

Apertura transfronteriza del autotransporte de carga: un análisis exploratorio de posibles escenarios

Introducción

Durante las negociaciones del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) en 1992, se reconoció la necesidad de homogeneizar el sector del autotransporte, debido a dos circunstancias específicas; 1) se observó que el 70% del valor de los productos se movía por este modo de transporte; 2) el cruce fronterizo entre Estados Unidos y México es altamente complejo, y afecta la competitividad empresarial, debido a que el transporte carretero incurre en altos costos por los excesivos tiempos de cruce en la frontera que ocasionan demoras en la entrega de las mercancías. Para ello, se estableció el Subcomité de Normas de Transporte Terrestre, el cual regularía los camiones de carga, conductores, operaciones, infraestructura y seguridad, con la finalidad de permitir el libre tránsito de camiones entre ambos países. El acuerdo estableció que en diciembre de 1995 y en enero del 2000, entraría en vigor la prestación de servicios transfronterizos de carga, en los estados fronterizos y al interior de ambos países, respectivamente. Sin embargo, a la fecha han ocurrido una serie de eventos que han venido demorando y condicionando la puesta en marcha de los acuerdos firmados en esta materia.

Recientemente, con objeto de darle cauce a los acuerdos comerciales del TLCAN en esta materia, en 2007 los gobiernos de México y Estados Unidos pusieron en marcha el "Programa Demostrativo de Apertura del Transporte Transfronterizo entre México y Estados Unidos", el cual consistió en permitir el acceso paulatino de empresas mexicanas a territorio estadounidense y viceversa (DOF, 30 de agosto, 2007).

Específicamente, la apertura transfronteriza ha sido cuestionada por transportistas estadounidenses y mexicanos, pero apoyada por los sectores industriales y gubernamentales. Para el caso estadounidense, el sindicato de transportistas de los teamsters, ha presentado fuerte reticencia para impedir que los camiones mexicanos ingresen a Estados Unidos; sus argumentos principales refieren que son inseguros, viejos y contaminantes, que no cumplen las normas estadounidenses; que los operadores no saben hablar inglés, y que no podrán comunicarse. La posición que guardan los transportistas mexicanos, en su caso, a través de la Cámara Nacional del Autotransporte de Carga (CANACAR), es la de aplazar la apertura comercial hasta que existan condiciones de equidad y trato no discriminatorio. Cabe señalar que en esta discusión han intervenido de manera activa actores políticos, en lo individual y en lo colectivo (el Senado y partidos políticos

CONTENIDO

APERTURA TRANSFRONTERIZA DEL AUTOTRANSPORTE DE CARGA: UN ANÁLISIS EXPLORATORIO DE POSIBLES ESCENARIOS	1
EFEECTO DEL TAMAÑO EN LA TENACIDAD A LA FRACTURA PARA UN ACERO COLADO	9
GLOSARIO	16
PROYECTOS EN MARCHA	17
PUBLICACIÓN	18
EVENTOS ACADÉMICOS	18

estadounidenses), que han llevado el problema económico a un contexto político y social.

Con la puesta en marcha del Programa Demostrativo la CANACAR estima que la apertura de la frontera incrementará los precios de los fletes en México, y que por sí misma no agilizará el cruce fronterizo. Dicha Cámara afirma que la apertura de la frontera generará fuertes presiones sobre los precios de los salarios de los operadores en México, lo que encarecerá los precios de los fletes domésticos. Agregan que el gobierno mexicano carece de la capacidad e infraestructura para vigilar y supervisar a las empresas estadounidenses que entren al territorio y evitar que empresas extranjeras realicen cabotaje. Por todo lo anterior, la CANACAR solicitó formalmente la no apertura de la frontera en servicios transfronterizos y se suspenda el Programa Demostrativo hasta que existan las condiciones para una competencia justa y el autotransporte nacional tenga las garantías de no ser objeto de tratos desiguales, inequitativos o discrecionales por parte de las autoridades de Estados Unidos,

En contraparte, organizaciones y cámaras industriales mexicanas y estadounidenses han expresado su apoyo a la apertura transfronteriza con la expectativa de obtener mejores servicios de transporte para favorecer sus prácticas logísticas que les permita mayor integración con su contraparte comercial y el desarrollo de estrategias de comercialización con la finalidad de ampliar su mercado, y reducir sus costos logísticos. Las autoridades de ambas naciones buscan incrementar la competitividad del aparato productivo nacional y disminuir los costos logísticos totales.

