondientemente los contenidos de materiales puramente arcillosos, ajenos a la naturaleza de los petróleos empleados.

En las subrasantes de carreteras puede ya haber una mayor tolerancia en relación al contenido de materiales menores que la malla 200, aceptándose contenidos menores que el tamaño mencionado del orden del 15% en las carreteras más ocupadas, hasta 25% en aquellas en las que se asegure niveles de ocupación menos exigentes.

En carreteras revestidas, los contenidos de finos idóneos para el revestimiento deben de considerarse en el orden del 15% como máximo, si bien 10% resulta un límite más prudente.

El conocimiento actual de los materiales finos y sus efectos en las secciones estructurales de las carreteras suele también controlarse con la medición de los índices de plasticidad de la fracción menor que la malla No. 40. A este respecto pueden aceptarse valores del límite líquido entre 25 y 30% en bases y subbases, y valores comprendidos entre 30 y 50% en subrasantes. No hay que decir que los valores menores son preferibles y deben utilizarse siempre en las carreteras de mayores índices de ocupación.

En el sentido señalado en los párrafos anteriores actúan las modificaciones recientemente realizadas para las Especificaciones Generales de Construcción de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, en las cuales se pueden encontrar la puntualización precisa de los valores según los diferentes casos que presenten los procesos constructivos.

Evidentemente, el empleo prudente de los materiales térreos con límites adecuados de un contenido de materiales finos arcillosos, permite el empleo de estándares de compactación realmente adecuados para dar a las capas de la sección estructural de una carretera actual la consistencia necesaria, de manera que se garantice la permanencia de esas buenas propiedades en el tiempo futuro de utilización. Como ya se señaló, una compactación enérgica, tal como exigen las carreteras modernas, podría resultar altamente contraproducente, de no cuidar de forma adecuada la presencia de suelos finos arcillosos dentro de los suelos empleados en ellas.

V.- Drenaje y Subdrenaje

De las ideas anteriormente expuestas debe desprenderse la conveniencia de proteger la sección estructural de los pavimentos asfálticos de los efectos del agua exterior que pudiera penetrar en ellas. Este efecto es siempre nocivo por más que se extremen las precauciones para controlar la presencia siempre indeseable de los materiales arcillosos. Reducir la presencia de éstos por abajo de los límites antes someramente expuestos y que se detallan en las actuales especificaciones de construcción puede resultar en muy altos costos de construcción, la manera

que suele resultar más conveniente realizar también acciones de protección contra el agua exterior para que una política de eliminación de finos razonable, tal como la que se ha descrito, funcione convenientemente en lo general y añadir acciones especiales de protección contra el agua en aquellos lugares en que las condiciones del flujo interno del agua hagan pensar que el criterio general establecido pueda ser insuficiente. Situaciones de este estilo suelen presentarse en laderas inclinadas en que se efectúen cortes, especialmente en cajón. En estos casos convendrá siempre analizar la posibilidad de efectuar acciones de subdrenaje, que protegen adecuadamente a la sección estructural.

No hay que decir que la protección contra aguas superficiales debe considerarse una labor rutinaria en toda construcción adecuada.

No cabe duda que dentro de la técnica actual escatimar el apoyo de las técnicas de subdrenaje donde resulte conveniente es siempre un criterio inadecuado.

VI.- Tecnología de Laboratorio Actualmente Utilizada en Ingeniería de Pavimentos

Debe reconocerse que el problema de diseño de los pavimentos flexibles no está hoy teóricamente resuelto de manera satisfactoria. Sin ignorar algunos meritorios esfuerzos del pasado y algunos esperanzadores trabajos que se encuentran en plena realización en el presente, parece que la afirmación anterior es justa.

En las tecnologías de la ingeniería civil, la falta de desarrollos teóricos confiables ha de suplirse en dos ámbitos distintos: la experimentación en el laboratorio y la instrumentación de prototipos para obtener directamente normas de comportamiento. Ambos procedimientos de adquisición de información válida son ampliamente utilizados en la actualidad, tanto en México como en el resto del mundo. Ambos han rendido frutos satisfactorios, pero están sujetos a la compleja problemática del comportamiento de los pavimentos, dependiente de un número de factores particulares de cada caso, todos muy influyentes, de carácter climático, de naturaleza de materiales, de topografía, de geología, de carácter del tránsito, etc., y están sujetos también al hecho básico de la carencia de un esquema teórico que permita considerar ordenadamente todos esos factores.

La información experimental obtenida hasta la fecha se ha utilizado fundamentalmente de tres formas. Se obtienen parámetros de comportamiento de los materiales, que introducidos en alguna relación previamente obtenida, que a su vez contenga alguna ecuación, permitan efectuar cálculos útiles para resolución de una pregunta específica. Una segunda utilización estriba en ir obteniendo un sentimiento experimental variado con la relación a los fenómenos estudiados, con la finalidad de ir obteniendo conclusiones de carácter cada vez más general. Existe además una tercera manera de utilizar la información generada en el laboratorio, que es particularmente frecuente en la actual tecnología de pavimentos. Se trata de correlacionar la respuesta experimental de un material

manipulado de una cierta manera con una tecnología de laboratorio, con el comportamiento observado de estructuras construidas en las obras reales, de manera que un cierto valor específico obtenido al aplicar la tecnología de laboratorio se pretende relacionar con un cierto nivel de comportamiento de una obra o parte de ella en el campo de la realidad, tratando inclusive de establecer correspondencia entre la escala de esos valores en el laboratorio y en la obra.

Un ejemplo que de este proceder se tiene, es el caso de la prueba de valor relativo de soporte, en la que una maniobra especial de penetración ejecutada en el laboratorio por un pistón presionado contra una muestra de suelo, se correlaciona con el futuro comportamiento de una capa de ese mismo suelo dispuesta en una carretera.

Correlaciones de este mismo estilo se tienen en la utilización del estabilómetro de Hveem, de ciertas modalidades de pruebas triaxiales, etc.

En otros casos la correlación entre la manipulación de laboratorio y el comportamiento del material se refiere a otros aspectos; por ejemplo en las pruebas del índice de plasticidad (límite líquido, límite plástico) se correlaciona la correspondiente manipulación de laboratorio con propiedades de comportamiento más generales, como la compresibilidad u otras.

El éxito de este tipo de correlaciones ha sido muy variable y a veces no se ve reflejado por la utilización que los ingenieros hacen de ellas; por ejemplo, es bien sabido que en el caso de los suelos finos o relativamente finos, transportadas las correlaciones generales de comportamiento que se obtiene de las mediciones de índices de plasticidad son sumamente concordantes con la realidad observada en las obras, en lo general, pero se sabe también que la muy utilizada prueba de valor relativo de soporte tiene correlaciones con el comportamiento real de los materiales muchísimo menos seguras y más influenciadas por factores circunstanciales de cada caso particular.

No hay que decir que una justificación adecuada de las posibilidades de las técnicas experimentales utilizadas en el diseño y en la construcción de pavimentos es esencial, por más que rebase las intenciones y posibilidades de este trabajo.

Debe mencionarse también que en este momento existe a nivel mundial una profunda preocupación, que se está traduciendo en esfuerzos concertados de investigación internacional, a todo lo cual México no es indiferente, por encontrar tecnologías de laboratorio que traten de informar sobre el comportamiento de los materiales en relación directa a propiedades fundamentales o a circunstancias específicas que afectan a los pavimentos reales, yendo más allá de tratar de conocer el comportamiento estructural con base en una correlación con manipulación de naturaleza diferente, intrínsecamente hablando, que la propiedad que se desea medir. Estos esfuerzos están haciendo aparecer tecnologías de laboratorio generadas por procedimientos más razonables, pero aún no del todo

confrontados con la realidad de las obras, por lo que es difícil justipreciar cual va a ser el nivel de su éxito. Lo que parece fuera de duda es que se observa una inquietud de los investigadores en el campo de los pavimentos, que produce una actividad creciente que no dejará de generar resultados favorables.

REFERENCIAS

1.- Rico, A. y Orozco, J. M. Efecto de los Suelos Finos en las Gravas Redondeadas para Bases de Pavimento.- VI Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones.- Lima, Perú, 1979.

Esta referencia puede también consultarse en el Documento Técnico No.7, publicado por el Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, en 1992.

REFLEXIONES SOBRE EL EFECTO DEL INCREMENTO DE CARGA EN EL COMPORTAMIENTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES**

Alfonso Rico Rodríguez y F. Ruiz Villamil

INTRODUCIÓN

En fracciones importantes de la Red Nacional de Carreteras de muchos países latinoamericanos y de México, en particular, han aparecido en los últimos años volúmenes de tránsito rápidamente crecientes que ya ahora no tienen precedente en ninguna situación anterior. El aumento de tránsito se refiere no sólo al incremento en el número de vehículos pesados circulantes, sino también a la carga que cada uno de esos vehículos aplica a la sección estructural de la carretera. Ante la demanda de los transportistas, México, por citar un ejemplo, se ha visto obligado a aumentar la carga legal circulante en la forma que más adelante se detalla, con el consiguiente aumento en el daño que esas cargas ocasionan. Es de suponer que situaciones similares se están presentando o se presentarán próximamente en muchos otros países del área Latinoamericana. Quizá deba decirse también que cuando una Administración publica legaliza un incremento de esta naturaleza reconoce, en muchos casos, una situación de hecho, por la natural tendencia del transportista a utilizar los más eficientes equipos existentes en los mercados, dotados en este momento de ejes tándem, triples o aún cada día más de ejes cuádruples; por supuesto el motor último de estas tendencias es el desarrollo comercial que muchos de los países del área vienen experimentando.

Muchos de los criterios de diseño de secciones estructurales de carretera establecidos en la mente de los proyectistas están basados en dos consideraciones últimas. En primer lugar, en la búsqueda del mínimo costo de construcción a causa de la pobreza relativa de las cantidades por invertir en las redes nacionales del transporte, ante las bien conocidas necesidades de otros tipos que padecen las comunidades latinoamericanas. En segundo lugar, una tradicional sensación, quizá no conscientemente reconocida de que el tránsito, en su intensidad y en su acumulación, constituye quizá un enemigo menos importante de las carreteras que los efectos de ambiente u otros relacionados con el envejecimiento. A todo esto debe unirse el reconocimiento de que también es tradicional aceptar niveles de servicio que deben ser considerados por abajo de las necesidades del tránsito moderno, que como se dijo se está desarrollando en forma vertiginosa en fracciones cada vez más importantes de las redes nacionales; estos bajos niveles de servicio tienen que conducir ahora a costos de operaciones excesivos. El hecho que el costo de operación no grave directa e inmediatamente el presupuesto de las Instituciones Gubernamentales que

**Rico, A. y Ruiz, V. F. (1983). Reflexiones sobre el efecto del incremento de carga en el comportamiento de pavimentos flexibles. Séptimo Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones. Publicado por la Canadian Geotechnical Society.

construyen carreteras no excluye, naturalmente, el hecho de que la nación haya de pagarlo.

Los métodos de diseño usualmente empleados en México y en otros países del área están basados en la aplicación de alguna curva de diseño fundamentada en el CBR de los materiales por utilizar. Es sabido que estos métodos realizan su trabajo procediendo de abajo hacia arriba, de manera que cada capa de la sección estructural quede “protegida” por un espesor suprayacente, cuya calidad no queda establecida por el método, sino por la tradición y la costumbre, tendiéndose, a sentimiento del proyectista, a que las capas vayan estando formadas por mejores materiales según se sube la sección. El sentimiento del proyectista mas el uso de las especificaciones nacionales no suele conducir a un ordenamiento idóneo de esas calidades crecientes hacia arriba, de manera que la resistencia relativa del conjunto estructural no suele coincidir de la manera más adecuada con la ley con la que se disipa hacia abajo el esfuerzo producido por las cargas aplicadas, apareciendo inadecuaciones entre la respuesta resistente de alguna capa particular y la demanda resistente que el tránsito le impone. Otro tanto puede decirse respecto a la deformabilidad. Además es un hecho bien reconocido lo difícil que ha resultado hasta el día de hoy introducir el efecto del tránsito en cualquier método de diseño fundado en el CBR.

Quizás sea justo mencionar el esfuerzo del Instituto de Ingenieria de la Universidad Nacional Autónoma de México para llegar a un método que atenúe en lo posible estas tradicionales deficiencias de los métodos de diseño basados en el CBR. También debe mencionarse a este respecto el trabajo del US Army Corps of Engineers. Pese a esos esfuerzos, lo esencial de lo atrás dicho sigue juzgándose correcto.

MECANISMO DE DETERORIO DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE SUJETO A TRÁNSITO SIGNIFICATIVO

La experiencia parece indicar que en carreteras con 3,000 o más vehículos pesados como tránsito diario promedio anual, en ambos sentidos, la fatiga causada por los efectos del tránsito es el principal enemigo de la sección estructural de una carretera. Esto es especialmente cierto, sobre la base de que en caminos así transitados habrá de tenderse a usar materiales que una vez compactados no sean sensibles a la acción del agua, de manera que la estabilidad volumétrica de las diferentes capas de la sección estructural esté garantizada, paliándose así el efecto de dichos cambios volumétricos, que suele ser el otro enemigo declarado de las carreteras. Se entiende ahora por fatiga la falla de una estructura bajo la continuada repetición de un esfuerzo, que aplicada sólo una vez no la produciría. Se ha visto que la fatiga tiene un umbral. Un esfuerzo muy pequeño en comparación a la resistencia pico (que hace fallar con una sola aplicación más o menos rápida) puede aplicarse muchas veces sin daño, pero uno mayor causaría la ruptura con un número mucho menor de aplicaciones. Por ello

si un elemento rígido, como la carpeta de un pavimento flexible, está sujeto a la aplicación repetida de un esfuerzo, sólo podrá durar a base de gran flexibilidad, que le permita absorber grandes deformaciones sucesivas o a base de una gran resistencia, de manera que el esfuerzo reiteradamente aplicado resulte muy pequeño en comparación a la resistencia máxima.

Es usual aceptar que los umbrales de fatiga oscilen alrededor del 50% del esfuerzo máximo, que rompe una capa con una sola aplicación; así, en una capa de sección estructural de una carretera, el umbral de fatiga depende de la resistencia de la capa, si ésta es muy gruesa el esfuerzo aplicado por el tránsito quedará bajo el umbral o próximo a él y podrá ser resistido un gran número de veces.

Las carpetas que por razones de tradición y costo se usan en México tienen espesores normalmente comprendidos entre 5 y 7 cm, probablemente los más críticos desde el punto de vista de fatiga, pues ni son tan delgadas como para aguantar las repetidas deformaciones causadas por los efectos del tránsito sin agrietamiento, ni son tan espesas como para hacer que dichos esfuerzos queden bajo el umbral de fatiga.

Las ideas anteriores explican el gran éxito que se obtiene con carpetas muy delgadas (1 o 2 cm, construidas con riegos de pétreos estabilizados con un riego asfáltico) cuando se usan en caminos de muy bajo tránsito o la tendencia al uso de pavimento de concreto o con muy gruesas capas asfálticas, que en caminos de alto tránsito existen en muchos países.

Sin embargo el uso de carpetas muy delgadas ya no basta para los caminos mexicanos de ocupación relativamente alta y el uso de gruesas carpetas de concreto hidráulico o asfáltico ha de ser cuidadosamente dosificado y reservado para los caminos más transitados, por razones de costo.

Los caminos de tránsito intermedio pero importante probablemente habrán de seguir usando durante bastante tiempo las mismas carpetas críticas, inferiores a 10 cm. Éstas únicamente podrán protegerse cuidando de que las capas inferiores de la sección sean suficientemente resistentes y muy poco deformables; desde luego, muy estables en presencia del agua, tras haber recibido su compactación. De esta manera, las características de los materiales que conforman dichas capas se transforman en un elemento esencial.

El mecanismo de falla seguramente más usual en pavimentos flexibles transitados, es el agrietamiento de la carpeta, que permite la infiltración del agua; en tal circunstancia, la acción del tránsito desarrollará presiones de poro en capas subyacentes, disminuyendo su resistencia y eventualmente aumentado su deformabilidad; así, se desencadena un proceso de falla progresiva. Huelga decir que si bajo la carpeta agrietada existen capas con abundancia de suelos finos, particularmente sensibles a la acción del agua, el proceso de falla progresiva se

acelerará hasta hacerse incontrolable.

Este mecanismo sugiere la conveniencia de un método de diseño radicalmente opuesto a lo tradicional. Debe comenzarse por fijar una carpeta e ir adecuando las capas de arriba hacia abajo, de modo que la protejan del mecanismo de falla atrás señalado.

CAMBIOS INTRODUCIDOS POR MÉXICO EN LA CARGA LEGAL

Estos cambios se presentan en la Tabla I. El reglamento especifica cuáles son las carreteras de cada clase dentro de la Red Nacional. La no autorización de ejes triples y cuádruples en muchos caminos quizá debe verse como provisional, una vez ejecutado el programa de modernización de carreteras que tiene en ejecución el Gobierno Mexicano.

Tabla I
Cargas Legales

Tipos de Eje	Carga total en 1962 (ton)	Carga total en 1980 (ton)
Caminos principales		
Sencillo de 2 llantas	5	5.5
Sencillo dual	9	10.5
Tandem	14.5	18
Triple	No considerado	22.5
Cuadrupe	No considerado	En negociación
Caminos menos importantes		
Sencillo de 2 llantas	5.0	5.0
Sencillo dual	8.6	9.0
Tandem	13.65	15.0
Triple	No autorizado	No autorizado
Cuadruple	No autorizado	No autorizado

ESTIMACIÓN DE LOS COFECIENTES DE DAÑO DE LAS CARGAS VEHICULARES

La estimación está basada en investigaciones realizadas en México por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México y los cálculos están hechos con gráficas proporcionadas por dicha institución. Representan la metodología AASTHO adaptada a las condiciones de México.

En la tabla II se muestran los resultados obtenidos. Puede verse que el efecto de las nuevas cargas es muy importante, especialmente en lo que se refiere a ejes triple y cuádruple; este último resulta particularmente crítico, sobre todo para cargar 7 ton por eje que son las que habrían de ser autorizadas en caso de autorizar el vehículo, pues evidentes cargas menores no harían atractivo el uso de ejes cuádruples en comparación a los triples ya autorizados. Pero un hecho

fundamental que se deduce de las tablas es que el daño causado por los nuevos vehículos de arreglos múltiples crece substancialmente a profundidades que anteriormente recibían esfuerzos ya pequeños, de manera que ahora sub-rasantes y terracerías reciben esfuerzos muy importantes. Esto tiene que llevar a modificar los criterios tradicionales de diseño que disminuyen excesivamente la calidad de los materiales hacia abajo. Los caminos actuales necesitan sub-rasantes y aún capas superiores de terracería de mucha mayor calidad que todo lo que hasta ahora se ha solido emplear.

Tabla II
Coeficientes de daño

Tipos de ejes	Coeficientes de daño a la profundidad (cm)										
	Cargas establecidas en 1962						Cargas establecidas en 1980				
	z = 0	z = 15	z = 30	z = 60	z = 100		z = 0	z = 15	z = 30	z = 60	z = 100
Sencillo dos llantas	1.0	1.15	0.05	0.027	0.024		1.0	0.35	0.15	0.12	0.11
Sencillo dual	1.0	1.03	1.05	1.065	1.070		1.0	1.54	2.30	2.80	2.98
Tandem	2.0	0.92	0.52	0.325	0.33		2.0	2.46	2.30	2.80	.98
Triple	-	-	-	-	-		3.0	2.40	2.30	2.80	2.98
Cuádruple (7 ton por eje)	-	-	-	-	-		3.0	4.0	5.30	8.40	9.63
Cuádruple (6 ton por eje)	-	-	-	-	-		3.0	2.8	2.90	3.80	4.15

PROPUESTA DE ESPECIFICACIONES

Con base en las ideas anteriores se presentan a continuación especificaciones tentativas para fijar la calidad de materiales a usar en la sección estructural de carreteras en México.

Se presentan tres calidades de material, señaladas con los nombres de “calidad deseable”, “adecuada” y “tolerable” considerándose por separado las terracerías, las sub-rasantes, las sub-bases y los revestimientos y las bases.

Para la utilización de los materiales anteriores los caminos se han dividido en cuatro clases (I, II, III y IV) a saber:

Camino tipo I

Con tránsito comprendido entre 2,500 y 30,000 vehículos pesados como tránsito diario promedio anual en ambos sentidos. Para estos caminos se exige en todas las capas el nivel de calidad “deseable”. Tendrán además una carpeta de concreto asfáltico.

Camino tipo II

Con tránsito pesado diario promedio anual en ambos sentidos comprendido entre 500 y 2,500 vehículos. Se exigirá para ellos calidad “deseable” en base y sub-base y “adecuada” en sub-rasante y terracería. Es conveniente que posean desde un principio una carpeta de concreto asfáltico, aunque podrían comenzar su vida útil

con carpetas más sencillas a base de riesgos.

Camino tipo III

Con tránsito comprendido entre 100 y 500 vehículos al día en promedio anual en los dos sentidos, deberá exigirse base con calidad “adecuada” y las demás capas a nivel “tolerable”. La superficie de rodamiento será una carpeta sencilla a base de riegos

Camino tipo IV

Caminos rurales de muy bajo tránsito. Se exigirá calidad “tolerable en sub-rasante y terracerías y la superficie de rodamiento será un revestimiento según las especificaciones de la Tabla V.

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

Los caminos con más de 30,000 vehículos de tránsito diario promedio anual en ambos sentidos tendrán que ser objeto de un diseño especial incluyendo el uso de capas estabilizadas y teniendo muy en cuenta el efecto del tránsito pesado a grandes profundidades.

El criterio con que se fijan las normas anteriores es el garantizar un comportamiento aceptable en los caminos durante la vida útil de la sección y, a la vez, garantizar refuerzos que hayan de hacerse con posterioridad ante el tránsito creciente que afecten únicamente las capas últimas de la sección, sin necesidad de tener que actuar sobre capas más profundas. Sólo carpeta y base deberían tener que reforzarse, pues de otra manera el programa de refuerzo se hace gravemente antieconómico y va equivaliendo a una reconstrucción integral.

Tabla III
Terracería

Característica	Deseable	Adecuada	Tolerable
Tamaño máx. (mm)	76	1500 ó 0.5 esp. de capa	2000 ó 0.5 esp. de capa
%<malla No. 200	30 max	-	-
w_L (%)	40 max	50 max	60 max
I.P. (%)	-	-	25 max
AASHTO estándar (%)	95 min	90±2 ó bandeado	90±2 ó bandeado
CBR (%)	5 min	5 min	3 min
Expansión (%)	-	-	3

Tabla IV
Sub-rasante

Característica	Deseable	Adecuada	Tolerable
Tamaño máx. (mm)	76	76	7.6
%<malla No. 200	25 max	35 max	-
w_L (%)	30 max	40 max	50 max
I.P. (%)	10 max	20 max	25 max
AASHTO estándar (%)	100 min	100±2	100±2 ó bandeado
CBR (%)	20 min	15 min	15 min

Tabla V
Sub bases y revestimientos

Característica	Deseable	Adecuada	Tolerable
Tamaño máx. (mm)	76	76	76
%<malla No. 200	15 max	25 max	10-25
Zona granulométrica	1 y 2	1 a 3	-
w_L (%)	25 max	30 max	35 max
I.P. (%)	6 max	10 max	4-10
E.A. (%)	40 min	30 min	-
*AASHTO Modif. (%)	100 min	100 min	100 min (AASHTO est)
CBR (%)	40 min	30 min	30 min

*AASHTO T-180-78

Tabla VI
Bases

Característica	Deseable	Adecuada	Tolerable
Tamaño máx. (mm)	76	76	76
%<malla No. 200	10 max	10 max	15 max
Zona granulométrica	1 y 2	1 y 2	1, 2 y 3
w_L (%)	25 max	25 max	30 max
I.P. (%)	6 max	6 max	6 max
E.A. (%)	50 min	50 min	40 min
*AASHTO Modif. (%)	100 min	100 min	100 min
CBR (%)	100 min	100 min	80 min
Desgaste de los Ángeles (%)	40 max	40 max	40 max

*AASHTO T 180-78

5 ARTÍCULOS SOBRE TRANSPORTE

LA INGENIERÍA Y EL SECTOR TRANSPORTE**

Alfonso Rico Rodríguez

I. INTRODUCCIÓN

El tema que se me ha señalado para esta intervención por parte de los organizadores de este foro nacional es excesivamente amplio para ser cubierto, en todos sus detalles, dentro de los tiempos fijados para la misma. Por ello renuncio desde este momento a una intervención enciclopédica, que intente cubrir todos los aspectos de interés que puedan ofrecerse a mi visión.

He preferido tratar dos o tres aspectos que juzgo fundamentales en la relación de la ingeniería en desarrollo del transporte nacional y su optimización. También intentaré tratar algunas tradiciones que provienen de hechos históricos que presidieron el desarrollo de la infraestructura con que se ha ido dotando al transporte nacional que, en mi visión, han quedado superadas por la evolución nacional, de manera que, según mi visión personal deberán de cambiar en forma importante o, ser abandonadas y sustituidas radicalmente por criterios deferentes.

Voy a referirme exclusivamente al transporte carretero y a la concepción de su infraestructura; ello en aras de la brevedad, si bien mucho de lo que diré es directamente aplicable al transporte ferroviario. Reconozco desde ahora que el transporte marítimo y el aéreo van a quedar y no por falta de interés, fuera de este trabajo.

Comenzaré intentando puntualizar los criterios que, consciente o inconsciente, presidieron la creación de la red nacional de carreteras, en las épocas de su inicio; ello porque hoy heredamos muchas situaciones de aquellas épocas relativamente remotas. Después trataré de analizar los criterios ingenieriles actuales, siempre naturalmente influenciados por la tradición histórica precedente. Ahí es donde me permitiré proponer algunos cambios en esos criterios.

No voy a entrar a asuntos técnicos ingenieriles de detalle; más bien trataré los criterios generales con que tales criterios técnicos deben de emplearse, en mi concepto actual, en las labores de construcción, conservación y, sobre todo, operación.

**Rico, A. (2000). La Ingeniería en el Sector Transporte. Foro Nacional: Los Retos de la Ingeniería en el Siglo XXI. Colegio de Ingenieros Civiles de México. Noviembre 2000.

Voy a referirme fundamentalmente a dos o tres aspectos únicamente, a veces relacionados con trabajos que ya hoy están muy detallados, realizados en el Instituto Mexicano del Transporte en el cual trabajo. Añadiré a ello algunas percepciones personales que aún no son atendidas, como a mí me gustaría cuando repaso las experiencias vividas en los últimos años 45 años de actividad en este tipo de quehacer.

II. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS Y DEL TRANSPORTE

La red nacional de carreteras comenzó a planearse y construirse en forma seria en los primeros años de la década de 1920. Obviamente existe toda clase de procedentes a esa labor, pero probablemente no es erróneo fijar aquellos momentos como el comienzo de la etapa que actualmente se vive.

En visión retrospectiva puede decirse que los criterios iniciales del desarrollo carretero se refirieron a la construcción de vías pavimentadas que conectaban la capital de país con alguna de las ciudades entonces más importante; esta red se fue completando hasta comunicar a la Ciudad de México con todas las capitales estatales y con las principales ciudades aunque no tuvieran esa connotación. A ello siguió un criterio que fue tejiendo una red de intercomunicación entre las capitales estatales y aquellas ciudades principales. De esta manera se logró una red básica de carreteras pavimentadas que cubrían la geografía nacional. Es justo reconocer que los trazados de aquellas épocas cubrieron las necesidades fundamentales del transporte de entonces en forma sumamente eficiente, de manera que muchas, por no decir todas aquellas obras, siguen hoy prestando el servicio para el que fueron proyectadas.

Esta primera etapa de construcción fue completada en lo fundamental en los primeros años de la década de 1970, momento en que se abrió paso un nuevo criterio que, sin descuidar la conservación de lo hecho y de, inclusive, irlo completando, se dedicó un énfasis notable a la generación de una red de carreteras más modesta de penetración y de intercomunicación, para dar acceso a todas las zonas rurales a la red general.

A partir de los setenta y sin descuidar los dos aspectos ya mencionados, el énfasis constructivo se dirigió en una medida importante a la construcción de algunas carreteras modernas, con carácter de autopistas, que pudieran dar servicio a un comercio interior y de comunicación externa, especialmente hacia los Estados Unidos, que ya exigía el desarrollo del comercio nacional alcanzado a la sazón. Independientemente de que ya a partir de la década de 1950 habían aparecido carreteras como la autopista México-Cuernavaca, en esta época se dio impulso hasta nuestros días, a un sistema de comunicación más moderna, ya exigida por un comercio interior y exterior creciente. Nació así la red de autopistas actual, aún no completada, llevando a la existencia de ejes carreteros concebidos con lo que

hoy consideraríamos un criterio de apoyo al comercio interior y exterior.

Entre la década de 1930 y la actualidad ocurrió una enorme evolución en los vehículos comerciales que hacen uso de la red nacional. Esta evolución de los vehículos comerciales llevó desde camiones de peso bruto vehicular en el orden de la 10 toneladas, vehículo más pesado que se consideró en el proyecto inicial de la autopista México-Puebla, a los actuales sistemas de tractor y remolque que, con pesos máximos hasta el orden arriba de las 70 toneladas de peso bruto, que hoy es posible ver en el sistema nacional. Paralelamente, creció correspondientemente el número de tales vehículos, pues en los años de la evolución reciente del transporte los aforos vehiculares han alcanzado números que son varias veces superiores a los de antaño.

Estos vehículos pesados envían su influencia a capas mucho más profundas de la infraestructura carretera de lo que antes se había visto, produciendo una situación en la que el esfuerzo de lo previamente construido resultó perentorio.

Estos nuevos vehículos comerciales plantearon una problemática de conservación, pues y ello debe resaltarse, la red originalmente construida demostró haber estado concebida con criterios que, independientemente de que habían sido de comunicación humana dentro del país, habían sido tan acertadamente planeados, que cuando llegó la época actual de grandes movimientos comerciales, todos los caminos ya construidos resultaron idóneos dentro de la red nacional, aún dentro del nuevo criterio de utilidad, ahora ya no para el simple movimiento de personas con un tráfico de mercancías relativamente débil, sino para esos nuevos movimientos comerciales. Aún dentro de la concepción de una red de modernas autopistas, muchas carreteras antiguas demostraron su idoneidad dentro de sistema general; obviamente esa red antigua demanda refuerzo.

Apareció así el nuevo criterio de establecimiento de ejes viales comerciales, con base en la red de autopistas y una utilización amplia de la red más tradicional, en la cual se hace perentoria y se está atacando, la necesidad de darles la cuota de resistencia estructural que requieren los nuevos tránsitos. Esta necesidad de modernización se refiere tanto a la resistencia de la sección estructural de las carreteras tradicionales, como a mejoramiento de trazos que permitan el tránsito seguro de los nuevos camiones de carga.

III. ALGUNOS REQUERIMIENTOS DE CRITERIO PARA LA NUEVA RED NACIONAL DE CARRETERAS

En lo que sigue me voy a permitir transmitir a ustedes algunos criterios personales que deben adoptarse para el ulterior desarrollo de la red nacional de carreteras de México.

A) LA CARRETERA COMO ELEMENTO DEL MOVIMIENTO DE PERSONAS, VERSUS LA CARRETERA COMO ELEMENTO BÁSICO DE LA VIDA ECONÓMICA NACIONAL

Como herencia del pasado, la ingeniería mexicana ve en la carretera la forma de comunicación del mexicano. Debe acotarse que este sentimiento es tan arraigado en la costumbre nacional, que el movimiento de personas por ferrocarril es probablemente bastante menor de lo que aconsejaría un perfecto equilibrio entre los modos de movilizar a la población mexicana; actualmente el movimiento de pasajeros de ferrocarril es sumamente bajo. Sin desconocer las dificultades para convertir la aviación interior en un elemento importante en la movilización de la población, puede decirse también que la aviación comercial podrá tener un papel más importante en la movilización de la población nacional y tampoco es absurdo pensar que la navegación de cabotaje podrá tener un papel más relevante en el movimiento de personas que el que hoy tiene.

Independientemente de que muy especialmente el ferrocarril podría tener un papel bastante más relevante en el movimiento de la población y que convendría realizar análisis para lograr la meta de incrementar el movimiento de la población con otros medios, lo que parece que en este momento es ya un hecho fehaciente es que el movimiento esencial que tiene lugar en las carreteras como apoyo de la vida nacional es el traslado de toda clase de productos agrícolas e industriales, tanto dentro como hacia fuera de la geografía nacional.

La contribución del ferrocarril en el movimiento de mercancías en México (aproximadamente un 13 ó 14% de todo lo transportado) es probablemente menor de lo que aconseja un equilibrio modal idóneo. En este sentido será sin duda conveniente en el futuro inmediato buscar un mayor papel del ferrocarril en el movimiento de aquellas mercancías para las que resulta, dada la geografía nacional y la ubicación de los centros de producción y de consumo, ventajoso. En este sentido hay sin duda una tarea que resolver en el futuro próximo.

Pero independientemente de esas tareas pendientes en búsqueda del mejor equilibrio del transporte, no cabe duda de que en el México actual el papel fundamental de la red nacional de carreteras es el apoyo a la economía nacional en general, facilitando el transporte interno y la exportación e

importación de bienes. La carretera mexicana se ha transformado, de un elemento de fomento en la geografía humana, en un ente económico. El papel de la red nacional de carreteras debe ser el facilitar el tráfico de bienes que la exportación y la importación representan para apoyar la economía nacional en general, apoyando también la generación de riqueza nacional con los mínimos costos de transporte dentro y hacia fuera.

En este sentido la red nacional de carreteras se ha transformado en una entidad primordialmente económica.

El autor de estas líneas piensa que debe orientarse básicamente la construcción, la conservación y la operación de la red nacional de carreteras a conseguir esos fines. Debemos de aceptar que la generación de riqueza, los mínimos costos del transporte interior o internacional y la seguridad y progreso de los mexicanos son hoy el papel esencial de la red nacional de carreteras. Esta debe ser la meta del proyecto y construcción de nuestras vías terrestres y la principal preocupación fuera de la señalada ha de ser la seguridad de quien transite y el respeto a las condiciones ambientales humanas y naturales que rodeen a la propia vía y a su operación.

B) ESTUDIOS ESTADÍSTICOS DE CAMPO REALIZADO POR LA SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES (SCT) DE MÉXICO

Para poder calibrar la importancia económica de una carretera y obtenerse la información necesaria para juzgarla y ubicarla convenientemente en sus relaciones con el resto de la red nacional es necesario conocer la carga transportada en naturaleza, cantidad, origen, destino, valor y cualquier otra cualidad que pueda ser de interés desde el punto de vista comercial y económico.

Ese conocimiento trasciende en mucho los aforos vehiculares que tradicionalmente viene haciendo la SCT desde hace largos años, que permitieran hoy conocer con gran precisión el número de vehículos que circulan por cualquier carretera.

El conocimiento de los atributos arriba citados no puede obtener de una simple política de aforos; es preciso pesar todos los vehículos comerciales, saber lo que llevan, cuánto vale, de dónde vienen y a dónde va. Todo esto no puede obtenerse de papeles (por ejemplo, cartas de porte), pues ello sería una tarea imposible.

El Instituto Mexicano del Transporte ha afrontado esta tarea recurriendo a procedimientos estadísticos, directamente sobre la carretera misma. Durante una semana se detiene en un punto de una carretera el tráfico comercial,

censando todos los datos anteriores, tras pesar y medir la unidad; conocida la mercancía, recurriendo a información que edita periódicamente la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, puede obtenerse el dato del valor de la carga transportada. Cada año se establecen varias estaciones de éstas. Esta tarea viene realizándola la SCT desde hace once años, analizando la información obtenida de estas estaciones temporales. La tarea es anual y se supone que continuará permanentemente.

Con la información ya analizada se tiene ya, a despecho del poco tiempo que el programa ha estado en funcionamiento, una idea que empieza a ser clara de la importancia económica de cada carretera, medida en valor transportado, aforo vehicular, peso de las cargas movidas, orígenes, destinos, tipo de unidades empleadas en el transporte y cualquier otro dato que en algún momento dado desee manejarse.

Este estudio fue propuesto por el IMT y es la herramienta que está permitiendo y permitirá cada día mejor, convertir a la carretera en un sujeto económico; únicamente con un procedimiento como el descrito puede conocerse el tráfico comercial en cantidad y precio. Adicionalmente pueden conocerse las condiciones de traslado, por ejemplo el movimiento de vehículos en vacío y el peso de la carga de los que viajan cargados. Estos son datos vitales para la conservación del camino y para establecer criterios de proyectos de otros.

Se piensa que únicamente con un estudio como este puede situarse la importancia económica de cualquier fracción de la red nacional de carreteras.

Obviamente con la información anterior se tiene criterios para conservación, conocimiento de costos de operaciones, orígenes, y destinos y toda la información comercial de interés. El estudio permite toda clase de trabajos de investigación tendientes a optimizar el tráfico mercancías en el país. Es el arma al parecer idónea para trabajar con una carretera considerándola un sujeto económico.

Debe decirse, por otra parte, que desde hace una decena de años, el IMT ha desarrollado estudios que permiten conocer los costos operativos de todos los tipos de vehículos circulantes en México, a partir de conocer el vehículo de que se trate, la pendiente por la que circula, el trazo geométrico, el estado superficial, y otros costos concomitantes con los costos de operación. Cabe comentar que actualmente toda la red nacional de carreteras se encuentra en el IMT y, por ende en la SCT, georeferenciada computacionalmente, discriminando segmentos de 500 metros y puede añadirse que en cada uno de esos segmentos, en los Centros Estatales de la SCT puede colgarse cualquier atributo del tramo que sea de interés, facilitando enormemente sus tareas diarias.

Debe insistirse que estudios del propio IMT permitieron calcular los costos de

operación de automóviles, autobuses, camiones y unidades articuladas, en función de pendiente y del estado superficial de pavimentos, referidos éste al índice internacional de rugosidad; de esta manera pueden manejarse los costos de operación de los diferentes tipos de camiones en cualquier carretera nacional. Obviamente estas tareas serían imposibles de no contarse con las ayudas computacionales correspondientes.

Nace así la posibilidad de tratar a la vía como un entre económico desde cualquier punto de vista, discriminando aquellos tramos en que los costos de operación sean excesivos comparativamente, conocimiento que es vital para trabajos de conservación.

C) COSTOS OPERATIVOS

Dentro del concepto de la carretera o de cualquiera de sus tramos como un elemento económico coadyuvante a la economía general de la nación, el costo de operación en que incurre el tráfico al funcionar resulta obviamente un elemento definitivo total. Alcanzar los mínimos costos de operación tiene que ser el gran paradigma en los corredores viales o caminos susceptibles de llegar a serlo y ello tanto más cuanto se refieran a los tramos de mayor tráfico de cargas y de valor de las mismas; estos tramos definirán las mayores influencias del transporte en la economía general y han de ser los de mayor preocupación para acciones de conservación y modernización y, obviamente, para el proyecto de nuevos caminos importantes.

Bien se sabe que a poco que se vea hacia el futuro, el costo de operación ha de ser el paradigma fundamental que debe aspirarse a minimizar en cualquier proyecto, siendo el costo de conservación el segundo paradigma. En efecto se sabe que en carretera diseñadas con secciones estructurales relativamente débiles, hoy comunes, con tránsitos totales de 10,000 vehículos diarios de los cuales el 25% sean pesados, si el costo de construcción inicial del pavimento es “1”, en treinta años de vida el costo de conservación del mismo es “2” y el de operación es “50”. Para ese mismo tránsito, pero con una sección conveniente, el costo de construcción inicial del pavimento seria “1.4”, el de conservación “1” en el periodo de 30 años y el de operaciones “20” en el mismo lapso.

Para tránsito intenso, del orden de 30,000 vehículos diarios, con un 40% de vehículos pesados y con una sección relativamente débil, pero actualmente usual, si el costo inicial del pavimento es “1”, el de conservación del pavimento en el periodo seria “3” y el operativo del orden de “130”. Para ese mismo tránsito, si se dota a la carretera con un pavimento inicial de costo “1.5”, el costo de conservación en el periodo es “2” y el de operación “60”.

Por otra parte, estudios realizados por el Instituto Mexicano del Transporte hacen ver que la diferencia en costo de operación de un camión tipo normal en

la red nacional, al circular con una pendiente de 3% es un 50% mayor que si circula por terreno plano; esta diferencia llega al 100% si han de superar pendientes de 5 ó 6 %, no raras en carreteras de México.

Análogamente y según los mismos estudios, si el estado superficial de un pavimento pasa de lo que se considera un estado “óptimo” a otro calificado de “bueno”, el costo de operaciones por kilómetro recorrido, puede aumentar de un 15 a un 20% y, si el estado superficial llegara a “malo” este factor de incremento podría ser de 35 ó 50%.

La enorme desproporción entre los costos (y los beneficios) de operar la infraestructura nacional, en comparación con los costos de construirla, hacen muy peligroso el criterio de que sea el costo de construcción mínimo el paradigma de un proyecto carretero.

SUBDISEÑO

Puede reiterarse que en la filosofía del ingeniero de carreteras y aún en la de la ingeniería nacional como un todo, ha llegado a entronizarse explícita o insidiosamente la idea de que el costo mínimo de construcción (la inversión inicial) es una meta ideal de todo proyecto.

El criterio del ingeniero no puede desarrollarse, obviamente sin una consideración de los factores económicos involucrados y estos resultan siempre de una amplitud y balance que trasciende enormemente la consideración única o preponderante del costo inicial de la misma construcción. Así, un análisis tan incompleto de los factores económicos puede y suele producir serios inconvenientes en los resultados finales de los esfuerzos de la nación.

Más aun, la legislación y los mecanismos de contratación actuales resultan, debe reconocerse, propicios a alentar de manera exagerada el logro de un costo mínimo de inversión inicial.

Es claro que nadie es partidario de gastar el presupuesto nacional en números mayores que lo que sea necesario en cada caso, pero el gasto óptimo raramente coincide con la mínima inversión inicial.

De lo anterior se desprende, como conveniente, el criterio de que el paradigma de un proyecto carretero es, a fin de cuentas, el costo operativo del tránsito.

D) JERARQUIZACIÓN DE CARRETERAS

Es una inveterada costumbre heredada de épocas en que la vida comercial mexicana era otra diferente a la actual, jerarquizar la importancia de un camino

por el número de vehículos que por el circulan (aforo).

Es opinión firme del que habla que el anterior paradigma debe de cambiarse, de manera que la importancia se juzgue y jerarquice por el papel que la carretera juegue en el sostenimiento y desenvolvimiento del comercio nacional e internacional. Como consecuencia del estudio estadístico de campo que el IMT viene realizando, que quedó brevemente glosado en páginas anteriores, es posible ya hoy y cada vez con mayor seguridad en el futuro, conocer las mercancías que pasan por la carreta con sus orígenes y destinos y su valor, de manera que puede justipreciarse el papel real que la carretera juega o jugará en la vida comercial de México. Ese deberá ser, a juicio del que habla, el verdadero paradigma a tomar en cuenta para acciones de conservación ó ampliación de carretera y aún para calificar la importancia de un camino nuevo, pues podrán estimarse de una manera mucho más fundamental las posibilidades de ese camino nuevo para captar tráfico, cuando haya sido construido. Obviamente, los caminos de penetración y apertura de regiones preferidas o en desarrollo, requerirán análisis especiales, pero siempre analizando su futuro papel como detonador de economía en regiones marginadas. Probablemente también exigirían análisis especiales otros caminos, como por ejemplo, los turísticos o los ligados a problemas de seguridad nacional.

E) CONSIDERACIONES SOBRE LOS MATERIALES FRECUENTES UTILIZADOS EN LAS SECCIONES ESTRUCTURALES DE CARRETERA EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Al igual que en la casi totalidad de las aplicaciones de la Mecánica de Suelos, los materiales de esa naturaleza que se utilizan en la construcción de pavimentos, son de dos tipos claramente diferenciados. Los que se denominan materiales gruesos (arena, gravas, fragmentos de roca, etc.) y los suelos finos, cuyo arquetipo son los materiales arcillosos.

Dando atención únicamente a las características de resistencia y de deformación, se sabe que la diferencia de comportamiento entre los suelos gruesos y finos no es de carácter cuantitativo, sino cualitativo, en el sentido de que el las manifestaciones de esas propiedades no son de grado, sino de la naturaleza misma de los mecanismos íntimos operantes. También es cierto que en un plano aún más profundo de análisis esos mecanismos tienden a explicar la generación de resistencia al esfuerzo cortante, de ambos grupos de suelo, con base en los conocimientos fundamentales que se tiene sobre fricción mecánica.

En los suelos gruesos tales como las arenas y las gravas, la deformación del conjunto por efecto de cargas externas sólo puede tener lugar o por acomodo brusco de partículas menores en los huecos que entre sí dejen las mayores, o por ruptura y molienda de las partículas. La estabilidad de las estructuras de los

suelos gruesos ante el agua es grande, si se prescinde de la posibilidad de arrastres internos de partículas menores por efecto de agua circulante en el interior de los suelos. Como consecuencia, si el suelo grueso está constituido por partículas mineralógicamente sanas, su resistencia al esfuerzo cortante, que está basada en mecanismos de fricción interna entre los granos, es grande relativamente hablando y depende de la fricción interna entre los granos y de su propia dureza, que los ponga a cubierto de rupturas. Durante cualquier solicitación existe el hecho fundamental de que cuanta mayor presión ejerzan sobre el conjunto de granos las cargas exteriores, la resistencia del conjunto crece, tal como ordenan las leyes de la fricción. Evidentemente, cualquier aumento en la compacidad del conjunto trae consigo un aumento en su propia resistencia intrínseca. La deformación correspondiente es siempre de magnitud relativamente pequeña.

Se sabe también que el panorama es diferente en el caso de los suelos finos arcillosos. Ahora, estos suelos tienen una capacidad de deformación mucho más alta. Si los suelos finos están saturados de agua, al ser objeto de presión son proclives al fenómeno de consolidación. En los suelos finos parcialmente saturados, la presión externa produce deformaciones que disminuyen los huecos, comunican presión al agua interior y, a fin de cuentas, movilizan también esa agua hacia el exterior, con el resultado de dar lugar a deformaciones volumétricas grandes. Las estructuras precomprimidas, al cesar la presión externa y absorber agua, tienden a disipar los estados de tensión superficial actuantes, liberando energía que permite que la estructura sólida precomprimida se expanda.

Por conocidas razones constructivas, las arcillas se disponen en los suelos que se utilizan en las carreteras, tras procesos de compactación, lo que hace que estén precomprimidas, por lo que son especialmente proclives inicialmente a procesos de succión de agua externa y/o expansión, tanto mayores cuanto más intensa haya sido la compactación con que se colocaron.

Obviamente, un cierto grado de compactación inicial es necesario, pero siempre ocurrirá que cuanto mayor sea ese proceso inicial, mayor será el potencial de succión comunicado y, por ende, también será mayor el potencial de expansión adquirido con absorción de agua. Estas consideraciones hacen ver lo delicado que ha de ser el proceso de compactación de suelos finos en la carretera.

La cantidad de suelos finos que pueden contener las capas que han de estar constituidas por suelos gruesos depende de la contaminación y naturaleza de los bancos de materiales de donde se extraigan estos suelos y de los bancos de materiales de donde se extraigan estos suelos y de los tratamientos a que se sujetan. Probablemente no es posible, por razones económicas, eliminar del todo la presencia de suelos finos en ninguna capa de la sección estructural de una carretera, pero debe tenerse muy en cuenta que la Mecánica de Suelos actual indica que contenidos relativamente muy pequeños de arcilla formando parte de

una matriz de suelo grueso bastan para dar a esa matriz un compartimento indeseable, haciéndola compresible y expansiva. Ese límite en el contenido arcilloso depende de la actividad de la arcilla.

La experiencia disponible, desarrollada dentro de la tecnología de la Mecánica de Suelos hace ver las grandes diferencias que la inclusión de finos arcillosos producen en una matriz de gravas del tipo generalmente utilizado en bases y subbases de pavimento asfálticos, según sea la actividad y la naturaleza de las arcillas incorporadas, pero, a la vez , indica también que contenidos de finos por abajo del 10% del total no tienen una influencia determinante en la resistencia y en la deformabilidad del conjunto. Contenidos por arriba de ese valor van dando al suelo un comportamiento notablemente indeseable, de manera que contenidos de materiales arcillosos en el orden del 12% ya inducen un comportamiento indeseable.

Por lo anterior, debe considerarse necesario que el contenido de materiales finos de cualquier matriz de suelo grueso que se utilice en las capas superiores (bases y subbases), no exceda de un 10% de partículas menores que la malla 200 y este valor debe reducirse a la mitad en la matriz que se utilice para la formación de carpetas asfálticas.

En las subrasantes de carreteras puede ya haber una mayor tolerancia en relación al contenido de materiales menores que la malla 200, aceptándose contenidos menores que el tamaño mencionado del orden de 15% en las carreteras más ocupadas, y algo mayores en aquellas en las que se aseguren niveles de ocupación menos exigentes.

El conocimiento actual de los materiales finos y sus efectos en la sección estructural de las carreteras suele también controlarse con la medición de los índices de plasticidad de la fracción menor que la malla No. 40. A este respecto pueden aceptarse valores del límite líquido entre 25 y 30% en bases y subbases, y valores comprendidos entre 30 y 40% en subrasantes.

Evidentemente, el empleo prudente de los materiales térreos con límites adecuados de un contenido de materiales finos arcillosos, permite el empleo de estándares de compactación realmente adecuados para dar a las capas de la sección estructural de una carretera actual la consistencia necesaria, de manera que se garantice la permanencia de esas buenas propiedades en el tiempo futuro de utilización. Como ya se señaló, una compactación enérgica, tal como exigen las carreteras modernas, podría resultar altamente contraproducente, de no cuidar en forma adecuada la presencia de suelos finos arcillosos dentro de los suelos empleados en ellas.

IV. CONCLUSIONES

Me gustaría puntualizar muy brevemente los criterios que en mi concepto deberían

ser tomados muy en cuenta como resumen de estas palabras.

- En el presente y en el futuro contemplable, la red nacional de carreteras debe verse como elemento esencial para apoyar la vida económica de la Nación, dentro de ella y en el mercado internacional. Es decir, justipreciando sus posibilidades de coadyuvar a la generación de riqueza nacional.
- La manera que parece ser única, de conocer detalladamente el papel de una carretera específica es conocer sus atributos socioeconómicos, lo cual sólo puede obtenerse por un análisis necesariamente estadístico sobre ella misma. El que habla ve como fundamental la continua realización del estudio estadístico que ha quedado descrito anteriormente
- El paradigma de calificación de un proyecto carretero debe ser, como criterio general, la minimización de los costos operativos en que incurre el tránsito al circular.

ALGUNAS CONSIDERACIONES OPERATIVAS Y DE PROYECTO GEOMÉTRICO PARA VEHÍCULOS DE CARGA**

Alfonso Rico, Alberto Mendoza y Emilio Mayoral

Existe una gran cantidad de normativa sustentada en investigación de campo con muchos años de continuidad, sobre una gran cantidad de aspectos que respaldan el proyecto geométrico de carreteras. Esta normativa se aplica también en México y ha respaldado los proyectos carreteros en los últimos años. Sin embargo, esa normativa, usualmente publicada en manuales, basa muchas de sus recomendaciones en estudios realizados con automóviles, de manera que en alguna de ellas se incurre en normas que no son adecuadas para camiones de carga o pasajeros. Este hecho ha despertado inquietudes en diversos centros de investigación o de normalización sobre proyectos carreteros.

Con el propósito fundamental de reforzar la seguridad en las carreteras mexicanas, este trabajo tiene por objeto publicar, tras una revisión previa, algunas normas especialmente interesantes o algunos resultados de estudios que recojan algunas modificaciones propuestas para tomar en cuenta las condiciones en que circulan los modernos camiones de carga, algunas de las cuales quedan comprometidas en una carretera proyectada para el tránsito razonablemente seguro de automóviles o camiones de carga más antiguos.

Inicialmente se incorporan algunos vehículos de diseño correspondientes a configuraciones de carga modernas que circulan actualmente por las carreteras mexicanas (p.ej. tractor-semirremolque, este último con longitud de 48 ó 53 pies; tractor-semirremolque-remolque, estos últimos con longitud de 40 pies). Se establecen los valores de diferentes parámetros que caracterizan el comportamiento operativo de estos vehículos en las carreteras. A partir de estos valores se generan recomendaciones de diseño geométrico que deben observarse para garantizar la operación segura de estos vehículos. Dentro de éstas se incluyen distancias de visibilidad de parada y rebase requeridas por ellos, radios de giro mínimos y sobreanchos en curvas horizontales, longitud mínima de curvas verticales, pendientes máximas y anchos de carril y acotamientos. La Referencia 1 presenta otras recomendaciones adicionales.

2. CONSIDERACIONES SOBRE LOS VEHÍCULOS DE DISEÑO

1. Si el parque de vehículos de carga que circulan en los Estados Unidos se compara con el que actualmente circula por las carreteras mexicanas, puede llegarse a la conclusión de que la reciente investigación que se desglosa en este trabajo es plenamente aplicable al México actual y a los camiones de carga que circulan por las carreteras mexicanas, autorizados por los actuales Reglamentos de Pesos y Dimensiones.

**Rico, A., Mendoza, A., y Mayoral, E. (¿?). Algunas consideraciones operativas y de proyecto geométrico para vehículos de carga. Referencia desconocida.

2. Es necesario realizar una modificación en los vehículos de proyecto que considera el Manual de Proyecto Geométrico (Referencia 2) que frecuentemente se utiliza para tal fin en los trabajos que a este respecto se realizan en México. Parece necesario añadir a los vehículos considerados las configuraciones que se señalan a continuación:

- Tractor-semirremolque, con semirremolque de 48 pies (14.6 m). Actualmente el Manual de Proyecto considera esta configuración, pero con semirremolque de 40 pies (12.2 m).
- Tractor-semirremolque-remolque, en las condiciones que acepta el Reglamento Mexicano actual de Pesos y Dimensiones (una longitud total de 31 m, con dos remolques de 40 pies).
- Cada día es más frecuente en la zona de América del Norte la utilización de combinaciones de tractor y semirremolque, con semirremolque de 53 pies. Esta combinación debería tomarse en cuenta para los proyectos del porvenir y para las modificaciones del presente.
  Éste es también el caso de combinaciones tractor-semirremolque-remolque que actualmente no consideran reglamentariamente la posibilidad de utilizar unidades arrastradas de 48 ó de 53 pies, por otra parte frecuentes en el parque vehicular norteamericano y canadiense.

3. DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA

1. La Tabla 1 muestra las distancias de visibilidad de parada que consideran las normas que actualmente están en uso en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

2. También aparecen en la tabla valores recientes de las mismas distancias de visibilidad correspondientes a la operación segura de vehículos de carga, provistos de mecanismos de frenado convencionales y manejados por choferes con grado de entrenamiento medio, las distancias de visibilidad para las mismas velocidades de proyecto. Estos valores son propuestos por AASHTO en 1990.

3. En los dos casos, el tiempo de percepción y reacción tomado en cuenta es de 2.5 segundos y los coeficientes de fricción longitudinal supuestos oscilan entre 0.4 para las menores velocidades, hasta 0.3 para las mayores.

4. Las investigaciones recientes hacen ver que las necesidades operativas de los vehículos de carga, resultan notablemente mayores que las consideradas en el pasado cuando se creía que la mayor altura de posición de un chofer de vehículos de carga, compensaba la diferencia en características vehiculares y que, adicionalmente, los vehículos de carga por circular a velocidades francamente menores no requerían consideraciones especiales de distancias de visibilidad.

Tabla 1. DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA

VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h)	DISTANCIA DE VISIBILIDAD ACTUALMENTE PROPUESTA EN MÉXICO (m)	DISTANCIA DE VISIBILIDAD PROPUESTA CONSIDERANDO CAMIONES DE CARGA (m)
30	30	40
40	40	65
50	55	90
60	75	125
70	95	160
80	115	205
90	135	245
100	155	290
110	175	340

4. RADIOS DE GIRO Y SOBREANCHOS EN CURVAS

Radios de Giro

1. La Tabla 2 proporciona el espacio requerido en curvas en términos de los radios de giro mínimos, exterior e interior, para los vehículos que convendría incorporar al Manual de Proyecto Mexicano. Como referencia se proporcionan los valores para automóviles y para la combinación tractor-semirremolque con distancia entre ejes extremos de 15.25 m, ya considerados por el Manual de Proyecto. Estos valores fueron obtenidos a bajas velocidades.

Tabla 2. RADIOS DE GIRO MÍNIMOS PARA DIFERENTES VEHÍCULOS

VEHÍCULO	MÁXIMO RADIO DE GIRO(1) (m)	MÍNIMO RADIO INTERIOR(2) (m)
Automóvil	7.35	4.05
Combinación:		
• Tractor-semirremolque con distancia entre ejes extremos de 15.25 m	14.75	6.30
• Tractor-semirremolque de 14.6 m (48 pies)	14.75	2.98
• Tractor-semirremolque de 16.2 m (53 pies)	14.75	0
• Tractor-semirremolque-remolque	19.70	5.70

Notas:
(1) Trayectoria exterior del vuelo delantero izquierdo cuando el vehículo da la vuelta forzada
(2) Trayectoria de la llanta trasera derecha cuando el vehículo da la vuelta más forzada

2. La Tabla 3 presenta el valor de este desfasamiento para el sistema tractor-semirremolque en tres longitudes de este último. Adicionalmente, debe observarse que los valores del “offtracking” corresponden a curvas en plano; dichos valores se incrementan cuando en la curva existe sobreelevación, pero como tales incrementos son muy pequeños no se consideró necesario su inclusión.

Sobreanchos en Carreteras

Se considera en este caso el sobreancho del que es necesario dotar a las curvas para el servicio normal de las carreteras. Aparece ahora un segundo efecto de desfasamiento entre los ejes delantero y trasero del vehículo, que se incrementa con el cuadrado de la velocidad del mismo. Este desfasamiento ocurre en sentido contrario al que se mencionó para el caso de curvas descritas a muy bajas velocidades y hace que el eje trasero del camión tienda a invadir el lado exterior de la curva. Su efecto es notable en los camiones articulados que describen la curva circular a velocidades de 100 km/h; hasta valores de este orden, el eje trasero del remolque no llega a invadir el lado exterior de la curva, pues en este caso ambos tipos de deriva tienden a compensarse (ello ocurre realmente a velocidades tan altas como 90-100 km/h).

Tabla 3. DESFASAMIENTO ENTRE CENTROS DE EJES DELANTERO Y TRASERO DEL VEHÍCULO (OFFTRACKING)

VEHÍCULO	RADIO DE GIRO								
	15			30			90		
	ÁNGULO DE VUELTA (GRADOS)								
	60	90	120	60	90	120	60	90	120
Articulado con distancia entre ejes extremos de 15.25 m	2.83	3.60	4.05	1.83	1.98	2.01	0.64	0.64	0.64
Articulado con semirremolque de 48 pies	4.08	5.30	-	2.77	3.17	3.29	1.04	1.04	1.04
Articulado con semirremolque de 53 pies	4.39	5.94	7.13	3.14	3.69	3.90	1.25	1.25	1.25

La Tabla 4 (Referencias 3 y 4) presenta una serie de resultados experimentales que relacionan, para las condiciones norteamericanas y combinaciones articuladas de tractor-semirremolque (con semirremolque de 48 pies), las velocidades de operación, los radios de curvas circulares recorridas y la sobreelevación transversal de la curva, para llegar al ancho de carril necesario para acomodar en

forma segura los dos tipos de deriva atrás comentados.

La Tabla 4 considera una sobreelevación máxima de 0.10, que es la sobreelevación máxima que también toma en cuenta la actual normativa mexicana; por esta razón, se añade una última columna que proporciona el ancho de carril necesario según la norma mexicana con fines de comparación con la experimentación reciente. La Referencia 1 presenta los resultados para sobreelevaciones menores al 10%.

TABLA 4. ANCHURA MÍNIMA DE CARRIL EN CURVAS HORIZONTALES PARA PERMITIR EL PASO SEGURO DE UN TRACTOR CON SEMIREMOLQUE DE 48'.

VELOCIDAD DE DISEÑO (KM/H)	RADIO DE CURVATURA (M)	GRADO DE CURVATURA (°)	SOBREELEVACIÓN ACTUAL (%)	ANCHO DE CARRIL (1)	
				EN E.U.A	NORMA MEXICANA
				(M)	
MÁXIMA SOBREELEVACIÓN = 10%					
64	131.76	8° 42'	10.00	4.27	3.93
	183.00	6° 15'	9.40	3.97	3.85
	244.00	4° 42'	8.40	3.81	3.79
	305.00	3° 45'	7.00	3.51	3.75
	457.50	2° 30'	5.10	3.36	3.70
	610.00	1° 53'	4.00	3.20	3.65
80	211.67	5° 25'	10.00	3.97	3.90
	244.00	4° 42'	10.00	3.97	3.85
	305.00	3° 45'	9.20	3.81	3.80
	457.50	2° 30'	7.20	3.51	3.75
	610.00	1° 53'	5.70	3.36	3.69
96	332.76	3° 27'	10.00	3.81	3.80
	457.50	2° 30'	9.30	3.66	3.78
	610.00	1° 53'	7.70	3.51	3.70
112	499.29	2° 18'	10.00	3.66	3.80
	610.00	1° 53'	9.60	3.66	3.75

Nota:
(1) Anchura mínima de carril basada en tractor con semirremolque de 48 pies, como vehículo de proyecto.

Puede verse, al comparar en la Tabla 4 los resultados de las investigaciones más recientes (1990) con los actuales manuales de diseño en uso por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México, (Referencias 1 y 5), que para velocidades de carril actualmente recomendados en México resultan muy razonables para una combinación articulada con semirremolque de 48 pies. Para curvas más cerradas, correspondientes a trazados sinuosos, con velocidades autorizadas menores (en el orden de los 60 kilómetros por hora), la investigación reciente recomienda anchos de carril mayores que los actualmente utilizados en México. Por ejemplo, para una velocidad de operación de 65 km/h, en una curva de 130 m de radio, la Tabla 4 exige un ancho de carril de 4.30 m, en tanto que los actuales manuales de proyecto utilizados en México llegarían a 3.90 m (ancho de carril en tangente de 3.50 m). En todas las comparaciones anteriores, el vehículo tomado en cuenta es el tractor con semirremolque de 48 pies; la situación sería un poco más desfavorable para la norma actual mexicana, si se tomara en cuenta un

semirremolque de 53 pies.

5. ALINEAMIENTO VERTICAL

Curvas verticales en cresta

La Tabla 5 (Referencia 3) proporciona las longitudes mínimas de curva vertical que actualmente recomienda la investigación reciente, tomando en cuenta las necesidades de los camiones de carga usuales. La tabla incluye las últimas recomendaciones de AASHTO (1990), que como puede observarse son de carácter general y se refieren a automóviles con altura visual de 1.07 m, lo que como se dijo, representa a los criterios actualmente usados. Adicionalmente la tabla también incluye los valores correspondientes a camiones con altura de visual de 1.91 m y 2.36 m, considerados en dos casos, según utilicen sistemas de frenado convencionales o frenos antibloqueo.

Las distancias de visibilidad de parada señaladas por la investigación reciente son mayores, en general, para camiones que para automóviles cuando los primeros usan sistemas de frenaje convencional; los sistemas de freno antibloqueo permiten, en cambio, longitudes de curva vertical notablemente menores.

Cabe notar que los manuales de proyecto que suelen utilizarse en México, conducen a proyectos con longitudes de curva vertical bastante menores que las actuales AASHTO (incluidos en la tabla), lo cual señala una deficiencia en la seguridad que debe analizarse para llegar a las correcciones que sean necesarias en los criterios actualmente utilizados en México, tanto en el caso de automóviles como de camiones.

Los frenos antibloqueo no son todavía muy usuales en las carreteras de todo el mundo, por lo que se juzga razonable utilizar para diseño los valores correspondientes a frenado convencional, especialmente en los casos de las carreteras con mayor tránsito de camiones. El criterio que parece desprenderse de los experimentos actuales es que las cifras a que llega el criterio AASHTO incluido en la tabla, son razonables para carreteras relativamente poco transitadas por camiones de carga, pero aquéllas que presentan un tránsito superior a 800 camiones por día deben diseñarse para esos vehículos, suponiendo frenaje convencional y una altura de visual de 1.91 m. Este aforo puede llegar a 4,000 camiones por día en autopistas de 4 carriles y diseño moderno.

Tabla 5. COMPARACIÓN SELECCIONADA POR AASHTO PARA LONGITUDES MÍNIMAS EN CURVAS VERTICALES EN CRESTA EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA

DIFERENCIA ALGEBRAÍCA DE PENDIENTES		LONGITUD MÍNIMA EN CURVAS VERTICALES (M) PARA DIFERENTES VELOCIDADES DE PROYECTO (KM/H)					
		32	48	64	80	97	113
DVP [(1)] para automóviles con una altura de ojo H_{oc} = 1.07 m	2	18	27	46	79	186	326
	4	18	37	92	198	372	650
	6	18	52	137	296	555	973
	8	21	73	183	390	738	1,299
	10	27	88	226	491	924	1,623
DVP [(1)] para camiones con sistema de frenos convencional y H_{oc} = 1.91 m	2	18	27	61	92	226	397
	4	18	46	119	259	461	793
	6	18	64	183	387	689	1,186
	8	24	92	244	519	921	1,583
	10	24	113	305	647	1,150	1,979
DVP [(1)] para camiones con sistema de frenos antibloqueo y H_{oc} = 1.91 m	2	18	27	37	61	107	156
	4	18	27	40	122	214	351
	6	18	37	92	183	317	525
	8	18	43	122	244	427	702
	10	18	61	153	305	528	875
DVP [(1)] para camiones con sistema de frenos convencional y H_{oc} = 2.36 m	2	18	27	52	110	168	336
	4	18	40	92	220	387	668
	6	18	46	156	329	583	1,003
	8	21	76	204	436	778	1,336
	10	27	95	256	546	970	1,668
DVP [(1)] para camiones con sistema de frenos antibloqueo y H_{oc} = 2.36 m	2	18	27	37	58	98	119
	4	18	27	58	104	195	323
	6	18	34	79	171	293	485
	8	18	37	113	226	387	647
	10	18	55	140	281	485	808

Nota:
DVP = Distancia de visibilidad de parada.
H_{oc} = Altura del ojo del conductor

Pendientes Máximas Ascendentes o Descendentes

La investigación reciente hace ver que los criterios establecidos por la AASHTO en 1990 son sostenibles para las condiciones usuales de operación del parque de camiones norteamericanos; es decir, para una relación peso/potencia característica entre 300 y 400 lb/HP (entre 135 y 180 kg/HP). En el caso mexicano, estos criterios de AASHTO (1990) resultan también muy apropiados para las condiciones de circulación de camiones que se mantengan dentro de los límites de los actuales reglamentos de pesos y dimensiones; es decir, para vehículos con relación peso/potencia de 350 lb/HP (165 kg/HP). Sin embargo, si

se piensa en camiones que rebasen los límites de carga tolerados, las actuales pendientes máximas de proyecto pudieran resultar exageradas, pues tales violaciones del reglamento conducen a relaciones peso/potencia características tan importantes como 210 kg/HP o más (460 kg/HP). Este es un punto en el que el sobrepeso de los vehículos de carga puede ser muy influyente.

Por lo demás, los criterios de diseño que actualmente fijan las pendientes máximas y mínimas aceptables para las diferentes velocidades de operación en los proyectos mexicanos parecen ser muy razonables si no se producen transgresiones al Reglamento de Pesos y Dimensiones.

6. ACOTAMIENTOS

Una de las deficiencias más importantes que en materia de seguridad es posible ver en carreteras mexicanas de 2 carriles (que frecuentemente se palían mucho en carreteras de 4 ó más) es el ancho de los acotamientos. La investigación reciente hace ver que el acotamiento exterior ideal es del orden de los 3 m, lo que permite que un camión detenido pueda situarse sin invadir, para efectos prácticos, los carriles de circulación. Sin embargo, en carreteras de tránsito medio o bajo, es posible el uso de acotamientos algo más estrechos, de manera que el vehículo estacionado no invada el carril de circulación adyacente en algo más de 1 m, pudiendo llegar la invasión en casos extremos, a 1.5 m.

En carreteras de 4 carriles, el acotamiento exterior no debe ser menos de 3 m y estar debidamente pavimentado. El acotamiento interior debe ser por lo menos de 1.5 m, pudiendo llegar a 1.2 m.

7. COMENTARIO FINAL

Del conjunto de material de investigación que se ha analizado en este trabajo, que no es exhaustivo, se desprende que en los manuales de diseño tradicionales de utilización en muchos países, no se toma suficientemente en cuenta la presencia actual de los grandes vehículos de carga modernos, que imponen con frecuencia nuevas condiciones de proyecto y nuevas necesidades en la búsqueda de seguridad. Es una necesidad el continuo repaso de la investigación internacional para ir actualizando todo lo necesario, la normativa nacional de proyecto de carreteras, teniendo en cuenta que pudiera no ser conveniente la adopción ciega de normas producidas en otros países, sin refrendo de las mismas, producto de la reflexión y la investigación propias, pues las características de la Red Carretera Nacional y de los vehículos que sobre ellas transitan, no son iguales a los de otros lugares.

REFERENCIAS

1. Rico Alfonso, Mendoza Alberto y Mayoral Emilio. “Consideraciones Operativas y de Proyecto Geométrico para Vehículos de Carga”. Publicación Técnica No. 106,

Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, Qro., 1998.

2. Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras. Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP), México, D.F., 1997.

3. Harwood, D.W., Mason, J.M., Glauz, W.D. Kulakowski, B.T. y Fitzpatrick, K. “Truck Characteristics for Use in Highway Design and Operation”. Federal Highway Administration, Washington, D.C., 1990.

4. Fitzpatrick, K. “Geometric Design and Operational Considerations for Trucks”. Institute of Transportation Engineering (ITE), Washington, D.C., 1992.

5. Libro 2, Normas de Servicios Técnicos. Parte 2.01. Proyecto Geométrico, Título 2.01.01 Carreteras. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, SCT. México., 1984.

EN BUSCA DE UNA ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN DECARRETERAS**

Alfonso Rico Rodríguez, Oscar de Buen Richkarday y Roberto Aguerrebere Salido

La conservación de redes de transporte terrestre (1) se ha convertido en una preocupación primordial en la gran mayoría de los países del mundo en épocas recientes. Dos factores parecen intervenir preponderantemente en este hecho. En primer lugar, se presenta un elemento de descuido debido a la dedicación preponderante a tareas de construcción de nuevas obras, en búsqueda del desarrollo general de los países; los presupuestos dedicados a la conservación sufren correspondientemente y lo mismo sucede con el estado de las redes de carreteras. En segundo lugar, se presenta el hecho de que las redes de carreteras han crecido generalmente muy por encima de lo que es posible administrar con métodos tradicionales fundamentados en el “sentido común” o en la “experiencia” y en el conocimiento regional y nacional de quienes han de tomar las decisiones.

El primer factor del problema se va resolviendo con una lucha continua entre los responsables de la conservación que promueven su trabajo y los elementos más desarrollistas de los cuerpos técnicos que sostienen, a ultranza, la doctrina de que la aparición de obras nuevas es el elemento fundamental y básico para el desarrollo de las naciones (2); no debe olvidarse también que los hombres de vocación política y muchos técnicos aprecian en forma especial la buena acogida pública que suele tener la aparición de obras nuevas, en comparación al escaso lucimiento que proporcionan las obras de conservación.

El segundo factor de los arriba enunciados, la gran extensión de las redes, ha inducido el deseo de sistematizar la atención que se otorga a la red carretera, buscando una organización de los trabajos que conduzca a criterios de mantenimiento preventivo en lugar de correctivo y que, de alguna manera, proporcione los elementos de decisión y de jerarquización de inversiones conectados al estado real de los caminos, con el carácter más objetivo posible, para que las operaciones por ejecutar y las inversiones por realizar se jerarquicen fuera de factores subjetivos de experiencia u opinión.

**Rico, A., (1992). En busca de una estrategia de conservación de carreteras. Revista CARRETERAS. Revista técnica de la Asociación Española de la Carretera, No. 58. Marzo-Abril 1992. Pp.10-22.

De esta manera, en los últimos 25 años han surgido los llamados sistemas de gestión o de administración de pavimentos (Pavement Management Systems), de los cuales seguramente han aparecido demasiados. México no permaneció al margen de esta corriente y, a partir de mediados de la década de los sesenta, concibió el suyo. El sistema mexicano surgió del juicio de que ninguno de los conocidos en el momento por sus técnicos resultaba satisfactorio para el caso de este país. Los sistemas desarrollados hasta hace muy pocos años en otras partes, atendían casi exclusivamente el estado superficial de las carreteras, buscando seguridad, disminución de costo de operación y comodidad en el viaje; estos factores eran, y en gran medida siguen siendo, el elemento detonador por el que el sistema indicaba la necesidad de actuar y la urgencia de la operación; como es natural, las operaciones mismas, orientadas hacia el mejoramiento de la superficie de rodamiento, consistían en la colocación de sobrecarpetas, utilización de reciclados y otras de la misma índole.

En México se consideró que esta manera de fundamentar el sistema de administración de pavimentos no era apropiada para su propio caso. La red básica de carreteras mexicanas se concluyó entre 1925 y 1955 bajo condiciones de tránsito totalmente diferentes a las posteriores, tanto en peso de vehículos (variación de 6 o 7 toneladas a 50 ó 60 en camiones de carga), como en número de unidades pesadas (aforos típicos de 500 a 1000 camiones pasaron a números comprendidos entre 2000 y 15000).

La consecuencia última de este proceso histórico es que en un cierto momento (a partir de mediados de la década de los setenta), la red básica comenzó a mostrar una inadecuación estructural, que en algunos casos aún se siente, entre la capacidad de las carreteras principales y los requerimientos del nuevo tránsito. El problema del estado de los caminos principales no estaba ligado a su condición superficial, sino a causas actuantes en profundidad. Así, el Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos actuó en este sentido, utilizando deflexiones como indicador del estado estructural y generando recomendaciones que llevan incluso a la reconstrucción de caminos.

A pesar de contar con un sistema de administración de pavimentos conceptualmente evolucionado, en los últimos años se ha visto que no constituye una herramienta suficiente para fundamentar una política de conservación. Ha sido necesario ir más lejos.

Si se piensa en la conservación de carreteras es posible llegar a la conclusión de que, independientemente de la importancia universalmente reconocida del problema, la política que ha de desarrollarse suele carecer de objetivos claros. La importancia del asunto es tal que la ausencia de tales objetivos tiene que ser inmediatamente llenada, por lo que aparecen motivaciones menos relevantes para asignar los recursos de la conservación, tales como pueden ser las acciones y quejas de las comunidades más activas, las de los grupos políticos locales más influyentes, la opinión general del público usuario, las manifestaciones de los medios informativos y otras, todo lo cual conduce a ciertos niveles de confusión y a vacilaciones de aplicación de una estrategia nacional claramente definida.

En un país con las condiciones prevalecientes en México (búsqueda de un desarrollo nacional armónico, generación de riqueza y reactivación económica, tanto en el interior como hacia el exterior), parece que el objetivo único de una política de conservación de la red básica de carreteras debe ser optimizar el transporte de carga; a ello deben ceñirse todas las acciones de estrategia y dichas acciones deben tener como fundamento también único, la eliminación de todos los sobrecostos de operación posibles. Este sencillo credo abre, a juicio de muchos técnicos nacionales, la posibilidad de llegar a una verdadera estrategia de conservación.

Un sistema de administración de pavimentos indica el estado de las carreteras y lo que habría que hacer para llevar cada una a una cierta condición, pero por si mismo, no dice cuál es la condición deseable, ni indica el nivel de trabajo e inversión apropiados. Para definir lo anterior hace falta un criterio orientador. En muchas partes, ese criterio es el aforo del tránsito circulante. Independientemente de que se reconozca que éste es un índice de interés, no se piensa que pueda considerarse suficiente; el mejor índice parece ser el valor de la carga que transita sobre la carretera y su importancia dentro del comercio interno nacional e internacional, lo que incluye el papel de la carretera dentro de las cadenas de

transporte que definen el movimiento del comercio.

