

PAVIMENTOS RÍGIDOS Ó FLEXIBLES, CONCRETO VS. ASFALTO, DILEMA EN INFRAESTRUCTURA DE VÍAS TERRESTRES

Definición

El pavimento por definición, es una estructura heterogénea de suelos y rocas naturales, que el ingeniero toma, procesa y transforma, para formar capas resistentes que en su conjunto, soporten cargas que le transmitirán los vehículos y sujetas a los agentes naturales de la región, durante toda su vida útil de servicio. Las diferencias que en este artículo se tratarán, se ubican en la capa superior que proporciona la superficie de rodamiento, esto es, concreto hidráulico ó mezcla asfáltica.

Situación Actual

Es un hecho que en el siglo XXI, México está inmerso dentro de la globalización mundial, siendo notorio el esfuerzo del Gobierno Federal actual, para que el país cuente con más y mejor infraestructura carretera, acorde al crecimiento explosivo por el número de vehículos que diariamente circulan, transportando carga y pasajeros en las redes de autopistas, de carreteras federales, y en muchos casos de algunas redes estatales, donde además de esos incrementos en Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA), influye mucho el alto porcentaje de vehículos pesados de carga, que transmiten esfuerzos en forma repetida, acelerando el deterioro del pavimento y acortando su vida útil. No deben olvidarse además, los efectos del cambio climático, por el calentamiento global producido en gran medida por los medios de transporte y sus emisiones a la atmósfera, efectos que impactarán directamente a las infraestructuras carreteras y a los puentes.

Premisa

Con base a las circunstancias mencionadas, las autoridades e ingenieros responsables de las vías terrestres en México, se preguntan a menudo qué tipo de pavimento es mejor, si el de concreto o el de asfalto, lo que da lugar a un dilema en el medio. Se parte de la premisa, de que un pavimento para carreteras ó aeropuertos, bien diseñado, construido adecuadamente, supervisado constantemente, de alta calidad y conservado a lo largo de su vida útil, se asegura en teoría, que ambas opciones, concreto o asfalto, son soluciones adecuadas y deberán comportarse, durar y dar servicio a los usuarios del transporte, en forma óptima y eficiente. Sin embargo en la realidad, se pueden presentar condiciones sui generis como las que se

CONTENIDO

PAVIMENTOS RÍGIDOS Ó FLEXIBLES, CONCRETO VS. ASFALTO, DILEMA EN INFRAESTRUCTURA DE VÍAS TERRESTRES	1
PROPIEDADES FÍSICAS DE MORTEROS FABRICADOS CON CINCO DIFERENTES MARCAS DE CEMENTO TIPO CPC 30R	5
GLOSARIO	14
PROYECTOS EN MARCHA	15
PUBLICACIÓN	16
EVENTOS ACADÉMICOS	17



Figura 1 y 2

Evaluación estructural con equipos dinámicos de impacto, para obtener deflexiones en pavimentos rígidos y flexibles

mencionan a continuación, donde la falla de uno o varios de los elementos de la premisa inicial junto con parámetros atípicos, dificultan o comprometen el criterio de selección y los resultados finales.

ReRecomendaciones

Se sugiere para una adecuada toma de decisiones, desde el inicio del proyecto, establecer 2 criterios de selección:

1.-**Estructural**: Capacidad estructural del pavimento (TDP y % vehículos pesados); Vida útil; Terreno natural de soporte; Materiales; Medio Ambiental; Agentes contaminantes (derrame combustibles, susceptibilidad a temperaturas extremas, etc.).

2.-**Costos**: Inversión (construcción, mantenimiento, operación); Rentabilidad (Costo/Beneficio); Limitaciones de construcción (Bancos de materiales); Uso/Operación; Seguridad; Confort y regularidad superficial.

Se estima que no existe una solución radical, terminante ó mágica, para establecer si el

pavimento de concreto es mejor que el asfáltico o viceversa. En opinión del suscrito y con base a experiencias tanto en infraestructura aeroportuaria como carretera, cada proyecto importante (autopistas, corredores troncales, etc.), debe tener una solución “a la medida”, esto es, en algunos casos el concreto funcionará mejor y en otros el asfalto, ó la combinación de ambos.



Figura 3

Vías terrestres modernas en el norte de México

a) Deberá considerarse como “costo de inversión” el de la construcción inicial, el del mantenimiento y los costos de operación de los usuarios, para tener un costo integral ó global y olvidarse de que por restricciones presupuestales, estas obras se asignen a la propuesta menor (costo inicial).

b) Es importante considerar para fines de decisión entre las opciones aquí tratadas: Volumen del tránsito proyectado; Porcentaje de vehículos pesados; Tipos de suelos en la región y efectos del cambio climático como inundaciones, erosión y temperaturas extremas.



Figura 4

Pavimento flexible en Autopistas mexicanas

c) Para el caso de aeropuertos, donde además de la canalización del tránsito que opera en pistas, rodajes y plataformas y por el derrame de combustibles y susceptibilidad a temperaturas extraordinarias, han funcionado bien los pavimentos mixtos tanto horizontal como verticalmente.

d) Para el caso de carreteras, se recomienda el uso de nuevas tecnologías en México, como las mezclas asfálticas de alto desempeño, ampliando su experimentación con tramos de prueba y validación confiable de laboratorio, en corredores troncales importantes.

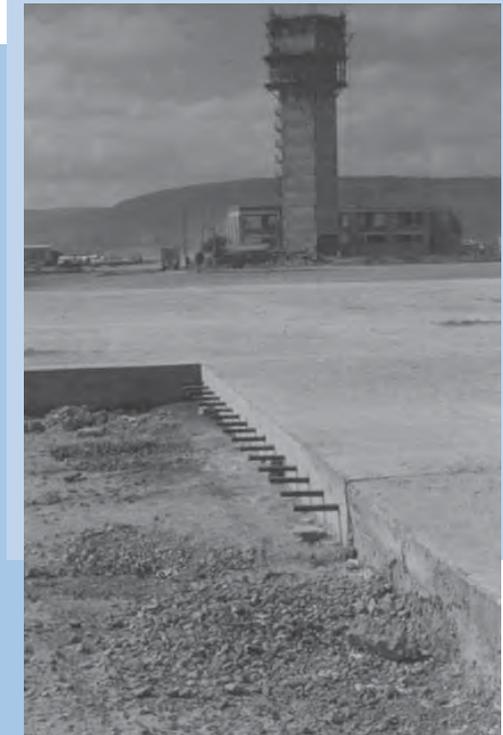


Figura 5

Verificación de pavimentos rígidos de concreto hidráulico en el Aeropuerto Internacional de Querétaro



Figura 6

Pruebas de laboratorio para medir deformación permanente en mezclas asfálticas

e) Debe prestarse especial atención, a las capas subyacentes en la estructura del pavimento, para un mejor comportamiento, duración y servicio de la superficie de rodamiento, resuélvase ser, concreto o asfalto.



Figura 7

Uso de pavimento de concreto hidráulico en túneles de concretos internacionales y Autopistas mexicanas



Figura 8

Prueba de laboratorio para determinar resistencia de pavimentos de concreto, a la compresión y flexión y su cumplimiento con normas SCT recientes

Conclusiones

- Es un hecho que no existe el pavimento eterno ó perfecto.
- Cada proyecto requiere de estudios serios que consideren los factores y parámetros descritos, antes de tomar la decisión definitiva, para obtener el “traje a la medida”.
- En algunos casos, un solo factor, o varios de ellos en conjunto, pueden ser determinantes para el proyecto y construcción definitivos. No olvidar los efectos del cambio climático.
- Existe la alternativa de combinar ambos tipos de pavimentos, en forma horizontal o vertical, casos que en obras aeroportuarias, han funcionado adecuadamente.
- Es importante en todos los proyectos, la consideración del “costo integral”, tanto en los pavimentos rígidos como en los flexibles, para una mejor decisión, proporcionando desempeño y servicios óptimos en la vía terrestre.
- Las obras de infraestructura en cualquier país, siempre son de gran envergadura y representan el motor principal de su economía, por lo que se recomienda a los especialistas en vías terrestres, mucha responsabilidad y realización de buenos proyectos, completos y con miras a la excelencia, tanto en la construcción, como en la supervisión y el mantenimiento de tales obras, sean de asfalto o de concreto hidráulico.

