SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

NOTAS

Publicación bimestral de divulgación externa *Número 143* *Sanfandila, Qro.* *julio/agosto de 2013*

MONITOREO ESTRUCTURAL: UNA REALIDAD EN MÉXICO

Introducción

La civiónica es una disciplina emergente que combina la ingeniería civil con la ingeniería electrónica, su principal campo de acción es la aplicación de la electrónica al monitoreo estructural de obras civiles. El monitoreo estructural tiene como principal objetivo verificar el comportamiento de una estructura de manera precisa y eficiente, ya sea in situ o en forma remota, para evaluar su desempeño bajo distintas condiciones de servicio, para identificar daño o deterioro, y determinar así, su condición estructural. El proceso de monitoreo consiste en la medición de parámetros estructurales representativos de manera periódica o continua. Esta información se usa para diseñar y planear actividades de mantenimiento, incrementar la seguridad, verificar hipótesis de diseño y reducir incertidumbre concerniente a los sistemas estructurales.

El desarrollo de estructuras inteligentes y la conceptualización del área de monitoreo estructural en el campo de la ingeniería civil ha comenzado a ser más atractiva en las últimas décadas y está recibiendo una creciente atención en el mundo, tanto en el campo de la investigación académica como aplicada. Las ideas básicas en este campo han derivado de aplicaciones realizadas en el campo de la ingeniería aeronáutica, la ingeniería aeroespacial y de la industria automotriz, no obstante, la migración de estas ideas a la industria de la construcción ha requerido y, aún requiere, del desarrollo de tecnologías y aplicaciones específicas para el diseño de sistemas de monitoreo, adquisición de datos y análisis e interpretación de las mediciones, para la toma de decisiones [1].

Desde hace algunos años la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) han orientado esfuerzos para implementar nuevas estrategias en la gestión, administración y evaluación del inventario nacional de puentes. Algunas de las estrategias han ido encaminadas a la actualización y modernización del SIPUMEX y otras a la evaluación de la condición estructural de los puentes más importantes del país a través de la creación del centro de monitoreo de puentes y estructuras inteligentes (CMPEI), cuyos objetivos son, por una parte, garantizar la seguridad de los usuarios y de los puentes monitoreados, y por otra optimizar el uso de los recursos financieros destinados a la

CONTENIDO

MONITOREO ESTRUCTURAL: UNA REALIDAD EN MÉXICO 1

CAMBIO CLIMÁTICO: MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN EN LA INFRAESTRUCTURA CARRETERA 10

GLOSARIO 15

PROYECTOS EN MARCHA 16

PUBLICACIÓN 17

EVENTOS ACADÉMICOS 17

conservación de la infraestructura, a través de la detección de daño oportuno, la aplicación de mantenimiento preventivo y la extensión de la vida útil de la estructura.

Monitoreo estructural

Dependiendo del tipo de estructura, su condición y los requerimientos particulares de instrumentación, el monitoreo estructural puede ser desarrollado a corto plazo (unos cuantos días), mediano plazo (unas cuantas semanas), largo plazo (meses o años) o incluso, durante toda la vida útil de la estructura.

La herramienta de diagnóstico físico de los sistemas de monitoreo estructural es la integración completa de diversos dispositivos de detección y sistemas auxiliares, entre los que se encuentran:

- Sistema de Sensores
- Sistema de Adquisición de Datos
- Sistema de Procesamiento de Datos
- Sistema de Comunicación
- Sistemas de Detección de Daño y Modelado

Como se mencionó anteriormente, el monitoreo consiste en la medición de parámetros estructurales representativos de manera periódica o continua, los cuales dependen de múltiples factores, como el tipo y el propósito de la estructura, las cargas esperadas, los materiales de construcción, las condiciones ambientales y el fenómeno de degradación esperado. Por lo general, estos pueden ser mecánicos, físicos o químicos. Los parámetros más frecuentes en monitoreo estructural pueden verse en la tabla 1.

El monitoreo puede ser desarrollado a nivel local o a nivel global. El monitoreo a nivel local proporciona información relacionada con el comportamiento local del material o de un elemento estructural en específico, brindando información reducida que no incluye, necesariamente, el comportamiento global del sistema estructural; mientras que el monitoreo global del sistema provee información que describe su comportamiento integral, pero que puede ser capaz de identificar cambios en el comportamiento estructural que, a su vez, se relacionen con el comportamiento local de elementos críticos.
Una manera simple de visualizar el proceso de monitoreo estructural es adoptando como analogía el cuerpo humano y la forma en la que se atiende ante algún malestar. Cuando el cuerpo humano presenta alguna condición insana, esta es detectada inmediatamente por el sistema nervioso. Basado en la información que el cerebro recibe (por ejemplo, dolor en algunas partes del cuerpo), el paciente visita al especialista médico para evitar el dolor y prevenir el desarrollo de esa condición. El especialista examina, establece un diagnóstico y propone una cura para el malestar. Este suceso, puede ser llevado al plano de los sistemas estructurales. La principal meta del monitoreo estructural es detectar un comportamiento estructural inusual que indique un mal funcionamiento de la estructura. La detección de una condición indeseable en la estructura lleva a realizar una inspección detallada en la misma (generalmente a través de pruebas no

Tabla 1
Parámetros frecuentemente monitoreados en los sistemas estructurales

Mecánicos	Deformación, desplazamiento, apertura de grietas, esfuerzos, cargas
Físicos	Temperatura, humedad, presión
Químicos	Penetración de cloruros, penetración de sulfatos, pH, corrosión del acero

destructivas), para generar un diagnóstico y finalmente diseñar esquemas de reparación o mantenimiento de la misma.

En términos generales, podría decirse que el proceso descrito incluye como actividades la selección de la estrategia de monitoreo, la instalación del sistema de monitoreo, el mantenimiento del sistema, la administración de los datos adquiridos y el planteamiento de la logística en caso de interrupciones en el sistema. En la tabla 2, pueden observarse el conjunto de subactividades que podrían conformar el proceso de monitoreo estructural. Para iniciar un proyecto de monitoreo estructural, es importante definir los objetivos de éste y en base a ello, establecer los parámetros a monitorear. Estos parámetros deben seleccionarse de forma que reflejen el comportamiento de la estructura y a su vez, se orienten en el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

La selección del sistema de monitoreo depende, naturalmente, del objetivo del proyecto, los parámetros que se desean medir, la precisión que se requiere, la frecuencia de lectura, la compatibilidad con el ambiente (sensibilidad a la interferencia electromagnética, variaciones de la temperatura, humedad, etc.) los procedimientos de instalación de los diversos componentes del sistema, las posibilidades de automatización, la conectividad remota, las formas de administración de los datos y los niveles en los que la estructura será monitoreada (local o global).

