

ANÁLISIS DE LOS ACCIDENTES EN EL TRANSPORTE CARRETERO DE MATERIALES Y RESIDUOS PELIGROSOS EN MÉXICO Y SU IMPACTO AMBIENTAL

Introducción

Una economía competitiva implica contar con un sistema de transporte eficaz y eficiente de tal manera que el traslado de mercancías y pasajeros a lo largo del territorio nacional sea lo más seguro y rápido posible. Esto implica que el sistema de transporte mexicano deba cumplir con los criterios de sustentabilidad establecidos a nivel nacional e internacional a fin de conducir la economía actual hacia una de bajas emisiones de carbono.

Dentro los rubros indicados dentro de los criterios de sustentabilidad se encuentran el de la seguridad, en este apartado se engloba la seguridad de los usuarios de la red y la seguridad en el traslado de mercancías. La presente nota aborda únicamente el segundo de los puntos antes mencionados, en especial el transporte de materiales y residuos peligrosos en México.

Basados en el estudio “Vulnerabilidad de las carreteras por el transporte de materiales y residuos peligrosos” se presenta este artículo para dar a conocer un panorama general sobre el tema.

Aquellos materiales que cumplen con alguna

El riesgo del transporte de materiales peligrosos

característica del código CRETIB (Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable o Biológico Infeccioso) son considerados por

diferentes documentos de la legislación mexicana como materiales peligrosos. Un ejemplo de la legislación en la materia se encuentra la NOM-002-STC/2011. En los últimos meses, éste tema ha tenido lugar en varios espacios noticiosos tanto en medios impresos, digitales, como en la televisión, y ha sido motivo de especial interés, ya que muchas veces los daños ocasionados por el accidente de vehículos con transporte de materiales peligrosos llegan a cobrar decenas de vidas por la peligrosidad que implica el producto.

El caso más reciente es el ocurrido en la carretera México-Pachuca apenas el 7 Mayo del corriente año, en Ecatepec municipio del Estado de México, en el cual se registraron 27 decesos¹ y alrededor de 36 heridos², según

CONTENIDO

ANÁLISIS DE LOS ACCIDENTES EN EL TRANSPORTE CARRETERO DE MATERIALES Y RESIDUOS PELIGROSOS EN MÉXICO Y SU IMPACTO AMBIENTAL	1
MONITOREO PERIÓDICO DE UN TRAMO DE PAVIMENTO DE CONCRETO ESTRUCTURALMENTE REFORZADO CONTINUO (PCERC)	9
GLOSARIO	15
PROYECTOS EN MARCHA	15
PUBLICACIÓN	16
EVENTOS ACADÉMICOS	17



Figura 1
Accidente de vehículo con LP en la carretera México-Pachuca

algunos periódicos con relevancia nacional. El accidente involucró un vehículo con doble remolque que transportaba Gas LP el cuál explotó como resultado del impacto derivado de la pérdida del control del vehículo y choque de la unidad (Ver figura 1).

El Centro de Orientación para la Atención de Emergencias Ambientales (COATEA) de la PROFEPA (Procuraduría Federal de Protección al Ambiente) reportó para los años de 2006 a 2009 un total de 492 emergencias

ambientales relacionadas con el transporte de materiales y sustancias peligrosas. La tabla 1 muestra a detalle el tipo de emergencias reportadas.

Siniestralidad del transporte de materiales y residuos peligrosos en México

Para la realización del diagnóstico de la siniestralidad de vehículos con transporte de materiales y residuos peligrosos por carreteras federales, es necesario contar con una fuente de información confiable para la obtención de los datos de accidentes; por lo cual se utilizaron las bases de datos de accidentes generadas por el Sistema para la Adquisición y Administración de Datos de Accidentes (SAADA). Este sistema ha sido desarrollado por la Coordinación de Seguridad y Operación del Transporte, del Instituto Mexicano del Transporte (IMT).

La tabla 2 muestra la totalidad de accidentes registrados en el periodo de estudio el cual va desde el año 2006 al 2009. Hay que observar que el número de accidentes que aquí se presentan corresponde únicamente a carreteras federales libres y de cuota, no se han contabilizado aquellos accidentes que ocurrieron en carreteras estatales, por tanto hay que tener en cuenta que la totalidad de

Tabla 1
Emergencias ambientales reportadas al COATEA

Tipo de emergencia	2006		2007		2008		2009		Total	
	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%
Derrame	95	93.14	108	91.53	122	91.73	131	94.24	456	92.68
Fuga	3	2.94	4	3.39	5	3.76	3	2.16	15	3.05
Incendio	1	0.98	4	3.39	5	3.76	2	1.44	12	2.44
Explosión	3	2.94	2	1.69	1	0.75	3	2.16	9	1.83
Total	102	100	118	100	133	100	139	100	492	100

Fuente: PROFEPA (octubre, 2011).

Tabla 2
Accidentes que involucran materiales y residuos peligrosos

	2006		2007		2008		2009		Total	
	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%
Accidentes con MP	239	0.82	253	0.83	322	1.05	385	1.30	1199	1.00
Muertos con MP	52	1.04	44	0.82	39	0.73	61	1.25	196	0.95
Lesionados con MP	213	0.64	180	0.54	172	0.52	273	0.86	838	0.64
Daños Materiales con MP (miles de dólares)	3071.36	2.23	4100.42	2.98	5368.53	3.78	5290.35	4.68	17830.67	3.36

Fuente: Mendoza et al. (2012)

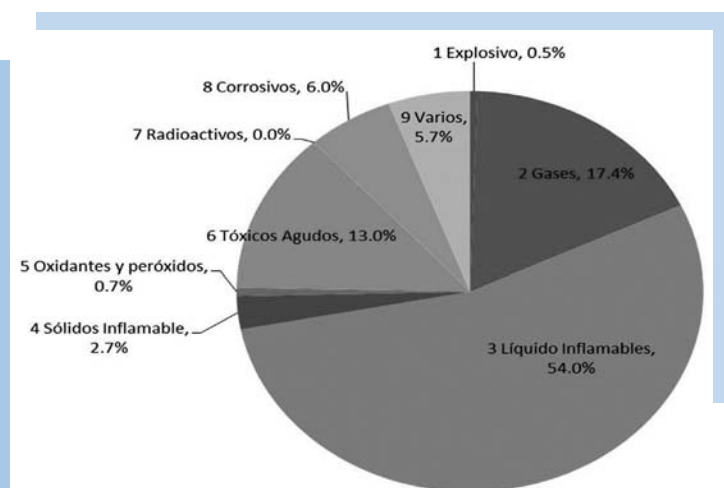
accidentes ocurridos tanto en la red federal de carreteras (RFC) como en carreteras estatales es mucho mayor. En nuestro análisis el número de siniestros fue de 1199, con saldos de 196 muertos y 836 lesionados en los cuatro años. Las entidades federativas que se observaron con mayor número de accidentes en el periodo de estudio fueron Veracruz (186), Puebla (73), San Luis Potosí (69), Estado de México (62) y Guanajuato (60). Esto puede atribuirse a diversos factores como los son la orografía en los estados de Veracruz y Puebla, la presencia de refinerías como en el caso de Guanajuato o elevados índices de tránsito vehicular en el caso de San Luis Potosí, por el cual cruza uno de los principales corredores de carga del país (México-Nuevo Laredo). Todos estos factores y más influyen en la distribución de accidentes a lo largo de la república mexicana.

De acuerdo a sus características las sustancias peligrosas se clasifican con respecto al Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos en 9 categorías, en el estudio realizado se identificó la participación de cada una de ellas en los accidentes registrados. Se encontró que la categoría con mayor participación en

accidentes es la categoría 3 que corresponde a "líquidos inflamables". Dentro de esta categoría se incluyen a todos los combustibles derivados del petróleo (diesel, gasolina, turbosina), aceites, esmaltes y pinturas, solventes y alcoholes, se registraron un total de 648 accidentes en el periodo.