Por lo anterior, se llevó a cabo un trabajo de investigación en el que se planteó como objetivo principal realizar un análisis exploratorio de posibles escenarios para identificar y ponderar la probabilidad de ocurrencia del más probable y determinar los escenarios alternos en torno a la apertura transfronteriza, al término del Programa Demostrativo.

A manera de resumen, la investigación incluye una descripción de la problemática de la apertura transfronteriza entre México y Estados Unidos; se aborda el tema del transporte transfronterizo como factor crítico de integración empresarial; se lleva a cabo un recuento de los eventos más relevantes hasta el momento en torno a la apertura. Los eventos son clasificados por períodos de tiempo (80's, 90's, 2000-2005, 2006-2007 y 2008), y dan lugar a la identificación de los parámetros descriptores y las variantes que definen los escenarios explorados. Presenta también los fundamentos teóricos de la prospectiva y se describe el proceso de uso de las herramientas de prospectiva empleadas.

Para realizar la evaluación, se utilizaron dos técnicas de prospectiva: el modelo bayesiano y la técnica del Análisis Morfológico. En esta nota, solamente se describen los resultados que arrojó la primera de estas técnicas.

Específicamente, con el modelo bayesiano (ONUDI, 2000), se evaluaron cuatro escenarios potenciales que pudieran presentarse en torno a la Apertura al Autotransporte Transfronterizo de Carga en el marco del TLCAN, después de que concluyera el Programa Demostrativo (agosto de 2010). Con dicho modelo se determinaron las probabilidades de ocurrencia de los escenarios estudiados.

Para la aplicación de dicho modelo se organizaron tres reuniones del tipo "Focus Group" en 2008 con expertos involucrados en el tema: uno para investigadores y dos para transportistas (uno con intereses en participar en el Programa Demostrativo y otro, ajeno a ese interés), revelándose la perspectiva de cada uno de ellos sobre este importante tema.

Con base en la formulación del problema, criterios de dominio y los supuestos considerados, se definieron los siguientes cuatro escenarios posibles (escenarios hipotéticos).

Hipótesis 1 (H_1). Se CANCELAN LOS ACUERDOS. Esto quiere decir que producto de las presiones de la oposición a la apertura transfronteriza por parte del gremio transportista con el apoyo de partidos políticos estadounidenses, se acuerda mantener cerrada la frontera al libre tránsito de camiones de carga y se CANCELAN los acuerdos sobre comercio de servicio del transporte terrestre (autotransporte) del TLCAN, manteniéndose el servicio de *transfers*.