De lo que se trata es de poner en manos de quienes toman las últimas decisiones en materia de inversión en conservación, una verdadera apreciación de la importancia del tráfico que la carretera soporta dentro del esquema global; de esta manera, se tendrá un criterio para jerarquizar inversiones y una orientación apropiada para establecer la vida que deba recuperarse para el camino y el nivel y condición de esa vida que han de ser lo suficientes para eliminar sobrecostos de operación. La justipreciación de estos últimos exigirá conocerlos para las condiciones reales del país.

Es por estas razones por las que México ha emprendido el conjunto de estudios o trabajos fundamentales y complementarios que muy brevemente se mencionan en lo que sigue. Aunque de ello no se hace mención especial, obviamente existe hace muchos años, un muy razonable aforo de tránsito en toda la red carretera mexicana.

ESTUDIOS FUNDAMENTALES

1. *SISTEMA MEXICANO DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS (SIMAP)*

El SIMAP es, en primera instancia, una metodología para la evaluación técnica y el monitoreo del estado de los pavimentos y las estructuras de una red carretera. Los procedimientos recomendados se inician con un levantamiento del perfil de los caminos y establecen una sospecha de necesidad de actuación a partir de un cierto índice de perfil, dejando para inspección al año siguiente aquellos tramos cuyo índice de perfil sea superior al límite.

En los tramos dudosos el SIMAP no establece aún ninguna acción correctiva concreta, sino que ordena una segunda etapa de prospección, ahora midiendo las deflexiones de los tramos dudosos con instrumentos adecuados, capaces de incorporarse al tránsito sin entorpecerlo y utilizando métodos de análisis estadístico que permiten medir tramos representativos cortos y extender resultados a longitudes homogéneas mucho más largas. Terminada esta etapa de

prospección, que de acuerdo con la tecnología actual permite adquirir una idea de la situación estructural del pavimento como conjunto, el SIMAP divide los tramos estudiados en dos grupos, según que la deflexión sea mayor o menor que un cierto límite establecido.

Como resultado final se presenta un paquete de soluciones correspondientes a los diferentes grados de deterioro, indicando cual es el espesor de grava equivalente requerido por la sección para llegar a un comportamiento satisfactorio, acorde con el tránsito que soporte.

Nótese que el pleno funcionamiento del sistema exige una importante organización de campo a cargo de ingenieros especializados. Esto es exigencia de la elección de tramos de condiciones realmente homogéneas para el análisis estadístico y, desde luego, para todos los estudios de detalle en los tramos que revelen deficiencias estructurales.

Con el fin de hacer más ágil y asequible la aplicación del SIMAP por parte de los responsables de la conservación, en el último par de años se ha venido trabajando en la producción de algunos apoyos. La presente fase de este esfuerzo incluye la publicación y difusión de un documento conceptual, que describe los principios de aplicación generales; un manual operativo de campo con las recomendaciones y procedimientos para el acopio de datos “in situ” y un conjunto integrado de programas de cómputo y base de datos, que permite el control y archivo ordenados de la información técnica de campo y gabinete y su ágil procesamiento y consulta.

2. MÓDULO ECONÓMICO DEL SIMAP

Este trabajo consiste en el desarrollo de un conjunto de herramientas de análisis económico aplicado al diseño de intervenciones y a la formulación de programas de conservación de carreteras, conformando así una extensión del SIMAP como un apoyo complementario indispensable en la búsqueda e implantación de una estrategia de conservación de carreteras.

Permite:

A. La evaluación e identificación de las acciones y estrategias de conservación eficientes y eficaces, económica y técnicamente, considerando su vida útil, su costo de construcción y su efecto en los costes de operación vehicular.
B. La jerarquización con base en los costos mínimos totales (inversión inicial, su conservación y el costo de operación emanante), de tramos carreteros sobre los que es necesario intervenir.
C. La identificación del conjunto de tramos y/o acciones de conservación cuya atención genera los menores costos totales (mayor rentabilidad o beneficios económicos totales), en presencia de restricciones de recursos.
D. La programación de las acciones de conservación.

El denominado “Módulo Económico SIMAP” comprende un documento metodológico que señala y ejemplifica los procedimientos para la realización de la evaluación económica de acciones y programas de conservación y para la asignación optimizada de recursos, y un conjunto de programas de computadora que utiliza información del banco de datos técnicos de campo (del SIMAP) o de otras fuentes externas y que constituye la herramienta fundamental para el análisis económico.

Falta especificar con la debida claridad el criterio de jerarquización.

3. *INVESTIGACIÓN A ESCALA NACIONAL DEL PESO Y LAS DIMENSIONES DE VEHÍCULOS DE CARGA QUE TRANSITAN POR LA RED NACIONAL BÁSICA (En iniciación a gran escala en el caso de México)*

Este importante trabajo arrojará luz sobre las condiciones reales del tráfico en las carreteras nacionales más ocupadas, proporcionando un conocimiento básico, útil tanto para proyecto nuevo, como para conservación, al quedar debidamente complementada la información que a alto costo se obtiene año con año, con relación a aforos de tránsito.

Informará también sobre cómo se jerarquizan realmente, en importancia para los

pavimentos, diferentes tramos de la red básica, pues relacionará el número de vehículos de carga circulantes, con la intensidad de la carga que realmente se transporta, dando una idea sobre el daño adicional que se causa a la carretera.

Dará información sobre viajes en vacío, lo cual constituye un valioso indicador sobre la eficiencia del transporte carretero.

Adicionalmente, permitirá revisar las características del vehículo de proyecto para puentes y otras estructuras y respaldará cualquier intento futuro de establecer un nuevo reglamento de pesos y dimensiones, si resulta necesario.

Por último, tendrá también aplicaciones para el diseño geométrico: análisis de condiciones de curvatura, sobreelevación, sobreanchos, distancias de visibilidad, condiciones de viabilidad segura, etc.

Obviamente un estudio de esta naturaleza impondrá la necesidad de una repetición verificativa, con la periodicidad conveniente.

Cabe decir que a lo largo de los años se han realizado muchos estudios en esta dirección. Lo que recientemente se ha comenzado a intentar es una completa sistematización de los mismos en intensidad y cobertura.

4. *CONOCIMIENTO DEL VALOR DE LA CARGA QUE TRANSITA POR LOS DEFERENTES TRAMOS DENTRO DEL SISTEMA DE CONSERVACIÓN.*

Aprovechando los lugares y trabajos del estudio de campo sobre pesos y dimensiones arriba citado, puede efectuarse una encuesta estadística destinada a adquirir una idea de aproximación suficiente sobre el valor de la carga movida por los diferentes tramos de la red básica a la que se aplique el sistema.

Evidentemente, la información que se vaya teniendo irá ampliándose y confirmándose con el paso de los años. Al momento presente estudios sistemáticos de esta índole se han realizado durante un año. Actuando en pocas decenas de lugares anualmente, de acuerdo con un plan racionalmente implantado, será posible adquirir cada vez una visión más apropiada de lo que cada tramo carretero representa en cuanto a su valor particular como contribuyente al transporte nacional, tomando como índice el valor de la carga que transita por dicho tramo; será posible también conocer el grado de integración de cada tramo particular a los grandes corredores de transporte nacionales, también considerados en términos de qué es y cuánto vale lo que por ellos transita. Se espera que en cinco años el país pueda tener una información razonable sobre

estos asuntos, la cual seguirá perfeccionándose, proporcionando lo que a juicio de quienes escriben este artículo debe ser el gran paradigma de las acciones de conservación.

Es comprensible que un plan como el que se propone resulte poco grato a los partidarios de acciones inmediatas, pero antes de desecharlo por tal motivo, debe pensarse en la gran satisfacción con que hoy se manejan los números de tránsito carretero en cualquier red nacional, producto de una investigación también dilatada (en el caso de México, más de cuarenta años).

Existen varios métodos para implantar esta pesquisa. Se sugiere como apropiado para el caso de México y en lo que pudiera tener de extensivo a otros lugares, utilizar una lista genérica de diferentes productos transportados (en México se tienen disponibles en los organismos gubernamentales apropiados, en relaciones de un centenar de productos tipo diferentes). Conociendo, a partir de una muestra estadística, la distribución de cargas de tales productos, podrá llegarse fácilmente a tipificar cada tramo por un coeficiente de valor, independientemente de la evolución de precios, pero fácilmente convertible a valor monetario conociendo la evolución de éstos últimos. No será un valor exacto, pero tendrá suficiente validez relativa.

ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS

1. *INFLUENCIA DE LA PENDIENTE, DE LA CURVATURA Y LA VELOCIDAD EN EL COSTO DE OPERACIÓN DE LOS VEHÍCULOS.*

Este trabajo es especialmente útil para el proyecto de carreteras, pero también es útil para modernizaciones y reconstrucciones de trazo. Proporciona gráficas que dan factores de costo de operación superiores a la unidad, considerando unitario el costo de operación de un vehículo que transita estrictamente a velocidad de proyecto y por un tramo recto y plano. Las gráficas están relacionadas a cinco tipos de vehículos concretos, desde un camión articulado hasta un automóvil. Los factores pueden evaluarse fácilmente en unidades monetarias, al conocer el precio de los vehículos y de sus insumos de operación (ver figura 1, que presenta un caso ilustrativo para un tipo de vehículo).

Figura 1

CAMIÓN 2 EJES

Los números anotados junto a la curva indican las velocidades típicas de operación en kilómetros por hora

Los puntos y los números a lo largo de las líneas de igual pendiente representan diferentes niveles de curvatura acumulada en grados por kilómetro

2. *INFLUENCIA DEL ESTADO SUPERFICIAL DE UNA CARRETERA EN EL COSTO DE OPERACIÓN DE LOS VEHÍCULOS QUE TRANSITAN SOBRE ELLA.*

Este trabajo permite calibrar las inversiones para mejorar las condiciones de circulación en comparación a la recuperación que se tiene en costo de operación superiores a la unidad para cinco tipos de vehículos concretos, desde camión pesado articulado hasta automóvil, en función del índice Internacional de rugosidad y/o el índice de servicio del camino, supuesto un costo unitario para una carretera con índice de servicio de 4.5 e índice internacional de rugosidad de 2 o menor. La figura 2 presenta un ejemplo de una gráfica de este estilo.

FIGURA 2

CAMION ARTICULADO

3. *INFLUECIA DE LA CARGA EN EXCESO EN EL COSTO DE OPERACIÓN DE LOS VEHÍCULOS PESADOS (en elaboración)*

Este trabajo podrá contribuir a dimensionar el sobrecosto de operación que tiene un vehículo que se carga por arriba de las especificaciones del fabricante y del peso legal para la circulación en las carreteras nacionales. Contribuirá a arrojar la luz sobre el tradicional enfrentamiento proyectista transportista en relación a la economía que este último tiene en un viaje con un vehículo sobrecargado.

CONCLUSIONES

De lo anterior parece congruente establecer que, para llegar a una estrategia nacional de conservación se requiere:

1. La definición de un objetivo único de la conservación; para muchos países éste consiste en “optimizar el transporte de carga”.
2. Un criterio único para lograr el objetivo anterior; en este caso, la eliminación de sobrecostos de operación.
3. Un conjunto de apoyos que exigen:
    - Un razonable sistema de administración de pavimentos.
    - Una extensión del anterior que proporcione la relación entre diversas acciones de conservación, su vida útil y su costo total.
    - Un estudio permanente que permita conocer el valor económico y estratégico de la carga que transita por cada carretera de importancia, dentro del sistema nacional de corredores de transporte.
    - El conocimiento de sobrecosto de operación de vehículos pesados en relación con la pendiente, curvatura, la velocidad de operación y el estado superficial de las carreteras.
4. Una organización nacional (campo, gabinete y laboratorios) que permita llevar adelante estas tareas.

En el caso mexicano existen los prerrequisitos para obtener un orientador provecho de la estrategia propuesta, sin costos significativos adicionales al funcionamiento normal de las instituciones encargadas de estos asuntos.

REFLEXIONES SOBRE EL TRANSPORTE**

Alfonso Rico Rodríguez

I. Visión general del mundo en que se mueve el transporte.

Se acepta generalmente que las modernas comunicaciones y los transportes, al actuar en conjunto deben:

- Desarrollar oportunidades económicas.
- Propiciar el desarrollo social.
- Enriquecer la cultura y el conocimiento científico y tecnológico.
- Evitar desperdicios y cuellos de botella en el desarrollo.
- Eliminar la ignorancia y la necesidad de confrontaciones y conflictos.

Por otro lado, la humanidad entra a su tercer milenio D.C. enfrentando enormes impedimentos al desarrollo productivo de muchos millones de seres humanos, aun cuando otros gozan de mucha mayor prosperidad, pensando quizá inconscientemente, que tal ventaja podrá mantenerse en forma indefinida. Sin embargo, es dudoso que en el mundo actual una sociedad nacional pueda mantenerse en el bienestar con independencia de la suerte de los demás. Los E.E.U.U., la mayor economía "occidental" depende del resto del mundo para el 25% de los insumos de la producción industrial que utiliza y para la colocación del 40% de los productos agrícolas que exporta; más de un tercio de sus utilidades industriales totales proviene de operaciones de sus empresas en el exterior. Es obvio que aún una economía tan importante como la americana no se podría recuperar de un colapso generalizado más allá de sus fronteras.

Los necesarios progresos en las áreas deprimidas y la solución de algunos problemas ancestrales no serán posibles sin cambios importantes en actitudes humanas, sin acciones institucionales apropiadas y sin ciertos cambios, voluntariamente aceptados o no, por algunas estructuras de poder. Es de desear que estos cambios ocurran en forma gradual y, si ello es así, irán produciendo nuevas perspectivas y nuevas oportunidades.

Un prólogo necesario a la tarea de medir el éxito de cualquier acción que se emprenda en el campo de un desarrollo nacional consiste en la elección de los parámetros indicativos de dicho progreso. El producto nacional bruto per cápita o la renta nacional han sido usados en el pasado abundantemente con tal propósito. Independientemente de que cualquiera de los dos pueda ofrecer una idea global del desarrollo, cuando se les trata de considerar como indicativos de los detalles sobre la disponibilidad en una sociedad moderna de bienes y servicios o como

**Rico, A. (1992). Reflexiones sobre el transporte. III Seminario y Exposición Internacional "El Transporte Integral de Carga ante el reto de la Globalización con el T.L.C." México, D.F. 1992.

representativos de lo que podría llamarse “bienestar social”, pueden surgir algunas dificultades muy graves.

- Los métodos de recuento de la riqueza de las naciones, no toman en cuenta la disminución necesaria de recursos no renovables para llegar a la situación que se plantee y que necesariamente significa un débito en la riqueza; tampoco consideran las pérdidas por erosión de tierras, empobrecimiento de las mismas por uso repetido, pérdidas de agua útil, polución aérea, etc. Podría decirse que en el balance energético que representa un análisis del tipo que lleva al cálculo del producto nacional bruto, se olvidan las pérdidas de energía debidas a la actuación de la segunda Ley de la Termodinámica; se olvida la “entropía económica”.
- En las sociedades modernas es muy frecuente que se incurra en fuertes gastos militares que, por diversas razones, no figuran o al menos no realísticamente en los indicadores macroeconómicos usuales.
- Los grandes indicadores macroeconómicos pueden referirse a situaciones muy diversas cuando se abandona su visión como grandes promedios y se los contempla, más de cerca, en su distribución sobre la población. Algunos de los países de más alta renta mundial albergan las poblaciones más miserables.
- Los costos sociales del progreso no figuran en los grandes indicadores macroeconómicos del desarrollo. Los accidentes, la polución o el transporte figuran entre los grandes costos sociales muy difíciles de detallar; en cualquier caso podrían incidir en números del producto nacional bruto, pero sin reflejar nada acerca del nivel de vida.
- Las estadísticas fallan al tratar de reflejar la participación social en la política o en la economía; en la seguridad en el trabajo; la oportunidad del progreso personal, incluyendo la capacidad de moverse un individuo en la escala social o en la armonía de los diferentes grupos que suelen coexistir en un mismo país. ¿Qué representa el valor de la renta per cápita Hindú, para reflejar la vida de un intocable?
- Resulta arduamente difícil comparar números estadísticos entre diferentes países, en diferentes años o entre las diferentes épocas en un mismo país. Los análisis económicos en el tiempo considerando “precios constantes” fallan al no poder considerar el diferente peso que en distintas épocas puede tener una actividad en el producto nacional o al considerar cambios en la calidad de un mismo producto a lo largo del tiempo, en circunstancias más o menos favorables socioeconómicamente hablando.

Parece pues conveniente producir investigación adicional para encontrar

indicadores del desarrollo que apunten más y de manera más personal hacia la "vida" de las sociedades. Estos indicadores tendrían que reunir dos requisitos esenciales:

- Ser fácil y seguramente mesurables.
- Tener una significación directa para señalar el bienestar real de la mayoría de los pobladores de la sociedad analizada.

Existen en la actualidad tendencias hacia el desarrollo de tales indicadores. Algunos organismos internacionales miden el bienestar social con base en diez puntos: salud, educación, empleo y condiciones de trabajo, tiempo de ocio, condiciones de vivienda, entorno físico, entorno social, seguridad en la administración de la justicia, movilidad social y participación social y política.

Aún quedan efectos importantes a considerar, pero de cuantificación difícil, como podrían ser la honestidad, conciencia comunal, estabilidad familiar y social, responsabilidad cívica y propia valoración individual. Dada la enorme importancia que empresas e instituciones tienen en las sociedades modernas, los auténticos indicadores del desarrollo deberían de considerar productividad, eficiencia, calidad de los servicios públicos y municipales y otros.

Otros factores son prácticamente imposibles de introducir en los indicadores, a despecho de su importancia puntual; entre estos podrían señalarse la estabilidad personal, los divorcios, los individuos producto de las uniones libres, los individuos sin un progenitor, la extensión de los lazos familiares fuera de la relación padres-hijos.

El preparar indicadores sociales realmente representativos tiene la dificultad adicional de que muy frecuentemente un elemento que mejora, necesariamente lo hace a expensas de otro, que correspondientemente empeora. Por ejemplo un incremento en el área de casas y departamentos disminuye la disponibilidad de tierra para agricultura o recreación.

El desempleo, la inflación, el mal uso de recursos materiales, la competencia de los gastos militares, la presión demográfica, disolución familiar, materialización de la vida, la extinción de especies y el exceso de burocracias y reglamentos, figuran entre los problemas sociales más serios de la época. En conjunto producen las asfixiantes deudas externas, la visible pérdida de calidad de vida, la aun invisible pérdida en la calidad del planeta en que habitamos y las tensiones entre las diversas sociedades humanas que lo pueblan.

Ante esta visión de graves desequilibrios sociales, al intentar pensar en su solución conviene retornar a la idea inicial de que la autarquía nacional es un mito inalcanzable, una ilusión fallida y, además, indeseable. La sociedad que se aísle para disfrutar egoístamente de su riqueza la perderá a corto plazo, perderá todas

las oportunidades en lo material y perderá la maravillosa oportunidad de entrelazarse con otros grupos humanos de diferente cultura, diferente arte, diferente costumbres, perderá entonces la oportunidad de asomarse a la diversidad y aprender de ella y esta ha sido a lo largo de la historia el principal motor del enriquecimiento de las civilizaciones y las culturas.

¿Qué deben hacer las diversas naciones del mundo para acabar con los desequilibrios mencionados, que sin duda amenazan a la propia sobrevivencia de la especie?

Los países ricos, actuando con realismo, deben entender que a plazo no largo es de interés vital favorecer la estabilidad entre las todas naciones y la libre acción de los agentes económicos que les permitan inclusive incrementar su riqueza inicial, a través de un juego justo de todos los modos del comercio mundial y de la cooperación internacional. Los países pobres deben de aprender a manejar juiciosamente sus recursos y a incrementar su conocimiento tecnológico, a fin de incorporarse con creciente ventaja a esas corrientes mundiales.

Todos deben entender que la cooperación y el reparto justo de las ventajas en las negociaciones múltiples son esenciales para el progreso conjunto. La tecnología actual y la que está por venir en forma que empequeñecerá todo lo que conocemos, permite sin la menor duda la cooperación y el progreso de toda la especie humana. Como acciones a corto plazo, se requieren reglas más justas para el comercio internacional y verdadera ayuda para el mejoramiento de la agricultura y el desarrollo industrial de los países más pobres. El potencial de desarrollo de estos está fuertemente limitado por la combinación de su inadecuado desarrollo tecnológico y por hostiles medidas proteccionistas de los países ricos. La combinación de estas cosas conduce a absurdos como el que podría ser el ver a los países más ricos realizar gastos ingentes para prepararse a disminuir su consumo de energía, en tanto que en el área del Golfo se quema más gas, sin beneficio para nadie, que podría ayudarlos en este problema y aún proporcionar insumos para fertilizantes y alimentos en otros países.

Hoy la organización de las Naciones Unidas para el desarrollo estimó que en 1978 se quemaron, sin uso, cuatrocientos millones de metros cúbicos de gas en 18 países, lo que equivale a una energía perfectamente aprovechable igual a 2.6 millones de barriles de petróleo crudo; esta pérdida en dinero se estimó en cien mil millones de dólares por año. Doce millones de hectáreas de bosque se destruyen cada año en países en desarrollo, para buscar energía compatible con su deficiente desarrollo tecnológico; este invaluable daño ecológico afecta por igual a ricos y pobres.

Dentro de la nave espacial que es el planeta tierra. Los países en desarrollo gastan, por falta de tecnología avanzada, el 80% de toda la energía fósil que se consume en el planeta; pérdida irreparable para todos. De la producción que se logra en alimentos, se pierde por manejo inadecuado y falta de recursos el 51% en

Latinoamérica, el 61% en Asia y el 63% en África; estos números deben compararse con el 20% de pérdidas que sufre Europa.

Los riesgos de la no cooperación internacional alcanzan horizontes estremecedores si se piensa en los gastos militares del planeta o en la posibilidad de una guerra de proporciones. El gasto militar directo fue de quinientos mil millones de dólares en 1980 y se calcula en novecientos mil millones, a precio de hoy, en el año 2000, de seguir las tendencias actuales. Entre 1945 y 1980 hubo en el planeta 140 guerras regionales o civiles, con la participación de 85 países. El gasto militar mundial supera en casi 30 veces toda la ayuda que los países ricos han volcado en los más pobres, independientemente de que la mayor parte de esa ayuda se reclama ahora en forma de deuda externa. Treinta y cinco millones de personas son soldados y veinte millones de civiles trabajan directamente para las diferentes fuerzas armadas. Un millón de investigadores e ingenieros trabajan para el desarrollo de nuevas armas o el mejoramiento de las existentes; entre ellos están algunos de los mejores cerebros vivos.

A estos números se contraponen un 40% de la humanidad sin servicios médicos adecuados, 600 millones de desnutridos y tres mil millones sin acceso directo al agua en su hogar; hay en el mundo actual más de 800 millones de analfabetos adultos y muchos cientos de millones de niños sin acceso a ningún tipo de escuela.

¿Cómo podría actuarse específicamente contra estos brutales hechos y estos terribles desequilibrios?

a) Por reformas monetarias y orden comercial.
   La estabilidad de los cambios monetarios y la eliminación del proteccionismo industrial, en detrimento del valor de las materias primas, parece un requisito esencial para la cooperación internacional. Lo es, desde luego, para propiciar la inversión productiva.

b) Por desarrollo cooperativo en el uso de la energía y en la producción de alimentos.
   En este sentido es urgente el impulso al desarrollo tecnológico en los países más pobres y la ayuda de los más ricos para lograrlo. Con tierras susceptibles de mayores rendimientos y amplios recursos energéticos, los países pobres se ven forzados a gastar ingentes sumas en la importación de alimentos y de productos energéticos; esas sumas podrían dedicarse al desarrollo interno al contar con una tecnología más avanzada.
   Los potenciales energéticos de los países en desarrollo son en conjunto muy superiores a los de los países ricos; sin embargo, el desarrollo de esos potenciales está fuertemente limitado por falta de capacidad de inversión y

de tecnología apropiada. Se ha calculado que los países ricos tienen en uso el 50% de su potencial hidroeléctrico y ese valor es el 7% en los países en desarrollo.

c) Por flujos financieros internacionales.
La ayuda financiera de los países ricos a los países pobres es indiscutiblemente el elemento de desarrollo común y de necesaria cooperación internacional. Produce recursos a ser utilizados en desarrollo infraestructural, industrial y tecnológico. Con madurez de parte del país receptor, no tiene por qué suponer ningún riesgo geopolítico. Sin embargo, la condición para la aplicación positiva está en la justicia y mesura de la retribución que espere el inversor del esfuerzo financiero realizado. Se ha estimado que las inversiones norteamericanas en el exterior rinden un promedio de 23% anual, superior al doble de lo que inversiones equivalentes rinden en el país de origen. Con adecuada seguridad, los países en desarrollo deben poder igualar estas tasas de rendimiento.

d) Por diseminación tecnológica.
El permitir la transparencia tecnológica sobre bases no egoístas podría ser uno de los métodos más rápidos para romper los desequilibrios mundiales. El intercambio de información y de los medios para procesarla y difundirla debe de considerarse como un procedimiento prioritario de difusión tecnológica.

e) La oportunidad de acceder al comercio mundial sobre bases justas.
Este es un punto que no requiere ulterior comentario.

II. El papel de transporte en el mundo.

El cambio observable en el mundo moderno ha ocasionado y necesitado cambios en el transporte, que tuvo y seguirá teniendo que adaptarse a los requerimientos de una vida comercial creciente en lo interno y lo externo en todas las naciones. También en esta actividad se reflejan los desequilibrios del mundo arriba comentados y no podría ser de otra manera. El tremendo desarrollo del comercio mundial y de los vínculos entre los países ha hecho resaltar las deficiencias de transporte de grandes áreas en las que, de seguir las cosas como hasta ahora, vivirá pronto el 90% de la población mundial.

El hecho es que a las diferentes escalas nacionales, el transporte ha sido el soporte y el vehículo del desarrollo tecnológico en el mundo, aunque en los

últimos años ha recibido un fortísimo refuerzo en ese papel, por el desarrollo de las comunicaciones y la computación.

Aunque las condiciones estaban dadas antes, la época de los grandes giros fue posiblemente la de las décadas de 1940 y 1950, cuando la aviación realmente convirtió al planeta en un mundo familiar y los grandes barcos portacontenedores o especializados de otras formas comenzaron a recorrer los mares; a la vez comenzaron a actuar los sistemas de rápida diseminación de información, que condujeron al uso de satélites y se logró almacenar sencillamente esa información, con sistemas igualmente simples de lograr acceso a ella.

En una franja del hemisferio norte que abarca Norteamérica, Europa occidental y ciertas zonas de Asia, incluyendo el Japón, se desarrolló con gran rapidez un sistema interno de transporte de gran envergadura, que fue capaz de extenderse en intrincadas redes internacionales. Pero en Latinoamérica, Asia y África estos tráficos internacionales continúan encontrando severos obstáculos al abandonar un puerto de entrada o el aeropuerto de una ciudad de importancia especial; en esas áreas prevalece la inmovilidad de antaño, con la que se inhibe la actividad nacional.

El volumen del comercio mundial se triplicó desde 1950, en tanto el producto bruto mundial, sea lo que fuere lo que ello signifique, se multiplicó por dos.

La internacionalización de la actividad conduce a que en los Estados Unidos, dos de cada cinco acres de tierra produzcan comida que se consumirá fuera de su territorio y a que uno de cada cinco obreros produzca un bien que será usado en el exterior; 400 empresas norteamericanas que realizan operaciones fuera de su país alcanzan un tercio de sus ventas en esas actividades y más de la mitad de sus negocios se cierran con clientes el exterior. El efecto de este crecimiento en la relación comercial internacional se ve dramáticamente al considerar que en 1955 hubo en los Estados Unidos poco más de un millón de llamadas telefónicas internacionales; esa cifra fue de 200 millones en 1980 y de 400 millones en 1987.

Se estima que cada dólar del producto mundial bruto requiere en este momento de 2 a 6 ton-km de transporte de carga, según el tamaño del país y su nivel de desarrollo. Una cifra idéntica expresa el movimiento de pasajeros al compararla con cada dólar producido en la actividad económica. El papel del transporte en el desarrollo económico y comercial se establece con toda claridad al considerar que el movimiento de carga en los Estados Unidos se ha multiplicado por algo más de tres en 1950, un ritmo prácticamente igual al desarrollo del producto nacional bruto.

La estrecha relación entre el funcionamiento del transporte y el desarrollo económico ha llevado a todos los países desarrollados a realizar enormes inversiones en la puesta a punto de muy importantes redes de transporte, en los cuatro modos tradicionales; los países en desarrollo, si bien con menos recursos,

han tratado con empeño de formar las suyas y a ello se ha dedicado una parte sustancial de la inversión pública durante los últimos 30 o 40 años. Sin embargo, tanto para los países pobres como para los ricos, en forma proporcional a sus respectivos requerimientos, este esfuerzo ha demostrado estar prácticamente al límite de sus posibilidades.

El mundo entero, en forma prácticamente homogénea si se considera a los países que realmente han hecho el esfuerzo, confronta problemas similares; carreteras y puertos construidos hace más de 20 años, con técnicas y capacidades superados por los acontecimientos; ferrocarriles necesitados de modernización, demandando para ello inmensas inversiones; elevación de costos de construcción de nuevas carreteras y, sobre todo, de nuevos ferrocarriles; necesidad de equipar puertos para adoptarlos a la tecnología de los nuevos sistemas de empaques y manejo de cargas y necesidad de modernizar constantemente los principales aeropuertos, en vista de la continua aparición de nuevas aeronaves demandadoras de pistas cada vez más largas y más resistentes y también a causa del explosivo crecimiento del volumen de pasajeros movidos, demandador de toda clase de nuevos edificios y servicios. Muy en especial resultan particularmente onerosas las inversiones necesarias para dejar a los ferrocarriles en el estado de operación que exige la competitividad y la vida intensa del comercio moderno.

Obviamente estos problemas no afectan por igual a todos los países, aunque constituyan un problema general; los matices estriban en el volumen de las redes por atender y en los niveles del servicio que se consideran mínimos o adecuados; en general, las naciones de actividad comercial intensa no pueden conformarse sino con redes de transporte excelentes; las que aspiran al progreso real y a niveles de vida comparables tienen que aprender la lección de tratar de llegar a los mismos planos de excelencia.

La conexión entre el desarrollo nacional, entendido en sus términos más nobles, es decir, referido al nivel de vida puntual de sus habitantes en todos sus aspectos y al justo reparto de ese nivel entre todos ellos y el transporte de esa nación es absolutamente estrecha. Esto debe llevar a los países en desarrollo a fortalecer sus políticas de conservación, modernización y nuevas construcciones, si bien ejerciendo cada día mayor vigilancia en las tecnologías empleadas, en las fuentes de financiamiento y en la eficiencia de operación, todo ello en vista de las enormes inversiones que están en juego.

Otro aspecto del desarrollo del transporte para poder desempeñar el papel que el mundo moderno le impone, se refiere al equipamiento para su correcta operación. De nuevo, muy especialmente los países en desarrollo se encuentran ante cuantiosísimas inversiones en camiones, autobuses, locomotoras, vagones y furgones, grúas y toda clase de equipos de estiba y manejo de carga, almacenamientos, aeronaves, barcos, etc. Otra vez la relación entre el éxito en lograr estos objetivos y el desarrollo es estremecedora. En Europa existe un

camión por cada 30 personas; este número es uno para diez en Canadá o Japón, pero si la India o Indonesia hubieran de alcanzar la proporción de camiones que tiene Francia, en comparación a su población, habrían de tener cada una de ellas 140 millones de camiones, en lugar de los 12 millones que ahora poseen. México tiene un camión por cada 45 personas aproximadamente, si bien con serios problemas de envejecimiento en su parque vehicular.

A nivel mundial el transporte experimenta algunos retos importantes debido a las enormes discrepancias existentes en la geografía entre las zonas en que se producen bienes y aquellas en que se consumen. El Japón, por ejemplo, importa insumos para su producción de hierro y acero prácticamente de todo el mundo y coloca su producción manufacturada principalmente en los Estados Unidos y en Europa Occidental; contempla con esperanza la posibilidad de apertura del mercado chino, mejor situado para él.

Los Estados Unidos venden el 64% de su trigo a clientes del exterior, tan lejanas como las Repúblicas de la otrora Unión Soviética, vende fuera también el 48% de sus productos derivados del petróleo, el 42% de su sorgo y el 27% de su maíz. Canadá y Australia, con más de 100 millones de toneladas de cereales sobrantes cada año, han de buscar mercados, principalmente en Europa Occidental y la Comunidad de Estados Independientes. Se estima que sólo las necesidades de Europa Occidental serán en el año 2000 de 100 millones de toneladas de grano de importación.

La demanda futura de transporte mundial será, obviamente, determinada por el desarrollo de otros sectores de la vida: industria, desarrollo de zonas con producción de recursos naturales, energía y agricultura. La energía será un factor dominante en la demanda. Para muchas partes del mundo, el movimiento de carbón y petróleo llegará a un tercio de todas las toneladas-km; aquí habrá cambios de importancia en los medios de envío, con los ductos jugando un papel cada vez más dominante; es de esperar que muchas zonas en donde ello resulte apropiado desarrollarán usos de energía nuclear y solar, cuya demanda de transporte es mucho menor.

El sector agrícola, el uso de alimentos congelados y desecados hará posible el desarrollo de agroindustrias, a la vez que contribuirá a aliviar la demanda de transporte. La fijación biológica del nitrógeno reduciría el peso de las cargas por transportar por todo el mundo en millones de toneladas de roca y otros ingredientes que hoy son necesarios para producir fertilizantes; la desalación del agua de mar y su transporte en ductos a zonas desérticas también reducirá la demanda de transporte en muchas zonas del mundo. Buscando disminuir la necesidad de transportación, que de otra manera podría llegar a pesar en exceso en la economía de naciones con población creciente, se seguirán desarrollando técnicas para producir en el hogar elementos que antes eran transportados; aunque en muchas partes del mundo sigue moviéndose el agua en pipas y aún en

trenes, en otras muchas se obtiene abriendo la llave de paso; el hielo, cuya entrega a domicilio contribuía antes a congestionar las ciudades, se fabrica hoy en el hogar eléctricamente.

A despecho de todas las medidas que con sentido de urgencia habrán de irse tomando para disminuir una demanda de transporte que, de seguir la presión demográfica y el crecimiento de comercio, amenaza en convertirse en devoradora de todos los recursos nacionales, es de esperar que en los próximos 20 ó 30 años la demanda mundial del transporte aumente en forma substancial; en primer lugar, porque a querer o no los países desarrollados tendrán que transportar más carga, tanto en volumen como en peso y, en segundo lugar, porque muchos países en desarrollo habrán de pasar en ese periodo por las etapas que los países ricos pasaron recientemente o están pasando ahora y, ya se dijo, estas etapas demandan crecimientos explosivos del transporte.

El transporte de pasajeros también sufrirá incrementos en su demanda. A mayores etapas de desarrollo, la movilidad humana es un mecanismo para ganar conocimiento y experiencia, alcanzar la escuela y para encontrar y conservar el trabajo; obviamente lo es para conseguir la recreación. Muchos teóricos del transporte consideran que el número de kilómetros recorridos en un año por el ciudadano promedio es un índice de desarrollo más ajustado a los verdaderos valores sociales que el número que exprese la carga movida ese año, en ese país. Por ejemplo en los Estados Unidos el ciudadano medio que recorría 750 km al año hace una década, recorre hoy 18 000 y el costo de su desplazamiento representa el 15% del presupuesto familiar, sólo atrás de lo que se dedica a comida y vivienda. En Europa Occidental y Japón el hombre medio recorre unos 10 000 km anuales, por sólo 3 000 en los países de economía socialista más avanzados, 2000 en la mayoría de los países en desarrollo y 500 en el grupo de naciones con renta individual mayor de 5 000 dólares anuales, la movilidad personal es de 30 veces más grande que en el grupo de países cuya renta está debajo de 500 dólares.

Un elemento que puede contribuir a aliviar la tensión que produce la obsesiva necesidad de incrementar la oferta del transporte será el desarrollo de las comunicaciones. Estas podrán cambiar la naturaleza, el propósito y la geografía de los viajes, siempre con tendencia a disminuir la demanda de transporte, tanto de carga como de pasajeros. El movimiento de información reducirá la necesidad del envío de papel que en este momento a nivel mundial representa el mayor volumen y peso de toda la carga transportada. Como ejemplo, algunos periódicos comienzan a editarse simultáneamente en varios puntos del globo terrestre, simplemente transmitiendo la edición al lugar apropiado. Las telecomunicaciones, incluyendo imagen, evitan la necesidad del movimiento de personas para celebrar reuniones o supervisar procesos; también, como ya se dijo, pueden incrementar brutalmente la eficiencia y la productividad de vehículos y empresas transportistas. Quizá no esté lejos el día en que las comunicaciones permitan que una gran parte

del personal que hoy se desplaza a su trabajo, pueda realizarlo en su casa, simplemente manejando una computadora. De nuevo en este rubro aparece una diferencia marcada entre las naciones; si se toma a los Estados Unidos como 100 para expresar sus facilidades de comunicación por teléfono, televisión y computadora empresarial, los países con alta renta per cápita tienen índices superiores a 40, pero los países en desarrollo tienen valores en general inferiores a 10 y frecuentemente, debajo de 5. Los teóricos del transporte consideran que una de las más apremiantes necesidades de los países en vías de desarrollo en el sector transporte está en el desarrollo del teléfono; en este sentido ha habido un esfuerzo prioritario en la apertura de líneas internacionales, pero en general los países pobres han descuidado sus redes internas. Un informe reciente del Banco Mundial destaca por encima de toda previsión el fundamental papel del teléfono en el desarrollo de la administración gubernamental, los servicios de salud, los servicios bancarios, las empresas de transporte y su interrelación, el control de inventarios y almacenes de las empresas y muchos otros aspectos esenciales para el desarrollo económico social.

Los problemas del transporte en los diferentes países difieren brutalmente en grado, pero responden a los mismos esquemas de solución. Para mejorar el transporte es esencial el análisis continuo de la experiencia global y su diseminación, con amplia colaboración internacional en investigación y desarrollo. También son necesarios nuevos enfoques en la educación y el entretenimiento, especialmente en aspectos de operación local, nacional e internacional. Cuando todavía muchas partes del mundo son inaccesibles, el mejoramiento del transporte y las comunicaciones son requerimientos indispensables para el desenvolvimiento económico y social de los países pobres, también lo son para continuar la ascensión de esos países en la escala del progreso, tal como están demostrando serlo en los países más ricos, para mantener e incrementar la riqueza. Una vez más la cooperación internacional es esencial.

III. El transporte en México

Como en todas partes del mundo, el transporte en México comenzó en forma unimodal; cada medio de los existentes se consideraba único y se optimizaba su funcionamiento en consecuencia. Las realidades de la práctica hicieron pronto ver a los distintos modos las ventajas de no ignorarse. Por ejemplo, un armador podría reducir el tiempo de estadía de su barco en un puerto si antes arreglaba el transporte terrestre. Estos hechos, unidos a un desarrollo tecnológico que substituyó al buque de vela por el de vapor, muchas veces más capaz y programable y a la diligencia por un ferrocarril muy parecido al actual, acicatearon la búsqueda de eficiencia en el transporte y fomentaron, con proceso retroalimentador crecimientos importantes de infraestructura marítima y terrestre. La aparición del vehículo de motor y de la carretera aceleró tremendamente el proceso de cambio en el transporte.

La consecuencia fue la substitución del concepto del transporte unimodal por el de transporte multimodal, según el cual el transporte es un sistema que comienza en la puerta de una factoría y termina en la puerta de un cliente. Visualizado así, como un sistema completo en sí mismo, la misión de un buen técnico en transporte estriba en optimizar ese sistema y es bien sabido que el énfasis de esta optimización se dirige casi exclusivamente al flete o costo del transporte. En consecuencia la filosofía del transporte multimodal se desarrolló con un énfasis marcado en la optimización del costo de la cadena; conceptos como distancia por recorrer, energía consumida por km., costo de equipamiento y desgaste del equipo, costo personal, entre otros, se consideraron los relevantes y surgieron las fases sagradas como: “El transporte marítimo es el más económico” y por ende derrota a todos cuando es aplicable; “el ferrocarril es el medio ideal para transportar grandes volúmenes a grandes distancias”; “el autotransporte es el medio de transportación más flexible”.

El desarrollo del concepto multimodal del transporte fue universal e indiscutido en los países industrializados y, como reflejo, en todos los demás. Este hecho produjo en los últimos tiempos dos consecuencias prácticas de especialísimo interés para el comercio internacional. La primera fue la aparición del buque de carga especializado (barcos graneleros, mineraleros, petroleros, transportadores de automóviles, etc) y la segunda es la proliferación universal del contenedor para movimiento de carga general y, en especial, de productos manufacturados (se calcula que hoy el 75% de la carga internacional se mueve con esta tecnología de empaque y operación y que ese porcentaje aumentará al 95% en 20 años más).

El concepto multimodal ha transformado al buque de carga tradicional en un portacontenedores o en otro tipo de barco especializado (prácticamente no se construyen barcos de carga tradicionales), simplemente por el hecho de que esa especialización aumenta la eficiencia en la estiba y permite movimientos más rápidos y eficientes en los puertos, a condición de que estos tengan el equipo necesario para validar las ventajas.

Estos cambios en la transportación marítima tuvieron su correspondiente repercusión en el transporte terrestre, con fuertes movimientos de contenedores en ferrocarril y tracto-camión y con tecnología del tipo “remolque sobre plataforma” (piggy-back) y otras de naturaleza intermodal, todas encaminadas a reducir fletes para facilitar maniobras de carga y descarga.

En México, el transporte multimodal es un concepto aceptado en los términos expuestos, pero encuentra problemas en el área práctica por falta de equipo para el manejo de contenedores en los puertos terrestres y marítimos.

En épocas recientes han surgido a nivel mundial y nacional condiciones que imponen cambios de importancia en la visión del transporte como elemento impulsor del desarrollo socio-económico. Independientemente de que estas condiciones son muy bien conocidas por todos los especialistas mexicanos,

parece cierto que sus conclusiones no han permeado suficientemente la operación del transporte nacional.

Condiciones mundiales y nacionales han llevado al comercio mundial, por ejemplo, a un costo del dinero sin precedentes, que hace prohibitivo en muchos casos y siempre oneroso, el tener grandes inventarios en planta, con sus correspondientes almacenamientos; el costo financiero de estos capitales inactivos reviste la máxima importancia. Adicionalmente han aparecido condiciones de competitividad comercial y de importancia de oportunidad de presencia en el mercado jamás antes conocidas.

La consecuencia práctica de estos fenómenos de revolución y crisis financiera es la aparición de nuevas políticas empresariales en la industria y la producción, del tipo de "justo a tiempo", todas encaminadas a minimizar inventarios, incluyendo tránsito, almacenes, periodos de maniobra, etc. Esta compulsión empresarial, unida a la tecnología moderna del transporte, de las comunicaciones y de la informática, ha hecho que hoy la eficacia del transporte esté ligada a toda una serie de factores adicionales al costo del servicio, a veces independientes de él y a veces contradictorios con él. Estos factores son de naturaleza variada e incluyen oportunidad en el mercado, seguridad en la entrega, puntualidad en el arribo, seguridad de la mercancía transportada y confiabilidad general del servicio.

El peso de estos factores resulta mucho más influyente que el flete y cada día se encuentran más ejemplos de que la organización del transporte debe estar regida por ellos y no por el flete. En otras palabras, la cadena comercial, con muchas implicaciones ajenas al transporte, rige la organización y las acciones de éste. El transporte es un importante eslabón de una cadena mucho más amplia que es el comercio.

Por supuesto hay productos en que el flete tiene mayor peso, pero en otros muchos y especialmente en insumos y productos elaborados de carácter industrial el peso del comercio es definitivo.

En lo que sigue se dan consideraciones sobre la situación del transporte en México, con énfasis en el transporte terrestre.

A) AUTOTRANSPORTE

1. Organización.

En México existen alrededor de 2 millones de vehículos automotores destinados al movimiento de carga. De ellos, denominados autotransporte público federal, que presta servicios públicos en todo el país según las modalidades de carga regular y carga especializada. La primera autoriza el movimiento de carga general y la segunda especifica el tipo de producto (muebles y mudanzas, productos petroleros, productos del campo, etc). Dentro de estos tipos de productos, destaca

el del transporte de cargas de grandes pesos y dimensiones, que requiere permisos especiales por viaje y que plantea dificultades importantes, sobre todo en puentes.

El autotransporte público federal está agrupado en la Cámara Nacional de Transporte de Carga, sección autotransporte. El marco reglamentario del autotransporte federal corresponde a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, tanto en su enunciado como en la vigilancia de su cumplimiento.

Adicionalmente, existen en el país flotas privadas pertenecientes a empresas específicas cuya actividad principal no es el transporte; están destinadas y autorizadas al manejo de los insumos y los productos de la empresa con cobertura nacional.

Existen también unos 80 mil autobuses dedicados al transporte de pasajeros, organizados en líneas y con una vasta red de terminales extendidas por todo el país para proporcionar sus servicios.

2. Desarrollo histórico del autotransporte

El autotransporte es, tanto en el movimiento de carga como en el de pasajeros, el medio de transporte más utilizado de México. Su importancia radica no sólo en los volúmenes transportados (alrededor de 290 millones de toneladas de carga y 1500 millones de pasajeros en 1987) o en su participación porcentual en el conjunto de los modos (del orden del 80% del transporte terrestre de carga y alrededor del 97% del tráfico total de pasajeros), sino también en su posibilidad de acceso y servicio a comunidades repartidas en todo el territorio.

Por muchos años, la operación del autotransporte público federal estuvo fuertemente reglamentada en México como medida necesaria, para eliminar irregularidades, proteger a los transportistas organizados y favorecer su evolución como industria moderna al servicio del país. Hoy, la situación ha cambiado y en consecuencia el marco regulatorio se ha ido modificando, a fin de favorecer la instrumentación de mejoras en el funcionamiento de los servicios de transporte.

3. Infraestructura carretera

Las carreteras son un prerrequisito indispensable para la prestación de servicios de autotransporte. Al estudiar la conveniencia o no de llevar a cabo un proyecto carretero, sobre todo si se trata de construir una nueva carretera troncal alimentadora o inclusive una autopista, uno de los aspectos más debatidos se refiere a su potencialidad para generar nuevas actividades que a su vez hagan crecer los niveles de la demanda de tránsito.

En realidad, salvo contadas excepciones, las carreteras se construyen para atender necesidades de transporte ya sentidas, no para promover por sí solas el

desarrollo. Es evidente también que al estar abierta una carretera al tránsito, las comunidades por las que atraviesa se benefician por sus mejores posibilidades de acceso y vinculación con otras área de la región o del país, lo que a su vez mejora sus ventajas de localización y puede propiciar una mayor concentración de actividades y, por consiguiente, la consolidación de un proceso descentralizado más dinámico.

Otro aspecto importante de la concepción de la infraestructura carretera es el de la planeación misma de los añadidos que se hagan a la red nacional de carreteras. Los objetivos mismos de la planeación eran marcadamente más centrales en el pasado de lo que son hoy y seguramente era juicioso que así sucediera. En efecto, durante muchos años las motivaciones principales de la planeación fueron de carácter geopolítico y en la práctica mucho apoyaron el predominio de la capital federal y el de la zona central del altiplano. En este grupo de objetivos de la planeación figura la necesidad de comunicar todas las capitales estatales con la capital del país; las inversiones para conectar los puertos terrestres y marítimos con la misma ciudad capital y otras muchas, justificadas en su momento.

Hoy, sin embargo, se impone un giro en los objetivos de la planeación. Formado geopolíticamente de manera suficientemente sólida, México ha de contemplar ahora su desarrollo económico y social, para mejorar la calidad de la vida. En otras palabras, la infraestructura para el transporte debe enfocarse cada día más a la actividad comercial o de recreación y al movimiento de pasajeros que de ella resulta. Cada vez con mayor frecuencia deberá oírse hablar de carreteras en las que la Ciudad de México no figure ni al principio ni al final de la letanía, pero que representen corredores comerciales cuya actividad se desee mantener e impulsar.

B) FERROCARRIL

1. El papel del ferrocarril

El papel del ferrocarril moderno es probablemente el peor entendido de entre todos los medios de transporte. El juicio común no toma en cuenta una gran diversidad de factores que en dicho papel ha introducido:

a) La aparición de la carretera,
b) El enorme desarrollo del comercio mundial,
c) El nuevo juego financiero internacional,
d) El desarrollo tecnológico de los ferrocarriles modernos,
e) Las gigantescas inversiones que demanda un ferrocarril moderno,
f) La tendencia hacia la integración de los medios de transporte,

A) Aparición de la carretera

Originalmente, la aparición del ferrocarril constituyó una revolución tecnológica,

cuyo papel fue doble. En primer lugar fomentó, como nunca antes, las integraciones nacionales, el desarrollo comercial interno y, de hecho, facilitó la aparición de ciudades industriales relativamente alejadas de los centros de producción de materias primas, como concentradoras de insumos y elaboradoras de productos acabados (esto fue particularmente cierto para los desarrollos de la industria metal-mecánica). El ejemplo del desarrollo del oeste norteamericano o de Siberia es suficientemente bien conocido como ilustrativo del papel del ferrocarril en la integración nacional. También propició el movimiento de personas que, aunque fuera siguiendo moldes rígidos, ocurrió a un nivel no conocido antes. En segundo lugar e interconectado con lo anterior, prácticamente posibilitó la primera revolución industrial, con todas sus consecuencias. Al amalgamarse con el transporte marítimo (que también atravesaba por una etapa de profundos cambios tecnológicos), influyó decisivamente en la expansión de este último medio y en el crecimiento espectacular del comercio mundial.

Los comienzos del siglo XX trajeron consigo la aparición de un nuevo medio de transporte que creció en forma espectacular, basado en el desarrollo de las redes nacionales de carreteras.

El nuevo medio mostró de inmediato una flexibilidad muy superior a la del ferrocarril; de hecho, presentaba algunas ventajas decisivas:

- Menores costos de inversión en infraestructura física y de equipos,
- Mayor posibilidad de penetración territorial,
- Facilidad de operación y mantenimiento,
- Operación posible para cualquier ciudadano.

Durante algún tiempo, el nuevo medio de transporte se vio gravemente limitado por la capacidad de carga de sus vehículos y por la capacidad de los mismos para cubrir grandes distancias en forma confiable. Sin embargo, un desarrollo tecnológico rápido y sostenido fue borrando vertiginosamente estas limitaciones. Es sin duda, de esos tiempos de donde proceden ideas que aún perduran y que asignan a los dos grandes medios de transporte terrestre campos de acción nítidamente diferenciados. La idea de que el ferrocarril es el modo ideal para el transporte “de grandes volúmenes a grandes distancias” viene a no dudarlo de aquellos tiempos, pero resulta mucho menos clara cuando un enorme número de vehículos con 30, 40 ó más toneladas de capacidad son capaces de recorrer larguísimos itinerarios a altas velocidades en todas las carreteras del mundo.

Donde el nuevo medio se manifestó mucho más activo que el ferrocarril fue en su capacidad de contribuir al desarrollo regional, local y puntual de las naciones; a este respecto, las posibilidades del vehículo automotor, aun operando caminos muy rudimentarios, se revelaron decisivas, al grado de convertir en un efecto prácticamente despreciable al ferrocarril como “desarrollador regional”, confinando su papel al de comunicador de grandes centros industriales con sus centros de

abasto.

Como consecuencia de los efectos anteriores y otros que no se mencionan, el ferrocarril se debilitó grandemente ante el impacto del transporte carretero, al grado de que algunos teóricos lo consideraron muerto. El hecho es que en el mundo entero perdió participación en el movimiento de cargas y personas.

En épocas más recientes, el ferrocarril mostró una capacidad de recuperación y de reorganización que le permitió combinar algunas de sus ventajas inherentes con otras puestas a su disposición por el desarrollo tecnológico regional, todo lo cual debe calificarse de espectacular, si bien se refiere a un ferrocarril cuya actividad es bastante diferente a la de hace cincuenta años y a la que entonces se preveía. Cabe aquí reconocer la contribución personal de los románticos defensores del ferrocarril (que siempre los tuvo), que mucho hicieron para propiciar ese renacimiento, basado principalmente en:

- Construcción de vías cuyas características físicas permiten velocidad y tráficos sin precedentes,
- Aprovechamientos tecnológicos que condujeron a incrementos espectaculares en la capacidad de arrastre, sacando toda la ventaja de la característica inherente al tren de poder llegar a ser altamente eficiente en consumo de energía por tonelada movida,
- Desarrollo de carros de carga y pasajeros altamente especializados,
- Uso intensivo de señalización y comunicaciones, para permitir la operación de una eficiencia, seguridad y puntualidad desconocidas,
- Esfuerzos significativos de comercialización, tanto en el área de carga como de pasajeros,
- Desarrollo de nuevas técnicas de empaque y manejo de carga,
- Virtudes ecológicas.

Todo lo anterior condiciona el papel actual y el del futuro previsible del ferrocarril en el transporte moderno:

- Manejo de cargas especiales, de gran masa, prácticamente a cualquier distancia; específicamente, granos, productos minerales, polvos y líquidos, aunque estos últimos enfrentan hoy una decisiva competencia en los ductos. En todos estos casos, el uso de trenes unitarios es crucial.
- Capacidad de promoción y organización de cadenas multimodales puerta a puerta, en que el ferrocarril juegue el papel que actualmente desempeñan con tanto éxito las empresas navieras. Estas acciones serían un complemento doméstico de la parte internacional.
- Manejo de carga industrial con la rapidez, seguridad, confiabilidad y

puntualidad que el ferrocarril moderno es capaz de dar. El desarrollo de los puentes terrestres en el comercio mundial ha sido espectacular, incluso en detrimento del tradicional y barato transporte marítimo. Una parte fundamental del comercio de extremo Oriente con Europa Occidental llega a su destino por el puente terrestre transiberiano y los trenes unitarios rápidos entre la costa oeste y la atlántica de los Estados Unidos mueven hoy la mayoría de la carga industrial con tales orígenes y destinos.

B) Desarrollo del comercio mundial

El comercio mundial se ha intensificado no sólo en volumen, sino en distribución geográfica. El extremo Oriente y la costa del Pacífico de Norteamérica son recién llegados que han dado una nueva extensión al comercio mundial. Como consecuencia, hoy se mueven volúmenes de carga muy redituables y constantes que justifican en muchos lugares inversiones tan grandes como las requiere una vía de ferrocarril moderna para ser competitiva.

Otro factor que ha contribuido al incremento de los flujos internacionales y a su diferente distribución geográfica es el de la creciente división internacional del trabajo, que ha desplazado actividades que antes ocurrían en espacios geográficos muy restringidos a otros puntos distribuidos en todo el mundo.

C) El nuevo juego financiero internacional

Una de las características más significativas de las finanzas internacionales actuales es la del alto costo del dinero, que tiene profundas implicaciones para el manejo de las empresas; otra es la enorme y diversa oportunidad de inversión. El dinero es un producto caro y con el que pueden hacerse muchas cosas que producen más dinero; por ello, no puede estar improductivo. Esto explica la compulsión actual contra todo lo que signifique almacenamientos, inventarios, excesivos tiempos de recorrido, falta de confiabilidad, etc. Quizá en estos renglones esté la máxima exigencia que el usuario plantea al transporte moderno. El ferrocarril moderno tiene especialísimas capacidades ante estas demandas. Es una bodega bastante segura, capaz de moverse con gran rapidez y de arribar con la puntualidad y confiabilidad que permitan a una empresa reducir sus inventarios a mínimos satisfactorios. El Transiberiano transporta productos de Vladivostok a Rotterdam en una decena de días, contra casi un mes de transporte marítimo (por otra parte de flete mucho más barato, pero fuera de competencia ante la realidad del comercio); lo que se recibe en el puerto norteamericano de Long Beach está en forma segura y confiable en tres días en Chicago, Houston o Nueva York.

D) El desarrollo tecnológico del ferrocarril moderno

El nuevo papel del ferrocarril ha sido posible, como atrás quedó insinuado, gracias a la adopción de una serie de tecnologías recientes, entre las que destacan

capacidades para construir vías de muy baja pendiente y curvatura, el arte del tuneleo, nuevos métodos para construcción de grandes puentes y, quizá por encima de todo, la adopción de toda clase de avances recientes en transmisión de información y capacidad de computación. En otro rubro, ya se ha señalado el papel del incremento en la capacidad tractiva y las ventajas que ofrecen vagones especializados y nuevos métodos de empaque y manejo de carga (Piggy-back, contenedores, terminales especializadas, etc.).

Sin embargo, debe entenderse con absoluta claridad que la nueva competitividad del ferrocarril sólo se logra si éste cumple los requisitos que demanda el comercio moderno. Si no los cumple, si se cumplirán en cambio los vaticinios de quienes en un momento lo consideraron un medio de transporte muerto, como no sea para funciones secundarias de escasa relevancia. Esta es una idea fundamental a tomar en cuenta al pensar en desarrollar o mantener una red nacional de ferrocarriles. Aquí las medias tintas no valen.

E) La gigantescas inversiones que demanda un ferrocarril moderno

Como se dijo, para ser competitivo en el mundo comercial actual, un ferrocarril debe cumplir requerimientos tales que su construcción demanda inversiones sumamente elevadas. Aquí existe un matiz digno de señalarse; si las inversiones son altas en cualquier caso, se multiplican intensamente en terrenos abruptos, donde las suaves pendientes y curvas del ferrocarril moderno son muy difíciles de lograr.

Es posible que en lo anterior esté la principal limitación del ferrocarril como medio de transporte del futuro, especialmente en países en vías de desarrollo; si el ferrocarril se construye con todas las de la ley, resulta una inversión elevadísima y si se hacen concesiones, aunque sean pequeñas, en estos asuntos, el medio no es competitivo.

F) La tendencia hacia la integración de los medios de transporte

Si bien parece superada la idea de que cada medio de transporte tiene un campo de competencia específico y un área de excelencia preferente, también es cierto que el comercio moderno no desecha a ningún medio en un lugar determinado y para un trabajo específico. Lo que parece suceder hoy es que cada cadena de transporte debe organizarse de manera apropiada a sus necesidades. En ese diseño, todos los medios de transporte deben ser considerados en un análisis multimodal; el que en un eslabón de la cadena prevalezca uno u otro modo, se debe a características circunstanciales de la propia cadena, siempre cumpliendo reglas generales impuestas por los requerimientos del comercio. Estos y no el flete predominan en todos los detalles.

De hecho, muchos desarrollos tecnológicos se han orientado a borrar características excesivamente resaltantes de los diversos modos de transporte. El

contenedor, por ejemplo, es un envase diseñado para un manejo automatizado y seguro, prácticamente amodal, en el sentido de que le es indiferente ser movido por barco, camión o tren. En esta tremenda integración de los medios de transporte tiene el ferrocarril su reto, pero también su oportunidad. Lo necesario es que entre a la competencia con agresividad empresarial y sin limitaciones autoimpuestas por frases hechas que le indiquen que carga debe usar o a que distancia debe llevarla.

2. El ferrocarril en México

La red mexicana de ferrocarriles es fundamentalmente una red longitudinal en el sentido geográfico; pregona su origen en la explotación de los recursos mineros y otros recursos naturales hacia la frontera norte. En forma secundaria y no despreciable, posee algunos enlaces entre el Altiplano y los puertos de Veracruz, Tampico, Coatzacoalcos, Salina Cruz, Manzanillo y, recientemente, Lázaro Cárdenas.

También es una red inspirada en férreos conceptos de centralización administrativa; la Ciudad de México es siempre la araña.

Independientemente de que sin duda es dable pensar en una mayor extensión y cobertura geográfica de la red actual de vías, se puede decir que éstas son en general suficientes para atender las necesidades del México actual. La red comunica al altiplano con ambas costas a través de diferentes líneas y otro tanto ocurre con la frontera norte. Es dudoso que la situación actual y del futuro próximo justifique algo más que rectificaciones, ajustes y la terminación de algunas obras en proceso.

Frecuentemente se habla de la necesidad de vías transversales en la geografía nacional y parece también dudoso que puedan justificarse a la luz de las exigencias que se señalaron para el ferrocarril moderno; esas vías encontrarían una orografía tal, que la inversión requerida para construirlas sería muy alta, so pena de caer en el pecado de hacer vías, por otra parte muy caras, pero sin llegar al nivel de excelencia impuesto por el comercio actual y futuro.

Otro aspecto del problema de la extensión de la red radica en la existencia de la carga por mover. No está probado que la construcción de nuevas vías fuera de los criterios arriba mencionados, condujera a flujos de carga importantes y al decir esto no debe olvidarse que el papel del ferrocarril como elemento desarrollador regional parece ser mucho más débil de lo que en ocasiones se dice.

La necesidad del ferrocarril mexicano parece estar en todos los aspectos relativos a su modernización. La infraestructura, operación y administración sí manifiestan requerir importantes acciones para colocar el ferrocarril en posición de competir con los demás medios de transporte a la luz del comercio moderno.

La infraestructura requiere acciones en la vía, principalmente en aspectos de riel, durmiente, conexiones y señalización. Por otra parte, no debe olvidarse que muchas de esas vías han sido construidas con criterios tecnológicos diferentes a los actuales, por lo que en materia de terracerías y uso de materiales existen deficiencias fundamentales que han de ser corregidas en raíz, y a las que no basta un cambio en la superestructura de vía.

En materia de operación, destaca la necesidad de mejorar la circulación de los trenes, establecer más trenes unitarios, correr trenes de carga con itinerario fijo, aprovechar cumplidamente las obras de señalización que se emprendan y mejorar la operación de los patios, dotando a algunos de ellos de instalaciones para manejo de carga contenerizada. En este rubro, será fundamental lo que se haga en materia de mantenimiento y reparación de locomotoras y carros.

En el ámbito administrativo, los ferrocarriles mexicanos se beneficiarán de todo lo que se logre en materia de agresividad gerencial, capacitación de personal a todos los niveles, tecnificación de personal de decisión, dignificación de imagen y ambiente de trabajo y descentralización administrativa.

El ferrocarril mexicano parece tener una decidida vocación hacia el transporte de carga. El movimiento de pasajeros parece justificarse sólo en trayectos suburbanos o en algunos corredores de alta densidad de tráfico. Sin embargo, la verdadera importancia del ferrocarril para la economía se halla en el transporte de mercancías por lo que parece aconsejable reforzar la gestión en lo referente a la captación de carga y prestación de los servicios que la misma requiera.

IV. Consideraciones finales

Es de esperar que de todo lo anterior se deduzca la necesidad que México tiene de modernizar su sistema nacional de transporte, para adaptarlo a unas necesidades del comercio mundial con nuevos y cambiantes matices. Esta modernización deberá ocurrir tanto en áreas de infraestructura, como en áreas de operación.

En lo que se refiere a infraestructura, la magnitud de las inversiones requeridas obliga a un aprovechamiento acucioso de lo ya construido, modificándolo sólo en lo indispensable. Cualquier nuevo proyecto de envergadura deberá considerar el servicio social y comercial de la obra como dato esencial; deberá contener también una previsión explícita de la problemática de transporte resuelta y/o generada por la propia obra.

En materia de operación es en donde México tiene al alcance de la mano acciones más importantes en sus resultados, independientemente de que estas acciones demandarán inversiones incomparablemente menores. Muchas de esas acciones se refieren al marco legal y regulatorio.

Algo que parece haber cambiado en México es el objetivo mismo del transporte y su infraestructura. Si en el pasado reciente, el objetivo principal parecía ser la integración territorial, en gran visión y en detalle (en este caso con papel preponderante para el autotransporte y la carretera), ahora, en cambio, el objetivo parece ser netamente comercial. El transporte nacional debe orientarse a fomentar el comercio interior y exterior, el abasto interno, la descentralización del comercio y la industria nacionales y otras finalidades de ese orden.

Pasaron los días en que la carretera era buena en sí misma y fomentaba de por sí el desarrollo. Ahora una red de transporte sólo es buena si fomenta la vida comercial y la movilidad de los mexicanos para elevar las condiciones de su vida.

MAIN FREIGHT LAND TRANSPORT CORRIDORS IN MEXICO**

Alfonso Rico, Alberto Mendoza and Emilio Mayoral

ABSTRACT

In this work, the current modal share between highway and railroad in freight land transportation in Mexico is presented. Based on available origin and destination (O-D) data, the most important origin and destination points of freight transportation by both modes are identified. Information is also shown on the multicommodity flows taking place in Mexico. The O-D information and network assignment analyses are used to establish the major Mexican land transport corridors and their characteristics. The possible extension of these corridors to the US road and railroad corridors which are more important for the binational trade is shown. Data about the recent evolution of this trade are presented. Only freight transportation is referred to herein.

Key words: Land transportation, freight, corridor, network, assignment.

INTRODUCTION

The purpose of this paper is to provide an overview of freight land transportation in Mexico by considering as separate items transport by road and transport by railroad. Data are presented about the current modal share between truck and rail in Mexico (1997). The most important origin and destination points of freight transport by both modes are shown. Information is also shown on the multicommodity flows taking place in Mexico. A description is made of the major Mexican truck and rail freight transport corridors and their characteristics. The possible extension of these corridors to the US road and railroad corridors that are more important for the binational trade is shown. Data are presented about the evolution of this trade between 1987 and 1995.

MODAL FREIGHT TRANSPORTATION SHARING IN MEXICO

Table 1 shows current figures of modal freight sharing between road and railroad transportation in Mexico, indicating transported tonnage (metric) and freight value. Data used for preparing this table was taken for the case of truck transport from information collected at temporary survey stations installed by the Mexican Ministry of Communications and Transports (SCT) along different highways throughout the country as part of the National Truck Transport Statistical Field Study [1, 2]. Railroad transportation information was supplied by the National Railroads Agency (FNM) [3]. Both these kinds of information refer to the freight shipments carried out

**Rico, A., Mendoza, A., y Mayoral, E. (1998). Main Freight Land Transport Corridors in Mexico. 77th Annual Meeting. Transportation Research Board. Washington, D.C. 1998.

by both modes during one year. Information about these shipments made it possible to generate the origin-destination (O-D) matrix for each mode, in terms of a national zoning comprised of 517 regions.

The last two columns of Table 1 refer to the O-D pairs identified for each mode. It can be observed from the total number of identified O-D pairs (19,257) that truck transported shipments in 95% of them (66.6% by truck exclusively and 28.4% in combination with rail) whereas railroad recorded shipments in 33.4% of the pairs.

For the different cases observed, Table 1 shows the tonnage moved and the value of the freight transported daily. It can be observed that the overall share of transported land tonnage is 88.9% for truck transport and 11.1% for railroads; in terms of the economic value of the commodities, 93.5% corresponds to truck transport and 6.5% to railroads. Taking into account only the pairs in which both modes registered shipments, the distribution of tonnage is 83.6% for truck transport (50.4/(50.4+9.9)) and 16.4% for railroad transportation; in terms of value, the distribution is 91.2% and 8.8% respectively.

TABLE 1. Modal Distribution of Mexican Freight Land Transportation

		TONNAGE		FREIGHT VALUE		O-D PAIRS	
CASES		**(TONE/DAY)**	**%**	**(10^6 $/DAY)**	**%**	**No.**	**%**
Only Railway Services		15,012	1.2	13.0	0.6	963	5.0
Only Roadway Services		498,252	38.5	682.3	32.5	12,822	66.6
Both Services	Railway	127,728	9.9	123.4	5.9	5,472	28.4
	Roadway	652,432	50.4	1,282.3	61.0		
Total		**1,293,424**	**100.0**	**2,101.0**	**100.0**	**19,257**	**100.0**

With the aim of showing the demand composition for both modes, Tables 2 and 3 show the daily flow of trucks or railcars, tonnage, cargo value and metric ton-kilometers for different types of merchandise transported by both modes respectively. The merchandise types considered are forestry, agricultural, animal and its derivatives, petroleum and its derivatives, inorganic, industrial and miscellaneous. Information about unloaded movements and aggregated flows (totals) is also included in the tables. The metric ton-kilometer estimates in Tables 2 and 3 were obtained from average trip distances for each merchandise computed from the O-D shipments by both modes [2].

TABLE 2. Daily Flows for the Different Merchandise transported by Truck.

	D A I L Y F L O W			
PRODUCT	**TRUCKS**	**TONNAGE (TON)**	**VALUE (10^6 $ U.S.)**	**METRIC TON-KILOMETERS (10^6)**
Forestry	1,330	21,633	23.0	12.151
	1.16%	1.88%	1.17%	1.92%
Agricultural	12,880	190,553	116.1	113.918
	11.23%	16.56%	5.91%	18.00%
Animal and	5,437	66,049	118.5	40.188
its Derivatives	4.74%	5.74%	6.03%	6.35%
Minerals	2,317	58,340	207.5	47.529
	2.02%	5.07%	10.56%	7.51%
Petroleum and	3,785	92,400	111.4	29.239
its Derivatives	3.30%	8.03%	5.67%	4.62%
Inorganic	3,773	71,227	12.4	18.923
	3.29%	6.19%	0.63%	2.99%
Industrial	36,095	521,260	1,149.2	295.745
	31.47%	45.30%	58.50%	46.73%
Miscellaneous	11,722	129,222	226.5	75.186
	10.22%	11.23%	11.53%	11.88%
Empty	37,356	0	0	0
	32.57%	0.00%	0.00%	0.00%
TOTAL	**114,695**	**1,150,684**	**1,964.6**	**632.880**
	100%	**100%**	**100%**	**100%**

TABLE 3. Daily Flows for the Different Merchandise Transported by Railroad.

	D A I L Y F L O W			
PRODUCT	**TRUCKS**	**TONNAGE (TONE)**	**VALUE (10^6 $ U.S.)**	**METRIC TON-KILOMETERS (10^6)**
Forestry	17	671	0.4	0.561
	0.37%	0.47%	0.32%	0.56%
Agricultural	586	37,955	13.7	33.146
	12.50%	26.59%	10.03%	33.11%
Animal and	11	728	0.8	0.721
its Derivatives	0.23%	0.51%	0.57%	0.72%
Minerals	228	15,573	32.7	11.092
	4.86%	10.91%	24.00%	11.08%
Petroleum and	174	11,405	8.1	5.076
its Derivatives	3.72%	7.99%	5.96%	5.07%
Inorganic	210	15,516	1.6	5.866
	4.48%	10.87%	1.17%	5.86%
Industrial	1,185	59,764	77.9	43.258
	25.31%	41.87%	57.11%	43.21%
Miscellaneous	22	1,128	1.2	0.390
	0.46%	0.79%	0.86%	0.39%
Empty	2,251	0	0	0
	48.07%	0.00%	0.00%	0.00%
TOTAL	**4,684**	**142,740**	**136.4**	**100.110**
	100%	**100%**	**100%**	**100%**

RELEVANT ORIGIN AND DESTINATION POINTS

Tables 4 and 5 show, respectively, listings of the main origin and destination points of truck freight operations carried out, including the corresponding locations, the daily truck traffic (which includes empty and loaded trucks), the transported tonnage (metric) and the value of the freight. The origin and destination points are ranked by the economic value of the outgoing or incoming freight. The reported points consider 75% of the total value of freight moved by truck within Mexico. Figure 1 is a graphical display of the 20 O-D pairs with higher tonnage flow of aggregated freight. The pairs in Figure 1 comprise about 20% of the total tonnage transported by truck in the country. The width of the O-D bars in Figure 1 is proportional to the flow value. This figure evidences a radial structure of flows around Mexico City.

TABLE 4. Main Origins of Mexican Road Transport.

CENTROID	FREIGHT VALUE ($10^6 / DAY)	TONNAGE (METRIC TONS/ DAY)	# OF TRUCKS/ DAY
México D. F.	313.3	150,248	16,165
Nuevo Laredo, Tamps.	224.8	52,072	3,546
Monterrey, N.L.	116.1	65,785	4,519
Veracruz, Ver.	87.5	28,183	1,787
Guadalajara, Jal.	85.8	64,999	5,719
Puebla, Pue.	72.5	26,241	2,993
San Luis Potosí, S.L.P.	36.4	20,223	1,632
Tampico, Tamps.	36.1	19,691	1,247
Matamoros, Tamps.	32.3	19,696	1,146
Toluca, Méx.	31.4	14,894	2,415
Aguascalientes, Ags.	30.6	10,033	1,126
Coatzacoalcos, Ver.	29.1	20,750	1,202
Torreón, Coah.	28.5	33,042	1,402
Querétaro, Qro.	27.1	14,453	1,414
Chihuahua, Chih.	26.4	19,350	1,520
Cd. Juárez, Chih.	26.3	16,973	1,471
Hermosillo, Son.	24.7	18,319	2,326
León, Gto.	24.4	7,531	900
Gómez Palacio, Dgo.	21.8	14,897	621
Tijuana, B.C.N.	20.4	10,544	1,678
Manzanillo, Col.	19.5	7,219	540
Minatitlán, Ver.	18.3	14,057	669
Reynosa, Tamps.	15.6	7,873	958
Saltillo, Coah.	15.3	8,295	462
Durango, Dgo.	13.9	10,178	805
Morelia, Mich.	12.4	10,009	1,684
Villahermosa, Tab.	11.9	8,630	1,045
Salamanca, Gto.	11.7	8,499	393
Monclova, Coah.	11.4	7,154	260
Celaya, Gto.	11.4	6,349	666
Cd. Madero, Tamps.	11.4	9,277	260
Cadereyta, N.L.	10.7	8,279	288
Cuernavaca, Mor.	10.6	1,951	236
Zacatecas, Zac.	10.2	7,527	959

TABLE 5. Main Destinations of Mexican Road Transport

CENTROID	FREIGHT VALUE (10^6 $ / DAY)	TONNAGE (METRIC TONE / DAY)	# OF TRUCKS / DAY
México D. F.	496.8	226,439	16,521
Guadalajara, Jal.	117.1	70,152	5,852
Monterrey, N.L.	96.3	55,012	4,512
Nuevo Laredo, Tamps.	62.9	22,388	2,441
Puebla, Pue.	61.1	25,753	2,581
Toluca, Méx.	51.8	19,733	2,461
Veracruz, Ver.	46.6	18,205	2,158
San Luis Potosí, S.L.P.	42.0	26,465	1,637
Villahermosa, Tab.	36.9	23,144	1,470
Querétaro, Qro.	32.7	17,619	1,587
Aguascalientes, Ags.	32.4	18,274	1,136
Torreón, Coah.	30.5	20,027	1,481
Chihuahua, Chih.	29.9	20,783	1,625
Hermosillo, Son.	27.0	15,821	2,480
Cd. Juárez, Chih.	26.7	18,101	1,542
Tampico, Tamps.	25.6	15,113	1,281
Matamoros, Tamps.	23.3	14,207	986
Reynosa, Tamps.	23.1	15,034	924
León, Gto.	22.6	14,340	1,044
Tijuana, B.C.N.	20.8	16,112	1,707
Durango, Dgo.	18.2	14,334	805
Oaxaca, Oax.	18.0	14,852	1,874
Coatzacoalcos, Ver.	16.7	13,393	1,257
Saltillo, Coah.	14.4	6,245	459
Morelia, Mich.	14.1	11,823	1,810
Manzanillo, Col.	14.1	6,467	581
Mérida, Yuc.	14.1	8,574	497
Celaya, Gto.	14.0	7,839	687
Culiacán, Sin.	13.8	9,267	611
Orizaba, Ver.	11.2	9,934	697
Zacatecas, Zac.	11.1	10,583	977
Altamira, Tamps.	11.1	3,225	163

Figure 1. Twenty O-D Pairs with Higher Tonnage Flow by Truck

Tables 6 and 7 include similar information but for railroad transportation. The flow of railcars in these tables includes empty and loaded railcars. The points considered in these tables cover also 75% of the total freight value moved by this mode within Mexico. Figure 2 is a plot of the 20 O-D pairs with higher aggregated flow for this mode. The pairs in Figure 2 comprise about 35% of the total tonnage transported by rail in the country. The width of the O-D bars is proportional to the flow value. This figure evidences longer trips for this mode than for truck transport.

