

## EL PROCESO PARA DEFINIR LOS CRITERIOS DE SUSTENTABILIDAD PARA CARRETERAS EN MÉXICO Y RESULTADOS PARA DESARROLLAR UN PROGRAMA DE CARRETERAS SUSTENTABLES

### Introducción

La sustentabilidad es un concepto desarrollado como una preocupación mundial sobre el equilibrio del medio ambiente, la sociedad y la economía, esto debido principalmente a la presión que nuestro planeta está recibiendo de los impactos del desarrollo económico y de las condiciones de vida.

El reto ha sido en los últimos años en incorporar el concepto sustentabilidad a los diferentes ámbitos de desarrollo, tales como el transporte. Contar con un transporte sustentable es una necesidad para todas las naciones solucionando las necesidades de movilidad de forma segura, sin impactar al medio ambiente y asegurando la factibilidad técnica y económica en los proyectos. Esta investigación realiza un ejercicio de cómo implementar el concepto sustentabilidad a las carreteras en México.

El concepto de sustentabilidad aplicado a las carreteras no solo es referido al cuidado del componente ambiental, sino que cualquier aspecto que pretenda ser sustentable en la vías de comunicación debe garantizar además del cuidado al medio ambiente, garantizar la seguridad y la calidad de los desplazamientos, así como la rentabilidad económica y social, contribuyendo al desarrollo del país.

La Federación Europea de Carreteras (ERF, por sus siglas en inglés) define a las carreteras sustentables como aquellas que son eficaces

y eficientemente planeadas, diseñadas, construidas, modernizadas y conservadas, a través de políticas integradas con respecto al medio ambiente y conservan el beneficio socio-económico esperado en términos de movilidad y seguridad.

El panorama internacional cuenta con investigaciones y trabajos referidos a la movilidad sustentable o al transporte sustentable, pero sólo unos pocos se enfocan al aspecto de la infraestructura únicamente, por lo que resulta necesario abordar con un

### CONTENIDO

<b>PROCESO PARA DEFINIR LOS CRITERIOS DE SUSTENTABILIDAD PARA CARRETERAS EN MÉXICO Y RESULTADOS PARA DESARROLLAR UN PROGRAMA DE CARRETERAS SUSTENTABLES</b>	<b>1</b>
<b>MATRICES ORIGEN-DESTINO (O-D) MULTI-PRODUCTO PARA EL AUTOTRANSPORTE NACIONAL DE CARGA</b>	<b>10</b>
<b>DETERMINACIÓN DEL ÁREA DE AFECTACIÓN POR LA LIBERACIÓN DEL DERECHO DE VÍA PARA EL TRAZO DE UN PROYECTO CARRETERO MEDIANTE EL USO DE LA PERCEPCIÓN REMOTA Y SISTEMAS GEOESPACIALES</b>	<b>16</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>24</b>
<b>PROYECTOS EN MARCHA</b>	<b>25</b>
<b>PUBLICACIÓN</b>	<b>26</b>
<b>EVENTOS ACADÉMICOS</b>	<b>26</b>

enfoque más preciso a la infraestructura carretera en los aspectos de sustentabilidad.

### Criterios de sustentabilidad para carreteras

Basados en los conceptos ambientales, económicos, sociales, técnicos y de seguridad se buscaron los principales promotores de dichos elementos que aplicaron la sustentabilidad a las carreteras. Los socios identificados fueron: la Federación de Carreteras de la Unión Europea quien en el 2009 desarrolló un documento que delimita como alcanzar una carretera sustentable en el futuro; las carreteras verdes (Green roads) es un sistema diseñado por la Universidad de Washington para integrar la sustentabilidad en las carreteras nuevas, rediseñadas o rehabilitadas, mediante una distinción de sustentabilidad que ayuda a que las carreteras tengan menores impactos al medio ambiente, menores impactos en su costo del ciclo de vida y mayores beneficios para la sociedad; la Agencia Federal de Carreteras de los Estados Unidos, a través de su programa INVEST define a las carreteras sustentables como parte integral del desarrollo sustentable, es decir, una carretera sustentable debe satisfacer los requisitos funcionales del ciclo de vida del desarrollo social y el crecimiento económico, mejorando el entorno natural y reducir el consumo de recursos naturales.

Los criterios de sustentabilidad analizados se enlistan a continuación de acuerdo a la clasificación realizada.

**Componente económico:** Análisis del costo del ciclo de vida; Sistema de gestión de la calidad; Equilibrio de movimiento de tierras; Garantía del contratista; Uso de materiales locales; Pavimentos de larga duración; Mejores prácticas para el mantenimiento carretero y la preservación de la infraestructura; Eficiencia energética.

**Componente social:** Plan de mantenimiento del sitio; Planeación en el contexto; Pavimento silencioso; Contaminación lumínica; Reducción de emisiones vehiculares; Movilidad peatonal; Movilidad para vehículos de alta ocupación; Movilidad para ciclistas.

**Componente técnico:** Diseño geométrico; Inventario del ciclo de vida; Plan de control de calidad; Plan de manejo de residuos; Análisis hidrológico; Uso de materiales reciclados; Sistema de Gestión Ambiental; Formación Ambiental; Plan de reciclaje; Reducción del consumo de combustibles fósiles; Reducción de emisiones en la pavimentación; Mezclas asfálticas tibias (WMA); Registro del uso del agua en la construcción; Vegetación nativa; Reciclaje de pavimentos; Sistema de Gestión de Pavimentos; Preservación de sitios históricos.

**Componente ambiental:** Evaluación del impacto Ambiental; Evaluación ambiental estratégica; Fragmentación del hábitat / Conectividad ecológica; Consideraciones especiales para áreas con alto valor ambiental; Plan de prevención de la contaminación del agua; Análisis del ciclo de vida; Plan de mitigación de ruido; Calidad de los escurrimientos superficiales / Prevención de la contaminación del agua; Control de los escurrimientos superficiales; Reducción del consumo de combustibles fósiles; Restauración del hábitat; Pavimentos permeables; Pavimento en frío; Paisaje / Vistas escénicas; Manejo del agua pluvial; Uso de energía alterna; Sumideros de carbono y óxidos de nitrógeno; Capacitación ambiental; Protección de la fauna.

**Componente seguridad:** Auditoría de seguridad vial; Sistemas inteligentes para el transporte; Mantenimiento de la superficie carretera; Seguimiento del desempeño de pavimentos.

### Los criterios de la sustentabilidad en la práctica internacional

Con los conceptos definidos por los socios se realizó en esta investigación una búsqueda de las mejores prácticas internacionales para ejemplificar claramente cada uno de los criterios de sustentabilidad que se definieron entre los diferentes socios.

La práctica internacional sobre la sustentabilidad se encuentra muy dispersa entre los diferentes componentes definidos tanto por Greenroads, como por la Federación de Carreteras de la Unión Europea, es decir, los proyectos carreteros que se denominan sustentables cumplen con uno o varios criterios de sustentabilidad, pero no llegan a alcanzar un nivel significativo para que en realidad puedan denominarse sustentables.

Con las experiencias identificadas en cada criterio de sustentabilidad se desarrollaron matrices para cada componente, clasificados por etapas del proyecto.

### Evaluación de la sustentabilidad en carreteras en México

Uno de los objetivos del presente trabajo es identificar el estado que guarda la sustentabilidad aplicada a carreteras en México. Para lograr este diagnóstico se aplicó la herramienta denominada Benchmarking.

El Benchmarking permite realizar una comparativa de procesos o las mejores prácticas para la realización de un producto. Esta herramienta será útil ya que permite evaluar comparando las mejores prácticas de la sustentabilidad en carreteras en el ámbito internacional y con ello identificar las oportunidades de mejora que pueda ser aplicadas a nuestro país.

La tabla 1 muestra las comparativas de los criterios de sustentabilidad identificados en cada una de las mejores prácticas de los socios que han desarrollado metodologías y documentos técnicos sobre carreteras sustentables.

**Tabla 1**  
**Benchmarking del componente ambiental**

COMPONENTE DE LA SUSTENTABILIDAD	ETAPA DEL PROYECTO	CRITERIO DE SUSTENTABILIDAD	COMPARATIVA DE SUSTENTABILIDAD			
			GREEN ROADS (UNIVERSITY OF WASHINGTON)	INVEST (FHWA)	SUSTAINABLE ROADS (EUROPEAN ROAD FEDERATION)	MÉXICO
MEDIO AMBIENTE	PLANEACIÓN Y DISEÑO	Evaluación del impacto Ambiental	X		X	X
		Evaluación ambiental estratégica			X	
		Fragmentación del hábitat / Conectividad ecológica	X	X	X	X
		Consideraciones especiales para áreas con alto valor ambiental			X	X
		Plan de prevención de la contaminación del agua	X			
		Análisis del ciclo de vida	X		X	
		Plan de mitigación de ruido	X	X	X	

<b>MEDIO AMBIENTE</b>	<b>CONSTRUCCIÓN</b>	Calidad de los escurrimientos superficiales / Prevención de la contaminación del agua	X		X	X
		Control de los escurrimientos superficiales	X		X	X
		Reducción del consumo de combustibles fósiles	X	X	X	
		Restauración del hábitat	X	X		X
		Pavimentos permeables	X			
		Pavimento en frío	X			X
		Paisaje / Vistas escénicas	X	X	X	
	<b>OPERACIÓN</b>	Manejo del agua pluvial	X	X	X	X
		Uso de energía alterna	X			
		Sumideros de carbono y óxidos de nitrógeno			X	
		Capacitación ambiental	X	X		
		Protección de la fauna			X	
	<b>TOTAL</b>		<b>15</b>	<b>7</b>	<b>13</b>	<b>8</b>

**Tabla 2**  
Total de criterios de sustentabilidad por socio

CRITERIO DE SUSTENTABILIDAD		COMPARATIVA DE SUSTENTABILIDAD			
		GREEN ROADS (UNIVERSITY OF WASHINGTON)	INVEST (FHWA)	SUSTAINABLE ROADS (EUROPEAN ROAD FEDERATION)	MÉXICO
TOTAL	57	50	26	20	19
%	100	87.7	45.6	35.1	33.3

Cada una de las tablas determina los totales de los elementos que cada una de las prácticas revisadas detalla como criterio de sustentabilidad en los diferentes aspectos en los que se clasificaron, ya sean ambientales, sociales, técnicos, económicos, sociales o de seguridad.

