

## ESTIMACIÓN DEL VALOR DEL TIEMPO DE LOS OCUPANTES DE LOS VEHÍCULOS QUE CIRCULAN POR LA RED CARRETERA DE MÉXICO, 2014

### Introducción

En 2004, el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) inició la publicación de una estimación del valor del tiempo de los ocupantes de los vehículos que circulan por la red carretera de México, con base en una metodología de cálculo cuyas principales variables explicativas son el salario mínimo general vigente (SMG), el número de horas laboradas por semana por la población ocupada con ingreso (POI) y el monto del ingreso percibido, expresado en salarios mínimos generales promedio a nivel nacional (SMGP).

Los valores publicados han sido tomados como referencia por las áreas operativas de la Subsecretaría de Infraestructura de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) para la evaluación de proyectos carreteros. Asimismo, la metodología ha sido utilizada por investigadores y profesionales del Sector que han elaborado otros trabajos relacionados con el valor social del tiempo.

Con la publicación de los resultados definitivos del Censo 2010, se realizó una

actualización de los factores (Torres, 2012), aplicando la metodología antes mencionada y cuyas expresiones básicas se muestran a continuación.

Valor del tiempo por motivo de trabajo (SHP):

$$\text{SHP} = (\text{FIP} * \text{SMGP} * 7) / \text{HTP} \quad (1)$$

Valor del tiempo por motivo de placer (VTpp):

$$\text{VTpp} = 0,3 * H^1 (\text{GWILLIAM Kenneth, 1995}) \quad (2)$$

$$\text{VTpp} = 0,3 * (2 * \text{FIP} * [\text{SMGP} / (\text{HTP} / 7)]) \quad (2a)$$

Donde:

$$H = \text{ingreso horario familiar}^2 = 2 * \text{FIP} * \text{SMH}$$

## CONTENIDO

<b>ESTIMACIÓN DEL VALOR DEL TIEMPO DE LOS OCUPANTES DE LOS VEHÍCULOS QUE CIRCULAN POR LA RED CARRETERA DE MÉXICO, 2014</b>	<b>1</b>
<b>INFLUENCIA DEL DIÓXIDO DE CARBONO EN ELEMENTOS DE CONCRETO EXPUESTOS EN AMBIENTE URBANO</b>	<b>8</b>
<b>MEJORAS DE SEGURIDAD VIAL EN LA INFRAESTRUCTURA A PARTIR DE SU EVALUACIÓN CON EL MODELO DEL IRAP</b>	<b>16</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>23</b>
<b>PROYECTOS EN MARCHA</b>	<b>24</b>
<b>PUBLICACIÓN</b>	<b>26</b>
<b>EVENTOS ACADÉMICOS</b>	<b>27</b>

<sup>1</sup>GWILLIAM, Kenneth. The value of time in economic evaluation of transport projects, lessons from recent research in "Infrastructure Notes" No. OT-5, Transport Sector World Bank, January 1995 <http://www.worldbank.org/transport/publicat/td-ot5.htm>

<sup>2</sup>F. Cortés (2003) considera que el valor de H para el caso mexicano equivale aproximadamente a la aportación que hacen dos miembros de la familia al ingreso familiar.

SMH = salario mínimo por hora (en pesos) = SMGP / PHTD

PHTD = promedio de horas trabajadas diarias = HTP / 7

HTPcenso2010 = promedio de las horas trabajadas por semana = 41.444

FIP censo2010 = factor de ajuste del ingreso promedio de la población = 3.367

SMGP = salario mínimo general promedio (en pesos diarios)

La actualización de la fuente de información implicó ajustes en otros factores como el salario mínimo horario (SMH) y el promedio de horas trabajadas por día (PHTD), y por tanto en el valor del tiempo de los usuarios de las carreteras, dichas variaciones se describen en las siguientes secciones.

### Estimación del valor del tiempo a nivel nacional

Para el año 2014, con la actualización de los salarios mínimos vigentes desde el 1 de enero, la Comisión Nacional de Salarios Mínimos (CONASAMI) publicó el SMGP vigente durante el presente año, arrojando un valor de \$65.58, equivalente a un incremento de 3.9% con respecto al que publicó en enero de 2013.

Asimismo, la actualización de los factores HTP y el FIP, con base en la información del Censo de Población y Vivienda 2010, representó una disminución de 4.65% en el valor de las horas trabajadas así como un incremento de 14.67% en los ingresos percibidos, en el ámbito nacional.

Dado que el HTP y el FIP son calculados con base en la información del Censo de Población y Vivienda 2010, estos permanecen constantes hasta que un nuevo Censo sea realizado, por lo que para actualizar el valor

del tiempo cada año bastará sustituir los salarios mínimos generales promedio a nivel nacional vigentes a partir de enero de 2014, en las ecuaciones 1 y 2.

A partir del salario mínimo general promedio nacional publicado por la CONASAMI para 2014 se obtienen los valores siguientes:

### Valores HTP y FIP derivados del Censo 2010

$$SHP_{(2014)} = (3.367 * 65.58 * 7) / 41.444 = 37.30$$

$$VT_{pp(2014)} = 0.3 * (2 * 3.367 * [65.58 / (41.444 / 7)]) = 22.38$$

De esta manera, con la actualización de los factores FIP y HTP realizada a partir del Censo de Población y Vivienda 2010, se obtuvieron las siguientes estimaciones del valor del tiempo para el año 2014: \$37.30 para viajes por motivo de trabajo y \$22.38 para los viajes por placer.

Por otra parte, con la finalidad de reducir cálculos, podemos simplificar la fórmula para estimar el VT<sub>pp</sub>, subiendo el factor de días de la semana (7) al numerador, quedando de la siguiente forma:

$$VT_{pp(2014)} = 0.3 * (2 * 3.367 * [65.58 * 7 / (41.444)]) = 0.6 * SHP$$

Esto es, el valor del tiempo para los viajes por motivos de placer equivale a 60% del valor por motivo de trabajo; dicha equivalencia es válida mientras no se modifique el valor del factor H (ingreso horario familiar). De esta forma, en las siguientes secciones sólo se presentan los valores obtenidos para los viajes con motivo de trabajo, en el entendido que los valores por motivo de placer se obtienen al multiplicar por 0.6 dicho valor, así podemos concentrarnos en resaltar la evolución en el valor del tiempo debido al cambio de factores derivados del

Censo 2010. A continuación, se aplica la metodología al ámbito regional y estatal.

**Valor del tiempo en el ámbito regional**

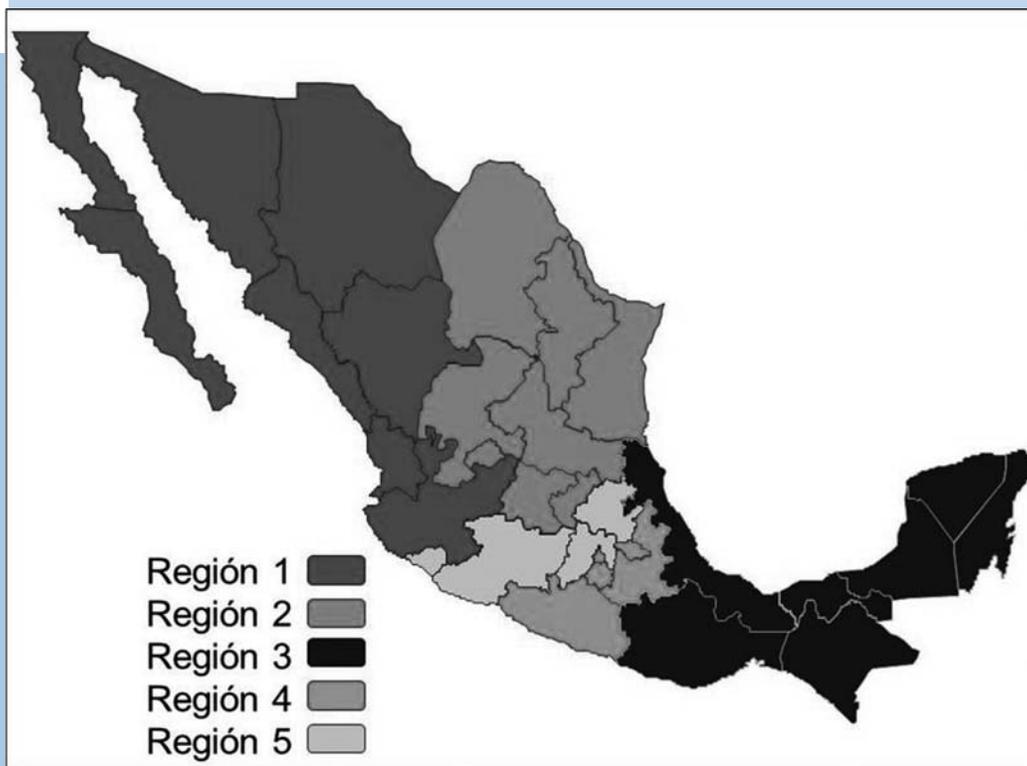
En el cuadro y figura 1 se muestra la regionalización considerada en el Programa de Inversiones en Infraestructura de Transporte y Comunicaciones 2013-2018 (PIITC) publicado por la SCT (2013), a la cual se aplicó la metodología para conocer la evolución del valor del tiempo de los usuarios de la infraestructura carretera.

Para el año 2014, los resultados estimados, en las regiones, del valor del tiempo por motivo de trabajo (véase cuadro 2) muestran una diferencia de poco menos de 7.50 pesos entre las regiones 1 y 3, correspondientes

**Cuadro 1**  
**Regionalización propuesta de México por el PIITC**

Región	Entidad Federativa
1	Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Durango, Jalisco, Nayarit, Sinaloa y Sonora.
2	Aguascalientes, Coahuila, Guanajuato, Nuevo León, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas.
3	Campeche, Chiapas, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán.
4	Distrito Federal, Guerrero, Morelos, Puebla, y Tlaxcala.
5	Colima, Hidalgo, Estado de México y Michoacán.

**Fuente:** Elaboración con base en el Programa de Inversiones en Infraestructura de Transporte y Comunicaciones 2013-2018. SCT. México, 2013.



**Fuente:** Elaboración con base en el Programa de Inversiones en Infraestructura de Transporte y Comunicaciones 2013-2018. SCT. México, 2013.

**Figura 1**  
**Regionalización de México de acuerdo al PIITC 2013-2018**

geográficamente a los extremos Noroeste y Sureste de México. Por su parte las regiones centrales (4 y 5) reportan un valor cercano a la media nacional, lo cual refleja una clara tendencia de mayor valoración del tiempo a medida que la población se ubica hacia el Norte del país.

En los cuadros 3 y 4 se presentan los comportamientos de la valoración del tiempo por regiones para distintos segmentos de ingreso a nivel regional para segmentos de población con ingresos mayores a 3 y 5 salarios mínimos, respectivamente, expresados en pesos por hora.