In Figures 1 and 2, the flow values are presented to the right of the arcs in the direction of the flow.

TABLE 6. Main Origins of Mexican Railway Transport

CENTROID	FREIGHT VALUE (10^6 / DAY)	TONNAGE (METRIC TON / DAY)	NUMBER OF CARS / DAY
Nuevo Laredo, Tamps.	20.765	19,486.48	300
Nogales, Son.	16.681	1,805.92	25
Toluca, Méx.	13.183	1,216.22	54
Saltillo, Coah.	11.007	1,075.93	45
Piedras Negras, Coah.	9.107	2,680.03	56
Hermosillo, Son.	7.136	1,600.50	39
Salinas Victoria, N.L.	6.886	5,995.29	82
Palau, Coah.	3.736	3,199.04	43
Cd. Juárez, Chih.	3.066	4,442.83	64
México D. F.	2.723	2,185.06	56
Manzanillo, Col.	2.657	6,144.04	92
Matamoros, Tamps.	2.595	3,797.78	56
Chiautempan, Tlax.	2.429	296.27	10
Veracruz, Ver.	2.388	5,923.39	96

TABLE 7. Main Destinations of Mexican Railway Transport

CENTROID	FREIGHT VALUE (10^6 / DAY)	TONNAGE (METRIC TON / DAY)	NUMBER OF CARS / DAY
Nuevo Laredo, Tamps.	23.064	3,713.98	125
Hermosillo, Son.	16.637	1,630.71	25
México D. F.	11.154	14,305.31	238
Piedras Negras, Coah.	10.044	1,981.73	64
Nogales, Son.	7.295	1,833.87	51
Monclova, Coah.	6.973	7,362.19	103
Saltillo, Coah.	6.725	1,497.68	38
Toluca, Méx.	5.478	1,570.65	34
Cuautitlán, Méx.	4.450	2,590.22	42
Guadalajara, Jal.	3.887	10,624.35	172
Monterrey, N.L.	3.588	7,854.49	117
Delicias, Chih.	2.025	1,853.49	25
Torreón, Coah.	1.839	2,083.22	33
Cd. Juárez, Chih.	1.788	1,819.23	28

Figure 2. Twenty O-D Pairs with Higher Tonnage Flow by Railroad

ANALYSIS OF MAJOR TRANSPORTATION CORRIDORS

Theoretical Background

Corridors for both transportation modes were identified through the use of assignment techniques as applied to networks. Assignment of the aggregated freight O-D flows was used in both cases.

The model used for assigning the truck freight O-D matrix to the highway network is known as “User Equilibrium” [4]. This model assumes that vehicles select their route at their particular discretion. An iterative algorithm is used to obtain the corresponding solution. At the final solution, no user may improve his generalized travel time by unilaterally changing of route. For this model, flows in the arcs are obtained by solving the following nonlinear program:

$$Min\ Z(x_a) = \sum_a \int_0 t_a(w)dw \tag{1}$$

subject to:

$$\sum_k f_k^{r,s} = q_{rs}\ ;\ \forall_{r,s} \tag{2}$$

$$f_k^{r,s} \geq 0;\ \forall_{k,r,s} \tag{3}$$

$$x_a = \sum_r \sum_s \sum_k f_k^{r,s}\, \partial_{a,k}^{r,s};\ \forall_a \tag{4}$$

Where:

Z (x_a), is the function to be minimized;

a, represents each of the network arcs;

x_a, is the vehicular flow corresponding to each of the arcs;

t_a, is the generalized travel time corresponding to arc a; this time increases at an exponential rate when vehicular flow x_a grows thus reflecting the congestion degree occurring at the arc as the number of vehicles riding it increases; in this case, the generalized travel time had a meaning of cost including the vehicular operating cost plus fares along the stretches of toll roads;

r,s , are the O-D pairs taken into account;

k, represents each of the potential routes between a given O-D pair;

$f_k^{r,s}$, is the flow of vehicles along route k between the pair r-s;

$q_{r,s}$, is the total vehicular flow between pair r-s that will be distributed among all k routes connecting that pair; and

$\partial_{a,k}^{r,s}$, is an indicator that takes the value of 1 if arc a corresponds to the k route connecting the pair r-s and 0 in any other case.

For the part of t_a corresponding to vehicle operating cost (VOC), a performance

function of VOC for a vehicle representative of the mix of trucks in the Mexican roads versus the saturation degree (flow of trucks/capacity available for trucks) was defined for each arc. The performance function for each arc was assessed from speed versus volume/capacity ratio relationships in the Highway Capacity Manual [5] for different road types, and VOC (per km) versus speed relationships for the representative vehicle obtained by using the World Bank model called "Vehicle Operating Costs (VOC)" calibrated for Mexican vehicles [6].

The model thus defined corresponds to a nonlinear optimization problem and it can be handled nowadays by means of software suitable to process the appropriate algorithms in the computer.

The computer program "Strategic Transportation Analysis (STAN)" [7] was used to assign the truck O-D matrix over the capacity available for this transportation type (arc capacity minus the effect of the automobile and bus flows). In this case, the network modeled was the Road Basic Network, of about 50,000 km in length (44,000 km of free two lane highways and 6,000 km of four or more lane toll roads). The constructed network contained 5,900 nodes, 5,500 arcs and the 517 centroids referred to earlier.

The model was constructed based on data available at SCT on the network geometry, acquired through Global Positioning System (GPS) [8], traffic counts and capacity of road stretches [9], as well as vehicle operating costs [6] and fares charged in toll roads [10]. The modeling of the highway operations is described in detail in other works [11].

The STAN has an internal procedure that allows the execution of a regression analysis between predicted and actual flows along the arcs after each assignment, thus obtaining the corresponding R^2 value. Once the STAN highway model was calibrated, an R^2 value equal to 0.75 was obtained for the regression between predicted (dependent variable) and actual (independent) truck flows.

For the case of railroads, it was assumed that FNM assigns its flows to the different routes seeking to minimize the total cost of moving its full freight demand among the different O-D pairs. Therefore, for this mode a mathematical model known as "System Optimization" was used [4]. For this model, flows in the arcs are obtained by solving the following nonlinear program:

$$Min\ \tilde{Z}(x_a) = \sum_a x_a \cdot t_a(x_a) \tag{5}$$

subject to:

$$\sum_{k} f_k^{r,s} = q_{rs}\,;\ \forall_{r,s} \tag{6}$$

$$f_k^{r,s} \geq 0;\ \forall_{k,r,s} \tag{7}$$

$$x_a = \sum_{r}\sum_{s}\sum_{k} f_k^{r,s}\,\partial_{a,k}^{r,s};\ \forall_a \tag{8}$$

Where:

$\tilde{Z}(x_a)$, is the function to be minimized; and the other terms have a similar meaning as for the highway model.

In this case, the performance function of operating cost versus the saturation degree for each arc was defined from operating cost information provided by FNM [3] and SCT [10] and the principles contained in [11].

Assignment analyses for this case were also performed by using the STAN software. The network modeled in this case had 1,860 nodes, 1,730 arcs and the same 517 geographical centroids referred to above. In this case, a 17,700 km long network was modeled (practically the entire railroad system). Data for preparing the model were obtained from SCT [6] and from FNM [3, 12, 13, 14, 15]. The information on railroad transportation costs was also provided by FNM [3].

In this case, the R^2 value of the regression between predicted and actual flows of freight trains along the arcs, after calibration, was equal to 0.87.

Highway Corridors

About 420 million metric tons of freight are transported annually on the Road Basic Network. The assignment analyses showed that about 231 billion ton-kilometers of freight are transported per year in about 42 million trips (33% corresponding to empty vehicles). The total cost of these operations is about 8 billion dollars. As shown in Table 2, the most common types of commodities transported by trucks are industrial products (with 46.7% of the total metric ton-kilometers) and agricultural products (18%).

Table 8 shows the major national truck freight corridors identified from the carried out assignments. The truck traffic in this table includes empty and loaded trucks. In this table, the 17 major national road corridors are presented along with the value of the freight transported per day, the daily tonnage (metric) moved and the number of

freight vehicles traveling on them; the corridors are hierarchized in terms of the transported freight value in million dollars per day.

Mention should be made that the corridors in Table 8, that move 80% of the freight freight ton-kilometers transported by truck in Mexico, it represents about 14,000 km of the Road Basic Network (28% of the modeled network). The relationship between the former two percentages is shown in Figure 3. This figure presents the cumulative percent contribution of different network fractions with higher flow to the total metric ton-kilometers transported by the given mode. It was obtained from the assignments carried out for both modes.

For each of the corridors in Table 8, the National Truck Transport Statistical Field Study has made it possible to identify the commodities moved on different points along them, considering a cargo classification with more than 200 product types [16].

TABLE 8. Ranking of Major Road Corridors

CORRIDOR	LENGTH (KM)	TRUCK TRAFFIC (TRUCKS/DAY)	TONNAGE METRIC TONS/ DAY	FREIGHT VALUE (10^6 / DAY)	RANKING
México - Querétaro	212	6,400	85,000	164.0	1
Querétaro - Nuevo Laredo (through S. L. Potosí & Monterrey)	1,058	3,500	50,200	119.0	2
México - Veracruz (through Jalapa)	446	3,460	33,200	90.0	3
Guadalajara - Monterrey (through Zacatecas & Saltillo)	734	2,760	43,500	65.0	4
San Luis Potosí - Cd Juárez (through Zacatecas & Torreón)	1,348	2,470	38,200	54.0	5
México - Campeche (through Puebla & Minatitlán)	1,447	2,800	25,000	47.0	6
Irapuato - Zacatecas (through León & Aguascalientes)	285	2,700	24,000	45.0	7
Querétaro - Guadalajara (through Irapuato & La Piedad)	380	1,900	19,900	40.0	8
México - Tampico (through Poza Rica & Tuxpan)	522	2,100	21,000	38.0	9
Reynosa - Durango (through Monterrey & Torreón)	843	2,000	32,000	37.0	10
México - Guadalajara (through Toluca & Morelia)	624	3,000	30,200	33.0	11
Guadalajara - Nogales / Tijuana	2,303	1,470	21,000	29.0	12
México - Monterrey (through Pachuca & Cd. Victoria)	1,010	1,670	19,300	25.0	13
Reynosa / Matamoros - Tampico (through Cd. Victoria)	565	1,070	12,700	19.0	14
Guadalajara - Tampico (through Aguascalientes & S.Luis Potosí)	806	1,330	14,300	16.0	15
Guadalajara - Manzanillo (through Colima)	306	1,580	10,500	12.0	16
Puebla - Oaxaca (through Huajuapan de León)	419	2,100	11,600	11.5	17

Railroad Corridors

About 52.1 million metric tons of freight is moved per year by the Mexican railroad system. The assignment analyses showed that this mode transports about 36.5 billion metric ton- kilometers of freight per year in approximately 40,000 train trips (each train with 22 loaded cars and 20 empty cars, on the average). The total cost of these operations amounts to about 730 million dollars (including the cost of transportation and handling operations between the initial and final sites of the shipments and the railroad terminals). As shown in Table 3, the most common merchandise transported by this mode are again industrial products (with 43.2% of the metric ton-kilometers) and agricultural products (33.1%).

Table 9 presents the major rail freight corridors identified from the railroad assignment model. The flow values shown were determined after assigning the O-D railroad information. Table 9 presents the daily freight tonnage transported along each corridor and the value of such freight in million dollars. The corridors are ranked by freight value.

It can also be observed that the 12 major corridors in Table 9 cover a length of about 9,200 km of the Railroad Basic Network (52% of the modeled network). On these 12 corridors, 90% of the metric ton-kilometers moved by this mode are transported (Figure 3).

Figure 3. Contribution of Different Network Percentages to the Transported Metric Ton-Kilometers.

TABLE 9. Ranking of Railway Corridors

CORRIDOR	LENGTH (KM)	METRIC TONS / DAY	FREIGHT VALUE ($10^6 /DAY)	RANKING
México - Nuevo Laredo (through Querétaro, Saltillo & Monterrey)	1,188	22,300	25.29	1
Saltillo - Piedras Negras (through Monclova)	440	7,900	16.51	2
San Luis de la Paz - Acámbaro (through Celaya)	168	10,400	9.20	3
México - Acámbaro (through Toluca)	293	3,450	6.69	4
Querétaro - Nogales (through Irapuato, Guadalajara, Tepic & Hermosillo)	2,240	9,600	5.85	5
Tula - Coatzacoalcos (through Pachuca, Orizaba & Tuxpetec)	759	13,900	5.64	6
Irapuato - Cd. Juárez (through Zacatecas, Torreón & Chihuahua)	1,618	5,200	5.64	7
México - Puebla (through Irolo)	202	5,900	4.81	8
Guadalajara - Manzanillo (through Colima)	352	10,200	4.60	9
Tampico - Aguascalientes (through San Luis Potosí)	673	4,400	4.60	10
Matamoros - Torreón (through Monterrey)	718	3,800	3.97	11
Acámbaro - L. Cárdenas (through Morelia & Uruapan)	514	3,350	3.76	12

POSSIBLE EXTENSION TO THE US ROAD AND RAILROAD CORRIDORS

Figures 4 and 5 depict the major Mexican and American national corridors for binational trade. In the case of Mexico, the corridors identified earlier are included. Regarding to the USA, the most important highway and railroad corridors used by Mexican importing and exporting trade operations are shown [17].

Figure 4. Main Binational Road Corridors

Figure 5. Main Binational Railroad Corridors

Finally, Table 10 presents the evolution that trade between Mexico and the USA experienced from 1987 until 1995. The information in Table 10 comes from the Mexican Bank of Foreign Trade [19].

TABLE 10. México - United States Trade Evolution ($\$10^6$).

	YEAR								
CORRIDOR	**1987**	**1988**	**1989**	**1990**	**1991**	**1992**	**1993**	**1994**	**1995**
U.S. - México	7,905	12,632	15,868	20,522	36,868	44,279	46,465	54,762	53,829
México - U.S.	13,326	13,556	15,924	18,456	33,952	37,468	43,116	51,680	66,618
T O T A L	**21,231**	**26,188**	**31,792**	**38,978**	**70,820**	**81,747**	**89,581**	**106,442**	**120,447**

CONCLUSIONS

The knowledge of transport corridors and of their characteristics is a useful element for planning of transport operations as well as for modernization or reconstruction of highway or railroad segments in which heterogeneities of service level exist at different places.

The contribution of Mexican railroads already partly privatized and in the process of privatization to a larger scale, highlights an important task to be performed by those responsible for their efficiency. The current participation of rail in freight transportation in Mexico is poor.

For both highways and railroads, 10% of the network moves 40% of the corresponding metric ton-kilometers. The most relevant 40% of such networks move more than 85% of the total Mexican ton-kilometers (Figure 3). This 40% includes the corridors in Tables 8 and 9.

It should be observed that the freight economic value is considered in this paper as an important tool for infrastructure hierarchization purposes. This criterion has been frequently applied in other studies of the Mexican Transportation Institute for considering that the support provided to those corridors which contribute to a larger degree to generate national wealth, is essential for the current stage of development of Mexico.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to express their sincere gratitude to the Mexican Transportation Institute, of which they are part, for giving them the opportunity to carry out this work.

REFERENCES

1. Rico, A., A. Mendoza, J. L. Gutiérrez and E. Mayoral. *A Mexican Field Study to Obtain Basic Information on Truck Transport.* Paper presented at the 76th Annual Meeting of the Transportation Research Board (TRB) and accepted for publication in the TRB series, Washington, D.C., USA, 1997.

2. Durán, G., J. L. Gutiérrez and A. Mendoza. *Statistical Analysis of the Weight and Dimensional Characteristics of Freight Vehicles Traveling on Mexican Roads.* Survey Stations Installed During 1994 and 1995 (in Spanish). Technical Document Nº 18, Mexican Transportation Institute, Querétaro, Qro., Mexico, 1996.

3. Report on the Commercial Shipments by Merchandise and Station (E-2) (in Spanish). Programming and Systems Underdirectorate, National Mexican Railroads (FNM), Mexico D F, 1996.

4. Sheffi, Y. Urban Transportation Networks. MIT Press, Cambridge, Mass., USA,

5. Strategic Transportation Analysis (STAN). INRO Consultants Inc., Montreal, Canada, 1995.

6. Special Report 209: Highway Capacity Manual. TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1985.

7. Aguerrebere, R. and F. Cepeda. Highway Design Elements and Vehicle Operating Costs (in Spanish). Technical Publication No. 20, Mexican Transportation Institute, Querétaro, Mexico, 1991.

8. Transportation Geostatistical Inventory (in Spanish). Mexican Transportation Institute, Ministry of Communications and Transports, Mexico D.F., 1996.

9. Highway Data (in Spanish). General Directorate of Technical Services, Ministry of Communications and Transports (SCT), Mexico D.F., 1996.

10. Truck and Railroad Freight Transportation Costs and Fares (in Spanish). General Directorate of Fares and Multimodal Transport, Ministry of Communications and Transports (SCT), Mexico D.F., 1996.

11. Petersen, E. R. Over-the-Road Transit Time for a Single Track Railway. Transportation Science Nº 8, pp. 65-79, 1974.

12. Timetables of Divisions (in Spanish). Programming and Systems Underdirectorate, National Mexican Railroads (FNM), Mexico D F, 1996.

13. Divisional Operational Statistics (ET-1) (in Spanish). Programming and Systems Underdirectorate, National Mexican Railroads (FNM), Mexico D F, 1996.

14. Catalogue of Locomotives and Rail Cars (in Spanish). Programming and Systems Underdirectorate, National Mexican Railroads (FNM), Mexico D F, 1996.

15. Layout of Monthly Flows of Freight, Passenger and Mixed Trains (in Spanish). Programming and Systems Underdirectorate, National Mexican Railroads (FNM), Mexico D F, 1996.

16. Rico, A., A. Mendoza and E. Mayoral. Identification of Commodities Moved Along the Major Corridors of Mexican Land Freight Transport (in Spanish). Mexican Transportation Institute, Technical Publication in edition, Querétaro, Qro., Mexico, 1997.

17. Binational Study of Planning and Programming of Border Transportation. Barton - Aschman Associates, Inc. and La Empresa, S. de R. L., México D F, 1996.

18. Mexico-US Import-Export Statistics (in Spanish). Mexican Bank of Foreign Trade, Mexico D F, 1996.

A MEXICAN FIELD STUDY TO OBTAIN BASIC INFORMATION ON TRUCK TRANSPORT**

Alfonso Rico, Alberto Mendoza, Gandhi Duran and Emilio Mayoral

ABSTRACT

This article describes a field study begun in Mexico five years ago (since 1991) which has received the level of an annual task without a deadline. The field work tries to gain knowledge about the truck traffic occurring on Mexican roads, the type of vehicles used, their size and weight, the tonnage transported, the routes followed, the type of freight moved in each case, the origin and destination of the movements, the packaging system for the transported freight and whether the movement is related to the domestic or international trade. From the previous data, which are the core of the information gathered, other data can be obtained such as the observance that each vehicle makes of the current Size and Weight Regulations, the economic value of the freight transported, the age of the fleet examined, detection of empty vehicles, occupancy rate of each truck (cargo tonnage/maximum payload), fuel type used and others.

The purpose of this article is to describe how this study is conducted and to show some examples of the information it provides through the mere handling of the collected data. Also, some of the most important applications than can be given to the acquired information are enumerated.

Key words: field study, truck composition, occupancy rate, weight, dimension.

INTRODUCTION

It is a feeling of the authors' paper that the usual knowledge of truck transport in any country is relatively fragmentary and disperse. This knowledge does not contain much information on the feeding and local traffic and is quite incomplete and not suitable to be a part of a modern, complete multi-use data base.

The authors also feel that these deficiencies are not similar all over, but probably, even in countries that regulate carefully truck transport, much of the handled information comes from documentation (tabs, invoices, permits, taxes, etc.). They also think that this information, which could be considered as bureaucratic in the fair meaning of the word, is not sufficient to obtain a realistic image of what truck transport means as an element of trade, of the national economy and of the everyday life of a country and its possibilities for enhancement and development.

**Rico, A., Mendoza, A., Duran, G. y Mayoral, E. (1997). A Mexican Field Study to Obtain Basic Information on Truck Transport. 77th Annual Meeting. Transportation Research Board. Washington, D.C.

Aside from bureaucracy, transport is an activity that takes place on a nation's road network and in order to really understand it, it is necessary to explore it right on the highways.

A nation's road network is always quite extensive and continuously changing in order to attempt to register absolutely all the changes and issues that take place on it; too many kilometers, too many vehicles and too and many diverse wares are handled.

The above consideration demands the use of statistics and methods for handling large quantities of data. This task, impossible just a few years ago, can be done by using computers.

This article describes a field study begun in Mexico five years ago (since 1991) and which is for now an annual task, without a deadline. The field work tries to gain knowledge about truck traffic occurring on all paved Mexican roads, the type of vehicles used, their size and weight, the tonnage transported, the routes followed, the type of freight moved in each case, the origin and destination of the movements, the packaging system for the transported freight and whether the movement is related to the domestic or international trade. From the previous data, which are the core of the information gathered, other data can be obtained such as the observance that each vehicle makes of the current Size and Weight Regulations [1], the economic value of the freight transported, the age of the fleet examined, detection of empty vehicles, occupancy rate of each truck (cargo tonnage/maximum payload), fuel type used and others.

The purpose of this article is to describe how this study, hereafter referred to as "Truck Transport Statistical Field Study (TTSFS)", is conducted and to show some examples of the information that can be obtained from the collected data [2-6]. The information considered in this work was gathered between 1991 and 1994. As mentioned earlier, the study has continued in subsequent years.

DESCRIPTION OF THE FIELD STUDY

In order to carry out the TTSFS, temporary stations are installed in different locations of the national paved roads, in what is called "a survey station". A total of 46 survey stations were installed between 1991 and 1994.

Before starting the annual field surveys, the TTSFS was carefully planned [7]. Studies were conducted in order to assess the optimal location of the survey stations based on linear programming models, the modeling of the 91,000 km of Mexican paved roads (82,000 km of two lane roads and 9,000 km of four or more lane roads) and freight origin and destination information previously collected [7,8]. The objective function of these linear programming models help define those locations which allow exploration of the greatest amount of different trips

during a given time period (minimizing repetitions) through the least number of stations [7]. Theoretically, the 46 stations considered permit 90% of the interurban freight trips carried out within the country during a given time period to be explored [7]. Of these 46 stations, those installed in each particular year (1991, 1992, 1993 and 1994) were selected randomly as well as the time during the year when they were installed. By 1994, stations had been installed in practically all months of the year.

Each station operates for a week. During this period, all freight vehicles circulating day and night are stopped. First, each vehicle is measured and the driver is questioned in order to get the cited information. The total time a vehicle is stopped is always below 5 minutes. On its way outside the station, each vehicle is weighed using weigh-in-motion scales. In order to avoid biases in the gross weights, these devices are typically flush with the road surface and the measurements made at creep speed.

The field work is done in Mexico by young high-school students. They do it as a voluntary service and they receive a complete safety facility by the Federal Highway Police, meals, medical and health care and protection in all respects. These youngsters guarantee an enthusiastic job, which can be fully trusted and without any type of corruption. To date, it should be said, no accident has been reported nor any claim from the trucking sector. Obviously, at each station there is a full time guard provided by the Federal Highway Police.

It should be mentioned that the freight is registered in the field with sufficient description, but in the data handling process it is classified according to a system of more than one hundred product types, furnished by the Mexican Ministry of Commerce (SECOFI). This Ministry also provides the average unitary price of each product type in the international market. By applying these prices to all products transported through each station, it is possible to arrive at a sufficiently accurate monetary value of the flow circulating through the station, eliminating an excessive variety of information pieces which would make impossible its classification and handling.

After the field work week, the station is dismantled and the professionals responsible for its management, one or two persons, may take care of another station or dedicate themselves to the in-office analysis of the collected information.

About 390,000 trucks were surveyed in the 46 survey stations installed between 1991 and 1994 (a 1.3% sample of the total freight trips carried out annually in Mexico during those years [9]). It is recognized that this sample size is too small to be representative of what happens during a complete year for most of the parameters explored. However, although this was known since the planning stage of the study, the number of vehicles investigated was limited (by limiting the number of survey stations carried out annually and the survey time length in each

station), taking into account the actual capacity for exploiting the acquired information (processing and exhaustive analysis) and the available financial resources for the study. In other countries, the number of annual stations or the survey length in each station may be different, depending on the particular capacities. In fact, in Mexico, the data processing system is continuously improved in order to increase the annual number of vehicles investigated.

Up to 1994, the stations had been installed uniformly throughout the paved network. Since 1995, the repetition of some already surveyed sites started. Today, most of the surveyed sites lie on the federal roads, but eventually all of the Mexican paved roads will be covered (including feeding and local roads). It is thought that after several years, the information gathered will permit authentication of some of the values obtained and identification of tendencies.

RESULT TYPES OBTAINED

By way of illustration, some of the results that were possible to obtain are now presented. It should be mentioned that the study has been conducted in Mexico for the past five years. Today, there is an acceptable geographical coverage. The collected information has been used for very many objectives. In the future, the study will allow better and more complete knowledge of the actual national transport.

Table 1, which for presentation purposes is derived from only one station, shows the number and distribution of the circulating vehicles. This result, very consistent in Mexico, justifies the position of the Mexican Transportation Institute (MTI) in considering in its studies only 5 truck types (AASHTO Type 2, Type 3, Type 3-S2, Type 3-S3 and Type 3-S2-4). Obviously, there is a table for each station and it is possible to condense all of them in a global result.

Table 1. Number and distribution of surveyed vehicles in station “La Fortuna” (Feee Road Irapuato-León)

VEHICLE TYPE	NUMBER OF VEHICLES	COMPOSITION %
Type 2	6,076	40.7
Type 3	4,153	27.8
Type 4	163	1.1
Type 2-S1	63	0.4
Type 2-S2	74	0.5
Type 2-S3	44	0.3
Type 2-S1-2	22	0.1
Type 3-S2	2,264	15.2
Type 3-S3	1,769	11.8
Type 3-S1-2	10	0.1
Type 3-S2-2	15	0.1
Type 3-S2-3	8	0.1
Type 3-S2-4	195	1.3
Type 3-2	1	0
Type 3-3	5	0
Others	76	0.5
TOTAL	**14,938**	**100**

Table 2 is an example of the transport share of the most common vehicle types. It can be seen that the smaller vehicles (unitary trucks) have an important share by their number, but heavier ones have a bigger share of the important commercial movements in terms of tonnage and value. The unit of weight in this table, and throughout the paper, is the metric ton.

Table 2. Participation of the most common freight vehicles

VEHICLE TYPE	OF THE EXPLORED FLEET (%)	OF THE CARGO TONNAGE (%)	OF THE TRANSPORTED TON-KM (%)	OF THE FREIGHT VALUE (%)
Type 2	39.6	12.4	7.9	17.3
Type 3	20.2	17.5	15.0	13.6
Type 3-S2	22.0	27.5	30.8	36.1
Type 3-S3	16.3	37.0	40.2	29.9
Type 3-S2-R4	1.9	5.6	6.1	3.1

Table 3 shows the age distribution of the fleet considered. For combination vehicles, the age considered in the table is that of the power unit.

Table 3. Fleet age distribution

VEHICLE TYPE	AGE (YEARS)		
	0-5 (%)	5-10 (%)	> 10 (%)
Type 2	50.8	15.3	33.9
Type 3	34.5	12.6	52.9
Type 3-S2 (1)	40.2	22.3	37.5
Type 3-S3 (1)	47.7	19.7	32.6
Type 3-S2-R4 (1)	73.7	13.2	13.1

(1) For these vehicles, the age is that of the power unit.

Table 4 indicates the percentage of empty vehicles detected on Mexican roads during the 4 years considered. Different stations were investigated in each of these years. For this reason, it is not possible to separate, in the year to-year changes, the effect of the different roads surveyed from trends in the trucking industry. However, for the reasons already mentioned, the global percentages in the table tend to represent national values.

Table 4. Percentage of empty vehicles detected in Mexican Roads

VEHICLE TYPE	PERCENTAGE DETECTED IN DIFFERENT YEARS				GLOBAL PERCENTAGE
	1991	1992	1993	1994	
Type 2	48	41	47	48	47
Type 3	34	34	40	38	37
Type 3-S2	32	33	32	29	31
Type 3-S3	29	35	35	33	33
Type 3-S2-R4	37	26	33	29	32

Table 5 shows the occupancy rate (cargo tonnage/maximum payload), OR, for the most common truck types. The cargo tonnage is the gross weight measured from the weigh-in-motion scales minus the tare (obtained from manufacturers and cross checked against the gross weight of empty units registered at the surveys for the different configurations and models). The maximum payload is the gross weight limit allowed by regulations minus the tare. An OR greater than 100% means that a vehicle carries a greater load than that which permits it to meet its weight limit.

Table 5. Distribution of the vehicular occupancy rate

VEHICLE TYPE	OCCUPANCY RATE, OR								
	0%	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	>140
Type 2	46.5	14.3	13.7	8.9	6.8	4.4	2.6	0.7	2.1
Type 3	36.9	2.9	8.1	12.8	9.8	119	8.3	5.3	4.0
Type 3-S2	30.9	4.6	9.0	9.8	18.4	10.2	7.5	4.9	4.7
Type 3-S3	32.5	3.2	4.7	4.0	4.5	7.4	9.5	12.6	21.5
Type 3-S2-R4	32.0	4.2	9.5	10.5	5.3	6.1	10.4	9.1	12.9

Table 6 presents a current overview of the participation of each vehicle type in the domestic and foreign trade movements, distinguishing imports and exports for the latter ones. Only two stations are presented in the table: the first is on the route from Mexico to Nuevo Laredo, main land port of entry for USA-Mexico trade; the second on a representative internal routing of Mexico. The relatively different share of each truck type in both cases is to be noted.

Table 6. Vehicular participation in the domestic and international trade movements

VEHICLE TYPE	1st CASE. STATION "CONASUPO" (ACCESS TO NUEVO LAREDO)			1st CASE. STATION "LA FORTUNA" (ACCESS WITHIN THE COUNTRY)		
	TRADE			TRADE		
	EXPORT (%)	IMPORT (%)	DOMESTIC (%)	EXPORT (%)	IMPORT (%)	DOMESTIC (%)
Type 2	5.6	11.0	16.2	43.5	36.5	37.1
Type 3	4.0	4.4	16.3	26.1	25.3	28.9
Type 3-S2	81.0	76.4	40.3	15.8	17.4	16.7
Type 3-S3	5.9	5.2	20.6	9.2	15.1	12.9
Type 3-S2-R4	1.1	1.1	4.1	1.6	1.3	1.4
Others	2.4	1.9	2.4	3.8	4.3	3.0

The way the study was planned to be conducted (described earlier) allow aggregation of the data from the first 46 stations in order to get global estimators like those presented in Tables 2 to 5. In general, the nature of the whole procedure makes these estimators unbiased, though due to the small sample size, such estimators have usually had a relatively high variance [6]. An aspect that has been encouraging about the validity of the results is that, between 1991 and 1994, a great amount of the global generated estimators (percentage of empty vehicles, occupancy rates, etc.) have been fairly consistent through the years (in analysis of variance tests, the effect of the year frequently resulted insignificant). It is important to mention that additional statistical tests are continually introduced within the procedures, in order to check the validity of the data.

All the tables presented are only examples of the kind of information which can be obtained from the field survey proposed in this paper. As a matter of fact, the authors think that such examples are only a minimum part of the benefits that can be derived.

Obviously this kind of information will receive further validation with time. At the present time, however, Mexico is already capable of analyzing different subjects of its truck transport with a degree of geographic and economic differentiation that was unthinkable just a few years ago. It is for this reason that the authors believe that this Mexican practice, which will undoubtedly have the same high value for other countries, should be spread.

ADDITIONAL BENEFITS OF THE STUDY

Beyond the general value of the work presented herein, some other important

benefits that can be found in the Mexican TTSFS, are:

- The knowledge of the freight origin-destination information and its economic value should permit definition, on quantitative and real bases, of the main transport corridors.
- The former should provide a very valuable tool for the planning of improvement of the actual highway network. In fact, the MTI promotes the use of the economic value of the cargo flows as a convenient index for ranking and selecting the maintenance actions to be carried out on the part of the Mexican road network that makes up the national wealth support [10].
- The knowledge of the freight flows should contribute to evidence and quantify the unequal regional development affecting Mexico and other developing countries. From this viewpoint, such knowledge is also important for planning the secondary highway network, looking for the best access to the basic network.
- The detailed knowledge of the transported wares should help in planning the National Railroad Network with the aim of impelling efficiency of transport by rail.
- The same knowledge should also benefit the planning of freight transference stations, warehouses, concentration and distribution centers, and other aspects.
- The study should help define the main transport corridors and, even more important, their variations and modifications.
- The study is essential for developing criteria to sustain a realistic Size and Weight Regulation and to assess the degree of damage that now and in the future, the highway network may suffer.
- The analysis of participation and characteristics of the different trucks used can help develop well oriented criteria to encourage the fabrication and usage of less damaging ones.
- The study has already shown its potential for helping assess the effect of different regulatory measures in the cost of merchandises at their arrival at local and international markets.
- The temporary survey stations may be used for monitoring actual weights and dimensions on the highways. They provide, in essence, an unexpected and practically free monitoring mechanism.
- The study provides important freight origin-destination information, very useful for developing mathematical simulations of Mexican transport.
- The study is also very useful for knowing the way truck transport of dangerous materials is currently being carried out (in terms of configurations used, transported materials, origin-destination of such materials, certain safety conditions, etc.).

CONCLUSIONS

It is believed that the Mexican TTSFS is a very important element for transport understanding, considering the real phenomenon as it occurs on the highways (not on papers).

The cost of this study is truly negligible (about U.S. $250,000 per year).

ACKNOWLEDGEMENT

It is the authors wish to express their sincere gratitude to the Mexican Transportation Institute (MTI), home institution of their professional activity, for offering them the opportunity of carrying out this research work and for giving them the kind permission for its publication.

REFERENCES

1. *Truck Size and Weight Regulation.* Mexican Ministry of Communications and Transports, Mexico City, Mexico, 1993.
2. Mendoza, A., M. Castillo and J. L. Gutierrez. *Statistical Analysis of the Size and Weight Characteristics of the Freight Vehicles Traveling on the Mexican Road Network. Survey Stations Installed during 1992 and 1993 (in Spanish).* Technical Document No. 17, Mexican Transportation Institute, Querétaro, México, 1995.
3. Mendoza, A., and A. Cadena. *Statistical Analysis of the Size and Weight Characteristics of the Freight Vehicles Traveling on the Mexican Road Network. Survey Stations Installed during 1991 (in Spanish).* Technical Document No. 8, Mexican Transportation Institute, Querétaro, México, 1992.
4. Rico, A., and A. Mendoza. *A Strategy for Maintaining the Mexican Road Network (in Spanish).* Technical Document No. 11, Mexican Transportation Institute, Querétaro, México, 1995.
5. Rico, A., A. Mendoza, J. L. Gutiérrez and E. Mayoral. *Empty Truck Movements in Mexico (in Spanish).* Technical Publication No. 74, Mexican Transportation Institute, Querétaro, México, 1995.
6. Durán, G., J. L. Gutiérrez and A. Mendoza. *Statistical Analysis of the Size and Weight Characteristics of the Freight Vehicles Traveling on the Mexican Road Network. Survey Stations Installed during 1994 (in Spanish).* Technical Document No. 20 (in press), Mexican Transportation Institute, Querétaro, México, 1996.
7. De la Llata. R. *Strategies for Conducting Origin-Destination Studies (in Spanish).* Technical Publication No. 48, Mexican Transportation Institute, Querétaro, México, 1993.
8. *Transportation Master Plan. Road Transportation. Technical Appendixes (in Spanish).* Ministry of Communications and Transports, México, DF, 1988.
9. *Basic Statistics of the Trucking Industry (in Spanish).* Ministry of

Communications and Transports, México, DF, 1994.
10. Rico, A., A. Mendoza and E. Mayoral. *Applications of the Economic Value of Freight Flows to Transport Planning.* Transportation Research Record 1522, TRB, National Research Council, Washington, DC, 1996, pp. 122-128.

FINANCIAL MECHANISMS FOR ROAD MAINTENANCE IN DEVELOPING NATIONS**

Alfonso Rico, Alberto Mendoza and Emilio Mayoral

In most developing countries, the funds allocated to maintain the principal roads have come, traditionally, from the government fiscal budget. However, the economic restrictions of these countries, many of which are just coming out of lengthy economic crises, have compelled the governments to allocate most of their fiscal funds to other activities which are considered of higher priority (social welfare, education, etc).

As a result of such a policy, most of these countries have hardly assigned enough funding for routine maintenance and often even less. For this reason, principal roads in these countries today are experiencing an accumulated and consistent deterioration.

This paper will first discuss several mechanisms that could be implemented in developing nations for generating additional funds needed to adequately maintain and rehabilitate principal roads. The roads discussed in this paper are the national roads under Federal Government jurisdiction which carry the larger portion of national and international passenger and cargo flows. This part of the road system is commonly known in most countries as "basic road network".

This paper, above all, presents a specific proposal for Mexico.

It is considered that the criteria given, though specifically aimed at developing nations, can be valid for any country.

The lack of adequate maintenance in road systems leads to inefficient operation and inappropriate use of the different modes of transportation and their interaction after all. It results in different kinds of energy being wasted without benefiting society at all. It seems adequate to propose a concept of social entropy with a similar meaning to that of physical systems: the energy that a society loses without any foreseeable or foreseen benefit can be assumed as added to universal chaos; that is, as an increment of social entropy. It is obvious that all social movements increase social entropy, but it is also obvious that the goal of all societies should be to minimize that increment. In fact, all excesses above the minimum that consume resources without generating wealth for society, are undesirable and increase real social costs. Seen in this way, the fact that maintenance reduces the real costs of the countries becomes a sort of natural law. It is just necessary to give punctual and concrete meaning to this law by fostering actions that generate resources for maintaining the road networks; in other words, to find mechanisms that permit the obtaining of what is required so that, when properly allocated, help minimize the

**Rico, A., Mendoza, y Mayoral, E. (1995). Financial Mechanism for Road Maintenance in Developing Nations. 74th Annual Meeting. Transportation Research Board. Washington, D.C.

social waste which, from many standpoints, inefficient transportation represents.

This paper will first discuss several mechanisms that could be implemented in developing nations for obtaining the funds needed to appropriately maintain principal roads. The roads discussed in this paper are the national roads under Federal Government jurisdiction which carry the larger portion of the national and international passenger and cargo flows. This part of the road system is commonly known in most countries as "basic road network". In Mexico, these roads add up a total length of about 30,000 kilometers.

In most developing countries, it has been intended for the whole of these funds to come from the government fiscal budget. However, the economic restrictions of these countries, many of which are just coming out of lengthy economic crises, have compelled the governments to allocate most of their fiscal funds to other activities which are considered of higher priority (social welfare, education, etc). As a result, then, of insufficient funds allocated to maintenance, principal roads in these countries are experiencing today an accumulated and consistent deterioration. In Mexico, for example, 60% of these roads, which carry more than 80% of the national passenger and cargo flows, are in poor condition (1).

This paper specifically deals with mechanisms for generating the additional funds needed to adequately maintain and rehabilitate principal roads. This paper, above all, presents a specific proposal for Mexico. The recommendations contained in this paper are directed, mainly, toward the authorities in the different countries responsible for the management of public funds; it is their duty to select the most convenient alternative in accordance to their particular conditions.

GENERAL IDEAS

It seems that the aforementioned mechanisms should meet the following four conditions (2):

- Be systematic; temptation of taking advantage of casual circumstances that allow allocation of important funds within a given year but which are not definitely repeatable, should be resisted.
- Be clearly related to national road transport; mechanisms that make use of funds coming from other areas are questionable, as in the former there will always be additional needs which will eventually require the whole of their funds.
- Collect the funds from those that benefit from the use of the roads.
- Generate growing funds as positive results are attained in the task of giving better maintenance to main roads; namely, the funds collected should be directly proportional to the economic benefits produced by the improved condition.

On the former basis, it seems an obligatory matter that society as a whole should contribute to the solution of this serious problem. From this viewpoint, road maintenance should receive a similar treatment to that given to many other public services supported, in great measure, by the social group of users.

The suggestions that could be made to the authorities responsible for allocating funds to road maintenance, should consider several basic concepts that are convenient to address:

- Roads represent a public service, as many other services like water supply, electric energy and telecommunications (to a certain extent). It is universally accepted that the users of these services should contribute, in some way, to their cost of running.
- It is also true that there exists another group of essential services which are generally accepted all over the world as justified to receive, at least in part, government subsidy. Such policy is considered reasonable for these services as they are of fundamental importance for the nation and for the population. In general, these services have to be offered directly by the government or they have to be provided at such a low fare (so that they can be afforded by most of the population) that they lack, in themselves, the necessary capacity for generating the funds (and profits) commonly required by private investors to run them satisfactorily. Education, basic health, national defense and public administration are examples of these services. Road maintenance does not fall within these services, as apparently road users are, in general, a socio-economical group that does not require subsidies.
- In part, road maintenance should be paid directly by the vehicle drivers that use the roads. This policy may not only allow the collection of sufficient funds for road maintenance but may also help road users to be aware of the important link that exists between the fare they pay and the higher benefits they receive in exchange. This policy would also arouse a very healthy interest of the users in road maintenance and would also generate a convenient pressure in favor of efficiency in the fulfillment of maintenance works.

REVIEW OF SOME POSSIBLE MECHANISMS

A basic idea that should be emphasized is that any mechanism suggested to a national government to get resources for road maintenance should be preceded by a clear and simple strategy for their adequate spending. Such strategy should contain technical elements that help define the present condition of the road system, the actions that need to be accomplished to bring each particular road up to a specific level, the costs and benefits derived from such actions and, finally, criteria that allow prioritization and selection of the most convenient actions to be carried out within a given period of time, considering the relative importance of the roads, available resources and the development of policies towards the future. All these elements are usually assembled in what are commonly known as "pavement

management systems (PMS)". A national strategy or PMS for managing the maintenance activities of the Mexican road network has been developed by the Mexican Institute of Transportation (3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, and 11).

In the past, the idea that road maintenance could be financed through special ("labeled") taxes created for that particular aim, became popular. Through this mechanism, it was sought, to a certain extent, that such taxes were collected from users of the service to which the same funds would be allocated. However, these systems gave rise to a lot of criticism as such taxes were frequently allocated to other different purposes. The urgent socioeconomic needs of many developing nations, particularly those experiencing fast population increases, forced the governments to integrate all resources collected into a single fund. This practice provided more flexibility to attend urgent needs which arose as a result of the daily life of society. It should be recognized that the disappointment produced by this method of "labeled" taxes for a particular service, is very widespread today; and, its critics, seem to have very solid arguments against it.

Toll collection is another mechanism used sometimes for obtaining funds for road maintenance. To be justified economically, this mechanism requires a certain minimum traffic level. Frequently, this minimum level is set to about 800 vehicles per day (2, 12). For traffic levels lower than this, administrative (fixed) costs make this system less attractive. Indeed, low traffic is a factor usually argued against this mechanism in many developing countries. This system could be considered suitable for, probably, not more than 10% of the road networks of Latin American and Caribbean countries; evidently, toll collection cannot be carried out in the whole networks. The use of this mechanism seems to be limited to freeways. In the case of Mexico, toll collection in freeways generate sufficient resources for freeway maintenance but these funds are definitely insufficient for attending significant maintenance of the whole network.

Studies carried out at the Mexican Institute of Transportation (MIOT) in 1994 (2, 3) have concluded, for the moment, (even recognizing that these studies could be enhanced and extended) that it would be highly convenient to analyze a mechanism based on a very slight increase in the price of fuels (gasoline and diesel); this analysis should be complemented with a general study on impacts produced by that increase in the different sectors of the economy. These impacts should then be compared with the savings obtained by national transport and its effects in those same sectors. If the final balance from this comparison results in favor of such savings, then the country as a whole would benefit from applying this alternative.

Based on the former ideas, a specific mechanism was proposed for Mexico. As mentioned earlier, this proposal is directed toward maintenance of the basic road network; that is, the national roads that are most important for the commercial and industrial life of the country (in general, for the mechanisms that support the

income generation).

The proposal presented assumes that government will continue to contribute the annual amount that has been allocated for the past years (around 180 million US dollars) to road maintenance. This amount is considered to be sufficient for routine maintenance of the 30,000 kilometer Mexican basic road network (crack sealing, patching, resurfacing, cleaning and repair of side slopes, signs and markings, ditches, culverts, dikes, berms, drainage channels, etc). In addition, the proposal takes into account the need for more substantial resources to rehabilitate and structurally strengthen the basic network. Through investment of these additional resources, the road network would acquire a timely and durable strength, so that eventually it will not need to be strengthened as frequently nor as significantly, even under the increments of traffic and truck weight. These additional funds are needed because, presently, most Mexican basic roads are older than 30 years and were built for much lower traffic intensities and much lighter trucks than the ones they carry today (in 1955, the heaviest vehicle allowed in Mexico weighed 10 ton; today, present regulations allow vehicle weights of up to 65 ton). Due to this situation, the maintenance actions required in the road network for the next 10-20 years include substantial surface reinforcements, drainage improvements and, frequently, important reconstruction actions.

Specifically, the proposal consists in bringing the road network within an initial period of time, up to such a good condition of alignment, safety and structural strength that after that period it can keep its satisfactory condition with regular investments like those required for routine maintenance (which are substantially lower than the ones required for strengthening or reconstruction). After this initial period, the fund generating mechanism already implemented could be used for supporting the construction of new roads, which will always be required.

The studies accomplished do not consider that every road should be improved with the same target condition in mind. The strategy developed at the MIOT contains elements that permit definition of the most suitable level of quality (ideal) for each highway corridor, depending on the economic value of freight flows travelling on them (2). This criterion for defining such quality levels was selected because the economic value of freight moving on basic roads is directly related to their contribution to national transport and, in general, to the generation of national wealth. (The corridors were determined through integration of adjacent links with similar freight economic value). The optimum set of projects to carry out in the road links yearly were defined by applying the PMS developed by the MIOT (1, 2, 3).

A SPECIFIC PROPOSAL FOR MEXICO

Analyses carried out at the MIOT (2, 3) showed that the value of the Mexican basic network is about 30 billion US dollars (replacement value). The cost of transportation operations that will take place on this network during 1994 amounts to nearly 15 billion US dollars. This value will increase to 17 and 20 billion US

dollars by years 2000 and 2006, respectively, presuming the present annual traffic growth rate remains the same within the next years (around 3.5%). The former vehicle operating costs include "avoidable over costs" of about 1.2, 1.85 and 2.7 billion US dollars for years 1994, 2000 and 2006, respectively, taking into account the network's present condition and that an amount of about 180 million US dollars will continue to be allocated annually to road routine maintenance. In this paper, the term "avoidable overcosts" refers to the difference between vehicle operating costs for the network's present condition and vehicle operating costs for the most suitable level of quality (ideal) defined for each corridor. In the case of the Mexican network, the actions to attain the most suitable condition in each particular road would lead to an increase in the present network mean PSI of 2.5 (IRI of 6) to about 3.5 in 10 years (IRI of 4) and to a value of 4 in 20 years (IRI of 2.5). Evidently, if road maintenance improved, the network condition would also improve and the vehicle operating over costs would reduce.

It should be emphasized that the abovementioned overcosts were not determined for a global network ideal target condition, but for an adequate condition of each road corridor, based on its direct contribution to the generation of national income. Such a condition is compatible, moreover, with the technical capabilities of Mexican engineering. The possibilities of reaching the target condition for each corridor will be higher if a PMS, like the national strategy developed at the MIOT, is applied.

On these bases, it was determined that the increase of the network's mean present serviceability index (PSI) to the annual values shown in Table 1, could produce an accumulated income in 20 years of up to 42 billion US dollars (for the highest alternative investment considered in the table) with regard to the amount that would be obtained during that same period for the present annual investment of 180 million US dollars. It would be advantageous to explain how to follow Table 1. First, it considers five different investment levels, allocating 180 million US dollars to routine maintenance (which would not lead to increments of the roads structural capacity) and the rest to structural reinforcement of the network, drainage improvement, etc. The investment levels considered in the table were selected to cover the range of economic possibilities of the Mexican Government (they correspond to rounded amounts in Mexican currency but become rather odd amounts when converted to US dollars). The first allocation level analyzed corresponds to an initial investment of 180 million US dollars (made during year 0), which grows in subsequent years at the same yearly rate as traffic (3.5% on average, for the 30,000 kilometer network considered). For this alternative, it can be observed that the present mean PSI of 2.79 becomes 2.54 after 20 years and that avoidable over costs increase more than 100% within that same period.

If, on the other hand, 610 million US dollars are invested during year 0 to principal roads maintenance, with the same annual growth rate as traffic, overcosts will decrease about 60% in 20 years, and the road network mean PSI will improve

within that same period from 2.79 to 3.9. Similar information is also presented in Table 1 for allocation levels of 305, 455 and 760 million US dollars.

TABLE1. Investment Alternatives for Road Maintenance

YEAR	Allocation Levels									
	180[a]		305				455			
	Mean PSI	Avoidable Overcost	Mean PSI	Avoidable Overcost	Cumulative Expenditure	Cumulative Income	Mean PSI	Avoidable Overcost	Cumulative Expenditure	Cumulative Income
0	2.79	1 699[a]	2.79	1 699	120	0	2.79	1 699	267	0
1	2.61	1 847	2.67	1 804	245	43	2.72	1 548	552	299
2	2.45	2 138	2.58	2 016	376	164	2.69	1 650	849	786
5	2.23	2 535	2.54	2 180	798	988	2.72	1 703	1 800	3 006
10	2.16	3 000	2.63	2 293	1 619	3 910	2.93	1 398	3 638	9 661
15	2.34	3 375	2.74	2 193	2 600	8 899	3.23	1 082	5 863	19 757
20	2.54	3 385	2.95	1 848	3 515	16 509	3.66	787	7 995	32 633
Internal Rate of Return (%)			50.9				77.0			

YEAR	610[a]				760			
	Mean PSI	Avoidable Overcost	Cumulative Expenditure	Cumulative Income	Mean PSI	Avoidable Overcost	Cumulative Expenditure	Cumulative Income
0	2.79	1 699	415	0	2.79	1 699	570	0
1	2.76	1 443	862	405	2.80	1 350	1 106	497
2	2.76	1 462	1 321	1 079	2.80	1 341	1 773	1 294
5	2.85	1 357	2 768	4 192	3.00	1 104	3 802	5 098
10	3.25	904	5 655	13 000	3.57	632	7 622	15 402
15	3.73	639	9 077	25 443	3.86	593	9 773	28 448
20	3.90	648	10 145	39 461	3.91	641	10 637	42 505
Internal Rate of Return (%)	65.0				55.7			

*The amounts in this table are in millions of US dollar

In all the alternatives analyzed, the column named "expenditure" refers to the additional funds that would be allocated yearly to road maintenance, above the present investment of 180 million US dollars. The column named "income", on the other hand, concerns the difference between the annual overcosts of a given alternative and the yearly overcosts corresponding to the initial investment of 180 million US dollars (first alternative). For example, in year 10 of the initial investment of 610 million US dollars, an accumulated saving in avoidable over costs (accumulated income of the country) of around 13 billion US dollars would be obtained with respect to what will be acquired in that same year from the initial investment of 180 million US dollars.

The bottom row in each alternative shows the internal rate of return (IRR) for each additional annual amount allocated. From these values, it is evident that the most feasible alternatives correspond to initial investments of 455 and 610 million US dollars (additional allocations of 270 and 430 million US dollars, respectively, above the present investment of 180 million US dollars). The selection between these two alternatives is not easy.

Going back to Table 1, it can be observed that if the initial allocation is 455 million US dollars instead of 180 million US dollars, the cost of improving the network mean PSI up to 3.66 in 20 years will be around 8 billion US dollars (cumulative expenditure), in addition to the amount needed for routine maintenance (1994 values). If, on the other hand, the initial investment is 610 million US dollars, that

same cost for improvement will be about 10 billion US dollars, but in this case better and faster results will be obtained. It is pointed out that the PSI values shown in Table 1 are not generalized values for the whole network, but are a weighted average of the PSI values provisionally attained by the process of reaching the most suitable value for each corridor.

It should be pointed out that there is a surprising and enormous difference between the benefits derived from appropriate maintenance over a 20 year analysis period, and its corresponding costs. Such difference practically justifies any additional fund allocated to road maintenance.

In most developing countries, additional resources for maintenance of principal roads are difficult to generate. Most of these countries hardly assign enough funding for routine maintenance and often even less. Consequently, practically nothing is done to repair roads from natural deterioration or to adapt them to different conditions than those they were built for. Traffic demand continuously grows in all developing countries, which means maintenance resources should grow too.

Assuming that the alternative corresponding to an initial investment of 610 million US dollars is selected and that this amount is assigned by simple allocation of fiscal resources, then, during the first year, as shown in Table 1, the country will receive an income of 405 million US dollars; in other words, almost the additional amount initially assigned above 180 million US dollars (expenditure in year 0). In subsequent years, that income will become increasingly higher than the amount allocated. This way, only the initial additional investment of 430 million US dollars will be previously unrecovered investment which could be financed, for example, through a foreign loan.

Figure 1 depicts a series of economic flows for the alternative recommended in this paper (the initial investment of 610 million US dollars).

The first consideration that can be made in relation to Figure 1 is that savings (income) are distributed in some way among society, but are not ready money that could be used for road maintenance. In fact, the money needed should be provided by the government. In Figure 1 a curve is shown to represent the additional amount necessary allocated above 180 million US dollars, which is considered the obligatory minimum initial investment. As said earlier, that additional allocation increases at the same annual rate as that of traffic. The initial additional allocation is around 430 million US dollars.

In the same figure, a "collections" curve is represented. This curve was developed with consideration that the government would provide fiscal resources for road maintenance, but would also receive the amounts represented by this curve, resorting to increments in the price of fuels. In order to minimize possible inflationary impacts, these increments should be such that, during the first nine

years, they generate annual collections which do not exceed one third of the savings (income) obtained from the previous year. A possible mechanism that meets this requirement would consist in the growth, starting from year 1, of the price of fuels in equal amounts for 7 consecutive years, until reaching a total growth of 0.015 US dollars per liter of gasoline or diesel. These tolerable increments would produce the flow of resources needed.

From Figure 1, it can be observed that by year 9, the annual amount collected would already be about what is required. Figure 1 also shows a curve of yearly savings obtained due to vehicle operating cost reductions (income for the nation).

The shaded area to the left of the figure, between the curves of annual allocations and collections, deserves particular attention. In this area, which corresponds to a time period of 8 years, maintenance receives more funds than what is collected. These annual differences could be covered through financing. Between years 8 and 14, it is practically collected what is required. After year 14, the improved condition of the road system allows for significant reductions in the allocations needed for road maintenance. Within this period, the surplus or difference between what is collected and what is required can be used for paying the initial financing. Likewise, within this period, the annual amounts needed tend to become what is required for routine or preventive maintenance.

Figure 1 includes several considerations for minimizing inflationary effects derived from implementation of the mechanism proposed herein. Firstly, collection starts after the first year, when savings for road transport have already occurred; secondly, as mentioned earlier, collection in a given year never exceeds one third of the savings obtained the year before; and finally, the recommended alternative requires a maximum annual collection of 610 million US dollars. The fact that after year 9 the collected amount exceeds this maximum collection level is just due to normal traffic growth derived from growth of the gross national product (GNP).

Figure 1. Economic flows for the 610 million US dollars alternative

The proposal described herein has been formulated in greater detail than presented above. For example, impacts produced by fuel increases in different sectors of the economy were assessed. Essentially, it was shown that, with exception of the fishing sector, savings transferred to different areas of the economy will always be higher than the cost increase produced by the fuel increments. Therefore, the collections proposed are not inflationary and help make road transport and the national economy more efficient.

Expenditure of funds collected will not produce inflation either, as these resources will go to the sectors of construction and professional services, both of which have available labor.

Annual amounts of finance during the first years, as well as financing conditions, will not generate serious negative effects, as there exists a clear mechanism for recovering investments.

On the other hand, the proposal suggested has other additional significant benefits:

- Part of the savings attained in different sectors of the economy will turn into profits for private firms, thus increasing the collection of taxes.
- In a competitive system, an additional part of the savings will lead to reductions

of transportation prices charged by the truckers, with corresponding benefits for different sectors of the economy.

- Improved road maintenance leads to lower fuel consumptions. It was determined that by improving the condition of the road network to the level corresponding to the suggested alternative, the daily refinement of nearly 100 thousand oil barrels will be eliminated (or the importation of fuels around the annual cost of 1 billion US dollars).
- Reductions in vehicle deterioration will also eliminate the importation of equipment and parts by an additional 800 million US dollars, annually.
- In addition, the alternative suggested will lead to the creation of 100 thousand new direct jobs and 200 thousand indirect jobs.
- Finally, improving the road network will help improve the Public Administration image.

CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

Road maintenance is of special interest to the authorities and individuals involved in this activity. It is also an element of great importance for the economy of any nation. The concern for generating funds for road maintenance is, indeed, consequential of that interest.

This paper proposes a mechanism for Mexico to acquire funds for maintaining principal roads appropriately. The most outstanding aspect of this mechanism is that it reduces road transport costs, which benefits most sectors of the economy. In addition, the mechanism is not inflationary. For all these reasons, the suggestions made deserve serious consideration.

The objective of this study is to propose alternatives which help the authorities responsible for preparing and managing national budgets, solve the road maintenance financing problem.

It is considered that the criteria given, though developed for developing nations, may be valid for any country. The financial system proposed can also be extended to include maintenance of other kinds of road networks (urban, secondary, etc), evidently, after carrying out the specific studies.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to express their gratitude to the Mexican Institute of Transportation (MIOT) for providing the financial support for this research project.

REFERENCES

1. *Maintenance Strategies for the Mexican Road Basic Network*. Federal Ministry of Communications and Transports, México, D.F., 1992.

2. A. Rico. Operative and Financial Mechanisms to Maintain Adequately Mexican Federal Roads. *Conference given at the World Bank PROVIAL Seminar "Transportation Infrastructure in the Development of Nations"*, Mexican Institute of Transportation, México, D.F., 1994.
3. A. Rico. A Strategy for Maintaining the Mexican Road Network. *Conference "Ing. Fernando Espinosa"*, Mexican College of Civil Engineers, México, D.F., 1993.
4. A. Rico, J. M. Orozco, R. Téllez and A. Pérez. Mexican Pavement Management System. First Phase. *Technical Document No. 3*, Mexican Institute of Transportation, Querétaro, Qro., 1990.
5. A. Rico, R. Téllez and M. Elizondo. Mexican Pavement Management System. Manual for Collecting Field Data. *Technical Document No. 4*, Mexican Institute of Transportation, Querétaro, Qro., 1990.
6. A. Rico, J. M. Orozco, R. Téllez and A. Reyes. Mexican Pavement Management System. User's Manual. *Technical Document No. 5*, Mexican Institute of Transportation, Querétaro, Qro., 1990.
7. A. Rico, J. M. Orozco, R. Téllez and M. Sánchez. Unitary Damage Coefficients for the Freight Vehicles Authorized in México. *Technical Publication No. 5*, Mexican Institute of Transportation, Querétaro, Qro., 1988.
8. R. Aguerrebere and F. Cepeda. The Effect of Highway Geometric Design Elements on Vehicle Operating Costs. *Technical Publication No. 20*, Mexican Institute of Transportation, Querétaro, Qro., 1991.
9. R. Aguerrebere and F. Cepeda. The Effect of Highway Roughness on Vehicle Operating Costs. *Technical Publication No. 30*, Mexican Institute of Transportation, Querétaro, Qro., 1991.
10. R. Aguerrebere et al. The Economic Model of the Mexican Pavement Management System. *Technical Document No. 9*, Mexican Institute of Transportation, Querétaro, Qro., 1991.
11. A. Mendoza y A. Cadena. Weight and Dimensions Characteristics of the Mexican Freight Vehicles. Survey Stations Installed During 1991. *Technical Document No. 9*, Mexican Institute of Transportation, Querétaro, Qro., 1992.
12. J. Amin, R. Eldstein, et al. Road Maintenance of Argentinian Roads through Toll Collection. *XIIIRF World Congress*, Madrid, Spain, 1993.

SOME ELEMENTS OF AN OPTIMAL HIGHWAY NETWORK PAVEMENT MAINTENANCE STRATEGY**

Alfonso Rico, Alberto Mendoza, Emilio Mayoral and Gandhi Durán

In any road network, there are several elements of an optimal pavement maintenance strategy that are important to define. For each particular highway section, given its current annual average daily traffic (AADT), its traffic composition and growth rate, its pavement current riding quality and effective structural strength, it is important to determine the following:

- What are, based on life-cycle cost concepts, the optimal levels for: minimum acceptable riding quality, and frequency and importance of the maintenance works?

- For distinct levels of the former items, what is the magnitude of the different costs involved during a certain analysis period?

This work seeks to answer the previous questions for Mexican roads. It is considered, however, that the main results obtained are practically valid for all countries.

In this paper, the term "maintenance works" refers to actions having a significant effect on pavement performance; therefore, such a term includes strengthening and rehabilitation works but does not consider routine maintenance actions.

This study was undertaken in order to generate guidance that helps implement in Mexico a maintenance contracting scheme in which the contractor will be required to provide, in a specific highway segment, a riding quality above a minimum level during a certain period; the contractor will also be required that the time between consecutive maintenance actions be longer than a certain minimum performance period. In Mexico, there is growing interest in implementing this kind of maintenance schemes.

The answers to the former questions may be used, not only for managing the maintenance activities of a national highway network, but also for guiding new road designers in the selection of the initial riding quality and structural strength of the roads they design.

**Rico, A., Mendoza, Mayoral, E. y Durán, G.(¿?). Some Elements of an Optimal Highway Network Pavement Maintenance Strategiey.Referencia desconocida.

PROBLEM DEFINITION

The questions stated above are answered in this work through the analysis of a series of cases covering all existing situations in Mexican highways in terms of pavement and traffic characteristics. Thus, the information shown herein corresponds basically to Mexico. However, the methodologies applied have a more general value and the main conclusions obtained are practically valid for all countries.

Each situation analyzed is a one-kilometer road section with specific conditions of pavement structure, traffic flow rate (AADT) and riding quality at the time of analysis (measured through the International Roughness Index). For each situation considered, the three maintenance alternatives depicted in Figure 1 are analyzed, for a 15-year analysis period. The first alternative assumes that a major maintenance action is carried out every five years (a 5-year performance period). In the second alternative, only an initial maintenance action is carried out, which lasts the entire analysis period (a 15-year performance period). The third alternative is a "no action" alternative; that is; only routine maintenance works are carried out.

Figure 1. Performance profiles for the three maintenance strategies considered

Figure 1 shows also three International Roughness Index (IRI) values that are of concern in this study. The first one is the section current IRI value (IRI_c); that is, the

surface IRI before the initial maintenance action is carried out. The second one refers to the IRI value attained once the initial maintenance action is carried out (IRI_i). The third one is the maximum allowable IRI value (minimum allowable riding quality) at the end of any performance period (IRI_i).

For the three maintenance alternatives of each situation considered, the annual road maintenance costs, vehicle operating costs and total costs (sum of the former two costs) are assessed, for the whole analysis period. The annual values of such cost types are then discounted and accumulated to obtain their total present worth for each alternative. All this generated information helps answer the questions stated earlier for most Mexican highways.

Immediately, the basic information used in this study is described. The analyzed cases were defined from this information.

INITIAL INFORMATION

Cross Sections

Table 1 shows the properties of 5 structural sections considered in the analysis. For these sections, the thickness and CBR value for all layers of the original pavement (as originally constructed) are presented. The AASHTO original structural number for each section is also indicated in the table. These cross sections cover most Mexican roads. Sections I to IV correspond mostly to two lane roads, whereas Section V is a typical four-lane road cross section. Stabilized layers are not considered; rigid pavements are not considered either. It is important to mention that the strongest Mexican cross sections are probably insufficient for present and, most importantly, for future traffic flow rates.

TABLE 1. Properties of the Structural Sections Considered

SECTION TYPE	LAYERS	THICKNESS (CM)	CBR VALUE	AASTHO ORIGINAL STRUCTURAL NUMBER
I	AC Surface Course Granular Base Granular Subbase Compacted Subgrade Natural Subgrade	5 12 15 0 -	- 40 20 - 5	1.96
II	AC Surface Course Granular Base Granular Subbase Compacted Subgrade Natural Subgrade	5 15 20 30 -	- 50 30 15 -	2.76
III	AC Surface Course Granular Base Granular Subbase Compacted Subgrade Natural Subgrade	7 25 25 30 -	- 60 30 20 -	3.80
IV	AC Surface Course Granular Base Granular Subbase Compacted Subgrade Natural Subgrade	7.5 30 30 40 -	- 80 40 30 -	4.47
V	AC Surface Course Granular Base Granular Subbase Compacted Subgrade Natural Subgrade	10 30 30 40 -	- 80 40 30 -	4.88

Traffic Flow Rates

Table 2 shows the current traffic flow rates (at year 0 of the 15-year analysis period) taken into account in this analysis. Table 3 presents the traffic composition considered for these flow rates; such a composition is typical of most Mexican highways (1). An annual growth rate of 3 percent was assumed for all flow rates. Table 4, in turn, shows the individual equivalent single axle load (ESAL) values used for each of the vehicle types. These ESAL values were computed taking into

account the gross weight frequency distribution for each vehicle type, observed in Mexican roads (2).

TABLE 2. Traffic Flow Rates

ALTERNATIVE	AADT
T1	500
T2	1000
T3	3000
T4	5000
T5	10000
T6	15000
T7	20000

TABLE 3. Traffic Composition Considered

VEHICLE TYPE	PERCENTAGE IN THE MIX
A	60.0
B	10.0
Type 2	10.5
Type 3	7.0
3-S2	7.5
3-S3	4.5
3-S2-4	0.5

TABLE 4. ESAL Value for Each Vehicle Type

VEHICLE TYPE	ESAL VALUE
A	0.0005
B	2.5000
Type 2	2.3997
Type 3	1.8853
3-S2	3.3036
3-S3	5.2646
3-S2-4	1.8560

Current IRI Values (IRI_c)

The following three current riding qualities (before the initial maintenance action is carried out) were considered in the analysis: IRI_c = 4, 7 and 10 (m/km).

Initial IRI (IRI_i)

It was assumed that the maintenance actions will take the section riding quality up to an initial IRI (IRIi) equal to 2 (at the beginning of any performance period).

Terminal IRI Values (IRI_t)

The following three terminal maximum allowable IRI values (IRI_t) were considered in the analysis: 3, 5 and 7 (m/km).

Performance Periods

As said earlier, two performance periods were taken into account in the analysis: 5 and 15 years. A "no-action" alternative was also considered.

METHODOLOGY

The full combination of the highway conditions indicated above results in a total number of 945 cases to analyze (5 structural sections x 7 traffic levels x 3 IRI_c values x 3 IRI_t values x 3 maintenance alternatives). However, some of the 35 combinations of the 5 structural sections and the 7 traffic levels do not actually happen in Mexican roads. For example, there is practically no a case of a type I section carrying an AADT higher than 5000 vpd; likewise, there is hardly a case of a type V section carrying an AADT lower than 5000 vpd. For this reason, only the 22 combinations of structural section and AADT in Table 5 were taken into account (in Table 5, the 22 considered combinations are indicated with an "X"); this reduced the total number of cases to analyze to 594.

For all cases considered, the specific action required to take the segment to an initial riding quality and that it thenceforth follows the desired performance profile, was determined according to the AASHTO method (3). This method allows evaluation of the existing pavement remaining life and by how much the present structural number should grow to meet the case performance requirements. The maintenance actions obtained for the different cases were basically of the following two types: the placement of asphaltic concrete (AC) overlays on the existing pavement (for most maintenance alternatives based on 5 year performance periods) and the partial or complete pavement reconstruction (for most maintenance alternatives based on a 15-year performance period). Based on the solutions obtained, the corresponding construction costs were computed.

As mentioned earlier, the following three costs per kilometer of road section were calculated for each case, during the 15-year analysis period:

- The maintenance cost, which for the 15-year performance period alternatives includes only the initial construction cost and which for the 5 year performance period alternatives includes the initial construction cost and the rehabilitation costs incurred in years 5 and 10 (discounting these two latter costs at an assumed 12 percent annual discount rate).

- The vehicle operating cost (VOC) generated during the 15 year analysis period, per kilometer of highway segment. For each particular year of the analysis period, the annual VOC was calculated from the annual traffic flow rate of the year considered (forecasted based on the current AADT and the traffic growth rate), the traffic composition, the pavement average IRI for the year considered (predicted from the AASHTO performance model) and VOC information for the different vehicle types as a function of the surface IRI; this latter information already exists for the case of Mexico (4,5). The VOC values for all the 15 years were then discounted at a 12 percent annual discount rate and accumulated to obtain the desired VOC for the analysis period.

- The total cost or the sum of the present worth value of the previous two cost types for the analysis period.

Next, several of the most relevant results from the analyzed cases are described.

TABLE 5. Combinations of Structural Section and AADT Considered

SECTION TYPE	CURRENT AADT						
	500	1000	3000	5000	10000	15000	20000
	(T1)	(T2)	(T3)	(T4)	(T5)	(T6)	(T7)
I	X	X	X	X			
II	X	X	X	X	X		
III		X	X	X	X	X	
IV				X	X	X	X
V				X	X	X	X

RELEVANT RESULTS

Effect of IRI_c on Total Cost

Figures 2.a and 2.b depict the trend of total cost (maintenance costs + VOC's

during the analysis period) versus IRI_c for structural section III and AADT = 15000 and for structural section I and AADT = 500, respectively. Each of these figures show the lines corresponding to the 6 combinations of the 3 terminal IRI_t and the 2 performance periods considered. Similar trends were observed in all similar figures generated for other combinations of structural section and current AADT.

The first result that may be evidenced from the former figures is that total cost is practically unaffected by the pavement current riding quality (IRI_c); this factor affects the cost of the initial maintenance action, mainly when the solution is overlay placement, but even in these cases, its impact on the total cost during the entire analysis period is practically irrelevant. On the other hand, the traffic level and the existing pavement structural strength (current structural number) did show a significant influence on total cost. In some way, these results indicate that, in assessing a segment's present condition and the maintenance action it needs, its structural strength is more relevant than its surface condition.

Another result that is evident from the previous figures is that, for low traffic roads (Figure 2.b), the lowest cost maintenance strategy consists in allowing the road to deteriorate up to a quite considerable level (IRI_t = 7, in Figure 2.b); in addition, the longer performance periods are more economical (15 years, in Figure 2.b). Alternatively, for high traffic roads (Figure 2.a), the lowest cost strategy consists in preventing that the pavement wears out beyond a quite good riding quality level (IRI_t = 3, in Figure 2.a); for these highways, to a greater extent than for low traffic roads, the longer performance periods are also more economical. As can be observed, the obtained results favor the longer performance periods, even though the extra (user) costs produced by traffic delays and accidents due to frequent maintenance works were not taken into account.

Experienced engineers usually have a good qualitative feeling for most of the previous results; the main contribution of this study is to quantify such feelings.

Figure 2a. Total cost vs IIRC

Figure 2b. Total cost vs IIRc

Effect of IRI_t on Total Cost

The thin lines in Figures 3.a and 3.b depict the relationship between total cost and IRI_t (for each of the combinations of structural section and current AADT considered) for the 5 and the 15 year performance periods, respectively. In these figures, a series of thicker lines are also shown, which join the lowest cost points for each section. For example, the thicker line named "SECTION I" in Figure 3.a indicates that, for current AADT's equal or above. 3000, the preferable strategy consists in preventing that the pavement wears out beyond an IRI_t = 3; moreover, for current AADT's equal or below 1000, the lowest cost is obtained for an IRI_t = 7. It should be noticed that information is not provided, in any of the figures, for AADT's above 5000, as for these cases the lowest cost was also obtained for an IRI_t = 3. Figure 3.b (15 year performance period) leads to similar results than Figure 3.a (5 year performance period), but total costs in the latter are slightly higher than in the former.

Figure 3a. Total cost vs IIRt

Figure 3b. Total cost vs IIRt

More specifically, the following recommendations regarding minimum riding qualities may be established based on the analysis carried out:

- The riding quality of most economically important highways (current AADT equal or above 3000) should not drop below an $IRI_t = 3$.

- For roads of low economic importance (current AADT equal or below 500), the riding quality should not drop below an $IRI_t = 7$.

- For roads of intermediate economic importance (current AADT greater than 500 and lower than 3000), the minimum allowable riding quality should lie between the

former two values; for example: IRI_t = 6 for a current AADT between 500 and 1500, IRI_t = 5 for a current AADT between 1500 and 2000, and IRI_t = 4 for a current AADT between 2000 and 3000.

Obviously, the chances of reaching the previous riding quality goals will always be subjected to availability of resources. In general, it will be practically impossible that the previous goals may be reached simultaneously in all the highway network sections, due to the natural problem of limited resources.

The riding quality goals established above will lead to invest more of the available maintenance resources on the most economically important network segments (those carrying the highest traffic flow rates or the most valuable freight flows).

Maintenance Cost

Figures 4.a to 4.e depict the trend of maintenance cost versus IRI_t (for the traffic levels and the two performance periods considered) for each of the structural sections, respectively. In general, these figures support the idea that, in order to have lower maintenance costs, roads should be provided with a strong initial pavement structure. It may also be observed that for the optimal IRI_t values obtained earlier for each case, the 15-year performance period leads to the lowest maintenance cost, in practically all the cases.

Figure 4a. Maintenance cost vs IRIt

Figure 4b. Maintenance cost vs IRIt

Figure 4c. Maintenance cost vs IRIt

Figure 4d. Maintenance cost vs IRIt

Figure 4e. Maintenance cost vs IRIt

Vehicle Operating Cost

Figure 5 shows the relationship between VOC and current AADT for the 3 IRI_t and the 2 performance periods considered. This figure is valid for all structural sections as, for a specific road segment; VOC basically depends on the segment's riding quality and the traffic level. It can be observed that the 5-year performance period alternatives lead to a higher VOC than the 15-year alternatives. Also, it is evident that the allowed IRI_t has a very significant impact on VOC (this variable decreases by about 20% if IRI_t decreases from 7 to 3). The thicker line in Figure 5 depicts the VOC versus current AADT trend, for the "non-action" maintenance alternative. It may be noticed that such a strategy leads to much higher VOC's, as a result of a much poorer surface riding quality.

Figure 5. Vehicle operating cost vs current AADT

CONCLUSIONS

This work proves, quantitatively, that the preferable maintenance strategy for the most economically important highways consists in providing them with a strong initial pavement structure, which leads to avoid frequent and important maintenance actions; also, the surface of these roads should permanently be above a quite high minimum riding quality level. Moreover, for low economic importance roads, the preferable strategy may consist in providing them with a weaker initial pavement structure, which requires more frequent maintenance actions; the minimum riding quality for these roads may also be lower. These sorts of considerations are the ones that justify the construction of rigid pavements on

the most economically important national road corridors.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to express their sincere gratitude to the Mexican Transportation Institute, of which they are part, for giving them the opportunity of carrying out this work.

REFERENCES

1. A. Mendoza and A. Cadena. Weight and Dimensions Characteristics of the Mexican Freight Vehicles. Survey Stations Installed During 1991 (in Spanish). Technical Document No. 9, Mexican Institute of Transportation, Querétaro, México, 1992.
2. A. Rico, A. Mendoza, E, Mayoral and G. Durán. Economic Evaluation of Rehabilitation Strategies for Mexican Roads (in Spanish). Technical Publication No. 55, Mexican Transportation Institute, Querétaro, México, 1995.
3. AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Washington, D.C., 1986.
4. R. Aguerrebere and F. Cepeda. The Effect of Highway Geometric Design Elements on Vehicle Operating Costs (in Spanish). Technical Publication No. 20, Mexican Transportation Institute, Querétaro, México, 1991.
5. R. Aguerrebere and F. Cepeda. The Effect of Highway Roughness on Vehicle Operating Costs (in Spanish). Technical Publication No. 30, Mexican Transportation Institute, Querétaro, México, 1991.