Bibliografía

- Revista IMCYC No. 186. R. Téllez G. Instituto Mexicano del Cemento y Concreto.
- Asphalt Institute. Manual No. 1 MS-I, Thicknes Design, U.S.A.
- Protocolo para el diseño de mezclas asfálticas de granulometría densa de alto desempeño. Protocolo AMAAC. 2011

TÉLLEZ Rodolfo
rtellez@imt.mx

Instituto Mexicano del Transporte

PROPIEDADES FÍSICAS DE MORTEROS FABRICADOS CON CINCO DIFERENTES MARCAS DE CEMENTO TIPO CPC 30R

Introducción

El conocimiento de las propiedades físicas y químicas de los materiales que se utilizan en la construcción podrá apoyar a los ingenieros/arquitectos diseñadores en su selección. Uno de estos materiales es el cemento o aglutinantes que funcionará para varios de los conceptos de obra, especialmente en la fabricación de los concretos que serán utilizados en la estructura de la edificación o en los morteros para unir piezas prefabricadas en muros (ejemplo bloque hueco, tabicón, ladrillo, etc.) y en aplanados y recubrimientos.

Anteriormente los cementos estaban clasificados de acuerdo a las normas mexicanas NMX-C-001, NMX-C-002 y NMX-C-175, que a su vez se basan en la norma ASTM C-150, como se muestra en la Tabla 1. A partir del año 2004 la normativa mexicana cambió para clasificar a los tipos de

cemento mexicanos, apareciendo una nueva nomenclatura como se indica en la Tabla 2. Cabe destacar que esta nomenclatura sólo se utiliza en México, y a nivel mundial la nomenclatura sigue conservando los números romanos que utiliza la ASTM.

Antes de la aparición de esta norma mexicana los diseñadores y constructores estaban acostumbrados a la utilización del cemento Tipo I, que ahora la nueva normativa denomina CPO. Este tipo de cemento era utilizado indistintamente en firmes, pisos, castillos, cadenas, mortero de albañilería y elementos estructurales (zapatas, columnas, traveses y losas) comunes con resistencias de entre 15 a 30 MPa. El constructor estaba acostumbrado a solicitar a su proveedor la cantidad de cemento, en sacos o a granel, sin percatarse de la aplicación que se lograría con este cemento Tipo I.

Tabla 1
Comparativa del cemento por su desempeño con otras normas [NMX-C-414-ONNCCE-2004]

NMX-C-414-ONNCCE (Vigente)	NMX-C-001 (Cancelada) NORMA ASTM C-150
CPO 30, CPO 30R, CPC 30 y CPC 30R	Tipo I (Portland Normal)
Cualquier cemento que cumpla con la característica especial BCH y RS	Tipo II (Portland Moderada resistencia a los sulfatos)
CPO 40, CPO 40R y CPC 40R	Tipo III (Portland Fraguado rápido, alta resistencia inicial)
Cualquier cemento que cumpla con la característica especial BCH	Tipo IV (Portland Bajo calor de Hidratación)
Cualquier cemento que cumpla con la característica especial RS	Tipo V (Portland Alta resistencia a los sulfatos)
CPO ó CPC que cumpla con la característica especial B	Blanco
Cualquier cemento que cumpla con la característica especial BRA	Especial, bajo álcali Todos los tipos

Tabla 2
Clasificación de los Cementos
[NMX-C-414-ONNCCE-2004]

Tipo	Denominación	Clase Resistente	Características Especiales
CPO	Cemento Portland Ordinario	20	RS Resistente a los sulfatos
CPP	Cemento Portland Puzolánico	30	BRA Baja Reactividad Álcali agregado
CPEG	Cemento Portland con Escoria Granulada de Alto Horno	30 R (R = resistencia rápida)	BCH Bajo calor de Hidratación
CPC	Cemento Portland Compuesto	40	B Blanco
CPS	Cemento Portland con Humo de Sílice	40 R	-
CEG	Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno	-	-

Constructores con mayor conocimiento y experiencia en la tecnología del concreto, solicitaban el tipo de cemento en función de su aplicación. Así como el caso de cemento Tipo I para actividades de albañilería comunes (mampostería, firmes, morteros, aplanados, colocación de pisos, etc.); cemento Tipo III para la fabricación de concretos de fraguado rápido en donde se necesitaba rapidez en la construcción de elementos estructurales de concreto; cemento tipo IV en la construcción de elementos de concreto de gran volumen y así evitar grietas por retracción y/o cambio de temperatura en el mismo elemento masivo de concreto; cemento tipo V para estructuras que estarían en contacto con una fuente contaminada por sulfatos.

Con la nueva clasificación de los cementos en México se pierde aún más el cuidado de la selección de los cementos para una correcta aplicación. Si se hiciera un examen de conciencia, y se revisara con detenimiento el contenido de esta nueva norma, se percataría

que no se definen de una manera correcta los compuestos principales que todo ingeniero/ arquitecto debe buscar para seleccionar el cemento a utilizar. Estos compuestos están listados en la Tabla 3 y son los que proporcionan las características finales, físicas y químicas, del cemento hidratado.

Tabla 3
Componentes principales del cemento
[Mindess and Young, 1981]

Nombre	Composición	Abreviatura
Silicato tricálcico	$3CaO.SiO_2$	C ₃ S
Silicato dicálcico	$2CaO.SiO_2$	C ₂ S
Aluminato tricálcico	$3CaO.SiO_3$	C ₃ A
Aluminoferrito tetracálcico	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C ₄ AF

Revisando la normativa anterior, la cual se basaba de la normativa ASTM (C-150),

Tabla 4
Valores típicos de los compuestos de los diferentes tipos del cemento
 [Instituto del Concreto, 1997]

Cemento	Composición química en %			
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Portland				
Tipo I	48	27	12	8
Tipo II	40	35	5	13
Tipo III	62	13	9	8
Tipo IV	25	50	5	12
Tipo V	38	37	4	9

Tabla 5
Componentes de los cementos [NMX-C-414-ONNCCE-2004]

Tipo	Denominación	Componentes (% en masa)					
		Principales					
		Clínker Pórtland + yeso	Escoria granulada de alto horno	Materiales puzolánicos (2)	Humo de sílice	Caliza	Minoritarios (1)
CPO	Cemento Portland Ordinario	95-100	-	-	-	-	0-5
CPP	Cemento Portland Puzolánico	50-94	-	6-50	-	-	0-5
CPEG	Cemento Portland con Escoria Granulada de Alto Horno	40-94	6-60	-	-	-	0-5
CPC	Cemento Portland Compuesto (3)	50-94	6-35	6-35	1-10	6-35	0-5
CPS	Cemento Portland con Humo de Sílice	90-99	-	-	1-10	-	0-5
CEG	Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno	20-39	61-80	-	-	-	0-5

(1) Los componentes minoritarios deben ser uno o más de los componentes principales representados en la tabla.

(2) Los materiales puzolánicos incluyen: puzolanas naturales, artificiales y/o cenizas volantes.