**Cuadro 2**  
**Valor del tiempo (\$/h) de los pasajeros en las regiones de PIITC-SCT, 2014**

Estructura regional	Factores 2010		Valor tiempo, viaje por trabajo (SHP)	Valor tiempo, viaje por placer (VTpp)
	FIP	HTP		
Región 1	3.659	41.172	40.80	24.48
Región 2	3.506	41.697	38.60	23.16
Región 3	2.981	41.043	33.34	20.01
Región 4	3.405	41.248	37.90	22.74
Región 5	3.221	42.030	35.18	21.11
<b>Nacional</b>	<b>3.367</b>	<b>41.444</b>	<b>37.30</b>	<b>22.38</b>

**Fuente:** Elaboración personal con base en el Censo de Población y Vivienda 2010, [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx), y el salario mínimo promedio publicado por la CONASAMI para el año 2014, [www.conasami.gob.mx](http://www.conasami.gob.mx).

**Cuadro 3**  
**Valor del tiempo (\$/h) del personal ocupado con ingresos superiores a los 3 salarios mínimos generales promedio, 2014**

Región	Factores		POI > 3 SMGP	
			2014	
	FIP	HTP	Viaje de trabajo	Viaje de placer
1	5.848	41.172	65.20	39.12
2	5.827	41.697	64.15	38.49
3	5.695	41.043	63.70	38.22
4	6.078	41.248	67.64	40.59
5	5.649	42.030	61.70	37.02
<b>Nacional</b>	<b>5.825</b>	<b>41.444</b>	<b>64.52</b>	<b>38.71</b>
<b>SMGP (diario)</b>	<b>\$65.58</b>			

**Fuente:** Elaboración personal con base en el Censo de Población y Vivienda 2010, [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx), y el salario mínimo promedio publicado por la CONASAMI para el año 2014, [www.conasami.gob.mx](http://www.conasami.gob.mx).

**Cuadro 4**  
**Valor del tiempo (\$/h) del personal ocupado con**  
**ingresos superiores a los 5 salarios mínimos**  
**generales promedio, 2014**

Región	Factores		POI > 5 SMGP	
			2014	
	FIP	HTP	Viaje de trabajo	Viaje de placer
1	8.242	41.172	91.90	55.14
2	8.236	41.697	90.67	54.40
3	8.157	41.043	91.23	54.74
4	8.392	41.248	93.40	56.04
5	8.175	42.030	89.29	53.57
<b>Nacional</b>	<b>8.247</b>	<b>41.444</b>	<b>91.35</b>	<b>54.81</b>
<b>SMGP</b>	<b>\$65.58</b>			

**Fuente:** Elaboración personal con base en el Censo de Población y Vivienda 2010, [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx), y el salario mínimo promedio publicado por la CONASAMI para el año 2014, [www.conasami.gob.mx](http://www.conasami.gob.mx).

Con la descripción del comportamiento de la valoración por regiones y segmentos de población se observa que para la población que percibe más de tres salarios mínimos, el rezago se presenta ahora en la región 5, situación que se repite para la población que percibe ingresos mayores a los cinco salarios mínimos, ubicándose nuevamente la posición más desfavorable en la región conformada por Colima, Michoacán, Estado de México e Hidalgo.

Por otra parte, la región 4 sustituye a la región 1 en los segmentos analizados en los cuadros 3 y 4, es decir, que al eliminar a la población con menores ingresos (menores a 3 y 5 salarios mínimos) los valores más altos se localizan en la región 4 que comprende al Distrito Federal, Guerrero, Morelos, Puebla, y Tlaxcala.

### Valor del tiempo en el ámbito estatal

Para estimar el valor del tiempo en las distintas entidades federativas que conforman el territorio nacional, se aplicaron los factores de ingreso promedio (FIP) y el número de horas que labora la población ocupada que percibe ingresos (HTP) con base en el Censo de Población y Vivienda 2010, y un Salario Mínimo General Promedio diario a nivel nacional de \$65.58 para el año 2014.

Para una mejor percepción de las diferencias regionales se aplica la metodología a las entidades federativas agrupadas en cinco estratos o clases de acuerdo con su posición respecto a la media nacional.

Al realizar el cálculo estatal (cuadro 5), se encontró una dispersión de resultados que van desde \$ 27.94 para el caso de Chiapas, hasta \$47.91 para Baja California Sur, el valor

**Cuadro 5**  
**Valor del tiempo de los pasajeros para el total de la población ocupada con ingreso, por entidad federativa (2014)**

Entidad federativa	Por viaje de trabajo (\$/h)	Por viaje de placer (\$/h)	Ingreso ponderado (en SMGP)	Horas laboradas / semana
<b>VALOR DEL TIEMPO MUY ALTO</b>				
Baja California Sur	47.91	28.74	4.262	40.841
Baja California	44.25	26.55	3.970	41.189
<b>VALOR DEL TIEMPO ALTO</b>				
Nuevo León	44.16	26.50	4.107	42.692
Querétaro	43.51	26.11	3.899	41.135
Distrito Federal	43.15	25.89	3.916	41.661
Jalisco	41.87	25.12	3.767	41.306
Quintana Roo	41.47	24.88	3.884	42.999
Sonora	40.35	24.21	3.641	41.419
Colima	40.21	24.13	3.621	41.338
<b>VALOR DEL TIEMPO MEDIO</b>				
Nayarit	38.92	23.35	3.410	40.217
Sinaloa	38.68	23.21	3.497	41.503
Aguascalientes	38.51	23.10	3.494	41.655
Chihuahua	38.00	22.80	3.375	40.777
Campeche	37.89	22.73	3.440	41.682
Tabasco	37.52	22.51	3.410	41.724
Morelos	37.32	22.39	3.348	41.184
Coahuila	36.99	22.19	3.391	42.085
Tamaulipas	36.83	22.10	3.334	41.561
Guanajuato	35.80	21.48	3.273	41.972
Estado de México	35.39	21.23	3.299	42.793
San Luis Potosí	35.34	21.20	3.088	40.118
Durango	35.13	21.08	3.152	41.184
<b>VALOR DEL TIEMPO BAJO</b>				
Zacatecas	34.76	20.85	3.039	40.140
Michoacán	34.25	20.55	3.010	40.339
Hidalgo	33.25	19.95	2.920	40.319
Oaxaca	32.81	19.69	2.850	39.876
Veracruz	32.80	19.68	2.949	41.272
Puebla	31.93	19.16	2.861	41.130
Guerrero	31.82	19.09	2.800	40.395
Yucatán	31.21	18.73	2.814	41.391
<b>VALOR DEL TIEMPO MUY BAJO</b>				
Tlaxcala	30.46	18.28	2.687	40.494
Chiapas	27.94	16.77	2.449	40.232

**Fuente:** Elaboración personal con base en el Censo de Población y Vivienda 2010, [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx), y el salario mínimo promedio publicado por la CONASAMI para el año 2014, [www.conasami.gob.mx](http://www.conasami.gob.mx).

más alto fue 71 por ciento mayor al valor del extremo inferior.

Si bien la desagregación regional del valor del tiempo permite matizar diferencias de valoración territorial, es probable que la evaluación de algunos proyectos de índole local requiera información más desagregada como la estatal.

Aún en 2014 persiste la disparidad regional en cuanto a valoración del tiempo en los estados del Norte con respecto a los localizados en el Sureste de México donde predominan los valores bajos y muy bajos, con las excepciones de tres estados: Quintana Roo, de vocación turística, así como Campeche y Tabasco con importante influencia de la actividad de extracción de petróleo.

### Conclusiones y recomendaciones

La metodología continúa siendo una alternativa sencilla para conocer el valor del tiempo de la población ocupada del país, mismo que constituye un insumo para los modelos de evaluación económica de proyectos de infraestructura carretera y otros relacionados a los servicios de transporte de pasajeros.

La nueva regionalización muestra matices singulares como que la región 5 presenta claros rezagos cuando se eliminan los estratos de población con bajo nivel de ingresos, sin embargo, se mantiene el rezago regional en el Sureste de México al considerar el total de la población.

Es recomendable tener cuidado cuando los proyectos de infraestructura carretera constituyan parte de un eje o el tramo en análisis forme parte de alguna red de transporte en la que confluyan usuarios de largo itinerario, en este caso es recomendable utilizar los valores promedio a nivel nacional.

Asimismo, debido a que una de las regiones más desfavorecidas continua siendo la Sureste, con objeto de contribuir a la disminución del grado de marginación que existe en esta región se recomienda utilizar también los valores promedio a nivel nacional en los distintos estudios de preinversión de proyectos de infraestructura que se localicen en dicha región.

Debido a que los valores reportados por el Censo no contabilizan los impuestos y algunas prestaciones, los valores obtenidos pueden incrementarse en un 30% de su valor, como parte de las prestaciones que reciben los trabajadores y no son contabilizadas como ingresos, como lo menciona Héctor F. Cervini en el documento "Valor Social del Tiempo"<sup>3</sup>.

### Bibliografía

ALBERRO, J. "Costo de oportunidad social del tiempo de usuarios del aeropuerto internacional de la Ciudad de México". El trimestre económico 297, enero-marzo de 2008, Fondo de Cultura Económica, México, 2008.

CERVINI, Héctor F. "Valor Social del Tiempo" (versión preliminar) Departamento de Economía Aplicada, Universidad Autónoma de Barcelona.- <[http://www.ecap.uab.es/jpasqual/materials/valor\\_social\\_tiempo.pdf](http://www.ecap.uab.es/jpasqual/materials/valor_social_tiempo.pdf)>

CONASAMI. "Salario Mínimo General Promedio". Comisión Nacional de Salarios Mínimos, México, página Web <<http://www.conasami.gob.mx>>

CORTÉS, F. "El ingreso y la desigualdad en su distribución", México: 1997-2000, Papeles de Población No. 35 enero/marzo 2003.

<sup>3</sup> Cervini, Héctor F. "Valor Social del Tiempo" (versión preliminar) Departamento de Economía Aplicada, Universidad Autónoma de Barcelona.- [http://www.ecap.uab.es/jpasqual/materials/valor\\_social\\_tiempo.pdf](http://www.ecap.uab.es/jpasqual/materials/valor_social_tiempo.pdf)

Universidad Autónoma del Estado de México. <<http://papelesdepoblacion.uaemex.mx/pp35/pp35.html>>.

GWILLIAM, Kenneth. "The value of time in economic evaluation of transport projects, lessons from recent research" in Infrastructure Notes No. OT-5, Transport Sector World Bank, January 1995 <<http://siteresources.worldbank.org/INTTRANSPORT/Resources/336291-1119275973157/td-ot5.pdf>>

INEGI. "Censo de Población y Vivienda 2010". Tabulados Básicos, Empleo. <<http://www.inegi.gob.mx/>>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). "Programa de Inversiones en Infraestructura de Transporte y Comunicaciones 2013-2018". SCT. México. 2013.

TORRES, G. y HERNÁNDEZ, S. "Propuesta metodológica para la estimación del valor del tiempo de los usuarios de la infraestructura carretera en México: el caso del transporte de pasajeros", Publicación Técnica No. 291. Instituto Mexicano del Transporte. Sanfandila, Qro., 2006.

TORRES, G. y HERNÁNDEZ, S. "Propuesta metodológica para determinar el valor del

tiempo de los ocupantes de los vehículos que circulan por la red carretera de México, 2011". NOTAS 129, artículo 1, marzo/abril de 2011. Instituto Mexicano del Transporte. 2011.