6 ARTÍCULOS SOBRE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

IDEAS SOBRE LA ADECUACIÓN DE TECNOLOGÍAS EXTRANJERAS EN EL CAMPO DE LA INGENIERÍA CIVIL**

Alfonso Rico Rodríguez

INTRODUCCIÓN

No tengo más remedio que comenzar esta intervención con una reflexión de carácter personal, que me permita compartir con los presentes el sentimiento que en mí causa la trascendencia de este momento que ustedes me han obligado a vivir. El marco emocionante de este edificio consagrado, en el cual tuve la suerte de formarme como ingeniero, la imponente presencia de esta Academia de Ingeniería ahora reunida para escucharme y el hecho mismo de que ustedes me hayan considerado digno de compartir su ambiente, tienen que producir en mí sentimientos no difíciles de imaginar, que han de ser compartidos, so pena de crear niveles de intensidad emocional que los haga de difícil control. Confieso a ustedes que no puedo contemplar sin alborozo el camino recorrido desde que entré por primera vez en esta casa, sin amigos ni antecedentes, hasta este momento en que la máxima Institución intelectual de mi profesión me hace, supongo que no con mucha justicia, pero si con mucha cordialidad y amistoso espíritu, uno de los suyos. A estos sentimientos agradables se sobrepone sin embargo el sentimiento empequeñecedor y frustrante de lo poco que yo he sido capaz de hacer para retribuir tales actitudes y para devolver a esta sociedad que me ha cobijado, siquiera una mínima parte de los favores que de ella he recibido. Y este sentimiento se agrava por el hecho de que no puedo alegar ignorancia o indiferencia respecto a los problemas que siento y percibo a mi alrededor, que aquejan a la profesión en que me desenvuelvo y que, lógicamente, debería contribuir a resolver en mucho mayor medida de lo que he sido capaz de hacer.

Con estas emociones encontradas, quiero expresar a todos ustedes mi gratitud personal por esta ocasión con que me regalan.

***

**Rico, A. (¿?). Ideas sobre la adecuación de tecnologías extranjeras en el campo de la ingeniería civil. Referencia desconocida.

Parece ser un hecho que en el mundo en que se vive prevalece una visión económica de muchos de los problemas sociales que toca enfrentar a esta generación. También parece que debemos prepararnos para que esta concepción economista del mundo forme parte fundamental de la herencia que habremos de dejar a las generaciones que inmediatamente nos sucedan. En lo personal no considero libre de crítica, ni mucho menos, esta concepción económica de la vida social, pero los hechos están ahí y han de ser afrontados con realismo, más no con conformidad total. Dentro de esta concepción, el papel del ingeniero se considera fundamentalmente en un marco económico, dentro del cual el frío análisis de una relación beneficio-costo preside la bondad de su valor y proporciona las normas de decisión para elegir entre las alternativas que puedan ocurrírsele. En un marco más general, se utiliza la economía para definir las naciones y, cuando se habla de países en vías de desarrollo, la connotación económica está a flor de piel.

Sin embargo, parece también cierto que este modo de pensar no siempre está en consonancia con el desarrollo de los acontecimientos. De hecho, a veces se ocurre que está en franca contradicción con ellos. Si las causas del atraso relativo de inmensos grupos humanos, entre los que se cuenta la Latinoamérica en que nosotros actuamos, son de naturaleza esencialmente económica y la emergencia de esos grupos humanos ha de estar ligada a la corrección o al desarrollo de factores de este orden, en forma exclusiva o fundamental, difícilmente puede explicarse el rapidísimo resurgimiento de varios de los países más flagelados por la Segunda Guerra Mundial, a partir de niveles económicos más bajos, a causa de la destrucción material y el diezmado de las poblaciones. La historia enseña que la degradación y el derrumbe de muchos imperios consagrados ocurrieron en los momentos en que los factores económicos eran más favorables que nunca y que la aparición de nuevas naciones o grupos humanos al desempeño de un papel estelar en el desarrollo humano ocurrió a partir de sociedades de vida económica raquítica y desorganizada.

Pienso que el concepto subdesarrollo económico debe ser sustituido por el concepto de subdesarrollo intelectual o cultural, que es el que realmente juega papel. Los países que se levantaron después de la Segunda Guerra Mundial poseían una infraestructura intelectual que fue capaz de modificar unas condiciones económicas trágicamente desfavorables en muy breve tiempo, aprovechando muy diversas coyunturas. Es urgente que entendamos, los que tenemos la responsabilidad de actuar en los países que se dicen aún no desarrollados, que el conquistador del yelmo y espada ha sido sustituido por el investigador de computadora. Que hoy son los niveles de tecnología y desarrollo científico los que condicionan la preponderancia de unos grupos humanos sobre otros o la posibilidad de que un país con niveles de vida inadecuados, se levante y alcance otros mejores. Más que nunca, el progreso está ligado al desarrollo del

pensamiento científico y, quizás aún en mayor grado, al de una tecnología nacional que permita a cada país sacar de la variada naturaleza que le haya tocado dominar y de sus peculiaridades condiciones, el provecho organizado sin el que no existe el complejo desarrollo moderno. No hay dos países iguales; cada uno enfrenta diferentes retos de geografía, clima, recursos por explotar, hábitos humanos, etc. Así, cada país ha de encontrar su propia manera de impulsar su desarrollo, adecuando a sus condiciones específicas los logros del pensamiento de sus hijos y los de todos los hombres, pues el pensamiento científico y aún el tecnológico tienen muchas características universales. Este es el problema de la adecuación de la tecnología. Y es, claro se ve, un problema cuya resolución es esencial.

En lo que respecta a los importantes problemas de ingeniería civil, que tanto contribuyen a conformar el marco del desarrollo, compete a los ingenieros civiles dar ese marco nacional a las contribuciones tecnológicas nuestras y a las de todos los ingenieros del mundo, en lo que tengan de aprovechables para nuestros fines nacionales. Esta idea justifica sobradamente el que hoy estemos hablando de adecuación de tecnologías.

Y es que la tarea que tenemos por delante, si hemos de cumplir el sagrado compromiso social que tenemos contraído con nuestros pueblos, es inmensa en nuestras sociedades tan necesitadas de progreso. Considerando el marco nacional y tomando como fin de nuestra visión en perspectiva el legendario, pero ya próximo, año 2000, los estudios realizados citados alguna vez por Javier Jiménez Espriú, muestran que, teniendo en cuenta el probable desarrollo de nuestra población, en los próximos veinte años hemos de construir:

- Tanta vivienda y edificación como hemos construido hasta el presente en toda nuestra historia, y ello sin contar la debida reconstrucción y mantenimiento que demandará lo que hoy tenemos. Con lo anterior no habremos mejorado sustancialmente el actual déficit porcentual; simplemente, no habrá empeorado.
- Instalaciones para la generación de energía eléctrica que multipliquen por siete la producción actual, y ello para alcanzar los niveles de consumo que Francia tenía en 1974.
- Instalaciones de agua potable equivalente a cuatro veces el volumen actual e instalaciones de alcantarillado equivalentes a ocho veces las hoy existentes, para lograr que en el año 2000 el 90% de los mexicanos gocen de estos fundamentales servicios.
- La incorporación anual de medio millón de hectáreas de riego a la producción agrícola, con todo lo que esto significa en obras hidráulicas, transformación y cuidado de los suelos, uso de fertilizantes, de maquinarias, etc.
- La generación de seis veces más energía de la que hoy consumimos.
- La multiplicación de nuestra actual producción industrial por diez, con el

correspondiente énfasis en la creación de la industria pesada y de la industria de desarrollo de la capacidad de decisión, que hoy son prácticamente inexistentes.
- Finalmente, la red de transportes que garantice toda la compleja actividad anterior.

Este es el reto que México habrá de resolver con sus matices particulares, so pena de caer en la imitación, en la ineficiencia y en el sacrificio de los valores propios.

I. DEL CONOCIMIENTO: OBSERVACIÓN Y RACIOCINIO

Es seguramente una afirmación válida decir que el hombre se interesó por el Universo que lo rodea y sus fenómenos, desde el mismo momento en que conquistó la erección sobre dos pies y los rudimentos de una fuerza mental. Es también evidente que su contacto con ese mundo fueron sus sentidos. De ellos, la vista es con mucho el más potente y de mayor alcance; el oído y el tacto resultan circunscritos a entornos más limitados, casi personales y se prestan menos a la observación en profundidad. A esto obedece, sin duda, que el desarrollo ulterior de la ciencia y de la ciencia física en particular, sea fundamentalmente un desarrollo "óptico". Constituye un divertido ejercicio mental el imaginar cómo sería la ciencia del siglo XX si la raza humana hubiera sido ciega desde su origen; esa física "Acústica" y Táctil falta por escribirse, pero quizá no sería inútil desde un punto de vista filosófico.

También tuvo que ocurrir desde un principio que la mente humana tratara de clasificar, jerarquizar, relacionar y explicar los fenómenos objetivos de los que era informada por los sentidos. De esta manera, el binomio observación–raciocinio debió plantearse ya en el más remoto pasado del hombre, como la fuente esencial y única de su relación con el Universo y de su conocimiento del mismo.

Este binomio es por supuesto activo y dinámico. La mente humana no sólo tiene la facultad de interpretar información, sino que la almacena para uso posterior. De esta manera el raciocinio, combinado con la memoria, por otra parte, incrementa incansablemente el acervo de datos proporcionados a la mente. Este proceso dinámico es a la vez el motor y el origen del desarrollo humano y del conocimiento laboriosamente acumulado. La comunicación oral y la escritura son catalizadores del proceso.

II. CIENCIA, TECNOLOGÍA. DEFINICIONES

Naturalmente, la mente humana tiene también cierta capacidad de correlación y en el proceso observación-raciocinio pronto descubrió que la información del Universo exterior era susceptible de clasificarse y agruparse, por así decirlo, en grupos familiares, de manera que ciertos hechos objetivos poseían características comunes, pareciendo ser manifestaciones de causas más profundas de naturaleza

más general.

Hay sobrados ejemplos de lo anterior. Hoy se sabe que los primeros y más rudimentarios astrónomos hindúes o chinos comprendieron que los eclipses lunares y las fases de la luna se relacionaban de alguna manera con los movimientos de la Tierra y buscaron y en algunos casos encontraron, esquemas más generales que, ampliando el cuadro, proporcionaran mecanismos más completos. Otro ejemplo muy claro de la tendencia a la relación de fenómenos y a la generalización del conocimiento lo constituye la obra de Sir Isaac Newton en el terreno de la gravitación universal. Los trabajos de Galileo habían aclarado muchos aspectos de la caída de los cuerpos pesados sobre la superficie del planeta, estableciendo leyes cuantitativas para calcular la velocidad de caída o para relacionar el tiempo transcurrido con el camino recorrido. Por su parte, el famoso astrónomo Tycho Brahe y su discípulo Kepler habían estudiado minuciosamente el movimiento de los cuerpos celestes del sistema solar que entonces estaban al alcance de los astrónomos; como consecuencia de estos estudios, se habían establecido una serie de leyes cuantitativas que explicaban muy bien los movimientos observados y que permitían, inclusive, profetizar la posición de cualquiera de los cuerpos celestes en el tiempo por venir. La labor de Newton fue una síntesis genial, al percibir que el movimiento de los cuerpos celestes y el de los cuerpos graves sobre la superficie de la Tierra podían considerarse manifestaciones diferentes de un mismo fenómeno básico. Introduciendo el concepto de fuerza gravitacional, en una forma que esencialmente perdura hasta nuestros días, Newton pudo hacer un formulamiento de la génesis de ambos tipos de fenómenos de carácter mucho más general, que los comprende a ambos como casos particulares.

En el ejemplo anterior está incluida la definición actual de Ciencia o de actividad científica. Cuando un fenómeno llama la atención de la mente humana, ésta se fija en él y estudia sus detalles; si hay éxito, quizá se llegará a entender como ocurre el fenómeno particular y hasta es posible que se lleguen a formular las leyes que rigen su evolución. Esto es conocimiento observacional del universo y sus avatares, pero no es Ciencia. Sin embargo, cuando este fenómeno se relaciona con el conjunto de sus afines y se logra la formulación de un cuerpo de doctrina más general, que ya no explica un fenómeno particular y concreto, sino todos los de esa clase, entonces, por el hecho de esa generalización del conocimiento, de esa universalidad de la formulación que se haya establecido, se dice que se ha hecho Ciencia. Esta es la característica esencial del conocimiento científico, la que lo define: El ser general, el no referirse a un caso particular, sino el explicar o comprender a todos los fenómenos de una clase, relacionándolos con sus afines y con el conocimiento anterior.

La formulación de un aspecto del conocimiento científico que proporcione una explicación general del comportamiento de la Naturaleza en un cierto fenómeno es lo que se denomina una Teoría. La Teoría General de la Gravitación Universal fue

la síntesis de Newton a los trabajos de Galileo y de Kepler, en el ejemplo atrás presentado.

Frecuentemente, por su mismo carácter de generalidad a ella inherente, una Teoría precisa formularse en términos abstractos, independientes de las particularidades de un caso específico. Es sabido que las ciencias matemáticas son la respuesta de la mente humana a la necesidad de hacer planteamientos cuantitativos abstractos, válidos con independencia de una realidad concreta específica. Así, resulta natural que las ciencias matemáticas sean el arma utilizada para la formulación de las teorías físicas.

Es bien sabido que cuando el hombre fue comprendiendo al Universo y a los fenómenos que en él ocurren, encontrándoles explicación y conociendo su desarrollo, fue también capaz de utilizar muchos de esos fenómenos en provecho propio. El conocimiento de la naturaleza lo llevó a la capacidad de manejar algunas de sus fuerzas para mejorar la dura lucha que ha de librar continuamente como especie. A partir del conocimiento fundamental y general, es decir, a partir del conocimiento teórico, se impone para dominar las fuerzas naturales y encauzarlas en provecho propio, implementar una serie de acciones que conduzcan a esas fuerzas naturales por los debidos causes. Esa implementación es lo que se conoce con el nombre de Tecnología.

La Ciencia es, pues, conocimiento general con la mirada puesta en la universalidad. La Tecnología es aplicación de ese conocimiento a acciones y mecanismos que permitan explotarlo en beneficio de la especie humana.

Naturalmente que en la actualidad los esquemas anteriores no son tan simples. El siglo XX, especialmente, trajo consigo un desarrollo tecnológico tal que la Tecnología se complicó en un grado extraordinario y aparecieron continuamente problemas estrictamente tecnológicos de gran complicación y que hubieron de ser estudiados en sí mismos con gran atención y profundidad, dando lugar a soluciones cada vez más refinadas y en las que el carácter de generalidad y la tendencia a la universalidad fueron y son frecuentes. En otras palabras, el desarrollo estrictamente tecnológico produce conocimiento científico y contribuye con él. La Tecnología retroalimenta a la Ciencia y se enlaza con ella, por lo que hoy resulta prácticamente imposible establecer una nítida frontera entre ambas.

III. TEORÍA “PURA” Y TEORÍA “APLICABLE”

Frecuentemente se plantea el conflicto entre conceptos de teoría “pura” y teoría “aplicable”. En muchos círculos, la primera es mal considerada, juzgándosela casi como ejercicio mental producto de inteligencias aisladas, que no se pliegan a compartir la lucha diaria del hombre por mejorar las perspectivas de vida de sus semejantes. Por el contrario, la segunda, la “aplicable”, suele verse con la simpatía que despierta la solidaridad humana y la integración de la inteligencia al esfuerzo común. En este juicio que contrapone una forma de logro científico a otra,

interviene en nuestra época, a no dudarlo, ese regusto a demagogia que hoy contamina muchos aspectos de nuestra vida.

En rigor, pienso que no puede hablarse de dualidad entre Ciencia o Teoría “puras” y “aplicables”. La distinción es artificial y, en muchos casos, simplemente temporal. Es teoría “pura” aquella a la que no se encuentra aplicación por el momento, pero a la que se le encontrará mañana, si es Teoría buena.

En el prólogo de uno de sus libros fundamentales, el Prof. Grassman dice de un capítulo de la obra que: “trata de aspectos teóricos muy interesantes y bellos, que tienen la virtud adicional de no servir para nada”. Unos años más tarde, con base en el material contenido en ese capítulo pudo desarrollarse la teoría General de Tensores, sin la cual la Física Moderna sería inconcebible.

IV. TÉCNICA Y TECNOLOGÍA

Cuando el conocimiento científico-teórico de la naturaleza es suficientemente digerido, jamás falta un ingenio capaz de encontrar una manera, o muchas, de utilizarlo para obtener beneficios que se reflejen en la mejoría del nivel de vida diario o en la comodidad de la vida. En otras palabras, el conocimiento científico-teórico bien asimilado sigue inexorablemente el desarrollo tecnológico. Este se nutre de un conjunto de técnicas, pues estas son las acciones o planteamientos particulares que permiten obtener una ventaja práctica de un conocimiento teórico previo.

V. ESTRUCTURA DE LA CIENCIA

Toda teoría consta de tres partes esenciales. La primera es el conjunto de sus ecuaciones, que son los modelos físico-matemáticos que describen el comportamiento general que se analiza. Estas ecuaciones contienen presupuestos semánticos que, por definición, no pueden verificarse dentro del marco de la propia teoría. Espacio, tiempo, fuerza, etc. son algunos de estos presupuestos familiares en la Mecánica. El segundo ingrediente de una teoría está constituido por el conjunto de reglas lógicas que indiquen a qué transformaciones se pueden someter las ecuaciones sin alterar su significado. En Física y por ende en Ingeniería, este conjunto de reglas lógicas suele estar fundamentalmente proporcionado por el Álgebra y la Geometría. Sin embargo, para la correcta formulación de una teoría física con verdadero carácter científico es preciso añadir un tercer conjunto de reglas de juego, las denominadas reglas semánticas por Carnap, que definen el significado físico de las palabras o giros de que la teoría ha de hacer uso. Se ha dicho que tales reglas semánticas han de circunscribir a las palabras usadas en su uso cotidiano, sin aplicarlas jamás en alcances más amplios, que podrían llevar a los conceptos fuera del alcance de la experiencia observacional, que es la base necesaria de la teoría que se plantee.

Suele decirse que la confirmación experimental es la prueba de fuego definitiva y

final del conocimiento científico o de una teoría física. Sin embargo, esta afirmación tan ampliamente difundida, merece reflexión y discusión. Cuando no hay discrepancia con el experimento, lo único que puede decirse de un sistema científico formado por los tres tipos de ingredientes mencionados, es que queda confirmado como conjunto, pero no que las ecuaciones utilizadas para la modelación del esquema, las leyes lógicas o las leyes semánticas hayan sido verificadas por separado. Recuérdese el sencillo y penetrante ejemplo planteado alguna vez por Bertrand Russell. Partiendo del supuesto de que el pan está hecho de piedra y de que la piedra es alimenticia, se infiere lógicamente que el pan es alimenticio, lo cual queda confirmado por el experimento. Ejemplos menos sencillos de aceptación injusta de afirmaciones científicas, basadas en su comprobación experimental, pueden encontrarse con frecuencia en la historia de la física y en la de la Ingeniería, planteándose entonces la inquietante cuestión de cuanto del conocimiento científico que hoy aceptamos pasará alguna vez a la lista de esos ejemplos.

Lo que parece que sucede es que dado un conjunto de ecuaciones de carácter descriptivo es con mucha frecuencia posible agregarles un grupo de leyes de lógica y de leyes semánticas que hagan que el conjunto sea verificable por el experimento, con independencia del valor intrínseco de las ecuaciones de partida.

VI. EL PANORAMA TEÓRICO DE LA INGENIERÍA CIVIL

La Ingeniería Civil debe agruparse con el conocimiento tecnológico. Es evidentemente una de las ramas de la Física Aplicada y el fundamento último de su existencia es la compresión y utilización de un conjunto de fenómenos y procesos naturales con ciertas características comunes. La importancia práctica de la Ingeniería Civil y su impacto social le han hecho un foco de atención importante en el transcurso de la revolución tecnológica que viene teniendo lugar desde la segunda mitad del siglo XIX. Como consecuencia, en los últimos 100 años se ha dedicado mucho esfuerzo y mucho dinero al desarrollo de la investigación general en el campo de la Ingeniería Civil y a la ejecución de grandes obras. Esto ha llevado, aunque no en la medida en que fuera de desear, a una compresión teórica de muchos fenómenos de interés para el ingeniero civil y, en general, al desarrollo parcial y ciertamente no uniforme, de una teoría propia en esta actividad tecnológica, teoría que retroalimenta a los avances de la Física General y es retroalimentada por ellos. Este cuerpo teórico se ha basado, como es usual, en el desarrollo de modelos físicos de los fenómenos, expresados con las matemáticas como herramienta para el manejo de las abstracciones y las generalizaciones; en este sentido, las matemáticas se han transformado en el arma típica del ingeniero civil en su búsqueda de modelos teóricos. Esta situación ha llevado un poco a la visión de un ingeniero-matemático, en detrimento del ingeniero-físico; por ejemplo, en el desarrollo de programas de estudios en escuelas y facultades de ingeniería. Probablemente, esto significa la confusión del fin con los medios y parece cierto que resulta urgente, en este momento, el retorno

a la Física como base del conocimiento ingenieril.

La Física General ha contribuido al sustento teórico de la Ingeniería Civil a través de muchas disciplinas, entre las que destacan la Mecánica de Sólidos, la Mecánica de Fluidos y la Termodinámica. Como se ha dicho, el pensamiento de muchos ingenieros ha enriquecido, a su vez, a esas disciplinas con estudios motivados por problemas estrictamente ingenieriles.

La Mecánica General y la Mecánica de los Sólidos han contribuido a la Teoría de la Ingeniería Civil principalmente a través de sus pesquisas en torno a las relaciones entre los efectos externos a un cuerpo y el movimiento de fuerzas y en torno al efecto de fuerzas exteriores en el interior de los sólidos. En este último aspecto se han desarrollado los conceptos de esfuerzo y de deformación y han aparecido ramas muy completas de la Mecánica Aplicada, que estudian estos problemas bajo diferentes condiciones, de las que las más usadas por los ingenieros han sido las teorías de Elasticidad y de la Plasticidad.

La Mecánica de los Fluidos ha venido siendo otra herramienta fundamental en el desarrollo de la Ingeniería Civil, especialmente a partir del momento en que la búsqueda del alimento y la necesidad intensiva de energía han producido la preocupación por los aprovechamientos hidráulicos que hoy nos es familiar.

Aun cuando esto no es universalmente reconocido, la disciplina física que más a fondo afecta el conocimiento teórico del ingeniero civil y que más puede enriquecerlo, es probablemente la Termodinámica. Esta capital rama de la Física analiza, como es sabido, las transformaciones de la energía y las leyes que las regulan. Hoy se abre paso cada vez con más fuerza una concepción del ingeniero, según la que éste es el hombre que utiliza los procesos naturales de transformación de energía o provoca otros nuevos, en su beneficio. Es obvio que en esta concepción, la Termodinámica ha de ser su punto de apoyo principal. Hasta cierto punto, esto no ha ocurrido en los últimos 50 años y hoy la Ingeniería Civil quizá esté dispuesta a reconocer de mejor grado una deuda mayor con la Mecánica General y con la Mecánica Aplicada que con la Termodinámica, pero esto es quizá debido a que el desarrollo teórico de la Ingeniería Civil ha sido excesivamente “Tecnológico”, antes que verdaderamente fundamental; no sería extraño que si el futuro deparara a la Ingeniería Civil un panorama muy brillante, la Termodinámica ocupará un papel cada vez más destacado como base y sustentación de su conocimiento fundamental.

Debe reconocerse, con la modestia del caso, que hasta el momento presente, los fenómenos ingenieriles han resultado ser de una complicación muy superior a la capacidad del ingeniero para entenderlos a fondo e interpretarlos y dominarlos en sus aspectos más profundos. Este hecho innegable se refleja de un modo muy especial en las teorías de la Mecánica Aplicada con que hoy es posible contar. Tanto la teoría de la Elasticidad como la teoría de la Plasticidad se han tenido que desarrollar a partir de hipótesis simplificativas que fueron permitiendo su

crecimiento. Esto es, naturalmente, un hecho común a todo cuerpo teórico. El Universo siempre excede en complejidad a la capacidad mental del hombre y todo esquema teórico ha de acogerse a hipótesis simplificativas, operativas o de restricción de variables que esquematizan los fenómenos y significan a fin de cuentas, un cierto alejamiento de una realidad más compleja. Lo que ha sucedido con la Mecánica Aplicada es que este alejamiento se antoja con frecuencia excesivo y el ingeniero llega a preguntarse si los materiales "elásticos" o "plásticos" de los libros tienen alguna semejanza utilizable en la práctica con los materiales reales que el ingeniero encuentra en las obras. Se ha dicho que hay dos concretos; uno de ellos está en los libros y es un material disciplinado, que tolera que sobre él se escriban ecuaciones, en tanto que el otro actúa en las obras y muestra con cierta frecuencia un desconocimiento casi total de las normas físico-matemáticas a las que supuestamente debiera ceñirse.

La interpretación de los fenómenos naturales que ocurren en el interior de los sólidos discretos hecha a la luz de la Elasticidad, de la Plasticidad o de otras teorías afines conduce, cuando hay éxito, al establecimiento de un modelo físico del fenómeno o familia de fenómenos en estudio, que rápidamente se transforma en un modelo físico-matemático cuando se le proporciona capacidad cuantitativa, vale decir potencialidad de cálculo. Obviamente este modelo está afectado de las hipótesis generales de la Teoría en que se base y de las hipótesis particulares que, dentro del cuerpo general de la doctrina, hayan tenido que hacerse para desarrollar el propio modelo. Todas esas hipótesis suponen una limitación en el campo de aplicabilidad del modelo, en su alcance, y en el grado de precisión con que puede aspirarse que represente al fenómeno representado. Es evidente que cuando el ingeniero logra una buena representación modélica de un proceso importante, que represente a la realidad de ese proceso de un modo aceptable para sus fines, habrá logrado resolver sus problemas profesionales de un modo que ningún otro procedimiento podría igualar. Con lápiz y papel y una simple regla de cálculo o una computadora dispondrá de la herramienta para reproducir el proceso a voluntad, analizarlo desde todos los ángulos y calcular en él lo que deseé. Esa es la tremenda potencia del conocimiento teórico. Iguala a un joven ingeniero con un colega cargado de desilusiones y de experiencia; un joven calculista obtiene los mismos resultados que un Newton, al aplicar la ecuación apropiada.

VII. LA EXPERIMENTACIÓN EN LA INGENIERÍA

La deficiencia ocasional, desdichadamente frecuente, que el ingeniero encuentra en sus esquemas de conocimiento teórico, cuando se enfrenta a las realidades ineluctables de su quehacer diario, lo ha orillado a volver los ojos a otro modo reconocido y poderoso para adquirir conocimiento de las realidades naturales. Este es el experimento. El desarrollo de la Ingeniería Civil en los 50 años últimos casi puede medirse por la aparición del laboratorio de ingeniería y por el auge de sus técnicas. Una prueba de laboratorio es la ocurrencia de fenómeno en estudio,

provocada a voluntad y en condiciones que, en principio, debieran ser controladas, dentro del marco propicio del laboratorio de ingeniería, apropiado para medir durante el suceso lo que convenga medir y pueda ser medido. Así presentadas las cosas, el laboratorio parece ser casi una fuente perfecta de conocimiento tecnológico. La realidad, empero, no es tan satisfactoria.

Otra vez, el ingeniero encuentra que la complejidad del proceso natural es excesiva para ser representada en todos sus detalles en el marco limitado del laboratorio. Así, algunas variables que juegan un papel en el proceso natural no pueden representarse en la prueba o están presentes de un modo incompleto y diferente a como actuarán en la obra real. En una prueba bien diseñada se aspira a que esas variables incontroladas o deficientemente actuantes, no sean esenciales para definir la marcha del proceso. Esta es con frecuencia una aspiración a la que puede darse un cumplimiento dudoso, especialmente en problemas de investigación experimental, en los que, por definición, no se conoce a fondo el problema que se investiga y, por ende, no puede garantizarse que las variables a que se concede insuficiente o ninguna atención no jueguen un papel vital en el desarrollo del fenómeno real, que no será reproducido por la prueba de laboratorio.

Cuando se estudiaban las propiedades fundamentales de los gases, fue relativamente fácil a Boyle plantear, experimentando, una relación entre el volumen ocupado y la presión soportada. Muy poco después, Charles, también con métodos experimentales, encontró la relación entre la presión y la temperatura del gas. Una sensación de tendencia a la simetría en el comportamiento natural hizo pensar a muchos físicos que, de un modo análogo, debía de existir una relación simple entre el volumen ocupado por el gas y su temperatura. Sin embargo, esta relación tardó largos años en encontrarse y los experimentos mostraban un comportamiento errático de los gases a este respecto; fue necesario que Gay-Lussac se percatara de que en todos los experimentos realizados para relacionar el volumen y la temperatura del gas se dejaba incontrolada a la presión. Siendo este parámetro mucho más influyente en el volumen que la propia temperatura y variando erráticamente durante los experimentos, los cambios de volumen por cambio de presión enmascaraban totalmente a los cambios de volumen por cambio de temperatura, produciendo resultados erráticos en la relación buscada. Fue necesario que Gay-Lussac controlara la presión durante los experimentos, lo que logró por el simple e ingenioso procedimiento muy repetido desde entonces, de obligarla a permanecer constante, para lograr obtener la hermosa ley que hoy lleva su nombre.

Hay otras muchas causas de desviación de resultados entre una prueba de laboratorio y un proceso natural de aquella aspire a representar. El tiempo es una, pues con frecuencia los procesos naturales ocurren en lapsos que resulta antieconómico o imposible reproducir. Otra y muy importante, suele ser la escala del fenómeno; los fenómenos naturales afectan masas de materiales que han de

ser reproducidas por pequeños especímenes, en los que, además del efecto evidente de escala, se presenta también el de fabricarlos reproduciendo el ser original y las propiedades de interés de los materiales representados. Las condiciones de carga y de deformación tampoco son en las pruebas de laboratorio frecuentemente iguales a las de sus prototipos naturales. De esta manera, las pruebas más representativas y mejor diseñadas adolecen de diferencias que a veces se saben importantes y otras veces no se sabe cuánto lo son, de representatividad. Añádase a ello el hecho de que, tras 50 años de utilización intensa del laboratorio en la Ingeniería, han aparecido muchas pruebas de uso frecuente y en cuyos resultados se fundamentan todos los días decisiones importantes, de las que se sabe a ciencia cierta que la representatividad del fenómeno ilustrado o del comportamiento que se estudie es deficiente o, simplemente muy mala. Muchas de estas pruebas han aparecido en épocas en que el conocimiento del momento se juzgó apropiadas y se han sostenido por tradición y por costumbre, apoyadas en falta de sentido crítico, mal que, justo es reconocerlo, nos aqueja con frecuencia a los ingenieros. Otras veces esas pruebas representan simplemente errores de apreciación.

Por una u otra causa la interpretación de toda investigación de laboratorio y de cada prueba en especial ha de correr en mayor o menor medida un riesgo, que se reconoce como de los más graves que es dado afrontar a un hombre de ciencia o a un técnico. Esta es la extrapolación experimental y consiste en extender a un determinado fenómeno o proceso natural o conjunto de ellos, conclusiones que han sido obtenidas de un experimento particular, realizado en condiciones específicas, sin duda no idénticas a lo representado. La extrapolación experimental constituye un peligro porque en el caso particular estudiado, nunca puede saberse con seguridad qué circunstancia esencial, que obrará en el prototipo, no ha sido convenientemente reproducida en el modelo experimental.

Recuérdese el caso del ingeniero que fue llamado por un importante fabricante de aeronaves a que resolviera el problema del desprendimiento de las alas, que un nuevo prototipo de avión sufría, con resultados catastróficos, en sus aterrizajes. La recomendación consistió en hacer una hilera de perforaciones en cada ala, en la sección en que ésta se une al fuselaje. Al preguntársele el porqué de tal recomendación, el ingeniero en cuestión respondió que el papel sanitario jamás se rompe por sus perforaciones, de donde se sigue que hacerlas refuerza las secciones. Este es un ejemplo de extrapolación experimental fundada en la ignorancia, pero debe recordarse que siempre que se hace extrapolación experimental en ingeniería, se ignora cuál va a ser el comportamiento del prototipo, que aún no existe, y muchas circunstancias de correlación entre prueba de laboratorio y obra.

Los recientes desarrollos de la tecnología de las grandes presas ofrecen numerosos ejemplos de los peligros de la extrapolación experimental.

Teniendo en cuenta las dificultades que a veces se presentan para correlacionar debidamente los resultados de laboratorio con el comportamiento de las obras y con la idea de acercarse más a la comprensión de lo que sucede en estas últimas, en épocas recientes se ha desarrollado extensivamente la instrumentación de prototipos. La tecnología actual permite disponer de muchos aparatos que, convenientemente colocados en el interior de una obra importante, proporcionan información sobre el comportamiento y la evolución de la misma durante su vida útil. Así como el laboratorio y sus técnicas representaron en su momento un gran avance en la búsqueda de objetividad, la instrumentación actual representa otro no menor y ya ha demostrado ser una fuente del mayor interés de información vital, retroalimentadora de teoría; sin embargo, claro es, la instrumentación tampoco está exenta de peligros, sobre todo emanantes de las dificultades y subjetividades de la interpretación que ha de hacerse de la información obtenida, del hecho de que no hay garantía de que dicha información sea la que refleje el comportamiento esencial y de algunos factores técnicos, que es de esperar mejoren con el tiempo.

La información experimental obtenida se utiliza hoy principalmente de tres formas. Se utiliza para la obtención de parámetros del comportamiento de los materiales, que introducidos en una teoría previamente elaborada, permiten efectuar cálculos útiles para la resolución de un problema específico. Una segunda utilización estriba en ir obteniendo conocimiento sobre los fenómenos estudiados, sobre el que pueden ir obteniéndose conclusiones de carácter general; de esta manera, la información experimental puede llegar a ser fuente de teoría.

Existe además, una tercera manera de utilizar la información experimental que el ingeniero va adquiriendo y que, por cierto, es de uso extraordinariamente frecuente en la Ingeniería actual. Se trata de correlacionar el comportamiento experimental referido a una tecnología de laboratorio, con el comportamiento observado y supuestamente satisfactorio de estructuras construidas, de manera que un cierto valor específico obtenido al aplicar la tecnología de laboratorio se intenta correlacionar inclusive con el nivel de excelencia del comportamiento de la estructura real.

La Ingeniería del presente está llena de ejemplos de correlaciones del estilo anterior. Las bondades de un concreto en una amplia gama de usos estructurales se intentan correlacionar con valores específicos del f'c, obtenidos sometiendo al concreto a una cierta manipulación de laboratorio. El comportamiento de una capa de suelo dentro de un pavimento se intenta correlacionar con el valor de una cierta manipulación de laboratorio, sea una prueba de penetración especial (V.R.S), sea una prueba de placa hecha en ciertas condiciones prefijadas, sea con el resultado de un cierto tipo de prueba triaxial, etc. Los ejemplos de este tipo de intentos son tan abundantes, que puede afirmarse que éste es el origen de una gran parte de las tecnologías de valuación y diseño que hoy se utilizan.

VIII. CORRELACIÓN ENTRE EXPERIMENTO Y COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

Es evidente que la metodología implícita en las correlaciones antes mencionadas no puede considerarse científica; vale decir, general o, lo que es lo mismo, independiente del caso particular, del lugar y de otros factores circunstanciales que ocurran en cada situación específica.

En primer lugar, la validez de la correlación estará fuertemente afectada por la representatividad de la prueba o manipulación de laboratorio a que se somete al material. Es dudoso que pueda aspirarse a una correlación adecuada entre el resultado de una prueba de laboratorio y el comportamiento de una estructura en el campo, si la prueba no maneja y relaciona convenientemente los factores esenciales de que vaya a depender el comportamiento de la obra. Claro está, que cuando se piensa en lo complejo que es el estudio del comportamiento de cualquier estructura en el campo y la enorme cantidad de factores que lo definen, seguramente no todos perfectamente justipreciados, se comprende que es tarea imposible encontrar una sola prueba de laboratorio que los refleja razonablemente a todos. De esta manera, la correlación tiene que estar condenada desde un principio, desde el punto de vista científico-teórico.

La base de una correlación como las mencionadas tendrá entonces que ser experimental y ahora el adjetivo experimental se toma en el sentido de la experiencia personal de quien o quienes intenten establecer la correlación. Si un grupo de personas que trabaja intensa y ordenadamente en un cierto campo de la Ingeniería, adquiere auténtica experiencia en dicho campo; es decir, llega a valuar subjetiva, pero racionalmente, cual es el comportamiento que se obtiene en obras reales en diferentes condiciones y con la gama de materiales que el arte del ingeniero juzgue utilizables para el caso y si ese mismo grupo utiliza como discriminador de criterio una prueba de laboratorio o un conjunto de ellas, será posible concebir que se llegue a desarrollar una sensibilidad a la cual es el nivel de comportamiento que puede esperarse que correspondan distintos valores concretos de la prueba o pruebas que se estén utilizando como discriminador. En este sentido, dicho discriminador se habrá convertido en un verdadero índice experimental, a cada uno de cuyos valores corresponde un nivel de comportamiento de campo. Es en este sentido en el que un grupo de ingenieros puede decir, por ejemplo que un cierto material, cuyo V.R.S. resultó de un determinado valor, ha de colocarse con un espesor de un cierto número de centímetros, para que esa capa funcione adecuadamente como subrasante, por decir algo, en un camino de determinadas características de tránsito y sujeto a una acción climática conocida.

Para que esta correlación pueda establecerse en forma confiable, parece que han de cumplirse las siguientes condiciones:

1. La prueba o pruebas que se utilicen como índice de experiencia han de ser

representativas del comportamiento estructural cuya calidad se desea garantizar. En otras palabras, han de manejarse en sus debidas proporciones los parámetros de que realmente depende el comportamiento estructural. Quizá deba comentarse que esta condición no siempre se cumple adecuadamente en las correlaciones de este estilo que los ingenieros tenemos actualmente en uso.

2. Que la experiencia del grupo que formula la correlación sea válida. Para ello no bastará una experiencia acogida al sentimiento, que tanto engaña, sino la que es producto de mediciones y comprobaciones de campo, bien interpretadas y analizadas discriminando cuidadosamente las circunstancias ambientales en que ocurre el comportamiento de la estructura.
3. Que la correlación sólo se use dentro de la situación específica en la que se obtuvo. Por ejemplo, si se han estudiado los comportamientos de estructuras reales en ciertas circunstancias, la correlación sólo será válida para estructuras en las que pueda garantizarse que concurran circunstancias análogas y, cuando haya diferencias, en las que pueda garantizarse que esas diferencias no significan cambios esenciales. La homologación de la correlación deberá también garantizarse en la prueba de laboratorio que se use como índice experimental; es decir, cuando dicha prueba se utilice para aplicar la correlación a un caso nuevo, deberá de hacerse exactamente de la misma manera en que se ejecutó cuando la correlación fue establecida.

IX. LA “ADAPTACIÓN” DE LA CIENCIA Y DEL CONOCIMIENTO TEÓRICO

Por su mismo carácter general, los logros del conocimiento que puedan considerarse “científicos” son independientes de los factores circunstanciales y aplicables en todo evento, a condición de mantenerse dentro del campo de aplicabilidad señalado por su hipótesis. Por ello, es justo decir que la Ciencia, independientemente de donde se produzca su avance, es patrimonio de toda la humanidad. La pura cuestión de “adaptar” Ciencia o teoría carece, así, de sentido. Las leyes de Newton o las de Einstein o la teoría de la consolidación de los suelos debida a Terzaghi no han de ser “adaptadas”.

X- LA “ADAPTACIÓN” DE LA TECNOLOGÍA EXPERIMENTAL Y DE LA TECNOLOGÍA DE CORRELACIÓN

La metodología ingenieril que proviene del conocimiento experimental y de la correlación de éste con el comportamiento observado de las obras realizadas está, por el contrario, altamente sujeta a factores circunstanciales, como se dijo y éstos pueden variar de uno a otro ambiente o de uno a otro país. De esta manera, una buena parte del conocimiento tecnológico que se maneja diariamente en las rutinas de diseño y construcción, que como se sabe procede de investigaciones experimentales y correlaciones hechas en otros países, ha de ser “adaptado”, para

las circunstancias propias. Esta adaptación tiene que hacerse en varios sentidos:

a) Adaptación a condiciones sociales.
   Como se sabe, es casi regla que las correlaciones experimentales de mayor utilización provengan de países cuyas condiciones sociales son bastante diferentes a las del propio, aunque naturalmente varíen de unos a otros. Las correlaciones experimentales tienden a producirse en los países de mayor avance tecnológico, lo que ocurre en los que son económicamente más poderosos. Esta regla general va en rigor contra la lógica de fondo, pues los países económicamente más débiles deberían de ser los más cuidadosos de su tecnología, pero el hecho es que las cosas suelen ocurrir como atrás quedó dicho.
   Así, muchos criterios ingenieriles, que generan normas técnicas de conducta y muchas correlaciones experimentales han de ser adaptados a las condiciones sociales propias. Un ejemplo bien conocido de lo anterior es el énfasis que en la utilización de la maquinaria hacen los países en que la mano de obra escasea: estos criterios han de ser modificados correspondientemente en aquellos otros que pasen por situaciones en que el desempleo constituya un problema social. Otro ejemplo se podría tener en políticas de planeación de consumo de energéticos, que provengan de países con uso extensivo de automóviles muy grandes y que deseen implementarse en naciones con utilización mucho más restringida de automóviles pequeños. Otro ejemplo en este mismo renglón de energéticos sería la adaptación de normas de uso de energía eléctrica en los países más ricos a otros más pobres, en que la vida comercial, la propaganda o simplemente los niveles de iluminación tuvieran un diferente estándar. Quizá los ejemplos más llamativos de las necesidades de adaptación a los factores sociales se tengan en problemas de vivienda, en donde las costumbres locales y el modo de vida de cada sociedad pueden ser muy diferentes. Los criterios de comodidad, confort y estética de la vida, obligatoriamente tan diferentes de unas naciones a otras, también suelen reflejarse mucho en las normas tecnológicas que provienen de otros países.
b) Adaptación de la tecnología a condiciones económicas
   Los factores económicos, tan diversos de uno a otro país, son otra fuente importante de necesidades de adaptación tecnológica. Ejemplo de ello lo son la tendencia a la mecanización de la construcción en los países de mano de obra cara y alto nivel industrial, que conduce a criterios que han de ajustarse en los países de mano de obra barata; otro, es el caso de normas de proyecto geométrico, de ingeniería de tránsito o de proyecto de pavimentos, provenientes de países de gran densidad de tráfico, que han de aplicarse en naciones con redes de transporte con niveles de ocupación mucho más bajos. Otra vez, las políticas de construcción masiva de vivienda popular suelen resultar muy afectadas por estos factores.

c) Adaptación de la tecnología a condiciones ambientales

También el ambiente físico puede cambiar mucho de unas naciones a otras y estos cambios deben reflejarse en la adaptación y “nacionalización” de tecnologías. La regionalización sísmica es un ejemplo obvio. Condiciones especiales prevalecientes en un cierto lugar, son otro; dentro de éstas podría citarse el caso tan particular que el Valle de México impone a la construcción de cimentaciones, que hace prácticamente imposible utilizar normas de proyecto o construcción, útiles para muchas otras grandes ciudades. Muchas veces se utilizan en países cálidos especificaciones de proyecto de pavimentos procedentes de países en los que la congelación de suelos es un factor importante o se usan normas hidrológicas para diseño de drenaje, procedentes de naciones de ríos serenos o establecidas por investigaciones realizadas en zonas desérticas, en países con condiciones totalmente diferentes. Un ejemplo muy conspicuo de este tipo de problemas suele tenerse en los criterios ecológicos asociados a la construcción de carreteras, casi todos procedentes de lugares en donde existen criterios muy rígidos en cuanto a fijación de suelos y uso sistemático de normas contra erosión y que se aplican con resultados catastróficos en otros lugares en donde el ambiente está menos protegido.

XI. PROBLEMAS DE “ADAPTACIÓN” DE TECNOLOGÍA

En México quizá un 70% de la tecnología que se importa en Ingeniería Civil proviene de los Estados Unidos, si bien en los últimos años se nota una tendencia al crecimiento de dependencia tecnológica con algunos países de Europa y, aún más recientemente, con el Japón. Parece que no queda más remedio que señalar que la dependencia tecnológica en estas fuentes exteriores, que tradicionalmente era muy débil en cuestiones de Ingeniería Civil, se ha incrementado en los últimos años y muestra una desdichada tendencia a continuar creciendo en el futuro, de no tomarse las apropiadas medidas.

Parece que la razón para esta desafortunada tendencia es doble. Por un lado, el desarrollo del país impone una demanda de tecnología mucho mayor en el presente de lo que fue en el pasado y, por otro, ese mismo desarrollo hace que la tecnología necesaria sea cada vez más sofisticada, apta para resolver problemas realmente exigentes y acorde con los últimos adelantos tecnológicos que tengan lugar en cualquier parte.

Es sabido que afortunadamente el país cuenta con un grupo de técnicos capaces de mejorar la tecnología necesaria por compleja que pueda presentarse. Lo que parece estar sucediendo es que este grupo de buenos técnicos parece no ser lo suficientemente numeroso como para atender el aumento de la demanda, simultánea en los campos más diversos. La industria petrolera parece ofrecer un buen ejemplo de lo anterior, no único. La red de carreteras que hoy se construya ha de tener en algunos casos

capacidad para soportar tránsitos de un peso y una densidad que hasta ahora eran desconocidos o muy raros y es bien sabido que estos incrementos imponen tales diferencias de carácter cuantitativo, que han de producir, a su vez, cambios de carácter cualitativo en la filosofía de diseño y en la metodología y el cuidado de la construcción. Tales cambios han de tener lugar si los ingenieros civiles no queremos ver como el desarrollo general del país nos supera y hace real para nosotros una sombría amenaza de absolescencia. La demanda nacional de consumo de energía, que crece tan desmesuradamente, está probablemente enfrentando a los ingenieros a problemas de la misma índole.

Tal parece que esta situación debe preocupar especialmente a las Facultades de Ingeniería y Escuelas Técnicas, que deben preguntarse con toda seriedad si están dando a la Nación el número suficiente de jóvenes técnicos capaces de llegar a manejar con soltura la compleja técnica que exige el desarrollo de un país moderno.

Es posible que consideraciones de este estilo constituyan uno de los más importantes problemas de adaptación tecnológica y mental a que nos sea dado enfrentarnos en este momento.

Frecuentemente se olvida que el necesario proceso de adaptación de tecnología extranjera exige prácticamente el mismo nivel en el personal técnico nacional que el que exigiría el desarrollo de tecnologías propias. A veces se piensa que adaptar tecnología es algo sencillo, que no requiere una formación técnica de alto nivel, pero de esta forma no se adapta tecnología; se copia, con todos los matices que traiga de origen y se cometen errores fundamentales que restan eficiencia o tornan catastrófica la implantación de una tecnología, que quizá hubiera resultado útil de tomar en cuenta las condiciones locales.

Otras veces, los problemas de adaptación de tecnología se tiñen de patrioterismo, grave riesgo al que indiscutiblemente estos problemas son proclives. No hay que decir que una tecnología útil para México es buena y deseable independientemente de donde se ha producido. La meta por alcanzar no parece estar en el desarrollo de una tecnología hecha en casa, que cubra todas las necesidades del País. Esta es una meta inalcanzable y, además, probablemente indeseable por la posición filosófica de aislamiento nacionalista que implica. Más bien, parece que se trata de formar una tecnología nacional, bien adaptada a las necesidades, peculiaridades y gustos de México. El lugar último de origen de tal tecnología es secundario. Es importante tener fuertemente asido el mango de la sartén, aunque lo que en ella se cocine tenga procedencia nacional o foránea. Y tener bien agarrado el mango de la sartén significa conservar la capacidad de decisión, hacer lo que se deba y como se deba para bien de nuestro país

únicamente. Pero el uso de una tecnología con tales fines exige un conocimiento profundo y matizado de la misma, que sólo será posible con su conocimiento total. Adaptar bien exige conocer, comprender y manejar el todo.

Más que nunca, hoy la tecnología está ligada a la Ciencia. No puede aspirar a un conocimiento tecnológico serio quien no posea una formación científica adecuada. Este es un hecho fundamental a tener en cuenta en programas de educación superior y capacitación.

En la tarea de “adaptar” tecnología de otros orígenes pueden cometerse en un país ciertos errores que merecen comentario. Unos son los que emanan de la manipulación descuidada de la prueba de laboratorio que sirva de base a una tecnología de origen experimental.

El que habla tuvo una experiencia ilustrativa a este respecto hace algunos años en un país sudamericano. Entró en contacto en un Ministerio con un hombre ingenioso y entusiasta, que había desarrollado un método para encontrar el límite líquido de un suelo por un procedimiento diferente a la Copa de Casagrande; con él se ahorraba tiempo y trabajo, pero naturalmente se obtenía un resultado distinto. Su autor no se había preocupado de ver si existía una correlación segura con el método tradicional y no pudo entender mi desinterés por su esfuerzo, pese a que intenté explicarle que el único valor de esa prueba era la correlación entre su resultado y el comportamiento mecánico de los suelos, obtenida tras muchos años de hacerla todo el mundo de la misma manera; que la prueba, en sí, carecía de valor intrínseco y valores obtenidos con otra técnica carecían de todo sentido correlacionable, como no fuera el de volver a empezar.

La prueba de impactos que utilizaba en el pasado la hoy Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas de México, para compactación de suelos, es otro caso de este estilo. Al variar el número de golpes por capa, en aras, al parecer, de lograr una supuesta mejor distribución de la energía de los golpes, se apartó de la experiencia mundial, afortunadamente no mucho, y perdió precisión en la correlación experimental con los resultados de otras partes.

Con frecuencia se ve adoptar un cierto método de diseño, por ejemplo en pavimentos, basado en la correlación con una cierta prueba, usada como índice experimental en la forma a que más atrás me referí y después, modificar la prueba para buscar más rapidez, economía o el uso de equipo más sencillo, sin ver que en el momento de tal cambio, el método mismo de diseño que se adoptó, deja de ser aplicable, a no ser que se busque una nueva correlación, utilizando los resultados de la nueva prueba.

Otro ejemplo de desviaciones importantes se tiene en la ingeniería de pavimentos por cambios en características de clima, de naturaleza de suelos o de composición del tránsito.

En otras ocasiones las correlaciones entre el resultado de una prueba y el comportamiento de estructuras construidas fallan y se tergiversan, al ser adoptadas por otro país, por el segundo aspecto; el de juzgar el comportamiento de las estructuras de campo. Ello sucede, por ejemplo, cuando entre los dos países hay diferencias muy notables en el nivel y cuidado tecnológicos o en condiciones de ambiente. Refiriéndome al primer caso, ha de entenderse que el buen comportamiento de una obra depende de mucho factores que, si se cuidan todos, producen éxito; pero si en el país que adopta la tecnología, esos factores se descuidan en parte, quizá al mismo índice experimental corresponda un mal comportamiento estructural.

Si la diferencia entre los dos países es de ambiente, la misma base de correlación cae por su peso; considérese simplemente una curva de diseño de pavimentos que exprese espesores en función de valores de V.R.S., obtenida en un país de clima muy poco húmedo, aplicada en otro de régimen pluvial mucho más intenso.

El efecto del ambiente en que la correlación ha sido obtenida conduce, si se ignora, a resultados grotescos. El que habla vio proyectos de carreteras en un país tropical, con espesores de base de 80 y más centímetros, simplemente porque para el diseño se habían utilizado especificaciones, muy buenas, por cierto, de un país ártico, con grave amenaza de congelación de suelos. También todos conocemos los valores tan diferentes que la prueba de V.R.S. da si se hace con especímenes saturados, con la humedad de compactación o con otra de “equilibrio” escogida a criterio. Lo que puede ser razonable para una zona de nuestro país, pudiera no serlo para otra.

Otras veces los factores ambientales intervienen de modo más ocultos y sofisticados. Hoy existe en México, por ejemplo, una preocupación muy grande, en muchos sectores, por aumentar los valores de la carga legal por eje que se autorice en las carreteras, en los vehículos de transporte automotor. En las discusiones del caso, es frecuente oír que Francia, Alemania o Suecia han autorizado recientemente aumentos de gran importancia, sin tomar en cuenta que en estos países el problema de la congelación, tan mencionado, obliga a utilizar estructuras de pavimentos muy robustos, no conocidas en México y que la misma tolerancia respecto a la carga legal, conduciría entre nosotros a la rápida destrucción de la red carretera Nacional.

Los factores socio-económicos locales son fuente de otra serie de peligros en la “nacionalización” de la tecnología, según ya se dijo. Con cierta frecuencia se oye proponer un aumento en los estándares de compactación que hoy usamos en nuestros caminos, para adecuarlos a una demanda de servicio que es, sin duda, creciente. Sin entrar a discutir si esta demanda es o no razonable, lo que si quisiera señalar es que el problema no puede resolverse simplemente adoptando grados de compactación mayores en nuestras especificaciones, fijando otros similares a los de tal o cual país, que tiene muy buenas carreteras. El problema es mucho más complejo. Por razones de costo inicial, que han llegado a hacerse entre nosotros casi compulsivas y que no siempre aplaudo en criterio personal, ni mucho menos, se autoriza hoy en muchos países en desarrollo el uso de materiales de calidad muy dudosa, sino es que mala, en terracerías y subrasante; esto, más la deficiencia grave de subdrenaje que padecemos, fundada en las mismas razones de costo inicial, hace que produzcamos terracerías y subrasantes que, de estar intensamente compactadas, adquirirán tales características de expansividad e inestabilidad volumétrica general, que sin duda la medida de aumentar la compactación resultará contraproducente y producirá caminos peores que los actuales y a mayor costo. Este es un buen ejemplo de cómo la “adaptación” de la tecnología debe verse en conjunto y afecta muchas veces a conceptos que, en principio, no se relacionan directamente con lo que se desea adoptar.

En resumen, la adaptación de la tecnología no es empresa ligera, sino ponderación de factores múltiples, en un crisol que comprende el conocimiento de muchas realidades nacionales y comparación con las del lugar de origen.

Obviamente, esta no es tarea para el “sentimiento” de nadie, por versado que sea y sí lo es para la investigación y la reflexión cuidadosas. No adaptaremos racionalmente tecnologías extrañas, en tanto no tengamos esos centros de investigación y pensamiento y el día que los tengamos, en el número y con el apoyo requeridos, no solo adaptaremos lo que convenga, sino que y ello inexorablemente, produciremos tecnología propia.

Como comentario final a estas ideas quisiera dejar constancia de que, en mi opinión personal, el problema de la adaptación de tecnología tiene ciertos ribetes de artificial. Imagínese un niño que por vez primera recibe un mecano. Tendrá que ceñirse al cuaderno de modelos, limitándose a hacer lo que él se enseñe, paso por paso; pero al cabo de un tiempo, si el niño es inteligente, dominará al mecano, arrumbará el cuaderno de instrucciones y utilizará el juguete según su imaginación y su gusto le dicten. Asi es la adaptación de tecnologías. El que no tiene adecuado nivel tecnológico ha de copiar, siguiendo un libro de instrucciones y si algo cambia, lo más probable es que sea para cometer un error. El que tiene alto nivel

tecnológico, capaz de comprender a fondo y analizar la tecnología que le cae en la mano la podrá utilizar para su beneficio con todas las variantes lícitas necesarias para obtener de ella el máximo provecho y esta operación será para él natural y ni tan siquiera concebirá que se le aplauda por estar resolviendo un grave problema. Para un gremio del nivel apropiado adaptar tecnología es tan natural como respirar.

Por ello, es mi opinión que el ataque último a la necesidad de adaptación de tecnología está en la capacitación y en la investigación. Cuando toda gran institución técnica gubernamental o privada posea Centros de Capacitación seria para su personal, de actualización de conocimiento para el mismo y de investigación tecnológica de sus propios problemas, adquirirá ineludiblemente el nivel en que la adaptación de tecnología foránea a su quehacer resulte tan natural como la más dominada de las acciones que haya de emprender.

Muchas Gracias.

LA TECNOLOGÍA: ¿EN PROVECHO DEL DESARROLLO SOCIAL DE LA HUMANIDAD O EN CONTRA DE ÉL?**

Alfonso Rico Rodríguez y Alejandro Lozano

1.- Introducción

La pregunta que constituye el título de este breve trabajo es, probablemente, tan antigua como la humanidad. Es de pensarse que la primera vez que se planteó se refiriera a la utilización o no utilización de una hoja de parra. Sin embargo, debe reconocerse que en muchos aspectos es aún vigente.

Los autores de esta nota han de aclarar desde este momento que su respuesta a la pregunta formulada es positiva; para ellos la tecnología podría y debería ser una imprescindible herramienta del progreso de la humanidad.

Desde luego los autores de esta nota no son filósofos, son tecnólogos y por ello su respuesta puede ser sesgada. No osan entrar a vericuetos profundos de la Ética, de la Estética, de la Ecología o de los planteamientos jurídicos de la cuestión, ni a ningún otro camino que, a despecho de su fundamental interés y de los muchos puntos de contacto práctico que puedan establecerse con el tema, suelen quedar fuera de su alcance y, a veces, resultan superados por hechos inalienables.

La respuesta de los autores se decanta hacia la utilidad de la tecnología en el desarrollo social, muy principalmente porque están convencidos de que, piensen lo que piensen, el papel fundamental de la tecnología en el desarrollo social presente y futuro es un hecho incontrovertible contra el cual, en el caso más extremo de antagonismo, no queda más que la resignación y la convivencia.

La pregunta título de este trabajo les resulta una reflexión fundamental, en el sentido de qué hay que hacer para que el influjo de la tecnología sea en la parte más grande posible con provecho social. Un provecho neto, pues no ignoran que la naturaleza no fabrica monedas de una sola cara; detrás de una cara, siempre hay una cruz de expiación. Así, su reflexión se reducirá a algunas consideraciones, por otra parte bien conocidas aunque a veces parcialmente olvidadas, que lleven a situaciones en que un desarrollo social razonable y justo gane a los factores que se conciten contra él.

Este es el objetivo de estas sencillas reflexiones.

Sin embargo, antes de abordarlas, tienen que confesar que ignoran que será el “desarrollo social”; de hecho, no se atreven a tocar el tema, pues temen quedar enredados en él, sin posibilidad de salida. Así, para los autores de esta nota “desarrollo social” será eso que todo el mundo entiende por “ desarrollo social”; es

**Rico, A. y Lozano, A. (¿?). La tecnología: ¿En provecho del desarrollo social de la humanidad o en contra de él? CONACYT.

decir, un conjunto de palabras de múltiples sentidos, tales como bienestar humano y familiar, tranquilidad y progreso económico, salubridad, capacidad de explotación del ocio…

2.- La tecnología y su papel social

Para los fines de estas reflexiones se va a entender por tecnología el conjunto de aplicaciones de la Ciencia que puedan traducirse, se traducen o se han traducido en métodos de trabajo, infraestructura material y social, instrumentos o elementos de bienestar humano, herramientas que faciliten o embellezcan la vida y, en general, todo el conjunto de organización, instalaciones, maquinaria, herramientas, instrumentos de comunicación e información y otros muchos afines, de los que se espera que la nación que los posea pueda ofrecer a sus nacionales una vida más larga y placentera.

Con la anterior definición no puede menos que pensarse que la tecnología es un elemento que se alinea en el campo de los “buenos”. El país que la posee va a vivir más y mejor; fabricará cosas con menos esfuerzo; su población se moverá más cómodamente; comprará y venderá con ventaja, tendrá una población mejor informada y podrá organizar mejores accesos a la educación. En ese país, la investigación será rentable.

La nación tecnológica habrá de esquivar un primer peligro fundamental que es el ansia de dominar al vecino tecnológicamente más débil; correrá también, un peligro muchas veces demostrado de caer en un maquinismo materialista que a la larga lo ahogará y no estará exento del peligro de producir una sociedad en que los pocos (y siempre serán pocos) que dirigen todo ese profuso herramental hagan caer a los más en un régimen de vida robótico, aun cuando esos robots tengan bien aceitadas las junturas. La esclavización del imperio romano es un ejemplo válido de todo lo anterior.

Con estas últimas reflexiones hemos vuelto al título de las mismas. Nada más.

3.- El caso de México

Que la sociedad mexicana podría beneficiarse en gran medida por un más avanzado desarrollo tecnológico es un lugar común que probablemente nadie discutirá. Los autores, tampoco.

Si lo anterior es cierto, lo único que cabría decir es cual deba ser el desarrollo tecnológico mexicano y como debe procurarse.

Respecto a esos dos puntos hay muchas cosas que decir. Ninguna revista ofrece tanto espacio como para hacerlo, por lo que los autores tratarán sólo algunos aspectos aislados de estas cuestiones.

3.1 Condición esencial cualquier desarrollo tecnológico nacional

Para el caso de México o de cualquier otro país que aspire al desarrollo tecnológico en el sentido moderno del término, existe aparentemente una condición esencial, sin la que cualquier intento estará destinado a fallar. Obviamente esa condición se refiere a un nivel adecuado del ambiente educativo prevaleciente. No puede aspirar al desarrollo tecnológico ningún país que no lo sustente en una base suficiente de población plenamente capaz de elegir, implantar, operar, conservar, reparar y desarrollar la tecnología objeto del esfuerzo. Cuando esa condición no se cumpla, el horizonte sólo mostrará peligros que conducirán al sobrecosto, a la implantación de lo obsoleto o a convertir el suelo nacional en un cementerio de chatarra y desilusión. También a convertirlo en víctima de un coloniaje tecnológico, dentro del cual el esfuerzo nacional y los resultados de las tecnologías implantadas terminarán por revertir en el beneficio del exportador.

Parece cierto que para una buena explotación del auge tecnológico es condición que el nivel educacional de cualquier nación deba tener un umbral sin el cual incluso la tecnología no pueda actuar beneficiosamente. Desde luego, eso es evidente si el país es el creador de la tecnología en cuestión y, en general, de su ambiente tecnológico, pero también es cierto que si la tecnología es importada de un ambiente productor diferente.

El aprovechamiento íntegro y racional de cualquier tecnología importada tiene que exigir un nivel del saber del mismo calibre que el que corresponda a la tecnología importada; el ambiente nacional, en lo correspondiente a la industria, el manejo tecnológico, la capacidad de desarrollar adaptaciones y el manejo de máquinas y técnicas tiene que estar a la altura de la tecnología importada. Es posible que los conocimientos anteriores tengan menor densidad que la que existe en el hipotético país productor, pero la nación que recibe tiene que tener una masa crítica de creadores, operadores y operarios suficientemente densa como para absorber, manipular, adaptar y conservar lo que se importe.

Si estas condiciones no se cumplen, la importación de tecnologías corre un riesgo inminente de carecer de consistencia y sustento, de óptima explotación y un riesgo no menor inminente de ver degenerar una importación de alto costo y usualmente con onerosa dependencia política, en un cementerio de chatarra.

Como en cualquier otro aspecto importante de la vida de una nación y México no es excepción, la educación de una masa crítica suficiente en las diferentes escalas es una condición necesaria para cualquier desarrollo. La calidad de esa educación tiene que ser la misma que la de cualquier país de donde la tecnología pueda importarse.

La reflexión anterior lleva a hablar de otro aspecto que se menciona muy

frecuentemente cuando se habla de importación y adaptación tecnológicas.

3.2 El salto tecnológico

El salto tecnológico es la implantación y utilización de una tecnología que no corresponde al proceso normal de evolución, sino que, generalmente por una inyección tecnológica externa, permite alcanzar estadías de desarrollo en forma acelerada y evitando pasos evolutivos que hubieran tenido que darse de no recurrir al salto.

Es el brinco de la locomotora de Stevenson al Maglev en una sola etapa.

No hay que decir que el salto tecnológico es el sueño de todo desarrollista. También lo es la de los autores de esta nota, si logran sortearse una serie de peligros que creen entrever en el asunto.

Valdrá la pena mostrar alguno de esos peligros.

Como en las Olimpiadas, el salto depende del salto; es un concepto relativo. La sustitución del hombre por la bestia de carga, puede ser un salto tecnológico mucho más largo que la sustitución de la bestia de carga por el camión. Otro factor esencial del salto tecnológico es su propio nacimiento. No es lo mismo saltar por un acto de creación nacional a saltar por un acto de importación. En el primer caso, la creación misma es casi una garantía de que el salto nace arropado por todas las condiciones de conocimiento y ambiente que lo han de arropar en su infancia y que permitirán su desarrollo; una garantía de que existe en su torno al salto un pastizal del cual puede nutrirse en su desarrollo incipiente y en evolución.

Si el salto tecnológico es importado, todo pudiera complicarse. Pudiera ser un hecho aislado destinado a morir por falta de mercados, ambiente, reparaciones o capacidad de cambio o ser víctima de una obsolescencia que lo margine antes de madurar. Otras veces el salto podrá ser una “isla tecnológica” que nada tenga que ver con la marcha tecnológica de una nación. Hay quien ha inaugurado trenes de “alta velocidad” para mover turistas en vacaciones de A a B. Otras veces la “isla tecnológica” se produce por simple desequilibrio entre la tecnología objeto del salto y el ambiente en que esa tecnología debe operar. Un ejemplo sería la construcción de la más moderna terminal de contenedores, a la que no fuera posible dotar de un sistema informático que la pusiera en contacto instantáneo con el mundo, tal como esas instalaciones exigen.

Otras veces la implantación apresurada, pero costosa y fuente de subordinación, cae por falta de condiciones jurídicas, laborales o simplemente de costumbres nacionales, que no compaginan.

Hay algunos peligros de carácter absoluto en la actitud de quien importa

tecnología con la ilusión de saltar. El más obvio es de la obsolescencia.

Otro enemigo clásico de la importación tecnológica con el acicate de una aceleración es el desequilibrio que pudiera existir entre la estructura humana y la nueva tecnología en términos de costumbres y sentido de la vida. La historia está llena de desarrollos tecnológicos extraordinarios que siguen rumbos completamente distintos en sociedades disímbolas. Las sociedades esclavistas de las que el imperio romano es el ejemplo conspicuo o sociedades como la china clásica desarrollaron ampliamente (con siglos de ventaja) la máquina de vapor o la pólvora, pero en esas sociedades estos desarrollos quedarán en juguetes o artilugios de feria. Conocimientos similares llevaron a desarrollos espectaculares cuando cayeron en países con otras condiciones sociales u otras escalas de valores.

Una reflexión final, pero no última sería lo estéril que puede resultar un avance tecnológico cuando queda fuera de la realidad nacional en otros fundamentales aspectos. ¿Quién podría decir cuál será el beneficio final de la bomba atómica hindú? (Por lo menos dentro de un futuro previsible).

3.3 Tecnología propia y tecnología importada

La ciencia y la tecnología no tienen o no deberían tener fronteras. Esto parece un hecho incontrovertido. Si alguien en algún lado desarrolla algo útil, adoptarlo, con o sin adaptación, debería ser deseable. Probablemente lo es con la única condición de que el desarrollo pueda ser asimilado y manejado con plena solvencia y con capacidad de explotación y desarrollo.

Se vuelve así a lo que parece ser la condición necesaria en estas reflexiones; el que crea o adopta tiene que tener la capacidad científica y técnica para asimilar y manejar lo adquirido; también para conservarlo, modificarlo e irlo adaptando a su cambiante sociedad. Esta reflexión lleva otra vez a lo que parece ser la auténtica llave del progreso. Será preciso que la sociedad que estrena o importa un nuevo desarrollo tecnológico tenga la plena capacidad de entenderlo, manejarlo y modificarlo a su conveniencia. Las reflexiones desembocan una vez más en la educación nacional.

Es posible que en esta reflexión final esté la respuesta a la pregunta que plantea el título de estas reflexiones. La tecnología es la bendición del sabio y del bueno. Es la curva de todas las distorsiones cuando falta la sabiduría o la bondad. En tales condiciones, sin educación nacional y sin hábitos sociales de moralidad colectiva, la tecnología será fuente de distorsiones, desigualdades y dependencia nacional, todo ello con una alta cuota de frustración.

X X X

Los autores creen que algunas leyes fundamentales de la Física rigen también la

vida social. La segunda ley de la termodinámica es aplicable a los fenómenos sociales probablemente tanto como a los físicos. Ordenar la vida de un país moderno, su industria, abaratándola y haciéndola más eficiente, disminuyendo sus pérdidas; ordenar su transporte y armonizar su sociedad, son todos, con otros muchos, elementos para mejorar la entropía social. Ello tiene que ser deseable y tiene que conducir a un desarrollo humano de un superior nivel, pero indudablemente el proceso tiene escollos y peligros. Algunos de ellos han sido mencionados con la esperanza de que este análisis parcial pueda expresar razonablemente el criterio de los autores.

ADOPCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE INNOVACIONES TECNOLÓGICAS**

Alfonso Rico Rodríguez

1. Objetivos de la transferencia de tecnología y niveles a los que ocurre

En México, el desarrollo tecnológico en materia carretera ha ocurrido a lo largo de muchos años y en él ha jugado un papel muy importante la transferencia de tecnología. Sin embargo, dicha tecnología tiene que llegar hasta quienes trabajan cotidianamente para efectuar una contribución que resulte significativa. Dentro de este marco, en términos generales pueden identificarse tres niveles diferentes en los que ocurre la transferencia de tecnología:

i) Transmisión de conocimientos generales, usualmente publicados; puede tratarse de conocimiento básico, elementos de normatividad, de laboratorio y otros similares.

ii) Transmisión de conocimientos y técnicas en las que las condiciones locales del país receptor influyan en el producto recibido, en cada caso que dichas condiciones no sean suficientemente parecidas a las condiciones bajo las que se produjo originalmente la tecnología de que se trate.

iii) Transmisión directa de tecnología, del estilo llamado “llave en mano”, en la cual una firma extranjera estudia, proyecta, construye y entrega al país receptor un producto terminado.

1.1 Conocimientos generales

Este rubro comprende a toda aquella información por lo general accesible a través de publicaciones que puede y con frecuencia debe aplicarse de la misma manera en cualquier parte. Ejemplos son el conocimiento científico, las normas de muestreo estadístico o la normativa estándar para ciertas pruebas de laboratorio. Cualquier artículo científico presentado en un congreso o publicado en una revista de circulación internacional también pertenece a esta categoría.

En este punto no cabe más comentario que señalar la validez universal de este nivel de transferencia tecnológica. De hecho, es posible que el intercambio continuo de resultados de investigación y de nuevos conocimientos constituya el más elevado logro alcanzado hasta el momento por la cooperación internacional. Este logro se ve hoy facilitado por los enormes medios de comunicación y difusión.

**Rico, A. (1999). Adopción e implementación de innovaciones tecnológicas. V Reunión Hispano Mexicana. Abril 1999.

1.2 Conocimientos que requieren adaptación

Por lo general, la tecnología responde a las necesidades y condiciones del país que la produce. En consecuencia, en la mayor parte de los casos ocurrirá que la transferencia de esa tecnología a otro país requerirá, en alguna medida, de algún proceso de adaptación. Un ejemplo podría ser tan obvio como utilizar en un país o región con riesgo sísmico experiencias procedentes de otros que no lo tengan o construir carreteras en países tropicales con normas de países de climas invernales.

La transferencia tecnológica de este nivel oculta dos puntos fundamentales que a la vez son intensamente actuantes:

i) La tecnología de carreteras, rara vez científica, es casi siempre experimental. Por lo mismo su ulterior adaptación invariablemente ha de hacerse en otras condiciones.

ii) En muchos casos, la tecnología de carreteras se basa en experiencias obtenidas de correlaciones entre índices y comportamiento. Como es comprensible, estas correlaciones son muy sensibles a materiales, clima, hábitos constructivos y operativos, entre otros aspectos.

No está por demás enfatizar el hecho de que la transferencia de tecnologías que deban adaptarse a condiciones locales requiere un análisis muy cuidadoso, pues de lo contrario pueden cometerse errores de trascendencia.

La necesidad de adaptación a condiciones sociales se deriva del hecho de que éstas en las naciones generadoras suelen ser muy diferentes a las del país que adapta. Ejemplos, son los procedimientos con uso intensivo de maquinaria, aplicados a países con abundante mano de obra barata y necesitada de trabajo.

En otras ocasiones, son las diferentes condiciones económicas las que motivan la adaptación en cuestiones de proyecto geométrico, ingeniería de tránsito, protección ambiental y demás. En países en vías de desarrollo, segmentos importantes de sus redes viales tienen niveles de ocupación diferentes a los países de origen.

Por supuesto, el ambiente físico es otro factor importante en la adaptación de tecnologías y este aspecto suele no sólo diferenciar naciones, sino inclusive regiones dentro de una misma nación. La regionalización sísmica es un ejemplo obvio.

Mucha de la tecnología transferida que requiere de adaptación es de correlación, lo que significa que la validez de la transferencia se logrará sólo si existe una

relación causa-efecto razonablemente fija y estable entre el comportamiento estructural de cualquier parte de una carretera y una determinada prueba índice de laboratorio o un índice obtenido de experiencia de campo. La confiabilidad de esta correlación estará frecuentemente sujeta en forma decisiva a factores como clima (en especial pluviosidad y variaciones extremas de temperatura), naturaleza de los suelos, cobertura vegetal, orografía y muchas otras.

Un caso que ilustra una equivocada concepción de la transferencia tecnológica es el procedimiento de diseño de la capacidad de obras de drenaje que se usa en muchos lugares, basado en fórmulas empíricas, desarrolladas mediante estudios de campo realizados en un estado de Estados Unidos de naturaleza muy desértica. Es obvio que las condiciones de flujo superficial y arrastre son totalmente distintas en ese caso que en una selva, por mencionar situaciones extremas.

En términos generales, para que una tecnología de correlación sea adaptable a otro ambiente, el ingeniero deberá garantizar que se cumplan tres condiciones:

i) La metodología que se utilice como índice de experiencia ha de ser realmente representativa de las condiciones locales y, en particular, debe ser capaz de reproducir el comportamiento estructural cuya calidad se desee garantizar en el proyecto.

ii) La experiencia del grupo que proporciona la correlación debe ser válida; es decir, debe ser resultado de mediciones y comprobaciones de campo bien realizadas, bien interpretadas y capaces de discriminar cuidadosamente las circunstancias ambientales y particulares en que se obtuvieron las conclusiones.

iii) La correlación debe usarse exclusivamente dentro de las condiciones específicas en que se obtuvo.

1.3 Transmisión directa

En la transferencia tecnológica del tercer tipo, que aquí se ha llamado “llave en mano”, no hay una experiencia mexicana aplicable a carreteras o vías férreas; sin embargo, parece posible hacer algún comentario sobre los peligros y dificultades de este sistema.

Estos procedimientos suelen aplicarse en dos modalidades en los países en vías de desarrollo. En la primera, la nación poseedora de la tecnología proyecta y construye, muchas veces dentro de un esquema que incluye financiamiento. En la

segunda modalidad, sólo construye y el proyecto queda a cargo de país receptor, si bien es frecuente que también exista alguna forma de apoyo financiero.

La primera modalidad implica peligros obvios de que el proyecto y la construcción excedan las necesidades reales del receptor de tecnología, pero resulta más grave aún que ese sistema carezca de auténticos mecanismos de desarrollo tecnológico para el país receptor, que permanece sin adquirir una experiencia real.

La segunda modalidad tiene la gran ventaja de que por lo menos el proyecto y sus estudios han sido realizados por el país receptor; esto hace viable que se llegue a resultados compatibles con las condiciones de ese país y, además, permite el desarrollo normal de una parte fundamental de la experiencia involucrada

Una tercera modalidad pudiera ocurrir cuando el país receptor aprovecha un proyecto hecho por otro país y se encarga de construirlo. Este caso es menos frecuente y la opinión del autor en relación a este procedimiento puede extraerse fácilmente de lo anterior.