Tabla 2
Actividades básicas del proceso de monitoreo estructural [1]

Estrategia de monitoreo	Instalación del sistema de monitoreo	Mantenimiento del sistema	Administración de los datos	Otras actividades
Objetivo del monitoreo	Instalación de sensores y accesorios	Suministro eléctrico	Ejecución de las mediciones	Interrupción del monitoreo
Selección de los parámetros a monitorear	Instalación de sistemas	Sistema de comunicación	Almacenamiento de los datos	Desmantelamiento del sistema de monitoreo
Selección de los sistemas de monitoreo	Auxiliares (comunicación y suministro eléctrico)	Implementación de esquemas de mantenimiento para dispositivos	Acceso a los datos	Almacenamiento de los componentes del sistema
Configuración del sistema de instrumentación	Instalación del sistema local de monitoreo	Reparaciones y reemplazos	Visualización de los datos	
Definición del Programa de monitoreo	Instalación de software		Análisis e interpretación de los datos	
Plan de análisis de datos	Configuración de la interfase para usuarios		Uso de los datos	

Con el fin de extraer la mayor cantidad de información del sistema planteado, de acuerdo a las condiciones mencionadas, es necesario ubicar a los sensores en posiciones que sean representativas del comportamiento estructural. A su vez, la configuración de los canales de sensores depende de la geometría y el tipo de estructura a monitorear.

La instalación del sistema es una fase del proceso particularmente delicada, la cual debe ser planeada a detalle, considerando las condiciones del sitio donde se encuentra la estructura a instrumentar. Los componentes del sistema pueden ser embebidos o instalados sobre la superficie de la estructura adhiriendo los elementos de sujeción sobre ésta. Una vez instalado, se recomienda proteger el sistema, sobre todo si el monitoreo se realizará a lo largo de la construcción de la estructura.
Una vez instalado y puesto en marcha el sistema, los datos recabados deben ser administrados de manera eficiente, ya que la cantidad de datos puede ser importante. En general, existen dos niveles de administración; la básica y la avanzada. La primera consiste en la ejecución de las mediciones (lecturas de los sensores), el almacenamiento de los datos (local o remoto), y el acceso a estos. Los datos monitoreados pueden ser adquiridos manualmente, de manera semi-automático o automática, en el sitio o de manera remota, periódica o continua, y estática o dinámica. Por otro lado, la administración avanzada consiste en la interpretación, visualización, análisis y uso de los datos (por ejemplo, generación de alarmas). Es de esperarse que la elección del tipo de administración de los datos esté en función de los objetivos del esquema planteado y de los alcances mismos del proyecto.

Situación actual en México

En México, la conservación de la infraestructura se ha convertido en una actividad estratégica, en el cual la aplicación eficiente de los recursos financieros es un punto primordial, por lo que el Instituto Mexicano del Transporte propuso a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) la creación del Centro de Monitoreo de Puentes y Estructuras Inteligentes (CMPEI), el cual está orientado a la realización de monitoreo estructural de los puentes y estructuras más importantes dentro de la infraestructura del transporte de México [5]. A su vez, el IMT, a través de su Centro de Monitoreo de Puentes y Estructuras Inteligentes (CMPEI), se ha dado a la tarea de realizar proyectos de monitoreo estructural con el fin de estudiar el comportamiento de diversas estructuras, algunos de estos casos se presentan a continuación.

Pavimento de concreto estructuralmente reforzado continuo (PCERC)

El concepto del pavimento de concreto estructuralmente reforzado continuo (PCERC), es una alternativa a los pavimentos tradicionales de concreto que se han implementado en las últimas décadas en México. En este caso, con el PCERC se propone un pavimento de menor espesor con dos mallas de acero de refuerzo que en principio, puede ser más eficiente desde el punto de vista estructural y más económico para carreteras de gran afluencia. Para evaluar el desempeño del PCERC, se propuso un tramo de prueba con instrumentación embebida en el concreto para el monitoreo a largo plazo. El tramo de 300 m se construyó considerando una sección con base hidráulica y otra estabilizada, para evaluar el comportamiento de ambas bases.
Para evaluar periódicamente el tramo carretero, se implementó un sistema de monitoreo basado en sensores de fibra óptica que incluye sensores de deformación, temperatura y aceleración con el objetivo de medir la deformación unitaria en el concreto y en el acero por efecto del paso de vehículos, el gradiente térmico por los cambios ambientales

de temperatura y las respuestas dinámicas de aceleración del sistema para analizar las frecuencias naturales del sistema estructural en el tiempo y evaluar la pérdida de rigidez.

La configuración de la instrumentación incluyó 2 acelerómetros colocados sobre la rodera del lado derecho del conductor, uno para la base hidráulica y otro para la base estabilizada, 5 sensores de temperatura colocados en la base estabilizada espaciados cada 3 cm, dos arreglos de seis sensores de deformación distribuidos de la siguiente forma: dos sensores en la dirección longitudinal sobre la rodera, uno para medir las deformaciones del acero y otro para las deformaciones del concreto, dos sensores transversales al centro del PCERC de igual forma uno para medir deformaciones en el concreto y otro para medir deformaciones en el acero y, finalmente, dos sensores longitudinales en la frontera del carril de baja velocidad con el carril de media velocidad distribuidos de igual manera uno para acero y otro para concreto. En la Figura 4 se puede observar la colocación de los sensores [2].

Acueducto de Querétaro

Ante la necesidad de ampliar la capacidad de tránsito en el Boulevard Bernardo Quintana, la Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas del Estado de Querétaro inició en agosto de este año 2012, la obra (figura 2) para ampliar la capacidad de 2 a 3 carriles en los túneles centrales de Bernardo Quintana, a la altura del cruce con Av. Los Arcos. Esta obra, por su naturaleza misma y fundamentada en estudios previos, propuso una serie de acciones para asegurar la cimentación de las pilas de los arcos del Acueducto de Querétaro para no comprometer su integridad durante dichos trabajos de ampliación [3]. El esquema propuesto tuvo como objetivos medir el nivel de vibraciones en los puntos críticos de la estructura de los Arcos, advertir, mediante un sistema de alarmas, sobre la ocurrencia de condiciones de riesgo por niveles excesivos de vibraciones y, de ahí, poder considerar posibles modificaciones en los procesos o programas constructivos, y por último, evaluar en mediano plazo, mediante indicadores de condición estructural, la evolución de la estructura durante y después de la obra de ampliación y remodelación vial.

El esquema de instrumentación en este proyecto fue planeado en dos etapas, en la primera, se colocaron 12 acelerómetros piezoeléctricos y capacitivos de alta sensibilidad, esto para medir vibraciones en los puntos críticos de la estructura. En la segunda