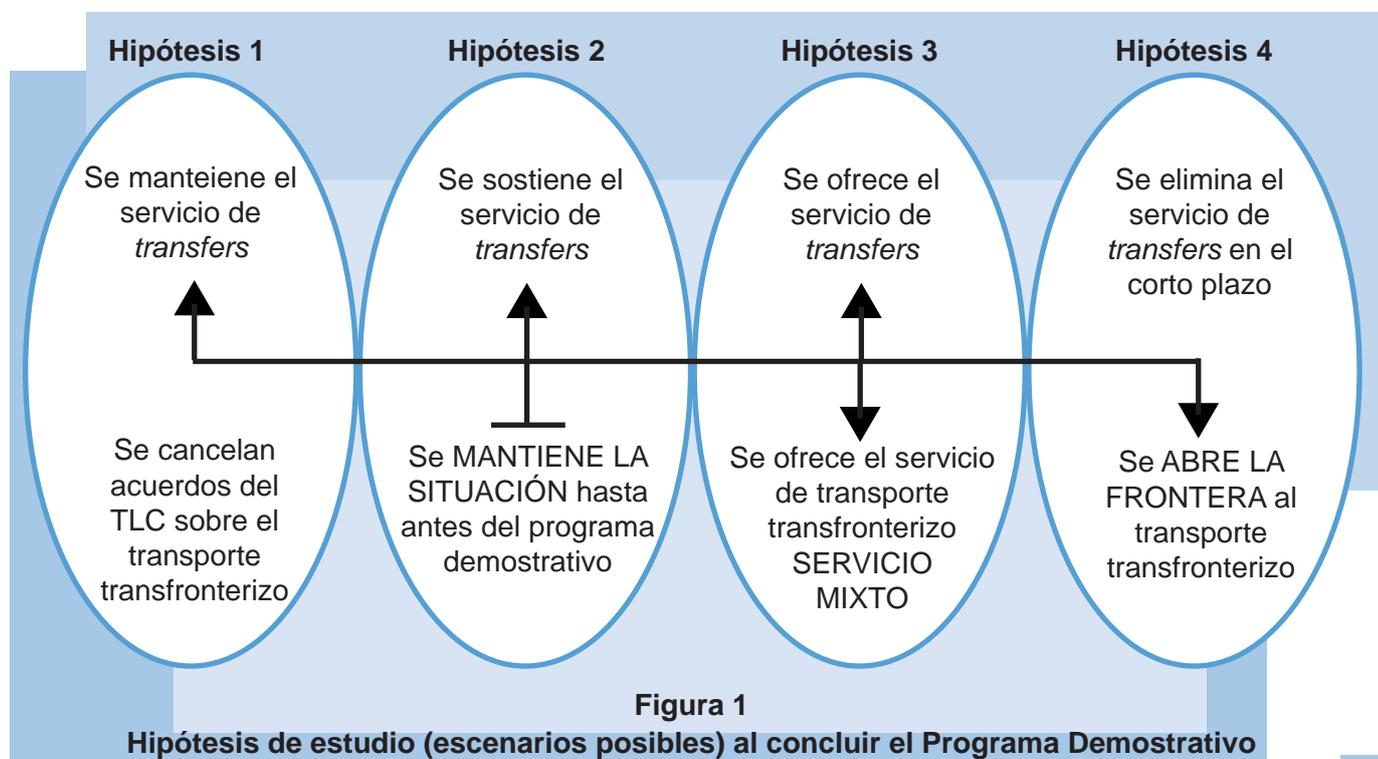
Hipótesis 2 (H_2). Se mantiene en suspenso la apertura. Debido a que grupos del transporte conservan fuerte oposición; la apertura transfronteriza se mantiene en suspenso. Se pospone la aplicación del TLCAN al término del Programa Demostrativo: SE MANTIENE LA MORATORIA.

Hipótesis 3 (H_3). Apertura parcial y libre competencia. Para dar cumplimiento a los acuerdos comerciales entre México y Estados Unidos, se llevan a cabo negociaciones con transportistas e instalan un SISTEMA MIXTO de servicio con *transfers* y apertura parcial de libre tránsito para los camiones

de carga, después de concluido el Programa Demostrativo. Ambas modalidades de transporte se dejan a la libre competencia, a partir de la cual se llega a un equilibrio; sin embargo, la apertura opera para un número limitado de transportistas para transitar sólo en algunos estados de la Unión Americana y de México. Se propone una apertura escalable.

Hipótesis 4 (H_4). Liberación total. Se da CUMPLIMIENTO A LOS ACUERDOS COMERCIALES; México y Estados Unidos abren la frontera al libre tránsito a todos los camiones de carga que cumplan los requisitos, y debido a un crecimiento constante de servicios transfronterizos generados en el corto plazo se elimina el servicio de *transfers*; los camiones mexicanos y estadounidenses pueden circular por todas las carreteras de ambos países.

El método busca determinar las probabilidades de ocurrencia que percibe cada uno de los entrevistados sin tener información alguna (probabilidades iniciales - $\Delta T1$); después, se le suministra información (evidencias) clasificada por período y se le pide nuevamente su



opinión sobre las hipótesis (probabilidades revisadas - $\Delta T2, \Delta T3...$). De esta manera, las probabilidades iniciales van cambiando bajo la

premisa de ocurrencia de las evidencias, tal y como puede observarse los siguientes figuras de resultados:

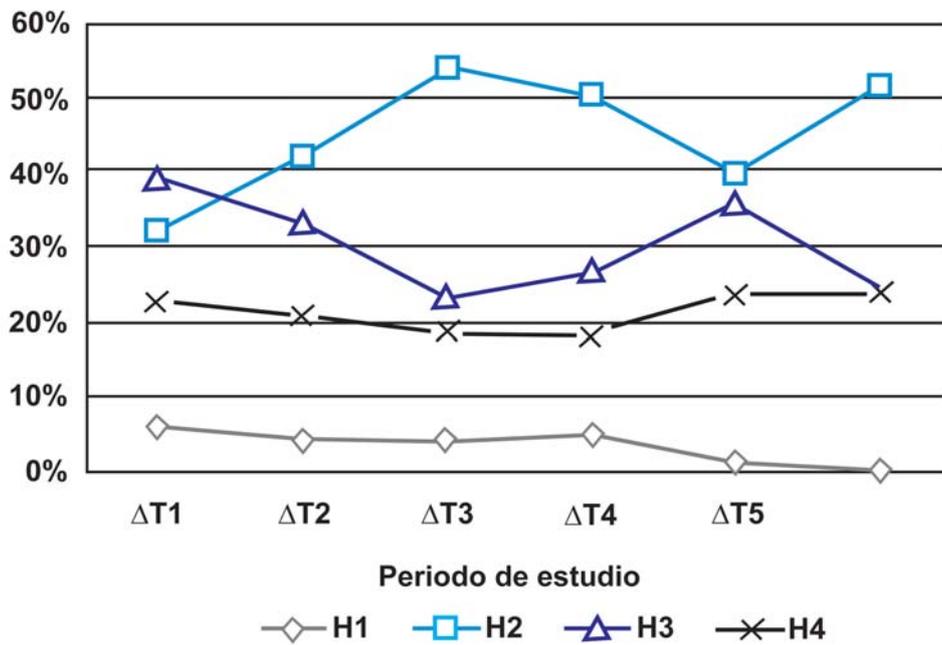


Figura 2

Tendencia de las hipótesis estudiadas (Punto de vista de los investigadores)

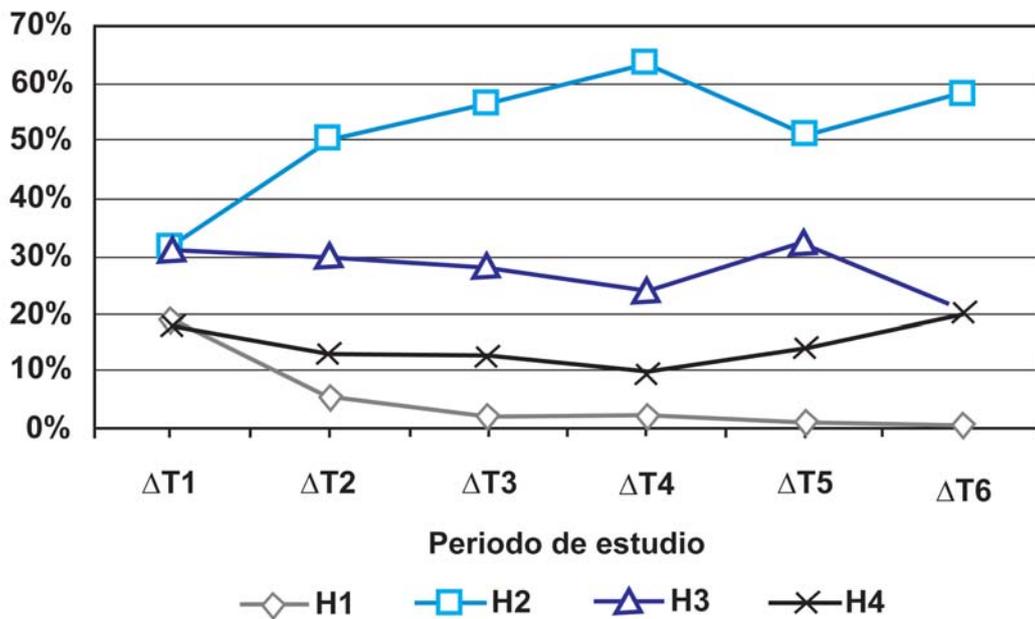


Figura 3

Tendencias de las hipótesis estudiadas (Punto de vista de los transportistas)