El apartado de gases es el segundo con mayor participación con 209 accidentes, dentro de esta se incluyen el Gas LP, Butano, Propano, Cloro y Amoniaco por mencionar algunas. A pesar de observar un menor número de siniestros en importante comentar la elevada toxicidad de algunos materiales como el Cloro y el Amoniaco, estos productos pueden ser causa de intoxicaciones en un radio de hasta 10 km si las condiciones atmosféricas y la cantidad de sustancia se combinan de tal manera que favorezcan su dispersión.

La figura 2 muestra los porcentajes de participación de acuerdo a las diferentes categorías establecidas en el Reglamento, en ella se observa la casi nula participación del apartado explosivos, sin embargo es muy importante tener en cuenta estos materiales ya que los daños que ocasionan pueden ser de gran magnitud.



Fuente: Mendoza et al. (2012)

Figura 2

Porcentaje de accidentes por tipo de sustancia

Determinar cuáles fueron las causas de los accidentes es una tarea relevante ya que a través de este conocimiento es posible orientar las propuestas de solución de manera que ataquen directamente la causa raíz de los problemas. En primera instancia a través de los reportes generados por la policía federal (PF) es posible saber si el accidente fue unitario o múltiple, es decir, si involucró a uno o más de un vehículo. A este respecto se encontraron los resultados presentados en la tabla 3, en la cual se observa que la mayor cantidad de accidentes fueron unitarios (54%), por otro lado, se encontró también que en el caso de ser accidentes múltiples el vehículo con transporte de materiales y residuos peligrosos es el responsable del 19%. Con esto se sabe que con casi un 74% de los 1199 casos

registrados la responsabilidad del accidente recae sobre el vehículo con transporte de materiales y residuos peligrosos.

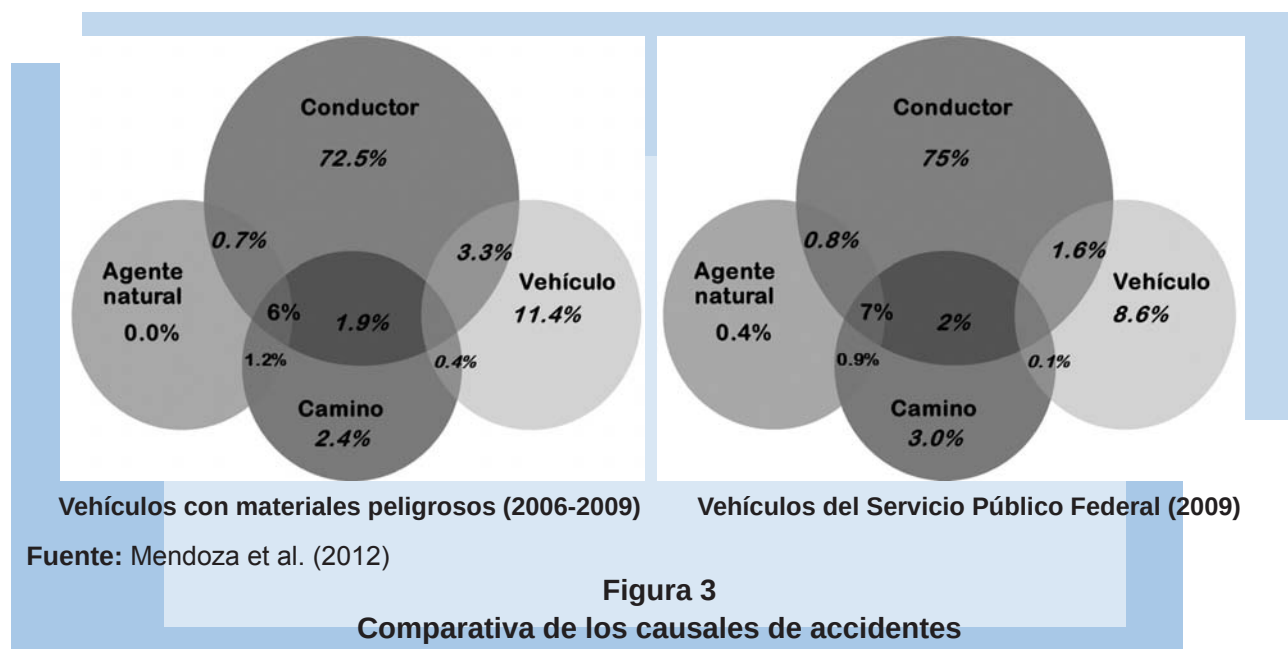
Un análisis profundo de las causas separa a éstas en cuatro factores los cuales están reflejados en la figura 3, en la cual se observa una comparativa entre las causas de los accidentes con vehículos con transporte de materiales y residuos peligrosos (izquierda) y los vehículos del Servicio Público Federal (SPF) en 2009. Aquí se observan dos cosas importantes, la primera de ellas es que la causa "vehículo" en accidentes con transporte de materiales y residuos peligrosos es 2.5% mayor que en vehículos del SPF, todo esto a pesar de la existencia de la NOM-006-SCT2/2011, la cual indica que se deberá realizar una inspección visual diaria de las condiciones que guarda el vehículo destinado al transporte de materiales y residuos peligrosos. Algunos de los elementos mínimos que la norma señala revisar son las llantas, el motor, frenos y la dirección por mencionar algunos.

La segunda peculiaridad encontrada es la causa "conductor" donde se observa una menor participación de esta causa en los accidentes con transporte de materiales y residuos peligrosos en comparación con los de SPF. Dentro de los factores atribuibles al conductor se encuentra en primer lugar la "velocidad excesiva" (60%), seguido de la "imprudencia o Intención" (15%) y por último la "invasión de carril" (7%).

Tabla 3
Tipos de accidentes

Tipo de accidentes		2006		2007		2008		2009		Totales	
		Accidentes	%	Accidentes	%	Accidentes	%	Accidentes	%	Accidentes	%
Unitario		120	50.21	132	52.17	199	61.80	200	51.95	651	54.30
Múltiple	Causante	58	24.27	42	16.60	53	16.46	81	21.04	234	19.52
	Involucrado	61	25.52	79	31.23	70	21.74	104	27.01	314	26.19
Total		239	100	253	100	322	100	385	100	1199	100

Fuente: Mendoza et al. (2012)



Vulnerabilidad de las carreteras por accidentes con transporte de materiales y residuos peligrosos

La evaluación del impacto ambiental potencial de un accidente carretero, que involucre el transporte de materiales y residuos peligrosos, requiere del conocimiento del efecto que cada sustancia tiene sobre el medio ambiente y las personas.

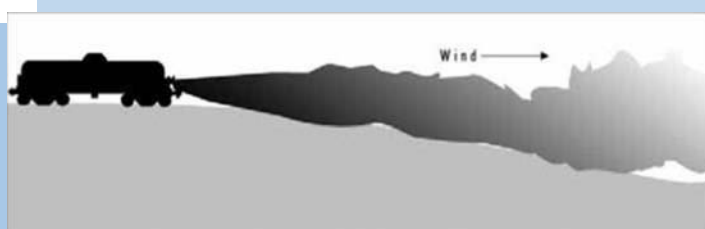
Cuando se presenta un accidente con un vehículo cargado con materiales y residuos peligrosos es muy posible que el material sea liberado al suelo y atmósfera como consecuencia del rompimiento del tanque en el cual se transporta dicha sustancia, por tal motivo es necesario realizar una estimación del área potencialmente afectada por esta liberación para poder estimar los riesgos generados por el transporte de estos materiales.

Para el desarrollo de las diferentes modelaciones de las situaciones de riesgo que pueden presentarse por un accidente que transporte materiales y residuos peligrosos, es necesario utilizar herramientas que modelen

la dispersión atmosférica. El software utilizado en nuestra investigación fue el ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres), desarrollado por la Environmental Protection Agency de EU (EPA, por sus siglas en inglés).