(3) El Cemento Portland Compuesto debe llevar como mínimo dos componentes principales, excepto cuando se adicione caliza, ya que ésta puede ser en forma individual o en conjunto con Clínker + yeso.

las cantidades que deberían llevar estos compuestos en el producto final, ayudaban a controlar su designación como lo demuestra la Tabla 4. Es de notarse que la normativa anterior restringía mucho los requerimientos de composición a un solo número y no a un rango, dando así un estricto control de calidad a las cementeras para fabricar sus productos.

Como puede observarse, se cambia por completo la manera de definir la composición de los cementos en función de las fases del mismo, dejando más abierta la posibilidad de utilizar otros productos que pudieran, o no, cumplir con las aplicaciones que los diseñadores y/o constructores buscan en la selección de los cementos a utilizar. Es interesante observar que es tolerable en esta normativa utilizar un rango muy abierto de los porcentajes de cada componente a utilizarse en la fabricación de los nuevos cementos mexicanos.

También es confusa la definición, en esta tabla, del componente Clinker Portland al no definirse las fases que debe de contener este Clinker, es decir, cuánto debe de contener de C3S, C2S, C3A y C4AF. Con esta falta de definición podrían utilizarse cualquier concentración de cada fase y seguir llamándose Clinker Portland.

Debajo de la Tabla 5 se definen, de una manera muy general, los componentes adicionales al Clinker Portland, pero de nuevo la composición de cada uno de ellos se deja a la entera libertad del fabricante de seleccionar cualquier componente sin un control de las propiedades físicas y químicas de éstos. Por ejemplo, existen diversas puzolanas naturales o artificiales y no se definen los componentes que estas adiciones naturales deben de cumplir para que se consideren adecuadas para incluirse en el producto final que se nombrará CPP o cemento puzolánico.

Esta ambigüedad en la clasificación de los cementos de esta nueva normativa mexicana ha generado el interés en la realización de trabajos experimentales con estos cementos para comprobar su comportamiento mecánico, así como la durabilidad de los morteros y/o concretos que se fabrican con estas nuevas composiciones de los cementos mexicanos.

Es por ello que este trabajo tiene como objetivo principal el mostrar los resultados experimentales obtenidos con probetas de mortero y concreto, variando el tipo de cemento y la marca de éstos, y poder verificar si cumplen con los resultados solicitados con sus nuevas designaciones y aplicaciones.

Fabricación de los cubos de mortero

Para conocer el comportamiento de los morteros fabricados con cementos de la nueva designación mexicana se prepararon cubos de mortero de dimensión estándar (5x5x5 cm) utilizando arena graduada (granulometría estándar según ASTM C-33) y cemento Tipo CPC 30R de cinco diferentes fabricantes, que de acuerdo a la Tabla 1 corresponde a un cemento ASTM tipo I. De ahora en adelante se definirán las marcas de cemento para estos morteros por un número del 1 al 5 (cinco fueron las marcas evaluadas).

Para esta investigación, las mezclas se fabricaron con una proporción de 1 parte de cemento por 2,78 partes de arena normalizada por peso y se mantuvo constante para las cinco mezclas fabricadas. Al ser los especímenes de esta investigación de mortero, se definió que, en lugar de mantener la relación agua/cemento (a/c) constante, fuera la fluidez del mortero el parámetro a manejar como constante.

De esta manera se estimó la relación a/c por el procedimiento ASTM C-230 en donde se varía el agua de la mezcla, manteniendo la cantidad

de cemento y arena constante, hasta obtener una fluidez en la mezcla de mortero de 110 ± 5 %. En la Tabla 6 se presentan los valores de la relación a/c encontradas para que las cinco mezclas estudiadas posean la misma fluidez.

Tabla 6
Valores de la relación a/c para obtenerse la misma fluidez de 110 ± 5 % en los morteros fabricados

Mezcla	Relación a/c
Cem1	0,66
Cem2	0,68
Cem3	0,68
Cem4	0,71
Cem5	0,66

Como se puede observar de los valores de la Tabla 6, el rango de variación entre la relación a/c mayor y la menor es de cinco centésimas, por lo que las mezclas no deberían mostrar cambios significativos en sus resistencias a la compresión, la cual es considerada inversamente proporcional a la relación a/c siguiendo al Ley de Abrahams [X]. Aun así se compararán los resultados de las propiedades físicas considerando estas pequeñas variaciones de la relación a/c como sigue: $Cem1=Cem5 < Cem2=Cem3 < Cem4$.

Propiedades físicas

Las pruebas físicas utilizadas para caracterizar a estos morteros fueron cuatro: porcentaje total de vacíos, resistividad eléctrica, velocidad de pulso ultrasónico y resistencia a la compresión, siendo éste el orden de realización de estas pruebas en cada cubo de mortero fabricado. Las pruebas físicas realizadas tuvieron que ser efectuadas a edades mayores a las típicas de 28 días después de fabricación de los cubos, conociendo que el CPC puede presentar un proceso muy lento de hidratación al colocarse en éste componentes a base de escoria granulada de alto horno, materia puzolánica, humo de sílice y hasta caliza

(de acuerdo con los componentes de los cementos CPC que aparecen en la Tabla 5). A continuación se describen las pruebas físicas realizadas con sus procedimientos.

Porcentaje total de vacíos

Esta prueba consiste en conocer el porcentaje total de los vacíos en el interior de cada mezcla de mortero fabricada. Esta relación se determina a partir de la condición saturada, seca y saturada sumergida de los cubos de mortero usados. El procedimiento de esta prueba fue el siguiente: la saturación de los cubos se obtuvo sumergiéndolos en agua durante el tiempo suficiente para que su peso húmedo fuera constante; se continuó con el peso saturado y sumergido en agua, utilizando una mesa de pesaje hidrostático; por último los cubos fueron colocados en un horno a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta alcanzar peso constante. El porcentaje total de vacíos se expresa en % y se calcula con la siguiente fórmula: $\% \text{ total vacíos} = \frac{WSAT - WSEC}{WSAT - WSUM} \times 100$, en donde WSAT es el peso saturado superficialmente seco, WSEC es el peso seco y WSUM es el peso saturado superficialmente seco y sumergido en agua. Los resultados son presentados en la Figura 1.

Estos valores son promedio de tres cubos por tipo de cemento y por tiempo de prueba. Es claro observar de esta figura que la hidratación es lenta, al obtenerse valores de % de vacíos a edades tempranas (<90 días) un 50% mayores (en promedio) que los valores obtenidos a edades arriba de 90 días. Al final, todos los morteros alcanzan valores de % de vacíos de un 15%, a diferencia del Cem2 y Cem4 que alcanzan un 20% de vacíos, siendo que deben de alcanzarse valores similares al ser cementos del mismo tipo. El posible efecto de la variación en la relación a/c entre mezclas ($Cem1=Cem5 < Cem2=Cem3 < Cem4$), explicada en el inciso anterior, no muestra haber afectado en el valor del porcentaje total de vacíos.