La última columna en cada tabla muestra basados en el criterio experto del autor si la

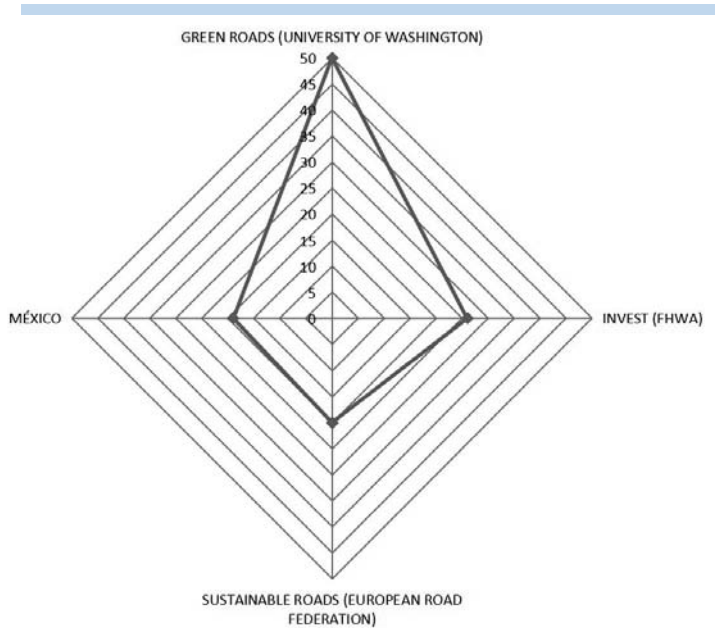
práctica en México es común o no se realiza, la cual puede ser bajo una base legal (leyes o reglamentos federales), disposiciones oficiales (criterios de las dependencias federales) o bajo un esquema de cumplimiento voluntario pero que se ha generalizado en el país.

Los resultados totales del Benchmarking para cada componente respecto del total de criterios de sustentabilidad se muestran en la tabla 2.

Los resultados muestran que la metodología desarrollada por Green Road es la que cuenta con un mayor número de criterios de sustentabilidad aplicados a las carreteras.

La práctica en México alcanza apenas un 33.3% de los criterios aplicados actualmente con respecto a los 57 conceptos identificados. Sin embargo, con respecto a los criterios definidos en la Unión Europea el margen de cumplimiento es mayor en México, aunque sólo es en número ya que no hay uniformidad en todos los criterios.

La figura 1 muestra esquemáticamente el grado de cumplimiento de México y el resto de las prácticas utilizadas para realizar el Benchmarking de los criterios de sustentabilidad para carreteras.



**Figura 1**  
Benchmarking de los criterios de sustentabilidad para carreteras

**Proceso para definir los criterios de sustentabilidad para carreteras en México**

El proceso de definición de los criterios de sustentabilidad para México se realizó a través de aplicación de encuestas en dos niveles:

- El primer nivel de encuestas se aplicó a técnicos expertos que realizan actividades de consultoría en temas afines a la sustentabilidad para carreteras, tales como elaboración de estudios de impacto ambiental. El objetivo en este nivel es conocer la opinión de los especialistas sobre la necesidad para México de implementar cada criterio de sustentabilidad que se describió en los capítulos anteriores y con ellos poder tener un primer filtro de aceptación de dichos criterios de sustentabilidad para carreteras.

- El segundo nivel de encuesta fue aplicado a tomadores de decisiones, particularmente de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, basados en el mismo formato de encuesta del primer filtro. El objetivo es conocer la opinión de los tomadores de decisiones sobre la factibilidad de poder incluir los criterios de sustentabilidad a los proyectos carreteros. Los resultados fueron 44 y 25 respuestas para cada nivel respectivamente, de los estados identificados en el siguiente mapa (figura 2). Los resultados fueron 44 y 25 respuestas para cada nivel respectivamente, de los estados identificados en el mapa ilustrado en la figura 2.



**Figura 2**  
Participación por estado en el proceso de encuestas

En la encuesta cada criterio fue descrito brevemente a fin de que el lector entendiera el concepto, y la respuesta requerida fue un “sí” o un “no”, adicionalmente se le preguntó si la base del cumplimiento del criterio debería ser bajo un esquema “obligatorio” o “voluntario”.

En los resultados de la encuesta aplicada a los expertos técnicos de los 48 criterios encuestados, todos ellos fueron aprobados con amplia mayoría para que sean criterios de sustentabilidad para las carreteras en México. En el aspecto del tipo de cumplimiento, sólo tres aspectos fueron designados como de cumplimiento voluntario (pavimentos en frío, pavimentos silenciosos y las vistas escénicas/paisaje), aunque en todo los casos la mayoría de las respuestas especificó que el cumplimiento debería ser obligatorio.

En los resultados de la encuesta aplicada a los tomadores de decisiones de los 48 criterios consultados, todos fueron aceptados como criterios de sustentabilidad a aplicarse a las carreteras en México. Del carácter del criterio sólo uno fue definido como voluntario, y todos los demás serían obligatorios, aunque los menos aceptados de los votados son: análisis del ciclo de vida, calidad de los escurrimientos

superficiales, pavimentos permeables, manejo del agua pluvial, sistema de gestión de la calidad, pavimentos de larga duración, vistas escénicas/paisaje, pavimentos silenciosos, contaminación lumínica, formación ambiental y mezclas asfálticas tibias (WMA).

Los resultados permitieron promediar para obtener el grado de aceptación de cada uno de los criterios, y el esquema sobre el cual se desean sean aplicados, dando mayor peso a la base legal, la cual fue incluida a los promedios, de tal manera que aspectos que fueron menos aceptados que otros pudieran integrar los criterios seleccionados para las carreteras en México.

Se aplicó un formato condicional a las celdas para visualizar claramente los resultados de tal manera que los valores promediados por debajo de un 80% fueran eliminados para este estudio, aunque en un futuro pudieran ser reincorporados. De esta manera los criterios de sustentabilidad para México se muestran en la tabla 3.

Estos criterios identificados por si solos no pueden ser implementados para obtener su máximo potencial, para ello se requiere

**Tabla 3**  
**Criterios de sustentabilidad para carreteras en México**

CRITERIO DE SUSTENTABILIDAD	RESULTADOS					Evaluación condicional	Criterios para México
	EXPERTOS		DECISORES				
	No.	Ca...	No.	Ca...			
Evaluación del impacto Ambiental	95.4	97.6	100	100	98.3	98.25	Si
Evaluación ambiental estratégica	NE	NE	NE	NE	NE	NE	No
Fragmentación del hábitat / Conectividad ecológica	95.4	97.6	100	96	97.3	97.25	Si
Consideraciones especiales para áreas con alto valor ambiental	NE	NE	NE	NE	NE	NE	Si
Plan de prevención de la contaminación del agua	97.7	93	96	87.5	93.6	93.55	Si
Análisis del ciclo de vida	95.4	97.6	100	100	98.3	98.25	Si
Plan de mitigación de ruido	NE	NE	NE	NE	NE	NE	Si

Calidad de los escurrimientos superficiales / Prevención de la contaminación del agua	95.4	97.6	100	96	97.3	97.25	Si
Control de los escurrimientos superficiales	NE	NE	NE	NE	NE	NE	Si
Restauración del hábitat	97.7	93	96	87.5	93.6	93.55	Si
Pavimentos permeables	97.7	72	69.6	50	72.3	72.325	No
Pavimento en frío	93.2	68.3	86.9	35	70.9	70.85	No
Paisaje / Vistas escénicas	95.45	66.67	60	56.2	69.6	69.58	No
Manejo del agua pluvial	100	72.7	84	61.9	79.7	79.65	Si
Uso de energía alterna	100	75	87.5	76.2	84.7	84.675	Si
Sumideros de carbono y óxidos de nitrógeno	NE	NE	NE	NE	NE	NE	No
Capacitación ambiental	95.4	83.3	100	76	88.7	88.675	Si
Protección de la fauna	NE	NE	NE	NE	NE	NE	Si
Análisis del costo del ciclo de vida	93.2	95.1	96	83.3	91.9	91.9	Si
Sistema de gestión de la calidad	93.2	92.7	95.8	69.6	87.8	87.825	Si
Equilibrio de movimiento de tierras	97.7	90.7	95.6	77.3	90.3	90.325	Si
Garantía del contratista	97.7	90.7	100	100	97.1	97.1	Si
Uso de materiales locales	97.7	72.1	82.6	84.2	84.2	84.15	Si
Pavimentos de larga duración	93.2	82.9	91.3	57.1	81.1	81.125	Si
Mejores prácticas para el mantenimiento carretero y la preservación de la infraestructura	NE	NE	NE	NE	NE	NE	Si
Eficiencia energética	100	75	100	86.9	90.5	90.475	Si
Plan de mantenimiento del sitio	93.2	95.1	100	92	95.1	95.075	Si
Planeación en el contexto	97.7	81.4	88	77.3	86.1	86.1	Si
Pavimento silencioso	93.2	65.8	95.6	59.1	78.4	78.425	No
Contaminación lumínica	81.82	75	80	75	78	77.955	No
Reducción de emisiones vehiculares	93.2	87.8	96	79.2	89.1	89.05	Si
Movilidad peatonal	93.2	92.7	92	86.9	91.2	91.2	Si
Movilidad para vehículos de alta ocupación	100	79.6	96	79.2	88.7	88.7	Si*
Movilidad para ciclistas	90.1	90	92	78.3	87.6	87.6	Si*
Diseño geométrico	NE	NE	NE	NE	NE	NE	Si
Inventario del ciclo de vida	90.1	82.5	96	91.7	90.1	90.075	Si
Plan de control de calidad	88.6	97.4	100	92	94.5	94.5	Si
Plan de manejo de residuos	100	95.4	100	92	96.9	96.85	Si