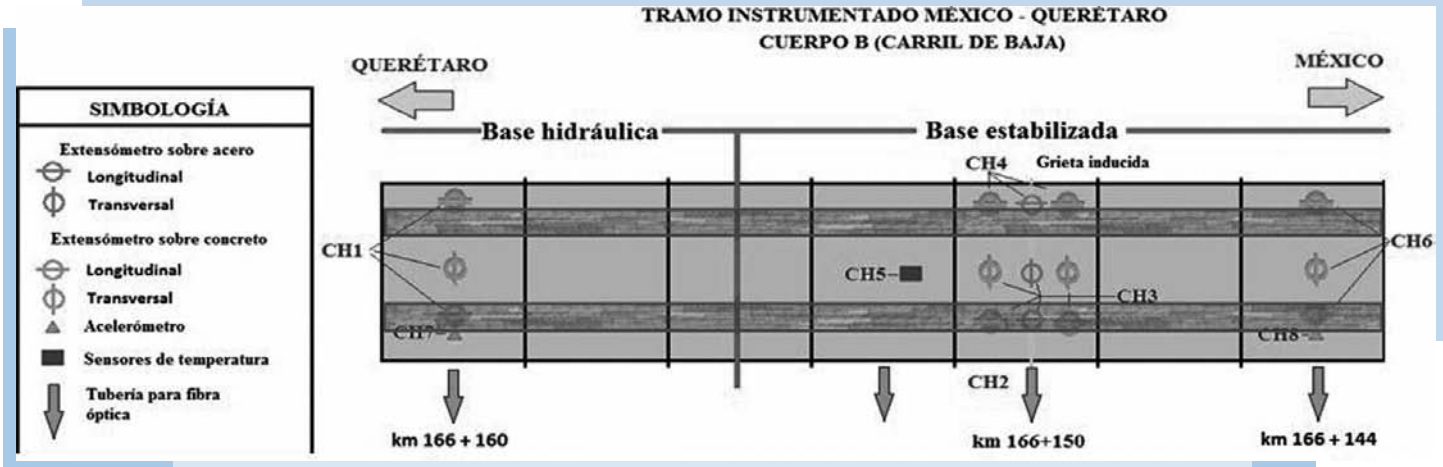


Figura 1
Arreglo experimental para la base Hidráulica y la base estabilizada

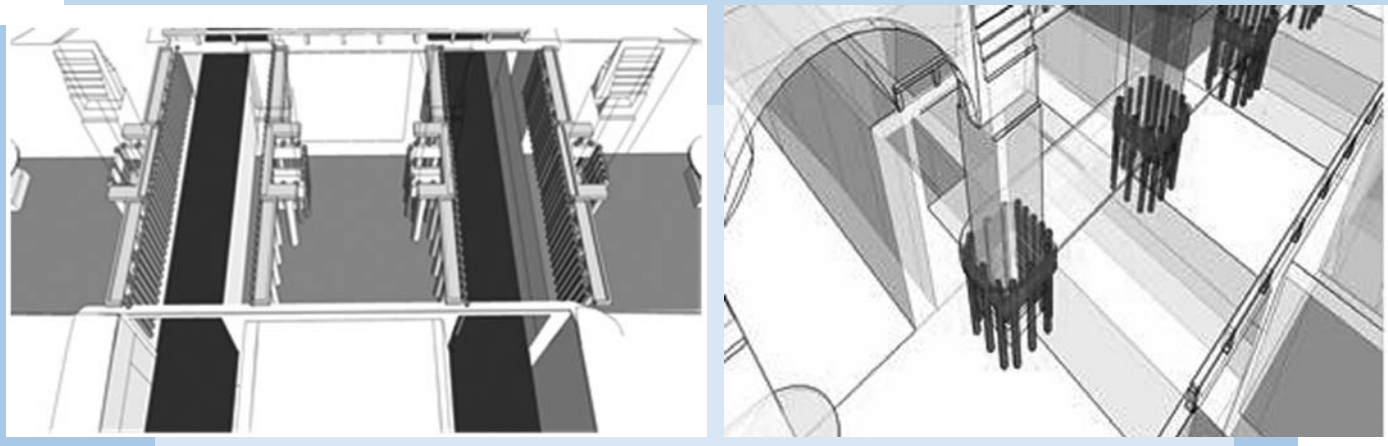


Figura 2
Esquemas de zonas de recimentación y confinamiento

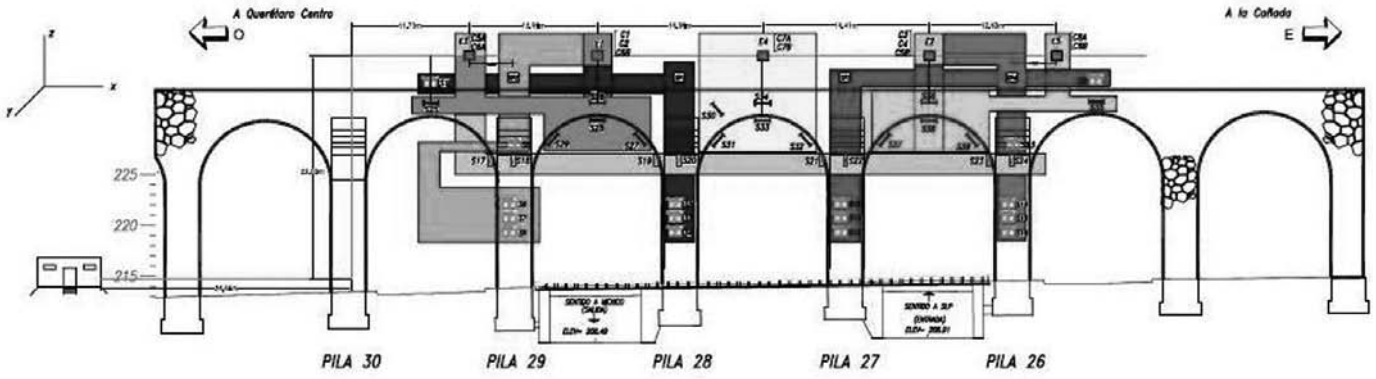


Figura 3
3 Esquemas de instrumentación

etapa, se instrumentó el sistema con una plataforma basada en sensores de fibra óptica tipo FBG, la cual incluyó 16 acelerómetros, 15 extensómetros y 8 inclinómetros. Esta plataforma permitió identificar variaciones o tendencias de parámetros asociados con deterioro o daño evolutivo por efecto de la obra de ampliación.

Puente Río Papaloapan

El Puente Río Papaloapan (figura 4) se localiza en el kilómetro 85 + 980 de la autopista la Tinaja-Acayucan, en el estado de Veracruz, fue construido en el año de 1994 y se puso en servicio en el año de 1995, es del tipo atirantado con un claro de 203 m y una longitud total de 407 m (figura 1). El puente tiene 112 cables distribuidos en 8 semi-arpas con 14 cables cada uno. [4]

El esquema diseñado para el monitoreo estructural se muestra en la figura 5. El sistema está basado en sensores de fibra óptica tipo FBG, e incluye extensómetros, los cuales están colocados a lo largo del tablero para el monitoreo de sus deformaciones y la determinación de los modos de vibrar de este componente; sensores de temperatura para estudiar el efecto de esta variable en los componentes del tablero, acelerómetros en

