

# NOTAS

*Publicación bimestral de divulgación externa*



Número 178

Sanfandila, Qro

mayo/junio de 2019

## Identificación de las frecuencias naturales y modos de vibrar del puente Mezcala Solidaridad.

Uno de los objetivos de la implementación de un sistema de monitoreo es analizar y evaluar el comportamiento estructural en una estructura civil a través del tiempo para poder establecer acciones de mantenimiento oportunas que garanticen la integridad de la estructura y seguridad de los usuarios.

Algunos de los parámetros que se evalúan son las frecuencias naturales y formas modales de una estructura. Para poder obtener y evaluar estos dos parámetros estructurales, la estructura debe ser excitada y su respuesta dinámica debe ser registrada en varios puntos de la estructura a través de sensores de desplazamiento, velocidad, aceleración o extensómetros. En el caso de las estructuras que tienen un sistema de monitoreo instalado, la excitación de la estructura se puede obtener bajo condiciones de operación normal, estas pruebas tienen la ventaja de ser poco costosas debido a que no es necesario interrumpir el tránsito.

El objetivo del presente estudio es identificar los parámetros modales (frecuencias naturales y formas modales) del puente Mezcala analizando los datos provenientes del sistema de monitoreo mediante técnicas de identificación modal en el dominio de la frecuencia.

El puente Mezcala es un puente atirantado, ubicado en el kilómetro 221 de la Autopista del Sol, en el estado de Guerrero, México (figura 1). Debido a su localización geográfica, flujo vehicular e importancia económica, dicho puente es uno de los más importantes en México.

### CONTENIDO

Identificación de las frecuencias naturales y modos de vibrar del puente Mezcala Solidaridad.	1
Modelos físicos en la ingeniería hidráulica.	3
Propiedades mecánicas de un suelo estabilizado con "estabilical".	4
Recomendaciones de seguridad para zonas de obra.	5
Publicación: Impacto del incremento al precio de los combustibles en los costos de operación vehicular.	7
Eventos académicos: Vuelo inaugural de dron autónomo en las instalaciones del IMT para transporte de mensajería ligera.	7



Figura 1. Puente Mezcala Solidaridad

### Principales estadísticas generadas

El sistema de monitoreo estructural instalado en el puente Mezcala está compuesto de sensores de fibra óptica tipo FBG (Fiber Bragg Grating), que incluye extensómetros, sensores de temperatura, acelerómetros en tirantes y torres, inclinómetros, cámaras de video, estación meteorológica y estación sismológica.

Utiliza un software de adquisición y procesamiento de datos de sensores FBG llamado "IMT Monitorem", el software entre otras funciones, registra la información obtenida de todos los sensores en tiempo real producto de las excitaciones bajo condiciones de operación normal del puente. Para un manejo y procesamiento adecuado de la información, las señales registradas y analizadas por el software, se almacenan en archivos de 2 minutos a una frecuencia de 62.5 Hz. En la figura 2. se puede observar la respuesta dinámica típica de un sensor de deformación.

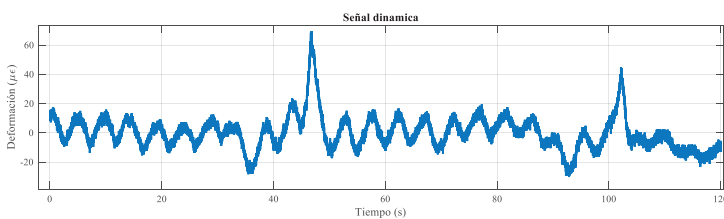


Figura 2. Señal típica de un extensómetro ante excitaciones ambientales

Para la identificación de las frecuencias y formas modales del puente Mezcala, se utilizaron las respuestas dinámicas de los sensores de deformación instalados en las vigas principales del puente (figura 3).