Análisis hidrológico	100	97.7	92	78.3	92	92	Si
Uso de materiales reciclados	97.7	79.1	95.7	77.3	87.5	87.45	Si
Sistema de gestión ambiental	97.7	88.4	96	87.5	92.4	92.4	Si
Formación ambiental	97.7	100	100	66.7	91.1	91.1	Si
Plan de reciclaje	97.73	93.02	95.8	78.3	91.2	91.2125	Si
Reducción del consumo de combustibles fósiles	100	75	87.5	76.2	84.7	84.675	Si
Reducción de emisiones en la pavimentación	95.4	85.7	83.3	90	88.6	88.6	Si
Mezclas asfálticas tibias (WMA)	93.2	80.5	86.9	40	75.2	75.15	No
Registro del uso del agua en la construcción	93.2	92.7	91.7	86.4	91	91	Si
Vegetación nativa	100	97.7	100	92	97.4	97.425	Si
Reciclaje de pavimentos	100	90.9	100	82.6	93.4	93.375	Si
Sistema de gestión de pavimentos	93.2	78	96	87.5	88.7	88.675	Si
Preservación de sitios históricos	100	84.09	96	75	88.8	88.7725	Si
Auditoría de seguridad vial	88.6	94.9	100	88	92.9	92.875	Si
Sistemas inteligentes para el transporte	90.9	72.5	84	76.2	80.9	80.9	No
Mantenimiento de la superficie carretera	NE	NE	NE	NE	NE	NE	No
Seguimiento del desempeño de pavimentos	95.4	80.9	95.6	86.4	89.6	89.575	Si

NE=No encuestado \*Aplica sólo para carreteras urbanas

la definición de mecanismos para el seguimiento y revisión de la sustentabilidad en la planificación, que incluirá el método o procedimiento para evaluar los componentes socio-económicos y medioambientales de los proyectos carreteros.

Este procedimiento debe estar en un plan estratégico de acción para la sustentabilidad en carreteras, que permita mover el desarrollo de infraestructura en un marco más sustentable, cuidando los aspectos más importantes en los que se evaluaron los criterios de sustentabilidad en esta investigación: lo técnico, lo social, lo ambiental, lo económico y la seguridad.

### Plan estratégico para carreteras sustentables en México

El plan estratégico para carreteras sustentables en México debe ser elaborado en una segunda fase de esta investigación.

La primera parte del plan deberá definir los objetivos de sustentabilidad para el transporte, particularmente para las carreteras, estos objetivos deben ser específicos. Algunos de los objetivos sociales y ambientales pueden ser los siguientes:

- Evaluar el impacto ambiental en los proyectos carreteros
- Reducir el consumo de energía fósil
- Proteger la biodiversidad en los corredores carreteros.



- Reducir los impactos en los recursos acuáticos y su impacto en su sistema.
- Mejorar la calidad del aire local.
- Reducir los niveles de ruido provenientes del transporte en las zonas suburbanas.
- Preservar los sitios históricos.
- Reducir las emisiones de GEI provenientes del sector transporte.
- Mejorar el paisaje y la convivencia carretera-ciudad.
- Reciclaje/Reuso de los pavimentos.

La segunda parte deberá integrar las directrices y líneas de actuación, que incluyan acciones concretas para dar cumplimiento a los objetivos. Por ejemplo: Los proyectos de infraestructura carretera que se deseen construir en México deberán contar con un estudio de impacto ambiental el cual haya sido evaluado por las autoridades ambientales y se cuente con la autorización correspondiente.

El plan podrá contar con factores que auxilien a la toma de decisiones, tales como impuestos especiales, por ejemplo, en el Reino Unido se realiza un impuesto especial cuando en la construcción de carreteras se utiliza material fuera del sitio de obra, de esta manera se incentiva al uso de materiales locales y a la aplicación de nuevas tecnologías para mejorar los suelos locales para ser utilizados en la construcción de caminos.

Herramientas como el análisis de ciclo de vida en los proyectos serán útiles para la toma de decisiones, donde las autoridades contarán con la información necesaria para comparar proyectos carreteros previos a ser construidos, identificados los impactos ambientales, los beneficios sociales y los costos de la obra y su correspondiente financiación a corto y largo plazo.

El plan tendrá que establecer también un proceso planificado continuo, basado en

objetivos y su calendarización para su seguimiento.

Probablemente será necesario adecuar las políticas públicas y los marcos regulatorios para asegurar el cumplimiento del programa de carreteras sustentables.

## Conclusiones

El propósito de incluir la sustentabilidad en planes y programas en los diferentes sectores de la administración pública es una tarea necesaria en los países en desarrollo para responder a los retos internacionales en materia de desarrollo sustentable.

La sustentabilidad debe influir en las políticas públicas de crecimiento económico para evitar los impactos negativos en el componente ambiental, y sus repercusiones en los aspectos sociales y económicos.

Por eso es fundamental la identificación de los criterios de sustentabilidad, subrayando las áreas clave o los temas que mayor valor aportará a integración al transporte carretero y su compatibilización con el medio ambiente, la sociedad y la economía, que además permita la generación de políticas sectoriales y una rápida actuación de parte de los tomadores de decisiones.

Estos criterios identificados por sí solos no pueden ser implementados para obtener su máximo potencial, para ello se requiere la definición de mecanismos para el seguimiento y revisión de la sustentabilidad en la planificación, que incluirá el método o procedimiento para evaluar los componentes socio-económicos y medioambientales de los proyectos carreteros.

Este procedimiento debe estar en un plan estratégico de acción para la sustentabilidad en carreteras, que permita mover el desarrollo de infraestructura en un marco más sustentable, cuidando los aspectos más importantes

en los que se evaluaron los criterios de sustentabilidad en esta investigación: lo técnico, lo social, lo ambiental, lo económico y la seguridad.

Las autoridades deben asumir la responsabilidad de mover el desarrollo carretero a un ámbito sustentable, para que la planeación, construcción y conservación de carreteras se dirija a través de políticas públicas hacia un desarrollo sustentable.

El contar con un plan o programa de carreteras sustentables para México es una tarea prioritaria, donde los ingenieros de carreteras y los tomadores de decisiones en el sector transporte tendrán el reto de concebir dicho plan y la implementación y seguimiento del mismo.

Conviene también en un futuro desarrollar una herramienta que permita a cada proyecto carretero en particular identificar en qué nivel de cumplimiento de la sustentabilidad se encuentra.

Finalmente, se espera que la investigación en su versión integral sea un referente en español para entender la sustentabilidad aplicada a las carreteras y como los criterios pueden ser definidos para cada país en particular en función de la experiencia y la factibilidad de poder ser incorporados a las políticas nacionales.

## Biografía

European Union Road Federation. Sustainable roads and optimal mobility. Brusélas, Bélgica. (Octubre, 2009)

Federal Highway Administration. Infrastructure Voluntary Evaluation Sustainability Tool. INVEST Version 1.0. Washington, EUA. (Octubre, 2012)

International Road Federation. Innovative practices for greener roads. Ginebra, Suiza (2009)

Mendoza Sánchez, Juan Fernando. Criterios de sustentabilidad para carreteras en México. PT 392 del Instituto Mexicano del Transporte (2014)

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. Guidelines: Environmentally Sustainable Transport. Futures, strategies and best practices. Viena, Austria. (Octubre, 2000)

University of Washington. Greeroads Manual v1.0. Washington. Estados Unidos de América (2010)

MENDOZA Fernando  
fernando.mendoza@imt.mx  
TREJO Adrian  
atrejo@imt.mx

## MATRICES ORIGEN-DESTINO (O-D) MULTIPRODUCTO PARA EL AUTOTRANSPORTE NACIONAL DE CARGA

### Introducción

Actualmente en nuestro país, existen estudios que tienen como objetivo el determinar los patrones de las mercancías trasladadas por el autotransporte de carga que se mueven

dentro de las carreteras del país. Dichas mercancías, que pueden ser: maderas, productos alimentarios, materiales para la construcción, productos químicos y otros bienes de consumo que son transportadas por los corredores; tienen un papel fundamental

en la economía del país. Así, a través de los estudios enfocados en encontrar los patrones antes mencionados, es posible construir una base sólida para el modelado de mercancías en escenarios hipotéticos que involucren y modifiquen las variables que afecten su comportamiento. El trabajo descrito en este artículo forma parte de los esfuerzos que viene realizando el IMT para la generación de un Modelo Base Nacional para la Planeación del Transporte y la Logística.