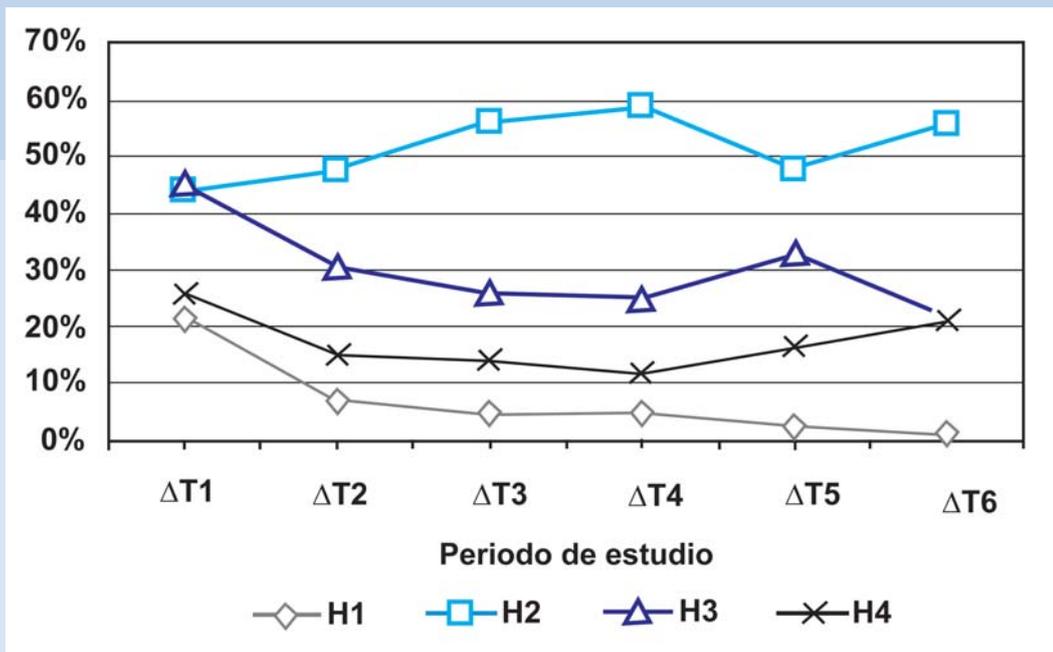


Figura 4
Tendencia de las hipótesis estudiadas
(Punto de vista conjunto investigadores + transportistas)

Con base en los resultados observados, pudieron establecerse las siguientes conclusiones:

a. Para el caso de la hipótesis H_1 (CANCELACIÓN DE ACUERDOS), las probabilidades revisadas muestran valores muy bajos en todas las fases del análisis (véase figuras 2, 3, y 4); lo que significa que los entrevistados consideran que existen remotas posibilidades de que este escenario se presente. De hecho, los investigadores desde un principio asignaron la más baja probabilidad de ocurrencia (6%), mientras que los transportistas estipularon el 19%, cifra que aún así puede considerarse poco relevante. Por lo anterior, la cancelación de los acuerdos en materia de transporte en el TLCAN puede considerarse fuertemente improbable. Sólo una acción drástica o replanteamiento en el cambio de la política sobre los acuerdos comerciales en materia de servicios internacionales del TLCAN podría hacer factible este escenario, siempre y cuando Canadá también esté de acuerdo en su modificación/cancelación.

b. Por el contrario, de las figuras anteriores puede observarse que el escenario H_2 , que mantiene cerrada la frontera por la MORATORIA, se prevé como el escenario más probable de ocurrencia; de acuerdo con los entrevistados, existe poco más de 52% de probabilidades de que una vez que concluya el Programa Demostrativo, Estados Unidos mantendrá cerrada la frontera. Cabe mencionar que al inicio del ejercicio se observó cierto optimismo por parte de los participantes, pues señalaron que el escenario H_3 , que trata de la apertura transfronteriza en un contexto mixto, se le habían asignado más probabilidades de ocurrencia que al escenario H_2 ; lo que demuestra que los juicios de valor de los participantes fueron cambiando en la medida que se fueron conociendo las evidencias.

c. Por lo anterior, la posibilidad de llevar a cabo la apertura transfronteriza (hipótesis 3 (H_3) y 4 (H_4)), se perfila extremadamente remota de que pueda ocurrir por lo menos en los próximos dos años (o después del Programa Demostrativo), y por lo observado en

la dinámica de los acontecimientos suscitados. Cabe señalar, que dicha conjetura se reafirma fehacientemente dada la suspensión unilateral del Programa Demostrativo que llevó a cabo el Senado de Estados Unidos en marzo de 2009 con la cancelación de los fondos para dicho Programa, confirmando con ello las tendencias observadas.

d. Dicho lo anterior, es importante reconocer que los resultados obtenidos de ninguna manera garantizan que la apertura transfronteriza no se pueda dar. Dado que acciones de negociación para un nuevo Programa fueron iniciadas entre las autoridades mexicanas y estadounidenses por instrucciones del Presidente Barack Obama de Estados Unidos, después de que México impuso aranceles a 90 productos estadounidenses de importación como medida de represalia, avalado por los acuerdos especificados en el TLCAN.