TORRES, G. y HERNÁNDEZ, S. "Estimación del valor del tiempo de los ocupantes de los vehículos que circulan por la red carretera de México, 2012". NOTAS 136, artículo 2, mayo/junio de 2012. Instituto Mexicano del Transporte.

TORRES, G., HERNÁNDEZ, S. y RUVALCABA J. I. "Actualización de la metodología para estimar el valor del tiempo de los usuarios de la red carretera nacional", Publicación Técnica No. 381. Instituto Mexicano del Transporte. Sanfandila, Qro., 2012.

TORRES, G., HERNÁNDEZ, S. y RUVALCABA, J. I. "Estimación del valor del tiempo de los ocupantes de los vehículos que circulan por la red carretera de México, 2013". NOTAS 140, artículo 2, enero/febrero de 2013. Instituto Mexicano del Transporte.

TORRES Guillermo  
gtorres@imt.mx  
HERNÁNDEZ Salvador  
chava@imt.mx  
GONZÁLEZ J. Alejandro  
gonzalez@imt.mx

## INFLUENCIA DEL DIÓXIDO DE CARBONO EN ELEMENTOS DE CONCRETO EXPUESTOS EN AMBIENTE URBANO

### Introducción

La corrosión del acero de refuerzo es responsable del deterioro de las estructuras de concreto, que involucra elevados gastos de reparación y mantenimiento [Pérez – Quiroz; J. T. 2001; Gerhardus H Koch et al; 2002] de las estructuras, con la preocupación que

supone para las administraciones propietarias de las obras públicas, y de los particulares cuyas viviendas sufren deterioros prematuros. El acero de refuerzo puede corroerse por dos mecanismos i) carbonatación y ii) iones de cloruro. Se ha reportado que el fenómeno de carbonatación puede presentarse con mayor proporción en ambientes rurales y urbanos,

y el fenómeno de corrosión por iones de cloruro se asocia normalmente a zonas o ambientes marinos. Las investigaciones relacionadas con la corrosión de acero de refuerzo han sido amplias en los últimos años, enfocándose especialmente en **a)** estudio de las causas y mecanismos de deterioro, **b)** al desarrollo de técnicas electroquímicas de evaluación y control, **c)** al empleo de métodos de protección. Recientemente, se planteó la necesidad de cuantificar la vida útil de estructuras afectadas por corrosión, por lo que en años recientes se ha centrado el interés en la búsqueda de modelos que permitan predecir la vida útil de estructuras en servicio no deterioradas o estimar la futura en el caso de estructuras nuevas, involucrando el fenómeno de corrosión desde la fase inicial del proyecto así como el efecto del ambiente al cual serán expuestas dichas estructuras.

**Metodología**

**Materiales**

Las muestras de concreto empleadas en este trabajo utilizaron los siguientes materiales y características.

**Preparación de muestras**

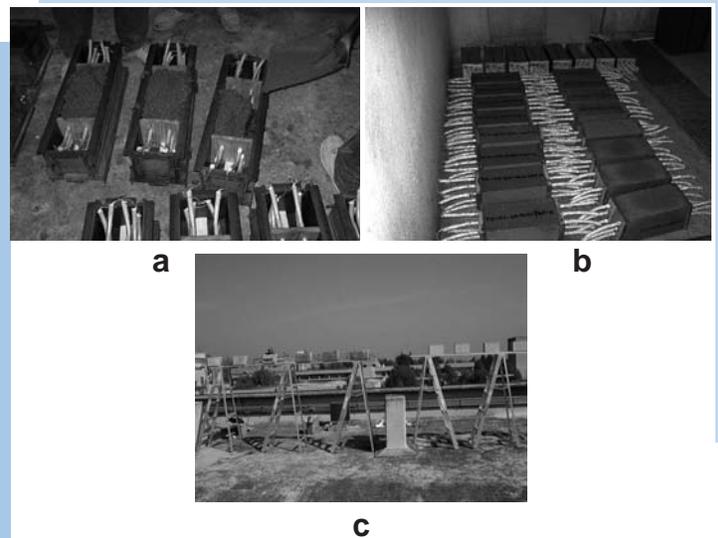
Para llevar a cabo este trabajo se seleccionaron dos relaciones agua/cemento (*a/c*), la primera de 0.45 que representa un concreto bien fabricado y de buena calidad. Se utilizó también una relación agua/cemento 0.65 que representa un concreto de baja calidad y mala fabricación, esto con la finalidad de correlacionar la degradación de una estructura de muy buen desempeño y otra de bajo desempeño, ambas en un ambiente agresivo. Se fabricaron muestras de concreto con las siguientes dimensiones 15 x 15 x 30 cm; seis con acero y seis sin acero con espesores de recubrimiento de 1,5; 2,0 y 3,0 cm como se muestra en la figura 1.

Una vez que las muestras estuvieron terminadas éstas se colocaron en diferentes sitios que se

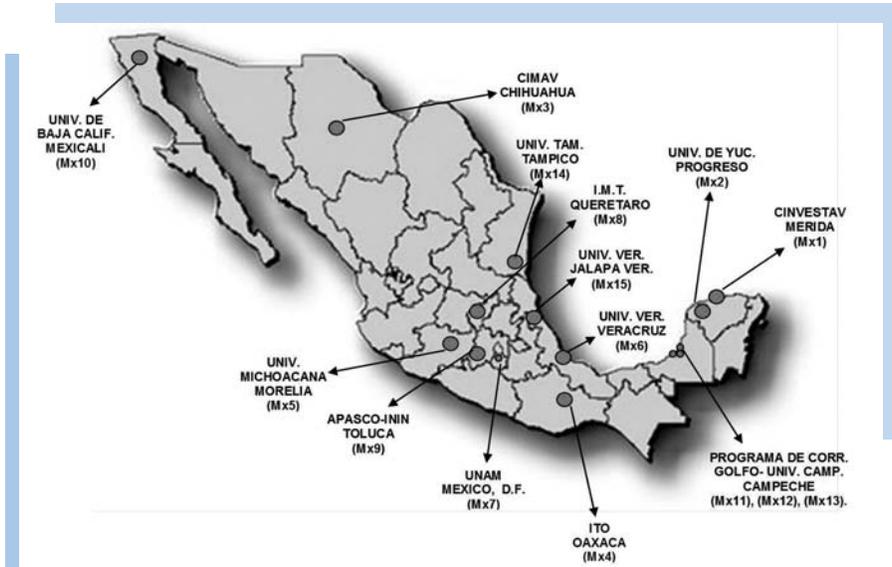
considera cumplen con las características de atmósferas urbanas [Liberia Mariaca y col. 1999; Standard ISO 9223:1992].

**Tabla 1**  
**Materiales utilizados en la fabricación de muestras de concreto. [Proyecto Duracon]**

Relación a/c = 0.45	411 Kg/m <sup>3</sup> de cemento f' <sub>Cdiseño</sub> = 350 Kg/cm <sup>2</sup> ; f' <sub>Cexperimental</sub> = 525 Kg/cm <sup>2</sup>
Relación a/c = 0,65	f' <sub>Cdiseño</sub> = 210 Kg/cm <sup>2</sup> ; f' <sub>Cexperimental</sub> = 316 Kg/cm <sup>2</sup> 385 Kg/m <sup>3</sup> de cemento
Tamaño máximo nominal	13 mm
Revenimiento	10±1 cm
Tipo de Árido	Siliceo triturado de 13 mm
Tipo de Arena	Cuarzosa
Adición de Plastificante	Plastiment VZ de Sika, Pozzolite de MBT o similar, para a/c = 0,45
Moldes	Metálicos
Curado	según Norma ASTM por 7 días
Cemento	Pórtland hasta 5% de adición
Tipo de acero	ASTM A 400



**Figura 1**  
**Fabricación y exposición de las muestras de concreto en la atmósfera seleccionada [Proyecto DURACON]**



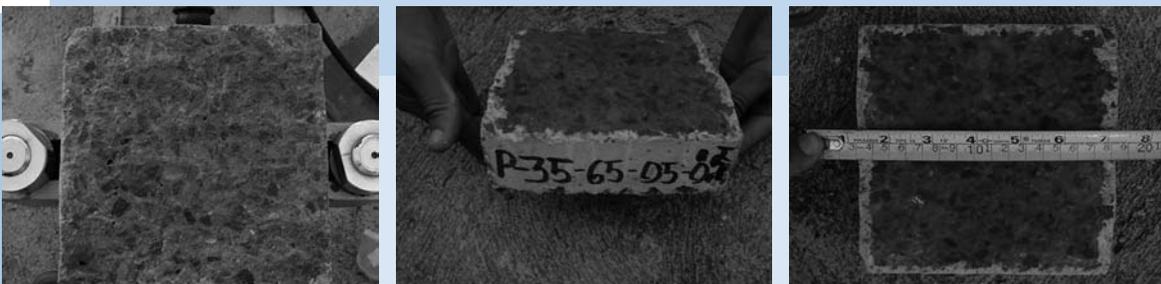
**Figura 2**  
**Sitios de exposición seleccionados en el México.**  
**[Proyecto DURACON]**

Los sitios seleccionados se eligieron de acuerdo con la disponibilidad de instituciones que quisieran colaborar en el proyecto denominado Duracon y se muestran en la figura 2.

La metodología que se usó para determinar si un elemento de concreto se está carbonatando fue la recomendada por el libro de la Red Durar [Leonardo Uller y col. 2000]. Ésta consiste en



**Figura 3**  
**Corte del bloque de concreto para determinar el avance de carbonatación.**  
**[Proyecto DURACON]**



**Figura 4**  
**Determinación del avance de carbonatación en bloques de concreto.**  
**[Proyecto DURACON]**

**Tabla 2**  
**Resultados de profundidad de carbonatación estación México D.F.**  
**[Proyecto DURACON]**

Mx7 UNAM MÉXICO D.F.	Tiempo (Año/días)	Cexpuesta	Cresguardada	K (mm/ $\sqrt{t}$ )	Relación a/c=0.45	Relación a/c=0.65
		20041213	1 año 630 días	1.6		1.23
			1.75	1.34	X	
		5.44		4.17		X
			4.96	3.8		X
20050620	2 año 800 días	3.5		2.34	X	
			1.95	1.3	X	
		8.34		5.56		X
			7.63	5.09		X
20060626	3 año 1166 días	4.75		3.43	X	
			3.278	2.75	X	
		9.87		7.58		X
			7.27	7.26		X
20070327	4 año 1437 días	4.76		4.76	X	
			3.28	3.28	X	
		9.88		9.88		X
			7.27	7.27		X

cortar una rebanada de uno de los bloques de concreto que no contenían acero de acuerdo con la figura 3.

Posteriormente se agrega solución de fenolftaleína en la cara “fresca” del corte del bloque de concreto, la zona que muestra el color violeta indica que tiene un pH alcalino, si hubiera una zona incolora, ésta sería indicio de que ya existe carbonatación y deberá medirse la zona con una regla o un flexómetro tomando al menos 3 lecturas en cada lado de la muestra y obtener un promedio que represente la zona carbonatada, como se muestra en la figura 4.

Los cortes mostrados en la figura 3 se realizaron cada año por un periodo de 4 años en cada una de las estaciones mostradas en la figura 2.