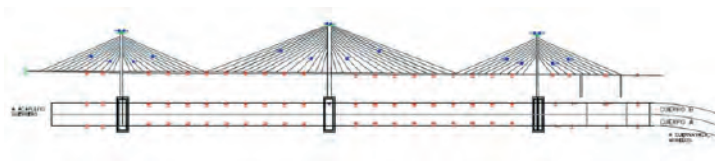


Figura 3. Extensómetros instalados en el puente Mezcala

### Análisis modal mediante elemento finito

El Modelo de Elemento Finito (MEF) del puente Mezcala fue desarrollado en el software de elemento finito StaDyn que permite el análisis estático, modal y dinámico en el dominio de la frecuencia y del tiempo de estructuras tridimensionales. Consta de diversos tipos de elementos. Por ejemplo, para modelar los tirantes se utilizaron elementos tipo barra con un módulo de elasticidad equivalente, mientras que las vigas, pilones, travesaños y torres, fueron modeladas mediante elementos tipo viga. Por último, el tablero y las pilas fueron modelados utilizando elementos tipo placa. En total, el modelo se compone de 7,646 elementos y 2,940 nodos (figura 4).



Figura 4. Señal típica de un extensómetro ante excitaciones ambientales

Con los datos obtenidos del sistema de monitoreo del puente Mezcala se han identificado los siete primeros modos de vibrar de la estructura, todas las respuestas dinámicas corresponden a excitación bajo condiciones de operación normal (viento y vehículos), por lo que no han sido requeridas pruebas dinámicas controladas en el puente para obtener los parámetros modales.

Con las frecuencias naturales identificadas, el análisis de los modos de vibrar y la evaluación de los datos del sistema de monitoreo se puede dar seguimiento al comportamiento estructural del puente, de tal manera que cuando se identifiquen cambios en estos parámetros estructurales, se implementen técnicas de evaluación y detección de daño con el fin evaluar la integridad de la estructura.

Se reconoce la participación y se agradece la asesoría técnica del Dr. Francisco Javier Carrión Viramontes en el análisis y evaluación de la información para la elaboración de esta nota.

Consulta el artículo completo en:

<https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=484&IdBoletin=178>

ANAYA Miguel  
QUINTANA Juan  
HERNÁNDEZ Jorge  
MARTÍNEZ Álvaro

manaya@imt.mx  
jaquintana@imt.mx  
jhernandez@imt.mx  
amartinez@imt.mx



## Modelos físicos en la ingeniería hidráulica

La importancia de la modelación física, particularmente en la hidráulica marítima, versa en la relevancia de verificar el comportamiento en las estructuras de protección costera, marítima y portuaria bajo la acción de condiciones oceanográficas extremas, previas a su construcción, en cualquier región del litoral mexicano y del mundo.

Para tal propósito, existen varios métodos, dentro de los cuales hay dos en particular: los modelos matemáticos y los físicos; estos últimos, son de vital importancia para verificar físicamente los comportamientos de cada una de las variantes que intervienen en su realización.

Antes de iniciar con el programa de ensayos previamente establecido, es necesario realizar la calibración, tanto de equipo e instrumentación, como de las señales de oleaje ya que de estas depende reproducir fielmente las características del oleaje que inciden en la región local donde se va a construir la estructura marítima.

### Análisis y planeación

En general, las magnitudes físicas a intervenir en los modelos, se clasifican en dos grupos: básicas o fundamentales y, derivadas o secundarias. Dentro del primer grupo, se encuentran la longitud (L), masa (M) y tiempo (T). Y dentro del segundo grupo, las derivadas de la conjunción de algunas del primero, como son área (A), volumen (V), velocidad (v), gasto (Q), fuerza (F), o cualquier otra (X) en función de las primeras.

$$(X) = f(L, M, T) \text{ ó } [X] = [L^x M^y T^z]$$

### Tipos de modelos en la ingeniería hidráulica

Dentro de las modelaciones en la ingeniería hidráulica, se encuentran los modelos de **fondo fijo** para reproducir fenómenos en donde la variación de niveles y las velocidades del flujo (movimiento del agua) son parámetros determinantes. En otros casos se usan para estudiar fenómenos locales sobre estructuras sumergidas, agitación de oleaje y estabilidad estructural.

Los modelos de **fondo móvil**, se emplean para estudiar los problemas relacionados con la estabilidad de cauces de ríos o canales y playas.

### Preparación previa a la construcción de modelos

Es necesario recabar información de la obra civil que se

desea construir, las características que intervendrán en el modelo; el oleaje incidente sobre el sitio donde se va a construir la obra civil o analizar el comportamiento del lugar en interés, la longitud vertical (altura de ola), longitud horizontal (longitud de ola) y magnitud de tiempo (periodo de la ola).