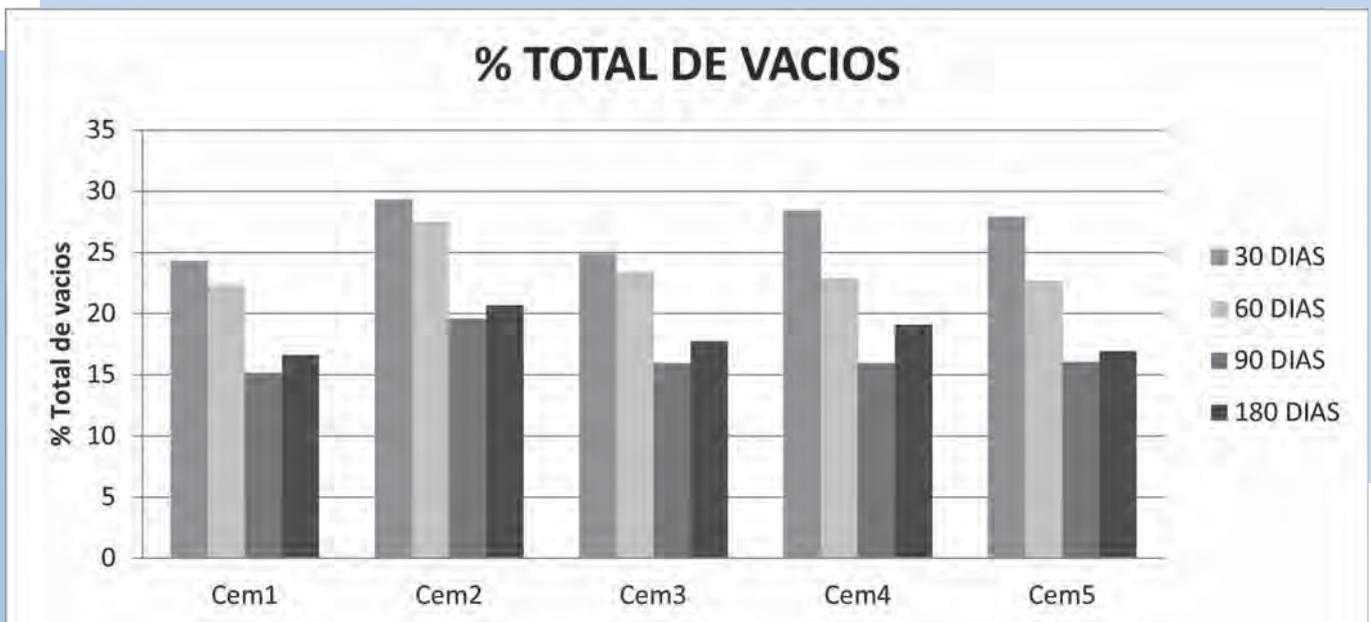


Figura 1
Valores promedio obtenidos de porcentaje total de vacíos para las cinco marcas de cemento CPC 30R estudiados

Resistencia eléctrica

La Resistividad Eléctrica es una propiedad de cada material (corresponde al recíproco de su conductividad eléctrica) y proporciona una medida de la porosidad y la conectividad de estos poros en el interior del propio material. Depende en gran proporción del grado de saturación de los poros del hormigón y en menor grado de la hidratación de la pasta y de la presencia de sales disueltas o iones en la fase acuosa. Este valor es función de variables tales como el tipo de cemento, las adiciones inorgánicas, la relación agua/cemento, la porosidad de la estructura, la humedad interna del material, su grado de contaminación por iones u otro agente conductor iónico, entre otras.

El procedimiento que se siguió fue el siguiente: Se toman las dimensiones de la muestra (largo, ancho y espesor); se monta la probeta entre dos placas metálicas (de preferencia de acero inoxidable o de bronce); entre las placas metálicas y la probeta se colocan esponjas

mojadas para que las placas metálicas tengan continuidad con las caras de las probetas; se garantiza la conexión del equipo de medición que en este caso fue un resistómetro marca Nilsson, modelo 440, que mide resistividad en suelos; se mide la resistencia eléctrica entre las dos placas metálicas que corresponde a la resistencia al paso de iones de la muestra de mortero; la resistividad eléctrica se calcula con la fórmula $\rho = Re \cdot A / L$, en donde ρ es la resistividad eléctrica (en ohm-cm), Re es la resistencia eléctrica medida (en ohms), A es el área transversal de la probeta (en cm²), y L es la longitud de la probeta (en cm). La Figura 2 muestra los resultados obtenidos en esta investigación.

Los resultados obtenidos con esta prueba confirman que estos cementos siguen un proceso lento de hidratación, ya que el aumento de la resistividad eléctrica en un material poroso, significa que este material sigue formando sólidos y/o perdiendo interconectividad iónica entre los poros. Al final del periodo de evaluación (180 días) aparentemente todos los morteros llegan a

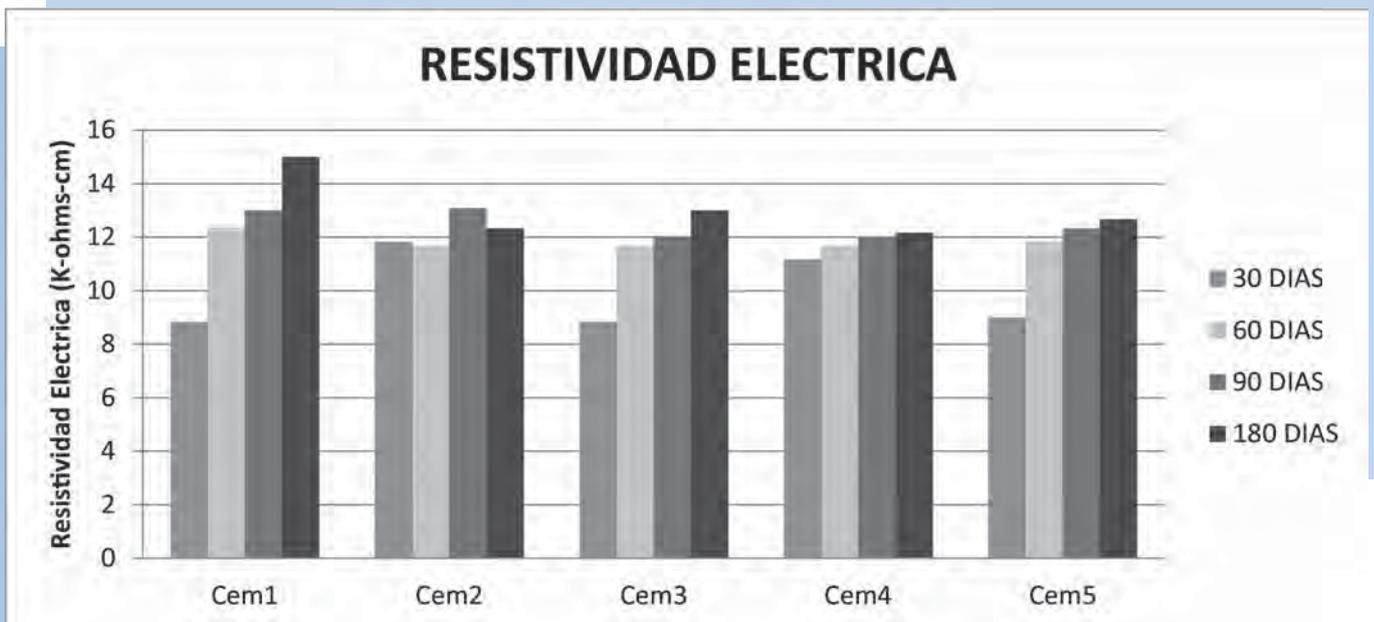


Figura 2
Valores promedio obtenidos de resistividad eléctrica para las cinco marcas de cemento CPC 30R estudiados

valores similares de resistividad (12 kOhms-cm) a diferencia del mortero fabricado con cemento Cem1 que alcanzó valores de 15 kOhms-cm.

De nuevo se corrobora que la variación en la relación a/c entre mezclas (Cem1=Cem5 < Cem2=Cem3 < Cem4) no afectó el resultado de la resistividad eléctrica obtenida.