### Modelación del transporte de mercancías

Como pilares de la información que es posible dilucidar a través del reconocimiento de los esquemas de movimiento de la carga utilizando el modelado del transporte de mercancías, se pueden mencionar los siguientes:

•*Rutas óptimas de transporte:* Al conocer los movimientos de las mercancías que circulan por las carreteras del país, se puede optimizar el recorrido a través del reconocimiento de los movimientos que podría efectuar, con la finalidad de reducir tanto el tiempo como los costos del transporte de la mercancía.

•*Aportación al congestionamiento vehicular:* Si bien es cierto que es complicado determinar a detalle los impactos, dentro de un sistema urbano de vialidades, al congestionamiento del tráfico con la utilización de un enfoque macroscópico; el análisis de la situación con un enfoque microscópico puede ayudar a determinar los recorridos de largo itinerario que contribuyen negativamente a los efectos nocivos del congestionamiento vehicular, teniendo presente en todo momento la salvedad de proveer de un instrumento que beneficie tanto la reducción de tiempos de entrega de la mercancía, así como la reducción del congestionamiento.

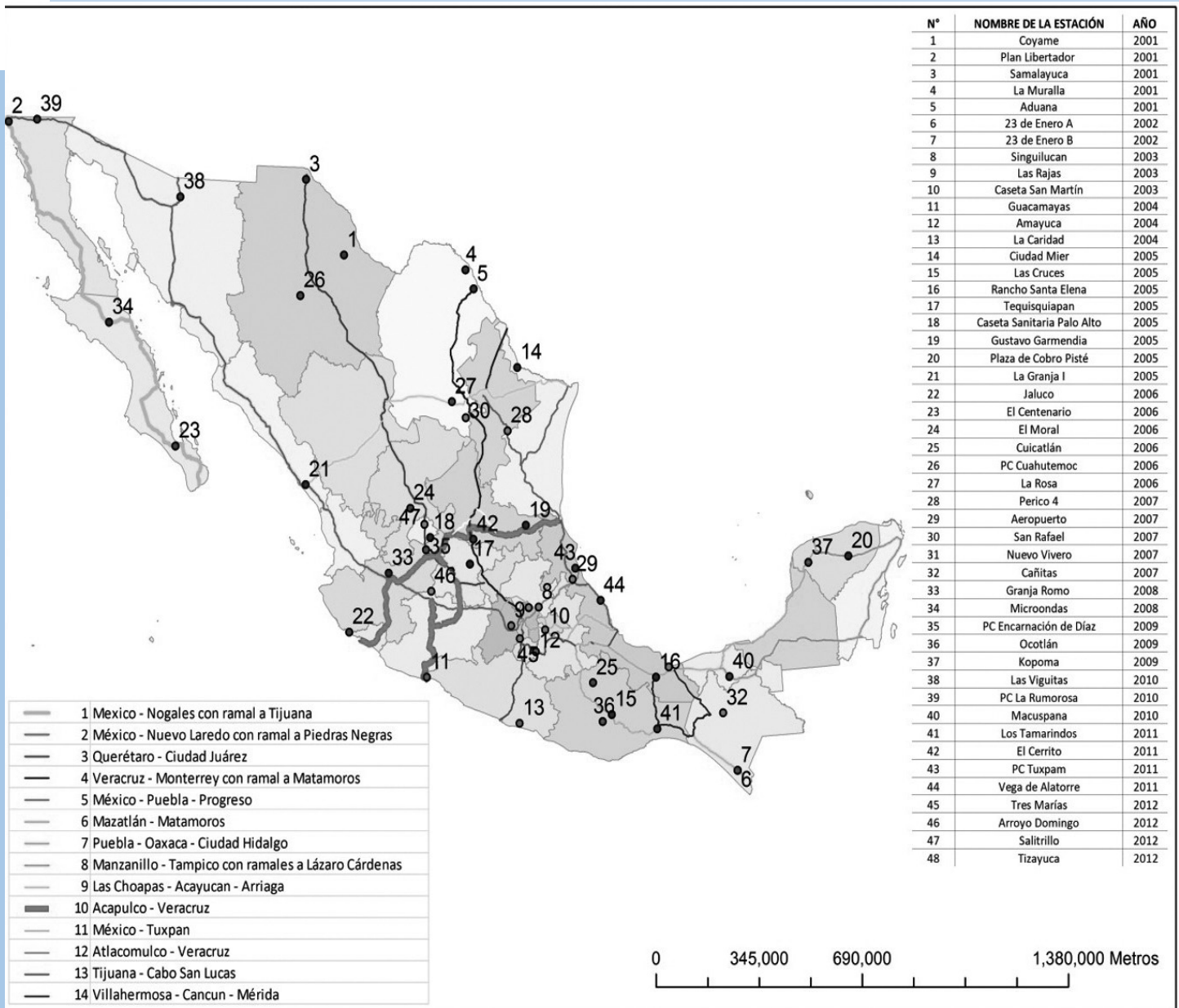
•*La jerarquización de las operaciones de los transportes de carga en la cadena de suministro:* Sin lugar a dudas, el autotransporte de carga juega un papel fundamental en la cadena de suministro del país; sin embargo, es necesario posicionar al transporte de carga dentro de los medios de transporte alternos (aéreo, marítimo, ferroviario) con base en la importancia que representa para la cadena de suministro y las posibles afectaciones que pudieren surgir si se destina un medio alternativo para el transporte de cierto producto.

•*Plataformas Logísticas.* Aunado al establecimiento de rutas óptimas del transporte de mercancías, la ubicación estratégica de plataformas logísticas multimodales, a través del estudio del movimiento de los bienes por las carreteras del país, puede proveer de un sistema dentro de la cadena de suministro de bienes que pueda favorecer y ordenar el sector económico; además de disminuir la inclusión de vehículos de grandes dimensiones a las vialidades urbanas.

### Metodología del estudio

Con el presente estudio, teniendo en cuenta el enfoque de disminución de tiempos de viaje por parte de los operadores del autotransporte de carga, fue posible identificar las carreteras con el mayor número de toneladas en circulación de mercancías agrupadas en los diferentes capítulos establecidos por el Sistema Armonizado de Designación y Codificación de Mercancías (SA); así como las carreteras por las cuales circulan los productos con el mayor número de viajes y con el mayor valor (en dólares a precios del 2011).

Dicho estudio está respaldado por las bases de datos conformadas por las investigaciones realizadas anteriormente bajo el nombre de “Estudio Estadístico de Campo del Autotransporte Nacional”. El estudio realizado desde 1991 es la base para el reconocimiento



**Figura 1**  
Ubicación de las 48 estaciones elegidas en los corredores del país

de las carreteras con las jerarquías que les concede el volumen y valor de mercancías que circulan por ellas.

Primeramente, se identificaron las estaciones instaladas que contarán con una ubicación privilegiada dentro de los corredores del

país, además de un número considerable de registros para la modelación de las mercancías; de esta manera, se eligieron 48 estaciones que cumplieron con los requisitos antes señalados. En la figura 1 aparece la ubicación espacial, dentro del territorio nacional, de las estaciones seleccionadas.

A partir de las estaciones seleccionadas, se realizó un análisis a las bases de datos pertenecientes a los registros realizados en las estaciones, los cuales corresponden a un total de 1,036,936 registros acumulados. Dichos registros contienen la información del tipo de vehículo, el origen y destino de la carga (a nivel municipal), el tipo de carga transportada, el valor aproximado y el peso de la carga. El análisis consistió en agrupar los viajes de forma matricial, por la clave municipal del país, en origen y destino.

Una vez realizada la agrupación matricial de los viajes (Matriz O-D), se procedió a asignar los viajes en la red carretera (tomando en cuenta el criterio del menor tiempo de viaje), por medio de un software especializado en modelación (Transcad 5.0). Una vez asignados los viajes, estos fueron calibrados y se procedió a desagregar la matriz semilla (viajes de todos los tipos de vehículos de carga) por tipo de carga y por tipo de vehículo.

Cabe mencionar que se identificaron 17 tipos de vehículos con mayor índice de circulación, los cuales fueron utilizados para la agrupación

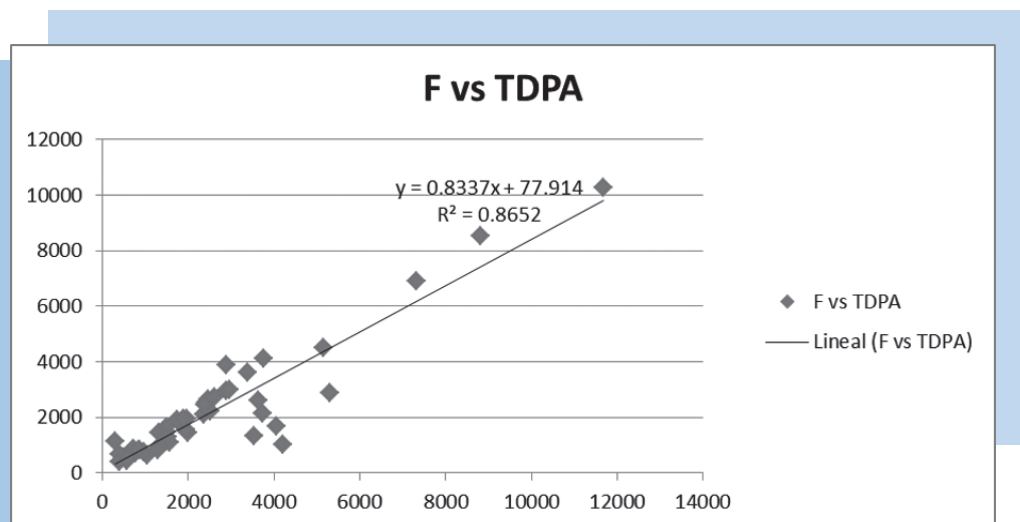
de las matrices por tipo de vehículo, dentro de los cuales se pueden mencionar: C2, C3, C2-R2, T2-S1, T3-S2, T3-S3, T3-S2-R4, entre otros.