e. Un hecho que se observa en las figuras anteriores, manifiesta claramente que un escenario de apertura transfronteriza con servicio mixto donde coexista el transporte internacional de carga y los *transfers* (hipótesis 3), es más probable que uno donde desaparecen los segundos (hipótesis 4). Puede haber muchas variantes del porqué de estos resultados; lo primero que puede pasar es que muchas empresas que ofrecen servicio de *transfers* se incorporen al servicio internacional y mantengan ese servicio, en tanto no exista la suficiente capacidad de transporte internacional directo, y en su caso, no se tenga la plena seguridad de la rentabilidad del mismo.

f. Con la valoración de las tendencias de las hipótesis estudiadas, se tiene un indicio del escenario más probable según las evidencias colectadas; en este contexto tan complejo, las calificaciones altamente otorgadas a las evidencias indican que es muy susceptible de que se repitan en el horizonte de tiempo considerado; en tal virtud, todo ello parece denunciar que después del Programa Demostrativo, el escenario más probable es

que continuará la MORATORIA, al menos que se lleve a cabo una adecuada negociación entre las partes (autoridades, transportistas y políticos involucrados), de tal forma que cambien de manera drástica las tendencias actuales.

Por otro lado, después de un análisis de los acontecimientos y declaraciones efectuadas por los actores involucrados en el problema de la apertura transfronteriza, se concluye que existe una fuerte politización de un asunto completamente técnico-logístico, que tiene su origen en el ámbito económico-comercial. En términos generales, puede decirse que los argumentos planteados por los actores involucrados reflejan claramente la posición que guardan respecto al tema de la apertura transfronteriza; no obstante, sin pretender ser categóricos se apreció que algunos argumentos no son lo suficientemente convincentes debido a la inadecuada forma en que interrelacionan sus variables de análisis, además de que la gran mayoría de ellos no revelan cifras de los supuestos efectos negativos o positivos. Entre todos los argumentos, se destaca que los estadounidenses, y en particular los miembros del sindicato de los *Teamsters*, realmente no ven a los operadores mexicanos sólo como un problema para la seguridad y el medio ambiente en sus carreteras, sino también los perciben como una amenaza a sus condiciones laborales debido a las nuevas formas de organización logística, y por la competitividad que presentan en términos de los sueldos que devengan. Una conclusión relevante que puede citarse a partir de la negativa de Estados Unidos para cumplir con los acuerdos de la apertura transfronteriza, parece indicar que durante las negociaciones del TLCAN los estadounidenses subestimaron la fortaleza de los empresarios mexicanos y las ventajas comparativas de México. Está claro que las acciones emprendidas por Estados Unidos, y en particular por los transportistas y sindicatos estadounidenses, parecen estar más orientadas a impedir la competencia internacional.

Finalmente, derivado de los resultados obtenidos en el presente estudio, es de interés particular saber qué se puede hacer a partir del contexto formulado. Por este motivo, a continuación se listan una serie de recomendaciones posibles para tomarse en cuenta durante el proceso de negociación de un nuevo convenio o Programa Demostrativo sobre la apertura transfronteriza. Las recomendaciones planteadas son dirigidas tanto para las autoridades mexicanas involucradas en las negociaciones como para las empresas de transporte con deseos de participar en el transporte internacional de carga entre México y Estados Unidos. Dichas recomendaciones son complementarias a las disposiciones que operaban el Programa Demostrativo de 2007.

Recomendaciones

Para las empresas de autotransporte

Es recomendable certificar a la empresa y a los operadores en el proceso de seguridad Customs-Trade Partnership Against Terrorism (C-TPAT), Free and Secure Trade (FAST) y Business Alliance for Secure Commerce (BASC); complementando la certificación de los operadores con mecanismos como R-control (Operadores certificados como "Recurso Confiable").

Capacitar constantemente a los operadores sobre las normas estadounidenses y el idioma inglés.

En cuanto a inversiones, es importante negociar la obtención de una concesión para la prestación del servicio internacional de carga que garantice el tiempo suficiente para amortiguar la inversión de equipo nuevo.

Mantener vigente el seguro de las unidades de transporte y procurar que la carga esté asegurada también.

Llevar a cabo el registro de costos y operación logística de todas sus operaciones internacionales.

Evaluar el desempeño del servicio de transporte antes y después de la apertura transfronteriza.