### R Resultados

Las tablas 2 y 3 muestran los resultados obtenidos de dos estaciones clasificadas como urbanas en el desarrollo de este trabajo.

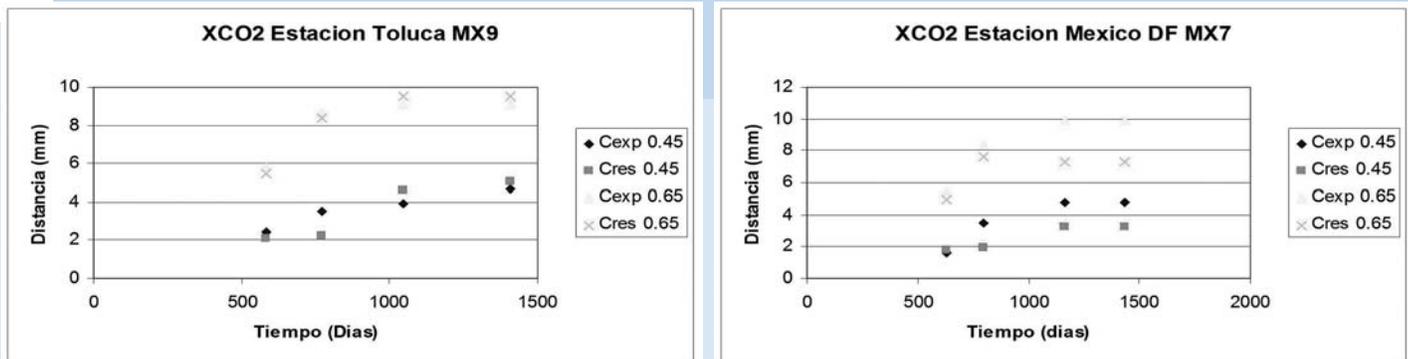
Las gráficas asociadas a estos datos se muestra en las figuras 5 y 6.

### D Discusión

Está reportado que en zonas urbanas el principal enemigo de las estructuras de concreto es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el cuál cuando la humedad relativa se encuentra en el intervalo de 50-70 % favorece este proceso de degradación, se ha reportado también que la carbonatación del concreto es un fenómeno natural definido como la reacción química que sucede entre el CO<sub>2</sub> y los productos de hidratación del cemento como el hidróxido de calcio (Ca(OH)<sub>2</sub>) y los silicatos calcicos hidratados (C-S-H), [Pérez – Quiroz; J. T. 2001; Leonardo Uller y col. 2000; De la cruz Abel, 2008; C.-F. Chang and J.-W. Chen, 2006; Chunhua Lu and Ronggui Liu, 2009; Davis H., Rothwell G.W. 1998] propicia las condiciones adecuadas para que este fenómeno suceda, el mecanismo asociado es que los poros no alcanzan a saturarse de agua, permitiendo la difusión y penetración del

**Tabla 3**  
**Resultados de profundidad de carbonatación estación Toluca.**  
**[Proyecto DURACON]**

Mx9 Toluca	Código	Tiempo (años/días)	Cexpuesta		K (mm/√t)	Relación	
			Cresguardada	Cres		a/c=0.45	a/c=0.65
Mx9 Toluca	20041214	1 año 584 días	2.44		1.91	X	
				2.08	1.63	X	
			5.8		4.55		X
				5.47	4.29		X
	20050621	2 años 771 días	3.54		2.42	X	
				2.23	1.53	X	
			8.63		5.89		X
				8.37	5.72		X
	20060329	3 años 1049 días	3.921		2.08	X	
				4.59	3	X	
			9.14		8.68		X
				9.51	6.19		X
20070329	4 años 1409 días	4.65		4.88	X		
			5.06	5.3	X		
		9.14		9.58			
			9.51	9.97			



**Figura 5**  
**Tendencia de los datos de profundidad de carbonatación vs tiempo de la estación Toluca y México D.F. [Proyecto DURACON]**

CO<sub>2</sub>, alcanzando con mayor facilidad el concreto adyacente a la armadura y con la posibilidad de efectuarse la reacción química de carbonatación en el medio acuoso. A humedades inferiores a 50%, los poros estarán secos y no permitirá la reacción del CO<sub>2</sub> en el medio líquido. Por el contrario, con humedades superiores al 70% de H.R. los poros

se saturan de agua y el gas carbónico (CO<sub>2</sub>), penetra con mayor dificultad hacia el acero.

Por otra parte, esta reportado que el CO<sub>2</sub> al combinarse con el agua forma el ácido carbónico, el cual baja el pH a valores cercanos a 6.0 y al entrar en contacto con la superficie del concreto

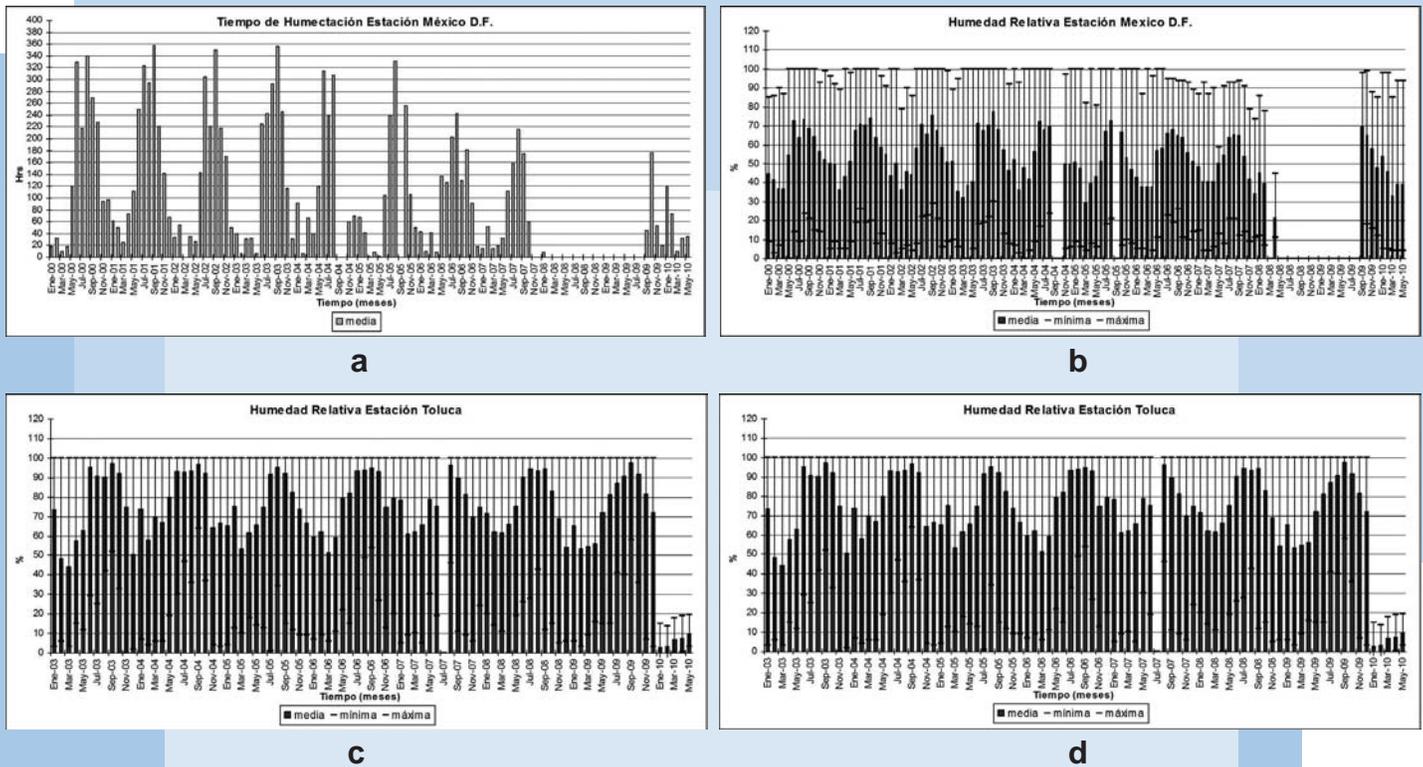
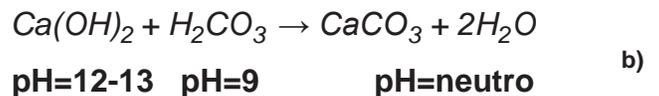


Figura 6

Histogramas de humedad relativa y tiempo de humectación presente en las estaciones de ensayo reportadas [Proyecto DURACON]

provoca una reacción lenta de neutralización. [Metha K., Monteiro–Paulo J.M, 2006] Esto ocasiona que, el ambiente propicio para la estabilidad termodinámica del acero de refuerzo sea modificado y la protección química que el concreto le confiere al acero desaparezca.

El proceso de carbonatación comienza inmediatamente en la superficie expuesta en ambientes con CO<sub>2</sub>, y la velocidad de carbonatación se incrementa en concretos y morteros de pobre calidad y/o porosos. El resultado del proceso de carbonatación es la formación del carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) con pH= 9, a partir del hidróxido de calcio (Ca(OH)<sub>2</sub>) con pH= 12-13, de acuerdo con la ecuación a y b descritas abajo [Valdez-Tamez, P.L et al. 2009]. Cuando la profundidad de carbonatación alcanza el acero la pasividad del metal se pierde y la corrosión puede iniciar en presencia de humedad y oxígeno [K. Sisomphon and L. Franke; 2007].



Algunos factores que dependen totalmente del concreto pueden facilitar que este fenómeno se lleve a cabo de manera más rápida. Por ejemplo, un concreto que sea muy permeable puede carbonatarse rápidamente, y para que esto suceda, basta la pequeña concentración de CO<sub>2</sub> (0.03%) presente en la atmósfera. Cabe señalar que esta concentración puede incrementarse en lugares específicos, tales como estacionamientos con poca ventilación, como es el caso de túneles, industrias, laboratorios, donde el fenómeno de carbonatación se incrementa.

Los poros de un concreto ordinario, bajo condiciones cíclicas de humedad, contienen: agua e hidróxido de calcio (Ca(OH)<sub>2</sub>). Como se

describe en la tabla 1, se emplearon dos relaciones agua/cemento (a/c), una de 0.45 y 411 kg/cm<sup>3</sup> de cemento y otra de 0.65 y 385 kg/cm<sup>3</sup> de cemento, se ha reportado que la cantidad de cemento está directamente relacionada con la resistencia a la compresión [ACI Comité 201], para el caso de la relación agua/cemento de 0.45 su f'c es de 525 kg/cm<sup>2</sup> y para la relación agua/cemento de 0.65 su f'c es de 385 kg/cm<sup>2</sup>. También se ha reportado que la resistencia a la compresión esta afectada por la porosidad y los poros interconectados dan paso a la permeabilidad que el concreto tendrá [ACI Comité 201], por lo que de manera general se puede decir que a mayor resistencia a la compresión menor porosidad y por lo tanto menor acceso de los contaminantes en este caso CO<sub>2</sub>, esto involucra una menor zona de reacción del concreto con el CO<sub>2</sub>. Sin embargo, no debe perderse de vista que de acuerdo con Davis, [Davis H., Rothwell G.W. 1998] algunos parámetros meteorológicos juegan un papel muy importante como lo reporta [Davis H., Rothwell G.W. 1998], variables como la humedad relativa, la precipitación pluvial, la temperatura y la dirección y velocidad de los vientos, juegan un papel determinante en el proceso de carbonatación. Las estaciones reportadas en este caso presentan humedades relativas en promedio de 73.5 % para la estación ubicada en la ciudad de Toluca y la estación ubicada en la ciudad de México presenta una humedad relativa en promedio de 50.0 %, demostrando con esto que las condiciones de humedad relativa corresponden con la reportada en la literatura para que el proceso de carbonatación se lleve a cabo.