Por otro lado, las mercancías transportadas fueron agrupadas de acuerdo con el SA, el cual contempla noventa y nueve capítulos agrupados en dieciséis secciones, las cuales fueron utilizadas para la agrupación de las matrices por tipo de producto.

Posteriormente se le asignó el valor de la carga a cada viaje realizado, para determinar el valor acumulado de las mercancías que circulan por las carreteras del país.

Cabe mencionar que la calibración realizada del modelo arrojó una ecuación lineal, como la que muestra la figura 2, la cual se consideró aceptable para el modelo propuesto.

Con base en las matrices calibradas y agrupadas en tipo de camión y tipo de carga (272 matrices) fue posible determinar de una manera más detallada, el tipo de mercancías que circulan por algunas de las carretas más importantes del país.



**Figura 2**  
Flujos predichos (F) contra valores de TDPA de camiones de carga (TDPA)

**Resultados más sobresalientes**

A partir del análisis realizado, se determinaron algunos resultados como los que se muestran en las tablas 1 y 2.

Además de esto, se pudieron determinar las mercancías con mayor circulación en el país en términos de tonelaje y valor económico. La tabla 3 muestra lo correspondiente a tonelaje.

**Tabla 1**  
**Carreteras con el mayor tonelaje anual de mercancías en circulación**

No.	Carretera	Tonelaje Anual en circulación
1	Aguascalientes - Zacatecas	112,833,180
2	Querétaro - San Luis Potosí	81,659,990
3	Saltillo - Monterrey (Cuota)	77,511,400
4	Ent. La Chicharrona - Cuencamé	75,275,775
5	México - Querétaro (Cuota)	63,598,695
6	León - Aguascalientes	59,271,620
7	El Sueco - Villa Ahumada (Cuota)	54,141,545
8	Chihuahua - El Sueco	53,161,155
9	Maravatio - Zapotlanejo (Cuota)	47,281,370
10	Delicias - Chihuahua (Libre)	46,351,715

**Tabla 2**  
**Carreteras con el mayor valor de mercancías que circulan por las carreteras**

No.	Carretera	Dólares al año de 2011
1	México - Querétaro (Cuota)	522,629,747,515
2	México - Puebla (Cuota)	446,777,289,320
3	El Sueco - Villa Ahumada (Cuota)	256,365,696,050
4	México - Toluca (Cuota)	195,433,712,220
5	Puebla - Acatzingo (Cuota)	159,194,841,250
6	Chihuahua - El Sueco	155,295,265,930
7	Delicias - Chihuahua (Libre)	137,488,947,885
8	México - Pachuca (Libre)	134,040,982,685
9	Venta de Carpio - T. C. (Pachuca - Túxpam)	134,020,843,080
10	Gómez Palacio - Jiménez	126,307,184,930

**Tabla 3**  
**Carreteras con el mayor tonelaje anual de mercancías en circulación**

No.	Capítulo de la mercancía (SA)	Tipo de Mercancía
1	6-15	Productos del reino vegetal
2	16-24	Productos de las industrias alimentarias
3	44-49	Madera, carbón vegetal y manufacturas de madera; corcho y sus manufacturas; manufacturas de espartería o cestería
4	50-63	Materias textiles y sus manufacturas
5	1-5	Animales vivos y productos derivados del reino animal
6	98-99	Servicios
7	6-15	Productos del reino vegetal
8	72-83	Metales comunes y manufacturas de estos metales
9	84-85	Máquinas y aparatos, material eléctrico y sus partes; aparatos de grabación o reproducción de sonido, aparatos de grabación o reproducción de imágenes y sonido en televisión, y las partes y accesorios de estos aparatos
10	86-89	Material para transporte

### Conclusiones y líneas de investigación futura

Este estudio es uno de los elementos para la implantación de un Modelo Base Nacional para la Planeación del Transporte y la Logística. Entre otras aplicaciones, puede servir de base para un estudio que tenga como objetivo la implantación de terminales logísticas que permitan el ordenamiento del suministro de los bienes en alguna región, así como jerarquizar los corredores con un importante flujo de mercancías.

Como futura línea de investigación, se vislumbran los estudios que puedan desagregar las mercancías en las diferentes subpartidas del SA, así como el intercambio modal de transporte de alguna mercancía en particular, para determinar la conveniencia entre los diferentes tipos de transporte.

### Referencias bibliográficas

Gutiérrez Hernández, J.L., Soria Anguiano, V.J., "Estudio estadístico de campo del autotransporte nacional. Análisis estadístico de la información recopilada en las estaciones instaladas en 2013" Documento Técnico No. 58. 2014.

Mendoza Díaz, A., Gutiérrez Hernández, J.L., "Estudio Estadístico de Campo del Autotransporte Federal". Sanfandila, Qro, 2000-2012.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía "Marco Geoestadístico 2013 versión 6.0". INEGI 2013.

Organización Mundial de Aduanas (World Customs Organization). "Sistema Armonizado

de Designación y Codificación de Mercancías (SA)". <http://www.wcoomd.org>, 2012.

ESRI (Environmental Systems Resource Institute). "ArcMap 10.1". ESRI, Redlands, California. 2011.

Caliper Corporation. "Travel demand modeling with TransCAD 5.0, user's guide". Caliper, Newton, 2008.

Caliper Corporation. "TransCAD 5.0". Caliper, Newton, 2008.

Massiani, J., "The Welfare Effects of Freight Travel Time Savings", MPRA Paper No.8754, 2008.

Descriptores: Modelo, Planeación, Transporte de mercancías, Logística, Matrices O-D, Sistema Armonizado de Mercancías.

DORADO Marco  
mdorado@imt.mx  
MENDOZA Alberto  
amendoza@imt.mx  
GUTIÉRREZ José Luis  
jlgh@imt.mx  
Agradecimientos:  
ABARCA Emilio  
eabarca@imt.mx

## DETERMINACIÓN DEL ÁREA DE AFECTACIÓN POR LA LIBERACIÓN DEL DERECHO DE VÍA PARA EL TRAZO DE UN PROYECTO CARRETERO MEDIANTE EL USO DE LA PERCEPCIÓN REMOTA Y SISTEMAS GEOESPACIALES

### Introducción

El dinamismo económico multisectorial caracterizado por el creciente arribo importantes flujos de inversión y la instalación de nuevas empresas sigue siendo una constante en la Zona Metropolitana de Querétaro (ZMQ), esto debido a su estratégica ubicación geográfica, a los altos niveles de seguridad pública, su crecimiento ordenado, calificación de la mano de obra entre otras ventajas, generando principalmente empleos, reducción de la pobreza, y desarrollo sostenible en los municipios de la ZMQ.

Este importante crecimiento económico y demográfico observado en el estado de Querétaro durante los últimos años, genera un reto importante ante las autoridades

municipales y estatales para satisfacer las necesidades de infraestructura en todos sus ámbitos, a corto y mediano plazo, que permita sostener éste crecimiento sin que, entre otras consecuencias, el sistema vial colapse.

La red de carreteras que interconectan a los municipios de la ZMQ es un ejemplo de infraestructura productiva, esto quiere decir, que su desarrollo permitirá que estos municipios continúen con su próspera actividad de desarrollo a futuro.

En este sentido podemos decir que dentro del desarrollo carretero se presenta el concepto de ampliación de la capacidad de la red vial. Al proyectar una vialidad nueva o ampliación de una carretera se encuentra con el problema de afectación para la incorporación al derecho de vía, principalmente por predios



particulares. Este problema demanda a un levantamiento a detalle, meticulado y preciso de los predios afectados por el proyecto de creación y ampliación, lo cual implica mayor inversión en costo y tiempo principalmente. Una herramienta que facilita la solución a la problemática del cálculo de la superficie que debe ser afectada por el derecho de vía, es la que deriva del empleo de técnicas de teledetección y sistemas geoespaciales.

### Antecedentes

La información satelital es utilizada habitualmente como una herramienta que permite realizar cartografía de un sinnúmero de especificaciones, para posteriormente ser utilizada por múltiples disciplinas. La mayoría de las veces es necesario integrarla con otro tipo de información, conformando así un sistema de información geográfica (SIG) aplicado a un problema en particular.

En México el uso de la teledetección apoyada a través de los SIG se dirige a resolver problemas de sostenibilidad del medio ambiente, agricultura, agua, planificación urbana y ordenamiento del territorio principalmente. Tanto empresas privadas como instituciones gubernamentales han hecho uso de esta combinación para ayudarse en la toma de decisiones de sus problemas en específico.

Por primera vez en la historia, México obtuvo una licencia multiusuario de imágenes de satélite, para un Gobierno Federal por parte de la empresa SPOT Image®, mismas que son utilizadas por las dependencias e instituciones en los tres niveles de Gobierno, así como por las Universidades e Instituciones Públicas de nivel superior dedicadas a la investigación científica; y su aplicación es diversa: Defensa, Seguridad, Ordenamiento Ecológico, Catastro, Agricultura, Hidrología, Geografía, entre otras. En diciembre del 2012, se puso en órbita el satélite SPOT6 que cuenta con una resolución espacial de 1.5 metros por pixel en pancromático y 6 metros en multiespectral con 4 bandas. Las imágenes pueden ser adquiridas mediante convenio vía el programa ERMEXS NG, a través de la Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA) y el Sistema de Información de Agricultura y Pesca (SIAP) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).