Independientemente de la modalidad bajo la que ocurra este nivel de transferencia tecnológica en carreteras, hay dos aspectos generales que conviene comentar. El primero se refiere a la ventaja tecnológica adquirida por el hecho de que representantes de una nación más experimentada y avanzada realicen un trabajo en un país menos desarrollado, misma que con frecuencia se exagera por dos razones. En primer lugar, porque un proyecto realizado por quien no está bien interiorizado de las particularidades de la realidad local no puede resultar tan apropiado como otro elaborado por quien si esté compenetrado en ellas. En segundo, porque cuando un país de tecnología de punta trabaja en otro proyecto de menor avance, es dudoso que ejerza su ventaja en toda su fuerza. Ello se debe a diversos factores, entre los que figura el uso de mano de obra local, supuestamente menos adiestrada, y la asignación de personal directivo de calidad inferior a la que el país rector es capaz de producir, pues sus técnicos más competentes están bien situados en su nación de origen y no tiene interés en desplazarse por largas temporadas a otra, rompiendo sus vínculos académicos, sociales y familiares. En resumen, la tecnología que finalmente se implanta no es totalmente la existente en el país de origen.

El segundo comentario se refiere a la consultoría internacional, en la cual un experto viaja a un país en vías de desarrollo para analizar un problema científico y aconsejar sobre él. Este procedimiento es altamente reductible y no implica desventajas para el país receptor, si bien la potencialidad del procedimiento queda limitada por la capacidad de diálogo y de entendimiento que posea ese país; además, por conocedor que sea el consultor extranjero, ha de formular su juicio a partir de información proporcionada por otros, cuyo valor dependerá de la calidad de los estudios que hayan servido para generarla.

2. Consideraciones para una estrategia nacional de transferencia de tecnología carretera

De lo anterior pueden extraerse algunos lineamientos para orientar una estrategia nacional de desarrollo tecnológico en el sector transporte mexicano.

2.1 En primer lugar, la transferencia tecnológica "llave en mano" no se considera una norma deseable y prometedora de política en la materia, debido a lo siguiente.

i) La influencia del sistema en el desarrollo de las potencialidades nacionales, es escasa.

ii) La gestación de futuros problemas de mantenimiento es probable.

iii) El sistema no propicia el desarrollo de una industria nacional de la construcción.

iv) La ejecución de proyectos por parte del exterior suele influir en la estructura nacional de salarios, pues es frecuente que salarios considerados bajos por el exportador de tecnología, resulten elevados en el medio local.

Una modalidad de aplicación que podrían paliar las deficiencias de la transferencia directa de tecnología es la asociación de una empresa extranjera con una nacional. Por supuesto, el éxito de esta medida dependerá en grado sumo de la capacidad del socio nacional para asimilar la tecnología y beneficiarse de ella.

2.2 Una conclusión importante que debe resaltarse es la siguiente. Para que un proceso de transferencia tecnológica funcione de manera equilibrada entre un transmisor y un receptor, éste debe conocer y comprender, por lo menos a nivel conceptual, todas las complejidades de la tecnología transferida. El grupo técnico local debe ser capaz de señalar las adaptaciones necesarias para mantener el liderazgo intelectual en la obra que se realice, en todos sus aspectos básicos.

El concepto realmente importante es que nadie puede recibir, adaptar y utilizar tecnología del transporte proveniente de otras latitudes si no es capaz de conocerla y comprenderla a un nivel comparable al del grupo que la generó. El

grado en que esta condición se cumpla habrá de constituir un punto de partida básico de una estrategia de desarrollo tecnológico de los transportes. Así, si ella no se da, la política y las aspiraciones del país en cuestión deberán dirigirse primordialmente a la formación de sus propios grupos humanos, considerando como una situación quizás inevitable, pero no deseable, la transferencia tecnológica en alguna otra modalidad. Si los grupos humanos capacitados existen en número insuficiente, también habrá de considerarse prioritario el fortalecimiento de ese recurso.

3. Medios para desarrollar la estrategia

Llevar a la realidad una estrategia de transferencia de tecnología en los transportes es una tarea gradual que invariablemente estará supeditada a las particularidades de la realidad de cada país. En México, la adquisición de una capacidad tecnológica propia en materia de carreteras ha tomado muchos años y continuará creciendo a diario. En la actualidad, los elementos más destacados del esfuerzo general por un desarrollo tecnológico en materia de transporte se centran en las siguientes áreas:

i) Capacitación
ii) Investigación
iii) Documentación
iv) Red de transferencia de tecnología

4. Conclusiones sobre la tecnología

Puede establecerse que las acciones más importantes a emprender por lo países receptores de tecnología son:

4.1 Desarrollar esquemas de trabajo que aseguren que el país mantenga el control sobre los aspectos decisivos de cada proyecto. Es indispensable, dentro de este propósito, que dicho control sea ejercido de manera directa sobre las actividades de planeación, instalación y operación sistemática de laboratorios, la generación de una capacidad para realizar estudios y proyectos, así como sobre el control de calidad de la obra.

4.2 Para lograr la meta anterior, hace falta contar con una plantilla de ingenieros capaces de hacer proyectos y mantener el control deseado. Por consiguiente, es prioritario iniciar o fortalecer la formación del personal técnico involucrado en los diferentes procesos tecnológicos objeto de eventuales operaciones de transferencia.

4.3 La experiencia mexicana también ha demostrado que, al avanzar y consolidarse una capacidad tecnológica institucional formada por grupos abundantes de personal técnico, llega un momento en el que resulta

potencialmente provechoso separar algunos de los miembros de esos grupos para dedicarlos a labores que, alejadas de la rutina y las presiones cotidianas, puedan abordar problemas de desarrollo tecnológico en sus campos de especialidad que a la larga alimenten y renueven las prácticas institucionales y nacionales establecidas. En el caso de México, la reciente creación del Instituto Mexicano del Transporte busca lograr ese objetivo, no nada más para la tecnología de carreteras, sino también para las demás áreas de la tecnología del transporte.

5. Los avances tecnológicos

Me interesaría hacer una reflexión sobre la tecnología deseable para ser desarrollada por un país, en el área de Ingeniería de Carreteras. Parece ser que no siempre se tiene en cuenta que la carretera no es un bien en sí mismo, sino únicamente un bien que se justifica en términos de un ente posterior que es el transporte.

Se piensa, muy frecuentemente, en la idea de controlar costos con una preponderancia (a veces excesiva) en los de la propia infraestructura, olvidándose del transporte. En este sentido, en muchos países se cae en serias desviaciones en los objetivos de lo que se consideran tecnologías deseables. Parece conveniente insistir en que la búsqueda de tecnologías adecuadas para construir una red de transporte no debe enfocarse en la red misma, sino en los costos totales del transporte que sobre ella ha de circular. Recuérdese la enorme repercusión de los costos de conservación y, sobre todo, de la operación del transporte en todos los años de vida útil de la estructura.

Un deseo que frecuentemente subyace en muchos países, cuando buscan transferencia tecnológica de otros, es la búsqueda de los llamados avances tecnológicos; es decir, adopción de tecnologías que produzcan cambios bruscos en la capacidad tecnológica original.

Hay avances tecnológicos de diferente naturaleza; pero también los hay de diferente oportunidad, ubicación o repercusión dentro del proceso del transporte.

Si se combina la naturaleza del avance con estas características, se ve que la comprensión de los avances tecnológicos y su influencia son de tal manera variada, que probablemente conviene efectuar antes que nada una reflexión de un nivel más general.

5.1 La primera reflexión debe llevar a pensar que en cualquier ambiente o tiempo, el concepto de avance tecnológico es relativo. En cualquier país en vías de desarrollo, la sustitución del ser humano por la bestia de tiro o la de ésta por la camioneta es un avance tecnológico quizá de mayores proporciones que la aparición de los trenes de alta velocidad en otros ambientes.

5.2 Preguntas fundamentales en torno a estas cuestiones son si el desarrollo tecnológico permite el avance tecnológico, si el avance tecnológico permite el desarrollo tecnológico o si ambos casos son igualmente ciertos.

- La experiencia parece mostrar que, previas condiciones apropiadas, las preguntas anteriores pueden responderse afirmativamente en algunos casos, pero no siempre. La cuestión más importante es si la adquisición y aplicación de una tecnología avanzada produce algún tipo desarrollo tecnológico en un país que no sea el creador de la tecnología de que se trate. En este sentido, la experiencia proporciona muy diversas y matizadas respuestas.

- El avance tecnológico "comprado" puede no representar ningún avance significativo para el país comprador, en el sentido de generar una "isla" de alta tecnología que nada tenga que ver con la marcha general de la nación. Por ejemplo, este sería el caso de la instalación de un ferrocarril de muy alta velocidad para trasladar turistas a un centro de veraneo, todo dentro de un país con una red ferroviaria muy atrasada.

- Otro caso contraproducente es el que se presenta cuando se adquiere una tecnología de vanguardia cuyo funcionamiento a lo largo del tiempo depende de una infraestructura de apoyo para mantenimiento que el comprador sea incapaz de proporcionar.

- También, ocurre un avance tecnológico inútil cuando en una parte de un proceso nacional importante se introduce un avance significativo sin cuidar el equilibrio de las demás partes. Es frecuente ver que el proceso general no se ve mejorado ni acelerado en forma notable por la simple optimización de algún paso intermedio. Por ejemplo, carece de sentido instalar una terminal ultramoderna para movimiento de contenedores si se carece de una adecuada reglamentación para mover esos contenedores en forma expedita o si se ponen sistemas de inspección que obliguen a abrirlos con frecuencia, etc.

- La frustración total o parcial de ciertos saltos tecnológicos pudiera ocurrir por otras razones aún más difíciles de clasificar. Por ejemplo, los hábitos nacionales de cierta sociedad pueden conducir a que tecnologías de éxito en otros lugares fallen. Las innovaciones en el campo de la informática y la transmisión de información pueden quedar invalidadas en una sociedad donde la firma autógrafa se considere indispensable como requisito legal.

- La falta de información general sobre el estado del arte de ciertas materias puede llevar a la adquisición de tecnologías aparentemente muy atractivas, pero amenazadas de rápida obsolescencia o desaparición.

5.3. El avance tecnológico no pasa quizá de ser una expresión de retórica gramatical. Cuando se genera, responde siempre a una combinación que retrospectivamente suele verse como inexorable entre un avance citable en el campo de la teoría física y/o matemática y una serie de condiciones de política, economía, demografía y desarrollo de mercados. La historia enseña que las grandes creaciones tecnológicas suceden a la solución de problemas teóricos específicos a través de períodos de tiempo que, aún para el país creador, no han variado sensiblemente en la historia humana. Algunos observadores de estos fenómenos fijan esos períodos de tiempo en el orden de los 20-40 años (tiempo transcurrido entre la fisión del átomo y la primera bomba atómica o el tiempo transcurrido entre los primeros desarrollos cibernéticos serios y la era del cómputo). Sin embargo, debe existir una estructura económica, humana, industrial y comercial si no se quiere correr el riesgo de que la innovación teórica y aún la innovación tecnológica sean estériles. El ejemplo clásico es el de las civilizaciones esclavistas o agrarias que rigieron al mundo en ciertas épocas, de las que el Imperio Romano y la Civilización China son buenos ejemplos, si bien diferentes en matiz. Ellos vieron la resolución de problemas teóricos muy importantes e inclusive conocieron sus consecuencias tecnológicas; sin embargo, sus máquinas de vapor quedaron en juguetes y la pólvora se usó para animar fiestas populares. Faltó en esas sociedades la estructura industrial capaz de abrir mercados que propusieran otros usos. En la época moderna, se ha visto con frecuencia que inversiones de enormes posibilidades tecnológicas nacieron en lugares donde no pasaron de ser una curiosidad o un motivo de orgullo regional, pero que se transformaron en saltos tecnológicos inmensos cuando investigadores de un país industrialmente desarrollado repitieron el hallazgo con más o menos variantes no trascendentales.

5.4. También las reflexiones anteriores, podrían quedar sujetas a otra matización. Así como se habla de salto tecnológico, también es frecuente usar la expresión “cambio tecnológico” o “salto tecnológico”. El autor interpreta la diferencia entre los dos conceptos como una diferencia cuantitativa, sin ignorar que diferencias cuantitativas grandes desembocan en diferencias cualitativas. En cualquier caso, la matización conducente a la línea de razonamiento que aquí se sigue es que, obviamente, cuanto menor sea el cambio que cualquier novedad tecnológica introduzca tenderá a ser más fácil y factible la incorporación y serán menores las repercusiones de los distintos factores externos que se han comentado, en el desarrollo y el éxito de la tecnología

implantada.

CIENCIA, TÉCNICA E INVESTIGACIÓN**

Alfonso Rico Rodríguez

1.- INTRODUCCIÓN

Parece conveniente abordar estos temas (pues varios son los que intentaré tratar, siquiera brevemente, en esta plática) estableciendo algunas definiciones que permitan situar mi particular punto de vista, a fin de aclarar mis opiniones.

La distinción entre ciencia y técnica (o tecnología, como ahora parece decirse con preferencia) es para mí sencilla de establecer en los cuerpos másicos de ambos conceptos e imposible muy frecuentemente, de matizar en sus fronteras.

Para llegar al fondo del asunto, parece necesario el intento de establecer una hipótesis sobre cuales pudieron ser los primeros pasos de la evolución del hombre mismo.

Si, como se dice, los primeros prospectos del hombre actual aparecieron en las sabanas africanas, hemos de imaginar varios grupos de primates iniciando un camino largo y difícil, que todavía recorremos nosotros, llevando en nuestro interior las mismas angustias primigenias y habiendo añadido quizá al bagaje algunas ilusiones que ellos no contemplaron. De estos pioneros en la ruta de la reflexión y la conciencia, sólo los descendientes de algunos grupos de éxito particular pudieron seguir adelante: los otros quedaron atrás, emprendieron otros caminos o fueron destruidos por el feroz proceso de la selección y la eliminación.

Nosotros, los descendientes de los grupos apropiados, seguimos el camino y lo seguiremos en tanto el sol no estalle o nuestra propia estupidez lo permita, pues no tenemos un destino imaginable, ni una finalidad natural discernible, sólo existe el camino, bifurcado a cada paso.

La Conquista de la Reflexión no es una Meta; es sólo una Posible Guía para Andar.

¿Con qué motor se movieron aquellos lejanos antecesores nuestros? Es difícil precisarlo, pero parece fuera de duda que el “hombre” se fue conformando “haciendo”. El “homo faber” fue anterior que el “sapiens” y la mano fue la indicación sensibilizadora del cerebro.

Quizá el primer grupo de avanzada fue el que se decidió a usar sus brazos, irguiéndose y el que usó primero su pulgar oponible o quien sabe que otras ayudas. Lo que parece aceptable es que ese lejano primate aprendió a usar ayudas inanimadas; al principio, piedras y palos, después utensilios que se fueron complicando durante el avance de la evolución.

**Rico, A. (1999). Ciencia, técnica e investigación. Universidad Autónoma de Querétaro. Octubre 1999.

Pero la acción sin reflexión es estéril. Los actuales resultados permiten inducir que la capacidad de reflexión hubo de acompañar al simple desarrollo de toscas habilidades desde un principio, retroalimentándose ambos en un proceso ascendente de complejidad.

Hay que entender que, desde un punto de vista estadístico, el hombre es un hecho singular, sólo explicable por el paso del tiempo y la cantidad incontable de ensayos que la naturaleza puede intentar. Pero no cabe duda de que somos un evento con un muy bajo orden de probabilidad; a la vez, en las condiciones de nuestro estable sistema solar y de nuestro particular planeta, somos seguramente un suceso inexorable.

Y otro tanto puede decirse de todos lo seres vivos, producto de evoluciones similares a la nuestra. Nosotros y ellos violamos un principio general que parece regir férreamente al resto del universo. Si en todas partes, según nuestro actual entender, todos los átomos y moléculas evolucionan hacia una entropía creciente, vale decir a un equilibrado desorden en que las transformaciones de energía son imposibles, nosotros y los seres que llamamos vivos evolucionamos, por el contrario, hacia una situación de orden jerárquico y cuidadosa estratificación social. Esta enorme singularidad, hasta donde sabemos única, parece un hecho fundamental para explicar la actitud del hombre de todas las épocas ante el universo. Nuestro proceso de evolución es inverso al general.

Ahora bien, entre el hombre y los otros seres vivos hay una diferencia vital que nos singulariza aún más. Y ésta es que desde un principio el primate “reflexionó” de alguna manera y nosotros hoy “pensamos”.

No sé si los animales “piensan”, creo que sí, pero también parece evidente que con una diferencia de nivel de carácter cualitativo y no sólo cuantitativo.

De esta manera, creo que puede llegarse a cuatro conclusiones importantes para explicar el comportamiento científico y tecnológico del ser humano.

1. El hombre se interesa por su ambiente y necesita comprenderlo.

2. El hombre evoluciona hacia el orden de actividades y la estratificación social.

3. La evolución humana arrancó del “hacer”, pero fue desde un principio guiada por la capacidad de reflexión.

4. Como consecuencia de la experiencia vivida, el hombre rinde a las “ayudas” que puede afanarse para su progreso, un culto que puede confundirse con

un instinto elemental y primigenio. Así, la búsqueda de desarrollo tecnológico es prácticamente instintiva.

II.- CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Es una afirmación lógica la que señala que la reflexión que de algún modo ejercieron nuestros antepasados desde un principio, debió de tratar de clasificar, jerarquizar, relacionar y explicar los fenómenos objetivos cuya información se recibía a través de los sentidos. De esta manera, el binomio observación-raciocinio debió de comenzar a funcionar desde el más remoto pasado del hombre y ello de una manera activa y dinámica, pues la mente humana no sólo tiene facultad para interpretar información, sino que puede almacenarla para uso posterior. Así, raciocinio y memoria constituyen un potencial de retroalimentación a la observación pura que, por su parte, incrementa de continuo el acervo de datos proporcionados a la mente. Este proceso dinámico es el motor y el origen del desarrollo humano. La comunicación oral y la escritura son catalizadores del proceso.

La mente humana, con su capacidad de correlación, pronto descubrió que la información del mundo externo era susceptible de clasificarse y agruparse, por así decirlo, en grupos familiares, de manera que ciertos hechos objetivos poseían características comunes, pareciendo ser manifestaciones de causas más profundas de naturaleza más general.

Sobran ejemplos de lo anterior. Los astrónomos del oriente o los mayas comprendieron que los eclipses lunares y las fases de la luna se relacionaban de alguna manera con los movimientos de la tierra y buscaron y, en algunos casos encontraron, esquemas más generales que, ampliando el cuadro, proporcionaron mecanismos más completos. Otro ejemplo claro es la teoría general de la gravitación universal, establecida por Sir Isaac Newton, que ordenó y generalizó las observaciones de los movimientos de los astros laboriosamente recolectadas por Tycho Brahe y su famoso discípulo Kepler, aunándolas a las realizadas por Galileo sobre los movimientos de los cuerpos graves en la superficie de la tierra. Newton fue capaz de sintetizar todas esas observaciones en un planteamiento mucho más general que no sólo las engloba a todas como casos particulares, sino que durante más de un siglo siguió englobando a todas las observaciones que se fueron realizando en trabajos subsecuentes.

En los señalamientos anteriores está incluida la definición de ciencia o de la actividad científica. Un fenómeno llama la atención de la mente humana y ésta se fija en él y estudia sus detalles; si hay éxito, se llegará a entender cómo ocurre el fenómeno particular y hasta es posible que se lleguen a formular leyes que rijan su evolución. Hasta aquí, se tiene conocimiento observacional del mundo y de sus acaeceres, pero no se tiene ciencia. Sin embargo, cuando este fenómeno se relaciona con el conjunto de sus afines y se logra la formulación de un cuerpo de

doctrina más general, que ya no explica un fenómeno particular y concreto, sino todos los de esa clase, entonces, por el hecho de esa generalización del conocimiento y de la universalidad de la formulación que se haya establecido, se dice que se ha hecho ciencia. El conocimiento científico es general, explica y comprende todos los fenómenos de una clase y los relaciona con sus afines y con el conocimiento anterior.

La formulación de un aspecto del conocimiento científico que proporcione una explicación general del comportamiento de la naturaleza en un cierto tipo de fenómenos es lo que se denomina una teoría.

A medida que el hombre fue comprendiendo el universo y los fenómenos que en él ocurren, encontrándoles explicación y conociendo su desarrollo, fue también capaz de utilizar muchos de esos fenómenos en provecho propio. El conocimiento de la naturaleza le proporcionó la capacidad de manejar algunas de sus fuerzas, para mejorar la dura lucha que tiene que librar continuamente como especie. A partir del conocimiento científico general, para dominar las fuerzas naturales y encauzarlas en provecho propio han de implementarse una serie de acciones que conduzcan esas energías por los debidos cauces. Esa implementación es lo que se conoce con el nombre de tecnología.

La ciencia es, pues, conocimiento general con la mirada puesta en la universalidad. La tecnología es la aplicación de ese conocimiento a acciones y mecanismos que permitan explotarlo en beneficio de la especie humana.

Naturalmente, en la actualidad los esquemas anteriores no son tan simples. Los siglos XIX y XX, especialmente, trajeron consigo en las llamadas revoluciones industriales, desarrollos tecnológicos altamente complejos, que exigieron la solución de complicados problemas, cuyas soluciones resultaron frecuentemente muy refinadas y con un carácter de generalidad muy importante. En otras palabras, el desarrollo estrictamente tecnológico produce un conocimiento científico; la tecnología retroalimenta a la ciencia y se enlaza con ella, por lo que hoy resulta prácticamente imposible establecer nítidas fronteras entre ambos conceptos.

La tecnología es la respuesta que el hombre se da a sí mismo en su necesidad e instinto de búsqueda de ayudas externas que le permitan afrontar la dura lucha por la existencia y por la supremacía sobre las restantes criaturas de la tierra. Así como la ciencia responde a la primera de las cuatro conclusiones atrás establecidas y aplaca la sed de conocimiento, la tecnología responde a la cuarta conclusión y proporciona las armas para el desarrollo.

La velocidad del progreso es proporcional a la cantidad del conocimiento adquirido. El desarrollo responde a una ecuación diferencial engañosamente simple, que podría escribirse como:

$$\frac{d^2C}{dt^2} = \frac{dC}{dt} + MC$$

$\frac{d^2C}{dt^2}$ Es la aceleración del conocimiento o velocidad del progreso;

$\frac{dC}{dt}$ Es el cambio del conocimiento; *C* es la cantidad de conocimiento adquirido por la sociedad, *t* el tiempo y *M* un multiplicador variable que podría llamarse la "flexibilidad de respuesta" del conocimiento.

Cuando la cantidad del conocimiento *C* es pequeña, su velocidad de cambio con respecto al tiempo dc/dt también lo es. Según *C* va aumentando, su derivada con respecto al tiempo o sea su velocidad de cambio, aumenta también, a ello se une un incremento del valor de *M*, flexibilidad de la respuesta social o, por lo menos, del elemento pensante de la sociedad, que produce un efecto multiplicador, que representa el aumento de la habilidad y de la experiencia.

Al principio el hombre avanzó poco y muy lentamente; después, se separó con rapidez creciente de sus hermanos naturales, los restantes componentes del reino animal; hoy la separación con respecto a estos es tal que frecuentemente olvidamos nuestros orígenes.

III.- LA INVESTIGACIÓN

Se denomina genéricamente investigación al conjunto de actividades intelectuales, experimentales y aún de arte que conducen al descubrimiento científico y/o al desarrollo tecnológico.

Quizá pueda esperarse que con lo dicho anteriormente puede deducirse que esta actividad es esencial para el aumento del conocimiento *C* en el grupo social en el que se piense, lo cual propiciará una mayor velocidad del cambio tecnológico y el correspondiente aumento de la flexibilidad *M*, que refleja el incremento de habilidad. Dejando a un lado el lenguaje matemático, puede establecerse que al propiciar la investigación el aumento de conocimiento, inexorablemente propiciará el desarrollo tecnológico y la velocidad con que éste se incremente, acelerando el proceso de cambio.

Constituye un lugar común el afirmar que en el mundo presente, si es que no siempre, el desarrollo tecnológico es una de las claves fundamentales del desarrollo y el bienestar social. Otras claves fundamentales, como el desarrollo cultural y artístico o el desarrollo político orientado hacia la justicia social, quedan

fuera del ámbito de esta charla.

Retomo pues la afirmación de que el desarrollo tecnológico, cuya proa es la investigación que se realice como grupo, es el factor fundamental del incremento del nivel de vida material de una sociedad.

La afirmación anterior, evidente en sí misma puede ser susceptible de algún análisis para reforzarla. En primer lugar, la investigación propicia el desarrollo tecnológico en dos sentidos, ambos igualmente importantes. Produce soluciones a problemas específicos, que se reflejan en los factores económicos y en la calidad de la vida, pero también incide en el desarrollo de habilidades que la sociedad adquiere, que permiten afrontar con mayor clarividencia no sólo nuevos problemas tecnológicos, sino otros de orden económico o político. Cuando se conoce un aspecto de la vida social es fácil cuantificar el efecto de malas prácticas y así convencer de su indeseabilidad más allá de toda duda; frecuentemente esas malas prácticas están sostenidas por intereses de grupo y no son fáciles de desterrar a no ser que, como resultado de un conocimiento cabal y detallado de las realidades objetivas del proceso de que se trate, puedan cuantificarse y detallarse los malos resultados a que conducen dentro del cuerpo social mayoritario. El efecto de una mala práctica constructiva o de un mal ordenamiento legal sólo puede combatirse con el convencimiento de quienes los defienden y éste sólo puede lograrse cuando después de un análisis completo, basado en investigación dedicada pueda demostrarse fehacientemente los malos resultados a que se llegue. Esto es tan cierto como decir que una máquina ineficiente sólo puede sustituirse en un proceso industrial cuando aparece otra mejor.

Una sociedad acostumbrada a pensar en estos términos y actuar en consecuencia, se adiestrará no sólo para obtener resultados tecnológicos específicos, sino también para manejar su autocrítica y para prepararse a auspiciar su desarrollo en todos los terrenos.

Como elementos que favorecen el progreso social frecuentemente se invocan palabras tales como eficiencia o productividad. Sin ignorar que estas representan una condición necesaria para lograr el progreso humano, hay que puntualizar que no constituyen una condición suficiente.

Sin trabajo y productividad, el cuerpo social poco podrá lograr, pero en el mundo actual el trabajo y la productividad armados de un desarrollo tecnológico y científico débiles sólo harán a un grupo social una colonia más eficiente de otro grupo que cuente con un desarrollo tecnológico superior. La tecnología que se adquiere de otros, sin contribución propia, genera dependencia tecnológica y científica, que en el mundo actual se traduce de inmediato en dependencia económica y aún política.

X X X

En torno al trabajo de investigación que un país pueda realizar se mueven algunos fantasmas contra los que conviene apercibirse.

El primero es lo que me atrevería a llamar el complejo del “premio Nobel”. Según éste, el objetivo de la investigación es la obtención de un logro espectacular, de repercusiones internacionales, que conduzca a su autor a la fama mundial. Sin dejar de reconocer lo satisfactorio y conveniente que tal logro pueda resultar, ha de remarcarse que la investigación que se realice en un país tiene objetivos infinitamente más vastos e importantes. Se trata de que todos los procesos en que se base la actividad productiva de ese país se realicen de manera más ventajosa, con mayor eficacia, menor esfuerzo y mejores resultados en lo económico y en lo relativo a competitividad, pues no debe olvidarse que en el mundo que se va conformando, mucho del bienestar de una sociedad particular radica en su capacidad comercial y en el saber ocupar, dentro del concierto de las naciones, una posición competitiva y respetables. Lo anterior se logra con una infinidad de pequeños esfuerzos, poco espectaculares en su mayoría, que vayan mejorando los matices de la productividad. El mejor uso de un material, producto de su mejor conocimiento, incrementa la vida útil de una obra, abarata su conservación y mejora su operación. Un pequeño mejoramiento en un proceso industrial incrementa la competitividad de la empresa y contribuye a que sus productos resulten más alcanzables para la gente. La eliminación de un obstáculo para una actividad humana, en una legislación particular, puede facilitar la realización de procesos importantes y traducirse en un mejoramiento general. Más que el avance a grandes saltos, el desarrollo tecnológico se logra por un esfuerzo sostenido de investigación que vaya mejorando en forma continua pequeños problemas aquí y allá; si durante el proceso de investigación surge un salto espectacular, sea bienvenido, pero no es ahí donde debe esperarse el buen resultado a largo plazo.

Otro fantasma en torno a la actividad de la investigación está en las modas que suelen afectar a estos asuntos. Estas modas pueden gestarse principalmente por dos conceptos. En primer lugar, el investigador, humano al fin y al cabo, gusta de ver su trabajo publicado y difundido por los medios internacionales de mayor prestigio y éstos están, prácticamente sin excepción, controlados por países avanzados, de desarrollo tecnológico comparativamente superior a otros. Este hecho, unido a diferencias sociales o de hábitos de vida, hace que no siempre los temas que esos medios de difusión consideran favorablemente para ser recibidos, coincidan con los intereses reales de países diferentes y con menor desarrollo. Lo anterior conduce a que en un país como el nuestro se dediquen esfuerzos de investigación a temas que no son prioritarios en nuestro momento.

En segundo lugar y vinculado con lo anterior, suele suceder que el investigador, dedicado por la propia naturaleza de su trabajo al estudio y al trabajo en forma muy personal, se aísle un tanto de todos aquellos pequeños obstáculos arriba

mencionados que deben estudiarse para mejorar los procesos productivos. Este defecto convierte al centro de investigación en la proverbial torre de marfil y también tiende a situar el interés del investigador en los temas que más frecuentemente encuentra, no en la vida de su país, sino en la literatura internacional, que por definición se fragua en otras latitudes y bajos otros intereses.

El tercer fantasma es la aparición de “grupos” de investigación, que puedan correr el peligro de tender a considerar importante el apoyo mutuo, descuidando la conexión con otros grupos y con la actividad pública general. Este es otro fenómeno de aislamiento.

Finalmente, debe señalarse como otro peligro de la investigación la búsqueda de la fama, que se traduce en investigar para tener material que publicar o para conseguir aplauso, en lugar de hacerlo para resolver problemas nacionales, aunque parezcan pequeños. Este peligro está fomentado por el hecho de que frecuentemente se juzga la labor de un investigador únicamente por su producción escrita o por el establecimiento de premios y estímulos a los que sólo se tiene acceso por material escrito original.

El mundo de la investigación está, como cualquier otro grupo humano, altamente estructurado. Si bien en principio la comunidad científico tecnológica es una sociedad democrática en la que cualquiera que tenga empeño, dedicación, nuevas ideas o críticas válidas a ideas corrientes, puede trabajar y adquirir autoridad moral, también es cierto que, como dijo Orwell, unos investigadores son más iguales que otros. Esto también suele conducir a que un investigador tenga que encasillarse en un grupo exitoso para tener, él mismo, éxito.

Es evidente que a los peligros anteriores debe oponerse la investigación libre, comprometida con los problemas del país, humilde y siempre teñida de un fuerte sentido social y también siempre en íntima relación con otros hombres, que sin dedicarse directamente a actividades de investigación, conozcan los problemas de la nación, por estar enfrentados a ellos día a día en los frentes de trabajo.

IV.- LA INVESTIGACIÓN EN MÉXICO

Conviene ahora contemplar someramente el estado que guarda la actividad de investigación en México, así como su desfavorable relación entre el esfuerzo que se realiza en búsqueda de la investigación básica y de la que permite producir artículos favorablemente acogidos en congresos o revistas internacionales y el que se hace con la mirada puesta en el desarrollo tecnológico de México y en la resolución de sus propios problemas. Los datos que brevemente pasaré a ustedes son en general, estadísticas del CONACYT y muchos de ellos proceden del magnífico resumen presentado hace algún tiempo por el Dr. Juan Casillas, el Dr. Octavio Rascón y el Maestro en Ingeniería Víctor Porras.

Los planes nacionales de desarrollo vienen señalando desde 1970 una meta, según la cual debe dedicarse a todas las formas de investigación científica y tecnológica el 1% del producto interno bruto. En general se ha dedicado a estas actividades el 0.5% de dicho indicador. Como módulo de comparación, los EE.UU. dedican el 2.7%, Canadá el 1.5%, Italia el 1.1% y Corea el 0.9%.

El esfuerzo mexicano en investigación se divide en 32% en investigación básica, 58% en investigación aplicada y únicamente el 10% en desarrollo tecnológico. Si se particulariza el caso de la ingeniería, separándolo de la ciencia y la tecnología en general, los proyectos dedicados a desarrollo tecnológico llegan al 29%, prácticamente a expensas de los proyectos de ciencia básica, que en el caso de nuestros campos sólo representan el 9%. De nuevo a modo de comparación puede decirse que el desarrollo tecnológico representa en Francia y en EE.UU. el 45% de la actividad, el 59% en Gran Bretaña y el 58% en el Japón.

La desfavorable comparación de la actividad en México en relación a países tecnológicamente desarrollados, probablemente refleja al acicate de la publicación a nivel internacional al que antes me referí, así como una cierta desconexión entre la investigación y los problemas concretos que afectan al desarrollo nacional en los campos de la ingeniería y la industria. Probablemente también reflejan estas cifras el hecho de que, desdichadamente, el desarrollo nacional se fincó en el pasado en una utilización facilista de tecnologías desarrolladas en otros países, en gran parte traídas a México por empresas transnacionales. Como consecuencia inevitable, el desarrollo nacional es ampliamente deficitario, sobre todo si se le contempla desde los intereses reales del país.

El papel de las universidades ha sido preponderante en la investigación mexicana, pero en los últimos tiempos está cobrando realce creciente en centros de investigación dependientes del gobierno federal, tales como el Instituto Mexicano del Petróleo, del Agua, el Investigaciones Eléctricas o la Red de Centros de Investigación que coordina el CONACYT y la Secretaría de Educación. Es significativo señalar que en la actualidad quizá un 70% de la investigación para desarrollo tecnológico se hace en estos centros dependientes de la administración pública.

También es importante recalcar que el sector privado mexicano contribuye al esfuerzo nacional de investigación con no más de un 15%; en países más desarrollados tecnológicamente hablando, esa contribución suele andar entre el 40 y el 70% del total nacional.

En México hay 225 personas dedicadas a la investigación por cada millón de habitantes. Esta cifra es de 4000 en Israel, 3000 en EE.UU., 1900 en Canadá y 730 en Corea.

Estas cifras indican la necesidad de formar cuadros de investigación en México, pero también la necesidad de mantener esos cuadros en tal actividad, impidiendo

su fuga a otras actividades productivas o al extranjero, en donde las condiciones salariales, las posibilidades de progreso personal y otros factores sociales son en la actualidad mucho más favorables.

Si se tiene en cuenta que la actividad de investigación suele estar relacionada con un nivel de preparación académica elevado, resulta altamente preocupante el hecho de en ingeniería sea tan baja la cantidad de alumnos que realizan estudios de postgrado y que esa cantidad no muestre en los años recientes tendencia al crecimiento. Parece que una vez más hay que buscar la razón de este hecho en las mejores oportunidades que los jóvenes ingenieros encuentran en la ingeniería de realización y, aparentemente, con menor esfuerzo. Y digo aparentemente porque, por un misterio no fácil de desentrañar, el estudiante considera “esfuerzo” a la actividad de estudio y, en cambio, considera natural el trabajo, por lo menos tan arduo, que ha de hacerse en la ingeniería de realización para obtener el progreso al que aspirará. Sería muy interesante analizar las fallas del proceso educativo que conducen al estudio a convertirse en una actividad menos grata que otros tipos de trabajo, aun cuando pueda parecer fuera de toda duda que debería ser al revés, dados los naturales impulsos y curiosidades del hombre. Parece urgente que las instituciones gubernamentales, conscientes de esta problemática y lógicamente menos interesadas en la explotación del trabajo humano, tomen la iniciativa creando estímulos salariales y de toda índole para sus empleados con estudios de postgrado. Sin embargo, pienso que el proceso de estímulo debería de acelerarse, de manera que el mejor preparado alcanzara, en plazos más cortos, algunas de las oportunidades que inexorablemente estará alcanzando por sí mismo en plazos mayores; no hay que olvidar que es al principio cuando se logra el arraigo de los jóvenes en las instituciones y cuando tiene que lograrse que el campo de trabajo del empleado no se desvíe del campo en que se realizaron los estudios especializados. Obviamente esta política debe realizarse aún más esforzadamente en los centros de investigación.

Debe señalarse que el rezago actual de la investigación mexicana en ciencia básica, en ciencia aplicada y en desarrollo tecnológico va en contra de la experiencia histórica del país. Aún en contra de la reciente. Basta recordar los fructíferos días de la Academia de Minas, llenos de logros científicos y de avances tecnológicos que dieron un lugar de honor a la Industria Minera Nacional, para sustentar lo anterior, sin cansar al auditorio con repeticiones de ejemplos. En épocas más recientes, los Institutos Médicos Nacionales, los estudios sobre semillas cereales mejoradas, los de producción agrícola en desierto y semidesierto y, naturalmente, los logros del Instituto de Ingeniería de la UNAM, del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, del Instituto Mexicano del Petróleo, del Instituto de Investigaciones Eléctricas y otros muchos, dan fe de que los esfuerzos de investigación sostenidos y sistemáticos conducen a los mismos resultados en todas partes del mundo, resultados que se traducen velozmente en ventajas para las perspectivas nacionales ¿Cuántos de nosotros sabemos que el Instituto Nacional de Astronomía tiene un lugar respetable en el

mundo, pese a lo difícil del campo de actividad y a lo terriblemente costoso de los equipos necesarios para la investigación moderna?

En los años de 1950-1960, cuando México se vio enfrentado a la construcción de grandes presas de tierra, sobre las que no había experiencia mundial previa y que implicaban, por ende, un arriesgado esfuerzo de extrapolación experimental, se realizó en el país un intenso estudio sobre equilibrio de cortinas y utilización de materiales, diseñando y construyendo para ello equipos experimentales que no existían en el mundo. La consecuencia es que en las presas de tierra muy altas construidas en todas partes en las décadas de los 70 y 80, una parte muy importante de la tecnología empleada es mexicana. Ello es especialmente cierto en lo que se refiere a tecnología de enrocamientos, filtros y drenaje.

No quisiera seguir por este camino, que fácilmente conduce a un triunfalismo demagógico fatal para la credibilidad y la autoridad moral. Quede simplemente asentado el hecho de que cuando en México se han emprendido esfuerzos sostenidos de investigación, se han obtenido los correspondientes resultados. No mejores que en otras partes, pero tampoco peores.

Debe entenderse que de todas las actividades científicas y técnicas, la investigación no es sólo la más importante, sino también la más económica. En lo referente a ciencia básica, lo anterior es obvio, pues los saltos en esta materia han llevado al hombre desde los árboles hasta la luna; pero también en desarrollo tecnológico la investigación es la actividad más redituable y ello por su gigantesco efecto multiplicador. Una innovación tecnológica cualquiera, que produzca una pequeña ventaja, se repite tanto en el proceso del trabajo o en el proceso industrial, que paga contundentemente no sólo la inversión necesaria para lograrla, sino la pagada en todos los proyectos que se hayan intentado sin igual éxito. No se acierta siempre.

En este momento en que el mundo se debate en una crisis de orientación y en que la productividad de las inversiones debe cuidarse como nunca, la investigación resulta ser no sólo la actividad que pueda constituir la salvación, sino la más redituable; ello a condición de que su tema de estudio esté centrado en la problemática real que afecta a la sociedad.

Séame ahora permitido decir también algunas palabras sobre los receptores de la investigación. Obviamente, casi toda la investigación que haya de hacerse en México, sea en el campo ingenieril o en el industrial y operativo está dirigida a los hombres que ejecutan las tareas en la rutina diaria; obviamente también entre éstos hay técnicos muy brillantes, tanto como el investigador más sagaz; otras veces, esos técnicos no serán tan creativos, pero conocerán su trabajo tras años de ejecutarlo y estarán unidos a sus métodos. En uno u otro caso, tienden a generarse ciertas resistencias a los cambios e innovaciones que el resultado de la investigación suele comportar; a veces, porque el hombre brillante no cree que deba ser guiado; a veces, porque el más rutinario teme que los nuevos métodos

que se le proponen le resulten difíciles de aprender y de aplicar.

Lo anterior puede llegar a tener un final desdichado que conduce al resultado de la investigación al olvido de un archivo. Esto es, naturalmente, fatal.

No pretendo decir que todo trabajo de investigación merezca implantarse; los investigadores se equivocan o se desvían, como todo el mundo; no siempre tienen la razón y menos veces tienen toda la razón, pero su contribución debe considerarse siempre merecedora de análisis, de discusión y de prueba. El conservadurismo como actitud, ignora el hecho fundamental y probado de que todos los cambios positivos provienen de un trabajo de investigación y que todo progreso alguna vez fue novedad.

Aquí aparece un doble esfuerzo de colaboración; por una parte el investigador debe poner toda su aplicación para que el resultado de su trabajo se exprese en términos sencillos, prácticos y fácilmente aplicables por parte del técnico de ejecución, a quien no debe pedirse que además de plegarse a la novedad y de atender sus propios problemas haya de realizar un intenso esfuerzo de interpretación y asimilación; por otra parte, el ingeniero de ejecución debe obligarse a entender que las ideas que se le presentan corresponden a un esfuerzo de buena voluntad de alguien tan interesado en el progreso como él mismo y que ese esfuerzo merece respeto, análisis y discusión.

El receptor de la investigación a quien se propone un nuevo método de trabajo, suele preguntar qué investigación reciente, probablemente expresada en resultados de laboratorio, respalda el nuevo método que se le ofrece. Pienso que en esta solicitud está involucrado un error de concepto que quisiera detallar un poco.

La investigación tiene dos tipos de productos. Uno es el planteamiento de algún hecho objetivo de la naturaleza, que se expone recién descubierto. Este hecho debe publicarse para su corroboración y/o crítica por parte de otros investigadores. Del conjunto de todas estas actividades van surgiendo progresos científicos y técnicos que hacen avanzar el conocimiento.

Otro producto de la investigación, especialmente de la orientada al desarrollo tecnológico, es la proposición de nuevos métodos de trabajo. A diferencia de lo anterior, este producto debe estar respaldado no por descubrimientos de la víspera, aun no bien comprobados, ni analizados en su alcance a diversas situaciones o materiales, sino por el conjunto de hallazgos y criterios ocurridos quizá en años y que ya formen parte, sólidamente establecida, de la disciplina de que se trate. Sería inadecuado y contra toda experiencia, volcar en el trabajo diario, con todo el esfuerzo e inversión que representa, descubrimientos muy recientes u opiniones de ayer, no del todo asimilados y comprobados. Todo hecho nuevo producido por un investigador requiere la crítica, la matización y, en su caso, la corroboración de otros investigadores, antes de poderse introducir en

recomendaciones prácticas de trabajo.

El receptor de la investigación debe comprender estos hechos y recibir las aportaciones de sus colegas investigadores como ayudas merecedoras de discusión y análisis.

V.- CONCLUSIONES

Antes de terminar quisiera dejar sentadas algunas conclusiones que me parecen pertinentes.

1. La investigación está sumergida en lo más profundo del alma humana. La curiosidad ante el entorno natural y la búsqueda de la ordenación social responden a los dictados más elementales de la lucha del ser humano por su sobrevivencia como especie.

2. La naturaleza de esta lucha es tan dura que cualquier ayuda externa que el hombre pueda encontrar es importante y, frecuentemente, esencial. Esta búsqueda de ayudas llevó a nuestros lejanos antecesores a las primeras toscas herramientas y el impulso es el mismo que hoy nos lleva a los más complicados procesos industriales.

3. Hoy como siempre, la preeminencia tecnológica es determinante del éxito social, especialmente si logra evadirse la sed de conquista.

Así como antaño quien dispuso de las mejores herramientas prevaleció, así hoy, cualquiera puede verlo, prevalece quien posee mayor desarrollo tecnológico.

4. En el mundo actual, grandemente comercializado y fuertemente competitivo, sólo se alcanzan las condiciones necesarias para el bienestar por medio del desarrollo tecnológico. Esta afirmación puede extenderse, según parece, al futuro contemplable. Nótese, por otra parte, que he dicho condiciones necesarias para el bienestar, pero no suficientes. Sociedades modernas muy industrializadas pueden desarrollar cánceres sociales que nosotros desconocemos, pero esa es otra cuestión en la que es difícil interesar a masas populares que carezcan de lo necesario.

5. La investigación es la actividad que conduce al desarrollo tecnológico y técnico y es una actividad de resultados seguros e inexorables. Depende sólo del cerebro humano, en última instancia, y ese es gratuito y florece en todas partes.

6. La investigación es la más redituable de todas las actividades humanas.

Ojalá que en el inmediato futuro saquemos las debidas líneas de acción de todos estos hechos que, aunque aceptados universalmente, todavía necesitan, según se ve, asimilación más profunda.

POLÍTICAS DE INVESTIGACIÓN Y FUENTES DE FINANCIAMIENTO EN LOS CENTROS DE INVESTIGACIÓN DEL TRANSPORTE**

Alfonso Rico Rodríguez

I.-Investigación y Educación Superior

Parece evidente la imposibilidad de hablar de investigación y desarrollo tecnológico sin relacionar ambos con la situación de la educación en el País. En este caso, el panorama educativo a explorar es, también evidentemente, el de la educación superior, en referencia a los estudios de licenciatura universitaria y, sobre todo, de postgrado. Por otro lado conviene analizar la actividad de investigación misma, para circunscribir la que interesa específicamente en este trabajo.

Es conveniente considerar varios niveles en los trabajos de investigación.

Estos niveles están definidos tanto por los objetivos del trabajo, como por sus alcances y sujetos de estudio. Al igual que todos los demás asuntos de este trabajo, la clasificación que sigue se refiere a investigación científica y tecnológica y no pretende cubrir áreas de ciencias sociales o médico-biológicas.

a) Investigación básica.- Se refiere a planteamientos generales de carácter exclusivamente científico, independientemente de que a ellos se llegue por el empleo del pensamiento teórico o de metodologías experimentales. Su objetivo es la adquisición de conocimiento nuevo o el esclarecimiento de puntos fundamentales que aunque sean conocidos, presentan aspectos oscuros; es decir, su objetivo es lo que en forma general, pero confusa, suele llamarse el avance de la ciencia. Los sujetos de estudio en la investigación básica suelen ser entes conceptuales.

b) Investigación general.- Trata con temas y situaciones concretas, pero vistas desde perspectivas que tiendan a dotar los resultados obtenidos de un valor general que, trascendiendo de las concepciones específicas de partida, pueda llegar a planteamientos universales para fenómenos de un cierto estilo, situaciones análogas, empleo de unos mismos materiales u otras.

c) Investigación institucional.- Se destina a la resolución de problemas concretos que encare una institución nacional o una empresa productiva dentro de su campo específico de trabajo que, independientemente de que se refieran a fenómenos o comportamientos conocidos, no hayan sido resueltos en forma detallada para las necesidades del quehacer de la institución, para sus posibilidades de trabajo o que sean susceptibles de optimización en esos aspectos. Muy frecuentemente la

**Rico, A. (¿?). Políticas de Investigación y Fuentes de financiamiento en los centros de investigación del transporte. Referencia desconocida.

investigación institucional está ligada al desarrollo tecnológico, a la optimización de procesos o a la adquisición de habilidades para tratamientos masivos.

Por ejemplo, la investigación de la naturaleza de un cuasar es, en la actualidad, fundamentalmente investigación básica; la investigación de algún aspecto de la evolución estelar por el paciente y exhaustivo análisis de muchas situaciones estelares concretas sería la investigación general y la investigación de procesos para la fabricación de lentes telescópicos perfeccionados y competitivos en un mercado sería investigación institucional.

No hay que decir que como en cualquier caso en que trate de encasillarse a la investigación, las condiciones de frontera son indefinibles. Tampoco es necesario puntualizar que cualquier clase de investigación de las mencionadas puede fácilmente emigrar a otra clase durante el proceso de la investigación misma o puede alimentar a las otras dos (en sentido ascendente, porque en sentido descendente la influencia es ley).

La clasificación de la investigación suele ser apropiada para orientar la marcha de las tareas por emprender. Sin embargo, es imposible apegarse rígidamente a ella, pues tal actitud llevará inexorablemente a cometer errores y a apartarse de los objetivos fundamentales de la investigación, independientemente del nivel al que ella se emprenda.

Dada la naturaleza de la universidad y las características del espíritu académico, parece evidente que la investigación universitaria debe inclinarse fundamentalmente a la investigación básica y a la general; este criterio está ampliamente respaldado por la experiencia mundial y por el sentido común. Cuando en lo anterior se habla de la universidad, se piensa en los centros e institutos que dependen de las escuelas y facultades universitarias.

Existen cuatro razones fundamentales que hacen proclive a la universidad a las áreas básicas y generales:

- Porque en las universidades se da una mayor densidad de recursos humanos con el perfil psicológico y la vocación para estos niveles de investigación.

- Porque los centros universitarios no están ligados en forma única o preponderante a ninguna actividad específica, por lo que de un modo natural tienden a la visión general, sin urgencias absolutas.

- Porque está sobradamente probado que la investigación básica y general constituye el más poderoso apoyo a la enseñanza universitaria. Esto es axiomático para los niveles superiores de estudio, tan necesarios para

México (en maestrías o doctorados, pero también es muy importante y útil a niveles de especialización y licenciatura.

- Independientemente de entelequias a que puedan tender espíritus no del todo realistas e independientemente de que en una universidad convenga combatir en lo posible estas tendencias, para disminuirlas en sus efectos, parece innegable que el espíritu del auténtico investigador universitario es más dado al trabajo individual o de grupos pequeños que al trabajo colectivo; esta característica predispone, también, a enfoques de naturaleza básica y teórica.

La matización entre investigación básica e investigación general en los centros universitarios depende mucho de la naturaleza de los mismos y, desde luego, no puede hacerse por decreto o plan. Un instituto de ingeniería mecánica o civil tenderá a la investigación general, en tanto que un instituto de física o de matemáticas se inclinará preferentemente hacia la investigación básica.

Como un trasfondo en la política de respaldo a uno y otro tipo de investigación debe considerarse también el hecho experimental de que ninguna sociedad o país ha alcanzado independencia tecnológica o desarrollo significativo en niveles industriales y de vida general sin alcanzar primero un alto nivel en investigación básica. Este es un hecho jamás refutado por la práctica.

Los Centros de Investigación Universitarios deben participar obviamente y de la manera más cercana posible, en las tareas del desarrollo nacional en todos los niveles. Ello ha de llevarlos a un contacto fértil con la sociedad y sus problemas. Y aquí cabe mencionar como un problema de muchos países, sobre todo de los llamados “en desarrollo”, el relativo divorcio que es factible ver entre ellos y la educación superior. Es frecuente, ver, pero no deseable, institutos de investigación que se desarrollan y trabajan con relativo poco interés por la tarea educativa diaria de su institución, perdiendo así una excelente oportunidad de reforzar la utilidad de su propio trabajo.

X X X

Los centros de Investigación sobre el Transporte, que serán el principal foco de atención de este trabajo, son instituciones dedicadas al estudio, desarrollo y perfeccionamiento de la actividad humana que les da nombre. Por lo mismo que tratan con una “actividad”, requieren como ingredientes de su tarea productos intelectuales relativamente bien digeridos, que han sido previamente elaborados por el enorme número de campos de pensamiento que concurren en la propia actividad (se recalca la palabra) del Transporte. La Ingeniería Civil, la Mecánica, la de Comunicaciones, la Informática, la Estadística, la Economía, la Sociología y tantas otras disciplinas proporcionan los ingredientes básicos del trabajo de esos

Centros y a ellos corresponde amalgamar esas contribuciones, para llegar a técnicas, procedimientos, sistemas y estrategias que faciliten la actividad de transportar productos y personas, facilitando la vida económica y social de las naciones.

El campo de la investigación del Transporte no será entonces, salvo raras excepciones, el básico, el teórico o el puramente científico y especulativo. Será más bien el de la investigación general y el de la investigación institucional, con mirada que tienda a estar centrada en el desarrollo tecnológico, en la optimización económica y social, en el sentido de buscar un transporte puntual, seguro, generador de posiciones de ventaja a la industria y al comercio y no agresivo al entorno ecológico que la sociedad humana requiere.

La relación con la Educación Nacional es ahora particularmente delicada. Por ser el Transporte una actividad humana y no una disciplina técnica o científica, requiere del concurso de muchas de éstas, generando la necesidad de un trabajo de equipo. Como quiera que los miembros de tales equipos generalmente adquieren conocimientos sobre sus respectivas áreas no específicamente orientados hacia la actividad del transporte, se plantea la necesidad de que los Centros de Investigación enfocados a este tema no puedan despreocuparse de la educación, especialmente de la educación superior, a fin de lograr una capacitación especial que incline los conocimientos generales previamente adquiridos hacia el campo específico del transporte. Los centros de investigación deberán apoyarse en los cursos de postgrado que cada día aparecen con mayor frecuencia en infraestructura, economía y equipamiento del transporte y organizar los cursos de capacitación que sean necesarios para suplir vacíos que puedan detectarse en el trabajo universitario.

En muchos países en vías de desarrollo la consecución de un nivel educativo superior compatible con las necesidades de una sociedad tecnológica moderna está lejos de lograrse. Es por ello urgente que universidades y centros de investigación dediquen importante esfuerzo a esta fundamental actividad. En lo que se refiere a Centros de Investigación de Transporte, el apoyo de la educación superior en estos temas debe verse como una actividad prioritaria y los gastos que esa tarea demande deben considerarse inversiones altamente redituables para el propio Centro y para el país.

II.- Políticas de Investigación de los Centros dedicados al Transporte

Algunas de las orientaciones básicas de la política de investigación de un centro dedicado a actividades de transporte habrán de ser las siguientes:

- Apoyo especial a la investigación aplicada susceptible de traducirse en desarrollo tecnológico de actividades conocidas, en introducción de nuevas tecnologías, de nuevos materiales y de nuevos procedimientos de trabajo.

- Apoyo especial al desarrollo tecnológico de la industria conectada con la actividad.

- Desarrollo de estrategias generales que permiten hacer frente de manera ponderada y debidamente jerarquizada a trabajos usualmente desarrollados con base en criterios puntuales o personales, pero fuera de una visión armónica de las realidades nacionales. Lo anterior vale para los trabajos de planeación, conservación de infraestructura, integración de modos de transporte, establecimiento de marcos reglamentarios y jurídicos y otras. En muchos países, el crecimiento natural de las redes de transporte y de la influencia del mismo en el desarrollo nacional exige la substitución de mucha tecnología tradicional por modernas y completas estrategias de actuación.

- Desarrollo de métodos apropiados para obtención de información sobre el transporte y generación de bancos de datos que permitan coordinar la actividad del mismo con los desarrollos económicos y sociales que tengan lugar en la nación.

- Atención al desarrollo regional homogéneo en aspectos de calidad de vida en todo cuanto al transporte pueda influenciar.

- Dar especial atención a aquellos proyectos en que por la naturaleza de la idiosincrasia y hábitos de la nación o por otras condiciones de la situación de la misma, aportaciones tecnológicas procedentes de otros países resulten incompletas o inaplicables. Mucha tecnología de punta producida en el extranjero responde a necesidades nacionales diferentes a las que se plantean en otros países de diferente grado de desarrollo. Aquí existe la posibilidad de que estos últimos puedan aprovechar la tecnología exterior para avanzar a “saltos tecnológicos” y esa posibilidad debe aprovecharse, pero también hay casos en que tales saltos resulten imposibles o indeseables, con lo que se plantearán interesantes problemas de adaptación tecnológica.

- Fomentar al mayor grado posible los contactos entre el centro de investigación y toda la actividad industrial y comercial relativa al transporte nacional.

Obviamente los puntos anteriores no agotan el tema y simplemente pretenden dar fe de algunos campos de trabajo.

Un punto adicional de interés a desarrollar será un sistema adecuado de autoevaluación de los trabajos llevados a cabo por el Centro.

III.- Relación de los Centros de Investigación con los agentes productivos del Transporte

Probablemente el problema práctico más difícil de resolver en la administración de la investigación es el de la vinculación con el sector productivo. Se entiende por este concepto la relación que permita una permeabilidad rápida y eficiente de la investigación general y/o básica hacia el desarrollo tecnológico, la implantación en los procesos productivos y el disfrute de resultados por parte de la gente. Este es un problema universal, que se señala en todas las épocas y en todos los países, pero probablemente es particularmente grave en los países subdesarrollados y, en particular, en México; este último agudizamiento de dificultades debido al doble hecho de la existencia de una investigación no siempre enfocada al proceso productivo y, en grado de importancia incuestionable, a que el propio proceso productivo no está acostumbrado a la investigación, no la practica y no suele creer que, muy especialmente la proveniente de su propio país, le resuelva ningún problema práctico de alto interés; en todo caso, está más inclinado a aceptar investigación que provenga de naciones de alto prestigio en estos terrenos. Presidiendo estos hechos bien conocidos, no debe olvidarse que Feymann hizo ver en una famosa conferencia pronunciada en Nueva York, ante el escándalo de sus colegas, que el lapso transcurrido entre una gran idea brillante y su utilización social prácticamente no ha variado en el mundo desde Babilonia hasta nuestros días.

Es bien sabido que investigadores y dirigentes del sector productivo se echan mutuamente la culpa de la incomprensión existente entre ellos, expresiones tales como “torres de marfil”, dirigentes no preparados y otras, por más que sean totalmente estériles, abundan, obviamente sin resolver nada. Claro que los investigadores no viven en una torre de marfil (cuando mucho, los jóvenes parecen destinados a vivir en una casa de interés social) y tampoco los empresarios y los dirigentes de grandes empresas públicas son seres desinteresados del progreso. Más bien parece que ambos grupos tienen intereses comunes a un grado que dificulta el entender cómo puedan vivir tan desconectados. El investigador conoce y disfruta enormemente con la idea de que su trabajo se traduzca en nivel de vida general; el empresario busca ante todo su provecho propio, pero frecuentemente a éste le sigue alguna forma de mejoramiento social; en cuanto al gran dirigente de una empresa pública productiva, es obvio que el desarrollo tecnológico que sigue a la investigación satisface sus apetencias de espíritu de servicio y apertura de posibilidades de carrera personal.

No es, pues, aceptable que la vinculación entre todos esos grupos no camine por pecados de uno sólo. Entre algunas razones que puedan contribuir a la incomprensión podrán citarse los siguientes:

a) La mencionada inadecuación entre la investigación realizada y las verdaderas necesidades del proceso productivo.

b) El desconocimiento de la realidad académica por parte del sector productivo, tan extremoso, que en ocasiones llega a la formulación de imágenes negativas, con confusos planteamientos de carácter político o de comportamiento social.

c) El hecho de que los investigadores y los responsables del sector productivo hablan idiomas diferentes y ello no por que unos sean más inteligentes que otros o los otros sean más “prácticos” o realistas que los primeros.

d) El hecho de que ambos grupos humanos raras veces se conocen y carecen de oportunidades para estimarse mutuamente.

e) Porque no hemos sido capaces de imaginar proyectos y empresas en las que ambos grupos puedan decidida, comprometida y responsablemente, colaborar.

El punto a, de importancia fundamental, ya ha sido comentado más atrás.

El punto b presenta todo un reto a todos los responsables. Como cualquier otro reto importante, no puede resolverse sólo con palabras. Únicamente se obtendrán resultados si se logra que el sector productivo comprenda la investigación, la conozca y aprecie el valor y la potencialidad de lo que con ella se hace. Claro que no se pide que investiguen, pero si que se busquen mecanismos que los convoquen y les permitan conocer a la otra parte. Seminarios y todo tipo de reuniones, exposiciones de lo realizado, tareas compartidas de cualquier estilo, serían posiblemente de gran utilidad. Lo que se hiciera por este esfuerzo de mutuo conocimiento resultaría de trascendencia para el país.

El hecho de que los investigadores y muchos representantes del sector productivo hablen idiomas diferentes es naturalmente una consecuencia inevitable de la formación cultural y la marcha por la vida de cada grupo; no es ni un indicador de coeficiente intelectual, ni de raigambre en la realidad del servicio útil. No cabe duda de que esta diferencia de idiomas, que expresa una diferencia de visión en muchas cuestiones de detalle, es un obstáculo para el buen entendimiento. Lo que puede hacerse en este terreno es amplio pero frecuentemente muy difícil de implementar.

En las grandes empresas oficiales o privadas deberá propugnarse por establecer Institutos de Investigación Institucional, que constituirán eslabones de comunicación evidentes. Las empresas medias o muy progresistas deberán ser inducidas a crear en sus organizaciones una figura de “agente tecnológico”, una

persona capaz de comprender al universitario y, a la vez, la vivencia de la empresa; este grupo dentro de la empresa podrá tener el tamaño que la propia empresa requiera. La empresa pequeña ofrece una problemática de vinculación mucho más compleja y es de esperar que en el futuro inmediato se nutra fundamentalmente del avance de las empresas medianas y mayores.

Un posible programa de becas de trabajo que enviara a investigadores del área técnica a las plantas de producción y a técnicos de esas plantas a los institutos de investigación, podrá ofrecer ayuda.

Como se ve, no parece posible ofrecer una panacea a este problema fundamental; más bien, la voluntad de la universidad y del sector productivo podrá ir abriendo oportunidades.

La contribución de la academia podrá ser muy importante. El investigador debe reconocer que una buena parte del material que publica como resultado de sus trabajos en investigación básica y general está escrito de una manera que resulta muy difícil de comprender a fondo aún por sus colegas dedicados al siguiente escalón de la difusión de la investigación, el correspondiente al desarrollo tecnológico y, desde luego, prácticamente imposible de asimilar por parte de sus colegas en las áreas operativas. Debe entender que estas personas tienen arduas jornadas con sus propias tareas y que sus tiempos de lectura y estudio son reducidos y deben ser facilitados. Los institutos de investigación deben tener el necesario cuerpo editorial que republique un documento original, quizá conciso y muy técnico, dándole la necesaria extensión y complementación para transformarlo en un documento operativo, entendible por todo el mercado. Aún la original Teoría de la Relatividad Einsteniana, dirigida a grupos de alta selección, no logró la permeabilidad adecuada hasta que “divulgadores” de la categoría de un Eddington, un Roussel u otros la mostraron ilustrando todos sus detalles operacionales.

La dificultad mencionada en el inciso d se considera suficientemente tratada en lo dicho anteriormente.

El inciso e, ofrece, oportunidades extraordinarias para vinculación. Los institutos de las grandes empresas del Estado y de las grandes compañías privadas deberían ver en esas actividades una auténtica cruzada.

Se concluye que los problemas de la investigación y la vinculación de esa investigación con el sector productivo no radican nunca en un solo lado. Ni el Estado debe ser único responsable del financiamiento, ni el sector productivo es el único responsable de la incomprensión; ambos son corresponsables, pero al lado de los mismos investigadores, que tienen mucha tarea a realizar en estos asuntos, de los que depende el futuro del país. Sin abdicar su papel de rectores de la investigación básica y general, los Centros de Investigación deben hacer mucho para aglutinar su trabajo al esfuerzo productivo, seleccionando campos de interés

y posibilidad y para poner el resultado de su trabajo al alcance de quien ha de utilizarlo. El sector productivo debe ser persuadido de que el esfuerzo es vital para su desarrollo, participando en él por todos los medios posibles.

IV.- Financiamiento de la Investigación en Institutos dedicados al Transporte

Frecuentemente se señala como deseable que los Centros de Investigación se conviertan inmediata o progresivamente en instituciones autofinanciables; es decir, que obtengan sus recursos por contratos de estudios, proyectos o servicios prestados a instituciones públicas o privadas.

El gran argumento a favor de esta opinión, por cierto, no desdeñable en principio, es que de esta manera los Centros de Investigación se obligan a que sus proyectos de trabajo se refieran a temas de interés directo para la productividad. Un segundo argumento, también de peso, es que una política de autofinanciamiento descarga correspondientemente al erario público.

A despecho de estas ventajas, los criterios básicos implicados ameritan alguna reflexión.

1.- Es dudoso que un Centro de Investigación de Transporte deba dedicarse en forma exclusiva a temas de directa aplicación en la planta productiva. Existen temas generales que prometen aplicaciones inmediatas que también interesan. Es inconveniente que la labor de un Centro deba renunciar al futuro y a estudiar nuevas o más amplias alternativas tecnológicas.

2.- La política de autofinanciamiento podrá actuar también en contra de todo esfuerzo de investigación básica, que a fin de cuentas siempre vendrá a ser la de mayor trascendencia.

3.- La política de autofinanciamiento llevaría a una competencia del Centro de Investigación con las empresas consultoras de su ramo, con consecuencias muy serias para estas últimas y ello por dos razones principales; la primera, porque un Centro de Investigación Sectorial probablemente sobrepase en capacidades e instalaciones a las posibilidades de una empresa consultora específica y, en segundo lugar porque un Centro de investigación sectorial o gubernamental tiene siempre formas escondidas o aparentes de subvención estatal, lo que transformaría la competencia en desleal. Además del deterioro de imagen del propio Centro que esta situación conllevaría, la lesión a las perspectivas de las empresas consultoras perjudicaría gravemente a un eslabón de gran importancia en el desarrollo tecnológico y su vinculación con el Sector Productivo.

4.- La política de autofinanciamiento no sólo desviaría la actividad del Centro, sino que lo llevaría a una competencia inconveniente con otros similares en actividad, según ha quedado establecido por un estudio reciente realizado por el Ing. José

Antonio Esteva y sus colaboradores. Dicho estudio señala además, que, en promedio nacional, los Centros que manejan estas políticas logran en México autofinanciamiento en cifras en torno al 20% de sus necesidades, lo que parece un resultado relativamente pobre, si se le compara con los peligros inherentes.

5.- La captación de contratos remunerativos adquiere perfiles más acusados cuando se permite algún tipo de reparto de las utilidades de un proyecto entre los investigadores y el personal de coordinación. Se crean entonces intereses muy entendibles, pero que no pueden sino sesgar la actividad del Centro de Investigación.

6.- La competencia comercial entre los Centros de Investigación o la competencia entre ellos y las empresas privadas de consultoría no puede sino llevar a los Centros a un aislamiento informativo, en el cual se reserven información que pueda resultar en beneficio de su competitividad.

7.- La política de autofinanciamiento implica de manera implícita, pero muy actuante, un sistema de evaluación de la actividad de los Centros de Investigación que no tiene nada que ver con los objetivos y con la real trascendencia del trabajo de dichos Centros en interés del país.

Como alternativa a una política de autofinanciamiento en los Centros de Investigación, se proponen las siguientes normas:

a. La investigación y las acciones para el Desarrollo Tecnológico en el Transporte, deben considerarse, básicamente, como actividades que deben ser presupuestalmente sostenidas por las entidades de ellas responsabilizadas.

b. Debe reconocerse que existen otros tipos de Centros de Investigación, a los que debe corresponder un abanico igualmente amplio de políticas presupuestales.

c. Debe reconocerse el papel fundamental que las empresas de consultoría de alto nivel juegan en el Desarrollo Tecnológico Nacional y en la diseminación del material tecnológico. Son vínculo entre Centros y producción, pues hablan ambos idiomas.

d. La necesaria vinculación entre la actividad de los Centros de Investigación y las necesidades tecnológicas del Sector Productivo debe lograrse a través de un mecanismo triple. Primero, estableciendo en las empresas u organismos usuarios de la tecnología una figura de “gerencia tecnológica”, constituida por personal de formación académica de alto nivel, integrante de

la empresa u organismo. Segundo, estableciendo en los Centros de Investigación grupos de especialistas en producción y comercialización de los productos tecnológicos desarrollados, facilitando así el diálogo entre el Centro y la “gerencia tecnológica” del usuario. Tercero, aprovechando las oportunidades de vinculación que ofrecen las empresas de Consultoría.

e. La diversa naturaleza de los Centros de Investigación debe reflejarse en la organización de su presupuesto. Un Centro universitario tal como el Instituto de Matemáticas, por ejemplo, obtendrá su presupuesto en forma completa de la propia fuente universitaria; por el contrario, algún Centro dedicado a una industria específica podrá obtenerlo de diversas fuentes, incluyendo la realización de servicios industriales con contrato cobrado.

f. La oferta de servicios de algún tipo especial constituye en el caso de un Instituto dedicado al Transporte un puente no desdeñable para propiciar la vinculación con el Sector Productivo. Los Centros de Investigación suelen tener una infraestructura de instalaciones, laboratorios y equipos que no es frecuente encontrar en las empresas de consultoría o en las privadas, que pueden acudir a él con problemas específicos.

g. Los investigadores y el personal de los Centros de Investigación deben obtener sus remuneraciones por un tabulador estable y homogéneo, que propicie niveles adecuados para garantizar una carrera de por vida y que sea competitivo dentro de las condiciones del mercado general de trabajo, tomando en cuenta el carácter de excelencia que debe corresponder a su labor.

Para terminar, quisiera plantear algunos temas de reflexión para los que, desgraciadamente, carezco de respuesta personal y aún más, de respuesta única; los propongo como ejercicio para todos en los próximos 50 años:

1.- ¿Cabe hablar de investigación aplicada, sin tener amplia capacidad en investigación básica? De otra manera: ¿Cabe pensar que quien tenga como meta el desarrollo tecnológico y la solución de los problemas prácticos, con base en el desarrollo científico de otros, pueda aspirar a algún grado de independencia en el coloniaje intelectual?

2.-¿El subdesarrollo tecnológico e industrial es una consecuencia de la falta de investigación o la falta de investigación se debe al subdesarrollo tecnológico e industrial? El punto es vital. Si lo primero es cierto, se justifican todos los artículos que se leen sobre la necesidad de que el Gobierno y la iniciativa privada patrocinen investigación, modifiquen políticas, aumente salarios, etc. si la segunda

es cierta, la situación es mucho más confusa y el esfuerzo en investigación mucho menos claro en resultados; el problema de desarrollo se remite entonces más que a la investigación científica y tecnológica en el corto plazo, al desarrollo cultural de la sociedad como pasivo previo a la capacidad de establecer un equilibrio adecuado entre investigación y respuesta de la planta productiva. En este punto creo que mi opinión anda en un término medio. Quien le pide al Gobierno apoyo indiscriminado, invita fácilmente a dispendios de recuperación no garantizada en ningún orden, pero la falta de una política de apoyo de gobierno e industria, parece ser suicida. La necesidad de apoyar prioritariamente las áreas donde existe capacidad de respuesta, parece perfilarse como solución.

3.-Desprendiéndose de lo anterior, ¿proporciona la comunidad científica y tecnológica al Gobierno y a la industria algún criterio que permita autoevaluar su esfuerzo presente o evaluar la posibilidad futura? Para la industria, esos mecanismos de evaluación de centros de investigación no pueden ser otros diferentes al "negocio" que la industria realice; publicaciones, convenios con CONACYT, autosuficiencia financiera, etc., no significan nada. Para el Gobierno, a fin de cuentas los criterios vienen a terminar en lo mismo, aunque ahora se llamen aumento en la productividad nacional, disminución de importaciones, aumento de exportaciones, equilibrio de balanza y otros. Nuestra inquisición sobre si está dando a los usuarios de la investigación criterios de evaluación razonables debe extenderse y esto parece esencial, a la pregunta de si estamos dando elementos para juzgar al no convencido y no especialista de cuál es el valor de la ciencia básica en todo este juego. Después de la Segunda Guerra Mundial, una de las más flageladas naciones estableció, según se dice, su programa de recuperación sobre esta base:

40% del presupuesto a labores de investigación, desarrollo tecnológico y recuperación de la capacidad de enseñanza; 30% a la reconstrucción de la infraestructura dañada y 30% a lo demás. Este país parece haber conquistado al cabo de 20 años la independencia económica y tecnológica, se convirtió en un país punta y alcanzó niveles de vida que jamás había tenido antes. Pero y siempre hay un pero, antes de la guerra catastrófica había ya poseído un nivel cultural muy aceptable, por lo menos en cuanto a hábitos industriales.

LA INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA ¿UNA ACTIVIDAD SECUNDARIA?**

Alfonso Rico Rodríguez y Alejandro Lozano Guzmán

I. Investigación científica e investigación tecnológica. Contactos y Diferencias.

Prescindiendo de conceptos filosóficos profundos, ajenos a la intención y a la capacidad de los autores de esta obra, suele considerarse investigación científica aquella que busca como fruto la consecución o ampliación de la visión conceptual de cualquier ciencia, o bien, al trabajo experimental que tiene como objetivo validar y/o comprobar un esfuerzo puramente mental del tipo anterior.

Por el contrario, se suele considerar que la investigación tecnológica tiene por objetivo el logro de caminos para convertir la investigación científica en herramientas o hechos útiles para la sociedad, en el sentido de contribuir a modificar la vida diaria de los ciudadanos, haciéndola más fácil, más productiva, más cómoda. Evidentemente la frontera entre los dos tipos de investigación dista mucho de estar claramente definida, de manera que en muchas ocasiones, la diferenciación es difícil y frecuentemente debatible.

La misma diferencia entre las dos actividades lleva a mecanismos de trabajo y divulgación, también distintos. Como regla, el científico trabaja en contacto consigo mismo y/o con otros científicos; para ellos escribe, puesto que el nivel puramente conceptual en que se mueve no suele ser patrimonio de mayorías. Mucha de su comunicación es inclusive personal y epistolar; otras veces ocurre a través de la publicación de sus ideas y trabajos en revistas de alta especialización que juegan hoy un trascendental papel histórico, análogo a las antiguas cofradías de artes y oficios medievales. A plazo corto o medio, su actividad y su reconocimiento están sostenidos entonces por la opinión de algunos colegas influyentes o por el número de artículos que logra el científico que sean publicados por esas revistas.

La opinión directa de esos pocos colegas realmente interesados y conocedores de su trabajo personal, es, sin duda, el principal soporte externo del científico, pero con el grave inconveniente de que ese soporte psicológicamente invaluable, o no es del dominio general de su ambiente o lo va siendo con mucha lentitud; las citas que logre de otro colegas, aunque le sean desconocidos, cobran entonces una gran importancia, pues miden la opinión de su comunidad, de forma mucho más perceptible. Un mecanismo de medida similar, aunque potencialmente menos satisfactorio, lo encuentra el científico en el número de revistas que aceptan sus trabajos y, desde luego, en la calidad reconocida de esas revistas y lo dificultoso del arbitraje que establezcan para la aceptación de esos trabajos.

**Rico, A. y Lozano, A. (1997). La investigación tecnológica ¿una actividad secundaria? Revista Ciencia y Desarrollo.

Las satisfacciones que el científico obtiene de ese conjunto de reconocimientos, varían obviamente con la autoridad que él mismo atribuya al colega que lo valúa, al otro científico que lo cita o a la revista que publica su esfuerzo.

Si la vida del científico se ve en el largo plazo, todas las consideraciones anteriores palidecen un poco, pues tiempos largos generan un indefinible que se llama prestigio y reconocimiento general, que lo suple todo; pero evidentemente esta situación, si llega, tarda.

Por el contrario, el tecnólogo dirige sus mensajes profesionales a otros tecnólogos, a políticos y gobernantes, a la comunidad industrial y, en definitiva, podría decirse que la sociedad en su conjunto. Como evidentemente el tecnólogo se debe a y a la vez medra de una sociedad particular, tiene la obligación y la conveniencia de servir a esa sociedad; generalmente, él prefiere decir servir a su país. Sus herramientas de servicio son evidentemente de aplicación conceptual a problemas prácticos, se relacionan con las obras públicas, con el impulso a la industria, con la seguridad, con el medio ambiente y otros temas de vivencia diaria de especialistas y no especialistas. Su idioma tiene que ser diferente al del científico y su herramental intelectual no requiere generalmente ser tan abstruso; por el contrario es conveniente que sea llano.