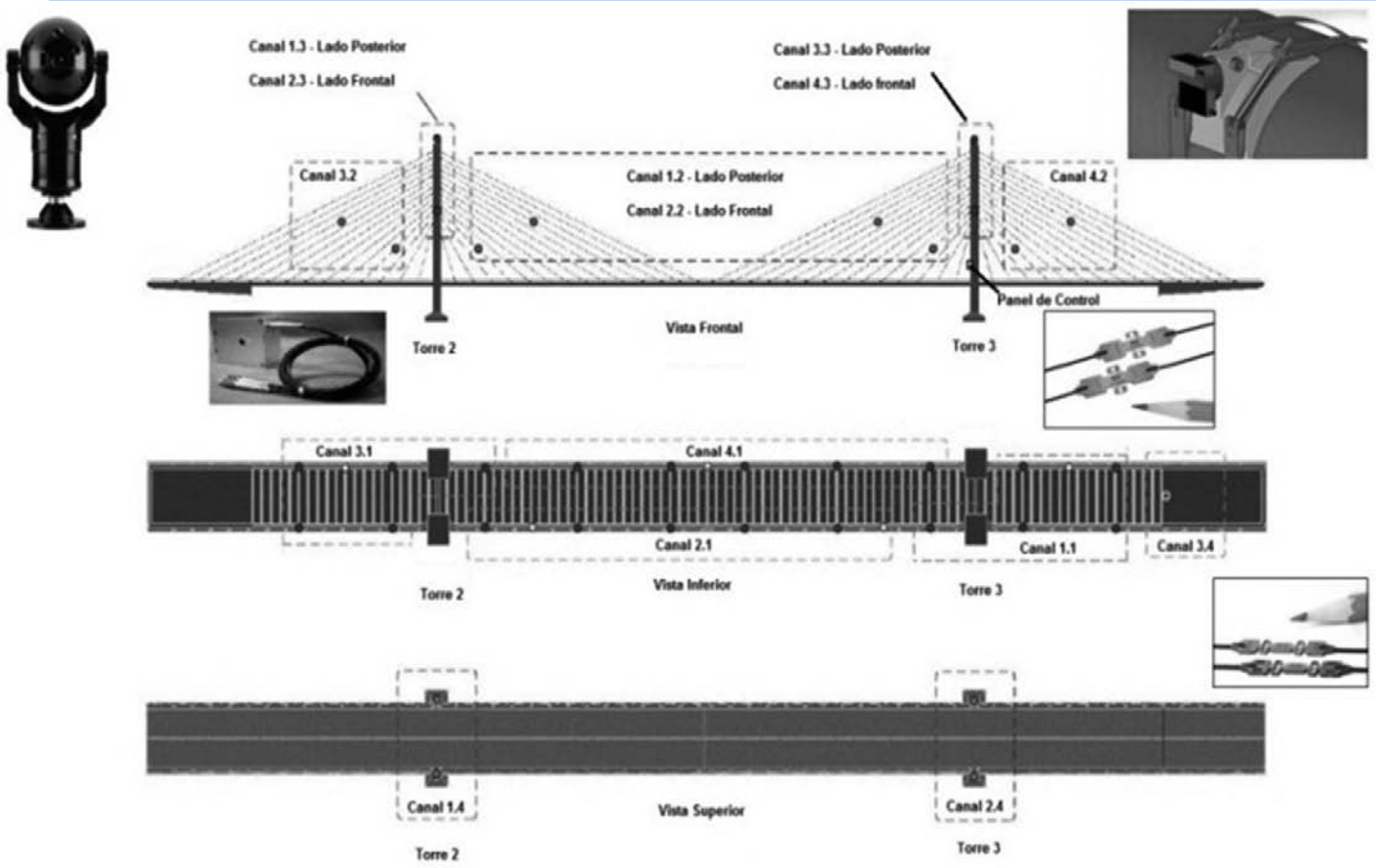


Figura 4
Planos de instrumentación Puente Río Papaloapan

tirantes y torres, con el fin de monitorear las vibraciones en estos elementos e inferir modos de vibrar de la estructura, inclinómetros para la medición de ángulos de inclinación en torres, cámaras de video, estaciones meteorológica y sismológica. Todo este sistema energizado a través de celdas fotovoltaicas.

Puente Mezcala

Este puente cuenta con una longitud total de 911 m, un claro máximo de 311 m, de tipo atirantado, cuenta con 12 semi-arpas con 14 tirantes cada una de éstas, se encuentra ubicado en la autopista del sol en el km 221 en el estado de Guerrero. Por su importancia en esta autopista, y debido a que ha presentado asentamientos en algunos apoyos y repercusiones en las juntas, lo convierte en uno de los puentes especiales de interés para el CMPEI.

El esquema para el monitoreo estructural (Figura 6) está basado, al igual que el sistema del puente Río Papaloapan, en sensores de fibra óptica tipo FBG, e incluye extensómetros, sensores de temperatura, acelerómetros en tirantes y torres, inclinómetros, cámaras de video y estaciones meteorológica y sismológica, todo el sistema se encuentra de igual forma energizado a través de celdas fotovoltaicas.