La humedad relativa en conjunto con la temperatura, serán las variables de mayor peso, ya que éstas permitirán determinar el tiempo de humectación que establece el número de horas en las cuales una superficie permanece húmeda, si la superficie de las muestras de concreto que continúan húmedas un determinado tiempo, entonces el proceso de carbonatación se lleva a cabo rápidamente ya que el tiempo de humectación (TDH) es del orden de 4066 horas para la estación

Toluca y de 850 horas para la estación de México D.F.

Puede apreciarse que el tiempo de humectación influye en la velocidad de carbonatación ya que el tiempo en el que la superficie esta humectada equivale al tiempo de inhibición de la reacción de carbonatación, esto puede sustentarse observando la figura 5 en la cual se aprecia que la época en la que el TDH es mayor corresponde con la temporada de lluvia, así mismo si observamos la figura 6 se observa que la humedad relativa para ambas estaciones es mayor en la época de lluvias y de acuerdo con lo que se había comentado anteriormente un concreto con una relación agua/cemento de 0.45 tiene menor porosidad comparada con una muestra de relación a/c = 0.65, entonces el avance de la reacción de carbonatación será más lenta en la muestra de concreto con relación a/c = 0.45 respecto de la muestra de concreto con relación a/c = 0.65. Lo anterior se ve afectado también por la precipitación pluvial, ya que en temporada de lluvia ésta mantendrá saturados los poros del concreto y el proceso de carbonatación no sucederá.

Por otra parte, la dirección y velocidad de los vientos podrían tener cierta influencia en el proceso de carbonatación debido a que velocidades muy altas arrastraran a los agentes contaminantes, y a la vez ayudarán a que la muestra de concreto seque de manera rápida, sobre todo en la cara que esté en dirección de los vientos disminuyendo la velocidad de carbonatación, por el contrario la cara del bloque que se mantenga resguardada del viento tenderá a permanecer húmeda favoreciendo la reacción de carbonatación.

## Conclusiones

La mala calidad de los concretos incrementa la velocidad de carbonatación en las muestras de relación a/c=0.65 baja, como se aprecia en la figura 5, aunado a las condiciones de Humedad relativa y temperatura que predominan a lo largo del tiempo de exposición. Por otro lado, se observa que la profundidad de carbonatación es menor en

los bloques de concreto que tienen una relación  $a/c = 0.45$ , aun cuando se encuentran expuestos a las mismas condiciones.

Determinar el tipo de ambiente o tomarlo en cuenta para el diseño de nuevas estructuras de concreto repercutirá en gran medida en la economía. Los resultados mostrados indican la conveniencia de mantener registros de información meteorológica y de contaminantes ambientales que permitan diseñar elementos de concreto durables resistentes a la agresividad del medio ambiente y que tengan una vida útil mayor.

## Referencias

- 1.- Pérez – Quiroz; J.T. Seguimiento por medio de la técnica de impedancia electroquímica de la protección catódica del acero de refuerzo en concreto modificado por un agente humectante, Tesis de Maestría, UNAM México D.F. 2001.
- 2.- Gerhardus H Koch, Michael PH Brongers, Neil G. Thompson CC Technologies; Corrosion costs and preventive strategies in the United States Publication no. FHWA-RD-01-156, Laboratories, Inc. Dublin, Ohio Y. Paul Virmani US Federal Highway Administration, Turner–Fairbank Highway Research Center, McLean, Virginia J.H. Payer Case Western Reserve University, Cleveland, Ohio).
- 3.- Proyecto DURACON XV.3 “Influencia de la Acción del Medio Ambiente en la Durabilidad” sección México.
- 4.-Liberia Mariaca, Joan Genesca Llongueras, Jorge Uruchurtu Chavarin, Luis Salvador Hernández Corrosividad atmosférica Proyecto Micat, , julio de 1999, Plaza y Valdés Editores.
- 5.- Standard ISO 9223:1992 (F); Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres –Classification; International.
- 6.- Leonardo Uller y colaboradores Durar Red Temática XV.B Durabilidad de la armadura, Manual de inspección y diagnostico de corrosión en estructuras de hormigón armado, CYTED; 3era edición; agosto 2000.
- 7.- De la Cruz, Abel; Corrosión del acero en el concreto, Revista Inpra Latina, enero 2008
- 8.-C.F. Chang and J.W. Chen, “The experimental investigation of concrete carbonation depth,” Cement and Concrete Research, vol. 36, no. 9, pp. 1760–1767, 2006
- 9.-Chunhua Lu and Ronggui Liu; Predicting Carbonation Depth Of Prestressed Concrete Under Different Stress States Using Artificial Neural Network; Advances in Artificial Neural Systems Volume 2009, 8 pages
- 10.- Davis H., Rothwell G.W. The Effectiveness of Surface Coating in Reducing Carbonation of Reinforced Concrete. BRE Information. 1998.
- 11.- Metha K., Monteiro–Paulo J.M. Concrete. Third Edition. McGraw Hill. 2006. Pp. 155.
- 12.- P.L. Valdez-Tamez; A. Durán-Herrera; G. Fajardo-San Miguel; C. A. Juárez-Alvarado Influencia de la carbonatación en morteros de cemento Portland y ceniza volante RIIT Vol.X. No.1. 2009 31-41, ISSN1405-7743 FI-UNAM
- 13.- K. Sisomphon and L. Franke, “Carbonation rates of concretes containing high volume of pozzolanic materials,” Cement and Concrete Research, vol. 37, no. 12, pp. 1647–1653, 2007
- 14.- ACI Committee 201. Guide to Durable Concrete. ACI Manual of Concrete Practice. Part 1: 201.2 R-11–201.2 R-12. 2004.

PÉREZ J. Trinidad  
jtperez@imt.mx  
TORRES Andrés  
atorres@imt.mx  
MARTÍNEZ Miguel  
martinez@imt.mx

**Agradecimientos:**  
RENDÓN Mariela  
mbelmonte@imt.mx  
TERAN Jorge  
jteran@imt.mx  
LOMELÍ Guadalupe  
mglomeli @imt.mx

## MEJORAS DE SEGURIDAD VIAL EN LA INFRAESTRUCTURA A PARTIR DE SU EVALUACIÓN CON EL MODELO DEL IRAP

### Introducción

En la actualidad, los accidentes de tránsito son uno de los principales problemas de salud pública en todo el mundo y, como consecuencia, se ha ido incrementando la exigencia social de mejorar los niveles de seguridad vial. Ante esta realidad, nace la responsabilidad de diseñar soluciones de ingeniería que contribuyan directamente a eliminar las muertes y lesiones severas ocurridas en las vías. De acuerdo con la experiencia internacional, se ha observado que el mejorar la infraestructura tiene el potencial de eliminar prácticamente todos los accidentes con muertos o lesionados severos. De aquí nace el interés de evaluar el nivel de protección que brinda la infraestructura a los diferentes tipos de usuarios, con la intención de introducir medidas de mejoramiento de alto rendimiento.

### iRAP en México

El Programa Internacional de Evaluación de Carreteras (iRAP por sus siglas en inglés, “International Road Assessment Programme”) es una organización sin fines de lucro dedicada a salvar vidas mediante la promoción del mejoramiento de las carreteras a través de programas económicos que reduzcan un gran número de las muertes y lesiones graves.

El objetivo de iRAP es desarrollar un programa de auditorías de seguridad vial para las carreteras usando equipos automatizados en las inspecciones, así como generar planes de inversión con propuestas de mejoramiento de la seguridad que brinda la infraestructura. Dentro de este programa se encuentran las acciones siguientes:

- a. Inspeccionar vías de alto riesgo y desarrollar la “Calificación por Estrellas” y los “Planes de Inversión para Vías Más Seguras”.
- b. Proveer capacitación, tecnología y apoyo a fin de sostener el desarrollo de la capacidad en los ámbitos nacional, regional y local.
- c. Rastrear el desempeño de la seguridad de las vías de tal manera que los organismos donantes financieros puedan evaluar los beneficios de sus inversiones.

La metodología de iRAP corresponde a un sistema de gestión a nivel de red, en el cual ésta se ausculta en toda su extensión y sólo superficialmente para aproximar la mejora requerida en cada tramo con el fin de determinar el programa de inversiones que permita llevar a toda la red a un estándar mejorado de calidad en un determinado horizonte de tiempo. Por lo tanto, las medidas recomendadas a nivel de red deben todavía afinarse al mayor detalle para generar el proyecto ejecutivo que permita la construcción de las obras correspondientes.

En el 2012, a raíz de la estrategia del Gobierno de México de brindar vías más seguras para promover el desarrollo económico y social, se llevó a cabo la primera etapa del proyecto iRAP México, la cual consistió en la inspección de los casi 45,000 km de Carreteras Federales en todo el país con base a la metodología creada por iRAP, siendo realizada por la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), a través de la Dirección General de Servicios Técnicos. En este trabajo se analizan los resultados obtenidos a partir del modelo iRAP para un tramo carretero, a la luz de una inspección visual de mayor detalle realizada al mismo,

así como de su historial de accidentalidad y algunos datos operativos.

### McModelo iRAP

La metodología para inspeccionar carreteras, detectar, priorizar riesgos y formular planes de reducción de los mismos, se desarrolla en tres etapas:

- **Recopilación de información.** Se obtiene información digital fotográfica del estado actual de las carreteras utilizando un vehículo especial avalado por iRAP. A su vez, se obtiene información sobre accidentalidad, flujos de tránsito, entre otras.

- **Análisis de información.** Los datos recolectados se procesan en una sola base de datos con un software aprobado por iRAP.

- **Reporte final.** Constituye un inventario del estado actual de las carreteras en materia de seguridad vial, así como recomendaciones de tramos prioritarios para intervención de acuerdo con el nivel de riesgo y una propuesta de medidas de mejoramiento o acciones para mitigarlo.

A través de las etapas previamente mencionadas, se logran los siguientes productos:

- **Calificación por estrellas.** El sistema otorga de 1 a 5 estrellas dependiendo del nivel de seguridad que posea una vía, al mismo tiempo que identifica cada nivel con un color en específico (figura 1). A su vez, se prevé una escala diferente para cada tipo de usuario (ocupante de vehículo, motociclista, ciclista o peatón), es decir, una vía puede tener cinco estrellas para el ocupante de un vehículo pero una estrella para un peatón.