Velocidad de Pulso Ultrasónico (VPU)

Este método determina la velocidad de propagación de pulsos de onda de esfuerzo longitudinal a través del concreto. Esta velocidad está relacionada con las propiedades elásticas del concreto y su densidad. Este método es aplicable para evaluar la calidad y homogeneidad (uniformidad relativa) del concreto, para indicar la presencia de vacíos o grietas y para evaluar la efectividad de las reparaciones a estas grietas. También es aplicable para indicar los cambios en las propiedades del concreto y en el estudio de las estructuras para estimar la severidad del deterioro o la formación de grietas.

El procedimiento que se siguió fue el siguiente: Se utilizó el equipo modelo E48 de la marca Controls, el cual mide el tiempo de llegada de la señal (sonido) desde el transductor emisor al transductor receptor; se calibra el equipo de velocidad de pulso con ultrasonido usando la barra de referencia; se aplica el agente de acoplamiento (alcohol en gel) a las caras de los transductores, o la superficie de ensayo de las probetas, o ambas; se presionan las caras de los transductores firmemente contra la superficie de concreto hasta que se muestre un valor de medición estable (tiempo de llegada de la señal); se registra ese valor y se determina la distancia en línea recta medida de centro a centro de las caras de los transductores; la VPU se determina utilizando la formula $VPU = \text{distancia} / \text{tiempo}$ y regularmente se presenta en km/seg. Los resultados de esta prueba se muestran en la Figura 3. De nuevo, los valores de esta figura son promedio de tres cubos por tipo de cemento y por edad.

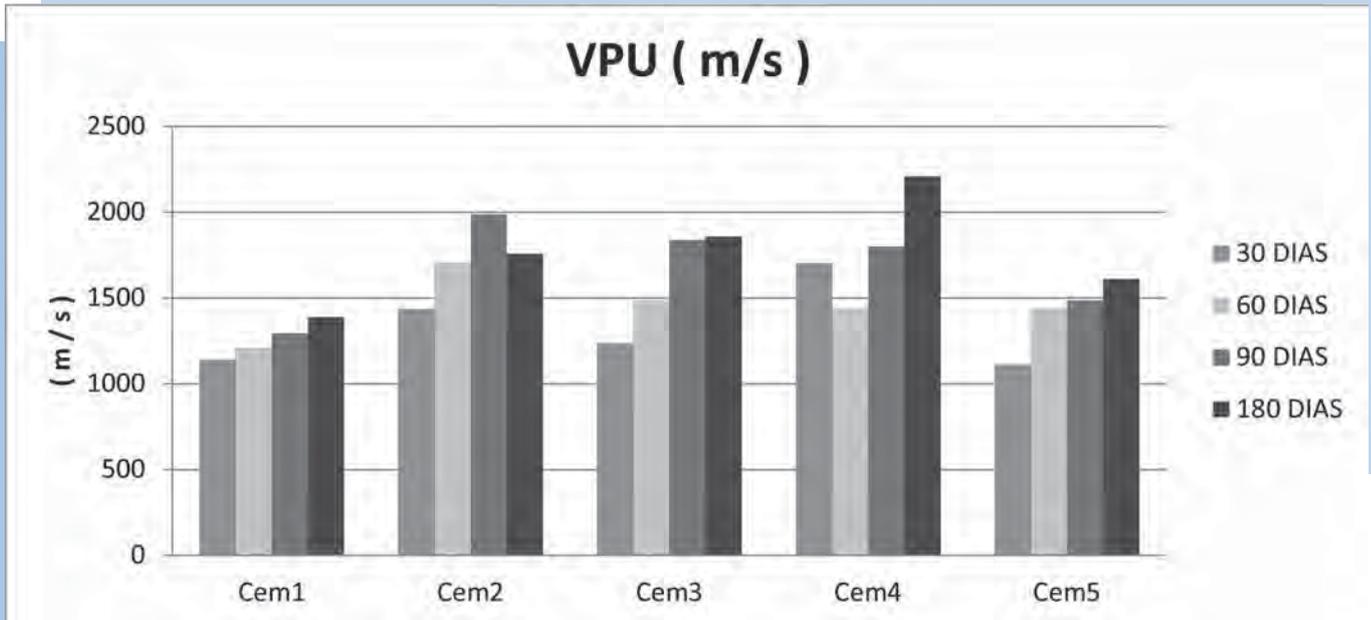


Figura 3
Valores promedio obtenidos de velocidad de pulso ultrasónico para las cinco marcas de cemento CPC 30R estudiados

Valores mayores de VPU implican, indirectamente, mayores sólidos y menor espacio vacío. El incremento paulatino de los valores promedio de VPU también confirma la disminución de vacíos en el interior de los cubos de mortero, apoyando la idea de un proceso lento de hidratación del material. Estos resultados muestran una variabilidad de consideración entre las mezclas fabricadas, presentando las mezclas Cem1 y Cem5 valores promedio entre 1 400 a 1 500 m/s en comparación con las otras tres mezclas cuyos valores oscilaron entre 1 500 y 2 300 m/s. De nuevo se corrobora que la variación en la relación a/c entre mezclas (Cem1=Cem5 < Cem2=Cem3 < Cem4) no afectó el resultados de la VPU obtenida.

Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión de un material es la propiedad mecánica por excelencia para determinar su calidad y en morteros se utiliza también para determinar la progresión del endurecimiento de la pasta de cemento en

el tiempo. La normativa mundial utiliza esta prueba en morteros y concretos para rechazar y/o aceptar una mezcla de diseño en base al comportamiento mecánico del mismo.

La máquina universal utilizada para el ensayo en compresión de los cubos fue una maquina marca CONTROLS, modelo 70-C0019-Z, con una capacidad máxima de fuerza a compresión de 1000 kN y equipada con un módulo electrónico de adquisición de datos. Las pruebas se realizaron a las edades de 30, 60, 90 y 180 días contados a partir del día en que fueron elaborados los cubos de mortero. Éstos se ensayaron en condición saturada. Los resultados de esta prueba se muestran en la Figura 4.

Los resultados, corroboran de nueva cuenta, los tiempos prolongados de hidratación del cemento, inclusive a edades mayores de 90 días. Los resultados de esta prueba demuestran, de nuevo, la gran variabilidad en el comportamiento de las mezclas endurecidas y que se podrían dividir en tres tipos según su