Para visualizar la posible área de afectación presentamos un ejemplo en la figura 4, correspondiente al área del Nivel de Alerta de una Nube de Vapor Tóxica de Metanol, la cual podría ser provocada por un tanque de 55,000 litros.

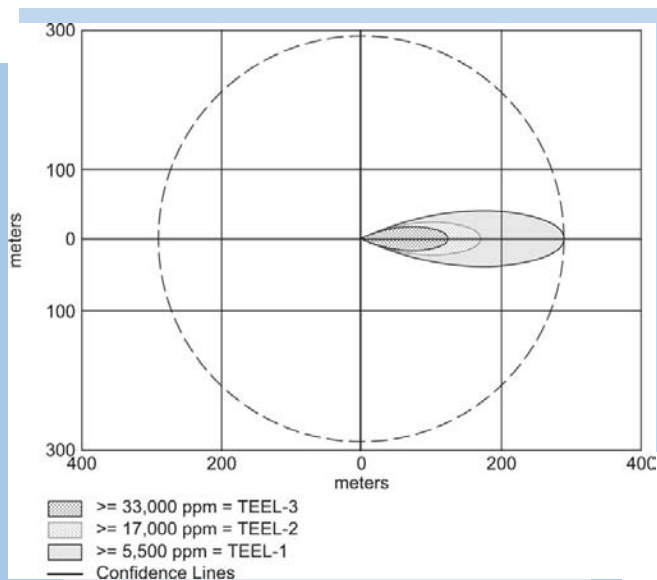
El programa puede evaluar escapes de elementos químicos por rotura de válvulas, tanques, o de evaporación de líquidos



Fuente: Agencia para la Protección del Medio Ambiente (EPA, por sus siglas en inglés), (1997).

Figura 4
Representación del escape de gas de un tanque

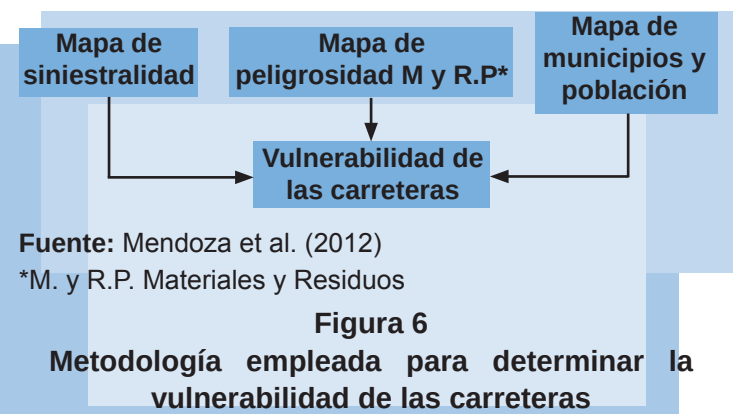
encharcados. Su función principal es predecir cómo una nube de gas peligroso se dispersa en la atmósfera después de un escape accidental. [AUM 2007]. La figura 5 muestra un ejemplo de dispersión que se realizó en la investigación.



Fuente: Mendoza et al. (2012)

Figura 5
Área de afectación probable

Para determinar la población que posiblemente se vería afectada si algún suceso como los ejemplificados ocurriera, es decir la población vulnerable, se utilizó la técnica de superposición de mapas (Figura 6). El primero de ellos corresponde al mapa de siniestralidad donde se localizan todos los accidentes ocurridos en la red carretera federal durante el periodo de análisis (2006-2009). El segundo mapa corresponde a la peligrosidad de cada sustancia involucrada en cada accidente, para la construcción de este mapa se usó el modelador ALOHA, en éste se incluye el radio de afectación probable de cada accidente. El mapa número tres lo constituye el mapa de municipios de México el cual incluye la población que reside en cada uno de ellos, esto para determinar el número de habitantes que pueden estar bajo riesgo de quedar inmersos dentro de un área de afectación.



Con respecto a lo anterior algunos de los mapas generados mediante la técnica descrita se encuentran mayor detalle en la publicación técnica 364 referida.

Uno de ellos muestra un detalle más fino de la concentración de accidentes por tramo carretero de vehículos que transportan materiales y residuos peligrosos, donde los tramos marcados en rojo representan la mayor concentración de accidentes en el periodo de estudio.

Para determinar el territorio potencialmente expuesto que se puede ver afectado por un accidente en el transporte de materiales y residuos peligrosos, es necesario zonificar el área sensible y el número de personas que residen en ella, basados en los accidentes registrados y los materiales involucrados en el periodo 2006-2009.

Para ello fue necesario concentrar el número de accidentes por municipio y con ello establecer clases de siniestralidad, como nula, baja (igual a 1 accidente), media (entre 2 y 5 accidentes) y alta (mayor a 5 accidentes).

La figura 7 muestra el mapa de vulnerabilidad por municipio de la República, donde 457 municipios tienen uno o más accidentes.

La población vulnerable se obtuvo al cuantificar el número de personas viviendo

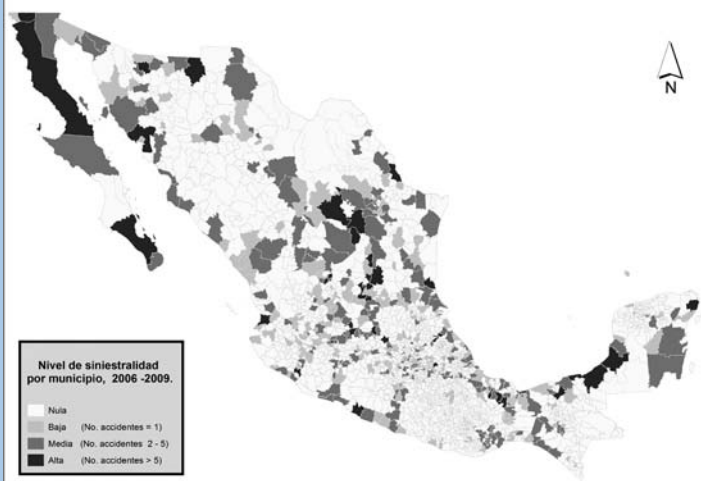


Figura 7
Nivel de siniestralidad por municipio,
2006-2009

en ellas, dentro de los radios de afectación, por accidente y por sustancia modelada. Los radios de afectación se determinaron para cada una de las sustancias transportadas en la red de carreteras en México.

La población vulnerable en los 1,192 accidentes registrados con radio de afectación de 2006-2009 en el transporte de materiales y sustancias peligrosas se presenta en la figura 8, donde también se aprecian los radios de afectación.

Los resultados muestran que de las 192,244 localidades registradas por el INEGI en México, han estado expuestas alrededor de 4,565 en los 1,192 accidentes mapeados en el periodo de 2006-2009, lo cual representa el 2.4% de localidades vulnerables en el país.

En relación a población las 4,565 localidades están conformadas por alrededor de 5,614,946 habitantes según datos del censo de población y vivienda del año 2010. Esta población vulnerable representa un 4.99% de la población total del país, estimada en el mismo censo en 112,336,538 habitantes.