La distancia que media entre el producto final de la actividad científica y la aplicación también final de utilidad social, suele ser muy grande, llena de lagunas y dificultades y muy demandante de tiempo y dinero. Se ha dicho que desde la antigüedad a nuestros días, el tiempo de utilización social de un gran avance científico ha variado poco e, incluso, alguien se ha atrevido a fijarlo entre 30 y 40 años. Ese tiempo suele estar lleno de dificultades y enigmas y suele también, estar muy necesitado de creatividad y del desarrollo de muchas políticas, normas y reglamentos, nuevos avances industriales y muchas otras cosas, todas las cuales ocurren casi siempre en un ambiente de restricción económica y de oposición a la novedad.

No hay que decir que todo este cuadro requiere de mucha investigación, pero esa investigación tecnológica no dialoga con otro científico, sino con el ingeniero en ejercicio, con el jefe de la línea de producción de una fábrica o con el político o el industrial que proporcionan impulso y fondos. Toda esta tarea ha de realizarse, como condición necesaria, sin perder el contacto con el aporte conceptual del científico; también generando las posibilidades, estratégicas, normas y planeaciones que vayan requiriéndose. De su trabajo, probablemente surgirán nuevas herramientas y aparatos, objetos de patentes e interés científico, que muchas veces han retroalimentado a la investigación puramente conceptual.

Hay que insistir que esta labor del tecnólogo para ser realmente útil a su sociedad, ha de recoger muchas características íntimas de dicha sociedad, con lo cual su trabajo, sin dejar de ser universal, ha de nacionalizarse, de regionalizarse a la

investigación puramente conceptual.

Parece que el trabajo de un tecnólogo debe valuarse en términos de la originalidad de su concepción y la utilidad social que represente. Aquí, el concepto de originalidad es un poco diferente del sentido que le atribuye el científico. Frecuentemente el tecnólogo obtiene originalidad (y utilidad social) de la unión de muchos elementos no originales. Ese es el caso de la concepción de alguna estrategia nacional de acción, por ejemplo para planear, construir o conservar algún tipo de obras públicas; una estrategia nacional de este tipo puede reunir conocimientos ya adquiridos, pero en un ensamble que conduzca a un nuevo modo de actuar en gran escala, que produzca mejor calidad, mayor ahorro, u otras ventajas. En el nivel tecnológico esto es ser original. Otro ejemplo de como para el tecnólogo la suma de mucho conocimiento no original, en un momento dado, puede producir una nueva entidad muy original y útil, es el campo de la normativa con que una nación sistematice sus tareas en una determinada actividad. Ese conjunto de normas y especificaciones, de selección de métodos, puede producir un modo de trabajar a escala nacional realmente nuevo y adaptado a las posibilidades, habilidades y potencialidades de una sociedad, permitiendo así que en el campo práctico se desarrollen en la vida diaria del país, conocimientos científicos o nuevas tecnologías de manera que se utilicen las potencialidades disponibles, con mínima dependencia continua del extranjero. En algunos de estos casos, “el desarrollo tecnológico” en su acepción más difundida podría no estar muy claro; en efecto, no se están produciendo nuevas tecnologías, pero si nuevos sistemas de concebir las cosas, de ordenarlas y de trabajarlas, para beneficio general; este resultado no podrá ser considerado banal por nadie, si se tiene en cuenta que de alguna manera el sistema no se le había ocurrido a nadie más y que es útil y tiene importancia para el país.

Otro ejemplo, podría referirse a la formulación de una estrategia nacional original, para manejar alguna cuestión compleja y de gran importancia. En el caso de México, muchos asuntos referentes a la gran diversidad regional, que obliga a diversificar convenientemente muchas líneas de acción y actividades tecnológicas, podría ser otro ejemplo. En todos estos casos es posible que se utilicen elementos ya más o menos conocidos, pero frecuentemente han de combinarse de un modo novedoso y útil. Puede que la tarea se antoje sencilla, pero la verdad es que frecuentemente a nadie se le había ocurrido antes. El caso del mítico huevo de Colón parece aplicable, pero en materias de más sustancia. A veces, barajando los mismos naipes se inventa un nuevo juego.

Los tecnólogos como consecuencia de lo anterior, publican los resultados de su trabajo en congresos, seminarios o revistas editadas por otros tecnólogos y adaptadas a ese medio. Son medios de comunicación mucho menos formales que los usuales entre los científicos puros, por ende sujetos a mecanismos de arbitraje también mucho menos rígidos, en general. En estos casos, su trabajo aparece en normas, especificaciones, opúsculos de divulgación, manuales operativos,

reportes a instituciones o usuarios, etc.

Obviamente, también en los medios tecnológicos hay congresos y reuniones nacionales o internacionales y hay revistas o sistemas de publicación (usualmente Proceedings de algunas instituciones internacionales de prestigio), en donde el arbitraje es mucho más severo. No cabe duda que el tecnólogo o ingeniero cuya labor sea realmente creativa e importante terminará por realizar un número de publicaciones en esos medios. De hecho, su presencia en ellos, en alguna medida, será un elemento de medición que no podrá faltar entre los logros de un tecnólogo o ingeniero de alto nivel, pero tal presencia seguramente menos frecuente que la que usualmente se exige a un científico puro.

De hecho, resultará peligroso para una nación medir la contribución de un tecnólogo únicamente por su presencia en los grandes foros internacionales de su especialidad, pues se corre el riesgo de que en su natural búsqueda del prestigio y la fama, ese tecnólogo caiga en la tentación de trabajar sobre temas que sean de interés para la comunidad internacional o para el grupo que maneja la alta publicación en cuestión, pero no para la sociedad en la que él actúa. Es bien conocido el distanciamiento tecnológico que ocurre entre diferentes sociedades y naciones del mundo. Los asuntos tecnológicos que preocupan a una sociedad muy avanzada, son frecuentemente muy distintos a aquellos de los necesita preocuparse una sociedad tecnológicamente menos avanzada. Esto es muy cierto para países en vías de desarrollo o de los llamados del “tercer mundo”.

En resumen, parece conveniente que el tecnólogo sea juzgado por su contribución a los asuntos de su propio entorno, si bien, debe aceptarse que cuando alcanza verdadero éxito en esa contribución deberá paralelamente ir adquiriendo un cierto monto de prestigio nacional e internacional. Ello medirá su aporte a un conocimiento tecnológico general, que sin olvidar las necesidades y características de su propio medio, alcance un nivel que vaya siendo útil a otros o a todos.

II. Difusión del conocimiento técnico y científico en México

Los medios de difusión de ambos tipos de conocimiento forzosamente han de reflejar las diferencias anotadas en la sección anterior. Es pobre el panorama nacional en lo que respecta a la existencia de buenos órganos de publicación del conocimiento científico o del tecnológico. En el primer caso la mayor parte del material meritorio que se publica (que no es poco), lo hace en revistas extranjeras de alta calidad y muy frecuentemente en idioma inglés. Esto no excluye la existencia de excelentes publicaciones de carácter restringido o de circulación intrauniversitaria que existen en idioma español, pero con poca significación para la parte importante de la difusión del conocimiento. El conocimiento científico así definido, posiblemente llena sus metas; de nuevo el círculo restringido al que se dirige, lee las mismas revistas y, por supuesto, el conocimiento de otros idiomas diferentes al español es usual en la comunidad científica, muy especialmente el

caso del inglés que, por otra parte, como es sabido es el más común.

Tampoco existen en México revistas de ingeniería y tecnología de difusión muy general o con posibilidad de incidencia internacional. En el caso de la tecnología esto es grave, pues como se expresó, se piensa que el interlocutor del tecnólogo es la sociedad en general y, desde luego, los demás tecnólogos del país. Esa o esas revistas que se echan de menos en México habrían de ser en idioma español, pues la comunidad tecnológico-ingenieril no tiene el mismo usual dominio del inglés que es común en el grupo científico.

Dicha situación plantea un problema, pues si el necesario medio de comunicación tecnológica conviene que aparezca en español, será tachado de poco conveniente para publicaciones de interés por los propios tecnólogos y el uso de esas páginas proporcionará poco prestigio y pobre evaluación del trabajo. De hecho estos factores son causa bien conocida de que los propios tecnólogos e ingenieros procuren publicar en congresos o revistas extranjeros, con lo cual paradójicamente su esfuerzo se niega a una mayoría de colegas nacionales, a muchos miembros de la industria y a muchos dirigentes que deberían conocer sus esfuerzos, en beneficio de grupos fuera de las fronteras de la nación.

Cabe puntualizar que las revistas tecnológicas en que se piensa son aquellas que presentan el esfuerzo de investigación tecnológica del momento y con el detalle y profundidad necesarios. No se trata de revistas de divulgación científica o de aquellas cuya meta sea formar una cultura científica válida; con esta importante misión (no menos importante que casi cualquier otra), si existen en México algunas revistas de primera línea.

La revista que se echa de menos podría quizá facilitarse si se adoptara alguna estrategia que permitiera un desenvolvimiento gradual. Mucho conocimiento tecnológico se refiere, como se dijo, a factores muy propios de la nación, son muy importantes para ella, pero poco significantes para los que vivan fuera de sus fronteras; esta situación es frecuente en tecnología, muchas veces en forma independiente del sujeto. Tales trabajos no se perjudicarían por aparecer en una publicación que, por el momento, garantizará solo circulación nacional, con tal de que la publicación fuera prestigiosa. A esto podría ayudar el que la publicación renunciara a la exigencia a ultranza de que sus artículos sean originales. De esta manera la revista podría publicar artículos tecnológicos brillantes de autores nacionales o los más destacados artículos que tecnólogos nacionales hubieran publicado en otras partes. Esta clase de licencias, obviamente necesarias, no suelen ser difíciles de conseguir.

Con esta actitud modesta, sostenida con tesón, posiblemente pudiera lograrse una revista en español que desde un principio tuviera interés general y que pudiera ir ganando prestigio con el tiempo y, por ello, capacidad de ir captando cada vez producción nacional de más nivel y generalidad, y aún producción extranjera,

sobre todo de países de habla hispánica.

Una revista que cumpliera con esos fines no tendría porque no tener vida económica independiente, con tal de ser manejada con atención; se antoja pensar en el CONACyT, con todo el apoyo universitario y colegiado que pueda conseguir. Cabe comentar que se está hablando genéricamente de una revista y quizá habría que distinguir algunas especialidades, aunque este número convendría que fuera mínimo.

También podría analizarse la posibilidad de que la revista publicara traducciones de trabajos de autores de otros países y en otros idiomas, que frecuentemente pasan inadvertidos para la mayoría de los ingenieros y técnicos nacionales. Lo importante es lograr publicaciones que penetren por su valor y utilidad y no por presión de alguna especie o simple presentación; sólo así será capaz de formar su propio mercado.

Si una institución de prestigio de CONACyT pudiera abocarse a esta tarea, sería indudable el apoyo total que podría lograr de colegios y asociaciones de ingenieros y tecnólogos de todo tipo. Tampoco sería ilusorio pensar en la adquisición de un razonable mercado en todos los países de habla española.

Independientemente de la labor de difusión pura, al alcance de la mayoría de los tecnólogos, esta revista podría jugar un papel muy importante, por selección de los trabajos aceptados y de las traducciones extranjeras que se presentasen, en el énfasis sobre las políticas nacionales de tecnología o la puntualización de los temas de mayor importancia tecnológica para el desarrollo del país, creando un foro en nada influenciado por modos o preocupaciones de otros ámbitos que viven etapas de desarrollo diferentes a las de México y a las de muchos países de habla española.

III. Comentarios finales.

Todo lo arriba expresado se puede condensar en dos pensamientos dignos de reflexión, a juicio de los autores de esta nota.

-¿Sale ganando la sociedad mexicana del hecho de que su comunidad intelectual otorgue al quehacer científico teórico, mayor reconocimiento que al conocimiento tecnológico que, fundándose en el anterior (cuyo derecho al prestigio no se discute), sostiene e impulsa el desarrollo nacional?

La respuesta de los autores es no, pues creen que se trata de dos actividades que, por lo menos a nivel de la persona que trabaja, tienen la misma jerarquía e importancia social. En tecnología hay mucho campos de investigación y desarrollo en donde han de ejercerse inventiva, originalidad, renovación, cualidades todas que trascienden la otra parte muy respetable, que es la actividad profesional

diaria.

-¿Vale la pena un esfuerzo realista y sostenido para dotar a la comunidad tecnológica mexicana de un órgano de difusión de calidad, rentable y que ponga al alcance de la mayoría de los ingenieros y tecnólogos del país conocimientos fundamentales, en su idioma y enfocado a las necesidades palpables de su particular medio de trabajo? Vaya como señalamiento final que se trataría de un medio de difusión de asuntos novedosos y originales, enfocados al desarrollo de las profesiones y no únicamente al buen ejercicio de las mismas. Huelga decir que a esta pregunta, la respuesta de los autores es sí.

7 ENSEÑANZA-APRENDIZAJE

ALGUNOS ASPECTOS DE LA ENSEÑANZA SUPERIOR**

Alfonso Rico

Quisiera cerrar este brillante panel de discusión con un breve comentario personal sobre “La Mecánica de Suelos y la Enseñanza”. No sé si en estos comentarios disentiré en algo de otros colegas más doctos y experimentados, que se han referido al tema previamente. Si así fuere me alegraría, pues estoy convencido que del disentimiento y de la discusión nacen únicos caminos para dilucidar un problema.

Creo que como se ha dicho aquí en repetidas ocasiones, la Enseñanza Superior está en crisis, pero me parece evidente que cualquier crisis de la que se hable es ficticia; es superficial, en el sentido de que no es inherente al problema, sino superimpuesta por los hombres que actuamos en él. Esta no es necesariamente una premisa optimista, pues los hombres tenemos aparentemente una capacidad casi ilimitada para complicarnos la existencia y para convertir lo fácil y natural en difícil e irresoluble. No puede haber crisis de enseñanza, básicamente hablando, desde el momento que tenemos necesidad de enseñar, un pueblo ansioso de recibir los servicios de aquellos a quienes preparamos, universidades magníficas donde trabajar y un alumnado muy precisado de la enseñanza, pero joven, normal y saludable. Están dadas todas las condiciones para poder enseñar el material didáctico que manejemos, que es extenso, aleccionador y útil.

Si nuestro nivel académico baja, como parece ser un hecho aceptado por muchos de ustedes, hay que buscar las razones en causas ajenas a la enseñanza misma. No hablemos, pues, de crisis de enseñanza; hablemos de crisis social a la que nos sumamos frecuentemente en las universidades, no sé si consciente o inconscientemente. Crisis que afecta de alguna manera a nuestros estudiantes desde la cuna y que se refleja en que recibimos en las aulas superiores un producto cuya personalidad cultural está muchas veces en consonancia con lo que nosotros y el país demandamos de él. Es evidente que uno de los factores importantes que influyen en la configuración de esa personalidad cultural es la propia escala de valores culturales que la sociedad de un modo u otro inculca en sus miembros jóvenes. Un mundo que idealiza valores materiales y arrincona el arte a la nada o a la actividad de fin de semana de algunos tercos que se empeñan en navegar contra la corriente, difícilmente producirá jóvenes que valoren por encima de todo su propia superación intelectual y que desarrollen una auténtica conciencia de servicio. Es en nuestra vida social donde habrá que poner remedio a nuestros problemas de enseñanza. Consoladoramente habremos de

**Rico, A. (1976). Algunos aspectos del problema de la enseñanza superior. VIII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos. Tomo III. Guanajuato. Noviembre 1976. Pp. 90-92.

decir que no corresponde a este grupo, como tal, proporcionar los remedios necesarios, como no sea a la modesta escala familiar en la que todos estamos comprometidos y en la que todos podemos actuar.

El panorama cambia, por el contrario, en el momento en que el estudiante llega a nuestras aulas. En ese momento podemos y debemos actuar, entendiendo que tan o más importante que dar a nuestros educandos un conocimiento tecnológico, es imprimir en ellos una escala de valores culturales y éticos más adecuada. Esto podemos hacerlo y estamos obligados a hacerlo.

En mi opinión modesta, no se trata de manejar dentro de un currículum técnico unas cuantas asignaturas humanísticas y culturales, fuera de contexto, verdaderas plantas de invernadero, lánguidas y sin vida, dentro de una selva tecnológica a la que se le concede toda la prioridad. Pienso que se ha confiado ingenuamente en esta solución complementaria, que a poco conduce. La escala de valores de nuestros estudiantes sólo se puede cambiar con nuestra actitud, con nuestro ejemplo y ello puede lograrse tan efectivamente enseñando Mecánica de Suelos, en el aula o en la vida, como enseñando numismática persa.

Otro de los factores que más influirá en la escala de valores y en el modo de vida de nuestros estudiantes es el tipo de enseñanza que les demos. Hoy está de moda la demanda de enseñanza práctica, encaminada al “como hacer”. En mi opinión este tipo de enseñanza es poco formativo, inspira poco respeto y no modifica substancialmente al espíritu del educando. Además, lleva a la nación a graves perjuicios a largo plazo. En los escritos sobre enseñanza aparece con frecuencia creciente la palabra obsolescencia. Se nos dice que el conocimiento adquirido hoy en una universidad está destinado a ser inadecuado y anticuado en pocos años. Creo que esto es sólo parcialmente cierto. Sólo lo es si nuestra enseñanza es práctica, si se refiere al “como hacer”, olvidándose del “por qué” de las cosas. Si a la enseñanza práctica oponemos la científica, rigurosa, que atienda a la esencia de los fenómenos tal como podamos explicarla y no a la consecuencia técnica del conocimiento, habremos logrado muchos objetivos. En primer lugar, este conocimiento transforma al hombre, enriquece su espíritu, le da valores superiores al maquinismo o al consumismo, genera en el joven respeto por la ciencia y la cultura y lo transforma. Además, este conocimiento está en mucho menor grado amenazado por la tétrica obsolescencia. La ciencia, señores, no sé si por suerte o por desgracia, cambia muy lentamente. Con todo respeto, dudo que ninguno de los presentes pudiéramos sostener una discusión a fondo con Newton, sobre mecánica. Si yo le enseño a un hombre “como” fundir acero, bastará que en Pittsburg se produzca una mejora, para convertir a ese hombre fuera de época, ineficiente, antieconómico y no competitivo en los mercados internacionales. Si le enseño el fondo de los procesos de conversión del hierro y la esencia de las propiedades de los materiales, la mejora se producirá en Monclova o en Monterrey.

En mi opinión es urgente que los programas de estudio de la Mecánica de Suelos y de todo lo demás recojan este enfoque. Esto es algo que yo veo como esencial.

Naturalmente, no hay que olvidar que en una facultad de ingeniería se enseña tecnología; es decir, se enseña a actuar por el bien de la nación y el mejoramiento de la sociedad y esto debe reflejarse de alguna manera, en el sentido de que la enseñanza no puede ser ni ajena a las realidades nacionales, ni a la práctica profesional. Yo veo con frecuencia que los ejemplos en que se apoya un texto para ayudar a entender un cierto tema, no tienen que ver con ninguna aplicación real, sino que son una presentación abstracta de una serie de parámetros que han de manejarse en una ecuación. Creo que ahí se pierde una buena oportunidad de establecer un contacto entre conocimiento y realidad. En pocas palabras, si vamos a enseñar matemáticas, enseñémosla en el mejor nivel general que podamos lograr sin caer en el esnobismo, pero los ejercicios no deben ser: “Resuelva la integral fulana o la ecuación diferencial zutana”, sino plantear situaciones de nuestra vida corriente y cuando digo nuestra, pienso en la de México únicamente. Pero aparte de esta ayuda, lo que hará creativamente práctico, o sea aplicable y fecundo, ese curso de matemáticas será el espíritu con que se de y se aprenda.

Otro factor que influye seriamente en las dificultades que encontramos en nuestra labor de enseñanza es la necesidad social que se ha producido de educar masivamente a un número grandemente creciente de ciudadanos. Este hecho, con todas sus implicaciones políticas, sociales y aún sentimentales conduce al crecimiento peligroso de algunas universidades. Pero en ese “algunas” parece estar la solución de este problema. Si se impulsan todas, se evitará la concentración de unas cuantas. Se dice que esto representa un costo insuperable, pero esta afirmación me parece dudosa y pienso que en mucho proviene de una mala valuación de esos costos. Si a una universidad de provincia se le multiplica por diez su presupuesto, probablemente se la hará capaz de contar con el profesorado y los elementos necesarios para captar al alumnado de su Estado en pleno. Si se considera el costo social que hoy erogan los padres de familia al sostener a sus hijos en la capital del País o en un par de ciudades, puede que ahí se encuentren los recursos para aquella multiplicación milagrosa. Una política en este sentido tendría un hondo sentido social, fortalecería los vínculos familiares y, muy especialmente, combatiría la centralización intelectual de la Nación, que es uno de los más graves males que la aquejan. Creo que una recomendación de la SMMS a los organismos que influyen en estas políticas podría ser de interés nacional.

Independientemente de lo anterior me parece que en México se corre el peligro de llegar a abusar algo de lo que significa la educación masiva en las universidades. A veces he llegado a pensar si no se está dando educación superior de baja calidad a un número excesivamente grande de hombres, a los que se coloca ante la vida pobremente armados y un tanto condenados a la frustración y a hacer un flaco servicio a su país. Es posible que ese momento aún no haya llegado, pero

temo que se estén sentando las bases filosóficas y políticas para que ese momento llegue en un futuro quizá no muy lejano. A estas ideas, se opone el concepto de “universidad elitista”, execrable y justamente execrado, pero este concepto ha de ser analizado cuidadosamente, buscando el equilibrio conveniente para el progreso armónico de México, sin quedarse en los umbrales de conceptos de filosofía política fácilmente alcanzables por el sentimentalismo.

Desde luego no hay una “universidad elitista”, como tampoco hay una “cultura proletaria”. La universidad y la cultura son valores eternos, idénticos en todas las latitudes; dependen de milenios de historia y de pensamiento y no cambian a corto plazo por quien acceda a ellos. Lo que puede ser elitista y de hecho lo es muchas veces, es la sociedad en que la que la universidad está arraigada. Si esa sociedad permite el acceso a la educación superior sólo por nacimiento, por nivel económico familiar o por cualquier tipo de razones ajenas a la característica personal, será elitista y cometerá uno de los más grandes pecados sociales que le sea dado cometer. Pero si la sociedad garantiza el acceso a la universidad por el talento, la dedicación y el entusiasmo de cada individuo no será pecaminosamente elitista, independientemente de que sólo dé educación superior a quienes de ella puedan sacar el provecho que defienda a la colectividad o a aquél número de personas que ella misma pueda absorber y utilizar.

El criterio anterior exige la puesta a punto de mecanismos que permitan detectar el talento, la dedicación y el entusiasmo independientemente del ambiente social, de la educación superficial o de, inclusive, la información específica del adolescente, pues todos sabemos que a los 17 años el hijo del sabio causa mejor impresión que el hijo del campesino, si se le juzga sólo a la luz de valores culturales adquiridos por el ambiente que le haya tocado vivir, pero sin tomar en cuenta su real valer personal.

No parece imposible lograr en México que pueda llegar a la universidad un muchacho que en la primaria haya mostrado las cualidades para ello. El que ese muchacho tenga todas las oportunidades del mundo es una sagrada obligación del Estado y un obvio mecanismo de autodefensa de la sociedad.

Evidentemente, cierta complacencia en la limitación que parece desprenderse de mis palabras anteriores sólo será aplicable y temporalmente, a la educación superior, pero la enseñanza primaria y en el menor plazo posible, la secundaria, deberán ser patrimonio de todos los mexicanos.

En cualquier caso, parece una obligación social ineludible para los hombres que actúan en la educación superior que ésta sea completa, profunda y exigente. El mundo actual es de ciencia y tecnología y prevalecerá quien tenga esos valores. Quien no alcance será siervo, científica y tecnológicamente hablando, de quien haya alcanzado y todos sabemos que esa servidumbre contribuye en mucho a convertir en sueño nuestro natural anhelo de progreso y justicia social. De ahí, la necesidad del equilibrio en un enfoque realista del futuro del país. Equilibrio entre

el justo deseo de hacer a todos universitarios y la necesidad real e inexorable de que nuestros universitarios sean buenos, conocedores y verdaderos gestores del progreso nacional en nivel competitivo con las naciones a las que hoy llamamos desarrolladas.

Lo anterior nos lleva de nuevo a la necesidad de una educación científica y seria con fundamento de nuestro progreso futuro.

Como reflexión final, algo contradictorio con lo anterior, quisiera referirme al “tremendismo” que se ha desatado en muchas esferas, cuando se habla del futuro de México. Frecuentemente se nos presenta el año 2000 en visión apocalíptica, dentro de la que caben todos los horrores. Esta me parece una posición peligrosa e injusta, en el sentido de que pone en duda capacidades del país y ello contra la experiencia. Miremos 25 años atrás en vez de 25 años adelante y, por lo menos en materia de educación, todas las audacias al futuro quedarán justificadas. Se nos “amenaza” con una población universitaria de tres millones en el año 2000; ello no debe de asustarnos, a partir de nuestros 500 000 estudiantes actuales, cuando pensamos que en los últimos 25 años hemos multiplicado por 12 nuestra población universitaria.

Es muy probable que México se encargue de echar al basurero de la historia nuestros actuales temores sobre educación superior masiva.

ALGUNAS REFLEXIONES SOBRE LA PRÁCTICA Y LA ENSEÑANZA DE LA INGENIERÍA CIVIL**

Alfonso Rico Rodríguez

El tema que pretendo desarrollar ante ustedes no tiene unidad y tampoco se presta para desarrollos abstrusos. De hecho voy a exponer algunos ejemplos mal hilados y sin una estrecha vinculación entre sí, con la esperanza de que el conjunto de esos ejemplos alcance a transmitir un mensaje que indique la necesidad de buscar constantemente ideas críticas y renovadoras, que conduzcan a perfeccionar la enseñanza universitaria de la ingeniería. Voy a combatir algunos tabúes bien establecidos en la profesión, algunos con extraordinaria solidez. Esos casos les van a sonar casi a despropósito, pero antes de emitir un juicio condenatorio, medítenlo dos veces y a lo mejor encuentran algo de razonable en lo dicho. En otros casos mencionaré cosas que todo el mundo acepta en la profesión, pero que rara vez cumple y, finalmente citaré unos ejemplos de puntos de vista muy míos (lo que no quiere decir que sean originales, ni mucho menos), que pienso deberían reflejarse en las escuelas de ingeniería.

Primer tópico.- El paradigma del costo mínimo.

Creo que estarán de acuerdo conmigo en que cada instante de la enseñanza de la ingeniería se desliza explícita o insidiosamente la idea de que el costo mínimo es una meta ideal de todo proyecto ingenieril. No ignoro que si en torno a cualquier proyecto se trata este tema en forma contraria a esa opinión, permitiendo que los interlocutores puedan teorizar y filosofar, todos, sin excepción, van a negar el cargo de que el mínimo costo de realización de una obra sea realmente su paradigma personal. Pero lo es, con excesiva frecuencia.

Se desliza en cada instante de la enseñanza, en cada análisis de un proyecto, en cada discusión de un diseño. Aún la definición de ingeniero en todas partes suele ser: “Tal, tal y tal…, que realiza las obras de utilidad X o Y con costo mínimo.”

Más aún, la legislación está claramente enfocada a tal objetivo. Obviamente, el pecado no es sólo mexicano; es mundial (o casi) y se transmite de padres a hijos, a través de libros, artículos, congresos y otros instrumentos.

No necesito decirles que no soy partidario de gastar presupuesto nacional en números mayores que lo necesario en cada caso, pero lo necesario frecuentemente no es lo mínimo. El criterio de costo mínimo ha llevado a México y a muchos países, a infraestructuras muy deficientes en muchos casos; no preparadas para futuro crecimiento, en otros y a funcionamientos defectuosos de lo construido con alto costo y gran sacrificio.

**Rico, A. (1997). Algunas reflexiones sobre la práctica y la enseñanza de la ingeniería civil. IV Congreso nacional de ingeniería civil. Universidad de las Américas-Puebla. 30, 31 de Enero y 1ero de Febrero. 1997.

Creo que el país debe gastar en la construcción de su infraestructura no lo mínimo, sino lo necesario. Lo necesario para un funcionamiento adecuado, para un crecimiento armónico. Sí, hay un costo en torno a una gran obra de ingeniería que debe minimizarse, pero no es el de construirla.

En mi opinión personal, transmitir la idea de que de dos proyectos ingenieriles, el de construcción más barata sea de algún modo preferible, es el más grave pecado que puede cometerse al transmitir conocimientos o experiencia en una clase de ingeniería.

El continuar reflexionando en este sentido lleva al:

Segundo tópico.- Los costos de mantenimiento y operación.

Construidas las obras de ingeniería, éstas deben conservarse y deben operar para que cumplan sus fines. Conservarse, no quiere decir tenerlas siempre flamantes como el día que se estrenan. Gracias a Dios, México crece y progresa y lo que se hace hoy para cubrir un servicio que va a durar mucho más de lo que los libros dicen que es la vida útil de una obra, deberá cubrir en cualquier futuro fines cada vez más amplios en cantidad y calidad. Conservar una obra en todo el tiempo de explotación, quiere decir mantenerla todos esos años en la misma calidad de servicio, haciendo frente a una demanda que, sin duda, va a ser creciente y muy frecuentemente, tremendamente creciente.

Esta obra tiene que tener una operación y, en muchos casos esa operación representa, si se toman en cuenta todos los costos involucrados en la nación, valores económicos muy superiores a lo que costó construir y aún conservar las cosas. En mi limitada experiencia, tengo alguna idea de lo que sucede en el campo de las carreteras. Si la construcción de una carretera media en México vale 1, la conservación, tal como arriba la definí, puede costar en un período de utilización de 40 o 50 años (y estamos viendo que las carreteras pueden durar más) un valor de 10 o 12; pero la operación de esa carretera, es decir, los costos en los que incurre el transporte de carga y mercancías que pase por encima, puede valer en el mismo período 300, 400 o más y no hablo de una carretera típica mexicana, con los tránsitos típicos de hoy y las tasas de crecimiento que han sido normales en los últimos 10 o 15 años.

Estudios realizados en el Instituto Mexicano del Transporte hacen ver que la diferencia en costo de operación de un camión de un tipo normal en nuestras carreteras, al circular con una pendiente de 3% es un 50% mayor que si circula por un terreno plano, ésta diferencia se hace del orden del doble si han de superarse pendientes del orden de 5 o 6%, por otra parte frecuentes en nuestras carreteras.

Análogamente, si el estado superficial de un pavimento pasa de un estado óptimo a otro considerado por cualquiera de nosotros “bueno”, su costo de operación, por

kilómetro recorrido, puede aumentar de 15 a 20% y, si el estado superficial es “malo” (pero sin exageración), este factor llegará a 35% o 40%. Estos incrementos de costos afectan hoy tránsitos que en número de vehículos y valor económico de las cargas movidas, son incomparables con los de un pasado relativamente reciente. Para dar una idea de lo que representa el autotransporte nacional, puede decirse que por la caseta de Tepozotlán de la autopista México-Querétaro, pasa cada año quizá un valor de 25% del producto interno bruto del país (estimado en 300,000 millones de dólares al año).

Esta tremenda desproporción entre los costos (y los beneficios) de operar la infraestructura nacional, en comparación a los costos de construirla hacen muy peligroso el criterio de que sea el costo de construcción mínimo el paradigma de un proyecto. Sin embargo, el que habla tiene la impresión de que en las Escuelas y Facultades de Ingeniería se insiste poco en estas realidades, de manera que el joven ingeniero adquiere la idea de que el gasto inmediato es todo lo que espera a la Nación, en gastos evitables, año tras año y en mucha mayor escala, por tener que operar infraestructuras perfectibles, no bien adaptadas al presente y al futuro, desde el punto de vista de costos nacionales totales, que son los que si deben minimizarse.

Tercer tópico.- Adecuado reparto del riesgo.

Es bien sabido que el “riesgo” es un constante compañero de viaje del ingeniero. No puede concebirse una obra o parte de ella en la que no esté presente.

La posición inocente e irrealista que solemos comunicar a nuestros estudiantes respecto al riesgo, es que hay que anularlo. Como no dejamos de entender que eso no es posible, eludimos el tema y lo manejamos en forma implícita y poco analizada, bajo el concepto de “factor de seguridad”, que tampoco solemos tratar a fondo en forma diferenciada y meditada.

La consecuencia es que no suele existir en nuestra práctica profesional común una clara diferenciación de cuáles son las consecuencias particulares del riesgo en las diferentes etapas o partes de un proyecto y las dosis con las que tales riesgos han de ser aceptados, según el perjuicio a que se llegue si el riesgo se transforma en suceso.

Así no es difícil ver una complicada obra con uso profuso del concreto, en la que las características de este material son las mismas para todas sus partes (pretiles, con la misma resistencia que trabes).

No se ignora que el manejo detallado y profundo de la repartición del riesgo en una obra es asunto muy delicado y complejo, que depende de niveles de información que frecuentemente no se tienen y de la aplicación de un tipo de matemáticas que actualmente no se enseñan con suficiente profundidad. Hablando realistamente, creo que un análisis más detallado del reparto del riesgo

en un proyecto y en su tiempo de vida es asunto de alta especialización, a cargo de personas que reciban educación postgrado a propósito de para ello, pero también creo que el problema debe ser mencionado y muy bien conocido durante la licenciatura como para poder conocer y manejar, por lo menos conceptualmente. Se evitarían así incomprensiones frecuentes, de las que me permitiré citar un par de ejemplos.

El primero es nuestra filosofía actual de diseño de pavimentos. Esta impone un diseño de resistencia relativa descendente con la profundidad; se comienza con una carpeta asfáltica, bajo ella una o dos capas granulares y se llega a capas francamente térreas, que ya incluyen terracerías y subrasantes. La tradición establecida en estos diseños, que vienen realizándose en México desde hace más de 70 años, proviene de épocas en que los tránsitos eran muchísimo más bajos que los actuales y los vehículos muchísimo más ligeros; el daño a la sección estructural afectaba únicamente en los 30 o 40 cm bajo la rueda y ello con esfuerzos pequeños. Si a estos hechos se añade la ya comentada tendencia a ahorrar el costo inicial por arriba de la prudencia, se habrá llegado también a una sección estructural cuya calidad disminuía rápidamente con la profundidad debajo de la llanta, de manera que terracerías y aún muchas veces subbases y subrasantes mostraban una calidad muy deficiente. Estos criterios se desarrollaron desde hace muchos años, cuando el país era otro, más pobre y con un transporte raquítico en comparación al actual y sirvieron para sostener el desarrollo, en el que de vehículos de peso máximo 7 u 8 toneladas, se pasó a 60 ó más y de aforos de 600 vehículos pesados se pasó, a veces, a valores hasta de 12,000. Esos vehículos mandan esfuerzos importantes a profundidades de 1 m y más.

Los criterios utilizados hace muchos años fueron, en mi opinión, correctos y la evolución de México lo demuestra, pero creo también que hace tiempo debieron de haber cambiado y me temo que lo sucedido en este particular campo de la ingeniería afecta a otros muchos por la falta de comentarios y difusión de este tipo de problemas a los estudiantes.

Antaño, el enemigo de los pavimentos era el agua y los esfuerzos del tránsito muy superficiales y bajos. Con muy bajo espesor de materiales granulares inertes y una carpeta asfáltica se lograba una sección resistente aunque probablemente deformable, debido a los continuos ciclos estacionales de humedecimiento y secado, pero los aforos eran escasos, el dinero poco y las necesidades ingentes. Hoy el transporte juega un papel mucho más determinante en el desarrollo de México y en la generación de su riqueza. Los costos del transporte son un elemento fundamental de la economía y de la competitividad a nivel nacional e internacional. No basta con que haya carreteras, sino que es necesario que esas carreteras sean las adecuadas, estén en buen estado y resistan las nuevas condiciones. Los nuevos tránsitos envían esfuerzos importantes a las secciones estructurales y alcanzan a profundidades también grandes; los tránsitos crecen

con tasas elevadas que prácticamente prohíben el dotar a las carreteras desde un principio de las secciones estructurales que irán requiriendo con la evolución futura.

Se impone un cambio radical en la filosofía del diseño y en el reparto del riesgo relativo. Ahora el riesgo mayor debe aceptarse en las capas superiores de los pavimentos, de manera que cuando el tiempo y el desarrollo del tránsito cumplan su tarea, la corrección consista en crecer hacia arriba sin necesidad de reponer en profundidad; lo ya hecho debe seguir sirviendo y las nuevas condiciones deben resolverse con resistencia añadida en oportunas acciones de conservación.

Estoy seguro de que situaciones como esta aparecen en todas las formas de la infraestructura nacional y que una adecuada comprensión del riesgo y su reparto sería enormemente útil para el estudiante.

Otro ejemplo de lo mismo se tiene en el problema de definir una política que fije criterios sobre estabilidad de taludes en cortes y terraplenes y éste será el segundo ejemplo a tratar. En este caso hay fallas que producen catástrofes nacionales y otras que producen simples caídos, independientemente de que el problema sea el mismo. La enseñanza en nuestras aulas suele hablar de un mismo método de análisis, de análogos coeficientes de seguridad, etc. Este problema se dibuja todavía más cuando no es difícil pensar que fácilmente involucra problemas de seguridad e integridad de personas que se prestan a toda clase de sentimientos, muchos razonables, pero no todos.

¿Con qué grado de exigencia debe afrontarse cada caso ó cada tipo de casos?, ¿Deben calcularse todos los taludes de todas las carreteras para condición de flujo interno, por ejemplo?, ¿Deben todos los taludes ser objeto de un diseño sísmico?, ¿Cuáles sí?, ¿Cuáles no? Creo que los estudiantes deben oír hablar de estos matices mucho más de lo que hoy oyen. Desde los mismos estudios de campo, debe introducirse una diversidad de criterios y exigencias acorde con la magnitud de las consecuencias del riesgo y de todas las demás condiciones. Por citar un sólo caso, no debe analizarse con base en los mismos estudios y usando los mismos métodos un corte que haya mostrado fallas previas, que otro en el que no se vislumbren motivos de alarma especial. Es evidente que los grandes taludes de una gran presa de tierra no deban analizarse como un simple talud en una carretera cualquiera, pero también es cierto que no todos los cortes y los terraplenes de una carretera exigen ni los mismos estudios previos, ni los mismos métodos de análisis, ni las mismas precauciones de seguridad.

Cuarto tópico.- Análisis estructurales estáticos y dinámicos.

Hasta donde llega mi personal conocimiento, en las aulas donde se enseña la ingeniería civil a nivel de licenciatura se concede un predominio excesivo a los análisis que llamaré aquí de carácter estático, en los que se usan cargas muertas, cargas vivas permanentes y en los que, cuando mucho, incitaciones de otro estilo

tratan de representare por sistemas de carga fijos e invariables, que supuestamente puedan representarlos. El tiempo y el efecto del servicio repetido quedan fuera del esquema, así como las cargas eventuales y variables.

Creo que los tipos de carga no variables en tiempo que arriba cité no son ya el verdadero enemigo de la ingeniería civil; casi exclusivamente el “arte” del ingeniero, fruto de una experiencia normal, basta para manejar este tipo de cargas. Un edificio ya no se cae por su propio peso, un puente tampoco. Los retos actuales están en efectos dinámicos y variables. La fatiga (falla producida por esfuerzos repetidos, que actuando una sola vez no causarían problemas), la deformación acumulada, la degeneración de materiales que puede tener lugar por diversos motivos a lo largo del tiempo y otros efectos similares, son los verdaderos enemigos del ingeniero civil. Creo también que el conocimiento que actualmente tenemos de estos efectos hacer ver que ellos deben ser tomados en su verdadera realidad y que sus efectos no pueden ser sustituidos razonablemente por ningún sistema de cargas fijas, esperando que se cumplan los mismos efectos.

Sin embargo, la fatiga, la deformación permanente, o los efectos de degeneración estructural, hasta donde yo sé, no aparecen suficientemente en los programas de estudio y tampoco en las técnicas de análisis estructural y de construcción que actualmente forman parte de los programas de estudio. El diseño sísmico, el de estructuras sujetas a acción de cargas repetidas, el efecto del viento, del mar y otros, quedan así fuera de la actividad principal en la enseñanza de la licenciatura.

Yendo un poco más al fondo de las cosas, tal parece que la enseñaza preferida en las escuelas de ingeniería trata con más énfasis las causas menos significativas de las fallas y los malos comportamientos.

Frecuentemente el comportamiento estructural no depende únicamente de la estructura misma y de la incitación a la que se le someta, sino de su muy especial y particular relación. Un ejemplo típico de esto se tiene en el diseño de edificios altos ante los efectos del mismo. La resistencia estructural del edificio juega un papel, como también lo juega la magnitud del sismo, pero esos papeles no tienen un carácter general fijo. Un sismo de cierta magnitud produce efectos que se traducen en oscilaciones del terreno de cierta longitud de onda y cierta frecuencia. Bajo tal incitación, el edificio oscila a su vez con un tipo de oscilación y una cierta frecuencia que depende de sus propias características, especialmente de los criterios con que fue diseñado y de su altura y número de pisos. Si las características del mismo y las del edificio se yuxtaponen de determinada manera, por ejemplo con iguales períodos de vibración, la amplitud de las oscilaciones se magnificaría, tendiendo hacia el fenómeno de resonancia y el sismo será particularmente destructor para el tipo de edificios en que ellos pueda suceder y no para otro en que la coincidencia anterior no suceda. De hecho, entre el sismo y el edificio está el terreno de cimentación, que también tiene su modo particular de vibrar. Todo el mundo está de acuerdo en que los conocidos efectos destructivos

del sismo de 1985 en el área metropolitana de la Ciudad de México se debieron al hecho de que las ondas que llegaron al Valle tenían un período de vibración que se aproximó peligrosamente al de las formaciones arcillosas lacustres sobre las que se erige una amplia zona de la ciudad, produciéndose la correspondiente magnificación de los movimientos. Cuando, a su vez, ese período se acercó al de ciertos edificios, cuyas condiciones particulares y altura (de las que depende fundamentalmente su período natural de vibración), fueron las apropiadas, las consecuencias para ellos fueron especialmente grandes, lo cual no ocurrió de ninguna manera con otros edificios de alturas suficientemente mayores o menores.

Además de ilustrar este ejemplo al tópico ahora trabajado, relativo al conocimiento de efectos estructurales dinámicos, no deja de ser también útil como ilustración de la necesidad de la justipreciación del riesgo. De lo anterior se deduce que edificios cuyo período natural de vibración sea similar al del subsuelo en el que se asientan, tienen un riesgo especial. En la Ciudad de México esto ocurre sobre el subsuelo arcilloso, quizá con construcciones entre 8 y 20 pisos pero ello no obsta para que el riesgo sea máximo en construcciones muy bajas, pero asentadas en terrenos fuertes y rígidos, también frecuente en la Ciudad, cuyos periodos naturales de vibración sean mucho menores que los de la famosa arcilla, si el sismo demanda efectos de ese pequeño periodo.

Honestamente creo que la formación actual del ingeniero a nivel licenciatura es deficiente en torno a estos problemas, relativos, a causas transitorias o a efectos acumulativos de las solicitaciones con el tiempo. El cambio de la enseñanza en esta dirección no es fácil. Supone de pasar de un mundo lineal, en el cual las mismas causas producen reiteradamente los mismos efectos y en el cual rige la proporcionalidad lineal de causas y efectos, a otro ambiente intelectual que trate de penetrar en la verdadera y aleatoria variabilidad de la naturaleza y sus respuestas. Pienso que la ingeniería actual proporciona armas suficientes para irse adentrando en este nuevo ambiente aún en nivel licenciatura, por lo menos estudiando los problemas principales y transmitiendo, para todos, principales y más rutinarios, una visión conceptual diferente a la que nos legaron Hooke y Navier, entre otros muchos.

Quinto tópico.- ¿Ingeniero Físico o Ingeniero Matemático?

Cuando se ve el desarrollo que ha tenido la enseñanza de la ingeniería civil en muchas partes, sin excluir a México, se tiene la sensación de que el ingeniero que ha tratado de formarse es lo que podría llamarse un ingeniero matemático, en el sentido de que la herramienta intelectual y de referencia que trata de proporcionarse al estudiante de licenciatura fue siempre de carácter matemático.

Al principio, hace más de un siglo, la Geometría Métrica y, en general, la delineación de los problemas era el sustento de la mayor parte de los análisis teóricos puramente ingenieriles. En esta época, ya tan lejana, la influencia

francesa instó al ingeniero a representar gráficamente, de la manera más elegante posible una naturaleza lineal. En épocas más recientes, el Cálculo Diferencial e Integral presidieron la escena y fundamentaron prácticamente todos los desarrollos teóricos del ingeniero civil. Obviamente el tiempo siguió fuera del esquema. Ya no se decía que el ingeniero tenía que ser muy buen dibujante; ahora tenía que ser buen matemático. Posteriormente y hacia épocas más recientes, la ingeniería de Sistemas y después el cómputo trajeron nuevas inclinaciones y utilizaciones de nuevas matemáticas que en el fondo siguieron basándose en el Cálculo, pero ahora utilizando cada vez más la capacidad de manejar diferencias finitas. Pero el mundo siguió siendo lineal y el tiempo y sus efectos, así como la acción que cargas repetidas causan a través de él, siguieron y en gran medida siguen fuera de las aulas.

Pienso que sería absolutamente necio poner en dudad siquiera en mínima parte la brutal importancia de la Matemática como herramienta para la comprensión de la naturaleza. Esta importancia es tal que en diversas ocasiones la Matemática moderna se adelantó al pensamiento científico de quien la usaba, marcándole nuevos caminos no previamente pensados. Sobre todo en el campo de la Física teórica, la herramienta matemática se adelanta a veces a la mente física que se sirve de ella y le marca nuevos caminos para entender lo que sucede en el mundo material.

Obviamente la ingeniería civil está lejos de estas alturas y es opinión del que habla que el actual estado de la Ingeniería Civil, la Matemática continúa teniendo el papel fundamental de herramienta, pero difícilmente el uso que de ella hacemos los ingenieros le permite volar alturas de creadora de nuevos esquemas naturales.

Pienso que a la tradicional visión del ingeniero-matemático debe sobreponerse la del ingeniero-físico. Es la física la ciencia básica que debe guiar al ingeniero civil en sus conocimientos naturales. El ingeniero es fundamentalmente un transformador de energías y un manejador de energías y tiene que encontrar en la Física su fundamento principal, si bien las Matemáticas le seguirán siendo útiles precisamente en la medida en que se han convertido en la forma de expresión y manejo de las concepciones físicas.

Echo de menos el conocimiento de la Física en las actuales escuelas de ingeniería. Es notable ver como un ingeniero mecánico piensa tener poco en común con un ingeniero civil, sin comprender que los conceptos que maneja son idénticos en los de su colega, al grado de que frecuentemente usa las mismas ecuaciones, si bien las letras tengan otro significado conceptual físico.

De hecho, si se acepta para el ingeniero la definición de un hombre que aprovecha las posibilidades de transformaciones energéticas para el beneficio social, debe tenerse en cuenta que la humanidad hasta ahora ha sido capaz de dominar un número relativamente bajo de esas transformaciones.

Cada vez con mayor énfasis estimo que es la Física, relativamente postergada, la verdadera base de la Ingeniería Civil, por lo que creo que su enseñanza en las escuelas de ingeniería a nivel licenciatura es fundamental.

El conocimiento que a nivel de comportamiento de materiales ante incitaciones externas que ha logrado el ingeniero civil no es muy amplio en el terreno básico; pocos son los quehaceres del ingeniero civil que estén respaldados por una teoría fundamental y precisa que evite el uso de laboratorios y sus experimentos, de la instrumentación de prototipos y de otros contactos con la naturaleza, muy útiles pero de índole particular y generalización difícil, aún para los más experimentados. Eso hace que el ingeniero sea un hombre que fundamentalmente usa información y probablemente así será por mucho tiempo; de ahí la importancia de que para él tiene la probabilidad, la estadística y el cómputo actual.

Sin embargo, creo que su línea de progreso y su concepción fundamental como artesano está en la Física y en el conocimiento, lo más completo posible, del comportamiento de las cosas dentro del ámbito de esa ciencia.

Lo anterior implica tanto un cambio en la formación básica hacia la Física, como una orientación de sus estudios matemáticos, hacia la Probabilidad y la Estadística.

Personalmente me parece muy urgente este cambio de orientación, que busque la realidad física natural fuera de esquemas en que se impone a la naturaleza formas de comportamiento que ella no conoce (linearidad, extemporalidad y otros).

Las ramas de la Física que parecen vitales para la formación del ingeniero Civil son la Termodinámica y la Mecánica de Sólidos y de Fluidos y las que traten de la constitución de la materia por menos a nivel relativamente “macro”.

Sexto tópico.- Tipo de obras objeto de estudio.

La enseñanza de la Ingeniería también me parece dedicada con una exagerada tendencia hacia las grandes obras. Mucho de lo que se enseña en construcción de edificación tiene que ver con edificios altos, grandes presas, puentes audaces, grandes aeropuertos y carreteras pavimentadas, si se puede multicarril, etc. En lo personal, no me agrada esta tendencia, si se lleva a la exageración, por varios motivos. Primero porque es dudoso que dicha tendencia logre su objetivo. Estas grandes obras son objeto necesariamente de la atención de altos especialistas que han adquirido los conocimientos necesarios para afrontarlos con largos y tenaces estudios de postgrado y no creo que sean el campo de trabajo de los normales ingenieros con licenciatura. Obviamente hablo de los aspectos complicados de estas obras, sin desconocer que intervienen en ellas, a lo mejor en escala individualmente modesta, todas las especialidades de la ingeniería civil; no todas las presas son de Chicoasén, sino que abundan las pequeñas presas, los canales, los bordos de protección, etc. El rascacielos no es la única morada u

oficina; hay muchas otras viviendas menos demandantes de alta tecnología; sigue habiendo muchos pequeños poblados que requieren de agua potable, alcantarillado y hasta pequeñas acciones para proteger cosechas y ganado.

Francamente tengo la impresión de que muchas de estas obras se dejan a la improvisación, pero al ser realizadas de esta manera, quedan fuera del óptimo.

Yendo a un nivel un poco más general, parece que la enseñanza de la ingeniería sanitaria está descuidada. Posiblemente lo está también la del camino rural, la del apoyo a la ingeniería agronómica, el perfilamiento y terraceo de terrenos, la de conducciones modestas de agua y otras. Destaco aquí lo mucho que hay que hacer en el país en potabilización de agua para todo tipo de ciudades, aún de respetable tamaño y en eliminación de aguas negras, también en muchas ciudades y zonas de ellas.

Lo que trato de transmitir en este tópico es quizá la convención de insistir o dar mayor cabida en la educación del ingeniero, a las pequeñas obras o a otras no tan pequeñas, que tienen que ver con el bienestar de comunidades rurales, pueblos o ciudades y que se refieren al medio ambiente, a la sanidad o al bienestar de zonas deprimidas. El énfasis que se haga en este sentido puede contribuir a crear un ambiente de optimización de estas acciones, de las que depende el bienestar en muchos millones de mexicanos.

Llego así al final de algunos señalamientos concretos sobre algunos aspectos de la educación del ingeniero sobre los que según mi opinión deberíamos de reflexionar todos.

Es probable que el tono de esta intervención haya resultado demasiado crítico para muchos. Es también probable que en algunos casos lo dicho resulte irrazonable o fuera de proporción, pero después de analizar lo que se ha dicho o lo que surja por alguna intervención posterior de la audiencia, pudieran surgir algunas ideas que expresen la necesidad de no dar por irrelevante el seguir pensando en mejorar la educación de los jóvenes ingenieros y adaptarla cada vez más y más a las necesidades de la sociedad a la que han de servir.

Si algo se ha ganado en este terreno, las reflexiones anteriores habrán de cumplir su objetivo.

LA ENSEÑANZA DE LA MECÁNICA DE SUELOS EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

L. M. Aguirre Menchaca, E. Juárez Badillo y A. Rico Rodríguez

RESUMEN

En este trabajo se presentan las normas de enseñanza de la mecánica de los Suelos en las Divisiones Profesional y de Estudios Superiores de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. Se incluyen comentarios sobre las normas actuales y una proposición para ampliar y mejorar los conocimientos que en Mecánica de Suelos se considera deben ser ofrecidos en la carrera de Ingeniero Civil.

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene por objeto, por una parte, dar a conocer los programas y métodos de enseñanza actuales de la Mecánica de Suelos en la Universidad Nacional Autónoma de México (U.N.A.M.) y, por la otra, proponer una forma para mejorar e incrementar la enseñanza en este campo de la ingeniería, tanto a nivel profesional como al de estudios post-profesionales.

Es oportuno aclarar que lo aquí expuesto es la opinión particular de los autores y no representa necesariamente la opinión oficial de la Universidad, ni la de la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. Sin embargo, los autores, como profesores de la asignatura en la Universidad y miembros de la Mesa Directiva de la Sociedad, consideran que las ideas aquí expuestas representan probablemente una opinión compartida en lo general por los demás profesores que, a su vez, imparten la materia en la propia Universidad Nacional Autónoma de México.

Brevemente puede señalarse que la Mecánica de Suelos forma parte desde el año de 1941 de las asignaturas que constituyen el programa de la carrera de Ingeniería Civil. Aunque primeramente era materia optativa, desde el año de 1952 se imparte como obligatoria.

Por otra parte, puede señalarse que la Facultad de Ingeniería impartió en diversas épocas cursos aislados post-profesionales, entre los cuales figuraron materias del campo de la Mecánica de Suelos, pero no fue sino hasta el año de 1957 cuando se establecieron cursos sistemáticos, con programas bien definidos, tendientes a obtener grados de Maestro y Doctor en lo que actualmente constituye la División de Estudios Supriores de la Facultad de Ingeniería (antes División del Doctorado).

**Aguirre, M. L. M., Juárez, B. E. y Rico, R. A. (1967). La enseñanza de la mecánica de suelos en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. Memorias del Tercer Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones. Vol. II. Caracas, Venezuela. Julio 1967.

II. NORMAS ACTUALES DE ENSEÑANZA

En esta parte se describen y comentan brevemente los programas que actualmente tienen vigor la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M. en su división Profesional.

Actualmente la Mecánica de Suelos en la División Profesional se imparte con una sola asignatura con la duración correspondiente a un año escolar, a razón de 3 horas por semana y figura en el 4° año de la carrera de Ingeniero Civil, que en total tiene 5 años. Dado el número de alumnos que existe actualmente en la carrera, funcionan siete grupos atendidos por siete diferentes Profesores; cada grupo con un número de alumnos comprendidos entre 40 y 60. Como más bajo se comenta, la Facultad de Ingeniería, al igual que toda la Universidad, tiene previsto cambiar sus sistemas de ciclo anual a ciclo semestral

1. PROGRAMA DE LA ASIGNATURA DE MECÁNICA DE SUELOS EN LA DIVISIÓN PROFESIONAL (4° Año de la carrera de Ingeniero Civil)

Horas

1. Origen y funciones de la Mecánica de Suelos y su relación con otras ramas de la Ingeniería Civil 1
2. *Origen y formación de los suelos* –Minerales. Formación de las rocas y de los suelos. Desintegración mecánica y descomposición química. Suelos residuales y transportados. Ciclos de metamorfismo. Aplicaciones de la geología a la Ingeniería Civil. 2
3. *Relaciones volumétricas y gravimétricas.* –Densidad de sólidos, relación de vacíos, porosidad, contenido de agua, grado de saturación, pesos específicos o volumétricos 1
4. *Forma, tamaño y densidad de partículas minerales. Estructura granular*. Formas poliédrica, laminar y acicular. Estructuras simple, panaloide y floculenta. Influencia sobre la compresibilidad. Estados del agua en el suelo.
   Minerales arcillosos. 2
5. *Granulometría.* –Análisis mecánicos: tamización y sedimentación. Ley de Stokes. *Aplicación del hidrómetro.* Representación gráfica. Coeficiente de uniformidad y Curvatura 3
6. *Plasticidad*. –Límites de consistencia: líquido plástico y de contracción. Índices de plasticidad, de fluidez y de contracción. Contracción lineal. Consistencia relativa. Carta de plasticidad 3
7. *Clasificación e identificación de los suelos* –Sistema de Clasificación Unificado. Descripción de otros sistemas 2

8. *Exploración del subsuelo*. –Métodos de exploración. Muestras alteradas e inalteradas. Sondeos y tipos de muestreadores. Penetrómetros y veleta. Criterios para elegir el tipo, número y profundidad de los sondeos 4
9. *Fenómeno capilar y proceso de contracción*. –Tensión superficial. Altura capilar. Significado del límite de contracción 2
10. *Permeabilidad*. –Ley de Darcy. Permeámetros de carga constante y de carga variable. Prueba horizontal de capilaridad. Factores que influyen en la permeabilidad de los suelos 3
11. *Flujo de agua* –Ecuación general del flujo bidimensional. Redes de flujo y su aplicación. Presiones totales, efectivas y neutrales. Fuerzas de filtración. Gradiente crítico. Fenómenos de tubificación y ebullición de las arenas. 6
12. *Compresibilidad y consolidación*. –Teoría de Terzaghi. Curvas (e-p) y (U-T). Presión de poro. Arcillas remoldeadas e inalteradas. Arcillas normalmente consolidadas y preconsolidadas. Carga de preconsolidación. Consolidación secundaria. 6
13. *Resistencia al esfuerzo cortante* –Pruebas de corte simple, compresión simple y triaxiales. Interpretación de los resultados de las pruebas de laboratorio con arenas y arcillas. 6
14. *Distribución de presiones en el suelo*. –Ecuaciones de Boussinesq. Gráficas de Fadum. Carta de Newmark. 2
15. *Análisis de asentamientos*. –Cálculos de asentamientos debidos a cagas superficiales. 2
16. *Presión de tierra*. –Estados de equilibrio plástico. Empujes con muros: teorías de Coulomb y Rankine; métodos gráficos. Empujes sobre ademes y tablestacados. 5
17. *Capacidad de carga*. –Suelos cohesivos y no cohesivos. Soluciones de Terzaghi. 2
18. *Cimentaciones* –Excavaciones, diseño de ademes y drenaje. Tipos de cimentación y factores que determinan el uso de cada uno de ellos. Zapatas. Losas corridas. Cimentación compensada. Pilotes. Cilindros. 6
19. *Estabilidad de taludes*. –Suelos cohesivos y no cohesivos. Método sueco. Efecto de las fuerzas de filtración. 3
20. *Compactación*. –Métodos de compactación. Prueba Proctor. Factores que influyen en la compactación. Control de campo. Equipos de compactación de campo. 2
21. *Principios de diseño y construcción de pavimentos*. –Materiales para bases y sub-bases. Prueba de California y su aplicación al diseño de pavimentos flexibles. Módulo de reacción y su aplicación al diseño de pavimentos rígidos. Drenaje. 4

22. *Principios de diseño y construcción de presas de tierra.* –Causas de falla: insuficiencia del vertedor, agrietamiento, deslizamiento de taludes, tubificación, licuación. Tipos de sección. Factores que determinan la selección del tipo. Detalles de diseño. 4
23. *Breve exposición del problema de la Ciudad de México*. –Estratigrafía general del valle. Hundimiento general de la ciudad. Causas y consecuencia. Excavaciones y cimentaciones 4

TOTAL DE HORAS 75

Libros más comunes que sirven de base al desarrollo de los cursos

1.- Mecánica de Suelos (Tomo I y II). E. Juárez Badillo y A. Rico Rodríguez

2.- Apuntes para la clase de Mecánica de Suelos (parcialmente publicados). Dr. Leonardo Zeevarert W.

3.- La Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica. K. Terzaghi y R. B. Peck (Trad. O. Moretto).

4.- Fundamentals of Soil Mechanics. D. W. Taylor.

LIBROS DE REFERENCIA

1.- Theoretical Soil Mechanics. K. Terzaghi.

2.- Soil Mechanics, Foundations and Earth Structures. G. P. Tsechebotarioff

3.- The Mechanics of Engineering Soil. P. L. Capper y W. F. Cssie.

4.- Basic Soils Engineering. B. K. Haugh

5.- Soil Mechanics. T. H. Wu

6.- Foundation Engineering. Editado por G. Leonards

7.- Mecánica del Suelo. J. A. Jiménez Salas

8.- Laboratorio de Mecánica de Suelos. Instructivo para trabajos de campo. Secretaría de Recursos Hidráulicos. México.

2. En general, el desarrollo de los puntos anotados en el programa se lleva a efecto haciendo hincapié en los conceptos fundamentales, sin profundizar demasiado en los aspectos de mayor complejidad, pero desde luego puntualizando claramente las hipótesis y grado de validez de las diferentes teorías. El alcance en la exposición de cada tema suele variar, en cierto grado,

según el criterio de cada profesor en particular; sin embargo, el número de horas que se consigna en el programa para cada tema constituye una guía que permite formar un juicio sobre la amplitud con que se expone cada uno de ellos.

Simultáneamente con el desarrollo del curso, se deja al alumno una serie de problemas para su solución personal, buscando con ello una aplicación inmediata a los conceptos teóricos que van siendo estudiados.

Dado el reducido tiempo disponible para el desarrollo del curso, el cumplimiento del programa requiere que el profesor sacrifique profundidad en beneficio de la extensión y, en consecuencia, aquellos temas que constituyen propiamente la aplicación de la Mecánica de Suelos a los problemas de Ingeniería Civil, solo pueden ser tratados en un sentido muy general.

En cuanto al Laboratorio de Mecánica de Suelos, hace algunos años se intentó establecer un curso por separado, llevándose a efecto durante dos años en el seno de un laboratorio de una Secretaría de Estado; sin embargo, hubo de suspenderse este curso por las dificultades prácticas planteadas, principalmente como consecuencia del elevado número de alumnos (superior a los 300). Recientemente se ha instalado en la División Profesional, un Laboratorio de Mecánica de Suelos el cual entrará en servicio el próximo año (1967); se prevee que este laboratorio funcionará con carácter fundamentalmente demostrativo, según se comenta con mayor detalle más adelante.

Quizá la mejor manera de juzgar el nivel a que se imparten los cursos en la División profesional, sea ver los títulos que se incluyen como libros de texto que sirven de base al desarrollo de los mismos.

3. A las normas actuales de enseñanza de Mecánica de suelos a nivel profesional en la U.N.A.M., se le pueden hacer los siguientes comentarios.

a) Las 3 horas semanales de que dispone durante un solo año son totalmente insuficientes, de manera que aun el profesor más responsable y entusiasta se ve imposibilitado de hacer asimilar a sus alumnos los conocimientos de la asignatura, necesarios para el ejercicio profesional. Como corolario de lo anterior, se desprende que el alumnado adquiere una preparación insuficiente en Mecánica de Suelos.

La situación se hace especialmente grave si se analiza el esfuerzo que el estudiante se ve obligado a realizar en el campo de las estructuras y, en menor escala, aún en el de la hidráulica. Los autores de esta ponencia piensan que actualmente existe en la mayor parte de las Escuelas y Facultades de Ingeniería de todo el mundo, una tendencia inconveniente a producir ingenieros con especial énfasis en el campo estructural; opinan que, por lo menos en los países latinoamericanos, esta tendencia no es acorde con la realidad económica y social del ambiente en que el ingeniero ha de desarrollar sus actividades; en efecto, el

impulso de obras de ingeniería que corresponden a la creación de una infraestructura económica exige que la mayor parte de la inversión nacional se dedique a obras que, como las carreteras, los ferrocarriles, las presas de tierra y aún de concreto, los canales, etc. están fundamentalmente garantizadas por técnicos en geotecnia y aprovechamiento de materiales térreos. Se ha dicho en México que la inversión nacional de obras públicas se canaliza hacia obras de tierra en más de las cuatro quintas partes; es de esperar que la demanda de ingenieros egresados cumpla una ley similar.

b) Los autores han tenido en ocasiones la sensación de que en nuestras universidades impera hoy lo que casi se atreverían a llamar la moda de las "Matemáticas", en el sentido de que es opinión general en muchas partes que el modo de elevar el nivel técnico de la enseñanza de la Ingeniería es impartir mayor volumen de conocimientos en este campo y sólo eso. Naturalmente este criterio repercute desfavorablemente en la posibilidad de ampliar los tiempos dedicados a la Mecánica de Suelos o a la Ingeniería Sanitaria (que suelen ser las dos asignaturas fundamentales más descuidadas de nuestros medios). Sin dejar de reconocer lo fundamental de la enseñanza de las Matemáticas, los autores se preguntan si este criterio no se pretende llevar demasiado lejos con frecuencia y se preguntan también si no sabe más Matemáticas un alumno en nuestras escuelas cuando termina 2° año (que suele ser al fin del periodo dedicado a estas actividades básicas) que al fin de su carrera. La respuesta a la segunda pregunta parece obvia y la conclusión probablemente es que las herramientas matemáticas que se le proporcionan al alumno actualmente, por escasas que sean, se enmohecen por falta de uso; si ello es así, se seguiría que lo verdaderamente urgente, como primer paso, en nuestras Escuelas y Facultades es elevar el nivel de estudios en las asignaturas de tipo ingenieril propiamente dicho, entre las que la Mecánica de Suelos es de las más importantes, incuestionablemente. Así, en conclusión, los autores se preguntan si es razonable que la Mecánica de Suelos tenga tres horas de estudio en un solo año en Escuelas y Facultades que es frecuente oír quejas al respecto al nivel general de estudios y en que se piensa que el único medio de remediar la situación es ofrecer al alumno más y más elevados conocimientos matemáticos.

c) Los autores piensan que la enseñanza del Laboratorio de Mecánica de Suelos es un complemento de fundamental importancia a la clase complementaria de Laboratorio. En primer lugar, la familiarización del alumnado con los suelos a través de su amplia manipulación directa; en segundo lugar, la visión personal del equipo, la conciencia de sus posibilidades, de las limitaciones de las pruebas y de sus discrepancias circunstanciales básicas con la realidad de las obras reales que se supone representan, por lo menos en lo que se refiere a la obtención de características de comportamiento de suelos y de datos para proyecto. Los autores piensan que ambos aspectos pueden cubrirse en una clase de carácter demostrativo, en que el alumno vea las cosas, se le expliquen y las asimile objetivamente, aunque no realice personalmente las manipulaciones que definen a

una prueba estandarizada en particular. Así se logra superar el principal inconveniente práctico para ofrecer una clase de Laboratorio que radica, sobre todo en la Facultades y Escuelas muy pobladas, en la escasez de profesorado y equipo para poder impartir una clase que incluya la realización de todas las pruebas por el alumno. Lo anterior es, naturalmente, solo válido para el Nivel Profesional.

d) Los autores piensan que la enseñanza en cursos semestrales es más eficiente que la tradicional en cursos anuales. Ello por las siguientes razones principales:

- Se obliga al alumno y al profesor a un trabajo más dedicado, intenso y continuo.
- Facilita la resolución del viejo problema de que un alumno no pase a niveles más avanzados de conocimiento, sin afianzamiento correcto de los niveles anteriores.
- Al propiciar un sistema a base de créditos, contribuye a la resolución del problema de la existencia de alumnos irregulares, que han reprobado asignaturas anteriores a la que se curse.
- Permite un mayor aprovechamiento del profesorado cuando, como desgraciadamente no es frecuente en nuestros medios, hay suficiente personal especializado.
- Permite al alumnado mejorar sus posibilidades de éxito al exigirles, en un momento dado, menor volumen de conocimiento almacenado con fines de examen.

e) Los autores piensan también que el sistema de créditos es probablemente bueno como norma de enseñanza, sobre todo si se adopta en la Universidad en que se imponga un criterio de especialización del conocimiento.

III. MODIFICACIONES A SUS NORMAS DE ENSEÑANZA IMPUESTAS EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA (U.N.A.M.) A PARTIR DE 1967

A partir de 1967, la Facultad de Ingeniería (U.N.A.M.) se dispone a modificar sus sistemas implantando cursos semestrales, en lugar de los anuales que había venido utilizando. Por lo pronto no se piensa que tal cambio conlleve modificaciones de mayor substancia en lo que se refiere a los programas de estudios y a todas las demás normas de organización básica

Así la asignatura Mecánica de Suelos complementada por el Laboratorio, quedará por lo pronto dividida en dos semestres independientes sujetos a examen por separado, si bien será requisito la aprobación para la inscripción en el segundo; el mismo profesor desarrollará los dos semestres en un mismo grupo e impartirá el

programa actual.

Se piensa que esta modificación es ventajosa como una etapa intermedia antes de llegar a metas de mayor trascendencia; seguramente es buena norma para una Escuela o Facultad no realizar modificaciones radicales de una sola vez.

En párrafos subsecuentes los autores exponen sus ideas respecto a cómo consideran que debería impartirse la Mecánica de Suelos en el futuro, como final de la evolución del nuevo sistema que ahora empieza.

IV. PROPOSICIÓN DE NUEVAS NORMAS DE ENSEÑANZA PARA LA MECÁNICA DE SUELOS

Los autores, con base en su experiencia se permiten proponer las siguientes normas para la enseñanza de la Mecánica de Suelos en el nivel profesional.

a) Parece ventajoso en la actualidad la implantación de la enseñanza de la ingeniería a base de créditos. En este sistema cada asignatura produce una unidad o grupo de unidades independientes. La Escuela o Facultad puede ofrecer a su alumnado un elevado número de tales unidades, una fracción del cual (probablemente algo comprendido entre la mitad y las tres cuartas partes) constituirá el curriculum necesario para la obtención de un Título Universitario. De estas unidades, un cierto número (quizá del orden de la mitad de su curriculum) deberá ser obligatoriamente común a todos los aspirantes al título de Ingeniero Civil y en la elección del resto de su curriculum, el estudiante podrá seguir una tendencia predominante bajo la dirección de un Profesor Consejero.

   De este modo puede facilitarse la resolución de la diversificación de la actividad ingenieril, darle a cada alumno una educación más acorde con sus preferencias y aptitudes, tener un buen acercamiento básico al problema (hoy tan inquietante) de las carreras cortas subprofesionales y eliminar, prácticamente, el angustioso problema de los alumnos irregulares. Además, el sistema da oportunidad al alumno aventajado de emplear menos tiempo en obtener su grado sin perjuicio de su formación.

   Los cursos por el sistema de créditos serán, naturalmente, semestrales

b) En lo que se refiere a la Mecánica de Suelos específicamente, los autores piensan que seis unidades (asignaturas semestrales de tres horas por semana) sería la oferta mínima que la Escuela o Facultad debería hacer. De ellas, las dos primeras (obligatorias) tendrían que equivaler al programa que actualmente se ofrece y que se incluyó al principio de este trabajo,

debidamente complementado por el Laboratorio; este último, con carácter demostrativo y tiempo aparte. De los otros cuatro créditos unitarios, uno por lo menos deberá ser también obligatorio; los otros tres podrán quedar como opcionales.

c) Concretamente los autores piensan que, además de los dos semestres obligatorios de que se habló (Mecánica de Suelos I y II), los créditos a ofrecer podrían ser los siguientes:

Mecánica de Suelos aplicada a las Vías Terrestres.

Cimentaciones.

Presas de tierra y Enrocamiento.

Mecánica de Rocas

De estos cuatro, el alumno estará obligado a tomar uno cuando menos, de acuerdo con su particular curriculum.

d) En la Mecánica de Suelos aplicada a las Vías Terrestres el estudiante debería introducirse con algún detalle en las técnicas específicas del campo, tales como:

1. Métodos de análisis de estabilidad de taludes en cortes y terraplenes, en suelos y en roca y también en laderas naturales.
2. Aprovechamiento de materiales naturales en terracerías.
3. Compactación de suelos.
4. Pavimentos.
5. Problemas de drenaje superficial y subterráneo.
6. Estabilización de Suelos con cemento, asfalto, cal, etc.
7. Geología aplicada y aprovechamiento de técnicas de fotointerpretación, para estudio de drenaje, bancos de materiales, etc.
8. Cimentación de puentes.
9. Socavación.

e) En el curso de Cimentaciones deberían tratarse temas como:

1. Teorías de Capacidad de Carga
2. Cimentaciones superficiales en suelos “cohesivos” y “friccionantes”
3. Cimentaciones profundas en suelos “cohesivos” y “friccionantes”
4. Cimentaciones compensadas
5. Métodos de excavación en suelos
6. Métodos de ademe en excavaciones

7. Métodos de control de flujo de agua en excavaciones
8. Tablestacados.

f) En el curso de Presas de Tierra y Enrocamiento deberían tratarse temas como:
   1. Exploración geológica y su interpretación
   2. Diseño de presas de tierra
   3. Diseño de presas de tierra y enrocamiento
   4. Redes de flujo
   5. Vaciado rápido
   6. Causas de falla de una presa de tierra
   7. Pantallas impermeables
   8. Galerías y pozos de drenaje
   9. Condiciones geológicas especiales que amenacen la estabilidad de una presa
   10. Métodos de medición del comportamiento de una presa de tierra

g) En el curso de Mecánica de Rocas deberían tratarse temas como:
   1. Defectos mecánicos de las rocas
   2. Defectos químicos de las rocas
   3. Técnicas de laboratorio y campo para determinar las características de las rocas
   4. Cimentaciones en roca
   5. Excavaciones en roca
   6. Rocas expansivas.
   7. Presiones en túneles
   8. Diseño y construcción del ademe definitivo en túneles
   9. Métodos geofísicos para exploración geológica
   10. Tecnología de presas

h) Los puntos que se mencionan para cubrir los cursos que se han propuesto se han incluido con carácter puramente ejemplificativo. No se pretende ni que estén completos, ni que sean óptimos e invariables

i) Los autores piensan que una enseñanza de la Mecánica de Suelos tal como la que se propone, unida a su análogo mejoramiento en la enseñanza de otros temas básicos hoy igualmente descuidados (la mención de la Ingeniería Sanitaria, tan indispensable en nuestros ambientes, vuelve a ser obligada), producirá efectos sociales de gran trascendencia y contribuirá, sin duda, a acercar aún más a la profesión de Ingeniero con los pueblos. Naturalmente el sistema de créditos que se preconiza puede lograr estas mejoras inaplazables

en algunos campos, sin detrimento de la enseñanza en otros aspectos tradicionalmente mejor atendidos; se trata de crear algo más de diversificación, abandonando un criterio enciclopedista rebasado por los hechos.

V. LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS SUPERIORES (D.E.S.)

En la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M. funciona desde 1957 en forma sistemática una División de Estudios Superiores, que ofrece la oportunidad de adquirir los grados de Maestro en Ingeniería y de Doctor en Ingeniería. La enseñanza se imparte en varios campos, que son, nombrando sólo los de Ingeniería Civil:

Las Estructuras

La Hidráulica

La Ingeniería Sanitaria

La Planeación

Las Vías Terrestres

La Mecánica de Suelos

En la D.E.S. los cursos semestrales están implantados desde 1960 y, desde esa época, funcionó también el sistema a base de créditos.

Para la obtención del grado de Maestro de Ingeniería en el campo de la Mecánica de Suelos, se exigen 10 créditos semestrales, más una Tesis de Maestría y unos requisitos adicionales de idiomas. Para el Doctorado en el mismo campo, se exigen 18 créditos semestrales, una Tesis Doctoral y unos requisitos complementarios de idiomas.

Los fines de la Maestría son la capacitación de ingenieros especializados y de elementos aptos para ejercer la docencia. Los fines del Doctorado son la investigación y la alta docencia. Naturalmente que estos fines pueden combinarse o alterarse según las preferencias individuales de cada estudiante.

En la Maestría de Mecánica de Suelos, dos créditos son de Matemáticas y los otros ocho son, hasta cierto punto, materia de selección para el alumno, si bien por la influencia de los Profesores Consejeros, de cuatro a seis de ellos funcionan como prácticamente obligatorios; los restantes dos o cuatro sí son francamente selectivos e, inclusive, frecuentemente pertenecen a otros campo diferentes del de la Mecánica de Suelos.