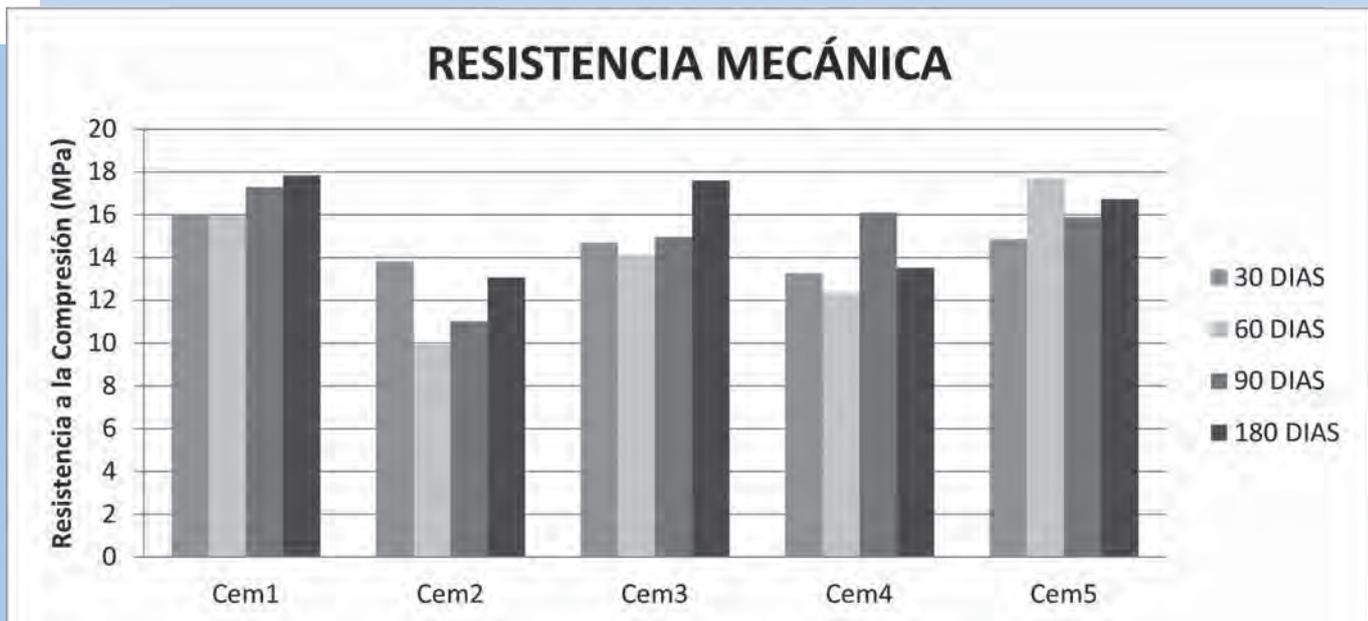


Figura 4
Valores promedio obtenidos de resistencia a la compresión para las cinco marcas de cemento CPC 30R estudiados.

resistencia a edades mayores (90 – 180 días): baja resistencia (Cem2 y Cem4) y resistencia normal (Cem1, Cem 3 y Cem5).

Comparando los resultados de esta prueba, a 180 días, y los valores de la relación a/c utilizados para la fabricación de las mezclas (Tabla 6) se podría generar una analogía en donde las mezclas que generaron resistencias a la compresión bajas fueron Cem2 (0,68) y Cem4 (0,71) y las mezclas con resistencia normal fueron fabricadas con Cem1 (0,66), Cem3 (0,68) y Cem5 (0,66). Pero es importante mencionar que a edades más tempranas (<90 días) esta relación entre a/c y resistencia a la compresión es incierta.

Conclusiones

En base a los resultados obtenidos en esta investigación en relación a las propiedades físicas de morteros fabricados con el mismo tipo de cemento (CPC 30R) pero de diferentes marcas, las siguientes conclusiones se presentan:

1. Aunque la presentación (saco) de cada marca utilizada enuncia que el contenido fue de un cemento tipo CPC 30R, se tuvo que variar la cantidad de agua para cada mezcla fabricada para así mantener la misma fluidez o trabajabilidad de los morteros estudiados.

2. Todos los resultados de las pruebas físicas muestran una variabilidad en los mismos en función del tiempo, y no se obtuvo un comportamiento estable hasta los 180 días que duró esta investigación. Esto demuestra que este tipo de cemento, sin importar la marca, continúa su hidratación a edades muy avanzadas y que afectaría este comportamiento la vida de servicio de este material.

3. Los resultados a edades tempranas mostraron una alta variabilidad entre marcas de cemento, sobre todo los resultados de VPU y resistencia a la compresión, aunque todos fueron del mismo tipo CPC 30R. Pero a edades por arriba de 90 días, los valores

de estas propiedades físicas aparentemente se estabilizan, dando así resultados con variaciones menores a las de edades tempranas pero aun así estas variaciones todavía son manifiestas.

Recomendaciones

Para evitar la dispersión en los resultados obtenidos en morteros, es necesario acotar de una manera más estricta las concentraciones de los elementos que conforman los diferentes tipos de cementos presentes en la nueva normativa mexicana. De preferencia el regresar a definir el tipo de cemento en función de las concentraciones de las fases más importantes de un cemento Clinker (C3S, C2S, C3A y C4AF) como en la normativa ASTM, pero definiendo rangos de concentración de cada fase un poco más

abiertos que los que maneja ASTM, para que no se incrementen los precios de producción. También se necesitaría acotar aún más los valores de las concentraciones de los otros componentes (escoria, puzolana, humo de sílice y caliza) en rangos más reducidos y no tan abiertos como se encuentran actualmente, para evitar así posibles desviaciones en las propiedades mecánicas de estos materiales. Por último es necesario continuar estudiando en este tema las posibles diferencias entre cementos y su efecto en las propiedades físicas de los concretos.

TORRES Andrés
atorres@imt.mx
URQUIZA Eduardo
morro_herbert@hotmail.com

GLOSARIO

Artículo 1:

Pavimento: Estructura heterogénea de suelos para formar varias capas resistentes, que en su conjunto, soportan cargas transmitidas por vehículos y enfrentan condiciones climáticas diferentes.

Rígido: Pavimento con capa superficial construida con concreto hidráulico, cemento portland.

Flexible: Pavimento con capa superficial construida con productos asfálticos, como riegos de sello y carpetas de mezclas de asfalto, agregados, tanto en frío como en caliente.

Artículo 2:

CPC: Cemento Portland Compuesto. Nueva designación mexicana a uno de los tipos de

cemento de acuerdo a la Norma NMX-C-414-ONNCCE-2004.

C2S: Designación corta de la fase del Clinker denominada silicato di cálcico.

C3S: Designación corta de la fase del Clinker denominada silicato tri cálcico.

C3A: Designación corta de la fase del Clinker denominada aluminato tri cálcico.

C4AF. Designación corta de la fase del Clinker denominada ferro aluminato tetra cálcico.

Cemento Portland: El cemento Portland forma parte de la familia de los llamados cementos hidráulicos, así conocidos porque fraguan y se endurecen una vez combinados con agua, o incluso estando debajo de ella. Está compuesto por Clinker y yeso.

Clinker: Compuesto que se forma tras calcinar caliza (carbonato de calcio) y arcilla (silicio, aluminio y fierro) a una temperatura que está entre 1350 y 1450 °C.

Resistividad eléctrica: Técnica no destructiva que mide es la resistencia eléctrica específica de un material. Se designa por la letra griega minúscula ρ (rho) y se mide en ohmios por metro ($\Omega \cdot m$) o kilo ohm por centímetro ($k\Omega \cdot cm$). Su valor describe el comportamiento de un material

frente al paso de corriente eléctrica, por lo que da una idea de lo buen o mal conductor que es.

Velocidad de pulso ultrasónico, VPU: Es una técnica no destructiva para evaluar la homogeneidad de los materiales y depende de la densidad y de las propiedades elásticas de dicho material. Se mide en términos de la velocidad que recorre una onda de sonido en el material. Su unidad es de velocidad: metros sobre segundo, m/s.

PROYECTO EN MARCHA

Proyectos de normalización para la infraestructura del transporte

La Coordinación de la Normativa para la Infraestructura del Transporte (CNIT) del IMT, trabajó en 5 proyectos de normalización de la Normativa SCT sobre temas relacionados con la infraestructura carretera, en un total de 101 productos terminados, de los cuales 46 fueron anteproyectos preliminares, 23 anteproyectos finales, 16 proyectos preliminares y 16 proyectos finales. 80 de estos productos fueron elaborados fuera de programa, a fin de atender solicitudes urgentes de la SCT. Finalmente, 16 normas fueron aprobadas por la Comisión de Normas, Especificaciones y Precios Unitarios de la SCT en diciembre de 2011, cuatro de ellas como nuevas normas:

•N•CTR•CAR•1•08•007, Tritubos para Fibra Óptica en el Acotamiento de Carreteras Nuevas.

•N•CTR•CAR•1•08•008, Registros para Tritubos para Fibra Óptica en Carreteras Nuevas.

•N•CSV•CAR•6•01•007, Tritubos para Fibra Óptica en el Acotamiento de Carreteras en Operación.

•N•CSV•CAR•6•01•008, Registros para Tritubos para Fibra Óptica de Carreteras en Operación.