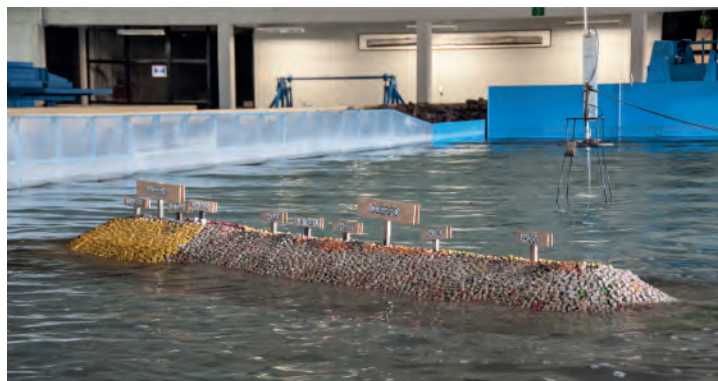
En el caso de modelaciones de obras de protección marítima y/o costera, también es necesario disponer de las magnitudes dimensiones o longitudes del prototipo, y pesos.

### Construcción, análisis e interpretación del modelo

Los pasos para la construcción son: trazado, nivelado y adecuación del modelo dentro de sus magnitudes básicas o primarias; la adecuación y representación de las magnitudes secundarias del prototipo, en el caso de construcción de obra civil, por ejemplo, características geométricas en longitudes, pesos y volúmenes. Ya construido el modelo, se llevan a cabo los ensayos donde intervienen las fuerzas representadas por oleaje, corrientes, viento, cargas, etc.

### Construcción, análisis e interpretación del modelo

En el IMT, en el Laboratorio de Hidráulica Marítima, se han realizado diversas modelaciones, para proyectos de investigación, relacionados con obras de protección costera, portuaria y de movimiento de sedimentos, en los cuales se ha verificado y mejorado lo descrito en esta publicación, donde los resultados fueron aplicados satisfactoriamente en las obras requeridas. Como ejemplo se tiene la siguiente figura.



Consulta el artículo completo en:

<https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=485&IdBoletin=178>

FLORES Esteban  
SERVÍN Dolores  
MENDOZA Manuel

jflores@imt.mx  
dservin@imt.mx  
mmendoza@imt.mx



# Propiedades mecánicas de un suelo estabilizado con “estabilical”

Cuando se construye una carretera lo ideal es que ésta se mantenga en condiciones adecuadas por el periodo para el cual fue diseñada. Sin embargo, en algunas ocasiones las estructuras fallan prematuramente. Por esto, los ingenieros se han dado a la tarea de investigar cuáles fueron las causas de la falla y así, proponer otros mecanismos para tener carreteras más durables.

Uno de los mecanismos es mezclar materiales tradicionales con aditivos para mejorar propiedades mecánicas. Al respecto, existen decenas de aditivos que ofrecen mejorar las propiedades índice y mecánicas de los materiales de construcción de carreteras. La literatura en este tema clasifica a los aditivos en “tradicionales” y “no tradicionales”. En el primer rubro se ubican tres materiales: el cemento, la cal y el asfalto. En el segundo se encuentran aditivos como enzimas, polímeros, zeolitas, etc.

La cal, tema de este artículo, ha sido investigada de forma abundante en varios países, pero aún existen aspectos que pueden contribuir al conocimiento. En este artículo, los autores muestran en qué medida se modifican las propiedades mecánicas de una arena mal graduada (SW) que se estabilizó con 5% de estabilical con respecto a peso seco.

## El proceso de estabilización con cal

Cuando se adiciona cal a un suelo cohesivo, los iones de calcio reemplazan los iones de sodio de la fracción de arcilla hasta que el suelo se satura con calcio y el pH se incrementa a un valor en exceso de 12 (altamente alcalino). La solubilidad del sílice y alúmina en el suelo se incrementa dramáticamente cuando el pH es mayor a 12 y su reacción con la cal puede seguir, lo que produce compuestos cementantes de silicatos de calcio y aluminatos. Estos compuestos cementantes forman un esqueleto que unen a las partículas de suelo.

Los efectos del tratamiento con cal pueden ser de corto y largo plazo. Los efectos inmediatos (corto plazo) se logran sin que se dé un proceso de curado y son de primordial importancia en la etapa de construcción. Este efecto se atribuye al intercambio catiónico y floculación-aglomeración que se presenta cuando la cal se mezcla al suelo. Por otro lado, los efectos a largo plazo se presentan durante el curado y posteriormente (Mallela et al., 2004 citado por Amu et al., 2011).