Actualmente el sensor GeoEye 1 de la compañía Digital Globe, cuenta con 0.50 metros por pixel en pancromático y 1.64 metros por pixel en multiespectral con 4 bandas ó el sensor WorldView 2 de la misma compañía, cuenta con 0.50 metros por pixel en pancromático y 1.84 metros por pixel en

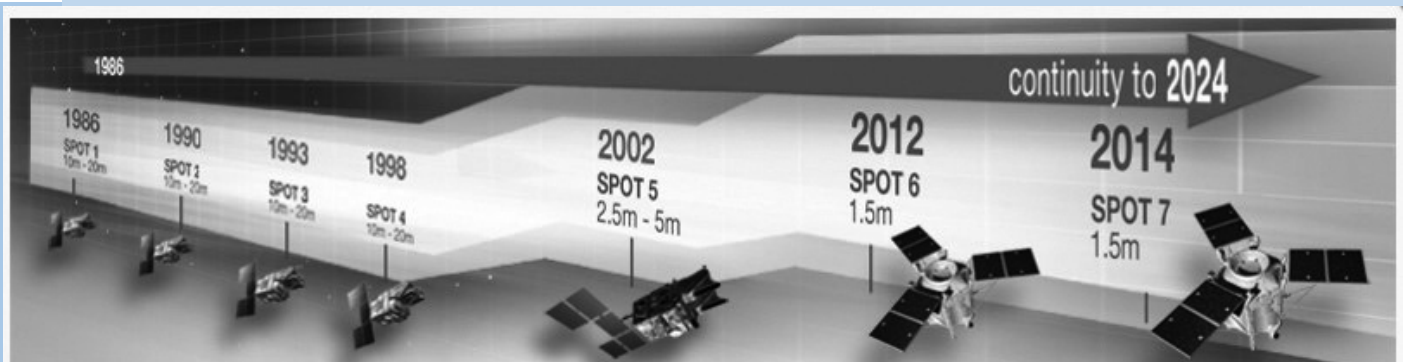


Figura 1  
Programa SPOT

multiespectral con 8 bandas. Dichas imágenes (de archivo solamente) pueden ser adquiridas mediante convenio vía el programa EVISMAR, a través de la Secretaría de Marina (SEMAR).

En cuanto a la aplicación de la percepción remota al transporte, se encuentran algunos temas desarrollados por investigaciones extranjeras donde utilizan esta tecnología para detectar la cantidad de contaminantes emitidos por la combustión de los vehículos. (Wenzel 2003). Y así poder calibrar sus programas de inspección de emisión y mantenimiento, como política primaria para reducir la emisión de contaminantes.

En el caso de identificación de infraestructura al transporte Berger (2011), presenta un método que integra imágenes orthorectificadas con una resolución espacial extremadamente alta y nubes de puntos de escaneo laser aerotransportados (Tecnología LiDAR). Estos datos en su conjunto se utilizan para reconstruir las líneas centrales de una vía de ferrocarril. Utilizando un método de extracción de características con base a un algoritmo de consenso de la muestra aleatoria adoptada. Este flujo de trabajo se ha probado en dos secciones del ferrocarril y se encontró que produce resultados muy precisos de una manera rápida y altamente automatizada. El plan nacional de desarrollo 2012-2018, bajo la perspectiva del plan sectorial de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), marca al desarrollo regional desde el punto de vista del factor transporte, como una línea fundamental de estudio, mediante la observación de su evolución a través del tiempo y del espacio. Motivo por el cual, el uso de imágenes de satélite se convierten en una herramienta potencial para la mejor gestión, análisis y representación de la información geoespacial, con técnicas cada vez más útiles y modernas.

La Unidad de Sistemas de Información Geoespacial (USIG) del Instituto Mexicano del

Transporte (IMT) ha desarrollado, aplicaciones con SIG y GPS (Sistema de Posicionamiento Global, por sus siglas en inglés), para solucionar problemas de transporte donde esté inmerso el factor espacial, y como consecuencia de su continua evolución está el incluir en sus líneas de trabajo las últimas tendencias en tecnología. Es por ello que se decide continuar con la línea de explotación y desarrollo de la percepción remota y el procesamiento de las imágenes de satélite de alta resolución, y con ello, dar continuidad al estudio, uso y aplicación de los sensores SPOT, GeoEye entre otros.

### Problemática

La Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), por medio de la Subsecretaría de Infraestructura, es el organismo encargado de la planeación, construcción, conservación, operación, administración y buen desempeño de la Red Carretera Federal. Por otro lado la Comisión Estatal de Caminos del estado de Querétaro (CECQRO) tiene a su cargo las obras que determinan el consejo de administración y las incluidas en los programas de carreteras estatales, alimentadoras urbanas y libramientos, caminos rurales y aeropistas de jurisdicción estatal, comprendiendo la construcción, reconstrucción, modernización, conservación y mantenimiento de los mismos. Dentro de la política de mejora y/o modernización en un sistema vial cuando los valores de flujos vehiculares están muy próximos a los de la capacidad, el tránsito se torna inestable y la congestión se hace presente. Más aún, los flujos vehiculares inferiores a la capacidad, que circulan a velocidades bajas y densidades altas, representan condiciones de operación forzada, que incluso pueden llegar a detenciones momentáneas de tránsito, produciendo bajos niveles de operación y alta siniestralidad. Es aquí donde se visualizan los proyectos de ampliación de carreteras que presentan estas condiciones de operación y que llevan a cabo las dependencias anteriormente citadas, o en su defecto la creación de una nueva carretera.



**Figura 2**  
Derecho de vía, sección transversal de una carretera

El derecho de vía se define como la franja de terreno que se requiere para la construcción, conservación, ampliación, protección y en general para el uso adecuado de una vía general de comunicación cuya anchura y dimensiones fija la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), la cual no podrá ser inferior a 20 metros a cada lado del eje del camino. Tratándose de carreteras de dos cuerpos, se medirá a partir del eje de cada uno de ellos, (SCT, Ley de Caminos, Puentes y Transporte Federal, Art 2). En virtud de lo anterior, el uso adecuado del derecho de vía y su preservación es fundamental para resguardar el futuro crecimiento de las mismas.

En la actualidad, las carreteras son cada vez más complejas; a las obras de vías férreas y carreteras actuales se suman una serie de obras adicionales, tales como tendidos de líneas eléctricas, telegráficas y telefónicas, fibra óptica, ductos y cableados de muy diversa naturaleza e importancia económica y social.

Conforme a la importancia que representa para el desarrollo social y económico de nuestro país, la construcción de carreteras y puentes federales, para la realización de estas obras es fundamental la liberación oportuna y eficiente de los terrenos que conforman el derecho

de vía. En este sentido la SCT, a través de la Dirección General de Carreteras Federales (1998), creó el “Manual de Procedimientos para la Liberación del Derecho de Vía de Carreteras Federales” para lograr que los trámites, se lleven a cabo eficientemente por parte de las unidades administrativas involucradas en el procedimiento; a fin de que los terrenos requeridos por parte de la Secretaría se pongan a disposición de la unidades ejecutoras.

Para obtener el área de afectación de un predio particular debido al trazo de una nueva obra o proyecto de ampliación, se requiere de un levantamiento topográfico, el cual deberá tener como mínimo: la ubicación y linderos del predio afectado, cálculo analítico del área por adquirir y las servidumbres existentes.

El problema radica en la cantidad de predios afectados por el trazo, además del tipo y uso de suelo de los mismos, en consecuencia hace ardua y meticulosa la tarea de calcular la superficie de afectación de cada uno de los predios, además, dependiendo de las dimensiones del proyecto, el tiempo para su realización puede ser muy prolongado.

Por lo general se utilizan varias brigadas de topografía, las cuales cubren diversos frentes de la zona a levantar, “procedimiento

tradicional”. Posteriormente la información recabada en campo es procesada en oficina para obtener todos los conceptos necesarios para la liberación de los predios.

Todo lo anterior conlleva un pesado y largo periodo de trabajo a detalle del levantamiento topográfico y un estricto trabajo de oficina, así como inversión en tiempo, personal y financiera que incluso pueden llegar a representar el 35% del costo total del proyecto.

**Objetivo general**

Calcular el área de afectación que provoca la liberación del derecho de vía a predios particulares, provocado por la creación y/o ampliación de una carretera, por medio del análisis de imágenes satelitales, SPOT 6 y GeoEye 1.

**Objetivos particulares**

•Describir y evaluar comparativamente los diferentes niveles de resolución espacial y espectral de los sensores SPOT6 y GeoEye 1, a través de sus imágenes pancromáticas y multiespectrales con el fin de reconocer su existencia y su campo de aplicación en el cálculo de afectación en el derecho de vía.

•Identificar el uso potencial de cada uno de los sensores para la obtención de información requerida de acuerdo a la variabilidad del trazo.