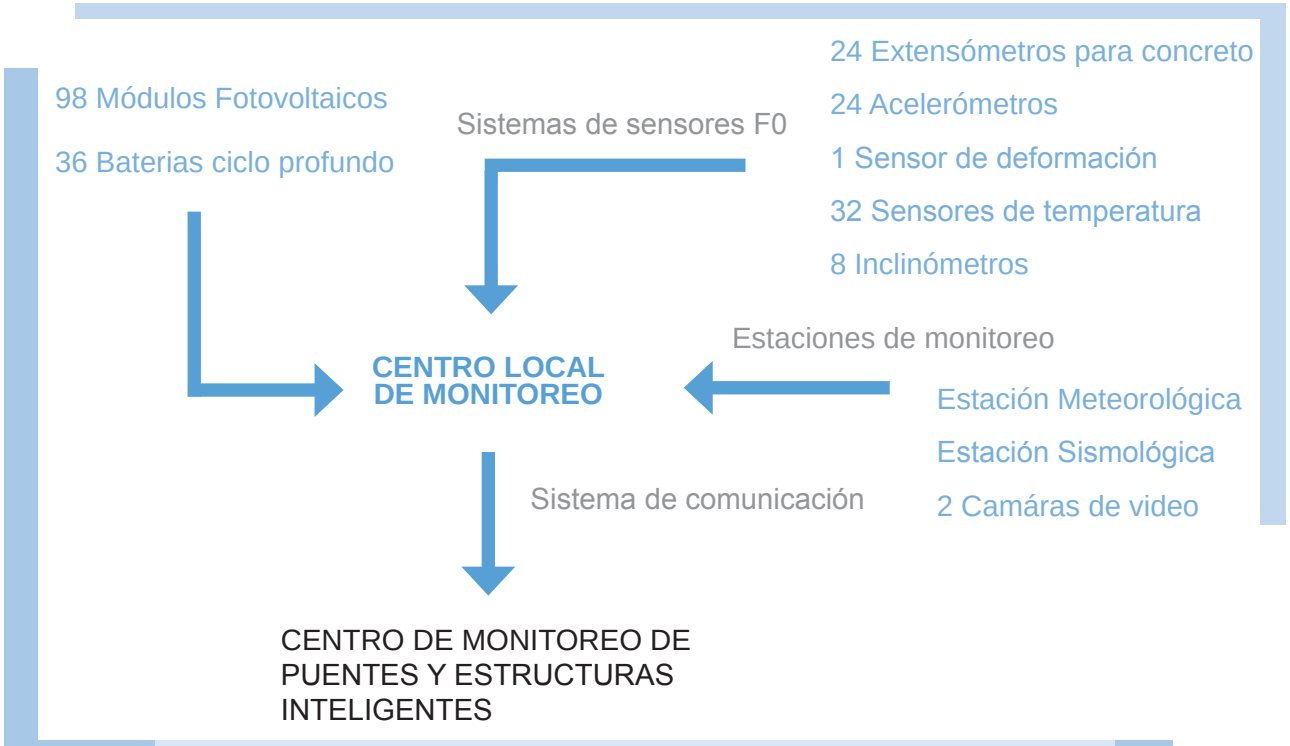


Figura 5
Esquemas de sistema de monitoreo estructural, Puente Río Papaloapan

Figura 6
Esquemas de sistema de monitoreo estructural, Puente Mezcala

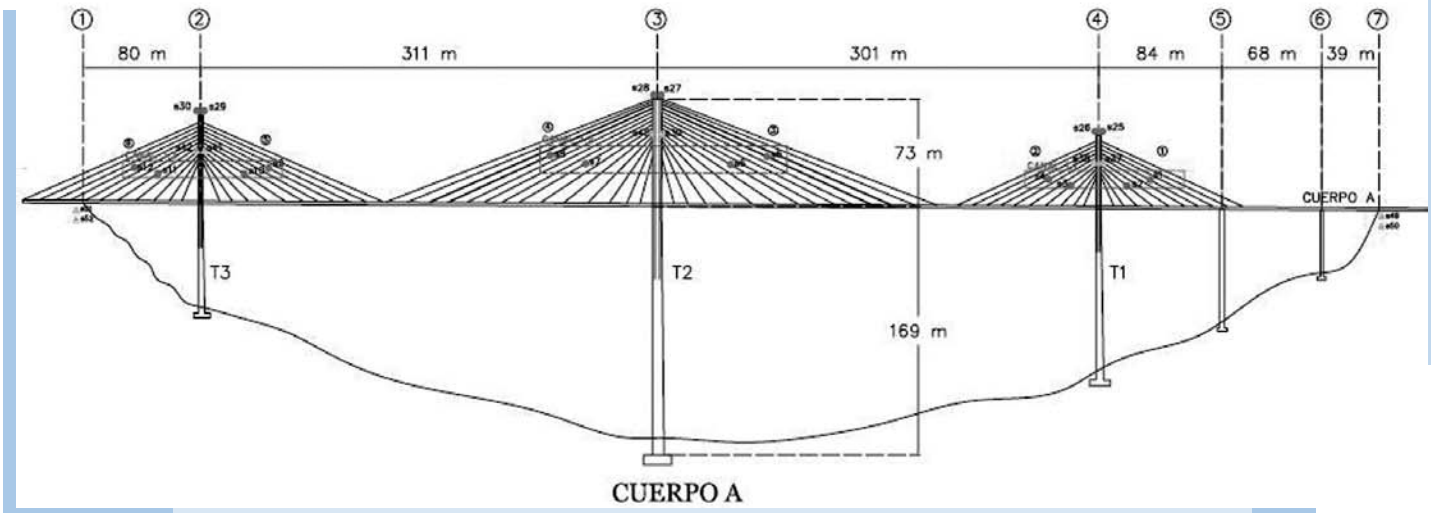


Figura 6
Planos de instrumentación Puente Mezcala

Conclusiones

Es evidente que en un país como el nuestro, donde poco más del 60% de los puentes carreteros de su Red Federal cuentan con más de 30 años de servicio, el monitoreo estructural de estos y otros sistemas cobra suma importancia. La información recabada y analizada en este proceso, ofrece múltiples ventajas, entre las que se encuentran la planeación de programas de mantenimiento, la optimización de los recursos económicos y humanos en estas actividades y la seguridad de los usuarios de la infraestructura, entre otros.

Además, debido a que actualmente, la complejidad de los sistemas estructurales y las exigencias para su construcción aumentan, no sólo en logística sino en la reducción de los tiempos de respuesta y por ende, la celeridad en estos procesos, esta disciplina apunta como una fuerte herramienta para verificar las distintas condiciones de los sistemas estructurales en su proceso de construcción.

Resulta importante, pues, no sólo dar continuidad a los proyectos existentes en ésta área, para realizar estudios de prognosis y proponer acciones de mantenimiento a mediano y largo plazo en estos sistemas, sino impulsar el desarrollo de proyectos de esta naturaleza y puedan derivar en un mejoramiento real de la infraestructura de México.

Referencias

[1] Branko Glisic and Daniel Inaudi. *Fibre Optic Methods for Structural Health Monitoring*. Ed. John Wiley & Sons, 2007.

[2] Quintana Juan, Carrión Francisco, Garnica Paul, Gutierrez Jorge, Paez Generoso, Crespo Saúl, Gómez Antonio. *Long term monitoring of a continuous reinforced pavement highway.* Workshop on Civil Sructural Health Monitoring (CSHM-4)

[3] Carrión Viramontes, Francisco. *Estrategia de Instrumentación para el Monitoreo de los Arcos del Acueducto de Querétaro*. Reporte preparatorio. Instituto Mexicano del Transporte

[4] López J. A., Carrión F. J., Quintana J. A., Samayoa D., Lomelí M. G., Orozco P. R.

Verification of the Ultrasonic Qualification for Structural Integrity of partially Embedded. *Steel Elements*. Advances Materials Research. 65 (2009). 2009

[5] F.J Carrión Viramontes, J.A Quintana Rodríguez, J. Alfredo López López & J.L Moreno Jiménez. *Design and Strategy for the Monitoring Center for Bridges and Intelligent Structures of Mexico*. XXIVth World Road Congress, Sept. 2011.

CRESPO Saúl
screspo@imt.mx
CARRIÓN Francisco
carrion@imt.mx
QUINTANA Juan
jaquintana@imt.mx

CAMBIO CLIMÁTICO: MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN EN LA INFRAESTRUCTURA CARRETERA

Introducción

El cambio climático es el mayor reto que se enfrenta en materia ambiental en este siglo, en especial en el Sector Transporte. El transporte tiene una gran contribución e impacto sobre los efectos que percibimos por el cambio climático, teniendo fuertes contribuciones debido a la quema de combustibles fósiles en su operación. Esto es porque cuando se consumen combustibles fósiles se emiten determinadas cantidades de dióxido de carbono (CO_2) junto con otros gases que afectan la calidad del aire, estos gases producen un incremento en la retención de radiación solar cerca de la superficie terrestre y causan los efectos del calentamiento global conocido como Cambio Climático (CC) global. Sin embargo, esta no es la única forma en la que contribuye al CC, a la quema de combustibles fósiles se le suman otras actividades como los cambios de uso de suelo debido a nuevos caminos y construcción de infraestructura, explotación de materiales vírgenes, uso de maquinaria, entre otros; el resultado es la emisión de estos gases conocidos como Gases de Efecto Invernadero (GEI) cuya acumulación produce un incremento en la retención de radiación solar cerca de la superficie terrestre, causando aumentos en la temperatura y los conocidos efectos del calentamiento global.

¿Qué es el cambio climático?

El clima es resultado de la interacción de una serie de factores como son la atmósfera, el mar y los continentes en diversas escalas de tiempo y espacio. Cuando un parámetro meteorológico sale de su valor medio del que ha presentado con una periodicidad anual, le llamamos cambios o anomalías climáticas. Los cambios climáticos se dan por variaciones en la radiación solar recibida o en las características del planeta, como son los incrementos en la concentración de gases de efecto invernadero (GEI), y se conocen como forzamientos externos; cuando los cambios se dan por inestabilidades en la atmósfera o en el océano, se les llama forzamientos internos. La variabilidad de estos cambios es lo que hace que pronosticarlos sea todo un desafío para los meteorólogos y especialistas.