Registrar las unidades motrices y de arrastre de modelo reciente para el servicio internacional de carga, cuyo historial mecánico tenga los registros de que ha recibido el servicio más adecuado.

Procurar negocios de transporte con viaje redondo.

Mantener una estrecha comunicación con la SCT.

Para las autoridades

Es recomendable llevar a cabo las negociaciones de un nuevo Programa Demostrativo o de una Apertura Transfronteriza Parcial en términos de lograr una expansión planificada en el tiempo, con la finalidad de ajustar y controlar los posibles efectos negativos que puedan presentarse.

Establecer un sistema de monitoreo y recopilación de información relacionada con aspectos de seguridad y operación logística de las empresas de transporte que participen en el Programa Demostrativo o en la Apertura Transfronteriza Parcial que se negocie.

Establecer una metodología de evaluación del Programa Demostrativo o de la Apertura Transfronteriza Parcial que se negocie, con el fin de apoyar la toma de decisiones. Para ello, la metodología debe contemplar el tipo de información que los transportistas deben entregar de manera puntual sobre los viajes que realicen.

Establecer un riguroso programa de certificación de empresas y operadores (conductores) con el objeto de responder a los parámetros de seguridad de que se disponga. Dicha certificación podría ser avalada por las Secretarías de Estado encargadas de la seguridad carretera. La certificación podría lograrse en el contexto de los programas

CTPAT, FAST o BASC, complementados con esquemas de certificación de tipo R-control.

Esto también lleva a la necesidad de crear una licencia internacional avalada por la legislatura de los tres países, incluido Canadá.

Lo más conveniente sería que el parque vehicular que se aceptase participar en el Programa Demostrativo o en la Apertura Transfronteriza Parcial que se negocie, sean unidades de modelo reciente; sin embargo, dada la edad promedio de la flota vehicular nacional, es recomendable evaluar el efecto si se pretende establecer una edad máxima que se autorice a cruzar, ya que existe la posibilidad de que muchos camiones mexicanos, que no son peligrosos ni contaminantes, estarían en riesgo de quedar fuera de las posibilidades de participar. En tal virtud, es recomendable proteger a los transportistas mexicanos de las exigencias tecnológicas, dada las posibles dificultades que enfrentarían por falta de recursos.

Finalmente, se recomienda realizar paralelamente un conjunto de estudios sociales y ambientales que complementen la toma de decisiones durante y al final del Programa Demostrativo o de la Apertura Transfronteriza Parcial que se negocie, con el objeto de identificar posibles desviaciones a variables socioeconómicas relevantes. Entre ellos pueden destacarse los siguientes: impacto laboral, beneficios económicos a los sectores industriales, seguridad, desarrollo empresarial del transporte, etc.

Bibliografía

CANACAR. *Oposición de la CANACAR a la apertura de los servicios transfronterizos y el programa piloto entre los gobiernos de México y Estados Unidos*. Estrategia Nacional de Comunicación de Medios. Cámara Nacional del Transporte de Carga. 2007

DOF. *Acuerdo por el que se crea la modalidad temporal del servicio de autotransporte transfronterizo de carga internacional entre los*

Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 30 de agosto. 2007

De Buen, R. O. *La Integración del transporte de carga como elemento de competitividad nacional y empresarial*. Instituto Mexicano del Transporte. Publicación Técnica No. 24, Querétaro, México. 1990

Jiménez, S. E. (2007). *Apertura transfronteriza: ¿Qué resultados debemos esperar?*. Revista Énfasis logística"; año XII, No. 86; agosto, México. 2007

Jimenez, et al. *Apertura transfronteriza del autotransporte de carga: un análisis exploratorio de posibles escenarios*. Instituto Mexicano del Transporte. Publicación Técnica 321. ISSN 0188-7297. Querétaro, México. 2009

Mendoza, L. y Rico, O. (2005). *Problemas en la integración del autotransporte de carga entre México y Estados Unidos*. Instituto Mexicano del Transporte. Publicación Técnica No. 278. ISSN 0188-7297. Querétaro, México. 2005

ONUDI. *Manual de metodologías tomo II: La técnica bayesiana*. Programa de Prospectiva Tecnológica para Latinoamérica y el Caribe. Noviembre. 2000

Rico, G. O. *La integración del autotransporte de carga en el marco del Tratado de Libre Comercio de América del Norte*. Instituto Mexicano del Transporte. Publicación Técnica 169. ISSN 0188-7297. Querétaro, México. 2001