Actualmente en el campo de la Mecánica de Suelos, la D.E.S. está ofreciendo créditos, que se mencionan más abajo. Para impartir realmente cualquiera de ellos, basta que inscriban tres alumnos. Los créditos son:

Mecánica de Suelos I. –Asignatura de carácter teórico en la que se cubren los puntos de un programa análogo al de la División profesional, hasta el Capítulo de Resistencia al esfuerzo cortante, inclusive. Naturalmente que el nivel de enseñanza es ahora bastante más elevado. Podría decirse que el objetivo fundamental de este curso es familiarizar al alumno con los aspectos teóricos y filosóficos de las características mecánicas e hidráulicas del suelo como material ingenieril. (1er. Semestre).

Mecánica de Suelos II. –Es el complemento del curso anterior y cubre los temas reseñados en la segunda mitad del programa del nivel profesional que se incluyó en este trabajo. Su nivel y objetivos son los que se mencionaron en el curso Mecánica de Suelos I (2° semestre).

Flujo de Agua en Suelos. –Asignatura de carácter teórico en la que se estudia el flujo de agua en medios porosos y sus fundamentos matemáticos. Se incluye el problema de presas de tierra. (2° semestre).

Laboratorio de Mecánica de Suelos. –El curso es ahora de carácter integral y formativo y el alumno aprende por manejo directo las manipulaciones y sentido de todas las pruebas usuales (1er semestre).

Geología aplicada. –Esta clase cubre únicamente los aspectos de la Geología de interés para el Ingeniero de Suelos y se complementa con algunas prácticas de campo. (1er semestre).

Mecánica de Suelos Aplicada I y II. –El énfasis de estas dos asignaturas es eminentemente práctico, tratando de cubrir el trecho que hay entre las teorías de carácter especulativo y la realidad de las obras. (Se imparte una cada semestre).

Otras asignaturas de interés más específico y que por su solo nombre se identifican, son:

Pavimentos

Presas de Tierra y Enrocamiento

Mecánica de Rocas.

El siguiente grupo de asignaturas es escogido sobre todo por los estudiantes que ya se encuentran trabajando su Doctorado:

Resistencia de los Suelos al Esfuerzo Cortante

Diseño Límite en suelos

Dinámica de Suelos

Reología Aplicada

Teoría de la Elasticidad

Teoría de la Plasticidad

Además existen cursos especiales (Seminarios), en los que se tratan temas que específicamente interesan al grupo de tres o más alumnos que los soliciten. Entre estos, se han dado:

Cimentaciones

Pavimentos

Estática de Medios Térreos

Empuje de Tierras

Físico-química de Arcillas

Laboratorio (técnicas especiales).

El criterio con el que se imparten todas las asignaturas es doble: por un lado, se procura que el estudiante se familiarice con los aspectos teóricos de la especialidad, dominando las herramientas que la tecnología actual ha desarrollado para el planteamiento y resolución de los problemas; por otro lado, se procura que el alumno adquiera un agudo sentido de los alcances y limitaciones de las teorías disponibles y de su campo de aplicabilidad y grado de confianza cuando se las confronta con la realidad de las obras. Dado el escaso tiempo en que se pretende adquirir el grado de Maestro o de Doctor, la experiencia de campo se deja, hasta cierto punto, a la vida profesional del egresado. Cabe hacer notar que la Maestría está concebida para ser cubierta en un año escolar (dos semestres), necesitándose un semestre adicional para realizar la Tesis necesaria; el Doctorado requiere normalmente dos años de estudio, más el tiempo necesario para la ejecución de la Tesis, que en este caso es un trabajo serio de investigación.

VI. CONCLUSIONES

1. La Mecánica de Suelos se imparte hoy a nivel profesional con menos tiempo de dedicación del que se considera necesario. Ello forma parte de una

tendencia general e indeseable a dar un carácter eminentemente estructural a los ingenieros egresados de las Escuelas y Facultades de muchas partes de Latinoamérica.

2. Se estima que los cursos semestrales son más eficientes que los anuales y por ello se recomiendan para las Escuelas y Facultades de Ingeniería. También se cree que el sistema de créditos por unidades independientes es la mejor manera de las que hoy se ocurren para ser adoptadas como Norma de Enseñanza.
3. En el artículo se propone en concreto que la enseñanza básica de la Mecánica de Suelos se fundamente en dos semestres obligatorios, complementados con un curso aparte de Laboratorio de carácter demostrativo, en los que se dé al alumno los aspectos fundamentales de la especialidad, según programas análogos a los actualmente en vigor, pero que esa enseñanza se complemente ofreciendo al estudiante otros cuatro cursos semestrales, de los que, por lo menos uno, se propone como obligatorio.
4. Se considera necesario y verdaderamente urgente en nuestros países de habla hispano-portuguesa, el poder ofrecer a los estudiantes aventajados que deseen perfeccionar su preparación, conocimientos especializados de alto nivel en el campo de la Mecánica de Suelos, por juzgarse que este campo juega un papel importante en la optimización de los recursos nacionales para el desarrollo. Los países que ya poseen Escuelas de Graduados en las que se imparta la Mecánica de Suelos, deben estimularlas, buscando su máximo desarrollo.
5. Según la experiencia mexicana de los últimos de los últimos 25 años, quizá el mejor modo de lograr una buena División de Graduados, partiendo de su inexistencia, sea becar a estudiantes inteligentes en el extranjero con el compromiso de impartir clases a su retorno y crear un centro de investigación, siquiera incipiente, para que una parte de ellos se ejerciten y maduren en él. La otra parte de los especialistas deben tener rápidamente acceso a puestos de responsabilidad técnica en su ramo de actividad, sea en el Gobierno o en la iniciativa privada, a fin de entrenarse rápidamente en los aspectos prácticos de la profesión y ser aptos para impartir clases de aplicación a obras reales.

De esta manera se cree que en un lapso de ocho a diez años se formará un grupo de jóvenes ingenieros cuyos beneficios a la colectividad podrán ser incalculables.

APÉNDICE

EVOLUCIÓN Y ESTADO ACTUAL DE LA ENSEÑANZA DE LA MECÁNICA DE SUELOS EN MÉXICO

1941. –Se estableció por primera vez en la Escuela Nacional de Ingenieros U.N.A.M. la asignatura de Mecánica de Suelos, con carácter optativo, con un solo grupo.

1952. – Se hace obligatoria la asignatura de Mecánica de Suelos en la Escuela de Ingenieros de la U.N.A.M., funcionando con dos grupos en ese año; este número fue creciendo paulatinamente hasta convertirse en siete en la actualidad.

A partir de esta fecha la asignatura se hizo obligatoria en todas las Escuelas de Ingeniería que entonces existían en el país

1966. –La Mecánica de Suelos se imparte en las 26 Escuelas de Ingeniería de todo el país, generalmente en el 4° año de la carrera. Funcionan en todas ellas un total de 35 grupos, atendidos por 35 profesores diferentes.

1957. –Comenzó a funcionar la División de Estudios Superiores de la U.N.A.M., con tres profesores de Mecánica de Suelos, que impartían las diferentes materias de la especialidad. En la actualidad el número de profesores de esta especialidad ha aumentado a 10. El instituto Politécnico Nacional y el Instituto Tecnológico de Monterrey han incluido recientemente a la Mecánica de Suelos en sus respectivas Divisiones de Graduados.

Para complementar el panorama de la enseñanza de la Mecánica de Suelos en México, se mencionará que 27500 alumnos estudian Ingeniería Civil en las 26 Escuelas y Facultades que a la fecha funcionan

En la tabla que a continuación se presenta, se ve la evolución de la enseñanza de la Mecánica de Suelos.

EVOLUCIÓN DE LA ENSEÑANZA DE LA MECÁNICA DE SUELOS

(Cursos Profesionales)

1952	11	11
Año	Escuelas que comenzaron a impartirla	Acumulativo
1953	1	12
1957	3	15
1959	3	18
1960	1	19
1961	2	21
1963	1	22
1964	2	24
1966	2	26

CONTRIBUCIÓN PARCIAL DEL ING. ALFONSO RICO RODRÍGUEZ. CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA. 1991.**

1. Introducción

Se pretende en este trabajo presentar un panorama necesariamente breve de la situación actual de la Ingeniería Civil del país y algunas de sus perspectivas futuras. Es evidente que una tarea de tal magnitud no puede fundarse en los sentimientos personales y la percepción de un solo individuo, por lo que hubieron de celebrarse entrevistas personales para obtener los puntos de vista de algunos ingenieros que, por su situación laboral o por la experiencia proporcionada por su trayectoria profesional, ofrecieran la garantía de expresar opiniones autorizadas y objetivas. Obviamente también el número de estos colegas fue menor, dadas las necesidades inexorables del tiempo, de lo que hubiera sido desear.

En el trabajo se ha procurado recoger los puntos de vista y opiniones expresados por la mayoría y que atienden a aspectos fundamentales a juicio del autor de la glosa; el mismo debe asumir la responsabilidad de la selección efectuada.

II. Panorama actual. Fortalezas de la Ingeniería Civil Mexicana.

Es un hecho innegable que la Ingeniería Civil Mexicana ha prestado un adecuado servicio a la Nación a partir del momento del establecimiento del México independiente. La infraestructura nacional nunca ha estado limitada en su desarrollo por sus potencialidades. Con los errores naturales y las deficiencias mínimas que son de esperar en una empresa de tal envergadura, la Ingeniería Civil cumplió ante la nación con su deber.

Algunas empresas son muy de destacar en esas épocas pasadas. La expropiación petrolera marcó un momento en que la Ingeniería Civil hubo de contribuir a que el país se responsabilizara del desarrollo de una muy complicada industria, respecto a la cual se tenía un experiencia débil y fragmentada; sin embargo, el desarrollo petrolero de México pudo continuar, en un principio sin mermas perceptibles y, después, con un vigor que hubiera sido difícil de profetizar.

Desde 1925, México ha construido una importante red carretera mediante trabajos atribuibles totalmente al esfuerzo nacional, red que permitió un desarrollo humano, económico y comercial sostenido, que no hubiera sido concebible sin la existencia de esa infraestructura vital.

Hace más de 50 años el país adoptó políticas dirigidas muy empeñosamente a que la realización de obras de infraestructura quedara en manos de una industria

**Rico, R. A. (1991). Contribución parcial del Ing. Alfonso Rico Rodríguez. Congreso Internacional. Academia Mexicana de Ingeniería.

nacional de la construcción que era débil y no demasiado experimentada. Ya se comentó algo en relación a la respuesta que esta industria fue capaz de dar en materia de petróleo y de transporte carretero, pero no menos importante en ningún sentido fue la respuesta proporcionada al país en materia de obras hidráulicas; en la construcción de presas de diversos materiales, diversos tamaños, y diferentes objetivos, en el curso de ese lapso señalado el país desarrolló una infraestructura de riego y generación de energía de extraordinaria importancia, gran capacidad de servicio y que envuelve logros técnicos de la mayor relevancia.

El aprendizaje técnico de la Ingeniería Nacional en este rubro ha sido realmente notable y ha llevado a al Ingeniería Nacional a un innegable lugar de reconocimiento mundial, además de proporcionar al país obras de excelente funcionamiento y amplia cobertura.

Hay otros muchos aspectos en que la Ingeniería Civil Nacional ha soportado adecuadamente la carga de su contribución al desarrollo nacional. Por ejemplo, es un lugar común decir que la red nacional de ferrocarriles no ha sufrido cambios relevantes en lo que podrían llamarse los años de independencia tecnológica nacional, vale decir, en lo que va del siglo; si bien esto es más o menos cierto en lo que se refiere a la longitud de la red ferrocarrilera, no lo es en lo que se refiere a su calidad; la red actual de ferrocarriles, en su infraestructura civil, dista mucho de ser la de hace 80 o 90 años; se ha modernizado, se ha robustecido y, básicamente, se ha adaptado a tráficos no viables en aquellas épocas.

Tampoco estará de más señalar la red de aeropuertos de toda índole que existe en el México actual, que hacen del país uno de los bien servidos en esta materia; son, además, aeropuertos bellos y funcionales.

Al servicio de una de las escuelas de arquitectura más variadas e interesantes de la época moderna, la Ingeniería Civil Mexicana ha sido capaz de respaldar sus nuevas y audaces concepciones, de manera técnicamente sólida y, en algunos aspectos, francamente innovadora. Los importantes y seguros edificios que se han erigido a lo largo y ancho de la nación, incluyendo zonas de construcción realmente dificultosa, dan testimonio de ello. También la Ingeniería Civil Mexicana ha podido poner su parte en el desarrollo industrial, que comporta a veces problemas técnicos de mucha complejidad.

Finalmente, pero sin pretender agotar el tema, deben citarse las contribuciones de la Ingeniería Civil al desarrollo de la habitación popular y a la dotación de agua potable y drenaje a masas siempre creciente de población.

Tras casi dos siglos de educar y formar ingenieros civiles, existe en México una valiosa experiencia acumulada y una infraestructura educacional con excelentes características en algunos aspectos y con buenas posibilidades de desarrollo en otros, más deficitarios; esa experiencia ahí está y debe contarse con ella como

una garantía para el futuro.

La educación en la Ingeniería y la experiencia profesional han producido en prácticamente todas las especialidades de la ingeniería Civil individualidades capaces y experimentadas; algunas veces, sabias. Lo que esas personas representan por su propio trabajo; por su capacidad para transmitir su conocimiento y espíritu a hombres más jóvenes, debe verse como una de las mayores potencialidades y riquezas de la Ingeniería Civil Mexicana.

La investigación en la Ingeniería Civil no es una actividad desconocida en México. Tampoco es una actividad en la que no puedan señalarse éxitos relevantes, de amplia resonancia nacional y externa. Más adelante se glosarán algunos resultados obtenidos por las escuelas mexicanas de Mecánica de Suelos, Ingeniería Sísmica, Hidráulica y otras, que darán testimonio de una actividad viva e interesante.

En resumen, parece posible decir que si se contempla el puñado de décadas en que realmente puede hablarse de un desarrollo tecnológico nacional, la Ingeniería Civil ha logrado:

- Respaldar, sin frenarlo, el desarrollo nacional en su conjunto.
- Establecer algunas áreas de excelencia, para especial beneficio de la nación y capaces de lograr un amplio reconocimiento internacional.
- Una industria mexicana de la construcción versátil y experta, competitiva en lo interior y con alentadores signos de competitividad en sus cada vez más frecuentes incursiones en el mercado externo.

El panorama anterior, que sin duda puede permitir un sombrío optimismo y una razonada confianza en un futuro respaldado por arduos trabajos, no es, sin embargo, ni homogéneo ni desprovisto de puntos o zonas en donde la prudencia aconseje incidir para mejorar prácticas, eliminar circunstancias adversas y proporcionar, en general, a la Ingeniería Civil Nacional cauces mejor lubricados para su desarrollo armonioso.

III. Panorama actual. Debilidades de la Ingeniería Civil Mexicana.

Existen, en efecto algunos aspectos de la Ingeniería Civil Mexicana sobre los que convendría actuar con la máxima rapidez e intensidad posibles, para eliminar situaciones inconvenientes, debido a que éstas son generadas no por fenómenos sociales o relacionadas históricamente con el desarrollo cultural nacional, en lo que la intervención humana ha de ser necesariamente lenta y de carácter fundamentalmente encauzador, sino por actitudes, disposiciones o reglamentos no óptimos, pero fácilmente modificables.

Según se desprende de lo arriba escrito, hay que considerar otras situaciones que

puedan incidir desfavorablemente en el desenvolvimiento de la Ingeniería Civil, pero que dependen de factores tradicionales e históricos, de hábitos sociales firmemente establecidos, de condiciones económicas no fácilmente modificables o de otro sin número de factores sobre los que no resulta posible provocar cambios de rumbo bruscos o en los que esa provocación pudiera implicar riesgos de consecuencias no bien conocidas o, quizá, más inconvenientes que la deficiencia que se pretenda arreglar.

En lo que sigue se tratará de distinguir dentro de lo posible los dos tipos de señalamientos.

- Muchos ingenieros con experiencia tienen la sensación de que, en cierto sentido, el progreso experimentado por la nación en los últimos 50 años ha superado de alguna manera la filosofía técnica del ingeniero civil. Lo que se quiere decir es que, acostumbrados los ingenieros a proyectar y construir para un país "más pequeño", el producto que entregan hoy resulta a veces insuficiente para las actuales necesidades, difícil de mantener, caro de operar y rápidamente rebasado en su capacidad de servicio. Obviamente este pecado no se distribuye por igual entre personas y/o grupos, pero se tiene la sensación de que en mayor o menor medida opera casi siempre. Esta inadaptación entre pasado, presente y futuro tiene que deberse, en primer lugar, a los hábitos de trabajo que engendra la tradición y aún la rutina. También al hecho, desgraciadamente frecuente, de que la vida profesional tiende a debilitar el tiempo de estudio, de manera que al cabo de los años los cambios, las nuevas técnicas o los nuevos métodos se hacen terribles a muchos ingenieros en ejercicio, sobre todo en proyecto y construcción (un ejemplo obvio, pero indicativo, es el menor uso que de las potencialidades del cómputo suelen hacer, por lo menos personalmente, los ingenieros más veteranos).

Otro factor que coadyuva a la inadaptación que se señala es la exagerada importancia que se ha llegado a conceder al costo inicial de las obras, en comparación al de su mantenimiento y al de su operación. Naturalmente que no es posible minimizar las variadas necesidades de la nación y es obligado y generoso que el ingeniero trate de disminuir una inversión inicial en beneficio de la posibilidad de emprender otras, pero también es vital la comprensión de que este sentimiento, llevado a casi cualquier grado de exageración, enajena gravemente el futuro nacional, pues en cualquier obra de Ingeniería Civil, la conservación acaba por pesar más que el valor inicial y, como es bien sabido, la operación llega a pesar decenas o centenares de veces más.

Una obra a la que no se den los materiales adecuados a las condiciones reales que va a enfrentar, en la que se escatimen dimensiones, en la que se descuide el control de calidad o en la que no se ejerza rigor en la construcción, fallará en sus fines, afectará la moral y, por supuesto, representará para el país un costo mayor.

Algunos ejemplos que podrían mencionarse en estos aspectos son carreteras no

del todo conformadas con las realidades de un tránsito actual, mucho más pesado y abundante que en el pasado, sea por la calidad de materiales o por defecto en el dimensionamiento; presas a las que la demanda del servicio obliga sobre-elevaciones tempranas; distritos de riego con excesivas pérdidas por permeabilidad en canales no revestidos; falta de utilización de concretos de alta resistencia, relativamente débil uso de acero especiales y otros.

La adecuación entre los jóvenes ingenieros y la realidad de su nación podría lograrse en gran medida en la propia escuela de donde el ingeniero egrese. Este problema, así como el de la incorporación de ingenieros veteranos a nuevas técnicas, resulta pues ligado al de la formación básica o a la cultura adquiridas en el bachillerato y en las escuelas de Ingeniería. Las novedades son siempre temidas por lo menos conocedores y la verdadera comprensión de las realidades de su país resultará siempre más fácil para los hombres más cultos.

- Una sensación frecuentemente percibida entre ingenieros civiles de experiencia es la de que, si bien, como ya se dijo, existen sólidas individualidades en las diferentes especialidades de la Ingeniería Civil, éstas están envejeciendo, se van retirando o fallecen y los elementos que las substituyen no suelen poseer sus mismas características y, lo que es peor, no suelen tampoco prometerlas. Se opina que esto es particularmente cierto para los grandes ingenieros generalistas, extremadamente adecuados para dirigir trabajo interdisciplinario y para los buenos ingenieros de estudios y proyectos con visión planeadora; si se observa esta opinión más de cerca, se ve que se refiere a ingenieros con amplia y completa preparación profesional y sólida cultura. He aquí un mensaje que debería de ser escuchado por el bachillerato nacional y por las escuelas y facultades de Ingeniería. Desde un punto de vista atrás comentado, éste es un problema de frontera; el bachillerato y las universidades deben reforzar información; conocimiento y formación profesional; pero evidentemente la formación cultural depende de hechos sociales de evolución necesariamente más lenta de lo que la primera podría ser.

También se ha recomendado intensamente el no dejar de utilizar la experiencia de los ingenieros veteranos de calidad, en los múltiples modos en que ello es posible. A este respecto, muy especialmente el sector público habría de cambiar en algo su reglamentación.

- Muchos elementos conscientes de la profesión han señalado la necesidad de reforzar la realización de buenos proyectos, fundados en estudios completos, como una etapa absolutamente necesaria en la secuencia creadora de cualquier obra. La falla de un proyecto adecuado conduce a las adaptaciones apresuradas durante la ejecución, rara vez exitosas y siempre muy costosas.

También se reconoce la necesidad de modernizar la tecnología de ejecución, presentación, manejo y archivo de proyectos, incorporando modernos métodos de diseño por computadora, que son en cambio muy familiares ya en áreas de

Ingeniería industrial y diseño mecánico. Las dificultades para recuperación de proyectos antiguos se mencionan como una deficiencia a mejorar.

Otro punto que se menciona como preocupante dentro del capítulo de los proyectos es el que se plantea cuando el propio proyecto y sus estudios se encomiendan a uno o más consultores externos, situación que se considera particularmente grave cuando la parte contratante carezca de personal capacitado para mantener el control total del propio proyecto y de su necesario balance; el resultado de estas situaciones indeseables se considera que resulta fuera de las necesidades reales del caso y, muy frecuentemente, en detrimento de la calidad obtenida.

Se estima en forma generalizada que la necesidad de proyectos muy bien y minuciosamente realizados se agudiza día a día, a la vista de las políticas que conducen a la participación de capital privado y aún ahorro ciudadano en las grandes obras. Proyectos inadecuados producirían, por lo menos, trastornos en los esquemas de financiamiento.

Es universalmente aceptada la necesidad de mejorar la relación entre proyecto y construcción en todo tipo de obras. Se menciona, por ejemplo, la necesidad de ordenar las cosas de manera que los conspicuos responsables del proyecto puedan actuar como consultores de la parte constructiva.

- La necesaria y universalmente aceptada filosofía política de apertura económica y comercial con vistas a integrar a la nación al comercio internacional, genera, como es natural, situaciones y riesgos que deben ser contemplados, justamente valuados y manejados en consecuencia. En materia de proyecto, construcción pesada y relación entre ambos preocupa la posible intervención de firmas no nacionales. En este aspecto cabe una reflexión de importancia. No es discutible la existencia de países con niveles tecnológicos muy adecuados, a veces en lo general superiores al nacional, pero resulta mucho más discutible que la tecnología de esos países ejercida en México, al menos dentro del ámbito de la Ingeniería Civil, proporcione beneficios importantes a México o, en todo caso, beneficios que compensen la correspondiente falta de oportunidad a la consultoría nacional y a la industria mexicana de la construcción.

La tecnología extranjera ha actuado en todo el mundo con muy diversas modalidades, pero en dos de ellas se concentra la mayoría de los casos prácticos. En la primera modalidad, los estudios, los proyectos y la construcción misma se encomiendan a la empresa o empresas del exterior. En la segunda, un organismo nacional realiza los estudios y los proyectos y la empresa extranjera construye la obra, frecuentemente a la sombra de un crédito.

El primer caso y dadas las inevitables limitaciones de la naturaleza humana, se han visto con frecuencia situaciones aberrantes en las que se implantan en una nación proyectos y obras muy discordantes con las verdaderas necesidades, en

los que aparece siempre un exceso de gasto fácilmente explicable, sobre todo cuando una sola empresa se encarga del paquete completo. Se han visto carreteras con 500 o menos vehículos ligeros al día construidas con pavimentos inclusive más robustos que los del aeropuerto de la Ciudad de México, que ha de soportar frecuentes operaciones de aviones muy pesados y que está construido sobre un terreno famoso en todo el mundo por las dificultades que presenta; se han visto también carreteras de tránsito muy reducido construidas con pavimentos muy importantes, por haberse utilizado en países tropicales especificaciones de proyecto propias de países árticos, en los que los problemas de congelación obligan a la utilización de capas de gran espesor de material granular, cuya función es únicamente de protección contra aquella condición de congelamiento.

En la segunda modalidad pueden evitarse en gran medida los defectos de proyecto, pero en la construcción propiamente dicha pueden verse defectos de trascendencia, en rigor también aplicables a obras realizadas en la primera modalidad de dependencia del exterior. Independientemente de que cada nación tiene sus propios matices, políticas y reglamentos y aun modalidades y costumbres, todos difíciles de captar con quien no está compenetrado con ellos, cuando se habla de la tecnología de un país extranjero, suele confundirse lo que sucede en ese país con lo que sucede cuando ese país trabaja en otro. En el primer caso, pueden intervenir los mejores técnicos de aquella nación, sus mecanismos institucionales y organizativos y su fuerza de trabajo, seguramente muy organizada y entrenada. Cuando ese país trabaja en otro de menor desarrollo tecnológico en general o simplemente diferente, los técnicos enviados no suelen tener el nivel de excelencia máximo posible, sino que son personas peor situadas en el país de origen o muy jóvenes, para las que el incentivo de un salario incrementado justifica un desarraigo personal y familiar de largo plazo; obviamente la organización institucional y laboral que actúa sigue siendo la del país menos desarrollado. La conclusión es obvia: la alta tecnología del país exportador, que permitió ganar y garantizar un concurso internacional sobre el papel, no actúa con toda su fuerza en el país importador y es arriesgado pensar que el producto final del trabajo supere lo que hubieran sido capaces de hacer los propios nacionales, a no ser que se hable de naciones en grado muy bajo de desarrollo propio, lo que corresponde al caso mexicano.

Se apunta otra posible consecuencia desfavorable de la presencia de empresas extranjeras en el campo de la construcción, pues estas utilizarían recursos humanos nacionales de preparación conveniente que, como se dijo, existen en el caso de México. Aun cuando los sueldos pagados al personal nacional por las empresas extranjeras fueran menores que los correspondientes en su país de origen, seguramente serían mayores que los actualmente pagados en México, lo que ocasionaría un incremento general no condicionado a los intereses exclusivos del país en sueldos y salarios mexicanos en el área de la construcción. No es de dudar que este impacto inflacionario se extendería más allá de la propia industria de la construcción. Lo que es notable de esta última reflexión no es el incremento

en sí de los sueldos de los ingenieros que cubran algunas funciones, lo que en México se juzga universalmente imperativo por los que viven el área técnica, sino el hecho de que la ordenación de los salarios obedecería a detonadores diferentes de los que corresponden a la escala de valores más adecuada a la nación.

- El panorama y la situación de la industria mexicana de la construcción es una preocupación muy relevante de muchos miembros conspicuos de la profesión. Universalmente se reconocen sus sólidos méritos y su firme posición, pero no dejan de señalarse puntos de reflexión y otros de actuación.

La prolongada crisis económica que ha aquejado a grandes áreas del mundo y que México ha sufrido también ha causado, según opinión generalizada, un grado importante de descapitalización en la industria de la construcción. Se refleja en disponibilidad de liquidez y de equipo. Aunque las opiniones en torno a estos asuntos suelen ser un tanto polarizadas por intereses diversos, existen indicios suficientes para creer que los conceptos referentes a buen mantenimiento y, sobre todo, a reposición de equipos han estado ausentes de las propuestas presentadas por muchas empresas en los concursos que intervienen. Es juicio general que no se ha llegado a un grado en el que sienta que la Industria perdió la oportunidad de reaccionar vigorosamente ante la eventualidad de una recuperación económica, inclusive importante, pero se juzga también peligroso someterla a ulteriores tensiones. Se mencionarán a continuación los señalamientos que se han recogido en torno a diversos aspectos relativos a la industria de la construcción; el orden no es indicativo de importancia, pues esta misma es variable dependiendo de los casos.

La actual reglamentación que rige la actividad constructiva se considera perfectible. El hecho de que exista más oferta que demanda en la actividad representa un traspaso de capital de la industria de la construcción hacia los propietarios de las obras y se piensa que este fenómeno no es suficientemente retribuido o tomado en cuenta de alguna manera compensatoria hacia la propia industria.

Muchos industriales piensan que el régimen de escalatorias que acompaña al fenómeno inflacionario no es totalmente equitativo; se piensa que la escalación debe ir acompañando la elevación de los costos lo más de cerca posible; la escalación que se pacte resulta difícil de calcular en términos de una futura inflación en los insumos de la construcción y algunos especialistas juzgan más claro establecer índices de inflación con base en el comportamiento histórico reciente de unos cuantos insumos principales; obviamente éste es un punto en el que no cabe un procedimiento claro y general, pero pudiera resultar lógico analizar algún sistema práctico que tomara en cuenta las diferencias entre algunos tipos de obra y otros. También se menciona como un factor que convendría someter a estudio el hecho de que si bien los costos aceptados oficialmente por las autoridades que reglamentan se establecen con una cierta periodicidad, los

precios de los mismos productos son fijados por el comercio con otra diferente; de hecho, son dos dependencias gubernamentales distintas las que reglamentan sobre ambos conceptos y, aunque evidentemente se llega a una completa conciliación, existe un lapso en el proceso que convendría minimizar.

Una cuestión que merece atención especial por lo mucho que de ella depende y por su gran repercusión en la posibilidad de formar grandes empresas de construcción capaces de competir fuera del país y en el desarrollo y modernización tecnológica de la industria, es el criterio de otorgamiento de contratos, sea por parte del sector público o del privado. Es evidente que el otorgamiento a la proposición más barata puede no satisfacer siempre el interés nacional; la propuesta más barata puede ser mal formulada, pecar de optimista, fundarse en tecnologías en exceso tradicionales o inapropiados (por ejemplo, en el caso mexicano, en un uso intensivo de obra de mano no bien remunerada, sustituyendo a tecnologías más mecanizadas, pero capaces de obtener resultados de mejor calidad) o traer consigo, en forma encubierta, futuros incumplimientos o necesidades de cambios y adaptaciones sobre la marcha; que generalmente producen costos mayores que terminan por anular la ventaja inicial, aún en valor directo y, por supuesto, pueden acabar elevando inmoderadamente costos de mantenimiento y operación.

Es evidente también que una política que otorgue virtudes a una proposición por el hecho de ser cara, no puede defenderse.

La actitud más prudente puede ser poner en manos de técnicos competentes el juicio de qué proposición combina de la manera más competente la calidad y la garantía del trabajo con el costo, considerando, desde luego, no sólo el de construcción inicial, sino el de conservación y, sobre todo, el de operación.

Se piensa que existen deficiencias en la integración vertical de la industria de la construcción. La opinión se refiere a la falta de subcontratistas especializados, capaces de ejecutar fracciones de la obra en forma adecuada. La reglamentación actual al respecto también dificulta el empleo de estas pequeñas empresas y probablemente resultaría prudente que, bajo su completa responsabilidad en cuanto a resultados finales, el contratista principal tuviera plena libertad para subcontratar, sin sobrepasar nunca los términos de su contrato. En este aspecto cabe el comentario de que muchos especialistas en construcción, bien conocedores del panorama internacional, atribuyen a la existencia de numerosos pequeños empresarios de actividad especializada, la alta calidad a que puede llegarse en operaciones constructivas. Huelga decir que esta integración vertical de la industria constituye un proceso altamente democrático, que favorece en mucho el proceso de distribución de la riqueza.

También se mencionan dificultades en la integración horizontal de la industria de la construcción, refiriéndose a la posibilidad de que dos o más empresas puedan formar asociaciones para emprender proyectos conjuntos. La figura de asociación

por participación se considera poco versátil en algunas ocasiones en sus aspectos legales y se echan de menos otras que funcionan exitosamente en otros países.

Parece conveniente continuar con vigor todas las acciones de descentralización administrativa de la actividad constructiva, actualmente aún muy centralizada en el Distrito Federal. También, agilizar y dar imparcialidad a los mecanismos de apelación en el diálogo entre el contratante y contratado.

Comienza a sentirse en la profesión una cierta inquietud por la completa libertad actual que un ingeniero tiene para actuar en cualquier área profesional. Se invoca la práctica de otros países, dentro de la que un ingeniero civil únicamente tiene posibilidad de actuar en los campos de su profesión para los que posea una competencia reconocida. Experiencias recientes en algunas ciudades de la República, encabezadas por la ciudad de México, comienzan de alguna manera a cristalizar estas inquietudes. Se menciona específica, pero no únicamente, el campo de la vivienda como uno en el que con cierta frecuencia laboran profesionales no interiorizados en sus muchos y complejos detalles, existen inclusive indicios del trabajo de personal no titulado en labores que requerían una mayor atención y cuidado. Dadas las realidades existentes en el campo social de la Ingeniería Civil, es evidente que relaciones drásticas en estos asuntos podrían pecar de no realistas, pero tampoco cabe duda de que se ofrece un tema digno de estudio por parte de colegios y asociaciones de ingenieros civiles que, aparte de otras implicaciones, puede incidir en la calidad de los trabajos en el prestigio de la profesión.

Si se le compara con otras actividades productivas de la nación, se observa que en el caso de la Ingeniería Civil suele existir una menor distinción entre la profesión propiamente dicha y la industria a la que esa profesión contribuye. De esta manera, una parte de la actividad reglamentaria y reguladora que tiene pleno sentido técnico para el ingeniero, resulta mucho más difícil de manejar para el industrial. La competitividad nacional e internacional de la construcción requiere que a ella se apliquen normas, restricciones y facilidades pensadas con el mismo espíritu que se aplica a otras ramas de la industria nacional y que trascienden los aspectos puramente técnicos de la actividad. No es este el lugar para detallar esos aspectos, pero resultaría conveniente un mayor diálogo sobre estos temas entre las autoridades regulatorias y personalidades de la industria de la construcción.

La apertura del país hacia los mercados internacionales hace conveniente confrontar ciertas realidades de las empresas nacionales en comparación con las extranjeras con las que ha de competir. Dentro de este análisis destaca el hecho de que de un modo u otro es frecuente que las grandes empresas de los países exportadores de tecnología en construcción tengan diferentes modos de subsidio velados que favorecen su competitividad internacional. Deberán analizarse cuidadosamente estos aspectos para dotar a la industria nacional de elementos que le permitan entrar a los mercados sin desventaja inicial.

- La educación del futuro ingeniero es, sin duda, un muy importante polo de interés en el momento que vive la Ingeniería Mexicana. Como se expresó al principio, la infraestructura educativa, la existencia de excelentes ingenieros, muchos de los cuales son profesores y otros están en posibilidades de serlo y el contar con una juventud sana y generalmente bien dotada, son elementos que permiten afrontar con optimismo el desarrollo de una actividad educativa sobre la que, además, se tiene buena experiencia. Ello no obstante, algunos aspectos se consideran dignos de comentario.

Debe reconocerse que en líneas generales la Ingeniería Civil no atrae muchos jóvenes inteligentes bien dotados para su ejercicio. Ello puede deberse a varias razones entre las que podría citarse el hecho de una enseñanza muy tecnológica, que induce a jóvenes con inclinaciones más teóricas a dirigirse hacia la Física y las Matemáticas; en segundo lugar, influye un decaimiento en el reconocimiento profesional y económico que ha tenido la Ingeniería, también debe influir en el gran desarrollo que en el mundo entero y en la sociedad mexicana en particular, han tenido las profesiones relacionadas con la gestión, el control y las disciplinas económicas, del tipo de la contabilidad, la administración y la propia economía, disciplinas que han alcanzado mejores calificaciones en nuestra sociedad en lo relativo a niveles salariales y aún reconocimiento público. Desgraciadamente no puede dejar de mencionarse en la falta del debido crecimiento del número de jóvenes que acceden a las escuelas de Ingeniería, el hecho de que, con razón o sin ella, la opinión pública sigue considerándola como la carrera más difícil que ofrece la educación universitaria.

Es obvio que el reconocimiento profesional no puede venir ni por decreto, ni por autoalabanza. Ha de emanar de los mismos ingenieros, de su trabajo y de su seria presencia pública. La sociedad respeta a quien bien y honestamente la sirve, pero naturalmente no tiene especial veneración por la Ingeniería en sí misma. La imagen de decoro, honestidad y elevación de objetivos que muestren los ingenieros individualmente, sus agrupaciones y sus colegios, tendrá mucho que ver con el poder ganar el reconocimiento público y de otros profesionales que sería deseable.

En un mercado regido en el fondo por las leyes de la oferta y la demanda deberá ser un motivo de la más seria preocupación de los formadores de ingenieros, dentro y fuera de las aulas, el que los salarios de los ingenieros jóvenes no sean tan atractivos como los de cualquiera otra profesión.

Los más experimentados educadores en la Ingeniería Mexicana señalan dos claras tendencias que convendría paliar. La primera, se refiere a la homogeneidad de la educación, en el sentido de que los estudiantes quedan sometidos a un sistema en el que todo está definido y que elimina la creatividad del alumno y no desarrolla su competitividad personal; no es preciso competir, basta con dejarse llevar y, si acaso hay algún elemento distintivo, se refiere a calificaciones y

promedios, que ponen en juego principalmente cuestiones de vanidad, pero desarrollan en mucho menor escala la competitividad creativa. La segunda tendencia desfavorable es la fuerte sobrecarga de material incluido en los programas, que literalmente impide una visión en profundidad y, a veces, cualquier tipo de visión; ello actúa contra la seriedad de la preparación, la credibilidad del centro universitario y produce efectos desmoralizantes en el alumno.

Otros aspectos que convendría estudiar corresponde a la gran disparidad que existe en los actuales programas, en el grado de dificultad de las diversas asignaturas y de los diversos campos. Aún dentro de un grado de dificultad que nunca es muy alto, no cabe duda de que en todas las universidades del país, incluyendo las del Distrito Federal, si un estudiante que aprobó sus asignaturas básicas elige un campo de especialización u otro, la demanda del trabajo que se le plantea puede ser muy diferente. Naturalmente el estudiante medio tiende a inclinarse hacia los campos más sencillos, independientemente de los intereses del país como quiera que todas las actividades ingenieriles representadas por los campos de especialización son realmente muy similares en cuanto a dificultad intrínseca, ha de concluirse que ese campo académico mucho más fácil, lo es porque se estudia más superficialmente o porque en él se imparten conocimientos puramente descriptivos. Los responsables de la educación de los ingenieros deben de pensar muy seriamente el por qué resulta más difícil estudiar Hidráulica, Geotecnia, Ingeniería Estructural o Ingeniería Sísmica que, por ejemplo, Tecnología de Construcción.

Algunas áreas muy importantes de la Ingeniería Civil están menos cuidadas que otras, sin plena concordancia con el interés nacional. A modo de ejemplo puede citarse el caso de la Ingeniería Portuaria e Ingeniería de Costas, de escasa difusión; hoy la hidráulica o la mecánica de suelos se enseñan como si el mar no fuera líquido o como si el dragado, la sedimentología marítima o muchas cimentaciones muy especiales no fueran muy importantes.

En muchas universidades del país y aún en las más antiguas y acreditadas, se presenta un cierto problema de escasez de profesores realmente capacitados. Este hecho obedece indudablemente a más de un causa. Por un lado, el afortunado crecimiento del número de jóvenes que acceden a la educación superior demanda más profesores; también, el declarado rezago que los salarios de los maestros universitarios ha sufrido actúa muy peligrosamente contra el número y la calidad de los componentes de ese grupo; en tercer lugar, se menciona una vez más una referencia clara al concepto de competitividad, pues no existe ningún mecanismo que permita distinguir a un buen profesor de otro peor o destacar a uno excepcional. Por lo menos en la práctica, los mecanismos de distinción van muy poco más lejos que la antigüedad (que en éste caso inclusive podría no ser un factor positivo). Todo esfuerzo que se haga para elevar la consideración social, el respeto profesional, el salario y para establecer mecanismos por las cuales un buen profesor pueda alcanzar jerarquías de

excelencia, sin necesidad de llegar a ser un símbolo de antigüedad, deben verse como uno de los más trascendentes a que todo ingeniero civil pueda sumarse, como uno de los más obligatorios para colegios y asociaciones. En estos aspectos no puede considerarse que becas esporádicas o gratificaciones emanantes de la institución puedan resolver el problema; antes bien, podrían complicarlo. En muchos lugares los profesores se integran en muy diversas categorías, con muy diversos salarios y se mueven de unos a otros por mecanismos claros de valor intrínseco, de ninguna manera ligados exclusivamente a grados académicos o a antigüedad.

La investigación nacional en el campo de la Ingeniería Civil no es como ya se mencionó, desdeñable y, a veces, es brillante y exitosa.

Lo anterior no excluye que haya áreas que convenga estimular y mecanismos para ulterior desarrollo que convenga perfeccionar. Este trabajo no trata de cubrir ese fundamental aspecto de la Ingeniería Civil, pero no puede dejar de señalarse aquí la relativa debilidad de la investigación que se realiza en el campo de la actividad constructiva, en comparación a otras áreas, ni la necesidad urgente y perentoria de definir mecanismos de financiamiento que incluyan la participación de otros sectores además del oficial y que tiendan a que los usuarios de los resultados de la investigación participen de los riesgos e incertidumbre de esa actividad, de la misma manera de que participen de sus éxitos.

IV. Algunos logros y actividades exitosas de la Ingeniería Civil Nacional.

Como se dijo, el desarrollo de la Ingeniería Civil Mexicana no ha sido, en cuanto a sus logros, totalmente parejo y hay Escuelas que sobresalen en relación a las otras. Entre éstos pueden citarse en lugar destacado la Escuela Mexicana de Mecánica de Suelos, la de Hidráulica y la de Ingeniería Sísmica; la conjunción de las tres ha producido en el área de la actividad resultados muy destacados a nivel internacional en el campo de la construcción de presas, especialmente de tierra, y en campo de las obras viales; ello independientemente de algunos logros importantes obtenidos por cada una de esas escuelas por separado.

Es sabido lo difícil que resulta en la Capital de la República la aplicación del arte de cimentar; autoridades mundiales han reconocido ese ambiente como uno de los menos propicios que sea dable encontrar en cualquier parte (Terzaghi y Peck, 1967). Frente a este reto, la ingeniería nacional ha sabido responder con creatividad y sistema. La determinación muy detallada de estos sedimentos lacustres ha sido motivo de extensos estudios, que hacen que esta determinada región sea quizá la más extensa y científicamente estudiada en todo el orbe (a modo de ejemplo; Marsal y Mazari, 1959; Reséndiz et. al., 1970; Jaime et. al., 1998). La problemática de la Ingeniería de Cimentaciones, de por sí compleja, debido a la alta compresibilidad y baja resistencia de los suelos, se agudiza por el hundimiento regional generalizado que sufre el Valle de México, a causa del intenso bombeo y la vulnerabilidad sísmica (Zeevaert, 1972; Auvinet y Mendoza,

1998; Seed et. al., 1998). Este panorama ha obligado al desarrollo original de muy diversos e ingeniosos sistemas de cimentación, que son ejemplos mundiales para obtener eficiencia y seguridad en el tratamiento de edificios altos (Zeevaert, 1957); se han ideado también sistemas de recimentación para edificios y monumentos históricos, que también han resultado altamente satisfactorios (González Flores, 1960). Son de particular significación algunas grandes obras realizadas rápida y eficientemente en los depósitos arcillosos de origen lacustre en la ciudad de México, tales como el Metro (Alberro, 1970; Revista de Ingeniería, 1969 y 1982) y el Sistema de Drenaje Profundo (D.D.F., 1975; TUSA, 1975).

Un campo en que la Ingeniería Geotérmica se une a las ingeniería hidráulica para obtener grandes éxitos en obras de gran importancia para el país (a título de ejemplo no exhaustivo), las presas de Infiernillo, la Villita, Malpaso y Chicoasén es el relativo a las presas de tierra y enrocamiento. La determinación experimental de la resistencia y deformabilidad del enrocamiento exigía el desarrollo propio de equipos de laboratorio muy complejos y de dimensiones no conocidas, que permitieran que el país adquiriera un indiscutible puesto de liderazgo en estos temas en el campo mundial. Los trabajos relativos contribuyeron poderosamente a cambiar la tecnología en uso en forma trascendental; de ser regla el construir los altos enrocamientos que requieren las presas modernas, con enormes bloques de roca sana, se pasó a una tecnología de fragmentos mucho más pequeños y de granulometría muy bien graduada; ello por razones de nuevos fenómenos descubiertos y analizados, tales como la ruptura de granos y los efectos de compresibilidad de grandes enrocamientos (Marsal y Ramírez de Arellano 1967; Marsal, 1969). Como consecuencia de todos esos trabajos, el Instituto de Ingeniería de la UNAM es frecuentemente consultado para la construcción de grandes presas en todo el mundo.

Comenzando también en la tecnología de presas, México desarrolló y desarrolla un importantísimo trabajo en el campo de la instrumentación de obras; de las grandes presas se pasó pronto a las obras viales y a obras de edificación (C.F.E. 1969; Wilson, 1973; Rico et. al., 1976). Como consecuencia de estos trabajos de campo y de otros estudios independientes, se realizaron importantes avances analítico-numéricos en el campo de la determinación de esfuerzos y deformaciones en masas térreas; merecen especial mención los análisis dinámicos relacionados con acciones sísmicas en presas grandes (Romo, Reséndiz y Moreno, 1982; C.F.E., 1981).

En suma, puede afirmarse que existe un Escuela Mexicana en el campo de las presas de tierra y enrocamiento, que ha realizado no sólo obras de vanguardia, sino contribuciones muy significativas a la tecnología y el conocimiento mundial (trabajos que en forma resumida justifican la afirmación anterior podrían ser: Marsal, 1973; S.R.H. 1976; Marsal y Reséndiz, 1975; S.R.H., C.F.E. e Instituto de Ingeniería de la UNAM, 1976).

En el campo de las obras viales se han realizado algunos trabajos de carácter pionero y repercusión importante tanto en la Ingeniería Nacional como en la Internacional. Deben mencionarse la amplia investigación realizada sobre propiedades de enrocamiento y mezclas de fragmentos de rocas y suelos (Marsal y Fuentes de la Rosa, 1975), que incluyeron desarrollo de pruebas de laboratorio novedosas, también útiles para dar seguimiento al comportamiento de grandes terraplenes y pedraplenes en las redes de carretera y ferroviaria (S.A.H.O.P. 1979). Destacan también los importantes trabajos realizados en los últimos años sobre propiedades de suelos compactados, muy relevantes para diseño y estudio del comportamiento de terracerías (Alberro et. al., 1985).

En el campo de la Ingeniería de Vías Terrestres ha habido aportes con influencia a nivel mundial (como resumen puede citarse Rico-Del Castillo y Sowers, 1988). También puede citarse la completa normatividad editada por la actual Secretaría de Comunicaciones y Transportes a partir de la década de los 50 (S.C.T., 1984), los nuevos métodos de diseño de pavimentos (Corro et. al., 1981), así como trabajos relacionados con diversos procedimientos constructivos de importancia (Rico-1982; Rico y Orozco, 1979). En el diseño de aeropistas sobre terrenos altamente compresibles y poco resistentes se produjo una importantísima tecnología que permitió resolver el problema de la Ciudad de México y que ha servido de modelo en otros aeropuertos del mundo (Aguirre et. al., 1967).

Muy de destacar son también los trabajos realizados por Levi, Maza, Sánchez Bribiesca y Cruickshank sobre hidráulica fluvial y socavación en cauces.

En el campo de la Ingeniería Sísmica, México ha tenido recientemente un desarrollo muy importante. Los nombres de E. Rosenblueth, L. Esteva, D. Reséndiz, Sánchez Sesma, R. Meli, J. Iglesias y otros muchos jóvenes elementos, en gran parte formados por los anteriores, son garantía de que la Escuela Mexicana de Ingeniería Sísmica que ya tiene una muy relevante significación nacional, proporcionará a la Ingeniería Nacional muchas satisfacciones y muchos conocimientos en los próximos años.

V. Algunas conclusiones posibles.

Algunas de las conclusiones principales que es posible obtener de todo lo anterior podrían ser:

- El país tiene en su Ingeniería Civil una herramienta apropiada para respaldar su futuro desarrollo. Independientemente de que tal disponibilidad no sea totalmente homogénea en las diversas especialidades, existe.

- Aún en los casos de mayor deficiencia profesional, existe una experiencia y una infraestructura educativas tales, que no sería difícil subsanar la problemática emanante en un tiempo razonable, si se adoptan las conductas adecuadas.

- Se reconoce la necesidad de modernizar criterios de proyecto, selección de materiales y de exigencia de calidad, para adecuarlos a las necesidades del México de hoy y del futuro próximo. Este criterio deberá jerarquizar debidamente el costo de hacer con el de conservar y operar.

- Se reconoce la necesidad de reforzar la competitividad interna y externa de la industria mexicana de la construcción, con vistas a prepararla para la recuperación económica y a las nuevas situaciones de mercado que se avizoran, dentro y fuera del país.

- Se reconoce la necesidad de mejorar la enseñanza de la Ingeniería Civil, en busca de estudiantes y egresados mejor preparados en lo básico y fundamental y mejor entrenados en el quehacer, antes que en jóvenes a quienes se pretenda hacer conocer todos los detalles de la profesión sólo de manera informativa.

- Debe fomentarse la competitividad personal en los ingenieros, sean proyectistas, constructores y, sobre todo, profesores e investigadores.

REFERENCIAS

Terzaghi, K. y Peck, R. B., Soil Mechanics in Engineering Practice, John Wiley, 2nd Ed, 1967.

Marsal, R. J. y Mazari M., “El subsuelo de la Ciudad de México”, Contribución de la Facultad de Ingeniería-UNAM al 1er Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, México D. F., 1959 (Reeditado en español e Inglés en 1969).

Reséndiz, D., Springall, G., Rodríguez, J. M. y Esquivel R., “Información Reciente sobre las Características del Subsuelo y la Práctica de la Ingeniería de Cimentaciones en la Ciudad de México”, Memorias de la 5ª Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, SMMS, 1970.

Jaime, A., Reséndiz, D. y Romo, M. P., “El subsuelo del Valle de México: Propiedades Dinámicas y Zonificación”, Revista Ingeniería, Fac. de Ingeniería, UNAM, Vol. LVIII, No. 2, junio 1988.

Zeevaert, L., Foundation Engineering for Difficult Subsoil Conditions, Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1972.

Auvinet, G. y Mendoza M. J., “Comportamiento de Diversos Tipos de Cimentación en la Zona Lacustre de la Ciudad de México durante el Sismo del 19 de Septiembre de 1985”, Memorias del Simposio “Los Sismos de 1985: Casos de Mecánica de Suelos”, SMMS, 1986

Seed, H. B., Romo M. P., Sun A., Jaime A. y Lysmer M., “The Mexico Earthquake

of September 19, 1985 – Relationships Between Soil Conditions and Earthquake Ground Motions", Earthquake Spectra, Vol. 4, No. 4, November 1988.

Zeevaert, L., "Foundation Design and Behaviour of Tower Latino-Americana in Mexico City", Geotechnique, Vol. 7, No. 3, 1957.

Gonzáles Flores, M., "Enderezado de Dos Edificios; un metro en el Caso Más Desfavorable", Memorias del 1er Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos y Cimentaciones, Vol. 1, México D. F., 1960.

Alberro, J., "Investigaciones sobre el Metropolitano de la Ciudad de México – Mediciones efectuadas en las Excavaciones", Revista Ingeniería, Fac. de Ingeniería, UNAM, julio-septiembre de 1970.

Números especiales dedicados al Sistema de Transporte Colectivo de la Ciudad de México, Revista Ingeniería, Octubre de 1969 y Enero de 1982.

DDF., Memorias de las Obras del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal, Publicación del DDF, Tres tomos 1975.

TUSA, Memoria Técnica de las obras del Drenaje Profundo del Distrito Federal, Publicación de Túnel S.A. de C.V. en dos tomos, 1975.

Marsal, R. J. y Ramírez de Arellano, L., "Performance of El Infiernillo Dam, 1963-1966", ASCE Journal Soil Mech, & Found Division, July, 1967, "Mechanical Properties of Rockfill and Gravel Materials. VII Congreso Internacional de Mecánica de Suelos, México, 1969.

C.F.E., "Experiencias en Proyectos Hidroeléctricos", Contribución de la Comisión Federal de Electricidad al VII Congreso Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, México, 1969 (Edición español-inglés).

Wilson, S. D., "Deformation of Earth and Rockfill Dams", Embankment-Dam Engineering, Casagrande Volume, Wiley Interscience, 1973.

Rico, A., Springall, G. y Mendoza, J. A. – "Investigation on Instability and Remedial Works in the Tijuana – Ensenada Highway – Geotechnique 26.4 – Londres, 1976.

Romo, M. P., Reséndiz, D. y Moreno, E., "El Infiernillo and La Villita Dams: Seismic Behavior", Journal of the Geotechnical engineering Division, ASCE, Vol. 108, No. GT1, Jan 1982, pp 109-132.

Comisión Federal de Electricidad, Comportamiento de las Presas El Infiernillo y la Villita, incluido el Temblor de Marzo 14 de 1979, Publicación No. 15, 1981 (Edición español – inglés).

Marsal, R. J., "Mechanical Properties of Rockfill", Embankment-Dam Engineering,

Casagrande Volumen Wiley-Interscience, 1973.

S.R.H., Presas Construidas en México, Contribución de la Secretaría de Recursos Hidráulicos al XII Congreso Internacional de Grandes Presas, México, D. F., 1976.

Marsal, R. J. y Reséndiz, D., Presas de Tierra y Enrocamiento, Editorial Limusa, México, D. F., 1974.

S.R.H., C.F.E. e II-UNAM, Comportamiento de Presas Construidas en México, Contribución al XII Congreso Internacional de Grandes Presas, 1976 (Edición español – inglés).

Marsal, R. J. y Fuentes de la Rosa, A., "Enrocamiento Contaminados por Suelos", Informe del Instituto de Ingeniería, UNAM a la Secretaría de Obras Públicas, 1975.

S.A.H.O.P., "Behavior of Contamined Rockfills for Roads", Mexican Report to Theme 2, 2nd Part, XVI World Road Congress, Viena 1979.

Alberro, J. Marsal, R. J. y Mendoza, M. J., "Comportamiento de Suelos Cohesivos Compactados", Series del Instituto de Ingeniería No. 493, 1985.

Rico, A., del Castillo, H. y Sowers, G. F. "Soil Mechanics in Highway Engineering". Trans-Tech Publication, 1988.

S.C.T., Normas para Construcción e Instalaciones, Carreteras y Aeropuertos, Publicación de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes", 1984.

Corro, S., Magallanes, R. y Prado, G., "Instructivo para Diseño Estructural de Pavimentos Flexibles para Carreteras", Series del Instituto de Ingeniería No. 444, Nov. 1981.

Aguirre, L. M., Sánchez, D. y Zárate, M., "Performance Studies of the Mexico City International Airport", II International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, U. of Michigan, Ann Arbor, 1967.

Rico, A. y Orozco, J. M., "Comportamiento Mecánico de Algunos Suelos Compactados por Cuatro Métodos, Incluyendo Vibración", Memorias del 6º Congreso Panamericano de Mec. de Suelos e Ing. De Cimentaciones, Vol. I, Lima-Perú, 1979.

Rico, A., "Fissuration Longitudinal des Chaussées" Revista Francesa de Geotecnia No. 19, París, 1982

Bazán, E. y Meli, R., "Manuel de diseño sísmico de edificios", Editorial Limusa 1986.

Esteva, L., "Seismicity", Cap. 6 de Seismic Risk and Engineering Decisions,

editado, por C. Lomnitz y E. Rosenblueth, Elsevier 1980.

Esteva, L., “Design: General”, Cap. 3 de Design of Earthquake Resistant Structures, editado por E. Rosenblueth, Pentech Press 1980.

Esteva, L., “Earthquake Engineering Research and Practice in Mexico after de 1985 Earthquake”, Bull. Of New Zealand National Society for Earthquake Engineering, 20, 3 Septiembre 1987.

Faccioli, E. y Reséndiz, D., “Soil Dynamics: Behavior Including Liquefaction”, Cap. 4 de Seismic Risk and Engineering Decisions, editado por C. Lomnitz y E. Rosenblueth, Elsevier 1976.

Newmark, N. M. y Rosenblueth, E., “Fundamentals of Earthquake Engineering”, Prentice Hall 1971.

Rosenblueth, E., Ruiz, S. E. y Thiel, c.c., editores, “The Michoacan Earthquake”, Volumen especial con trabajos de diversos autores, publicados en la revista Earthquake Spectra 1989.

8 COMENTARIOS EN CONGRESOS

CONCLUSIONES DE LA REUNIÓN Y PERSPECTIVAS AL FUTURO (XIII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos)**

Alfonso Rico Rodríguez y Hector Bonilla Cuevas (reportero)

Alfonso Rico: Buenas tardes, muchas gracias.

Yo quisiera que esta sesión tuviera una mecánica sensiblemente, en estos términos: primero, le pediría a cada uno de los presidentes de sesión que durante un lapso de tiempo muy corto, que en ningún caso pasará de 5 minutos, nos hiciera una pequeña semblanza de su sesión tal como él la vio, destacando algunas de las conclusiones que él considere que puedan ser más importantes; después de eso, me tomaría un ratito para dar las mías, que también se me ha pedido que lo haga, lo cual sería cuestión de 5 ó 10 minutos y después de eso quisiera ver si logro canalizar un poco las inquietudes más importantes que he detectado entre ustedes y propondría algunos temas para discusión por parte de los Presidentes; si a mí se me agota la inventiva o si llego a proponer algún tema que no sea relevante, aceptaría con mucho gusto, sugestiones de la sala para algún otro punto. Le cedería, en primer lugar, la palabra al Ing. Alberro, para ese primer resumen de escarceo, así, muy breve, de cuál sea su impresión sobre su propia sesión y cuáles podrían ser las conclusiones más importantes que él extrae de la misma.

Jesús Alberro

La sesión se dividió en 2 partes, una primera en donde no se pretendió extraer opiniones personales sino dar un retrato de la forma de operar actual en caminos, aeropuertos y vías férreas y la segunda parte fue la discusión; en esa discusión fueron esencialmente 3 los temas que se debatieron: en el 1º fue la famosa prueba CBR o valor relativo de soporte. Creo que se externaron muchas dudas sobre la validez de esa prueba, su repetitividad, la sensibilidad de esa prueba para ser discriminatoria, su validez como índice de resistencia al cortante. Una conclusión, que no creo que sea muy novedosa, pero que vale la pena volver a repetir, es que quizá valdría la pena emprender por lo menos una acción en paralelo para que junto con las pruebas de CBR, que por tradición o por convencimiento se siguen utilizando, se empezaran a utilizar otras pruebas de medición de resistencia al cortante, por ejemplo, pruebas de compresión simple, para ver si con el tiempo se logra un convencimiento de algunas gentes que están en la profesión. El 2do. tema de discusión fue la validez de las normas en cuanto a granulometrías aceptables; se mencionó que se aceptan en terraplenes

**Conclusiones de la reunión y perspectivas a futuro. XIII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos. Mazatlán, 1986.

fragmentos hasta de 2 m de tamaño y en algunos casos parece que se procede utilizando esa linearidad de la norma llegando a metro y medio. Hay casos en que se han mencionado en que sí lo llegan a utilizar y definitivamente yo creo que eso está mal; ese tamaño es excesivo, tanto por problemas de compresibilidad, como problemas que plantea la compactación de esos materiales, como por problemas de rotura de partículas; en fin, que el llegar a 2 m en tamaño de enrocamiento es excesivo, quizá valdría la pena revisar la norma y revisar la práctica profesional al respecto para ser más limitativo en ese sentido. Y finalmente, el tercer tema fue el de los "métodos de compactación representativos" de las condiciones de campo. Se mencionó que los tres procedimientos de compactación dan resultados diferentes; los 3 métodos de compactación, repitiendo, el estático-Proctor, el dinámico-impactos-Proctor y el de amasado, sea con la prueba de Hveem, sea con la prueba Harvard, dan resultados diferentes aun cuando se tiene el mismo peso volumétrico y el mismo contenido de agua. 1ra. Reflexión: parece sorprendente que no se fije el contenido de agua en las normas de compactación, sino esencialmente el peso volumétrico seco, y la 2da. Recomendación sería que quizá antes de emprender en el laboratorio las pruebas correspondientes para que sirvan de marco de referencia, el encargado de mecánica de suelos sepa o intuya o discuta para saber cuáles son los equipos disponibles que se van a tratar de utilizar en la obra o cuáles son los equipos requeridos para ese tipo de material, para poder después tomar en el laboratorio la prueba que sea más representativa de lo que efectivamente va a resultar en el campo, sea amasado, sea prueba Proctor. Para mi esas son las conclusiones esenciales de la 1ra. sesión.

Juan M. Orozco

En la sesión No. 2 en primer término se presentaron resultados experimentales del comportamiento de pedraplenes. Perdón, en 1er. término se trató el tema de socavación, creo que para resumir mucho, se habló de las limitaciones tanto en la génesis de la ecuación o de la fórmula propuesta por Lebediev, sus restricciones en su aplicabilidad a casos reales, se discutió cuidadosamente o creo yo bastante a fondo la superposición de la socavación general del cauce, local en el cruce y en mi opinión faltó discutir un poco más, pero se nos acabó el tiempo, el efecto de las turbulencias generadas alrededor de los elementos que se introducen en el cauce para apoyo de los puentes. En segundo término se trató el tema de los pedraplenes, se presentaron 2 casos instrumentados de terraplenes en 2 rocas esencialmente distintas; en un caso una caliza y en otro caso una andesita. Se destacó que en los 2 casos se trataba de pedraplenes contaminados, según el criterio del profesor Marsal; se destacó la falta de acomodo de sus materiales debido a la presencia de grandes bloques; en alguna de las transparencias vimos bloques hasta de 2 m; se destacó la deformación que ocurre en esos pedraplenes con las primeras lluvias y cómo éstas continúan con ciclos de lluvias posteriores y al final también se hizo notar el incremento de cargas sobre las estructuras rígidas colocadas dentro de esos pedraplenes. Ya en la etapa de discusión se amplió la información de parte de Manuel Mendoza haciendo alguna síntesis de

recomendaciones para futuros trabajos. Y finalmente Miguel Barousse presentó un análisis numérico de un caso cuidadosamente estudiado en modelo de elementos finitos para definir cuantitativamente el efecto que se podría esperar de la inclusión de un relleno no compactado sobre una estructura rígida con el objeto de disminuir las cargas que sobre esa estructura actuarían, se destacó que no es una idea nueva, sino que se trata simplemente de un caso particular que se analiza numéricamente; es una idea antigua, el efecto conocido por todos como efecto de arqueo. En esta parte se mostró cómo el modelo respondía al efecto de una mayor rigidez en los rellenos laterales de las bóvedas y una falta de rigidez en el relleno sobre las bóvedas, haciendo disminuir los esfuerzos verticales y consecuentemente al redistribuir los esfuerzos de los lados haciendo crecer los esfuerzos laterales, lo cual se concluye que lleva a una condición de esfuerzos o solicitaciones sobre las estructuras más homogéneas y, por lo tanto, más difícil de resolver estructuralmente. Creo que con esto queda así puntualizado los aspectos más importantes que se trataron durante esta sesión.

Luis Miguel Aguirre Menchaca

Yo podría tratar de resumir lo que aconteció en mi sesión en 3 puntos. El 1ro. de ellos se refiere a la consideración de que las superestructuras de las obras viales son hasta cierto punto sui generis en varios aspectos con respecto a otro tipo de obras que proyecta o construye el ingeniero. Por una parte son estructuras sujetas a un deterioro progresivo que se inicia desde que son puestas en servicio; por consiguiente, no solamente deben ser bien proyectadas sino también construidas adecuadamente y conservadas con el objeto de poder, de esa manera, además de preservar la inversión, tener una política de economía en la operación de este tipo de obras. Otro aspecto que también la hace sui generis es que la posibilidad o eventualidad de falla por colapso en estas estructuras no tiene las consecuencias que puede tener otro tipo de estructuras, o sea que aquí no hay pérdidas de vida humana porque un pavimento falle; no ocurre como en el caso de un puente o de una presa, etc. Entonces, normalmente ese cuidado, vigilar la seguridad, relaja un poco al diseñador no debiendo hacerlo, puesto que sí tiene una gran incidencia en el aspecto de economía y funcionalidad. 2do. punto. Los factores que afectan el comportamiento de los pavimentos son realmente muy complejos. Se trata de acciones producidas por la intemperie, muy difíciles de evaluar, de tránsitos, acciones dinámicas, esfuerzos repetidos. El comportamiento de los materiales en condiciones estáticas ya es complicado, pero si añadimos el efecto repetición de un tránsito mezclado, esfuerzos en movimiento, etc, etc, necesariamente tenemos que reconocer que se trata de un problema muy complejo, que a veces nos empeñamos en manejar con mucha sencillez y eso no es posible. 3er. punto. El diseño de un pavimento es algo más o mucho más que dimensionar una serie de capitas que en el caso de los pavimentos flexibles puede ser la carpeta, la base y la subbase, darles espesores y con eso concluir un proyecto. El proyecto tiene y cubre muchos aspectos importantes; empieza desde la selección de los materiales, el establecimiento de las fuentes de abastecimiento, las características

que deben cumplir. No olvidemos que siempre en este caso el ingeniero tiene que tratar con los materiales locales que tiene más a la mano, puede idealizar todas las propiedades y extraer y traer materiales de distancias excesivamente largas, y, por consiguiente, eso forma parte del proyecto. La construcción también debe estar íntimamente ligada con el proyecto. En muchas ocasiones quien construye tiene la obligación de conocer las premisas con las cuales el diseño fue realizado y en muchas ocasiones, durante la construcción, debería ser más la regla que la excepción que el proyecto sufra modificaciones y ajustes a la luz de la realidad que se enfrenta en la práctica. Los aspectos de mantenimiento son sumamente importantes y también deberían estar visualizados desde el proyecto. Los aspectos económicos. Se diría que en muchas ocasiones el diseñar un pavimento con unos cuantos cms más o menos no tiene mucha importancia; sin embargo, la tiene y grande porque el multiplicador realmente es alto y puede caerse en aspectos anti-económicos muy importantes. Por consiguiente, la parte propiamente de diseño, de construcción y de conservación deben formar un trípode que debe estar vinculado. La parte de conservación es sumamente importante y debe a su vez mantener o alimentar al diseñador y todo debe estar formado en una comunicación debidamente vinculada. En cuanto a los métodos de diseño se expresó que existe una variedad grande, todos ellos con más o menos virtudes, unos más simples, otros más sofisticados y si hubiese algo de tiempo podría ya más adelante desarrollar algunos puntos de vista sobre este particular.

Sergio Ruelas

La cuarta sesión que he titulado la Geotecnia en la infraestructura de las obras viales, básicamente se dividió en 3 aspectos fundamentales. Uno era la investigación, otro eran algunos comentarios sobre la práctica profesional de la Geotecnia y otro fueron fundamentalmente casos medidos, casos históricos, mediciones sobre algunas de las obras viales urbanas. En el primer caso, el caso de la investigación, sabemos que actualmente la ejecución de obras en túneles va adquiriendo mayor demanda, tanto para obras foráneas como para obras urbanas, especialmente en las ciudades con un gran crecimiento como lo son la ciudad de México, la ciudad de Guadalajara y en un futuro no muy lejano la ciudad de Monterrey y Guanajuato. Todos nosotros conocemos que los orígenes de nuestra ciudad capital son de la época colonial, por lo tanto aunque el subsuelo es diferente, las trazas de las calles nos presentan unas latitudes sumamente pequeñas, calles angostas, las cuales dificultan la ejecución de este tipo de obras por los hundimientos que causan y aquí aunque hay un avance sumamente impresionante en las herramientas que nos sirven para construir túneles, es de fundamental importancia con el objeto de tomar medidas preventivas, el contar con alguna herramienta, algunos estudios de cualquier índole, práctico, experimental, con modelos, para poder obtener los hundimientos que fundamentalmente es lo que va a afectar la estabilidad de las construcciones vecinas. Una parte de la sesión fue presentar, claro que para un tipo de suelo muy

especial, la herramienta que nos permite medir cuales son los desplazamientos verticales fundamentalmente, lo que nos preocupa mucho en la ejecución de obras subterráneas. En el caso de la práctica profesional Jorge Albarrán trató de cubrir en esencia la importancia de la calidad geotécnica. Todos nosotros sabemos que los clientes, en el caso de las obras particulares, siempre han tenido tendencia a disminuir en la inversión de los estudios geotécnicos ¿Por qué? Porque la cimentación es una parte de la estructura muy importante, pero que no se ve, por lo tanto, el cliente, el dueño de la obra tiene menor disponibilidad para invertir y el no tener la información mínima necesaria de la calidad congruente con la obra, hace en un momento dado hacer obras incosteables por un lado o en un momento dado obras propicias para que se vengan abajo. Rápidamente yo quiero pensar, por ejemplo, que el costo actual de las máquinas perforadoras está en el orden de los 50 millones de pesos. ¿Cuántas compañías están ahora disponibles con ese equipo para hacer perforaciones y cuántas más se van abrir para poder ejecutar estudios geotécnicos?; puesto que hay que pensar que para poder amortizar el costo de este equipo, debe de estar trabajando. ¿Podremos emplear este equipo lo suficiente como para amortizarlo?. De ahí que nosotros debemos de pensar en utilizar todos los tipos de herramientas que actualmente disponemos para poder muestrear el suelo y conocer sus propiedades, tanto índices como mecánicas. Eso es la 2da. parte. Posteriormente, en la parte final, hablamos de unos casos históricos de mediciones. Esos realmente son simples y sencillamente de la causa y, finalmente, creo yo que de los aspectos más importantes son, sobre todo para los casos de suelos compresibles, el aligeramiento de las superestructuras para lo que todos ustedes lo vieron, el uso del poliestireno es sumamente amplio.

Alfonso Rico Rodríguez

Yo quisiera hacer notar que los 20 minutos que hablamos se convirtieron en casi 40. Es importante que lo tomen en cuenta y tratemos de ser muy breves. Yo quisiera poner a discusión 2 cosas para empezar: 1ro. Qué es el CBR y cómo puede fundamentar un método de diseño de pavimentos y que otros métodos de pavimentos hay y si los hay mejores o no. 2do. punto: En compactación y prueba de compactación, porque una prueba es representativa, por qué no, porqué se habla de representatividad. Quisiera hacer un llamado a los presidentes para que hablen sobre todo para la gente joven y la gente que pueda aprovechar y no que se hable para quien me pueda juzgar, para quien sabe más que yo, porque a quien sabe más, no hay nada que decirle.

Quisiera empezar a decir algo sobre el CBR. Para centrar un poco la discusión nada más y de los otros métodos de pavimentos. Para mí toda la discusión que hubo hoy en la mañana y ayer está descentrada un poquito, descentrada porque no se pesca con claridad cómo andan las cosas o lo que las cosas significan. En este mundo hay problemas que se pueden resolver en forma teórica, el ejemplo clásico y típico es la ley de la gravitación de Newton.

¿Eso que quería decir? Eso quiere decir que un señor sentado en un vagón de ferrocarril saca un papel y un lápiz en un viaje entre la ciudad de Hagen y la ciudad de Maguncia y se pone a echar cálculos y llegando a Maguncia le habla a un amigo y le dice, mira la noche del 27 de agosto por favor dirige tu telescopio hacia tal parte y vas a descubrir un nuevo planeta, porque el señor era un astrónomo teórico y su amigo un astrónomo observacional; el señor, la noche del 27 de agosto, echa el telescopio a volar, lo pone en las coordenadas exactas que se le dijo y descubre un nuevo planeta. A esto se le llama una teoría, teorías de esas en ingeniería, señores, son pocas y los dedos de una mano sobran.

Para resolver los problemas los ingenieros no tenemos ese tipo de herramientas, o porque nuestros problemas no se han prestado para ello o porque no hemos sido capaces de tenerlas, pero no las tenemos. No tenemos herramientas teóricas tan poderosas o nos falta un Newton, como ustedes quieran verlo; entonces tenemos que resolver los problemas, con soluciones técnicas y de arte.

En ciencia hay otro sistema para hacer las cosas, que es el siguiente: a un señor le sube la temperatura y al médico le interesa porque él sabe que si le sube la temperatura es porque este señor está enfermo. Entonces el médico quiere medir la temperatura, pero el médico en el momento que se planteó el problema (esto ya no es cierto hoy), no tenía la más remota idea de cómo se medía una temperatura, ni de lo que fuera una temperatura, ni el físico tampoco. Entonces el físico encontró una correlación entre cómo se mueve una barrita de mercurio dentro de una cosa y el aumento de la temperatura y esa correlación resultó segura y se pudo construir un termómetro.

El termómetro no mide la temperatura de un señor, el termómetro mide cómo cambia de longitud una barrita de mercurio. Lo que pasa es que después hay una ecuación física que dice cómo cambia la longitud de una barrita de mercurio cuando cambia la temperatura. Correlaciona el aumento de longitud de la barrita con el cambio de temperatura, y si conozco lo que cambia la longitud de la barrita puedo saber cuánto cambió la temperatura. Pasaron 80, 90 o 100 años después de eso para que un laboratorio ultramoderno de física con base en mediciones de otro estilo, pueda medir que si los átomos se mueven más aprisa o más despacio y si la temperatura es más grande o más chica. Sin embargo, cuando todavía no se sabía lo que era la temperatura o no se tenía idea de lo que era un átomo, la gente ya medía la temperatura con un termómetro en la boca del enfermo. A eso es a lo que se le llama medir por correlación, es decir, cuando se tiene una cantidad que es muy difícil de medir y no se sabe medir, se busca una cantidad que sea muy fácil de medir, cuya correlación con la cantidad difícil sea conocida; entonces midiendo la cantidad fácil, conocida la correlación, se saca la difícil. Esto es el CBR señores. Es una prueba en donde usted encaja una cosa en el suelo, eso no tiene nada que ver con un pavimento, pero ahí hubo quienes creyeron en algún momento que había una correlación muy segura con cómo se comportaba un suelo en un pavimento. Ahí no se puede hablar ni de resistencia, ni de

deformabilidad, sino comportamiento en términos generales de un suelo o pavimento y penetración de la aguja en el suelo. Si esa correlación fuera excelente, entonces se mide el CBR, se va a la correlación y se saca el comportamiento del suelo en el pavimento; si esa correlación es mala, se profetiza un comportamiento del suelo en el pavimento que no es el correcto. Este es el problema que plantea el CBR, la correlación no es buena. Ahora, viene una cosa que es donde yo ya no entiendo. Cambien de prueba, usen la prueba triaxial ¿no se dan cuenta que es el mismo problema? Una prueba triaxial tampoco hace trabajar al suelo como trabaja un pavimento. El suelo en un pavimento trabaja de un modo que incidentalmente no conozco. El problema de los pavimentos no está resuelto.

Esta es otra cosa que yo quisiera que ustedes tomaran en cuenta a la hora de discutir; conocida la secuencia de capas de un pavimento y las cargas y los efectos ambientales y todo esto, nadie ha podido encontrar una teoría, una ecuación que diga cuáles son los esfuerzos y deformaciones. Ese problema no está resuelto.

De ahí vienen todas las incertidumbres y todas las discusiones, en el fondo. Se tiene una prueba triaxial Hveem Texas, triaxial convencional, o la que sea. En ella se hace trabajar al suelo de una manera, que no es la misma manera en la que el suelo trabaja en un pavimento; independientemente de que no sé exactamente cómo el suelo trabaja en un pavimento, sé que no trabaja exactamente como una cámara triaxial de laboratorio. Aquí hay un puente de correlación también. Si yo encontrara una correlación exacta entre el comportamiento del suelo en la cámara y el comportamiento en el pavimento, la cámara sería un método indirecto de medida adecuado. Después de eso viene el otro, y el otro, y el otro método y después viene la ingeniería de sistemas que es aparentemente el arte de poner en forma ordenada, pero no siempre clara, lo mismo que decían nuestros abuelos. Sobre esta base yo quisiera entonces decir que un mecánico de suelos prefiere un método de diseño que se base en una prueba triaxial porque lleva 20 años trabajando con la cámara triaxial y ha desarrollado una sensibilidad personal al comportamiento de los suelos en la cámara y a los resultados de las pruebas. Hay que tener en cuenta que los ingenieros de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes no tienen en promedio esa misma sensibilidad. Entonces, la cámara triaxial para ellos, no es lo mismo que para el mecánico de suelos. Pero en cambio la SCT viene manejando la prueba de VRS desde hace 30 o 40 o 50 años y una serie de ingenieros de la SCT han desarrollado cierta sensibilidad personal a la comparación entre los resultados de la prueba VRS y el comportamiento de un pavimento en el campo. Entonces, hay ingenieros en la Secretaría que dicen si se hace la prueba de VRS y da tal resultado, eso significa que este suelo en base sirve para esto y aquello, en la sub-base no. En cambio, si usted a ese señor le dice ángulo de fricción interno tanto, cohesión tanto, entonces ese señor le dice a usted poco, porque no es mecánico de suelos y no ha hecho pruebas triaxiales. Hay muchas cosas que se pueden hacer para tratar de correlacionar el resultado

de una prueba X y el comportamiento de un pavimento en el campo, que repito, es un comportamiento desconocido, no resuelto, etc. Siempre es un problema de correlación, un problema como el del médico y el mercurio. El médico y la columna de mercurio funcionan porque hay una buena correlación física muy buena; pero los físicos otras muchas veces no tienen correlaciones tan buenas y pasan los mismos apuros que nosotros.