Los GEI han existido de manera natural en el ambiente por siglos y son de gran importancia para el planeta, ya que absorben y reemiten la radiación de onda larga que llega a atmósfera, devolviéndola a la superficie terrestre, manteniendo la temperatura de la tropósfera; sin embargo, su aumento exponencial

produce que el calor que reflejan sea mayor al que habitualmente han reflejado, causando aumento de temperatura e incrementos en los niveles de los océanos, afectando principalmente ciudades costeras, zonas bajas y deltas de ríos con inundaciones de grandes proporciones. También se le atribuye cambios en esquemas tanto productivos como económicos y en sistemas de intercambio (WMO, 1986).

El tiempo de permanencia en el ambiente de los GEI es de cien años, aun cuando se logre mantener un cambio menor a los 2°C, es necesario llevar a cabo medidas de adaptación a los efectos que hoy en día ya se están sufriendo en diversas partes de mundo y que de igual manera impactan a la infraestructura del Sector..

Impactos ambientales del Sector

En este sentido vemos dos vertientes, una es cómo la infraestructura del transporte impacta al medio y otra es cómo el medio ambiente, a su vez, impacta a la infraestructura del transporte debido a los cambios climáticos. El transporte impacta generando emisiones de gases invernadero (GEI) que contribuyen al cambio global de la temperatura (GEI) o relacionados a la calidad del aire (compuestos orgánicos volátiles, material particulado, óxidos de nitrógeno, entre otros), así como las emisiones de ruido. Produce afectaciones por cambios de uso de suelo que se tienen en la construcción de nueva infraestructura, fragmentando de igual manera hábitats naturales, modificando también el paisaje. La construcción, mantenimiento y operación del transporte, requiere de un gran volumen de materiales y en consecuencia, genera grandes volúmenes de residuos que requieren disposiciones especiales.

A la par, actualmente las prácticas que tradicionalmente se llevan a cabo en los procesos constructivos de infraestructura son altamente contaminantes, generando una gran cantidad de emisiones a la atmósfera, consumiendo grandes cantidades de recursos energéticos y generando volúmenes considerables de residuos. El considerar todos los impactos ambientales e integrarlos al proceso de construcción, mantenimiento y operación de los proyectos carreteros ayuda a visualizar medidas de mitigación en éstos, que analizando un proceso aislado pueden llegar a omitirse. Las evaluaciones sobre la generación de GEI en los proyectos y las mejoras de mantenimiento, sustitución de materiales, análisis de emisiones generadas por actividades dentro de un proyecto carretero, implementar mejoras en los diseños de pavimentos, el optar por prácticas ambientalmente más amigables son en parte la contribución del sector hacia un desarrollo sostenible; sin dejar de ser eficientes en otros aspectos igual de importantes como son la calidad de la ingeniería y la seguridad vial.

Figura 1
Análisis Ciclo de Vida
(Modificado de Remmen, 2007)

Los cambios con fenómenos extremos importantes en las obras de infraestructura, rangos de cambio de temperatura más amplios, mayor frecuencia en las precipitaciones o la disminución de las mismas, huracanes e inundaciones, hacen necesario introducir modificaciones y nuevos criterios para diseño y normativas en la planeación y construcción de infraestructura para el transporte.

Adaptación y mitigación en las carreteras

Los efectos del cambio climático y la degradación ambiental se han intensificado en los últimos años. Entre 2000 y 2010 han ocasionado alrededor de 5,000 muertes, 13 millones de afectados y pérdidas económicas por 250,000 millones de pesos (mdp). El costo económico del agotamiento y la degradación ambiental en México en 2011 representó 6,9% del PIB, según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018). Es prioridad asegurar que los recursos naturales continúen proporcionando los servicios ambientales de los cuales depende nuestro bienestar, reduciendo las aportaciones que se están teniendo en todas las actividades del Sector y comenzar a impulsar un crecimiento verde orientado a una economía competitiva, sostenible, resiliente y de bajo carbono.

De esta manera podemos hablar de dos tipos de acciones, las de adaptación y las de mitigación. Las acciones de adaptación buscan la adaptabilidad a los efectos que el cambio climático genera, tratando de prevenir y anticipar daños que puedan ser causados, por ejemplo, por los rangos más amplios de temperatura, bloqueando el calor solar que es absorbido por las carpetas en los caminos empleando bloqueadores solares en los pavimentos y evitar esta absorción disminuyendo así los daños prolongando la vida de la carpeta.

El desarrollo y las innovaciones en pavimentos figuran como una medida de adaptación a temperaturas más extremas a los que son sometidas las carreteras debido a cambios por el aumento de GEI. Los bloqueadores solares de pavimentos pueden reducir la temperatura de la superficie de los pavimentos hasta 16°C, en comparación con la temperatura superficial de los pavimentos convencionales (mezclas asfálticas densas); debido a la prevención de más absorción de radiación solar. El uso de pavimentos que bloquean el calor puede ayudar a reducir la formación de deterioros comunes y la sensación térmica para los peatones.

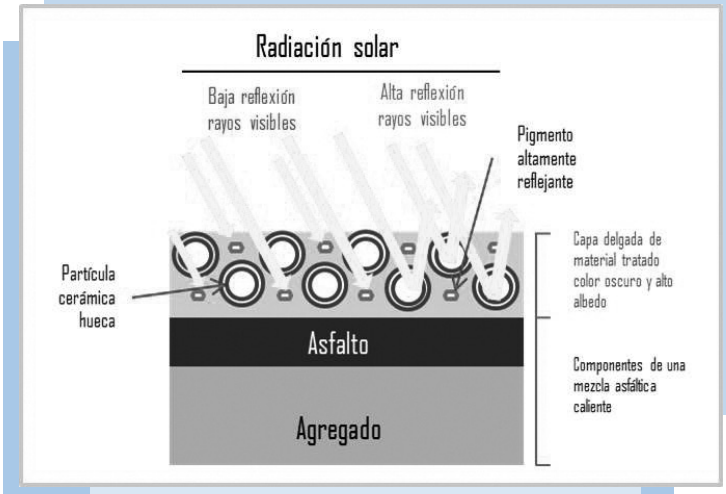


Figura 2
Interacción de la radiación solar con el pavimento y el bloqueador (Modificado de Iwama y col. 2012)

Por otro lado, la captura y secuestro de carbono es el proceso de extracción del carbono como CO2 de la atmósfera y almacenarlo en depósitos conocidos como Sumideros de Carbono. Estos sumideros son una medida de mitigación para reducir el impacto en los caminos que han producido gran desbaste de flora en su construcción. Las plantas, en su fotosíntesis, realizan esta captura de carbono, por su utilización así que son ampliamente consideradas para generar

sumideros de carbono. La biotecnología ha desarrollado mejoras para el empleo de plantas y reforestación entorno a las carreteras de manera exitosa, por lo que son excelente recurso para ser empleado en acciones de mitigación.

Figura 3
Biotecnologías (Dhakal, 2011)

Al reforestar los taludes se reducen costos de conservación, y a la vez, se contribuye a su estabilización evitando deslizamientos de suelos en los cortes, debido a que las raíces profundas de algunas plantas retienen el suelo y previenen su movimiento. Una parte importante de este tipo de medidas, es que se pueden emplear plantas que estén localmente disponibles y, un beneficio adicional, es el empleo de mano de obra del lugar, generando también ingresos a la comunidad.