Estas Normas permitirán contar con los criterios para la instalación de los tritubos para el tendido de fibra óptica en el acotamiento de las carreteras nuevas, así como de sus registros, y la instalación de los tritubos y registros en el caso de carreteras en operación.

Asimismo, se aprobaron las siguientes doce actualizaciones de normas correspondientes a los Títulos 01 y 04 sobre terracerías y pavimentos, respectivamente, del Libro CTR. Construcción, y a la Parte 4 relativa a pavimentos, del Libro CMT. Características de los Materiales.

•N•CTR•CAR•1•01•001, Desmonte

•N•CTR•CAR•1•01•002, Despalme

•N•CTR•CAR•1•01•003, Cortes

•N•CTR•CAR•1•01•004, Escalones de Liga

•N•CTR•CAR•1•01•005, Excavación para Canales

- N•CTR•CAR•1•01•007, Excavación para Estructuras
- N•CTR•CAR•1•01•009, Terraplenes
- N•CTR•CAR•1•01•010, Terraplenes Reforzados
- N•CTR•CAR•1•01•011, Rellenos
- N•CTR•CAR•1•04•002, Subbases y Bases
- N•CMT•4•02•001, Materiales para Subbases
- N•CMT•4•02•002, Materiales para Bases Hidráulicas

Cabe recordar que estas normas, al igual que todas las normas y manuales que integran la Normativa SCT, están disponibles en la página web <http://normas.imt.mx>, para su consulta, impresión o grabado en archivos PDF, de manera gratuita. Dicha página también está disponible al ingresar al sitio del IMT, www.imt.mx, y pulsar el botón Normativa SCT, o bien, en el siguiente sitio de la SCT: <http://www.sct.gob.mx/informacion-general/normatividad/infraestructura/>.

Otros proyectos de normalización

La CNIT participó en los trabajos de elaboración de normas oficiales mexicanas y normas mexicanas en diversos comités consultivos nacionales de normalización, subcomités y grupos de trabajo, y representó a la SCT y al IMT ante organismos como la Entidad Mexicana de Acreditación (ema) y la Comisión Nacional de Normalización (CNN), entre otros, asistiendo a 47 reuniones en el año.

Dentro del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Transporte Terrestre, la CNIT coordinó el Subcomité No. 4 de Señalamiento Vial y el Grupo de Trabajo 1; ambos trabajaron en la modificación de la norma oficial mexicana NOM-034 sobre señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas, misma que se publicó en su versión definitiva

el 16 de noviembre de 2011, en el Diario Oficial de la Federación (DOF). Esta NOM actualiza algunos criterios de señalamiento como la eliminación del uso de la raya separadora de sentidos de circulación continua doble en carreteras y vialidades urbanas y se restringe su utilización sólo para carriles de uso exclusivo en contrasentido; incorpora y estandariza los reductores de velocidad (topes); cambia la forma y color de la señal preventiva SP-33 “Escolares” con el propósito de que el conductor la perciba más fácilmente y tome las medidas necesarias; simplifica el señalamiento horizontal para ciclovías, haciéndolo concordante con el establecido para carreteras y vialidades, y se mejora la marca de bicicleta para identificar ciclovías, con un diseño más simple y legible; incorpora la utilización de elementos de sujeción engargolados para señales bajas con ceja perimetral doblada, que eviten dañar el galvanizado si en su lugar fuesen soldados; e incluye un apéndice que orienta la utilización y disposición del señalamiento horizontal y vertical en los cruces a nivel de carreteras y vialidades con vías férreas. Asimismo, se trabajó en el proyecto de la NOM-037 sobre barreras de protección en carreteras y vialidades urbanas, publicado en el DOF el 26 de enero de 2012, para su consulta pública durante 60 días, cuyo objeto es establecer los criterios generales que habrán de considerarse para diseñar y colocar estas barreras en las carreteras y vialidades urbanas de jurisdicción federal, estatal y municipal, así como establecer la designación, definición y utilización de los diversos elementos que conforman dichas barreras. Finalmente, se trabajó también en la revisión de la NOM-086, sobre señalamiento y dispositivos para protección en zonas de obras viales, publicada en abril de 2008, a fin de determinar si se requiere o no modificar su contenido.

BONILLA Hector
hbonilla@imt.mx

PUBLICACIÓN

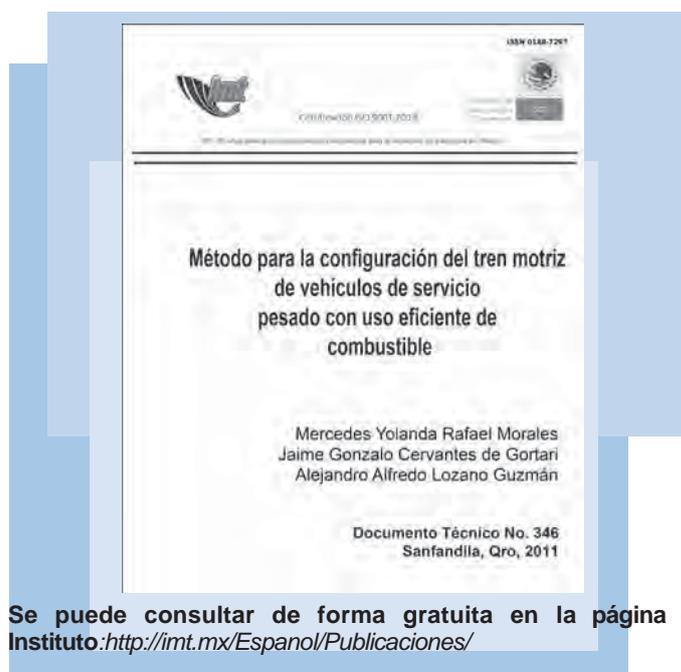
Método para la configuración del tren motriz de vehículos de servicio pesado con uso eficiente de combustible

El autotransporte en México, especialmente el de servicio pesado, presenta un consumo elevado de combustible ocasionado principalmente por el desempeño ineficiente del tren motriz de los vehículos de servicio pesado –VSP-. La selección del tren motriz de los VSP es una tarea compleja debido a que todos los elementos están relacionados, ocasionando que la selección resulte en un proceso que requiere gran cantidad de tiempo.

La **PUBLICACIÓN TÉCNICA 346** presenta un procedimiento sistemático de selección y análisis, rápido y confiable para configurar el tren motriz con uso eficiente del combustible y lograr un desempeño óptimo de los VSP. El método considera la ruta a transitar, la altitud máxima sobre el nivel de mar, la máxima pendiente de ascenso, la capacidad de carga del vehículo y el consumo de combustible. Considerando estas variables, el método ubica el régimen del motor con uso eficiente del combustible y establece las capacidades de arranque y ascenso en pendientes con una velocidad aceptable.

El método, al considerar las prácticas y necesidades de la empresa de transporte, optimiza la utilización de cada componente del tren motriz, prolongando su vida útil y logrando ahorros substanciales de combustible y una disminución de las emisiones contaminantes al medio ambiente.

En uno de los capítulos de la publicación se presenta la aplicación del método de análisis del tren motriz, en donde se muestran las evaluaciones realizadas a vehículos de diferentes empresas de transporte. Los recorridos de prueba



Se puede consultar de forma gratuita en la página del Instituto: <http://imt.mx/Espanol/Publicaciones/>

se hicieron en las rutas que normalmente realizan durante su operación, y se evaluó el desempeño del vehículo considerando el uso eficiente del combustible.