## Materiales que pueden ser estabilizados con cal

Existen varias formas de elegir el tipo de suelo en los que se puede aplicar la cal. Por ejemplo, las autoridades de carreteras de Etiopía usan los datos especificados en la Tabla 1 en la que indican qué suelos pueden ser estabilizados con cal (Ethiopian Roads Authority, 2002):

Tabla 1. Guía para seleccionar el tipo de estabilizante de acuerdo con plasticidad y granulometría.

Tipo de estabilizante	Propiedades del suelo					
	Más del 25% pasa la malla de 0.075 mm			Menos del 25% pasa la malla de 0.075 mm		
	PI≤10	10<PI≤20	PI>20	PI≤6	PI≤10	PI>10
Cal	*	Si	Si	No	*	Si

\* Indica que el agente tendrá efectividad marginal.

Existen otros criterios para decidir qué tipo de suelos se pueden estabilizar con cal, por ejemplo, el Departamento de Transporte de Queensland indica que los suelos con bajas proporciones de arcilla reactiva no son adecuados para estabilizarse con cal.

## Determinación de la cantidad de cal para estabilizar un suelo

La prueba de Eades y Grim (ASTM D6276) identifica la cantidad de cal requerida para satisfacer inmediatamente las reacciones suelo-cal y proporciona suficiente calcio residual y un sistema con pH alto (cerca de 12.4 a 25°C), lo cual es necesario para tener condiciones apropiadas para que se presenten las reacciones puzolánicas a largo plazo que son las responsables del desarrollo de la rigidez y la resistencia (Little y Yusuf, 2001).

Otros autores indican que el porcentaje de cal depende del tipo de suelo a ser estabilizado. El porcentaje de cal a utilizar puede determinarse haciendo pruebas de límites de consistencia para determinar en qué medida el índice de plasticidad se ve reducido al utilizar diferentes cantidades de cal; así también se puede hacer con pruebas de resistencia para ver qué porcentaje maximiza esta propiedad (Amu et al., 2011).

Consulta el artículo completo en:

<https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=486&IdBoletin=178>

PÉREZ Natalia  
PÉREZ Alfonso  
GARNICA Paul

nperez@imt.mx  
aperez@imt.mx  
pgarnica@imt.mx



# Recomendaciones de seguridad para zonas de obra

Para minimizar el riesgo que se presenta en una carretera con trabajos en desarrollo, la desviación del tránsito debe ser siempre la primera opción. Si ésta no es posible, el tránsito debe guiarse de manera tal que circulen a una distancia segura de la zona en obras. La última opción siempre debe ser separar el tránsito de la zona de obras mediante dispositivos viales.

Por otro lado, es recomendable realizar los trabajos en el horario con menor intensidad de tránsito, con el fin de minimizar la interferencia en la operación de la carretera. Sin embargo, debe considerarse que en nuestro país es común que cuando hay menos aforo vehicular la velocidad de operación tiende a aumentar, por lo que se deben colocar señales que informen sobre la zona en obra con suficiente distancia.

## Recomendaciones técnicas

### 1. Establecimiento de la zona de obras

Existen varias técnicas para realizar una rápida y segura señalización de la zona, entre ellas:

- i. Breve cierre total de la vialidad para colocación de señalamientos sin interactuar con el flujo vehicular.
- ii. Uso de vehículos especiales para colocar el señalamiento provisional. (ver Figura 1)
- iii. Equipos automatizados para colocación y retiro de señalamiento.



Figura 1. Grúa para despliegue de señalización de obra.

### 2. Información, advertencia y guiado a los usuarios

Las señales de mensaje variable son una herramienta eficiente para brindar información actualizada sobre las condiciones que los usuarios encontrarán a través de la zona intervenida.

La colocación de marcas temporales sobre el pavimento para guiar la trayectoria a seguir por parte de los conductores también ayuda bastante para evitar confusiones y lograr un rápido entendimiento de la situación.

Respecto al aviso de orientación y cambio de carril, los sistemas de separación de sentidos de circulación brindan excelentes resultados para la canalización del tránsito.