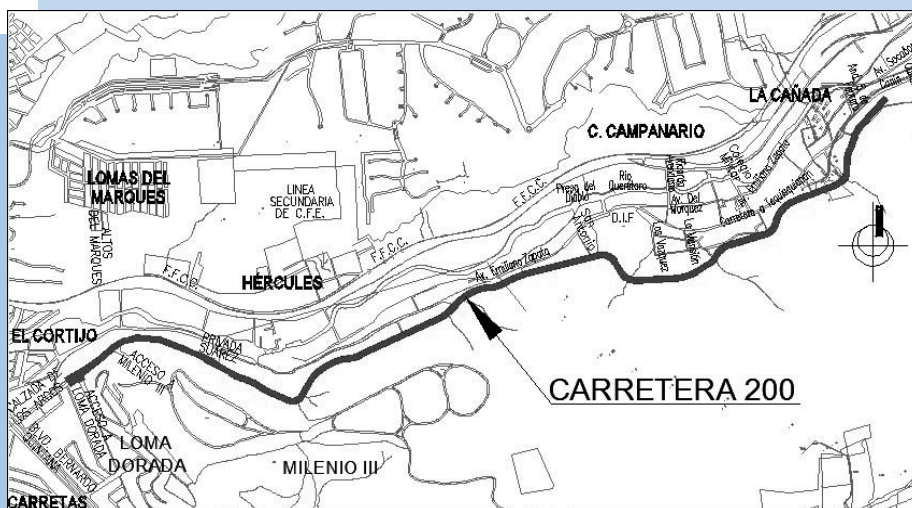
•Comparar el resultado obtenido versus levantamiento topográfico realizado en campo (método tradicional).

**Desarrollo de investigación**

Esta investigación se lleva a cabo dentro de la Unidad de Sistemas de Información Geoespacial (USIG) perteneciente a la Coordinación de Ingeniería Portuaria y Sistemas Geoespaciales del IMT.

El área de estudio comprende la carretera estatal no. 200 del estado de Querétaro, en su tramo del Km 0+000 al Km 8+000. Dicha carretera conecta a los municipios de Querétaro y El Marqués pertenecientes a la ZMQ.

Después de analizar el estado del arte tanto de la percepción remota como del derecho de vía en el ámbito regional, nacional e internacional, con la finalidad de contar con un panorama más específico de la información útil concerniente al tema a desarrollar. Contando con imágenes



Fuente: Elaboración propia

**Figura 3**  
Carretera Estatal No. 200, tramo Km 0+000 al Km 8+000



Fuente: Elaboración propia

**Figura 4**

**Mosaico SPOT5 de la ciudad de Querétaro, que ilustra la continuidad de estudios referentes a la Percepción Remota dentro de la USIG**

de satélite del área de estudio de los sensores SPOT 6 y GeoEye1 y con ayuda del software ENVI® 5.0 (the Environment for Visualizing Images), software que permite visualizar, analizar y manipular todo tipo de imágenes digitales.

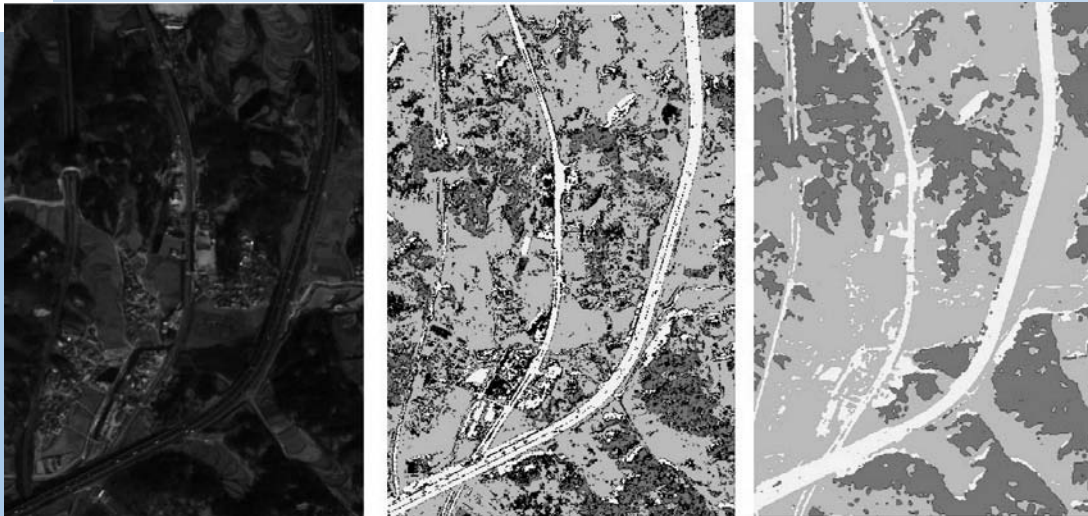
Se hace un análisis espectral de las imágenes, (método conocido como: clasificación supervisada y no supervisada) y se obtienen los elementos que nos interesan de la misma según su respuesta espectral para cada objeto, para este caso, se aplicó a carreteras revestidas con asfalto.

Una vez obtenidos los píxeles que en su respuesta espectral corresponden a las carreteras anteriormente mencionadas, se hace una depuración de los píxeles, método también conocido como “entrenamiento de pixel”, el cual consiste en amplificar el área de píxeles acumulados y/o generalizando aquellos que quedan aislados y como resultado, obtenemos áreas más puras (con

mayor grado certidumbre). Se procede a su vectorización, generando con ello sus propios atributos, para este caso: área, perímetro, coordenadas, entre otros.

Por otro lado, con las mismas imágenes satelitales utilizadas; Ahora se realiza un análisis de clasificación por objetos, el cual consiste en obtener polígonos similares que mantengan una relación entre el rasgo, color, textura y brillo principalmente, utilizando para ello una subrutina llamada “Feature Extraction”, propio del software ENVI 5.0, la cual automatiza dicho proceso.

De esta manera se contará con los resultados tanto de respuesta espectral para el derecho de vía como de clasificación por objetos para los predios que se invadirán. Para ambos casos se obtiene la superficie de los polígonos que representan cada uno de los predios particulares que estén invadiendo el derecho de vía. La relación entre el área del derecho de vía y los predios invadidos, nos darán el porcentaje de invasión.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 5**  
Imagen que ilustra el comportamiento de los sensores de alta resolución a lo largo de una carretera Km 8+000

Los valores resultantes obtenidos son comparados con los valores reales obtenidos en campo a través de un levantamiento topográfico realizado con anterioridad, lo cual permitirá verificar el grado de exactitud de esta nueva metodología.

Como resultado, tenemos un levantamiento topográfico más rápido y preciso de predios georreferenciados que existen dentro del área establecida anteriormente.

### Conclusiones

Los resultados de este trabajo de investigación van encaminados a la optimización de los recursos materiales, económicos, humanos y sobre todo en la reducción del tiempo que lleva realizar un levantamiento topográfico, de las propiedades afectadas y/o invasoras dentro del derecho de vía procedente de un proyecto nuevo o de ampliación, con la precisión necesaria para su validación ante instancias gubernamentales.

La implementación de este sistema de cálculo de superficie de afectación se podrá realizar

en vialidades de pavimento asfáltico donde se tenga caracterizado la firma espectral del medio circundante. Además con ayuda de la herramienta de extracción de polígonos (Feature Extraction), se podrá determinar de manera semi-automática, todos aquellos predios que se ven afectados por el derecho de vía de manera georreferenciada y con información asociada a dicho polígono.

Este tipo de estudios beneficia en gran medida a los esfuerzos realizados por parte de los Centros SCT de los estados al contar con un método alternativo para la liberación del derecho de vía. Incluso puede ayudar a obtener un diagnóstico del estado que guarda la invasión irregular o ilegal del derecho de vía en la Red Carretera Nacional conlleven la toma de decisiones que impacten a favor de los bienes nacionales y, por tanto, del erario público.

Al disponer de imágenes de satélite actuales y de mayor resolución, el incremento en la calidad de los estudios y proyectos permitirán el desarrollo de metodologías más ágiles para su procesamiento y obtención de resultados

en intervalos reducidos de tiempo. Para el caso específico del transporte, está demostrado que las técnicas de Percepción Remota y/o Teledetección tienen el potencial de proveer información detallada de caminos y puentes y pueden ofrecer una forma más rápida y económica de mejorar las prácticas comunes para la observación y el inventario de la red de transporte. La cartografía digital georeferenciada, se liga fácilmente a variables censales e indicadores socioeconómicos y ambientales. De tal suerte que facilita la extracción de información y la construcción de indicadores de calidad de vida y de desarrollo.

La aplicación de geotecnologías de vanguardia al sector Transporte, así como la correcta y eficaz aplicación de los recursos por parte de los profesionistas, académicos y representantes de la sociedad civil deberán reflejarse en una mejor calidad de vida y observar con seguridad el desarrollo hacia un mejor país.

### Referencias bibliográficas

Backhoff, M. A y García, G. 1992. Los sistemas de información geográfica y el transporte. Publicación Técnica No. 32. IMT, SCT, México.

Backhoff, M. A. 2005. Transporte y espacio geográfico. Una aproximación geo informática. UNAM. México.

Barredo, J., Bosque-Sendra J. 2009. Comparison of multi-criteria evaluation methods integrated in geographical information systems to allocate urban areas. Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá de Henares, España. Financiado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (Proyecto no. AMB 94-1017).

Beger, R., Gedrange, C., Hecht, R., Neubert, M., 2011. Data fusion of extremely high resolution aerial imagery and LiDAR data for automated railroad centre line reconstruction,

ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 66, Issue 6, Supplement, December 2011, Pages S40-S51, ISSN 0924-2716, 10.1016/j.isprsjprs.2011.09.012

Di Bella, C.M., Posse, G., Beget, M.E., Fischer, M.A., Mari, N., Veron, S. 2008. La teledetección como herramienta para la prevención, seguimiento y evaluación de incendios e inundaciones. Ecosistemas 17(3):39-52

García, E., Lira, J. 2010. La percepción remota aplicada al análisis urbano-regional de la ciudad de México empleando imágenes ópticas Terra/Aster y Spot5. A: International Conference Virtual City and Territory. "6to. Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual, Mexicali, 5, 6 y 7 Octubre 2010". Mexicali: UABC.