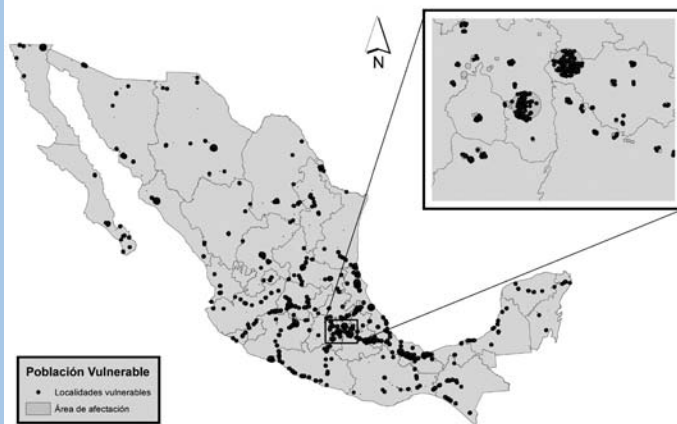


Figura 8
Población vulnerable, 2006-2009

Conclusiones

La vulnerabilidad quedó determinada en función de la estadística de accidentes en carreteras federales en el transporte de materiales y residuos peligrosos, en el periodo 2006-2009. Dicha estadística nos permitió identificar las zonas de riesgo en relación a la frecuencia de accidentes ocurridos en la misma carretera o en el mismo municipio. En función de ello se determinaron las zonas vulnerables.

Por otra lado, se estableció el grado de peligrosidad de cada accidente en función del tipo de sustancia que transportaba, definiendo radios de afectación, con ello se identificó la población que se encuentra inmersa en esas zonas y que estuvieron en riesgo de padecer algún tipo de afectación debido a esos accidentes, aunque en la realidad no se tiene registros sobre población afectada o de ecosistemas dañados, o de infraestructura de transporte afectada.

La identificación de las carreteras vulnerables y sus áreas de influencia permiten establecer zonas de riesgos probables en función de la

estadística de siniestralidad, para con ello establecer planes y/o programas de alerta que atiendan posibles consecuencias derivadas de accidentes y sus efectos nocivos.

Los programas de alerta, tendrán el objeto de tener una pronta respuesta para atender una emergencia ambiental en el transporte de materiales y residuos peligrosos y con ello limitar el riesgo a la población, a los ecosistemas y a la infraestructura carretera. Los riesgos son impredecibles, sin embargo, con la información que se tiene disponible es posible determinar planes de contingencias y el establecimiento de puntos de rápida respuesta por parte del personal de protección civil.

La responsabilidad civil de los transportes de materiales y residuos peligrosos podría ampliarse al evaluar los posibles riesgos en función de los escenarios críticos desarrollados en nuestra investigación, de tal manera que los seguros de daños contemplen correctamente los posibles impactos de un accidente carretero.

Se pudo identificar que a mayor cantidad de sustancia transportada, las zonas vulnerables se incrementan considerablemente hasta un radio de afectación de 10km, por lo que se recomienda revisar para cada sustancia en lo particular los límites máximos que se permitan para el transporte.

Un factor importante a considerar a futuro en la planeación de vías terrestres es la regulación de los usos del suelo aledaños a las carreteras, sobre todo en aquellas vías que se permite el transporte de materiales y residuos peligrosos, con la finalidad de mantener alejadas a las poblaciones. Una discusión particular deberá darse sobre el transporte de dichos materiales a través de carreteras que atraviesan zonas altamente sensibles como las áreas naturales protegidas.

Otro aspecto es la forma de alertar a la población a través de sistemas de aviso para informar acerca de los riesgos a los que están expuestos, las medidas adoptadas para evitarlos o minimizarlos, y las acciones que la población deberá tomar en caso de ser impactada.

En el caso de accidentes, se debe evitar en lo posible la circulación sobre la vía afectada, por lo que deberán existir operativos de respuesta inmediata para desviar el tránsito a rutas alternas, para impedir congestionamientos, evitando que los vehículos con conductores y pasajeros permanezcan en la zona de riesgo totalmente varados.

Los resultados obtenidos permiten a las autoridades correspondientes tener elementos importantes de discusión para mejorar la normativa en relación al transporte de materiales y residuos peligrosos, sobre el análisis de los diferentes materiales que actualmente circulan por las carreteras en relación al impacto a la salud y al medio ambiente que pueden provocar, y por otro lado en relación a las estrategias relacionadas con la respuesta inmediata para mitigar y contener los daños al medio ambiente derivados de los accidentes carreteros.

Referencias

Mendoza Sánchez, Juan Fernando; *et al*; Publicación Técnica no. 364 VULNERABILIDAD DE LAS CARRETERAS POR EL TRANSPORTE DE MATERIALES Y RESIDUOS PELIGROSOS. Querétaro, México 2012.

¹ El Universal periódico electrónico

² Aristegui Noticias periódico electrónico

MENDOZA Fernando
fmendoza@imt.mx
ROMERO Luis
lromero@imt.mx

MONITOREO PERIÓDICO DE UN TRAMO DE PAVIMENTO DE CONCRETO ESTRUCTURALMENTE REFORZADO CONTINUO (PCERC)

Introducción

Actualmente, para el desarrollo de la infraestructura del transporte de un país es importante impulsar proyectos de investigación que promuevan la aplicación de nuevas tecnologías para su construcción, diseño y operación, con el objetivo de mejorar su desempeño, incrementar la vida útil y disminuir los costos de construcción, operación y mantenimiento.

Un caso particular de este tipo de propuestas es el concepto del pavimento de concreto estructuralmente reforzado continuo (PCERC) [1], que es una alternativa a los pavimentos tradicionales de concreto que se han estado utilizando 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.

Así, es que el IMT desarrolla un estudio experimental para determinar, en el tiempo, el desempeño estructural de un sistema PCERC y determinar su viabilidad para la construcción de carreteras. Para el diseño propuesto, es de particular importancia la evaluación del deterioro en el tiempo a través de monitoreo periódico [2] y pruebas puntuales sobre el pavimento. En esta nota técnica se describen algunos de los primeros resultados obtenidos de las pruebas en campo.

Instrumentación del tramo experimental PCERC

Para evaluar el desempeño estructural del PCERC, se realizó una propuesta para la construcción de este tipo de sistema en la autopista México-Querétaro en el tramo carretero entre Palmillas-Querétaro carril de baja velocidad del cuerpo B entre el km 166+000 y el 166+300 con un ancho de carril de 3.50 m. Para la construcción en el

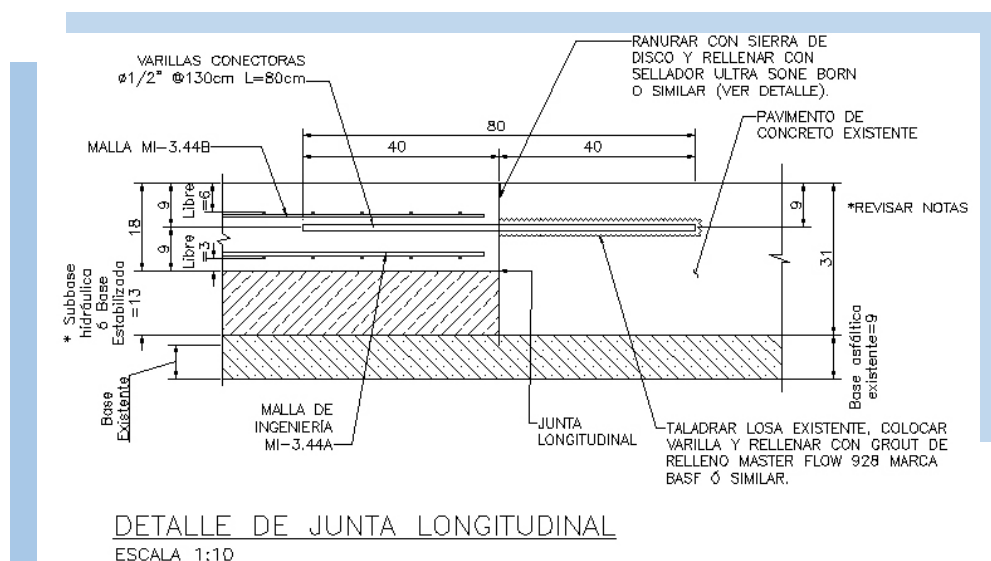


Figura 1
Detalle del arreglo del pavimento de concreto estructuralmente reforzado continuo

tramo seleccionado, se demolió la losa de pavimento de concreto tipo JPCP, “Jointed Plain Concrete Pavement”, y se construyó una losa de concreto hidráulico con doble malla de acero como refuerzo con un espesor de 18 cm, el arreglo del PCERC se puede observar en la Figura 1. La losa antigua fue construida con un espesor aproximado de 32 cm por lo que el espesor restante (12- 15 cm) se cubrió con material granular (base hidráulica) o base estabilizada con cemento al 5 % [3].