Otra situación muy común se presenta cuando al cerrar un carril se crea una convergencia de trayectorias, en dicha zona debe colocarse señalización incitando a los vehículos a ceder el paso. De acuerdo con recomendaciones probadas en EUA (Finley et al. 2001), una buena práctica para indicar cambios de carril viene dada por un sistema interconectado de luces intermitentes sincronizadas sobre tambores indicando la desviación, reforzado con un tablero iluminado de flecha sólida, como el presentado en la Figura 2.

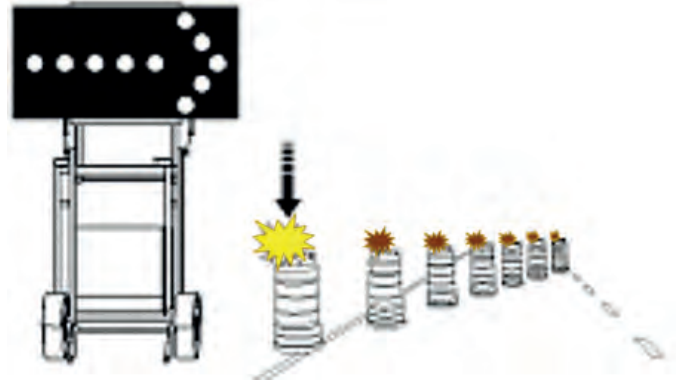


Figura 2. Sistema de luces sincronizadas para cambio de carril.

### 3. Pacificación del tránsito (regulación de la velocidad)

Las **señales de límite de velocidad variable** proveen la flexibilidad necesaria para cambiar el límite de velocidad dinámicamente, con la finalidad de optimizar la operación del tránsito y la seguridad a través de la zona. En zonas de obra de corta duración es recomendable el uso de señalamientos complementarios con radares de velocidad, que informen al usuario sobre su velocidad y la velocidad recomendada.

Otra técnica usada son las **marcas en el pavimento colocadas transversalmente**. En México usualmente se colocan marcas tranversales logarítmicas, sin embargo, existen otras configuraciones como la mostrada en la Figura 3. Estas marcas, además de introducir un efecto de reducción en el ancho del carril, crean la sensación de ir cada vez más rápido al atravesar la zona señalada.



Figura 3. Marcas provisionales en el pavimento

#### 4. Medidas de protección

Para evitar interferir con la operación del tránsito, en carreteras con alta demanda los trabajos frecuentemente se desarrollan en horarios nocturnos para aprovechar los menores aforos del día. En estos casos se deben tomar las medidas necesarias para evitar el **deslumbramiento** que causa la luz artificial, tanto para los trabajadores como para los usuarios.

Además, es muy importante separar la zona de circulación del tránsito con la de trabajos, lo cual puede lograrse con el uso de **barreras físicas**. En zonas de trabajo fijo o donde se desarrollarán trabajos por un largo periodo se recomienda el uso de barreras de concreto móviles o rieles de acero desmontables.

En el caso de zonas con obras temporales el uso de **barreras longitudinales** rellenas de agua da buenos resultados para separar el área de trabajo, además de ser una buena guía para los conductores dado el efecto visual que producen.

En zonas donde se interrumpe o desvía el flujo normal del tránsito se recomienda colocar **amortiguadores de impacto**. Un amortiguador de impacto disipa de forma gradual la energía cinética del vehículo que se impacta contra éste, disminuyendo notablemente la severidad del choque.

Cuando es necesario bloquear por completo una calzada vehicular por el desarrollo de obras, es recomendable realizar el cierre de carriles con el llamado **sistema "airlock"**, el cual consiste en colocar dos bloqueos que ayudan a disminuir la posibilidad de que un vehículo no autorizado entre a la zona de trabajos, poniendo en riesgo la integridad física de los trabajadores.

Consulta el artículo completo en:

<https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=487&IdBoletin=178>

CADENGO María  
CASANOVA Wendy  
MENDOZA Alberto

mcadengo@imt.mx  
wcasanova@imt.mx  
mendoza@imt.mx



**Cargo Week Americas** | **expo carga**

**25-27 junio 2019** **10 años**

Centro Citibanamex, Ciudad de México

PRESENTADO POR





Activa tu pase sin costo en [www.expo-carga.com](http://www.expo-carga.com)

# EVENTOS ACADÉMICOS Y CONGRESOS

## Vuelo inaugural del dron autónomo en las instalaciones del IMT para transporte de mensajería ligera.

Con motivo de la celebración del día de las madres, el pasado 13 de mayo de 2019, se realizó el primer vuelo autónomo del dron IMT-x para la entrega de un paquete con un pequeño reconocimiento a todas las mamás que laboran en el instituto. Para ello, se utilizó la aplicación móvil desarrollada como parte del sistema autónomo.