- **Plan de Inversión para Vías Más Seguras (PIVMS).** Recomendación de medidas preventivas de ingeniería considerando las

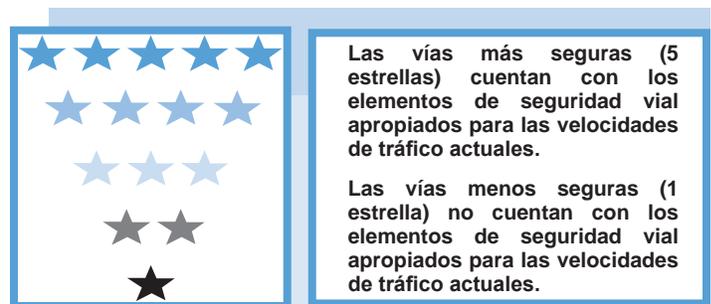


Figura 1

### Sistema de Calificación por Estrellas iRAP

condiciones actuales de la vía y la estimación del número de muertes y lesiones graves (MLGs) que ocurren en las mismas. A su vez, se evalúa el beneficio de implementarlas en función de las MLGs prevenidas, así como los ahorros económicos alcanzados en un periodo estándar de 20 años. Los componentes típicos de un plan de inversión son:

- 1) Medidas de mejoramiento recomendadas. Cada una de las medidas recomendadas, así como su beneficio y costo.

- 2) Mapa de prevención de víctimas. Mapas que ilustran los números de MLGs por kilómetro que podrían prevenirse en los próximos 20 años.

- 3) Ubicaciones de las medidas de mejoramiento. Permite a los analistas identificar exactamente donde se proponen las medidas.

- 4) Resultados sin procesar. Describen las medidas de mejoramiento recomendadas cada 100 metros a lo largo de la red vial para un análisis a detalle.

De manera breve, la “Calificación por Estrellas” ofrece una medición de riesgo en la infraestructura carretera, mientras que los “Planes de Inversión” identifican las medidas a implementar y mejoran dicha calificación bajo una relación beneficio-costos (RBC), alcanzando el mayor número de muertes evitables y lesionados prevenidos al menor costo posible.

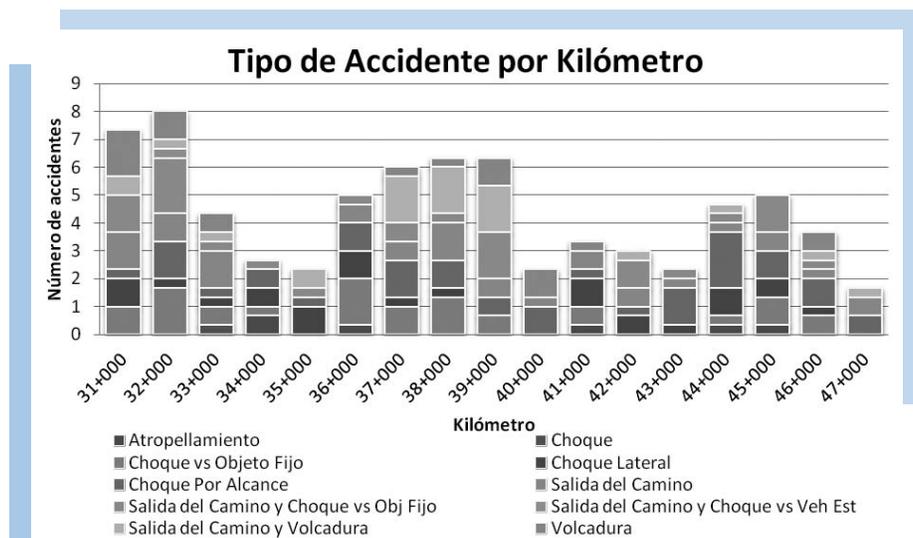
## Análisis de la accidentalidad y de datos operativos

El tramo de estudio aquí considerado fue seleccionado con base a su historial de accidentalidad a través del Sistema para Adquisición y Administración de Datos de Accidentes (SAADA) del Instituto Mexicano del Transporte. De esta manera, se delimitó el estudio a un tramo (dentro de los 10 más peligrosos a nivel nacional) de 17 kilómetros ubicado en la Carretera México – Toluca (MEX-015) en el sentido de circulación de la Ciudad de México hacia Toluca, específicamente a partir del kilómetro 31+000 hasta el kilómetro 48+000. La figura 2 muestra el histograma de accidentes promedio anuales por kilómetro (considerando tres años: 2009, 2010 y 2011) ocurridos en el tramo de estudio, dando un total de 74 accidentes cada año; notando una mayor incidencia en los primeros 3 kilómetros, es decir, del kilómetro 31 al 33, posteriormente del kilómetro 36 al 39 y finalmente del kilómetro 44 al 46, identificándolos como segmentos de mayor siniestralidad.

Conocer el nivel de accidentalidad es fundamental para proponer soluciones

de mejora en cuestiones de ingeniería de seguridad vial. Dicho lo anterior, el 40% de los accidentes son “Salidas del Camino”, mientras que a los “Choques por Alcance” corresponde un 20% del total de accidentes. Siendo la “Salida del Camino” el accidente más frecuente, se observa un mayor porcentaje para aquellos accidentes donde el vehículo únicamente sale de la vía sin impactarse posteriormente (14.8% del total de accidentes). No obstante, el salirse del camino e impactarse contra un objeto fijo también es muy frecuente (14%). Por otro lado, existe una alta presencia de obstáculos fijos cercanos a la vía (árboles, postes de luz, cortes, etc.) que agravan las consecuencias del accidente; cabe destacar que 27 accidentes al año involucran impactos contra objetos fijos. Es de importancia, además, que los automóviles privados representan la mayor participación en los accidentes, alcanzando un total de 70% de todos los vehículos involucrados.

A su vez, los datos operativos de una vía están relacionados directamente con el nivel de seguridad, siendo también de vital importancia para la comprensión de las medidas de mejoramiento las cuales se presentan. A



**Figura 2**  
Accidentalidad por kilómetro según el tipo de accidente

partir de esta información, se conoce el flujo vehicular del tramo de estudio (uno de los más altos a nivel nacional) donde actualmente el límite de velocidad establecido es de 60 km/h del kilómetro 31 al kilómetro 35, mientras que para el tramo restante es de 80 km/h. Cabe destacar que la velocidad operativa media del tramo es de 90 km/h, mientras que el 15% de los usuarios conduce a una velocidad mayor a los 100 km/h.

### Calificación por estrellas

La Figura 3 muestra la calificación por estrellas para los usuarios de vehículos dentro del tramo. En esta figura se aprecia claramente una situación de alto riesgo para este tipo de usuarios, calificándola en su mayoría con dos estrellas. Si bien, los automóviles son los principales usuarios de esta carretera, también se realiza la calificación para motociclistas, ciclistas y peatones, teniendo resultados muy similares; para el caso de usuarios de autos, alrededor del 15% se califica con 3 estrellas, 80% con 2 estrellas y 5% con 1 estrella, mientras que en el caso de motociclistas, ciclistas y peatones, la calificación es, en su mayoría, de 1 estrella.



**Figura 3**  
Calificación por estrellas para usuarios de vehículo

### Plan de Inversión para Vías Más Seguras (PIVMS)

Este plan resalta las medidas de mejoramiento propuestas por iRAP para incrementar el nivel de seguridad de las vías, en otras palabras, para incrementar la calificación por estrellas.

En primer instancia, se cuenta con un plan general de inversión basado en la rentabilidad económica de modo que sea alcanzable por el país en cuestión. Dentro de cada medida se encuentra especificada la longitud total de aplicación o el número de sitios a implementar; la estimación de MLGs salvados al implementar la medida de mejoramiento; los indicadores económicos sobre el beneficio derivado de la reducción de MLGs, así como el costo total estimado. De lo anterior es posible obtener un cociente cuyo objetivo es representar la relación beneficio-costos (RBC) de la implementación del plan de inversión. Es importante hacer mención que los datos recabados para establecer estos indicadores son proporcionados directamente por el país, de manera que para la realización del plan de inversión iRAP México, se utilizaron precios del mercado de la construcción al momento de hacer el estudio, los cuales fueron proporcionados por la misma SCT. Como resultado de este plan, se obtiene una relación beneficio-costos igual a 8.24, lo cual indica que mejorar la seguridad del tramo de estudio es altamente rentable.

### Análisis de las medidas de mejoramiento recomendadas por iRAP

Es posible analizar las medidas propuestas por iRAP en el tramo de estudio, a la luz de una inspección de campo realizada al mismo, así como de su historial de accidentalidad y los datos operativos ya presentados. El primer paso requerido para ello es la homologación del kilometraje, dado que el presentado en los reportes técnicos de iRAP hace referencia al

inicio y fin de la inspección realizada por el vehículo, no así al kilometraje asignado por la SCT; por eso es necesaria una homologación con el fin de localizar correctamente cada medida de mejoramiento y poder relacionarla con el historial de accidentalidad.

Las medidas de mejoramiento recomendadas por el modelo iRAP corresponden a una serie de algoritmos programados en el software

ViDA que requieren de cierto análisis para determinar si son o no congruentes con la realidad de las condiciones de la vía. Tomando en cuenta lo anterior, se identificaron las medidas de mejoramiento propuestas para cada 100 metros, así como su ubicación exacta. La Tabla 1 muestra la función y relevancia de las medidas propuestas por iRAP, así como las observaciones y modificaciones surgidas a partir de este análisis.

**Tabla 1**  
**Análisis de las medidas de mejoramiento iRAP**

Medida de mejoramiento	Función	Observaciones	Modificaciones
<b>Barreras laterales de seguridad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evitar la salida del camino a aquellos vehículos que hayan perdido el control, encauzándolos de nuevo hacia la vía.</li> <li>• Evitar el impacto contra obstáculos peligrosos a los costados de la carretera.</li> <li>• Pueden ser flexibles, semi-rígidas o rígidas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Algunas barreras propuestas ya existen en la actualidad.</li> <li>• En ocasiones, no prevé la reparación o implementación de una nueva barrera para aquellas dañadas.</li> <li>• En ocasiones no puede ser aplicada, debido a la existencia de comercios o entrecruzamientos con vías laterales, sin considerar la adecuación de la infraestructura para el control de accesos (no incluida en el costo).</li> <li>• Excluye algunos puntos donde sí es requerida una barrera lateral.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminación de propuestas de barreras en 6.5 km.</li> <li>• Implementación de 1.7 km de barreras adicionales.</li> <li>• Reducción de 10 millones de pesos en el costo.</li> </ul>
<b>Delineación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Guiar a los usuarios a través de la vía, manteniéndolos dentro de su carril de circulación.</li> <li>• Proveer información sobre las condiciones de la vía.</li> <li>• Pueden ser líneas longitudinales, postes indicadores, señales de advertencia, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se propone una demarcación con bandas alertadoras en los costados de la vía, la cual se acepta dado que las "salidas del camino" son el principal tipo de accidente del tramo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ninguna</li> </ul>
<b>Pavimentación de acotamiento (mayor a 1m)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Destinar un espacio para casos de emergencia que pudiera tener algún usuario de la vía, evitando la obstaculización de la circulación en los carriles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Algunas ocasiones presentan inconsistencia dada la presencia de intersecciones, comercios y/o acotamientos ya existentes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminación de 1.5 km de esta propuesta.</li> <li>• Implementación de 0.5 km de pavimentación de acotamiento adicional.</li> <li>• Relación Beneficio-Costo más baja del PIVMS.</li> </ul>