Para facilitar la evaluación y correlación de los datos del monitoreo estructural del tramo experimental, se decidió instrumentar una longitud de 16 metros, la cual abarca 7 arreglos de dos mallas, una malla superior a 6 cm de profundidad y una inferior a 15 cm de profundidad. De los 7 arreglos experimentales, 3 arreglos se encuentran apoyados sobre una base hidráulica y los restantes sobre una base estabilizada. La cercanía de las bases tiene como beneficio la proximidad de los sensores por lo que la información recopilada puede ser comparada directamente, usando de referencia el paso del mismo vehículo.

Para evaluar periódicamente el tramo carretero se implementó un sistema de monitoreo con sensores de fibra óptica 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 con diferentes cargas y a distintas velocidades. La temperatura en el sistema estructural para obtener el gradiente a lo largo del espesor de la losa de concreto y asociar estos gradientes térmicos con las deformaciones sufridas en el concreto y en las varillas de acero y finalmente, para procesar las respuestas dinámicas de aceleración del sistema y comparar las frecuencias naturales del sistema estructural en el tiempo y evaluar la pérdida de rigidez del sistema.

En la Figura 2 se muestra una vista superior del tramo experimental instrumentado, en ella se observa la posición relativa de los sensores, el lugar del cambio de base hidráulica a base estabilizada para el pavimento y una grieta inducida al sistema para evaluar su capacidad estructural bajo agrietamiento.

El sistema de monitoreo estructural implementado, consistió en el siguiente conjunto de sensores: 2 acelerómetros colocados sobre la rodela 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

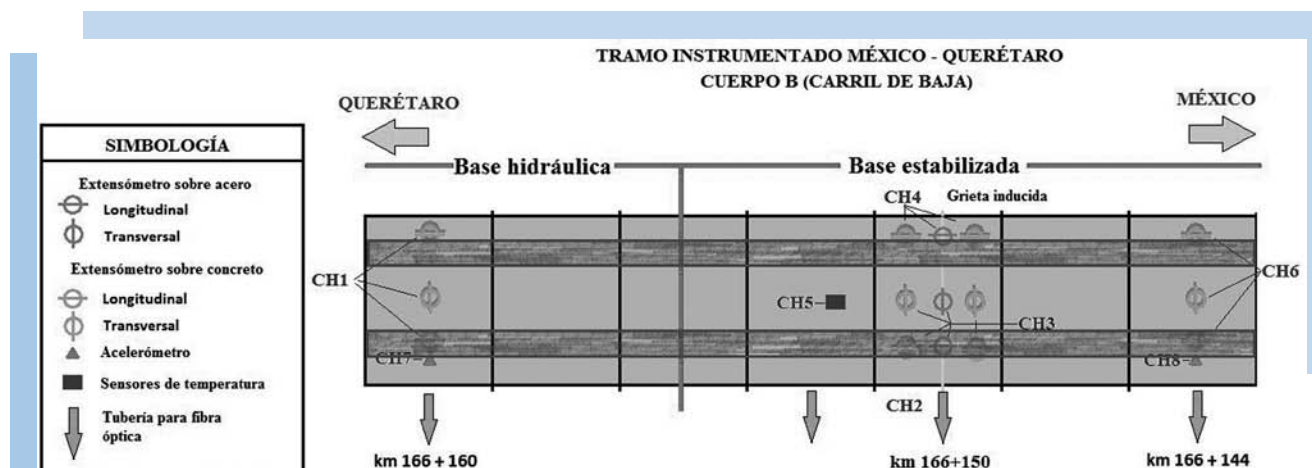


Figura 2
Arreglo experimental para la base hidráulica y la base estabilizada

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. Adicionalmente, se indujo una grieta en la base estabilizada en el km 166+150, sobre este tramo se colocó un arreglo de 15 sensores, 9 para medir las deformaciones longitudinales y transversales del acero y 6 para medir las deformaciones longitudinales y transversales del concreto. En la Figura 3 se puede observar la colocación de los sensores sobre las mallas del PCERC.

va desde 1 grado hasta más de 8 grados. En la figura 4 se pueden ver algunos de los gradientes de temperatura durante el transcurso del día. Puede observarse que durante la madrugada la superficie se encuentra con una menor temperatura y conforme el día transcurre se invierten los patrones para que la superficie alcance la mayor temperatura, invirtiéndose por completo los gradientes térmicos entre las 9 y 11 de la mañana.

Una consecuencia notable de estos cambios térmicos en el comportamiento estructural del PCERC, es que durante el día la magnitud de las deformaciones registradas en el acero y en el concreto no son iguales ante el efecto de una misma carga. Para corroborar este efecto se hizo circular un vehículo T3-S2, (tracto camión con remolque con peso controlado) a diferentes horas del día esperando observar la diferencia en las magnitudes de las

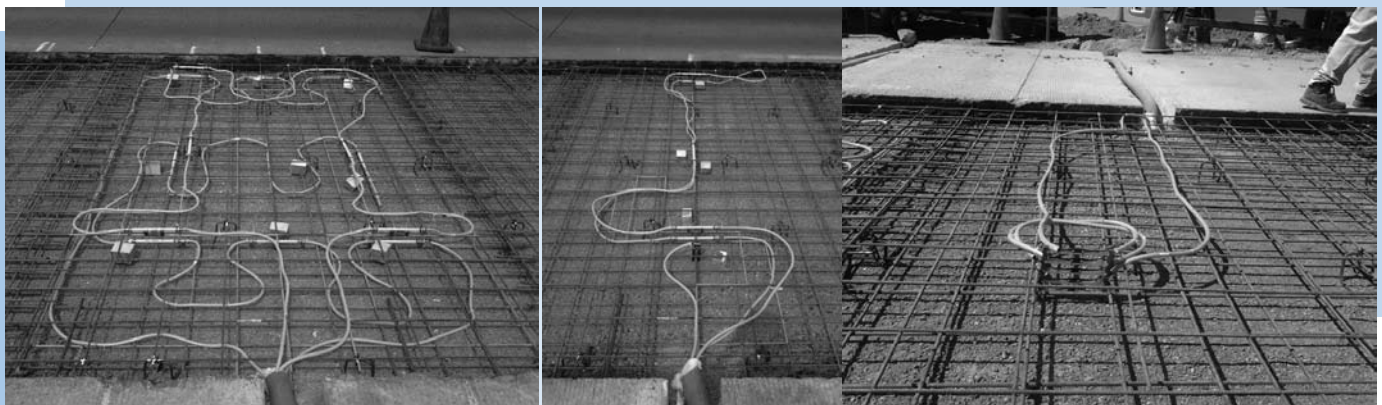


Figura 3

Sensores instalados en el tramo experimental carretero

Análisis de resultados

Efecto térmico

Uno de los principales resultados analizados fue la influencia de la temperatura sobre el PCERC. Durante todo el día la temperatura del interior de la losa de concreto es fluctuante alcanzando un gradiente térmico desde la superficie hasta los 18 cm de profundidad que

deformaciones unitarias bajo estos escenarios. En la figura 5 pueden observarse los cambios en las magnitudes de las deformaciones registradas en dos distintas horas para un mismo sensor de deformación longitudinal en el concreto, colocado sobre la rodera para la base hidráulica. En la gráfica es claro el aumento en magnitud en la deformación en más del 300%.