Los resultados obtenidos con el método se presentan en forma de gráficas, acompañadas de un listado de las características del vehículo y del tren motriz seleccionado. Las gráficas incluyen el diagrama de velocidades con el patrón de cambios de la transmisión dentro de la zona de mínimo consumo de combustible y la gráfica de máxima capacidad de ascenso. Se exponen también, los resultados comparativos del consumo de combustible de los VSP equipados con y sin un tren motriz óptimo, con objeto de ilustrar el potencial de ahorro en litros de combustible y en costos.

EVENTOS ACADÉMICOS

Seguridad en carreteras: El proyecto geométrico de carreteras con énfasis en la seguridad vial

Considerando la necesidad de preparar recursos humanos que se apliquen adecuadamente en las labores de mejoramiento de la seguridad carretera del 4 al 8 de julio de 2011 se impartió este curso en las instalaciones del IMT en Coordinación con destacados expertos en la materia.

El objetivo del curso fue proporcionar las técnicas, metodologías, normatividad y buenas prácticas necesarias para fortalecer la experiencia de ingenieros dedicados al diseño geométrico de carreteras, conceptualizando los elementos de seguridad vial que intervienen en los proyectos carreteros, reconociendo los alcances y ventajas de integrar tales elementos de seguridad vial al diseño geométrico, así como la aplicación de varios conceptos de diseño a realizarse con el programa CLIP.

Estuvo dirigido a profesionales que centran su actividad en el diseño, construcción y conservación de carreteras y vialidades y todos aquellos con inquietud de conocer los conceptos e interrelaciones entre los aspectos de diseño geométrico funcional y seguro.

El curso tuvo una duración de 36 horas, con una asistencia de 30 participantes procedentes de los Centros SCT de San Luis Potosí, Campeche, Hidalgo; Guanajuato, Nuevo León, Guerrero, Querétaro, Puebla y Colima. De la Dirección General de Carreteras-SCT, CAPUFE, Consejo Nacional de Prevención de Accidentes-SSA, Gobierno Estado de Chiapas y Guanajuato; de las empresas Jipa Construcciones, S.A de C.V., Diase

Construcciones, S.A. de C.V., José María Soto Valles, Latitud 19 Topografía y Proyectos S.A. de C.V. y Proyecto y Construcción Aura, S.A. de C.V.

El Ing. Miguel Vallés Ruiz, Tool S.A. España, y el Dr. Alberto Mendoza Díaz del IMT. Alguna de la temática impartida fue:

- Consideraciones generales de la seguridad vial.
- El terreno, modelos, ortofotos, toma datos, trabajos de gabinete, cartografía.
- Geometría en planta. Definición de herramientas, criterios de diseño y restitución.
- Sección transversal. análisis y criterios, funcionalidad y seguridad, tipos de secciones.
- Diseño de enlaces. Criterios de diseño, metodología y la seguridad en el diseño de glorietas.
- Uso del programa CLIP. Diseño planta y perfil, criterios de diseño con la funcionalidad, seguridad, medioambiente y costo.
- Análisis del movimiento de tierras. Fases de ejecución, control del movimiento de tierras para seguimiento de la obra.
- Proyectos de ensanche y mejora de vías existentes. trazo y restitución.
- Criterios de presentación de planos De diseño geométrico según su funcionalidad.

DIRECTORIO

Ing. Roberto Aguerrebere Salido
Director General
 (442) 2 16 97 77 ext. 2001
 roberto.aguerrebere@imt.mx

Ing. Jorge Armendariz Jiménez
Coordinador de Administración y Finanzas
 (442) 2 16 97 77 ext. 3057
 jorge.armendariz@imt.mx

Ing. Alfonso Mauricio Elizondo Ramírez
Coordinador de Normativa para la Infraestructura del Transporte
 (55) 52 65 36 00 ext. 4314
 alfonso.elizondo@imt.mx

M. en E. Victor Manuel Islas Rivera
Coordinador de Economía de los Transportes y Desarrollo Regional
 (442) 216 97 77 ext. 2018
 victor.islas@imt.mx

Dr. Carlos Daniel Martner Peyrelongue
Coordinador de Integración del Transporte
 (442) 216 97 77 ext. 2007 martner@imt.mx

Dr. Miguel Martínez Madrid
Coordinador de Ingeniería Vehicular e Integridad Estructural
 (442) 216 97 77 ext. 2010
 miguel.martinez@imt.mx

Dr. Alberto Mendoza Díaz
Coordinador de Seguridad y Operación del Transporte
 (442) 216 97 77 ext. 2014
 alberto.mendoza@imt.mx

M. en C. Tristán Ruíz Lang
Coordinador de Ingeniería Portuaria y Sistemas Geoespaciales
 (442) 216 97 77 ext. 2005
 tristan.ruiz@imt.mx

M. en C. Rodolfo Téllez Gutiérrez
Coordinador de Infraestructura
 (442) 216 97 77 ext. 2016
 rodolfo.tellez@imt.mx

El diseño y elaboración de la presente publicación es realizada y está a cargo de:

M. en D.G. Alejandra Gutiérrez Soria
 (442) 216 97 77 ext. 2056 agutierrez@imt.mx

INFORMACIÓN Y CONTACTOS**CURSOS INTERNACIONALES IMT**

El Instituto Mexicano del Transporte (IMT), a través de su Unidad de Servicios Académicos, hace una cordial invitación a los profesionales interesados en participar en los cursos que ofrece dentro del programa de capacitación IMT; el cual se publica en la página web:

<http://imt.mx/Espanol/Capacitacion/>

PUBLICACIONES, BOLETINES Y NORMAS

En dicha página web pueden consultarse sus publicaciones completas, los boletines externos "NOTAS" anteriores y las nuevas normas técnicas, ingresando a los enlaces siguientes:

<http://imt.mx/Espanol/Publicaciones/>

<http://boletin.imt.mx/>

<http://normas.imt.mx/>

INFORMES:

Tels: (442) 216 97 77, 216 97 44
 216 96 57 ext. 2034 y 2031

Fax: 216 97 77 ext. 3037

Correo: publicaciones@imt.mx

Electrónico: capacitacion@imt.mx

Para cualquier comentario o sugerencia con respecto, a esta publicación o ejemplares pasados, nos podrá contactar en: notas@imt.mx

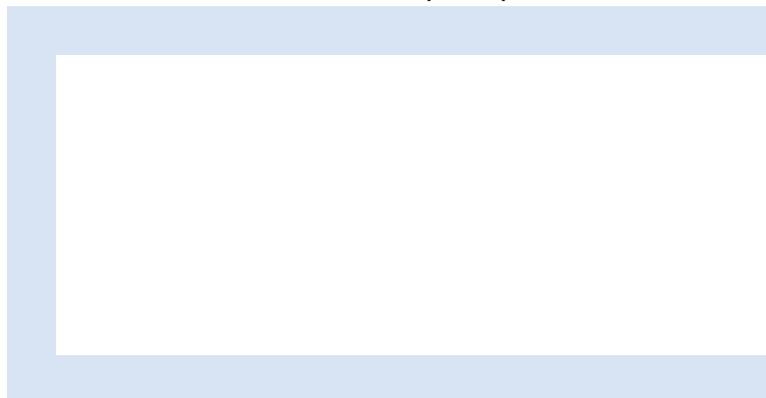
El contenido de los artículos aquí publicados es responsabilidad exclusiva de sus autores; por tanto, no refleja necesariamente el punto de vista del Instituto Mexicano del Transporte.

Se autoriza la reproducción parcial o total de los artículos contenidos en este ejemplar, siempre y cuando sean citados como fuente los nombres de autor (es), título del artículo, número y fecha de este boletín.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
APARTADO POSTAL 1098
76000 QUERÉTARO, QRO
MÉXICO

Registro Postal
Cartas
CA22-0005
Autorizado por Sepomex



POR AVIÓN
AIR MAIL