<p><b>Alumbrado</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Contar con una fuente de luz, elevada y montada normalmente en postes, para iluminar la vía e incrementar la visibilidad del usuario.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Se propone alumbrado donde ya existe.</li> <li>•La visibilidad no representa mayor conflicto en algunas intersecciones dado el equipamiento que presenta la infraestructura (carriles únicos de incorporación, canalización, entre otros).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Eliminación de colocación de alumbrado en 2 sitios.</li> <li>•Relación Beneficio-Costo más alta del PIVMS.</li> </ul>
<p><b>Infraestructura para disminuir la velocidad</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Sugerir u orientar al usuario para que disminuya su velocidad ante algún cambio que se aproxime en la vía.</li> <li>•Pueden ser glorietas, topes, losas elevadas, amortiguadores de velocidad, botones, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•En ocasiones, la infraestructura permite a los usuarios continuar por su carril a la velocidad de proyecto, dado que no es necesaria la reducción de la velocidad.</li> <li>•Se aprecia una congruencia en la reducción de velocidad en zonas altamente comerciales o intersecciones peligrosas.</li> <li>•No toma en cuenta reducciones en la velocidad ante pendientes muy pronunciadas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Eliminación de 0.2 km de reductores de velocidad.</li> <li>•Implementación de 0.1 km de reductores de velocidad adicionales.</li> </ul>
<p><b>Eliminación de peligros</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Disminuir la severidad del accidente de un vehículo que se ha salido de la vía.</li> <li>•Pueden ser árboles, rocas grandes, postes, estructuras muy cercanas a la vía, precipicios y/o cunetas muy profundas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•En caso de ser imposible su eliminación, se deberá proponer otra solución que amortigüe el impacto.</li> <li>•Es recomendable revisar en conjunto con el plan de barreras laterales, ya que puede ser una alternativa ante la imposibilidad de eliminar el peligro.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ninguna.</li> </ul>
<p><b>Cerca para contener peatones</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Restringir el acceso de peatones a la vía principal.</li> <li>•Guiar el camino de peatones de manera formal hacia algún cruce seguro.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Pueden integrarse dentro del plan de barreras laterales, y de esta forma evitar una doble barrera y orientando al peatón a utilizar un cruce (puente) más seguro, además de reducir el costo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Ninguna.</li> </ul>
<p><b>Restringir / combinar los puntos de acceso directo a la vía principal</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Reemplazar varios puntos de acceso a la vía principal a uno solo, controlando los flujos vehiculares y reduciendo puntos de conflicto.</li> <li>•Son vías de acceso que combinan varias entradas a propiedades, cerrando intersecciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En algunos casos es evidente la necesidad de controlar los accesos, dada la actividad altamente comercial de la vía, sin embargo, no se contemplan todos los casos, de manera que deberá someterse a un estudio específico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Ninguna.</li> </ul>

**Tabla 2**  
**PIVMS para el tramo de estudio**

Medida de mejoramiento	Longitud (km) / Sitios	MLGs salvados	Valor Presente total del beneficio de seguridad*	Costo estimado*	Costo por MLG salvado*	RBC del programa
Colocación de barrera de orilla de corona - lado del copiloto	6.9	96.09	107,718,828	15,434,536	160,619	6.98
Colocación de barrera de orilla de corona - lado del conductor	7.7	97.95	109,798,095	16,228,803	165,686	6.77
Bandas de alerta en acotamiento	17.0	74.01	82,962,842	1,301,979	17,592	63.72
Pavimentación de acotamiento del lado del copiloto mayor a 1m	2.1	5.41	6,059,509	2,160,750	399,725	2.80
Alumbrado en la intersección	4	6.20	6,946,037	192,695	31,098	36.05
Infraestructura para disminuir velocidad	0.10	5.77	6,470,128	425,675	73,750	15.20
Eliminación de peligros - lado del copiloto	0.40	1.98	2,224,279	52,920	26,670	42.03
Restringir/combinar los puntos de acceso directo a la vía principal	0.40	0.65	732,105	199,618	305,647	3.67
<b>TOTAL</b>		<b>288.06</b>	<b>322,911,822</b>	<b>35,996,975</b>	<b>124,961</b>	<b>8.97</b>

Finalmente, una vez analizadas cada una de las medidas de mejoramiento recomendadas por el modelo iRAP, se estableció un nuevo PIVMS (Tabla 2), observando una inversión inicial de 35 millones de pesos, previniendo cerca de 300 MLGs en 20 años. Cabe destacar que la concentración de medidas de mejoramiento se da notoriamente en los tres segmentos de mayor siniestralidad previamente identificados. Por último, cabe destacar que las variaciones entre el PIVMS original y el modificado reducen significativamente el costo total y aumenta la RBC a 8.97.

### Conclusiones y recomendaciones

El modelo iRAP proporciona un indicador sobre la condición actual de las vías en materia de seguridad vial. Para el caso de iRAP México, se detectó que alrededor del 54% de las vías inspeccionadas (45,000 km) dentro de la Red Federal de Carreteras, tienen un nivel de seguridad de 1 o 2 estrellas. Es urgente mejorar estas vías. El estándar mínimo establecido a nivel internacional es de 3 estrellas.

El PIVMS generado por iRAP puede mejorarse a través de inspecciones visuales y la

consideración de los datos de accidentalidad y de operación específicos, particularmente en relación con los segmentos de mayor siniestralidad. Aún más, la realización de las obras de mejoramiento definitivamente requiere del análisis de nivel proyecto que permita generar el proyecto ejecutivo requerido, especialmente para las mejoras de mayor envergadura.

Los accidentes de tránsito en la actualidad son uno de los principales problemas de salud pública en todo el mundo y ante esta problemática, la ingeniería debe contribuir a la generación de acciones con el único objetivo de aumentar la protección a los usuarios mejorando la infraestructura. Básicamente, el riesgo de perder la vida o resultar gravemente herido como consecuencia de un accidente vial puede minimizarse al:

- Separar físicamente a los usuarios más vulnerables (peatones, ciclistas y motociclistas) de los automóviles y vehículos de carga.

- Separar el tránsito en dirección contraria.
- Gestionar adecuadamente los peligros en los costados de las carreteras.

## Referencias bibliográficas

CUEVAS COLUNGA, A. CECILIA; MAYORAL GRAJEDA, EMILIO F; MENDOZA DÍAZ, ALBERTO; Definición de Indicadores de Seguridad Vial en la Red Carretera Federal; Publicación Técnica No. 345, Instituto Mexicano del Transporte, San Fandila, Querétaro, México (2011).

INTERNATIONAL ROAD ASSESSMENT PROGRAMME. Calificación por Estrellas para vías más seguras y Planes de Inversión para vías más seguras; Hampshire, R.U. (2012).

PÉREZ Guillermo  
jperez@imt.mx  
MENDOZA Alberto  
mendoza@imt.mx  
ABARCA Emilio  
eabarca@imt.mx

## GLOSARIO

### Artículo 1:

**Viaje por motivo de trabajo:** esta clasificación corresponde al tipo de viaje que realizan los usuarios de la red carretera nacional para asistir a reuniones de trabajo, relacionadas con su actividad profesional, tales como: cerrar una operación de venta, establecer contacto con algún cliente para proporcionar un producto o servicio, realizar trámites administrativos, es decir, la inversión de tiempo en el desplazamiento de las personas incide desfavorablemente en su productividad laboral.

**Viaje por motivo de placer:** este tipo de viaje se realiza normalmente en los días de asueto, (fines de semana, días festivos y periodos vacacionales, entre otros) los pasajeros que se desplazan hacia los centros turísticos o bien cuando se visita a familiares y amigos en los que el tiempo de recorrido no afecta la productividad laboral de los individuos, para ellos el tiempo tiene un valor marginal, ya que podrían disponer de menor tiempo para visitar a la familia o recorrer algunos sitios turísticos.

**Factor de ajuste del ingreso promedio de la población (FIP):** este factor representa el

valor promedio del ingreso de la población ocupada en las distintas ramas de la actividad económica del país, expresado en número de salarios mínimos diarios que representan dicho ingreso.

**Salario Mínimo General Promedio nacional diario (SMGP):** es el valor promedio nacional de la cantidad menor que debe recibir un trabajador por los servicios prestados en una jornada de trabajo, la cual es actualizada al menos una vez por año por la Comisión Nacional de los Salarios Mínimos y Publicada en el Diario Oficial de la Federación.

Es necesario calcular un promedio nacional de los valores regionales de las diferentes zonas de México.

#### Artículo 2:

**Corrosión:** Es la degradación física y química de los metales y no metales, por acción química o electroquímica en un medio ambiente dado

**Concreto:** Es un material frecuentemente utilizado en la construcción ya que tiene la capacidad de resistir grandes esfuerzos de compresión, esta conformado de arena, grava, cemento y agua y en ocasiones aditivos.

**Atmósfera:** Capa gaseosa que envuelve un astro; especialmente, la que rodea la Tierra.

**Dióxido de carbono:** El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es un gas incoloro, denso y poco reactivo. Forma parte de la composición de la tropósfera (capa de la atmósfera más próxima a la Tierra) actualmente en una proporción de 350 ppm (Partes por millón). Su ciclo en la naturaleza está vinculado al del oxígeno.

#### Artículo 3:

**Accidente:** Percance vial que se presenta súbita e inesperadamente, determinado por condiciones y actos irresponsables potencialmente previsibles (factores humanos, vehículos, condiciones climatológicas e infraestructura vial) los cuales ocasionan pérdidas prematuras de vidas humanas, lesiones y pérdidas materiales.

**Medida de mejoramiento:** Solución diseñada para la prevención de algún evento negativo como consecuencia de alguna acción, es decir, son soluciones diseñadas para prevenir la ocurrencia de un accidente vial o contrarrestar los efectos negativos derivados del mismo.