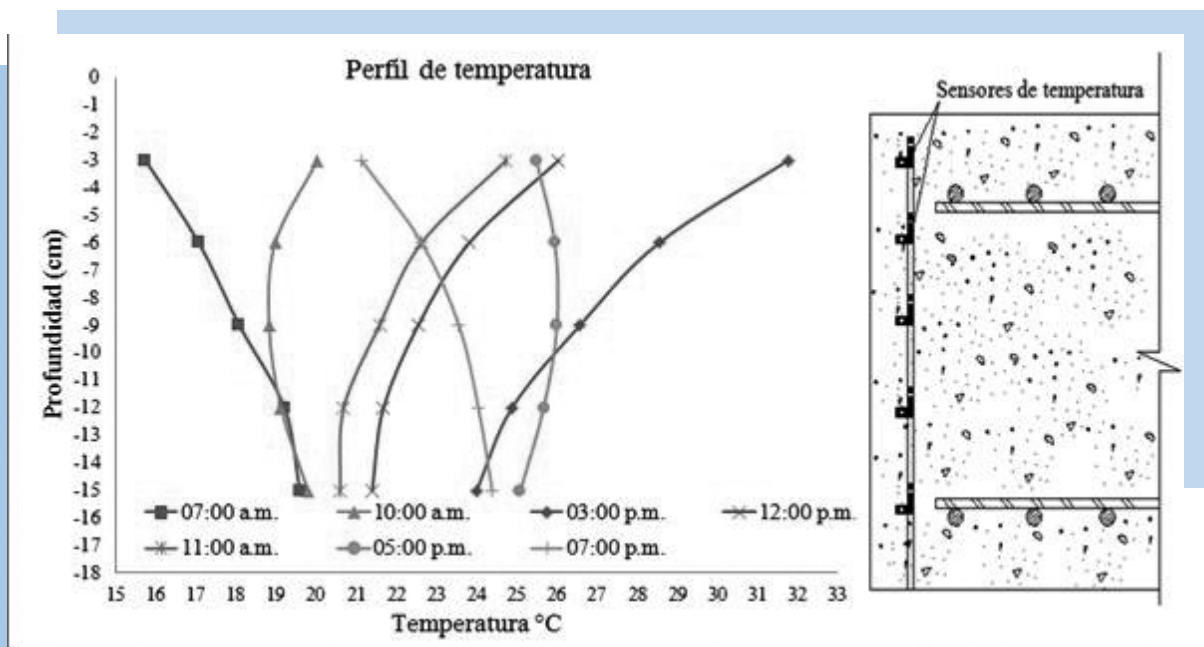
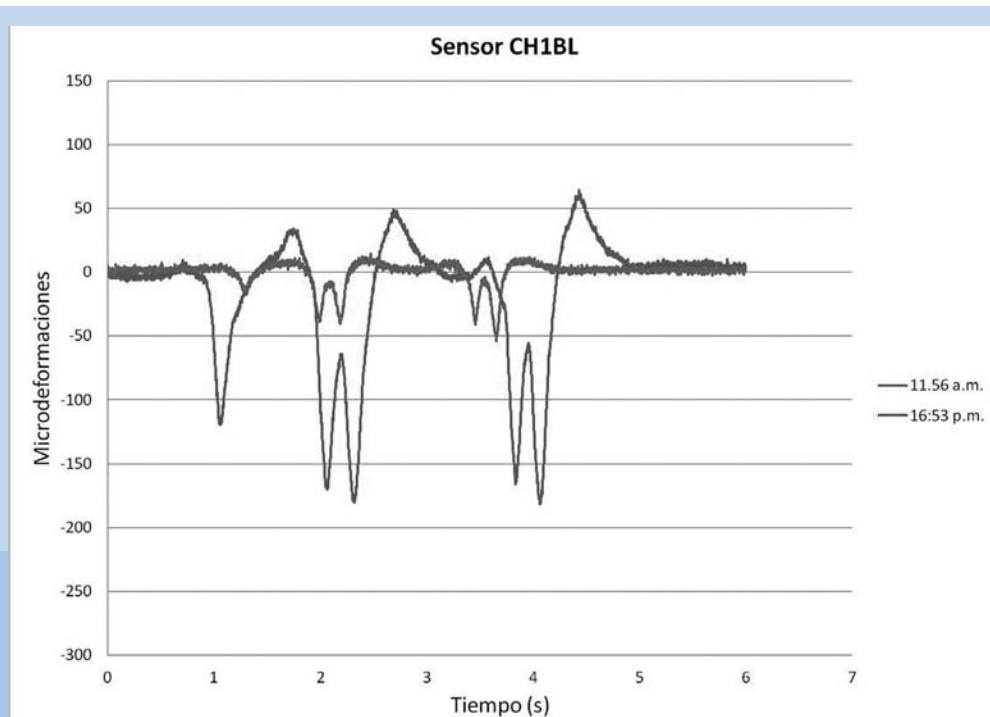


Figura 4
Arreglo experimental para la base Hidráulica y la base estabilizada

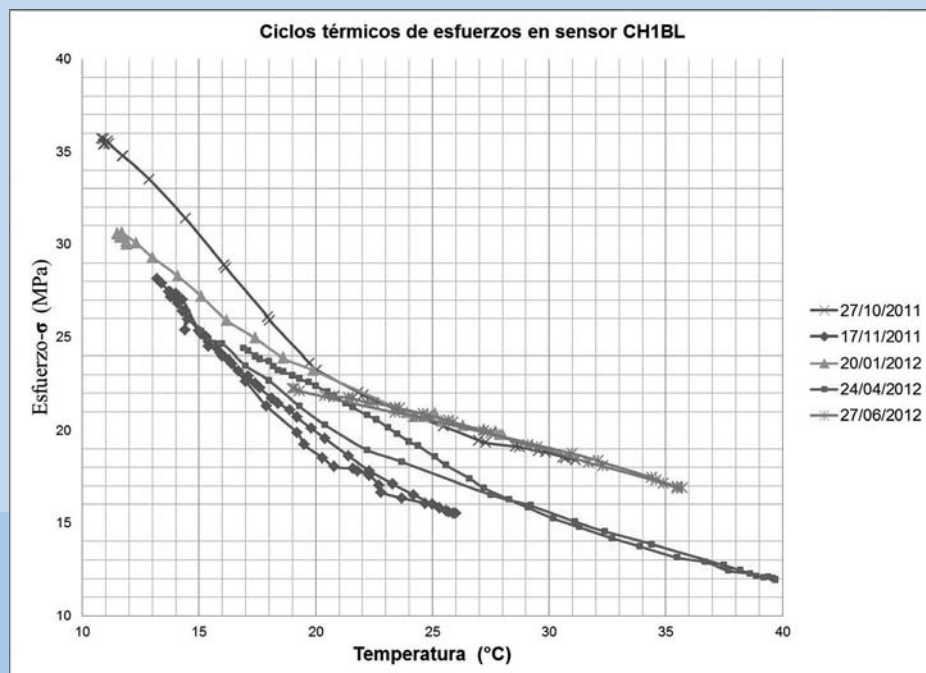
De las mediciones registradas y analizadas periódicamente, se observó que durante la mañana, cuando el sistema es más frío, se registran los mayores esfuerzos sobre el PCERC y conforme el sistema se calienta las magnitudes disminuyen gradualmente. Los registros generados se analizaron para cada cambio en un grado de temperatura durante el transcurso de un día y a través de varias mediciones en el tiempo, de la información, se corroboró la diferencia en magnitud de esfuerzos a diferentes temperaturas y la estabilización del sistema PCERC a través del tiempo. Producto de las mediciones realizadas y analizadas, se destaca una característica particular de comportamiento estructural del PCERC con las distintas bases de sustento del sistema. Mientras que en la base estabilizada se presentan condiciones de compresión en los sensores de deformación colocados sobre el concreto y de tensión en los sensores colocados sobre el acero, como era de esperarse, en la base estabilizada se obtienen mediciones durante casi todo el día de compresión tanto en los sensores de

deformación instalados en concreto como en el acero, lo cual es una situación deseable y que debe estudiarse con detalle ya que es favorable que el sistema en conjunto se encuentre trabajando a compresión.