Otro aspecto en el cual se pueden implementar medidas para reducir el uso de energéticos y combustibles fósiles, es evaluando productos que incorporan materiales reciclados en la construcción de carreteras. Así, el reciclaje de carpetas asfálticas en las carreteras y caminos, ha demostrado evitar que gran cantidad de los residuos que se generan en obras de rehabilitación y mantenimiento vayan a rellenos y sitios de disposición final; esto, a través de la reutilización del asfalto y los agregados que componen la carpeta que se retira. El asfalto de la carpeta es separado de los agregados, rejuvenecido y puede ser utilizado en una nueva mezcla asfáltica para una nueva carpeta; y en el caso de los agregados, estos son recuperados en su totalidad, lo que los hace reutilizables en un nuevo proceso de asfaltado.

Las ventajas del uso de pavimentos asfálticos reciclados o recuperados llamados RAP, por sus siglas en inglés (Reclaimed Asphalt Pavement) incluyen propiedades que permiten alargar la vida útil con la ventaja de ser utilizado tanto en carreteras nuevas como en obras mantenimiento. El uso de RAP reduce el consumo de recursos naturales y energía, lo que ayuda a reducir el carbono incorporado en las carreteras.

Figura 4
Reciclado de carpetas en carreteras

Por ejemplo, durante la rehabilitación de una carretera de cuarenta años de edad con las técnicas de mantenimiento convencionales, el dióxido de carbono generado equivale a aproximadamente 1,25 kg de CO2 por tonelada de asfalto por año. Si esta misma carretera se rehabilita mediante procesos de RAP, la emisión de dióxido de carbono puede reducirse hasta 0,7 kg de CO2 por tonelada de asfalto por año, reduciendo las emisiones en más de un 44% en este rubro (NAPA-FHA, 2002).

Conclusiones

El Sector Transporte tiene una fuerte participación e impacto sobre los factores que inciden en el cambio climático, principalmente debido al uso de combustibles fósiles y la explotación de materiales para la generación de nueva infraestructura, el mantenimiento y operación de la ya existente. Es debido a ello que el desarrollo e implementación de acciones tanto de adaptación como de mitigación comienzan a figurar en los proyectos de diseño y proyección con mayor importancia que en años anteriores.

El conocer las emisiones generadas por las diversas actividades con los métodos tradicionalmente empleados, puede generar la línea base para implementar acciones de mitigación y evaluar las reducciones que se podrían obtener aplicando algunas medidas como la incorporación de bloqueadores de radiación solar en los pavimentos o de materiales reciclados en las carpetas.

El uso de materiales reciclados evita la sobreexplotación de reservas naturales, además de reducir la generación de desechos y aporta una solución al manejo y disposición de otros residuos como lo son los productos de la demolición y construcción. La reutilización de las mezclas asfálticas en el mantenimiento de las carreteras es viable en el país y ofrece beneficios tanto ambientales como energéticos.

Existe la necesidad de incentivar el desarrollo e incorporar procesos que impacten en menor medida al medio ambiente y que proyecten resultados tangibles para lograr la capacidad de adaptación necesaria para enfrentar los retos del cambio climático de una manera sostenible y tener una infraestructura resiliente para beneficio de nuestras generaciones futuras como país.

Bibliografía

Esta Nota es relacionada a la Publicación Técnica 373 "Algunas Acciones Implementadas en México por el Cambio Climático y su perspectiva futura" de la Coordinación de Infraestructura y se referencia para su consulta del resto de la bibliografía.

Convention on Biological Diversity, Article 2. Use of Terms, United Nations. 1992.

Dhakal, Indu Sharma. Bio-engineering experience in the road sector of Nepal. Routes/ Road. XXIV World Road Congress AIPCR. Technical Reports 2011.

Gay García Carlos (Compilador) (2000). México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, US Country Studies Program. México, 220 p. ISBN 968-36-7562-X http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/libros/cambio_climatico/index.html

Hayakawa, I., Yoshinaka, T., and Motida, S. (2008) On the Effectiveness of Heat Blocking Pavement at the airport taxiway, Proc. of Japan Society for Civil Engineer Kantou Region Conference, Vol. V (In Japanese).

Howell Howell, JH. 1999. Manual de Referencia de Carreteras con Bio-ingeniería. Geo-Unidad para el Medio Ambiente, Departamento de Carreteras, Katmandú.

IPCC, 2001b. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [McCarthy, J.J., O.F. Canziani, IPCC, 2001c: Climate Change 2001: Mitigation.

Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Metz, B., O.R. Davidson, R. Swart, y J. Pan (eds.)].Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos, 752 pp.

IPCC, 2007. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge University Press, Cambridge. http://www.offnews.info/downloads/IPCC2007II.pdf

Iwama, M., Yoshinaka, T., Omoto, S., Nemoto, N. 2012. Nippo Corporation. Japón.

Nanda, P. K, Chandwar, A., Sahu, B. K. 2011. Green-House Gas Emissions from the road project, 'Improvement of Gomti Beawar section of NH8'- a case study.

Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Diario Oficial de la Federación. Mayo 20, 2013.

Remmen, A., Jensen, A., Frydendal, J. Life cycle management : a business guide to sustainability. United Nations Environment Programme. SETAC. Editorial Nairobi. Kenya (2007).

Zammataro, S, Laych, K., Sheela, V., Monhan-Rao, R., Hakim, B., Huang, Y. y Wilson, S. 2011. Assessing greenhouse gas emissions in road construction: an example of calculation tool for road projects. International Seminar on Reducing Carbon footprint in Road Construction PIARC. Technical Papers. New Delhi. Pp. 11-17.

LÓPEZ Guadalupe
glopez@imt.mx

GLOSARIO

Artículo 1:

Acelerómetro: Sensor utilizado para medir aceleración, generalmente mide la fuerza de inercia generada cuando una masa es afectada por un cambio de velocidad. Existen acelerómetros de diversos tipos, entre ellos, los piezoeléctricos, los capacitivos, de fibra óptica, etc.

Frecuencia natural: es aquella frecuencia que tiene una tendencia o facilidad para vibrar. Todo sistema posee una o varias frecuencias naturales de forma que al ser excitadas se producirá un aumento importante de vibración.

Artículo 2:

Biotecnología: Toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos.

Resiliencia: Capacidad de un sistema de absorber una perturbación y re-organizarse durante un cambio en proceso, y mantener esencialmente su propia función, estructura, identidad y retroalimentación.

Capacidad de adaptación: Capacidad de un sistema para ajustarse al cambio climático (incluida la variabilidad climática y los cambios extremos) a fin de moderar los daños potenciales, aprovechar las consecuencias positivas, o soportar las consecuencias negativas.

Mitigación: Intervención antropogénica para reducir las fuentes o mejorar los sumideros de gases de efecto invernadero.

PROYECTO EN MARCHA

Propuesta conceptual para el establecimiento de tarifas en autopistas de cuota: Una visión económica

El estudio forma parte de la línea de investigación “Desarrollo metodológico para la evaluación económica y social de proyectos de transporte”.

México no cuenta con la suficiente capacidad financiera para que el Gobierno Federal lleve a cabo la construcción y modernización de algunas carreteras únicamente con recursos provenientes del presupuesto federal. Es por ello que recurre al sector privado para que, mediante alguno de los esquemas contemplados en la asociación público-privada, pueda continuarse con la construcción de la infraestructura carretera del país.