En 2016, el Laboratorio Nacional CONACYT en Sistemas de Transporte y Logística (Sit-LOG Lab) del IMT, ganó fondos CONCYT e inició el desarrollo de una plataforma tecnológica de un sistema autónomo de drones. Algunas de sus características son: Estructura de fibra de carbono, seis rotores sin escobillas con una fuerza de empuje de 2 kilos cada uno, computadora especializada de vuelo y computadora complementaria para el control de rutas y telemetría, un peso total de 5.8 kilos, capacidad de carga útil de hasta 4 kilos; dependiendo de la carga en sus baterías y la velocidad de vuelo, puede hacer recorridos de varios kilómetros.

Cabe señalar que el Dron IMT-x fue diseñado y desarrollado por el IMT en colaboración con empresas privadas de alta tecnología. No obstante, el sistema que identifica y gestiona diferentes parámetros en tiempo real, las condiciones meteorológicas de operación al momento de solicitar un servicio, programación de rutas, notificaciones en tiempo real y la aplicación móvil para la solicitud del servicio, fueron desarrolladas por investigadores del IMT.

La plataforma tecnológica IMT-x, es el principio para el despliegue de futuras aplicaciones: supervisión de autopistas y estructuras, uso ante desastres naturales, logística humanitaria, intralogística, agricultura de precisión, entre otros.



# PUBLICACIÓN

## Impacto del incremento al precio de los combustibles en los costos de operación vehicular.

El estudio pretende mostrar el impacto generado en el costo de operación vehicular debido al incremento en el precio de los combustibles; con la finalidad de resaltar la importancia que tienen los resultados obtenidos en la planeación, construcción y operación, la evaluación económica, el análisis beneficio-costos de proyectos de infraestructura carretera y la política tarifaria -pública y privada- de los servicios asociados a ésta. El análisis comprenderá el período 2016-2017, el intervalo de tiempo más corto en los últimos años en el que se han presentado los mayores incrementos en el precio de los combustibles, en nuestro país.

El análisis entre 2016 y 2017 será realizado a precios corrientes, para medir los sobrecostos de operación vehicular derivados del incremento en el precio de los combustibles -para cada vehículo y diferentes tipos de terreno- y compararlos con la inflación general de la economía del país. Asimismo, se tomará como referencia información económica del INEGI a precios de 2008 (año base) con la intención de convertir los costos de operación vehicular obtenidos a precios de años más recientes y comparar el incremento real en estos. Lo anterior, para tener costos de operación vehicular actuales que apoyen una mejor toma de decisiones técnicoeconómicas para el subsector carretero del país.

Se puede consultar de forma gratuita en la página del Instituto:

<https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt553.pdf>

<http://publicaciones.imt.mx>  
<http://boletin.imt.mx>  
<http://normas.imt.mx>  
publicaciones@imt.mx  
notas@imt.mx  
normas@imt.mx

## PUBLICACIONES, BOLETINES Y NORMAS

<http://actualizacion-postprofesional.imt.mx>  
capitacion@imt.mx

## CURSOS INTERNACIONALES IMT

 [notas@imt.mx](mailto:notas@imt.mx)  
 @IMT\_mx  
 (442) 216 97 77  
ext: 2111  
 Instituto Mexicano  
del Transporte

[www.imt.mx](http://www.imt.mx)

## INFORMACIÓN Y CONTACTO

Cualquier comentario o sugerencia con respecto a esta publicación o ejemplares pasados, agradeceremos su contacto por medio del correo electrónico [notas@imt.mx](mailto:notas@imt.mx)



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

Registro Postal  
Cartas  
CA22-0070  
Autorizado por Sepomex

POR AVIÓN  
AIR MAIL

El diseño y la elaboración de la presente publicación estuvo a cargo de:  
Lic. Ana Karen Bustamante Cano

El contenido de los artículos aquí publicados así como las opiniones expresadas son 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 citados como fuente los nombres de autor (es), título del artículo, número y fecha de este boletín.