Finalmente, en la figura 6 se puede observar ciclos térmicos completos durante un día en diferentes fechas durante el año, el gráfico muestra los resultados obtenidos del sensor colocado en concreto en dirección longitudinal sobre la base hidráulica, en él se puede apreciar como el sistema conforme se comienza a calentar se comprime hasta alcanzar su mayor valor a la temperatura más alta, posteriormente regresa y forma un ciclo por las diferencias que hay entre la velocidad con la que se calienta con respecto a la que se enfría. Otra característica visible de este gráfico, es que cuando se comenzó a dar seguimiento al sistema el concreto no había adquirido todas sus características mecánicas, por lo que para las siguientes mediciones hay un decremento de 6 MPa a un mes de monitoreo siendo que el sistema contaba aproximadamente con las mismas temperaturas.

**Figura 5**

Registro de las microdeformaciones de un carga controlada con diferentes gradientes térmicos

**Figura 6**

Ciclos térmicos en un sensor colocado en concreto en la dirección longitudinal sobre la base estabilizada

Conclusiones

Con el monitoreo que se realizó en el tramo de prueba, a un año de entrar en operación, se observa que el efecto de temperatura en el sistema PCERC es fundamental por el gradiente térmico que se genera y que provoca cambios en las deformaciones registradas a lo largo del día. Lo anterior puede deberse a los cambios en las condiciones de frontera entre el sistema PCERC y la base (hidráulica o estabilizada). Otro efecto del gradiente térmico es que los esfuerzos originados por un ciclo de temperatura son ligeramente mayores que los registrados por las cargas vivas de los vehículos, lo cual debe analizarse con detalle puesto que se tiene un ciclo térmico al día, comparado con los miles registrados por carga viva en ese mismo día.

Es concluyente que el sistema, en ambas bases, presenta mayores deformaciones a medida que baja la temperatura; adicionalmente, el pavimento es más sensible a las deformaciones con la base hidráulica, respecto a la base estabilizada. La diferencia en las deformaciones por el efecto de la temperatura sobre el PCERC, considerando ambas bases y como se mencionó, podría explicarse por los cambios en las condiciones de frontera entre el PCERC y las bases; además, del hecho de que se induce un efecto de compresión por la dilatación del sistema estructural y el confinamiento del mismo por ser un pavimento continuo. Por lo tanto, para entender mejor el sistema PCERC y en un futuro proponer mayores ventajas estructurales, es necesario desarrollar un estudio de simulación que analice el efecto térmico y las condiciones de frontera. En este caso, la información recabada durante el año de monitoreo, representa una ventaja para el estudio de simulación ya que se puede calibrar mejor el modelo al repetir las condiciones observadas en campo.

Finalmente, es importante resaltar la importancia del estudio realizado y el impacto que puede tener la aplicación de esta nueva tecnología de mostrarse su viabilidad; pero también y en general, debe destacarse la relevancia de toda investigación aplicada que pueda llegar a mejorar la infraestructura de México y que permita contar nuevos desarrollos tecnológicos que den solución a los distintos problemas existentes e, inclusive, puedan generar empresas que puedan competir en un mercado mundial.

Referencias

- [1] Pavimentos de concreto para carreteras. Congreso Mundial de Carreteras. IMCYC
- [2] Fibre Optic Methods for Structural Health Monitoring. Branko Glisic and Daniel Inaudi Ed. John Wiley & Sons, 2007.
- [3] Long term monitoring of a continuous reinforced pavement highway. Quintana Juan, Carrión Francisco, Garnica Paul, Gutierrez Jorge, Paez Generoso, Crespo Saúl, Gómez Antonio. Workshop on Civil Structural Health Monitoring (CSHM-4), Berlin Alemania, 2012

QUINTANA Juan
jquintana@imt.mx
CARRIÓN Francisco
carrion@imt.mx
CRESPO Saul
screspo@imt.mx

GLOSARIO

Artículo 1:

Material peligroso: es toda sustancia sólida, líquida o gaseosa que por sus características físicas, químicas o biológicas puede ocasionar daños a los seres humanos, al medio ambiente y a los bienes.

Vulnerabilidad: Susceptibilidad de los sistemas naturales, económicos y sociales al impacto de un peligro de origen natural o inducido por el hombre. La vulnerabilidad siempre estará determinada por el origen y tipo de evento, la geografía de la zona afectada, las características de las estructuras existentes, la salud del ecosistema, el grado de preparación para el enfrentamiento de la situación por la población, la comunidad y los gobiernos locales, así como por la capacidad de recuperación en el más breve tiempo posible.

Accidente carretero: Suceso imprevisto que altera el curso normal de un viaje, ocasionado por causas externas o internas en la conducción.

Artículo 2:

Microdeformación: Cambio de longitud por unidad de longitud (adimensional) expresada en valores de 10⁻⁶.

Ciclo térmico: Deformación asociada exclusivamente a los cambios de temperatura en un día.

Sensores de fibra óptica: Sensores que utilizan un haz de luz para medir las perturbaciones de un sistema.

PROYECTO EN MARCHA

Estimación de la carga en corredores carretero que pudiera ser atraída por el ferrocarril

En la actualidad, el autotransporte federal de carga tiene una relevancia económica preponderante que se confirma por su aportación en el PIB y por su participación como insumo del sector productivo reflejado en la estructura de la matriz de insumo-producto nacional.

Por otro lado, el sistema ferroviario nacional, tras años de rezago productivo antes de su privatización, hoy en día su imagen es la de

un sistema vigoroso ya que es el modo de transporte que mejor se comportó después de la crisis económica de 2009 pues mostró una tasa de crecimiento del 2.4% promedio anual en el período 1993-2010, seguido por los modos de transporte aeronáutico, carretero y marítimo con crecimientos del 2.2%, 1.5% y 1.1% respectivamente. Lo anterior se debe principalmente a la reactivación de las inversiones en ese sector.

Sin embargo, prevalece una situación de desbalance entre autotransporte y ferrocarril en el transporte de carga, en donde el primero mueve 83% de las toneladas y 80% de las toneladas-kilómetro. Este desbalance es aún mayor en el caso del transporte de pasajeros. En este contexto, se tiene además un cada vez mayor congestionamiento vial de las carreteras.

El Instituto Mexicano del Transporte (IMT) cuenta con información confiable sobre los flujos de origen a destino (O-D) para mercancías movidas por el autotransporte durante 2010, a partir de encuestas realizadas en estaciones instaladas en corredores carreteros importantes del país.



En el afán de analizar cómo podría disminuirse el desbalance entre los dos modos mencionados, en este trabajo se analiza el potencial de atracción que pudiese tener el sistema ferroviario para los flujos O-D por tipo de producto circulando por las estaciones de encuesta instaladas en 2010. Lo anterior, ante diferentes escenarios representativos de modificaciones al peso y/o las dimensiones autorizadas a algunas de las configuraciones vehiculares de carga.

Este trabajo le permitirá a la SCT contar con un modelo para cuantificar el desvío de la carga del sistema carretero hacia el ferroviario ante distintos escenarios, así como con algunos resultados que podrán ser de utilidad en el proceso de revisión de la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2008 sobre el Peso y Dimensiones Máximas con los que Pueden Circular los Vehículos de Autotransporte que Transitan en las Vías Generales de Comunicación de Jurisdicción Federal, que será eventualmente emprendido por la SCT.