Se cuenta con diversos proyectos carreteros con gran potencial para ser desarrollados como autopistas de cuota, con participación del sector privado a través de diversos esquemas de participación público-privadas.

Sin embargo, deberá ponerse atención a los métodos empleados en México para el establecimiento de tarifas, con objeto de tomar en consideración los beneficios imputables al usuario, tales como los ahorros de tiempo de recorrido y los ahorros en los costos de operación vehicular.

Los ahorros en costos de operación vehicular y los ahorros en el tiempo de recorrido que tenga el usuario de la nueva carretera, permitirá cubrir los costos de inversión debidos a la construcción y a la conservación de la misma. Al obtener el valor presente neto del proyecto durante la vida útil u horizonte económico del proyecto, se estará en posibilidad de conocer el excedente del consumidor, el cual permitirá establecer el nivel de cuota requerido para recuperar la inversión de la nueva obra que se pretende construir.

El costo que representa para el usuario el nivel de cuota que se establezca para recuperar la inversión del proyecto no deberá ser superior al VPN obtenido durante el análisis costo beneficio del proyecto, es decir no deberá ser superior al excedente del consumidor que se llegue a determinar en el horizonte económico, ya que de superar dicho excedente, se estaría afectando la dinámica de crecimiento en el resto de la economía nacional.

Este estudio tiene por objeto, proporcionar los elementos de análisis para que el analista de proyectos de inversión de infraestructura carretera pueda establecer el nivel de peaje ante distintos escenarios de tránsito, que permitan por una parte la recuperación de la inversión y por otra garantizar la estabilidad en el crecimiento de las distintas ramas de la economía nacional.

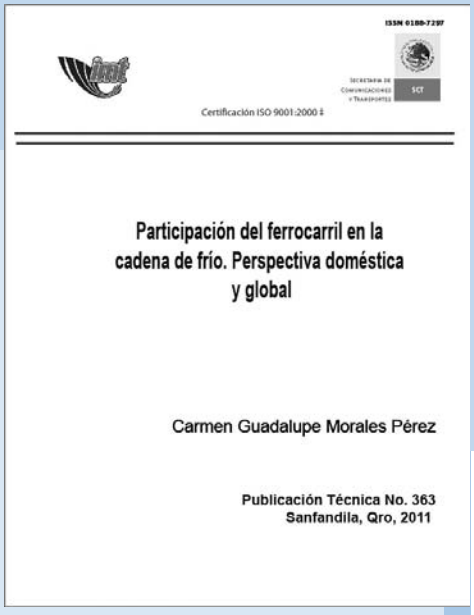
TORRES Guillermo
gtorres@imt.mx
GONZALEZ José Alejandro
agonzalez@imt.mx

PUBLICACIÓN

Participación del ferrocarril en la cadena de frío. Perspectiva doméstica y global

En la **Publicación Técnica 363** se presentan los resultados de la investigación con el objetivo de identificar y reseñar la penetración del modo ferroviario en la cadena de frío de productos perecederos, en el mundo y en México. El conocimiento de lo que ocurre en el medio, permite a los actores ubicarse en el entorno global. Identificar campos novedosos para su incursión y ampliar su ámbito de acción, para una mayor integración entre actores y en general para mejorar su desempeño.

Se concluye que, en el caso mexicano, el proveedor de servicios logísticos es el actor de la cadena, quien ha emprendido la organización de las acciones para la realización del servicio ferroviario refrigerado en México. Los usuarios están dispuestos a utilizarlo, pero no cuentan con la organización para reunir volúmenes que hagan atractiva la operación a las empresas ferroviarias.



Se puede consultar de forma gratuita en la página del Instituto:
http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt363.pdf

EVENTOS ACADÉMICOS Y CONGRESOS

Información y tecnología espacial para la gestión de la infraestructura del transporte

El Instituto Mexicano del Transporte, en coordinación con la Subsecretaría de Infraestructura de la SCT, producto de 20 años de investigación práctica ha identificado y desarrollado una robusta plataforma de aplicaciones y soluciones sistémicas, integrada por un conjunto de herramientas geotecnológicas orientadas a la planeación y gestión de la red carretera nacional.

Por ello, del 1 al 5 de julio se llevo a cabo este curso en las instalaciones del Instituto con una duración de 36 hrs.

Tuvo como objetivo principal Impartir las bases conceptuales y operativas de las principales tecnologías para el manejo de información geoespacial (Sistemas de

Información Geográfica -SIG-, Sistemas de posicionamiento Global -GPS-, Percepción remota y procesamiento de imágenes satelitales), a fin de inducir su uso mediante la identificación de aplicaciones en la planeación y gestión de la infraestructura del transporte. Así como proporcionar los elementos de conocimiento y recursos geotecnológicos para el uso y aprovechamiento de Inventario Nacional de infraestructura para el Transporte, INIT.

En el curso se difundió la conceptualización y alcances del Sistema de información Geográfica de Carreteras de la SCT (SIGCSI-SCT), asi como iniciar a los participantes en el uso y manejo de las diversas herramientas desarrolladas para la integración, visualización cartográfica, análisis espacial y generación de conocimiento estratégico para la gestión de la infraestructura carretera.

Se dirigió al personal técnico-operativo y funcionarios de nivel de mando medio de todos los Centros SCT y oficinas centrales de la misma Secretaría, quienes desempeñan labores relacionadas con la generación y uso de información estadística y geográfica con fines de planeación y gestión de la infraestructura carretera del Sector.

Tuvo una asistencia de 13 participantes los cuales provinieron de los Centros SCT de Coahuila y Michoacán; de la Universidad Autónoma de Guerrero, del Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente, A.C. y del propio IMT.

Algunos de los temas impartidos fueron:

•Introducción a las Geotecnologías (SIG, GPS y percepción remota). Marco teórico-conceptual. Ejercicios y prácticas en aula.

•El Inventario Nacional de Infraestructura para el Transporte, INIT, edición 2011.

•Aplicación de las tecnologías SIG/GPS en la prevención y atención de desastres.

•Soluciones sistémicas con base en Información Geográfica para la gestión de Carreteras de la Subsecretaría de Infraestructura – SCT.

•Herramientas geotecnológicas de código abierto, open source, aplicadas al transporte.

•GeoPortal especializado del IMT. Experiencias de referencia, concepción, estructura y desarrollo.

•Estrategias para el registro de información georreferenciada en campo e integración a la plataforma sistémica en gabinete.

•Transporte, inteligencia geoespacial y cambio climático global. Una perspectiva de análisis territorial.

•Potencial de aplicación al transporte de las imágenes satelitales de mediana y alta resolución espacial.

DIRECTORIO

M. en I. y M. en E. José San Martín Romero
Director General
(55) 5265 3600 ext. 4000(442) 2 16 97 77 ext. 2033
jose.sanmartin@imt.mx

Ing. Roberto Aguerrebere Salido
Coordinador Operativo
(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. 2029
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. 3101
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. 2113 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 Electrónico: publicaciones@imt.mx
capacitación@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
CA22-0070
Autorizado por Sepomex

POR AVIÓN
AIR MAIL