**MLGs:** Muertos y lesionados graves como consecuencia de un accidente vial.

**PIVMS:** Plan de Inversión para Vías Más Seguras.

## PROYECTO EN MARCHA

### Proyectos de normalización para la infraestructura del transporte

En 2013 la Coordinación de la Normativa para la Infraestructura del Transporte (CNIT) del IMT trabajó en 6 proyectos de normalización de la Normativa SCT sobre temas relacionados con la infraestructura carretera, con un total de 70

productos terminados, de los que 21 no estaban considerados originalmente en el programa de trabajo, pero fueron necesarios para atender requerimientos urgentes de la SCT. De los productos terminados 24 fueron anteproyectos

preliminares, 21 anteproyectos finales, 13 proyectos preliminares y 12 proyectos finales. En junio de ese año la Comisión de Normas, Especificaciones y Precios Unitarios (CNEPU) de la SCT aprobó 34 normas (N), de las que 15 fueron de nueva creación, así como las actualizaciones de 2 manuales (M):

<b>N•INT•2/13</b>	Índice General (*)
<b>N•PRY•CAR•10•01•001/13</b>	Ejecución de Proyectos de Señalamiento (*)
<b>N•PRY•CAR•10•01•002/13</b>	Diseño de Señalamiento Horizontal (*)
<b>N•PRY•CAR•10•01•003/13</b>	Diseño de Señales Preventivas (*)
<b>N•PRY•CAR•10•01•004/13</b>	Diseño de Señales Restrictivas (*)
<b>N•PRY•CAR•10•01•005/13</b>	Diseño de Señales Informativas (*)
<b>N•PRY•CAR•10•01•006/13</b>	Diseño de Señales Turísticas y de Servicios (*)
<b>N•PRY•CAR•10•01•007/13</b>	Diseño de Señales Diversas (*)
<b>N•PRY•CAR•10•01•008/13</b>	Diseño de Estructuras de Soporte para Señales Verticales (*)
<b>N•PRY•CAR•10•01•009/13</b>	Presentación del Proyecto de Señalamiento (*)
<b>N•PRY•CAR•10•04•007/13</b>	Rampas para Frenado de Emergencia (*)
<b>N•CTR•CAR•1•04•008/13</b>	Capas de Rodadura con Mezcla Asfáltica en Frío (*)
<b>N•CTR•CAR•1•08•007/13</b>	Tritubos para Fibra Óptica en el Acotamiento de Carreteras Nuevas con pavimento asfáltico (*)
<b>N•CTR•CAR•1•11•001/13</b>	Señales Verticales Elevadas de Mensaje Cambiable
<b>N•CSV•CAR•3•02•002/13</b>	Capas de Rodadura de un Riego (*)
<b>N•CSV•CAR•3•02•004/13</b>	Capas de Rodadura de Mortero Asfáltico (*)
<b>N•CSV•CAR•6•01•007/13</b>	Tritubos para Fibra Óptica en el Acotamiento de Carreteras en Operación con pavimento asfáltico (*)
<b>N•CMT•5•01•001/13</b>	Pinturas para Señalamiento Horizontal (*)
<b>N•CMT•5•03•001/13</b>	Calidad de Películas Reflejantes (*)

<b>N•CMT•5•04/13</b>	Botones y Botones Reflejantes (*)
<b>N•CMT•6•01•001/13</b>	Geotextiles para Terracerías
<b>N•CMT•6•01•002/13</b>	Geotextiles para Obras de Subdrenaje
<b>N•CMT•6•01•003/13</b>	Geotextiles para Subbases y Bases
<b>N•CMT•6•01•004/13</b>	Geotextiles para Mezclas Asfálticas en Caliente
<b>N•EIP•1•01•007/13</b>	Antenas de Telepeaje
<b>N•EIP•1•01•008/13</b>	Transpondedores de Telepeaje
<b>N•EIP•2•01•001/13</b>	Protocolos de Comunicación para Tableros de Señalamiento Variable con LED's
<b>N•EIP•2•01•002/13</b>	Protocolos de Comunicación para Tableros de Señalamiento Cambiable con LED's
<b>N•EIP•2•01•003/13</b>	Protocolos de Comunicación para Tableros de Señalamiento de Encendido-Apagado con LED's
<b>N•EIP•2•01•004/13</b>	Protocolos de Comunicación para Tableros de Señalamiento de Velocidad Variable con LED's
<b>N•EIP•2•01•005/13</b>	Protocolos de Comunicación para Tableros de Señalamiento de Velocidad Real con LED's
<b>N•EIP•2•01•006/13</b>	Protocolos de Comunicación para Tableros de Señalamiento de Tiempo Estimado de Viaje con LED's
<b>N•EIP•2•01•007/13</b>	Protocolos de Comunicación para Antenas de Telepeaje
<b>N•EIP•2•01•008/13</b>	Protocolos de Comunicación para Transpondedores de Telepeaje
<b>M•MMP•1•11/13</b>	Valor Soporte de California (CBR) y Expansión (Exp) en Laboratorio
<b>M•MMP•1•12/13</b>	Valor Soporte de California (CBR) en el Lugar
<b>N•CMT•5•01•001/13</b>	Pinturas para Señalamiento Horizontal (*)

### (\*) Actualización

Las normas relacionadas con la señalización de las carreteras, tanto del Libro PRY

Proyecto como del Libro CMT Características de los materiales, fueron actualizadas en concordancia con la norma oficial mexicana NOM-034-SCT2/2011, Señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas, que es de aplicación obligatoria en todo el territorio nacional.

Por su parte, las normas sobre equipos de sistemas inteligentes de transporte contribuirán a mejorar la selección, instalación y operación de señales verticales elevadas de mensaje cambiante, así como de las antenas y

transpondedores para el telepeaje. Así mismo, las normas sobre geotextiles contribuirán a la correcta selección de esos materiales según su utilización y a la verificación de su calidad. Cabe recordar que todas las normas y manuales que han sido aprobados por la CNEPU y que integran la Normativa SCT, están disponibles en la página web <http://normas.imt.mx>, para su consulta, impresión o grabado en archivos PDF, de manera gratuita.

ELIZONDO Mauricio  
elizondo@imt.mx

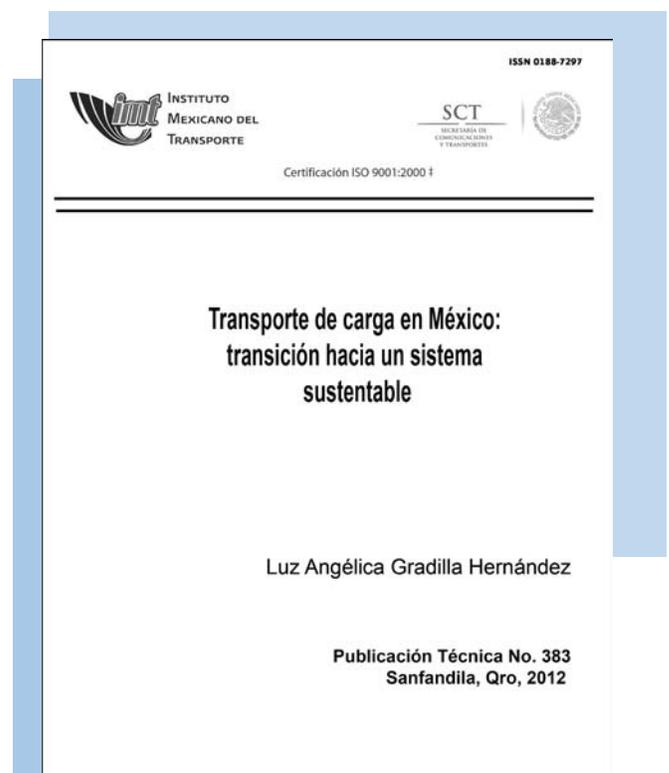
## PUBLICACIÓN

### Transporte de carga en México: transición hacia un sistema sustentable

En la **publicación técnica 383**, se describen algunos de los mecanismos y políticas públicas que podrían alimentar el proceso de transición hacia un transporte sustentable de carga en México, para el ámbito interurbano; además del enfoque necesario para administrar dicho proceso de transición.

A lo largo de la descripción, se indican cuáles de los mecanismos y políticas podrían complementar los esfuerzos que ya se están realizando en el sector transporte; en el marco de la meta indicativa de México, ante la mitigación del cambio climático, de reducir -para el año 2050- el 50% de las emisiones de gases de efecto invernadero con respecto a los niveles que tenía en el año 2000.

Finalmente, se hace hincapié en los retos que continuarán suscitándose para moldear políticas públicas con visión a largo plazo; tanto para la mitigación como para la adaptación al cambio climático.



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

<http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt383.pdf>

## EVENTOS ACADÉMICOS Y CONGRESOS

### Evaluación económica y social de proyectos de infraestructura del transporte

Por considerar que la realización de proyectos de inversión de carácter público, sobre todo en lo que a proyectos de infraestructura para el transporte se refiere, requiere del empleo de técnicas cualitativas y cuantitativas que fundamenten la justificación económica de los mismos, así como la determinación de su impacto en la sociedad mexicana, el Instituto Mexicano del Transporte organizó este curso, el cual se llevó a cabo del 19 al 23 de agosto de 2013 en sus instalaciones, con una duración de 36 hrs.

Su objetivo fue proporcionar las herramientas de análisis que son empleadas en la identificación de las variables que intervienen en la evaluación económica de proyectos de infraestructura de transporte, e introducir a los participantes en el manejo de metodologías para la evaluación económica de proyectos de infraestructura para el transporte, así como para la programación de inversiones en el corto, mediano, y largo plazos.

Estuvo dirigido a los servidores públicos que se encargan de la planeación de la infraestructura a nivel nacional, regional y estatal, así como de aquellos que se responsabilizan de la elaboración de los programas de inversión de las obras; asimismo, para los profesionales y consultores privados que realizan estudios de factibilidad para dependencias del Sector y para académicos que imparten las materias de planeación y de evaluación de proyectos.

Tuvo una asistencia de 39 participantes los cuales provinieron de la Dirección General de Servicios Técnicos-SCT, Dirección General de Conservación de Carreteras-SCT, Subsecretaría de Infraestructura-SCT,

Secretaría de Infraestructura y Desarrollo Urbano del Gobierno del Estado de Sonora, de los Centros SCT de Aguascalientes, San Luis Potosí, Guanajuato, Tamaulipas, Chiapas, Quintana Roo y Coahuila. De la Universidad Nacional Autónoma de México y Universidad Autónoma de Querétaro; de las empresas Infraestructura y Proyectos de México S.A. De C.V., Corporativo en Ingeniería y Diseño y Construcción de Calidad S.A. de C.V., LESPI Proyectos e Ingeniería S.A. de C.V., SCALA, Superv. Consul. Asesoría y Laboratorios S.A. de C.V., Servicios Profesionales de Ingeniería y Obra Civil S.C., Trendo Consultores S.C., ERGON Consultores, Grupo Constructor Premurhe S.A. de C.V.; y Estudios y Proyecto Vía Trans S.A. de C.V.

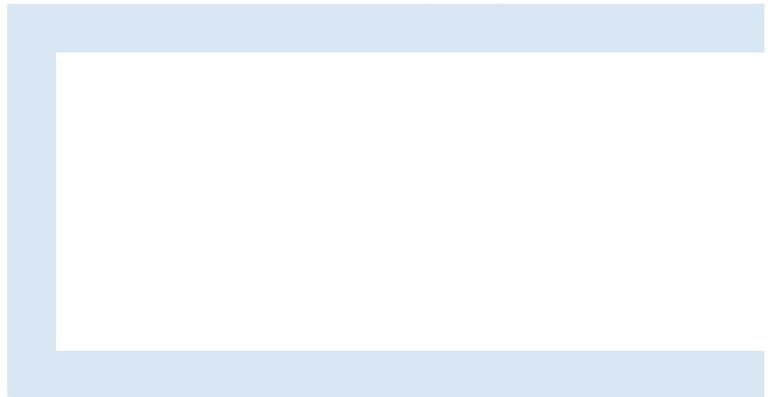
Alguna de la temática impartida fue:

- Fundamentos de la evaluación de proyectos
- Variables que intervienen en la determinación de los costos de operación vehicular.
- Estimación del valor del tiempo de los usuarios de la red carretera nacional.
- Estimación del nivel de servicio y velocidades de operación de la infraestructura carretera.
- Metodología de evaluación económica de rehabilitación de caminos rurales.
- Elementos e insumos para la preparación de análisis costo beneficio.



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

Registro Postal  
Cartas  
CA22-0070  
Autorizado por Sepomex



POR AVIÓN  
AIR MAIL