Hernández, H.J., Montaner, D. 2009. Patrones de Respuesta Espectral (Cap. 3). En: Tecnologías Geoespaciales: Experiencias Aplicadas al Estudio y Gestión del Territorio. ISBN: 978-956-7717-14-7. Publicaciones SAF

Lilles, T.M. y Kiefer, R.W. 1994. Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley and Sons Inc., New York, USA.

Lira J. 1995. La percepción remota: nuestros ojos desde el espacio. Fondo de Cultura Económica, México.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, (SCT) 1997. Manual de procedimientos para el aprovechamiento del derecho de vía en caminos y puentes de cuota. México

Shlomo, A., Parent, J., Civco, D., Blei, A., Potere, D., 2011. The dimensions of global urban expansion: Estimates and projections for all countries, 2000–2050, Progress in Planning, Volume 75, Issue 2, Pages 53-107, ISSN 0305-9006, 10.1016

Wenzel, T., 2003. Use of remote sensing measurements to evaluate vehicle emission monitoring programs: results from Phoenix, Arizona, ELSEVIER Science Journal of Environmental Science and Policy, Volume 6, Pages 153-166, DOI 10.1016/S1462-9011(03)00004-2

<http://www.spotimage.com>

<http://www.digitalglobe.com>

<http://www.exelisvis.com>

<http://www.siap.gob.mx>

GONZÁLEZ Jonatan  
jgonzalez@imt.mx  
BACKHOFF Miguel  
backhoff@imt.mx

## GLOSARIO

### Artículo 1:

**Desarrollo sustentable:** Aquél que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades.

**Transporte sustentable:** Es aquel que no compromete la salud pública y el medio ambiente y resuelve las necesidades de movilidad para las personas y mercancías, basadas en el uso de fuentes de energía renovables y su tasa de regeneración.

**Carretera sustentable:** Se define como aquellas que son eficaces y eficientemente planeadas, diseñadas, construidas, modernizadas y conservadas, a través de políticas integradas con respecto al medio ambiente y conservan el beneficio socio-económico esperado en términos de movilidad y seguridad.

### Artículo 2:

**SA:** Sistema Armonizado de Designación y Codificación de Mercancías.

**Matriz O-D:** Arreglo bidimensional que representa la cantidad de viajes de un origen (filas) a un destino (columnas).

### Artículo 3:

**Sensor:** Dispositivo diseñado para recibir información de una magnitud del exterior y transformarla en otra magnitud, normalmente eléctrica, que seamos capaces de cuantificar y manipular. Se encuentran basados en la emisión de luz, y en la detección de esta emisión realizada por los fotodetectores.

**Imagen de satélite:** Imagen digital (formato raster), donde cada píxel tiene asignado un valor numérico que hace referencia a la energía solar irradiada (en longitud de onda larga) de la superficie terrestre, la cual es captada y grabada por un sensor (el cual puede estar a bordo de un satélite) y ésta es agrupada dentro de una determinada longitud de onda dentro del espectro electromagnético (banda espectral).

**Teledetección:** Vocablo equivalente al término anglosajón "remote sensing" que usualmente se traduce como "percepción remota". Método científico de observación a distancia de un sistema físico, que ha permitido al hombre ampliar su capacidad visual por medio del registro de energía (emitida y/o reflejada) para su procesamiento, análisis y aplicación de la información, a través del uso de Sistemas de Información Geográfica y/o software especializados para la gestión de imágenes de satélite.



## PROYECTO EN MARCHA

### Un diagnóstico de la evaluación ex-post en proyectos de inversión carretera en México

Actualmente, como parte de una serie de políticas para la optimización del uso de recursos y el crecimiento competitivo de las economías regionales, en diversos países se presenta una práctica cada vez más generalizada de dar seguimiento a la eficiencia en el logro de los diversos objetivos de las inversiones en proyectos relevantes de infraestructura y servicios.

En México, y en particular en el sector transporte, se han tenido experiencias de proyectos de infraestructura carretera donde los resultados obtenidos varían mucho en relación con los objetivos deseados o con los escenarios y pronósticos esperados en aspectos como los costos de construcción, costos de operación, volúmenes de tránsito, entre otras variables. Parte del problema surge de la falta de una adecuada documentación de las experiencias para la aplicación de medidas de control que mejoren los procesos de pre-evaluación de los nuevos proyectos. Esta deficiencia se presenta a pesar de que existen los “Lineamientos para el seguimiento de la rentabilidad de los programas y proyectos de inversión de la Administración Pública Federal”, donde se establecen disposiciones para que la Secretaría de Hacienda y Crédito Público dé seguimiento a los proyectos con inversión pública.

El estudio en comento se orienta a cubrir la necesidad de caracterizar las prácticas actuales de evaluación ex-post en proyectos de infraestructura carretera así como contrastar sus alcances y limitaciones con respecto a las

prácticas en otros países. Por ello, el estudio tiene por objetivo principal proporcionar un diagnóstico de la situación actual de la evaluación ex-post aplicada a proyectos de infraestructura carretera en México. Adicionalmente, se identifican elementos para mejorar dicha práctica de post-evaluación a través de la caracterización de variables y parámetros susceptibles a ser incorporados en el análisis. Su aplicación se limita al seguimiento de indicadores de eficiencia de algunas obras de construcción de infraestructura carretera que han entrado recientemente en operación. Asimismo, se elabora una estructura básica para la recopilación y consulta de variables de evaluación para el seguimiento de los proyectos de carreteros.

El alcance del estudio se limita a la recopilación de información disponible en las instalaciones del Instituto Mexicano del Transporte, principalmente de internet, relativa a las experiencias nacionales e internacionales en la evaluación ex-post. El presente análisis se enfoca a los proyectos de construcción o modernización de infraestructura carretera.

HERNÁNDEZ Salvador  
chava@imt.mx

## PUBLICACIÓN

### Simulación Monte Carlo de las cargas vivas en el puente Barranca Honda para la obtención de las proyecciones estadísticas de esfuerzos y ciclos de carga

La **publicación técnica 387** presenta una metodología para predecir la distribución estadística de los esfuerzos máximos en los componentes estructurales de un puente ocasionados por el incremento de tráfico vehicular.

Estas predicciones permiten comparar los efectos de estas solicitaciones con los límites de resistencia establecidos por los códigos de diseño de puentes y estimar, a lo largo del periodo de análisis, la probabilidad de que

se excedan estos límites. La metodología se aplica y ejemplifica con el puente Barranca Honda, que es un puente “tipo” que cuenta con atributos representativos de los puentes con superestructura de acero y losa de concreto reforzado de la Red Federal de Carreteras de México. Los resultados muestran la factibilidad de aplicar el procedimiento y predecir la confiabilidad estructural del puente bajo distintos escenarios de crecimiento del tráfico.

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

<http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt387.pdf>

## EVENTOS ACADÉMICOS Y CONGRESOS

### Auditorías en Seguridad vial e Investigación de accidentes de tránsito

Considerando la necesidad de preparar recursos humanos que se apliquen adecuadamente en las labores de mejoramiento de la seguridad carretera, el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) organizó dicho Curso, el cual se llevó a cabo en las instalaciones del IMT en Sanfandila, Municipio de Pedro Escobedo, Querétaro del 4 al 8 de agosto de 2014, en coordinación con destacados expertos en la materia.

Tuvo como objetivo presentar de manera clara y sencilla la forma de realizar una auditoría de seguridad vial desde sus beneficios y procedimientos hasta la elaboración y presentación de informes, así como mostrar los aspectos teóricos y prácticos de las técnicas de investigación de accidentes de tránsito con

el fin de cubrir las necesidades de las áreas técnicas, médicas y de seguros al momento de ocurrir un accidente. Los análisis se realizaron desde un punto de vista técnico, es decir las causas relativas tanto al factor humano, al vehículo y al entorno de las colisiones; así como la redacción de informes técnicos de auditorías de seguridad vial e investigación de accidentes de tránsito y con ello fortalecer la experiencia de los profesionales dedicados a la prevención de accidentes.

Este curso tuvo una asistencia de 63 participantes, los cuales provinieron de diferentes Centros y Oficinas Centrales de la SCT, CAPUFE (Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos), así como de empresas de iniciativa privada.

## 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**  
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 96 46, 216 96 11  
216 96 57 ext. 2801 y 2802

**Fax:** 216 96 71

**Correo:** publicaciones@imt.mx

**Electrónico:** capacitación@imt.mx

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

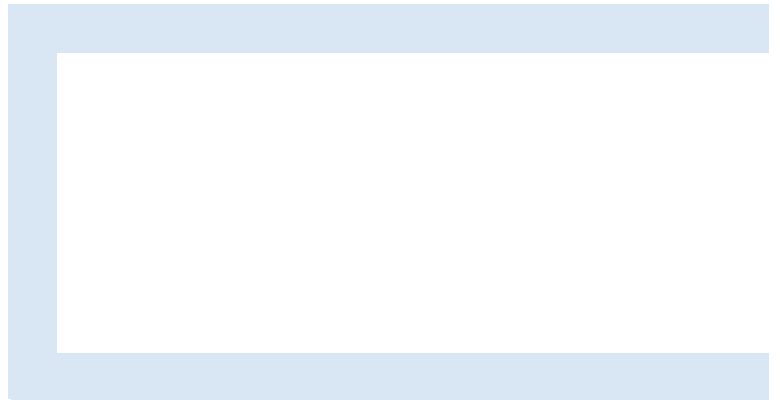
El contenido de los artículos aquí publicados es responsabilidad exclusiva de sus autores; por tanto, no refleja necesariamente el punto de vista del Instituto Mexicano del Transporte.

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