MENDOZA Alberto

mendoza@imt.mx

VILLEGAS Noelia

villegas@imt.mx

ABARCA Emilio

eabarca@imt.mx

SAUCEDO Guadalupe

msaucedo@imt.mx

PUBLICACIÓN

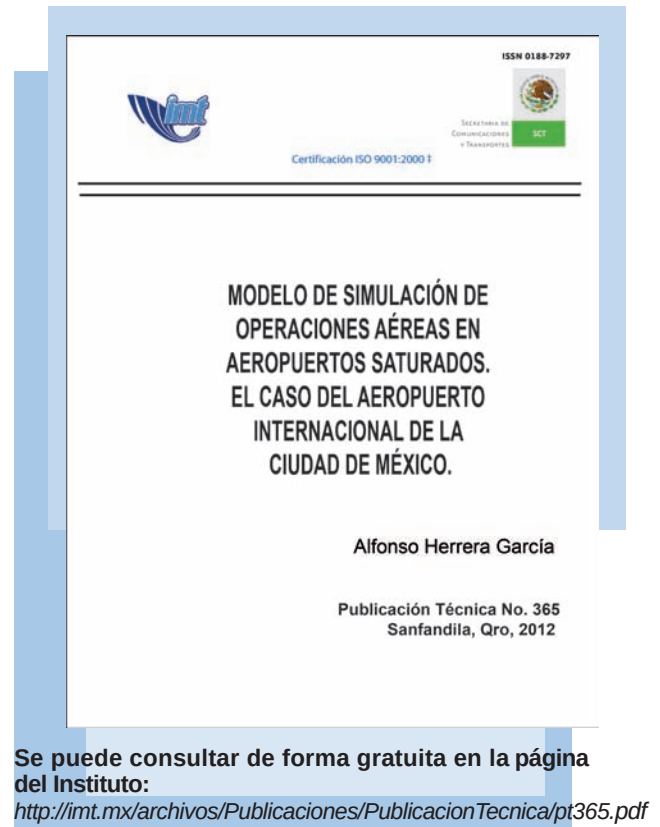
Modelo de simulación de operaciones aéreas en aeropuertos saturados. El caso del aeropuerto internacional de la ciudad de México

El principal reto del sistema aeroportuario nacional es la enorme demanda de servicios a atender en el Aeropuerto Internacional de la

Ciudad de México. El objetivo de este trabajo fue generar un modelo de simulación de este aeropuerto, considerando las principales

variables operativas en pistas, calles de rodaje y plataformas, para evaluar propuestas que soporten la toma de decisiones relacionadas con su planeación y operación. Para su desarrollo, se estableció un modelo conceptual, se recolectó y procesó información operacional, posteriormente se codificó dicha información mediante el programa Flexsim y se validó mediante pruebas de bondad de ajuste. Los resultados, presentados mediante tablas y figuras, muestran que este aeropuerto alcanzará niveles operativos críticos en el 2015.

También, se estimaron cuantitativamente los efectos de las labores de mantenimiento en pistas y el de condiciones meteorológicas adversas. Además, se evaluaron alternativas que podrían aliviar los problemas de saturación, por ejemplo, incrementando la capacidad de las pistas, reduciendo la demanda, incorporando nueva infraestructura, o mediante un nuevo procedimiento operacional. La aportación de este proyecto es el propio modelo, como herramienta de análisis; y un algoritmo para una nueva estrategia de atención de las aeronaves, aplicable a cualquier aeropuerto.



EVENTOS ACADÉMICOS Y CONGRESOS

Análisis y diseño mecánico de pavimentos en carreteras mexicanas (APP)

La aparición de nuevos materiales y técnicas de construcción, así como las condiciones cada vez más agresivas del tránsito vehicular que circula en la red mexicana de carreteras, hacen necesario el desarrollo de nuevas metodologías de análisis y diseño que permitan evaluar nuevas propuestas de estructuración de los pavimentos que contribuyan a la obtención de los más altos desempeños. Contar con una infraestructura

carretera que proporcione el mejor de los servicios a los usuarios, minimizando los costos de mantenimiento y operación, debe ser ya una prioridad en el sector transporte de nuestro País.

En el IMT se llevó a cabo este curso en las instalaciones del Instituto del 29 de julio al 2 de agosto con una duración de 36 hrs.

Su objetivo fue proporcionar a los asistentes los conocimientos y herramientas necesarios para el análisis y diseño de pavimentos con métodos mecanicistas.

Estuvo dirigido a profesionales, académicos y estudiantes interesados en la utilización de las metodologías avanzadas ya disponibles en la Ingeniería de Carreteras.

Tuvo una asistencia de 46 de los cuales provinieron de Dirección General de Servicios Técnicos, de los Centros SCT de San Luis Potosí, Nuevo León y Chiapas. De las Universidades Autónomas de Sinaloa, Querétaro, Chiapas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Universidad de Las Américas Puebla, Instituto Tecnológico de Matamoros, Universidad de Colima, Instituto Tecnológico de Matamoros e Instituto Politécnico Nacional; de las empresas ICA Ingeniería, Laboratorio Bucosa, Agrupación Integral de Ingeniería SOS S.A. de C.V., Interservicios de Tabasco S.A. de C.V., Semmateriales México, S. de R.L. de C.V., Asesor Lozano Barón Mabel Dayana, Semmateriales México S. de R.L. de C.V., Operadora CICSA, S.A. de C.V., Grupo Esdi-Consultores, S.A. de C.V., Dan Profesionales de La Contrucción y La Consultoría Asociados, S.A. de C.V., IciArk S.A. de C.V., Semmateriales México S. de R.L. de C.V., Asociación Mexicana de Asfalto A.C., Operadora Cicsa S.A. de C.V.

Alguna de la temática impartida fue:

- Factores mecanicistas que afectan el diseño de pavimentos
- Caracterización del tránsito vehicular con espectros de carga
- El concepto de espectro de carga
- Ejemplos de cálculo e interpretación
- Ajustes matemáticos
- Cálculo de esfuerzos y deformaciones

- Modelado de la sección de análisis
- Propiedades fundamentales de los materiales
- Ubicación de puntos críticos
- Ejemplos de análisis
- Modelos de deterioro en pavimentos flexibles
- Ley de Miner
- Agrietamiento por fatiga.
- Deformaciones permanentes
- Cálculo de espectros de daño
- El concepto de espectro de daño
- El concepto de período de diseño
- Interpretación y análisis
- Procedimiento de diseño
- Presentación del software IMT-PAVE 1.0
- Definición de los espectros de carga de diseño
- Definición de propiedades para diseño
- Obtención de espectros de daño
- Análisis de alternativas



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. Víctor 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 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.

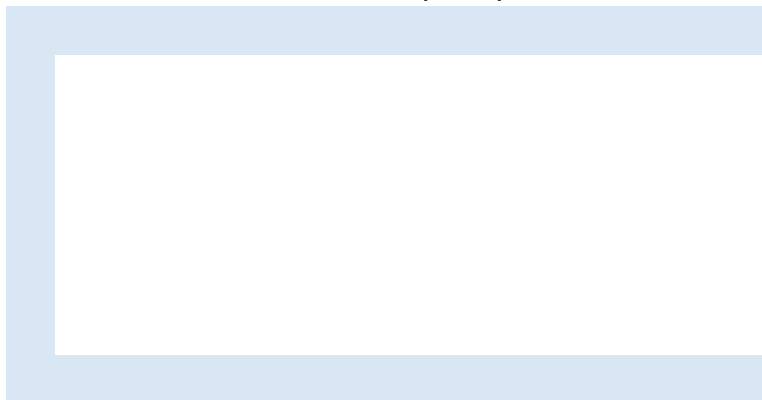


INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
APARTADO POSTAL 1098
76000 QUERÉTARO, QRO
MÉXICO

Registro Postal
Cartas

CA22-0070

Autorizado por Sepomex



POR AVIÓN
AIR MAIL