Jesús Alberro

Siento que hay una serie de cosas que no entiendo en el razonamiento del Ing. Rico. La primera es, si se trata de afirmar que lo importante es dejar las ideas claras, sobre todo para los jóvenes, creo que una de las formas en que eso no se logra es precisamente dejar a la intuición, a la experiencia de los individuos y a la sensibilidad personal artística, los problemas ingenieriles. Esta es una primera afirmación mía. Segunda. Dice usted que no hay teoría respecto al CBR y que respecto a ciertos problemas de ingeniería, hay pocas teorías, pero las hay. La prueba CBR es sencillamente una prueba de penetración y desde hace 20 años hay gente como Gibson, como Vesic, etc, etc., que han analizado teóricamente lo que es una prueba de penetración tomando en cuenta, por ejemplo, el problema de identación que es el mismo de pilotes que penetra en el suelo, y se ha llegado a una serie de conclusiones que son las siguientes: el resultado de una prueba de penetración es una carga y esa carga está influenciada por un factor de capacidad de carga Nc, por un factor de capacidad de carga Nq, por un factor de capacidad de carga $N\gamma$, por una deformabilidad del material o sea, pensando en términos de elasticidad, por una E y por una resistencia cortante del material. Todos esos parámetros que están estudiados y hay varios artículos al respecto, hacen que en mi opinión, dejando de lado lo de la presión de poro, ese índice no sea representativo y en eso coincidimos, para materiales finos y no sólo no sea representativo sino que está mezclando muchas de las características de un suelo cuando de hecho, tengo entendido que en la práctica, todos los carreteros relacionan el CBR intuitivamente con la resistencia, no con la deformabilidad, ni con el comportamiento global del pavimento. Si se trata de resistencia entonces empecemos a hablar de resistencia y de la resistencia establecida como una sencilla prueba de compresión simple que da la resistencia al corte, no da una mezcolanza de mil parámetros diferentes.

Yo si estoy convencido que la mejor manera de formarse, la mejor manera de aprender, es ver parámetro por parámetro. Si se está buscando resistencia al cortante, pues vamos a ver que es la resistencia al cortante; si se quiere tener un parámetro que no sabe uno porque funciona, pero si funciona, bueno es admisible de utilizarlo, pero si además no funciona y creo que no funciona, no debe usarse. Si queremos no resistencia al cortante, sino deformabilidad, muy bien, en otros países lo han hecho, han hecho las pruebas de placa para caminos y hay todo un sistema de desarrollo de la teoría de pavimentos con pruebas de placa, en donde la prueba de placa no da resistencia, ni una mezcolanza rara, da deformabilidad

del material. Vayamos separando los parámetros, creo que científicamente es lo primero que hay que hacer; uno no analiza de repente un problema en donde mil parámetros diferentes están involucrados, uno tiene que ir seriando, uno tiene que ir discriminando y diciendo si me interesa esto voy a esto, si me interesa otro voy a lo otro. Yo definitivamente sí creo que si los carreteros están preocupados por la resistencia al cortante, pues vayan a la resistencia al cortante no al CBR, para materiales finos, para materiales gruesos creo que todo esto no tiene mayor importancia.

Alfonso Rico Rodríguez

Diría brevemente, antes de ceder la palabra a otro comentarista, que me parece que el anterior es obviamente el punto de vista lógico, que además yo comparto, de un investigador. En segundo lugar, yo quisiera también felicitar a Alberro por la extraordinaria habilidad con la que logró hacerme ver como un defensor de la prueba CBR, la cual, por otra parte, tengo veintitantos o 30 años tratando de criticar.

Lo que parece prudente es que las cosas se discutan en su lugar. Subsiste el punto esencial; es decir, que con cualquier índice que se obtenga, sea el que sea, hay un problema de correlación de medición indirecta, con el comportamiento de pavimentos o sea con el comportamiento de suelos en general y creo que así es como hay que ver la cosa. En lo que sí hay que tener cuidado es en que antes de que una institución de trabajo, cambie su metodología establecida durante muchos años, y fundada en una correlación de carácter experimental de su gente con las cosas, se asegure que la herramienta que sustituya sea adecuada y ofrezca ventajas. Todas las instituciones de trabajo que diseñen pavimentos en México utilizan todos estos procedimientos en paralelo que Alberro ha mencionado; todos. La triaxial de Texas y de Hveem tienen en México una larguísima y amplísima trayectoria; placas, etc. las usamos todo lo que se puede. En fin, todo esto está bien, pero aquí estamos discutiendo métodos de diseño buenos o malos, algo así, como este es malo, a ver cuál es el bueno. El mensaje que yo quiero decir es que si este es malo, no conozco el bueno.

Luis Miguel Aguirre Menchaca

Bueno, uno de los aspectos que yo quisiera aquí discutir es esto: tal parece que toda la problemática de los pavimentos radica en escoger la prueba con la cual nos diga cómo vamos a hacer un pavimento. Yo creo que a partir de allí se está iniciando muy mal el planteamiento. Yo he dicho que los pavimentos, y todo el mundo lo sabemos, son problemas sumamente complejos. La prueba de CBR para poder referirme a algo de eso, es una prueba sencilla, burda si se quiere, que ha sido útil y tan ha sido útil que fue la primera prueba en la metodología de los pavimentos que hace cincuenta y tantos años que se desarrolló y con ella se ha seguido trabajando, se dice que en el 70, 80 y 90% de los países. Pero no en los países subdesarrollados, no en México, digo en Road Research Laboratory en

Inglaterra que no sé si todavía la tenga, pero hace muy poquito tiempo la venía usando. El Cuerpo de Ingenieros, para diseñar sus aeródromos, definitivamente la está usando, etc, etc. Bueno, es una prueba burda, no ofrece unas grandes posibilidades de correlación, pero es útil. Los ingenieros no podemos esperar que la ciencia progrese para construir las obras; todo es perfectible, nosotros no podemos decir yo no hago un pavimento porque todos los métodos son muy malos, entonces voy a esperar a que los investigadores desarrollen y cuando tengan un buen método entonces vamos a hacer pavimentos. Nosotros vamos a hacer pavimentos como podamos y así hacemos todas las obras y todo va avanzando y todo va en paralelo, mientras que las cosas se mejoren, las cosas se van desarrollando y nos vamos nutriendo de los investigadores y vamos saliendo adelante. Bueno ese es un punto. El otro punto es el siguiente, todos los métodos de diseño que existen, unos más unos menos, toman en cuenta algunos de los factores por los cuales pueden defenderse de los deterioros posibles, es decir, de las causas que puedan producir un deterioro. Un método de diseño se tiene que poner a guardia de que tales tipos de deterioros no ocurran, pero no hay un método, yo creo que nunca lo vamos a llegar a tener, que nos sirva para cubrir todas las posibilidades. Esto es como pensar que a la hora de diseñar un talud tengamos una tablita donde diga cuál va a ser la inclinación del talud. Nosotros sabemos muchas posibilidades de falla, que si es con el pie de talud, que si es por el fondo, y allí andamos buscándole por todos lados; que si hay problemas de subdrenaje, que si no hay y todo eso, entonces no hay un método que directamente, con un solo enfoque, pueda darnos una solución a todo el problema. Creo que el revisar esta tablita no nos vendría mal para esta discusión. En forma resumida, en esta tablita se establece cuáles son las posibles causas de falla de un pavimento y se simplifican en tres categorías. La primera de ellas son los agrietamientos o fracturas; la que sigue, deformaciones o distorsiones y finalmente, desintegración. Por esas tres razones un pavimento se deterioras se perjudica o falla. Díganme ustedes qué puede tener o qué tiene que ver la prueba de CBR para que un pavimento se desintegre o no se desintegre. Podemos correlacionar que una carpeta se nos desintegre o no porque el CBR es así o es asá, porque hay presiones de poro o no hay presiones de poro. Ahora ven ustedes que las causas son de dos tipos: una de ellas son las cargas, pero no son las únicas; las otras son los factores de tipo ambiental; entonces un pavimento puede fallar sin que el tránsito pase por él y muchas ocasiones hemos visto pavimentos fallar antes de que inauguraran; ahí sale sobrando el CBR y las triaxiales y todas las cosas. Hay una gama de posibilidades para un pavimento. Normalmente hay métodos de diseño que tratan de tomar en mejor manera una o varias de las causas de falla, pero no toman todas; hay un pavimento magnífico y sin embargo la subestructura, la del terraplén, fue mal construido, se deformó, se asentó y el mejor pavimento del mundo se estropeó. ¿Por qué? Porque el terraplén se asentó. Mayormente, si tengo yo experiencia con un método y está desarrollado dentro del ámbito de la experiencia propia, que bueno; luego habrá que revisar todos los aspectos que me puedan hacer posible que ese pavimento no se comporte bien y de esa manera ver cómo puedo resolverlo. Yo creo que de hecho esa es la técnica

y esa es la orientación que hoy en día se viene dando. En la Universidad de California han llegado a desarrollar avances muy grandes en relación con el comportamiento de las distintas capas de un pavimento bajo efectos repetidos; las teorías de multicapa se pueden hoy en día manejar con bastante facilidad gracias a las computadoras, hay forma y se han hecho avances importantes de que bajo un método de diseño base, cuando se identifican o detectan determinados tipos de problemas, pueden ser analizados con bases teóricas, aunque no sean rigurosamente cualitativas sí sirven de orientación para mejorar un diseño basado en esa metodología que se ha desarrollado notablemente. Ese es el método que le llaman de bloques. Establecer una serie de modos de falla, hacer los planteamientos teóricos, hacer estudios experimentales de laboratorio y crear una metodología. ¿A qué nos lleva? A que si queremos mejorar las técnicas de diseño, yo diría lo siguiente: eso rebasa la labor individual de un ingeniero; es decir, tenemos que crear auténticos departamentos de diseño que tengan y adquieran familiaridad con toda la problemática y ellos pueden alimentar de una manera sencilla a los ingenieros que realmente están en la trinchera y que necesitan de metodologías para poder resolver este tipo de problemas. Esa es mi opinión.

Alfonso Rico Rodríguez

Muchas gracias. El Ing. Orozco quería hacer un comentario general y después pidió la palabra Alberro.

Juan M. Orozco

Si fueran tan amables de prender la luz. En primer lugar yo me preguntaría del ejemplo que planteó el Ing. Rico, qué les hubiera pasado a los médicos si hubieran tratado de establecer una correlación entre la longitud de la barra de mercurio y el estado de salud de individuo, en vez nada más tratar de medir la temperatura? (Alfonso Rico: hubieran fracasado indudablemente). Obviamente. Creo que entonces esa es la causa fundamental por la cual es imposible correlacionar el VRS con el comportamiento de un pavimento; en el comportamiento de un pavimento intervienen, ya lo hemos estado mencionando a lo largo de toda la reunión, una cantidad enorme de variables que no pueden estar representadas en el VRS. Como lo decía Alberro en forma específica hay una mezcolanza de un montón de cosas, muchas de las cuales, muchas de las más importantes, ni siquiera están representadas en el CBR, a pesar de que ahí, en el CBR, están mezcladas muchas y no pueden discriminarse unas de las otras. Por el otro lado, yo coincido con Alberro totalmente en el aspecto de las pruebas clásicas; es decir, si se hace una prueba triaxial creo que sería un error tratar de correlacionar un valor determinado en una prueba triaxial con un comportamiento de pavimento; volveríamos a caer en lo mismo, estaríamos hablando de un fenómeno muy complejo en el que intervienen muchas variables y tratando de resolverlo mediante una correlación con uno sólo de los parámetros mecánicos, ya en casos reales del material, pero no pueden ser correlacionables directamente; es decir, el

funcionamiento de un pavimento no sólo depende de su resistencia ni de su compresibilidad ni de una sola cosa que pudiera ser medida en el triaxial. También coincido con el Ing. Rico que no hay un modelo teórico completamente resuelto y aceptable para analizar todos los pavimentos; sin embargo, creo que si tenemos en la mano una idea clara de qué esperamos de cada una de las capas del pavimento y a los materiales que vamos a meter ahí, los probamos en pruebas que nos permitan interpretar su comportamiento mecánico e hidráulico y también su interrelación entre las capas, así estaremos mejor armados para seleccionar el material adecuado o el más adecuado que podamos para esa capa. Creo que eso sí es una cosa muy importante, porque no podemos establecer una correlación sencilla de decir aquí yo medí una sola cosa de una sola manera y por lo tanto el pavimento en su conjunto se va a comportar bien, independientemente de las cargas que le van a poner, del ambiente, de si se satura de si no se satura, en fin de todas esas variables que ya hemos estado hablando aquí. Otro inconveniente muy importante que quisiera destacar del VRS es el siguiente: el VRS es una prueba que se lleva a cabo en el laboratorio con un procedimiento de laboratorio en suelos finos específicamente, que representa esa muestra respecto a lo que va a ocurrir en el campo. De acuerdo con las investigaciones que se tienen a mano y de muchas publicaciones que hay, no representa nada. La estructura que los suelos finos adquieren al ser compactados estáticamente en un cilindro rígido, (Alfonso Rico: es tema del 2do punto a discusión) OK lo dejamos, Maestro, para la siguiente. Entonces yo creo que es válida, esta crítica al VRS. El VRS si ustedes se acuerdan, históricamente fue diseñado como una prueba de calidad; es decir, es una prueba que se realiza en un material y se compara con otro material que se considera ideal, típico patrón; entonces, ¿qué tiene que ver una prueba de calidad con una prueba de diseño? Creo que evolucionó equivocadamente el VRS, también como un parámetro de diseño y yo creo que ahí cometió su primer traspié importante y se salió totalmente de su campo de aplicación.

Alfonso Rico Rodríguez

Muy bien. Le voy a ceder el micrófono al ingeniero Alberro para que cierre brevemente la discusión de este primer punto, pero antes yo quisiera dejar en el aire para que la opinión de Alberro pueda contestar a esto también esta pregunta. ¿Se vale cuando se habla de VRS y su prueba, hablar de Nc, Nq y Nγ? Porque, las hipótesis de una teoría de capacidad de carga tradicional. ¿No corresponden a estados donde la identación no se ha producido? ¿En este momento no cambian las cosas? Bueno, eso tendremos que dejar para discutir más en privado. Tenemos otro punto interesante que es el de la representatividad de las pruebas de compactación.

Jesús Alberro

Muy brevemente nada más, yo siento que en la intervención del ingeniero Aguirre Menchaca y luego en la intervención del ingeniero Orozco, los dos están

mostrando explícitamente, que el CBR ha invadido ciertos campos, que se diseñó para cierta cosa como prueba de calidad y de repente fue la prueba de diseño; luego, el ingeniero Aguirre Menchaca habló del diseño de arriba del diseño del pavimento, pero yo no sé por qué, tratándose de terracerías y de suelo de cimentación, se puede aceptar que la mecánica de suelos en carreteras sea diferente a la mecánica de suelos en todos los otros campos. Tratándose de terraplenes y tratándose de cimentación yo no conozco una norma con CBR en otros campos de mecánica de suelos.

La única norma que conozco es la que dice en carreteras que para terraplenes se acepte que sea mayor del 3% el CBR. Por qué no en terraplenes y suelo de cimentación seguir la ya muy larga tradición de mecánica de suelos, que dice que efectivamente las pruebas clásicas en otros campos sirven. Por qué pensar, seguir pensando en CBR. ¿No será que como en el caso de la prueba de calidad que pasó a ser prueba de diseño, el CBR, de repente está invadiendo también terrenos blandos, terraplenes, que ya sabemos tratar con otros métodos? No, no todo es lo de arriba, creo que la tendencia actual es precisamente ir más abajo, es empezar a cambiar mentalmente y empezar a utilizar lo que ya se sabe de lo de más abajo.

Alfonso Rico Rodríguez

De esto yo me atrevería a decir que al CBR, lo único que le falta por invadir en ciertas esferas de la ingeniería, son los altares. A esos aún no llegó, pero digamos, con un poco de paciencia no sería imposible que algún día se fundara una cosa de ese tipo. Bien, no sé qué opinen ustedes, pero me siento en este momento mucho más tranquilo de como acabo de oír discutir la cuestión del valor o el no valor de la prueba de valor relativo de soporte y lo que el valor de la prueba relativo de soporte y demás representa de lo que me sentí después de la sesión No. 1 y después de la sesión No. 3. De manera que sí, creo que por lo menos se sentarán bases más razonables o siento la discusión mejor orientada. Ahora le propondría a Alberro que comience abriendo el fuego sobre por qué una prueba le gusta por representativa y otra no y ahora sí estoy hablando, sobre pruebas de compactación, que también saben lo suyo en eso de invadir terrenos.

Jesús Alberro

Yo creo que el laboratorio no tiene otra validez más que tratar de representar lo que se va a construir: si el laboratorio está por su lado encaminado, haciendo pruebas y el campo por su lado, haciendo otras cosas, la correlación nunca va a ser posible. Entonces, lo que yo llamo una prueba representativa es una prueba que sirva como marco de referencia, efectuada en el laboratorio, previamente a la construcción, pero que sí trate de representar la forma en que se va a construir y si no, no vale la pena. A nadie se le ocurriría para probar un enrocamiento tomar una piedra y romperla; eso no tiene sentido. La forma que se va a compactar en el campo debe ser el primer dato, junto con el material, para definir en el laboratorio qué prueba es la que de acuerdo con la experiencia se acerca más a la realidad

de lo que se va a obtener en el campo. ¿Por qué es importante esa diferenciación entre pruebas? En mi opinión porque se ha visto, probando diferentes materiales en diferentes condiciones de compactación o sea con una compactación estática o dinámica o con amasado, que las propiedades de los materiales cambian muchísimo si se hace con un procedimiento o con otro. ¿Por qué cambian muchísimo? En mi opinión es porque cada prueba impone condiciones, por ejemplo de roturas de partículas diferentes; una prueba de amasado rompe mucho por lo que los suelos residuales, todos grumos, se rompen; una prueba hecha con una arena porosa se rompe durante la compactación y se rompe diferentemente según la trayectoria de esfuerzos que se impone en esas muestras durante la compactación. El resultado es que, para dar cifras más gruesas, hemos visto que los módulos de deformabilidad, por llamarlo de alguna forma, pueden variar de 1 a 5. Que las resistencias pueden variar de 1 a 3; que las impermeabilidades pueden variar de 1 a 100; por lo tanto las presiones de poro, etc., etc. Entonces yo creo que siendo insistente, si hay que definir cada uno de los parámetros; hay que definir el γ_d, pero no sólo el γ_d, el peso volumétrico seco, sino también el contenido de agua y no sólo eso, sino también tener una idea por lo menos sentir ya con la experiencia, que si para este material lo más adecuado va a ser, por ejemplo, un rodillo neumático, vamos a reproducir en el laboratorio algo que se acerque al rodillo neumático, sin empecinarse en una sola prueba como marco de referencia.

Luis Miguel Aguirre Menchaca

Bueno, yo creo que en relación a la compactación, lo primero que debemos de preguntarnos es para qué compactamos un suelo. Yo entiendo que la compactación es un proceso mediante el cual logramos mejorar las propiedades de un material, para que resulte más eficiente en el lugar donde lo vamos a utilizar. Básicamente para mí ese es el planteamiento de la compactación. Ahora el problema está en cómo realizar esa compactación para que resulte lo más eficiente para los fines previstos. Ahí está el problema, porque el peso volumétrico en sí, no es un índice de que estemos logrando las propiedades que deseamos. Nosotros podemos en el laboratorio, de distintas formas, lograr el mismo peso volumétrico y sin embargo el material que hemos fabricado por ese procedimiento,. como nos dice el Ing. Alberro, puede tener propiedades muy diferentes. Entonces nos encontramos ante un problema muy serio de reproductividad. Definitivamente en muchos aspectos no es práctico ni podemos hacerlo, hablando de enrocamientos.

¿Cómo podemos lograr en el laboratorio reproducir especímenes que nos permitan medir sus propiedades mecánicas y demás? Entonces los métodos que se utilizan, sea la compacidad relativa, sea el grado de compactación, resultan ser métodos que en forma práctica nos permitan gobernar la calidad que estamos deseando hacer, so pena de tener equivocaciones. Desde luego que el tener grados de compactación más altos no siempre resulta que estamos logrando materiales de mejores características, muchas veces los perjudicamos. Entonces,

sí creo que es muy interesante que se puedan reproducir en el laboratorio los pesos con la estructura que logramos en el campo, para que de esa manera podamos medir las propiedades y hacer las consideraciones de análisis pertinente; pero creo que es un reto que no hemos podido resolver en la generalidad de los casos.

Alfonso Rico Rodríguez

Eso del peso volumétrico es otro ejemplo típico del asunto de la correlación de la que hablábamos. Otra cosa que no sabemos cómo medir es el comportamiento de un material compactado en un terraplén de una manera sencilla y nos hacemos la ilusión de que lo medimos con un peso.

Juan M. Orozco y Orozco

Yo quisiera destacar que generalmente cuando se habla de las pruebas de compactación, se habla al mismo tiempo de dos cosas que están mezcladas, pero que son diferentes. Una es la prueba de compactación en la cual se trata de obtener en el laboratorio un espécimen que represente las características de estructuración, etc, etc, de lo que vamos a tratar de lograr o vamos a conseguir o poder conseguir en el campo, que es lo que hablaba Alberro, para poder, en ese espécimen, hacer una prueba de comportamiento mecánico, y medir los parámetros de comportamiento mecánico. Otra cosa totalmente distinta, desafortunadamente mezclada porque se usan las mismas pruebas, es la prueba que se utiliza para obtener el grado de compactación, o para pagarle al contratista, que es una prueba de control de calidad en donde las exigencias obviamente ya no son las mismas; es decir, en donde las exigencias son fundamentalmente que se comporte de una manera estable con respecto a ciertos suelos, que lleve a los mismos resultados, no cambie demasiado, etc, pero ya no importa mucho si representa la estructura o no representa la estructura. Por eso, ayer y lo quisiera destacar porque eso me parece importante, es que se decía: no, es que mejor la prueba estática, porque esa prueba es la que representa la realidad. Yo, primera pregunta que me hago, es cuál es la realidad y a esa realidad que me presenten, que se parece a la prueba estática, simplemente le doy dos pasadas más o un tratamiento de compactación diferente y ya no se parece a la realidad. Entonces tampoco se trata de que la prueba de compactación dé el peso volumétrico que en el campo de puede lograr. En el campo se puede lograr cualquier peso volumétrico, entonces cualquier prueba sirve. De esa manera, también carece de sentido y lo remarco también porque también a veces no se está muy consciente de ello, que hay pruebas de compactación que al ir a aplicarlas al campo, se obtiene el 110% de compactación, lo cual es perfectamente lógico y se puede obtener hasta más o se puede obtener menos.

Alfonso Rico Rodríguez

Pero a mí, sin embargo, me queda una inquietud. El otro día, viniendo de una

comida, por cierto, mejor que la de hoy, le hice a Alberro una pregunta retórica, cuya respuesta yo ya conocía. Le pregunté que si consideraba a la prueba estática o no representativa. Él me dijo que consideraba que en general no, pero hoy me gustaría preguntárselo, porque sí me gustaría que lo dijera en voz alta.

Jesús Alberro Aramburu

Bueno, por el propio sistema de compactación estático, yo creo que los esfuerzos cortantes que se inducen son, en la muestra, en el laboratorio, de menor magnitud que los que se producen en el campo, salvo si en el campo se hace la compactación con rodillos liso, por ejemplo. En este caso último podría ser que sí la prueba de compactación estática fuera representativa. Pero en los otros casos, con pata de cabra, por ejemplo, los esfuerzos cortantes son muy grandes, y lo mismo por vibración o por impactos, en estos casos los esfuerzos a que está sometido cada gramo de suelo durante la compactación, son totalmente diferentes a la prueba estática.

Alfonso Rico Rodríguez

Está con nosotros por primera vez en todas nuestras reuniones nacionales de Mecánica de Suelos, el Ing. Granados. El Ing. Granados tiene mucha experiencia en construcción y es la primera vez que asiste a una Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, ha dicho que le gustaría tener ocasión de hablar un par de minutos en esta reunión. Como quiera que ninguno de nosotros tiene la más remota idea de lo que va a decir, resulta que la curiosidad nos pica y creo que sería muy bueno cederle el micrófono. Probablemente vamos a oír fuertes críticas, me temo, pero ni modo. Adelante señor Ing. Granados.

Granados

Gracias Ing. Rico. Primeramente, eso de la experiencia en construcción está por verse, lo que sí es cierto es que he estado viviendo en muchas obras. Voy a tratar de ser breve para estar un poco a tono con lo pedido. Primero. ¿Por qué vine a la Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, tal vez sí por primera vez? Actualmente estoy trabajando en el Estado de México, estamos construyendo un camino, un camino que tiene cortes, hasta de 35 m, terraplenes de 30 m, alcantarillas como las que se describieron aquí y estaba muy preocupado; hoy tengo pánico y estoy asustado con todo lo que he escuchado en esta reunión. Si, definitivamente vine para escuchar conceptos, ver qué fallas podemos tener, que consultas teníamos que hacer, ahora tenemos que consultar todo de nuevo, y quiero decirles que nosotros hemos confiado ciegamente en todos los mecánicos de suelos y ahora no sé que voy a hacer después de saber que todo está diseñado con fórmulas y conceptos que están en tela de juicio. Otra cosa es la plática de hoy en la mañana de Raúl Vicente Orozco; es por lo que permito hacer algunos comentarios.

Yo he estado al lado de los malos, yo soy de los que he intentado ser constructor,

de los que tienen prisa por terminar las obras, el que tiene las presiones porque se terminen y quiero ser serio en esto, hoy más que nunca debemos tener prisa por terminar las obras, pues obra retrasada un día, un mes, aunque este concepto prosaico del dinero no nos guste en reuniones como esta, es cosa seria y tienen que tomarla muy en cuenta todos los mecánicos de suelos. Retrasar una obra, porque tenemos duda de la prueba que vamos a hacer o con la prueba que vamos a medir el resultado, cuesta mucho dinero, dinero que no tenemos, y que no vamos a tener durante mucho tiempo. Entonces, la preocupación viene por lo que también dijo Don José Vicente Orozco hoy en la mañana, hombre que todos conocemos y respetamos, pues es uno de los puntales y pilares que han construido este país. Cuando el México moderno se empezó a construir, por allá de los años 1926, 1930, Don José Vicente Orozco ya estaba ahí. El habló de 40 o 50 años, 4 o 5 décadas de construcción, de estar construyendo al país. Él y otros hombres que no viene al caso mencionar pero esos son los hombres con que muchos de nosotros, gracias a Dios, si hemos tenido la oportunidad de convivir y decir que hemos aprendido tal vez sería presuntuoso, las cosas no entran por ósmosis, pero sí se aprende o por lo menos se tiene experiencias para hacer. Yo les ruego a todos los jóvenes que están aquí tener dudas y preguntar porque eso es lo más importante. Yo creo que es un paso difícil de dar muchas veces, el admitir que no se sabe uno algo; es algo que da trabajo hacer. Lo que dijo hoy Don José Vicente Orozco sobre los métodos preventivos y correctivos y supervisión correctiva, cuando habló de construcción y control de calidad, es que se tienen que dar junto con el proceso de obra. Hace mucho tiempo, yo trabajé en la Secretaría de Recursos Hidráulicos, mi formación se hizo en la Secretaría de Recursos Hidráulicos; en las obras que nosotros hacíamos dependíamos totalmente de la mecánica de suelos y también del punto de contacto entre los hidrólogos y los mecánicos de suelos. El problema era que la Secretaría de Recursos Hidráulicos en ese tiempo, supervisaba la construcción junto con el contratista. O sea, la gente estaba ahí, el personal estaba ahí y corregía si se estaba dando el número de pasadas adecuadas, si el equipo era el adecuado; si no vibraba, se quitaba; a veces se quería hacer concreto duro y no podíamos colocarlo con las máquinas vibradoras, había que cambiar la relación agua-cemento para poder deslizarlo y compactarlo; se nos hacía menos impermeable, pero había que medir si era el tiempo de colocación o si lo podíamos colocar contra lo que podíamos perder de agua en canales que estábamos revistiendo. Lo comentábamos mucho y decíamos cuál era el procedimiento que debíamos seguir; SOP o como se llamara en ese momento, hacía la supervisión después de ejecutada la obra, adelante.

Los dos procedimientos han sido buenos, ustedes lo decían ahora; así hemos construido el país y lo vamos a seguir construyendo. ¿Qué es lo mejor? Yo siento que el control de calidad se puede dar si llegamos a tener personal suficiente y capaz para hacer la supervisión durante la construcción. Las compañías constructoras se lo llevan cuando ven que alguien es más o menos capaz y bueno para supervisar y el otro problema es que se requiere más personal, que es más

caro hoy; las medidas de austeridad hacen que baje el personal que se está utilizando en la supervisión, pero yo creo firmemente que debemos hacer algo, hacer la supervisión durante la obra, hacer la supervisión durante el proceso de construcción para poder determinar ahí, en ese momento, que las cosas se están haciendo bien o se están haciendo mal. Tenemos que capacitar personal, lo tenemos que seguir capacitando, pero lo que dijo Don José Vicente Orozco hoy por la mañana, sobre llegar después a decir que una cosa está mal hecha, no es la solución que se puede dar a las obras. Corregir va a ser caro, levantar un terraplén es más caro todavía; creo que las obras tienen que supervisarse durante la construcción y algo tenemos que hacer todos, iniciativa privada, gobierno, para que la supervisión se haga de esa manera y entonces el control de la calidad sí de exactamente. De alguna manera tenemos que preocuparnos de trasmitir los conocimientos, esto debe dejar de ser una especie de cosa mágica y hacerla, hacerla llegar a todos los que están formando, todos los nuevos. Un comentario, no es crítica, lo digo porque yo no soy mecánico de suelos y lo digo porque en un momento dado, cuando estaban hablando de conceptos como los que han mencionado aquí cuando estaban hablando de compactaciones o cuando estaban hablando de prueba, para mí no terminaba la explicación, que quedaba en los que saben de esto y los que no sabemos nada de esto como que no nos quedó claro el concepto de para qué servía tal cosa, como la puedo yo interpretar en el campo o sea, en otras reuniones yo creo que hay que vigilar todo esto un poquito más; como que falta un poquito más en la explicación de los conceptos de para qué pueden servir y cómo los pueden utilizar en forma práctica. Ahora ya lo están diciendo en estos últimos comentarios, de qué se debe hacer y cómo hacer las cosas y qué se debe tomar en cuenta, etc., pero muchos muchachos que están aquí, pasantes de ingeniería algunos van a dar al campo de la mecánica de suelos, otros van a ser los malos, del área de la construcción y otros van a hacer los proyectos, no sé dónde vayan a estar, pero sí, luego cuando estamos en la escuela los conceptos pueden ser claros, después se van a olvidar y hay que creer firmemente en lo que dicen en mecánica de suelos. Era todo lo que quería decir señor ingeniero.

Alfonso Rico Rodríguez

Muchas gracias señor ingeniero Granados, creo que efectivamente valió la pena oírle estos interesantes conceptos, muy útiles puntos de vista; creo para todos los que participamos y organizamos reuniones como esta. Lo único que me queda por decirle a usted es que un camino con esos cortes y esos terraplenes, parodiando a conocida serie de televisión, es trabajo para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes; la tiene usted a sus órdenes, pues puede usted recurrir a ella en la seguridad de que estará usted entre amigos y que lo serviremos con muchísimo gusto. De manera que estamos a sus órdenes. Digamos ahora en serio, si en algo podemos funcionar, a sus órdenes. Tenemos dos minutos más. A mí algo que me está molestando desde que empezó esta reunión es que Pablo Girault no ha dicho ni una sola palabra. Yo lo invito dos o tres minutos a que nos diga que le pareció

esto. Ya es el último, desgraciadamente y tengo esa misma curiosidad con un par de gentes más, pero me las tengo que aguantar.

Pablo Girault

Volviendo al tema de la representatividad de la prueba CBR o de la prueba triaxial, estamos hablando de suelos finos y los suelos finos no están saturados, de manera que al compactarlo desarrollan succiones sumamente grandes, del orden de varios kg/cm^2. Reproducir la succión que tiene el suelo en el campo, en laboratorio, es sumamente difícil.

Ahora, supongamos que la podemos reproducir, la prueba de CBR inunda y esto la hace una prueba sumamente conservadora ya desde ese punto de vista, pero el punto más difícil de todo y es donde cualquiera de las pruebas no puede ser representativa tomándola aisladamente, es saber las condiciones de humedad y básicamente, de succión bajo el pavimento durante la época de la vida útil; por ejemplo, si tenemos una zona desértica, compactamos, un suelo, está expuesto al sol unos cuantos días, desarrolla unas succiones mucho mayores, luego lo cubrimos con el pavimento y no vuelve a llover y cuando llueve, llueve muy poco y se evapora rápidamente, se mantienen, las condiciones y esa subrasante va a funcionar perfectamente bien, es más hay gente que hace comentarios que en el norte del país donde la precipitación es nula, el agua freática está a 200-300 metros abajo, los pavimentos funcionan perfectamente bien. Sin embargo, el problema no es tan sencillo en la mayoría de los casos. Los regímenes climáticos en la República son muy complicados. Entonces lo más difícil de determinar es, durante la vida útil del pavimento, cuáles son las succiones bajo el pavimento. Esto depende de muchísimas cosas: de la profundidad del agua freática, de la estratigrafía, de que alguna capa que corte la ascensión del agua por capilaridad, de la geometría del terraplén, qué tan ancha es la carpeta, qué tan ancho es el pavimento en relación al espesor del terraplén, lo que condiciona las succiones que se van formando, qué tanta exposición al sol hay, qué tanta insolación, cuál es el régimen de lluvia y de desecación, de manera que ese factor tan simple y tan complejo de medirse se ha medido en algunos países, por ejemplo en Australia, donde tienen suelos expansivos. Es una de las cosas de las que no se hablaba aquí y creo que condiciona tremendamente a los suelos finos a ser más o menos deformables y resistentes. Entonces tendríamos que tener una idea de las succiones, y no hablo de presiones de poro porque en este momento el pavimento ya está saturado y ya no funcionó el drenaje, tener una idea de las succiones bajo cada pavimento en cada zona de la República con diferente régimen climático, es una de las cosas en que yo creo no se ha puesto la atención debida y después tratar de hacer una prueba en la cual el suelo tenga esa misma succión en el momento que lo estamos probando; creo eso que tampoco se nos ha ocurrido. Creo que es un factor que se ha estado omitiendo. Muchas gracias.

Alfonso Rico Rodríguez

Muchas gracias Pablo. Me parece muy interesante y muy justo lo que acabas de decir. Bien, llegamos entonces al final de la sesión. Yo nada más quisiera decirles a los jóvenes en serio, completamente en serio que se han puesto de manifiesto una gran cantidad de dudas, una gran cantidad de incertidumbres. Me uniría con todo entusiasmo a la recomendación del Ing. Granados, sean críticos. Yo he tratado de que esta sesión llevara precisamente ese mensaje, pero no quisiera que ese mensaje exagerase en este sentido; el hecho de que haya incertidumbre por todos los lados, el hecho de que haya dudas por todas partes, el hecho de que en muchísimos temas de ingeniería dos personas inteligentes e igualmente bien intencionadas, puedan inclusive mantener actitudes, ya no variando en matiz, sino francamente antagónicas, no quiere decir que una vez que los jóvenes estén armados con su título de ingeniero civil y lo ejerzan con honestidad y entusiasmo, no puedan construir su país, no puedan ser inmensamente útiles a la sociedad y no tengan que hacer. Vaya, la crítica, el análisis de la ponderación de la metodología que se utiliza, la sustentación de opiniones variables de unos a otros ingenieros todos estudiosos, todos con buena voluntad, de ninguna manera invalida el hecho de que, a fin de cuentas, subyace un cuerpo de doctrina que de una manera razonablemente congruente con las disponibilidades de la nación permite ser útil a la sociedad y permite construir al país. De manera que no se desanimen; al contrario, este panorama de diversidad, de discusión, de duda, lo único que quiere decir es que la mecánica de suelos sigue viva, no ha muerto todavía y probablemente, claro está, no morirá nunca. Señores presidentes de Sesión, muchas gracias por su colaboración y por la paciencia que han tenido conmigo y a ustedes señores muchas gracias por lo mismo y suspendemos la sesión. Gracias.

DISCUSIÓN A LA CONFERENCIA PRINCIPAL. VIII CONGRESO PANAMERICANO DE MECÁNICA DE SUELOS E INGENIERÍA DE FUNDACIONES**

Alfonso Rico

En las varias Conferencias a nivel nacional o internacional en las que el Ing. Rico participó, aportó opiniones que dejan un gran conocimiento a las futuras generaciones. Un ejemplo es lo que mencionó en una de las discusiones en el VIII Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones llevada a cabo en Cartagena, Colombia en 1987, con respecto al artículo "Uso del SPT y del CPT en el diseño de fundaciones para el control de asentamientos presentado por el Profesor Fernando Tinoco de Venezuela: Él dijo (se transcribe parte del párrafo mostrado en el volumen 4):

"Yo creo que en ingeniería de hoy, está sucediendo mucho que se comparan dos cosas, cuya comparación sería fabulosa, pero dos cosas que no son correlacionables de acuerdo con la teoría de la ciencia y de acuerdo con la teoría de los experimentos. Este es el caso de la resistencia a la penetración de una herramienta en particular, bajo un golpe en particular, en un suelo particular y la resistencia al corte de ese mismo terreno después por cierto considerada también de diferentes modos particulares para diferentes tipos de cimentación, estas dos cosas no son correlacionables, por lo tanto yo no creo que no conozcamos la correlación, es que creo firmemente que no son correlacionables por lo tanto cuanto más compliquemos la correlación peor resultado vamos a tener, sin entrar en detalles técnicos, yo les quisiera, indicar mi línea de pensamiento con un ejemplo muy trivial: supongamos que una secretaria quisiera adivinar el humor con el que llega su jefe una cierta mañana al despacho mirándolo; si la secretaria ve la cara del jefe y si lo ve fruncido toma precauciones y si lo ve abierto, respira con tranquilidad, esa secretaria tiene cierta probabilidad de que en la mañana le vaya bien, pero si la secretaria empieza a complicar tan burda correlación y empieza a decir: y qué color de corbata trae, y qué tan limpios trae los zapatos, y cómo trae los brazos, en qué posición los trae y cómo taconea y va metiendo y metiendo variables, cada variable le acarrea un error absolutamente indeterminado puesto que las correlaciones no existen, las magnitudes no son correlacionables y van multiplicando el error como muy bien dijo Milton Vargas yo disiento con todo respecto de Tinoco en el sentido de que cuantas más cosas se metan a una correlación entre penetración estándar y el diseño de una cimentación para un puente el resultado va a ser peor y no mejor..."

**Comentario de la Conferencia principal. VIII Congreso Panamericano de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones. Vol. 4. Cartagena, 1987.

9 ARTÍCULO MISCELÁNEO

DESARROLLO HISTÓRICO DEL CONCEPTO BOINA**

Conferencia leída ante el Pleno del VII Congreso Internacional de Fabricantes de Crecepelo. Berlín

Existe gran tendencia a creer, entre las personas que tienen la suerte de vivir en este siglo XX del maquinismo, que siempre poseyó la Humanidad el piélago de los útiles que hoy hacen cómoda y feliz nuestra existencia. No hay que insistir sobre que esa idea no sería el reflejo del real estado de las cosas. La Humanidad empezó en nada y de nada progresó, con lento andar, hasta llegar a su estado actual y hubo épocas en que nada, absolutamente nada de lo que hoy nos es familiar, existía. Por ello, al hablarnos de un tema cuya importancia es tan palmaria como el que hoy nos ocupa, considero indispensable hacer, para comenzar una breve reseña histórica.

Los orígenes de la boina se pierden en las nebulosidades del pasado. No sabemos hoy, a ciencia cierta, cual sea la fecha de su primera aparición entre nosotros. A.G.W Müller, conocida autoridad en los asuntos de prehistoria, afirma [(1)] que de una pintura encontrada en las cuevas de Aix-La-Auberne (departamento de Normandía), puede deducirse que en la Era del Hombre de Neardhenthal ya era conocido el objeto de nuestro estudio. Piccini, por su parte [(2)], cree este asunto exagerado y fija la aparición de la primera boina en Egipto, bajo el reinado de Pepetres III [(2)], o sea hacia el 3500(A. de C.).

Sea cual fuere a fecha exacta (y no estamos aquí reunidos para perdernos en interminables disquisiciones de carácter histórico) en que aparece la boina, la primera cita histórica indudable es, a nuestro juicio, la de Alejandro el Sirio [(4)] y digo a mi juicio, porque no falta quien niega tal verosimilitud, si bien haciendo, lo que a mí me parece una falta traducción del texto original en Sánscrito. En este punto los remito a mi ensayo: “Les traités et destraités des chapeaux” (París 1935), obra en la que vuelco toda la documentación que poseo sobre el tema.

No obstante a todas estas incertidumbres, aun no suficientemente estudiadas, es generalmente admitido por las Autoridades que la Grecia Clásica conoció la boina y asimismo, nosotros, no tenemos inconveniente en afirmar que es desde esta época en adelante cuando la boina entra en nuestra vida, por lo menos tal como hoy la conocemos. Porque, así como todos los demás objetos inventados por el Hombre en su lenta marcha hacia el Progreso, así la boina sufrió en el transcurso de los tiempos históricos fundamentales modificaciones hasta legar a su forma

**Rico, A. (1997). Desarrollo Histórico del Concepto Boina. Revista CARRETERAS. Extraordinario 1997. Revista Técnica de la Asociación Española de la Carretera. Pp. 144-145.

actual. Para completar este punto de vista, quiero solicitaros el permiso para leeros una descripción de Aristóteles sobre la boina que Platón usaba [8].

“Tocábase el Maestro su cabeza con algo similar a una clámide invertida, de tal modo que recogiendo los pliegues tras las orejas se los enrollaba en torno al cuello. Caía el arreglo (Καμεθωελοζη en el original) sobre su frente a modo de ceñidor y cubría por completo venerable testa. Esta es, entre paréntesis, la primera descripción exacta completamente dedicada a una boina, que conocemos. Pero en ella vemos que la boina griega a nuestra boina, conseguida tras casi 30 siglos de incesante progreso industrial, existe gran distancia. A simple vista, quiero llamaros la atención sobre la falta de rabillo.

Solo a grandes pasos quiero narraros las más salientes etapas históricas de la boina y así me permitiréis saltar hasta Santo Tomás Aquino[10], que por medio de ingenioso razonamiento Escolástico, trata de probar que la primera persona de la Santísima Trinidad debe de usar boina, si bien atribuye a este caracteres angélicos y el don de la Ubicuidad. No se menciona aun rabillo, conquista, como veremos del Renacimiento.

Poco sabemos de los materiales con que se hacían estas primeras boinas. Basado en razonamientos de carácter puramente empírico, Bergson[7] trata de probar que hasta el Siglo XVI se hicieron solo de seda con aplicaciones y bordados de hilatura de oro en los dignatarios y de cobre en las clases plebeyas. Mucho falta por estudiar en esta dirección. Yo afirmo en mi obra: “Los materiales a través de los tiempos”[8] que en Fenicia se usaban boinas de vellocinio de cordero blanco, si bien solo en las clases sacerdotales. Me baso en mi afirmación en escritos de Xendon de Arados (Siglo I. A. de C.), ampliamente conocidos de ustedes. Desde luego opino que, sin duda, en el Medioevo, el material sería burdo curtido de pana o cáñamo, de amplia difusión en la época.

En el Renacimiento, la singular figura de Leonardo, filósofo, físico, pintor e investigador infatigable [9], llena todo un capítulo de la Historia de La Boina. En efecto, en una de sus más conocidas obras sobre el tema, Leonardo introduce la fundamental modificación del rabillo [10] ¡Asombra hoy, la genial penetración del genio Renacentista, anticipándose en esto, como en tantas otras cosas a su época! Naturalmente la genial intuición de Leonardo se vio frenada por la incomprensión de sus contemporáneos y el rabillo siguió sin ser objeto de atención industrial hasta que el gran Newton llamo la atención pública sobre el tema [11] y lo impuso con su autoridad. Otra deuda de los hombres para con el genial descubridor de la Mecánica Celeste.

En la época moderna, el matemático francés Poincare, partiendo de razonamientos y estudios de carácter especializado demostró la necesidad de un aditamento de cuero en torno a la parte de la boina que tome la cabeza [12]. Esto es, naturalmente nuestro actual arillo.

Anteriormente el químico ruso Mendelejeff en clásico estudio, obtuvo la fórmula del fieltro así como un método de fabricación, que con escasas modificaciones esta hoy en boga [13].

El notable investigador vascongado, verdadera gloria nacional Iturreberroitigoicoecheazcalamarraga Uztneilortaigarroentea Jimenez, redondeó estas concepciones científicas con el invento de la famosa forma vasca, que es universalmente conocida con su nombre, y que es la forma que adopta hoy la boina en nuestros procesos industriales. Al colaborador de I.U. Jiménez, Urdinarramelopea, se debe la introducción del forro rojo o verde [14], modificación preconizada ya que por el propio Newton en su teoría de Los Colores [15].

Mucho, señores, se ha avanzado en el terreno y mucho más queda aún por hacer. Como señala Kant[16]. "Ein die Mörlingen tal orvhendorfen optilein crasi thas fieltrem un rabillen. Und von Breslehein aften Uraliem, A thus borlinichen ustkriche Troisen Moilen Europeichen libroeinghen Ah, that maravillen[17]. Asombra ver la penetración de tan proféticas palabras pronunciadas hace tantos años. Ojalá que esta opinión riente a nuestra juventud estudiosa hacia todos estos problemas que aun necesitan tanta investigación.

Muchas Gracias por su atención.

(1) Muller- Die Boinische und Prehistorichen Muralen. Dresde 1915. Tomo XVI. Pag 7454.

(2) Tratado complete di capelli-Padua-1918. Pag. 76.

(3) Novena dinastia de Memphis.

(4) Boinov Negrov. Libro XVII. Museo de Moscú.

(5) Aristóteles de Estagira. Poética. Libro 37. Diálogo a Eumenes.

(6) De CoelisAngelorum boinarum. No dispongo de la Edición Original y cito aquí la traducción de Pipistreto Manciopoulos. Atenas. 1929.

(7) Mot et les Chapeaux. (Burdesos).

(8) Pag. 755 de la Edición de Madrid.

(9) No cito sus actividades como médico, escultor, químico, aeronauta y aficionado al beis.

(10) Il rabbe in la desenvolvenza de la cobertura dicapiti antiqui moderni (Pisa Ed.

Or. Manuscrito de la Universidad de Pensilvania).

(11) Sir Isaac Newton –About the Little tails in the hats without brim. Memoria dirigida por el genio a la Royal Society en 1735.

(12) Poincare-Matematique General et Aplieé. Paris.

(13) Mendelejeff –Los Elementos Periodicos. Trad. Del Ruso. Barcelona. Cataluña.

(14) RRa uzku aixtolari boinorrea. Bilbao. 1855.

(15) Optiks. Libro IV.

(16) Die aktualen Boinichen Koenisberg. Tomo II. Cap. XVII.

(17) Y añade: Und ther papelerungen utrich clavakeintein. Op. Cit. Ed. Leipzig 1942. Pag. 5787 y sigs.

ENTREVISTA REALIZADA POR CARLOS ENRIQUE RUIZ AL ING. ALFONSO RICO RODRÍGUEZ DURANTE EL VIII CONGRESO PANAMERICANO DE MECÁNICA DE SUELOS E INGENIERÍA DE FUNDACIONES**

ER: **En su opinión ¿Qué es ser ingeniero?**

ARR: Ser ingeniero es tener un modo de vida, que responde a lo mejor a una vocación, a lo mejor a otras circunstancias. Muchos son ingenieros porque su padre fue ingeniero, o por su tío, en fin todas las motivaciones concomitantes con lo que llamamos vocación que en algunos casos no tiene un perfil psicológico ni profundo. Eso configura una profesión, unos estudios y un medio de vida, honesto y además agradable, bueno. Ahora, durante el aprendizaje de la ingeniería y después en el ejercicio profesional cualquier entrenamiento específico produce una formación profesional. Ya entonces se puede decir que el ingeniero pasa a formar parte de una colectividad, con su identidad que lo diferencia de un médico, o de un abogado. A mí me parece que la meta más alta a la que puede aspirar el ingeniero, concomitante con la ingeniería misma, es una meta sencilla de alcanzar; esa meta es el espíritu de servicio social. El ingeniero civil es un hombre que por razón de su profesión tiene al alcance de la mano el poder ejercer una función social muy clara, de servicio colectivo. Pocas profesiones tienen una oportunidad tan directa, pienso yo, de ejercer ese servicio a la colectividad, cuya

www.bdigital.unal.edu.co/9369/1/01202251.1988

retribución se ve de inmediato. Todos los ingenieros hemos pasado por la experiencia de estar en un sitio cuando se está proyectando una carretera y volver años más tarde cuando está en servicio; se podrá ver el cambio que se ha producido. Esa es una de las satisfacciones y de las metas al mismo tiempo más importantes de la carrera. Pocas labores tendrán una injerencia tan directa en el desarrollo de la colectividad, en el mejoramiento del nivel de vida. Los beneficios de la ingeniería se ven de inmediato.

Pienso que esta conciencia de servicio público, o de servicio social, es la característica más importante de la ingeniería, a la cual se subordinan todas. Claro, para realizar esta función en un nivel adecuado, en el nivel máximo al que cada quien pueda llegar, aparece la necesidad de una preparación, de saberse integrar a equipos de trabajo. La ingeniería muy rara vez es un fenómeno aislado, personal. Es generalmente el producto de la colaboración de varias o muchas personas y tiene que entenderse con especialistas de otros campos, lo cual enseña humildad y prepara al ingeniero para entenderse como parte del engranaje de una rueda grande. Como cualquier otra actividad humana, la ingeniería tiene una puerta abierta a otro objetivo como lo es la enseñanza. Siento que el ingeniero ofrece un perfil sumamente completo. Es compleja, es difícil, es variada y por tanto hace falta prepararse bien, aunque sin los perfiles de una actividad científica, pero si es una actividad tecnológica de alto nivel y en consecuencia también tiene ese aspecto de reto teórico, experimental, etc. que hace que el trabajo sea creativo e interesante, y esto es una condición necesaria para poder alcanzar ese estado final del ingeniero que, como digo, para mí es el servicio a la comunidad.

ER: **De acuerdo con su propia experiencia docente, ¿qué problemas existen actualmente en México en la formación de los alumnos a nivel de pregrado en las áreas de geotecnia y de qué manera pudieran solucionarse esos problemas, si los hay?**

ARR: Creo que los problemas que se tienen hoy en la enseñanza de la ingeniería son los problemas de la época y no creo que México tenga un perfil demasiado diferente al resto del mundo, aun cuando tendrá sus matices. Probablemente la problemática viene de la escala de valores que transmitimos. La responsabilidad es compartida. Pero una escala de valores donde lo material, el éxito económico, tienen una mayor valoración de la que pueden tener factores de naturaleza diferente. Esto hace que en muchos de nuestros países el comercio, la industria, aunque probablemente la industria está sujeta a presiones más fuertes que el comercio, por la administración y simple control social, tienden a estar mejor retribuidas. Entiendo que el administrador, o el controlador, no directamente productivo, esté proliferando por arriba de lo necesario, pero además está accediendo de una manera prepotente a las fuentes de poder y esto se está traduciendo en una situación más conspicua, de mayores beneficios económicos y cosas de ese tipo. Esto, creo yo, está representando para las carreras tradicionales, de carácter científico o técnico, una limitación importante. En

nuestras universidades, y creo que puedo hablar por todo Latinoamérica, la carrera de ingeniería, como la de física o la de matemáticas, suele ser más demandante de sacrificio y de estudio por parte del estudiante, que carreras de carácter más administrativo. Entonces se concitan los dos factores, por un lado se tiene mayor disciplina de trabajo, lo cual a ciertas edades cuando uno no tiene muy claras las metas de la vida, o las realidades de la vida, una demanda excesiva de trabajo universitario inhibe más bien que motiva a una gran parte de nuestros jóvenes, cuya escala de valores tiende más a lo utilitario, a lo cómodo, a lo divertido. Por otro lado, el incentivo económico, incluso de consideración social, puede no estar a la altura. En nuestros países, por ejemplo los físicos o los matemáticos, tienen frecuentemente problemas serios para educar una familia. El ingeniero tiene muchos más campos de acción, tiene que batallar menos para criar una familia, pero frecuentemente tiene incentivos menos de los que tiene el administrador o el controlador público. Yo siento que lo que se pudiera hacer por invertir ese proceso sería importante, porque a fin de cuentas las profesiones más directamente productivas que inciden en el desarrollo de la sociedad y de nuestros países van a ser las profesiones científicas, técnicas; va a ser la medicina; las profesiones que tienen que ver con la sanidad o la ecología; son profesiones que están entre nosotros terriblemente descuidadas, están subvaluadas.

ER: **¿Qué opinión tiene de lo que fue este VIII Congreso Panamericano de Mecánica del Suelo?**

ARR: En el congreso habría dos niveles a considerar: uno, el congreso en sí mismo, su organización, el maravilloso marco que ofrece la ciudad de Cartagena, que es una joya de América, a la que venimos todos muy contentos y en la que estamos todos muy contentos. El comité organizador colombiano ha hecho una labor extraordinaria, con una discreta educación y una muy educada discreción en el manejo del congreso; estuvieron atentos absolutamente a todas nuestras necesidades prácticamente sin aparecer, sin darse a notar. La actuación de la Sociedad Colombiana de Geotecnia y de todos sus miembros fue notoria por la importancia de sus contribuciones, pero muy poco notoria por la intención de hacerse notar. Con extraordinaria caballerosidad la delegación colombiana intentó hacerse a un lado en beneficio de las delegaciones visitantes; no siempre lo logró porque las contribuciones colombianas fueron muy importantes. Yo felicito al Comité Organizador y en general a la ingeniería colombiana por el verdadero despliegue de fineza. Soy sincero, no estoy haciendo con esto demagogia. Después de esto viene el nivel del congreso. Su nivel es una consecuencia del nivel de la Mecánica de Suelos en el mundo que, en mi humilde opinión, es bajo. Otra vez prevalece una escala de valores, casi todo lo que se maneja hoy en mecánica de suelos, o lo que se investiga está sujeto a fuertes matices comerciales, está sujeto inclusive a modas, aparecen nuevos productos, aparecen nuevas tecnologías, y sobre esas nuevas tecnologías se vuelca la moda. Las modas en general a nosotros nos vienen de países que son diferentes a los nuestros, que tienen una problemática distinta, una etapa de desarrollo social

diferente, un modo a veces distinto de ver la vida y entonces esas modas son a veces incongruentes con nuestra propia problemática, o sea preocupaciones muy detalladas y muy finas por mejorar en determinada tecnología, en determinado aspecto, por ejemplo, ahora el uso de geotextiles y de membranas y de georedes, etc.

Nuestros problemas a veces son otros, son carreteras por las que no es fácil transitar, a veces errores sistemáticos o falta sistemática de tecnologías o en necesidades tecnológicas que otros países han superado. Esas modas nos perjudican, y tenemos que combinarlas pero realizando investigación por nosotros mismos. La investigación siempre es local; la investigación no es universal, aun cuando si lo sean la teoría de la relatividad de Einstein, la Mecánica Celeste de Newton, y así media docena de cosas que tienen un alcance universal. La investigación, en términos generales, es terriblemente local, proviene de una problemática, de una idiosincrasia, de unas necesidades, de un modo de ver la vida, de una filosofía de vivir y esa es muy diferente en Suecia, a Francia, o a China. Entonces la única manera de levantar los niveles tecnológicos de un país es haciendo investigación propia. Lo que se hace en otros sitios se puede adaptar al propio y en ese caso la investigación será más barata. El ideal de la investigación sería que en otros lugares hicieran cosas y nosotros poderlas adaptar a nuestro medio. No se puede tener capacidad de adaptación sin tener un conocimiento muy serio de dos asuntos: primero, de mi medio y segundo, de la tecnología que estoy manejando. En el momento en que se tiene ese conocimiento se estará en capacidad de generar tecnología propia. Por eso todas esas cosas se superponen, no hay una frontera, no hay una solución de continuidad. Un centro de investigación latinoamericano, en el momento en que se establezca y alcance el mínimo grado de madurez será capaz tanto de adaptar la tecnología de cualquier parte del mundo a las condiciones latinoamericanas, como de generar tecnología propia. Este es el único sistema que tenemos para nuestro propio desarrollo tecnológico.

En este momento, como digo, hay una tendencia comercial, de moda y sobre todo en investigación experimental, la cual está siempre teñida de fuertes tintes concretos y de menos alcance universal. A nosotros nos están faltando hoy pensadores, gentes que enfrenten la temática de la Mecánica de Suelos a nivel filosófico, científico y, en general, que produzcan conocimiento al margen del avatar del momento, que esté al margen del desarrollo de tal o cual tecnología, en ese instante.

ER: **Ud. Como tratadista de la Mecánica de Suelos, ¿qué opinión tiene de la subsistencia de los procedimientos gráficos de Mohr (1871), en la época actual? ¿No cree que correspondan a una especie de arqueología?**

ARR: No. Yo creo que no. En una ocasión le dijeron a A. Einstein que él era un hombre muy inteligente, que había introducido muchas cosas nuevas y que había

transformado el pensamiento científico de su época, todo lo cual era cierto, pero Einstein dio una respuesta bastante aleccionadora: yo efectivamente pude hacer algo, gracias a que estuve subido al hombro de gigantes. O sea, considerar una cosa por el hecho de que se produjo hace años es irrelevante, o pasó de moda, es una posición no defendible en ciencia. Una cosa puede pasar de moda cuando algo la supera y aparece una nueva tecnología o una nueva técnica, o un nuevo principio científico que arrincona a aquel, pero mientras eso no suceda, la antigüedad de por sí no es demérito. La mecánica de suelos actual se basa en un conjunto de conocimientos que se han venido acumulando durante mucho tiempo, y mucho de ese conocimiento sigue vigente, fundamental y vino para quedarse.

Ahora, yo no estoy tampoco de acuerdo en que ciertos cambios en la tecnología o en la metodología de trabajo, agarrando el toro por los cuernos, la computadora por ejemplo, represente un nuevo nivel de nada. Me parece que si la computadora es un nuevo nivel de conocimiento, entonces se va a explotar todos los peligros de la computadora y ninguna de sus virtudes.

Las virtudes de la computadora son obvias: el ahorrar trabajo mecánico del hombre; inclusive es un instrumento de tal potencia, que extiende el horizonte a poder realizar un montón de análisis, de cálculo que a mano resultaría imposible hacer, por la complejidad y por el tiempo que se emplearía en ellos. Pero si este papel puramente herramental se transforma en un papel fundamental que pueda influir en la filosofía de la ciencia, entonces también parece que se abre toda suerte de peligros que estamos viendo hoy, o sea una estructura que se está diseñando en muchas oficinas con un programa de computación, pero la gente al cabo de una serie de años pierde el sentido personal, el criterio personal para ser capaz de analizar, digamos matices, en donde los resultados de ese programa y sus hipótesis no eran los adecuados para resolver ese problema. Sin embargo, a veces por un entrenamiento excesivamente mecanicista de los análisis, se pierde ese sentido físico de los problemas, ese sentido ingenieril de las soluciones, en donde la economía y la sociología y la tecnología se balancean de alguna manera apropiada para llegar a una solución correcta.

En cuanto a los programas en sí mismos tienen el mismo problema al que yo me refería hace algún rato; en general son hechos en otros lugares en donde la costumbre es debida y además los hábitos tecnológicos o sociales son diferentes. Yo no tengo nada contra la computadora. Pero me resisto a cierta tendencia que hay hoy en el sentido de pensar que la computadora piensa. Esto es lo que me parece que podría llegar a ser peligroso, sobre todo en manos de jóvenes que no han tenido la oportunidad de desarrollar su propia potencialidad humana, su propio sentido humano de los problemas. El contacto continuo con los problemas, de manera personal, de manera que sea la mente de uno la que esté directamente en contacto con los problemas, va desarrollando cierto criterio, ciertos colmillos.

ER: **¿Quisiera agregar algo sobre el congreso? ¿Cree que hubo algunos aportes fundamentales?**

ARR: No creo poder hacerlo. No creo que en este congreso ni en otros para atrás se hayan producido cambios trascendentales, que sí se producían en congresos hace años, cuando gentes con otra filosofía de lo que era la ingeniería o la tecnología, hacían contribuciones muy importantes que incidían definitivamente en nuestra vida profesional. Ahora en los congresos recibimos un aluvión de trabajos de tipo experimental, de solución concreta de problemas específicos, que no son los nuestros, que oímos con curiosidad, con interés, que algo dejan, pero sin cambios trascendentales. En ingeniería es muy necesario, sin abandonar el trabajo experimental, que aparezcan trabajos de otro estilo, trabajos de carácter teórico, de carácter fundamental, de carácter filosófico.

Una pregunta que yo dejaría en el aire para que se reflexione es el cambio brutal que por ejemplo ha habido en física aplicada en otros terrenos, como en la electrónica, en los combustibles, en la térmica, en los últimos 70 o cien años y los que ha habido en la ingeniería civil en ese mismo tiempo. Los que ha habido en la ingeniería civil, son puros cambios de matiz, de modos de hacer cosas, de abaratar soluciones. Básicamente una estructura de acero hoy es la Torre Eiffel; al igual que las grandes presas de antes. El Infiernillo, es una estructura de tierra de más de 30 años. Sin embargo, es cierto que las evoluciones de la ingeniería civil quizá la Mecánica de Suelos es de las que más puede enorgullecerse.

Pero en términos generales la evolución de la ingeniería civil ha sido lenta, en comparación a lo que los ingenieros civiles debemos preguntarnos seriamente a qué se debe.

ER: ¿Cómo ocurrió que se hiciera la traducción de su obra "La ingeniería de suelos aplicada a las vías terrestres?

ARR: Una editorial se interesó por pasar ese libro al inglés y los dos autores mexicanos, Hermilo del Castillo y yo, pedimos que la traducción la hiciera una persona competente e inclusive por temer que la obra estuviera excesivamente contaminada de tecnología mexicana, pues que se revisara. Entonces nuestro buen amigo el profesor George Sowers estuvo de acuerdo con hacer ese trabajo. En la edición inglesa él aparece como tercer autor del libro. La traducción fue excelente y los cambios realizados en la obra no fueron tan importantes como yo esperaba. Sowers es una mente muy fina y muy alerta, y sus sugerencias fueron realmente muy valiosas.

ER: **¿Y el libro de Mecánica de Suelos, con Eulalio Juárez Badillo, fue también traducido al inglés?**

ARR: No. Es un texto de carácter universitario, relativamente elemental y por tanto no está sujeto a cambios todos los días. Que la ingeniería quede obsoleta de un día para otro es demagogia. Desgraciadamente la ingeniería no queda obsoleta tan pronto. Dudo que en algunos países pueda haber muchas personas que puedan discutir física clásica con Newton, si Newton resucitara. El libro sigue teniendo su vigencia, creo que es una obra útil.

ER: ¿Qué origen tiene usted y por qué su vinculación con México?

ARR: Soy de una región de España que es Galicia, concretamente del Ferrol, famosa por sus construcciones navales. Mis padres también eran del Ferrol; allí nací pero permanecí poco. El bachillerato lo estudié en Santiago de Compostela, luego me inicié en matemáticas y física en Madrid, pero llegué a México a la edad de comenzar mi carrera y allí hice la carrera, la maestría y el doctorado, en la Universidad Nacional Autónoma de México. Mi formación profesional es ciento por ciento mexicana y mi experiencia profesional también.

ER: **¿Qué sugerencias se le ocurrirían para impulsar con motivo del V Centenario del Descubrimiento de América, en campos de Ciencia y tecnología?**

ARR: No he pensado en esa dirección. Ese tema queda fuera de mis preocupaciones. Esas celebraciones suelen quedar mucho en discursos, en palabras. Si se hiciera un congreso iberoamericano, donde España y Portugal participaran con los países nuestros, sería manera bonita de celebrarlo y crear una revista de habla española que realmente tenga la fuerza y el impacto de otras revistas de lugares donde el idioma nuestro ha sido desplazado; una revista que recogiese el trabajo en tecnología de los países hispanoparlantes. Actividades de ese tipo serían interesantes, con menos palabras y más cosas concretas. Que nos unamos para ofrecerle algo al mundo, no a nosotros mismos.

ER: **¿Hace poco Ud. fue nombrado para orientar una institución nueva en México: cómo surgió ella y cuáles son sus desempeños?**

ARR: Desde hace bastante existía en México la inquietud de crear un Instituto que se dedicara a la investigación, a la adaptación de tecnologías y demás en el área del transporte, desde la obra civil que sustenta al transporte hasta el transporte mismo, su equipamiento, etc. Al principio de ese año (1987) el señor Presidente tuvo a bien crear el Instituto a iniciativa de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México, y fui nombrado como director de él, responsabilidad que me agobia, porque no es fácil ponerlo en pleno funcionamiento, pero hay una

voluntad gubernamental y de todas las entidades que tienen algo que ver con él para contribuir en su puesta en marcha. El apoyo del gobierno mexicano es absoluto, al igual que del Ministerio de Comunicaciones y Transportes. Con el recurso y el apoyo de todos estos deberá ponerse en debido funcionamiento.

Las necesidades de investigación en el área del transporte en México son inmensas, tan inmensas que no había ningún centro de investigación en esa área. A esas enormes necesidades tendrá que responderse con realizaciones útiles.

Estamos en la etapa de hacer totalmente el Instituto, el cual estará localizado en la ciudad de Querétaro, dentro de una política de descentralización que viene siguiendo el gobierno mexicano. Estamos contratando investigadores. Las líneas de investigación están definidas en cinco aspectos: El primero, la infraestructura del transporte, todo lo que es construcción, mantenimiento y operación de carreteras, puertos, aeropistas, ferrocarriles, puertos, etc. Luego, tenemos un área de operación del transporte e integración de modos de transporte. Una tercera área es la planeación. Cuarto, un área de concertación industrial y de unir la capacidad industrial dispersa para aunar esfuerzos y para alcanzar metas concretas. La quinta área es la capacitación de personal para los ferrocarriles de México, para las líneas aéreas de México, para la propia Secretaría (Ministerio) de Comunicaciones y Transportes, etc.

El Instituto debe dedicarse exclusivamente al nivel técnico, al cual se dedicarán los esfuerzos de capacitación y de investigación, al intercambio con personas de empresas públicas y privas dedicadas al transporte, quienes puedan dedicarse en el Instituto a determinadas aplicaciones de investigación en áreas necesarias para su trabajo y a su vez el Instituto deberá desarrollar su capacidad de acceder a las empresas públicas y privadas utilizándolas como universidad de su propia gente. De manera que el Instituto puede ir formando sus cuadros para él mismo y para todo el sector transporte nacional, sea público o privado, utilizando todos los recursos de la capacidad instalada del país. Probablemente los extranjeros también tendrían acceso a él, mediante el establecimiento de becas.

REFERENCIAS

https://maps.google.com.mx/maps?q=el+ferrol&ie=UTF-8&hq=&hnear=0xd2e7618d703d177:0x90284b0722a8b65b,Ferrol,+A+Coru%C3%B1a,+Espa%C3%B1a&gl=mx&ei=81PMUqz5BcXj2AWgqoGgAg&ved=0CJ8BELYD

Tristán Ruiz Lang. Semblanza leída en el Auditorio Fernando Díaz Ramirez. Semana de Ingeniería, 1999.

Orozco, J.M. (1998). Prólogo y presentación del conferencista. Decimocuarta Conferencia Nabor Carrillo. Alfonso Rico Rodríguez. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.

Comunicación personal con el Ing. Hermilo del Castillo

Ruiz, L. T. (2002). Atenta Nota. Instituto Mexicano del Transporte. Noviembre 2002.

Rico, R. A. (2000). Visión personal de algunas cosas. Libro homenaje a José Antonio Jiménez Salas. Geotecnia en el año 2000.

Rico, A., Springall, G., and Mendoza, A. (1976). Investigations of instability and remedial works on the Tijuana-Ensenada highway, Mexico. Geotechnique 26, No. 4. 577-590.

Rico, A., Orozco, J.M. y León, J.L. (1993). Cimentaciones sobre pilotes de fricción en suelos con hundimiento regional. Proceedings Third International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering. St. Louis Missouri. June 1-4, 1993. Este artículo se presentó en inglés.

Rico. A., Leon, J.L., Juarez-Badillo, E. y Orozco, J.M. (1985). Some Mechanical correlations in the Valley of Mexico Clay. Proceedings of the Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. San Francisco. 12-16 August. 1985. Pp. 933936.

Rico. A. (1961) Analysis of Slope Stability. Proceedings of the Fifth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Paris, 17th to 22nd July, 1961. Pp. 709-716.

Rico. A. y Orozco, J.M. (1975). Efecto de los finos en el comportamiento mecánico de los triturados para base de pavimentos. V Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones. Buenos Aire, Argentina. Pp. 32-

41.

Rico. A. y Orozco, J.M. (1979). Comportamiento mecánico de algunos suelos compactados por cuatro métodos, incluyendo vibración. Memorias del Sexto Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones. Lima, Perú. Pp. 503-511.

Rico. A. (1987). Agrietamiento longitudinal en Carreteras. Tópicos de Geotecnia. Universidad Nacional Autónoma de México. Pp. 61-95.

Rico. A., Garnica, P., Gómez, J.A. y Suárez, L.E. (1995). Efecto de rotura de granos en capas de balasto bajo carga repetida. X Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones. Vol. 1. Guadalajara, México. P.397-404.

Garnica, P., Rico, R.A. y Gómez, J.A. (2000). Consideraciones sobre deformaciones permanentes en materiales granulares. XX Reunión Nacional de Mecánica de Suelos. Vol. 1. Oaxaca, Oaxaca, México. P.39-42.

Rico, R.A. (1992). Algunas divergencias entre prácticas comunes de compactación y lo que la investigación parece indicar. Volumen Raúl J. Marsal. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. P.265-273.

Rico, R.A. (¿?). Consideraciones sobre compactación de suelos en obras de infraestructura de transporte. Referencia desconocida.

Rico, R.A. (1994). La ingeniería geotécnica de las vías terrestres. IX Reunión Nacional de Profesores de Mecánica de Suelos. Xalapa, Veracruz. Noviembre 1994. Pp. 127-152.

Rico, R.A. (1978). El papel de la mecánica de suelos en el proyecto y construcción de las obras viales. IX Reunión Nacional de Mecánica de Suelos. Mérida, 1978. Pp. II-2 a II-5.

Rico, A., Mendoza, A., Téllez, R., y Mayoral, E. (1998). Algunos aspectos comparativos entre los pavimentos flexibles y rígidos. XIIIa Reunión Nacional de Vías Terrestres. Oaxtepec, Mor. Agosto.

Rico, A. y Aguerrebere, R. (1994). En torno al uso del concreto hidráulico en la red carretera nacional. Tercer Congreso Nacional del Concreto. Acapulco.

Rico, A., Téllez, R., y Garnica, P. (1998). Pavimentos flexibles. Problemática, metodologías de diseño y tendencias. Visión Mexicana.2nd Asphalt Technology Conference of the Americas. Austin, Texas. USA. October 12-16.

Rico, A. (¿?). Pavimentos. Referencia desconocida.

Rico, A. y Ruiz, V. F. (1983). Reflexiones sobre el efecto del incremento de carga en el comportamiento de pavimentos flexibles. Séptimo Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones. Publicado por la Canadian Geotechnical Society.

Rico, A. (2000). La Ingeniería en el Sector Transporte. Foro Nacional: Los Retos de la Ingeniería en el Siglo XXI. Colegio de Ingenieros Civiles de México. Noviembre 2000.

Rico, A., Mendoza, A., y Mayoral, E. (¿?). Algunas consideraciones operativas y de proyecto geométrico para vehículos de carga. Referencia desconocida.

Rico, A., (1992). En busca de una estrategia de conservación de carreteras. Revista CARRETERAS. Revista técnica de la Asociación Española de la Carretera, No. 58. Marzo-Abril 1992. Pp.10-22.

Rico, A. (1992). Reflexiones sobre el transporte. III Seminario y Exposición Internacional “El Transporte Integral de Carga ante el reto de la Globalización con el T.L.C.” México, D.F. 1992.

Rico, A., Mendoza, A., y Mayoral, E. (1998). Main Freight Land Transport Corridors in Mexico. 77th Annual Meeting. Transportation Research Board. Washington, D.C. 1998.

Rico, A., Mendoza, A., Duran, G. y Mayoral, E. (1997). A Mexican Field Study to Obtain Basic Information on Truck Transport. 77th Annual Meeting. Transportation Research Board. Washington, D.C.

Rico, A., Mendoza, y Mayoral, E. (1995). Financial Mechanism for Road Maintenance in Developing Nations. 74th Annual Meeting. Transportation Research Board. Washington, D.C.

Rico, A., Mendoza, Mayoral, E. y Durán, G.(¿?). Some Elements of an Optimal Highway Network Pavement Maintenance Strategiey.Referencia desconocida.

Rico, A. (¿?). Ideas sobre la adecuación de tecnologías extranjeras en el campo de la ingeniería civil. Referencia desconocida.

Rico, A. y Lozano, A. (¿?). La tecnología: ¿En provecho del desarrollo social de la humanidad o en contra de él? CONACYT.

Rico, A. (1999). Adopción e implementación de innovaciones tecnológicas. V Reunión Hispano Mexicana. Abril 1999.

Rico, A. (1999). Ciencia, técnica e investigación. Universidad Autónoma de Querétaro. Octubre 1999.

Rico, A. (¿?). Políticas de Investigación y Fuentes de financiamiento en los centros de investigación del transporte. Referencia desconocida.

Rico, A. y Lozano, A. (1997). La investigación tecnológica ¿una actividad secundaria? Revista Ciencia y Desarrollo.

Rico, A. (1976). Algunos aspectos del problema de la enseñanza superior. VIII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos. Tomo III. Guanajuato. Noviembre 1976. Pp. 90-92.

Rico, A. (1997). Algunas reflexiones sobre la práctica y la enseñanza de la ingeniería civil. IV Congreso nacional de ingeniería civil. Universidad de las Américas-Puebla. 30, 31 de Enero y 1ero de Febrero. 1997.

Aguirre, M. L. M., Juárez, B. E. y Rico, R. A. (1967). La enseñanza de la mecánica de suelos en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. Memorias del Tercer Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones. Vol. II. Caracas, Venezuela. Julio 1967.

Rico, R. A. (1991). Contribución parcial del Ing. Alfonso Rico Rodríguez. Congreso Internacional. Academia Mexicana de Ingeniería.

Conclusiones de la reunión y perspectivas a futuro. XIII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos. Mazatlán, 1986.

Comentario de la Conferencia principal. VIII Congreso Panamericano de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones. Vol. 4. Cartagena, 1987.

Rico, A. (1997). Desarrollo Histórico del Concepto Boina. Revista CARRETERAS. Extraordinario 1997. Revista Técnica de la Asociación Española de la Carretera. Pp. 144-145.

Ruiz, C.E. (1988). Conversaciones en el VIII Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones. Cartagena, 1987. www.bdigital.unal.edu.co/9369/1/01202251.1988