JIMÉNEZ Elías
ejimenez@imt.mx
MARTÍNEZ Luis Eduardo
lemc_cardenas@hotmail.com
DE LA TORRE Elizabeth
edltorre@imt.mx
GUTIÉRREZ Alejandra
agutierrez@imt.mx

EFECTO DEL TAMAÑO EN LA TENACIDAD A LA FRACTURA PARA UN ACERO COLADO*

Introducción

Uno de los problemas que se encuentra en los componentes estructurales de acero es la presencia de grietas (López-López et al., 2009). Para evaluar la severidad de este defecto es necesario conocer la tenacidad a la fractura del material, la cual se obtiene experimentalmente usando la norma (ASTM E 399-05, 2005). Un requerimiento de esta norma es que el espécimen debe de fracturarse nominalmente bajo una condición lineal-elástica. Este requerimiento de tamaño es riguroso, lo que da como resultado que en ocasiones no se pueda determinar un valor de tenacidad a la fractura (K_{Ic}) válido.

Si se desea determinar la tenacidad a la fractura para una probeta de tamaño grande de acuerdo a (ASTM E 399-05, 2005), se pueden presentar ciertas limitantes como el material disponible para fabricar las probetas y la capacidad de carga de la máquina para desarrollar la prueba. Por lo anterior, algunos investigadores (Terán et al., 2007; Santarelli, 2006; Munz, 1979) han realizado estudios con diferentes tamaños de probetas con el fin de trabajar con especímenes de menor tamaño.

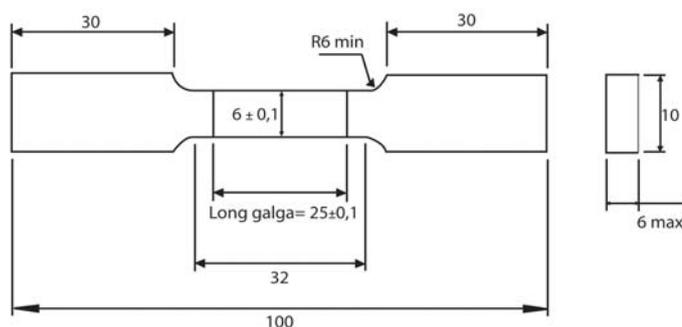


Figura 1

Probeta de tensión. Dimensiones en mm

El objetivo de este trabajo es analizar el efecto del tamaño en la tenacidad a la fractura de un acero colado ensayando cuatro tamaños distintos de probetas de flexión en tres puntos. Se muestra que para el material y las condiciones ensayadas existe una variación en el valor de la tenacidad a la fractura en función del tamaño de la probeta. Por otro lado, también se observa que los defectos en la fundición como cavidades o poros influyen en este valor.

Materiales y métodos

El material a estudiar en esta investigación es un acero colado, donde este tipo de producto se obtiene al vaciar el metal líquido en un molde para obtener la geometría deseada. El acero proviene de un puente vehicular atirantado en servicio.

Para obtener las propiedades mecánicas de tensión del material se fabricaron 9 probetas de acuerdo a la norma (ASTM E 8M-04, 2004), la geometría se muestra en la Figura 1.

La máquina que se utilizó para realizar los ensayos a tensión es una servohidráulica Instron® 8801 con capacidad de 100 KN. La velocidad de carga a la que se realizaron estas pruebas fue de 0,042 kN/s. Los valores obtenidos de estas pruebas se resumen en la Tabla 1.

La dureza del material se determinó empleando 4 muestras. En un principio se utilizó la escala Rockwell C, encontrando una dureza promedio de 9,2 HRC. Este resultado muestra una dureza cercana al extremo inferior para esta escala, por lo cual se decidió realizar la medición en escala Brinell, obteniendo un valor promedio de 182,94 HB con una desviación estándar de 0,021 HB.

* Artículo basado en el material presentado en el "Coloquio de Investigación Multidisciplinaria" en el Instituto Tecnológico de Orizaba, llevado a cabo el 3 y 4 de noviembre de 2009, Orizaba, Veracruz.

Tabla 1
Resultados de los ensayos en tracción

Probeta	Area Transversal (mm ²)	E (MPa)		σ _{YS} (MPa)		σ _{UTS} (MPa)		% Elongación	
		\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
1-9	36	199.193,76	3.882,14	323,02	28,74	621,24	53,78	8,38	1,68

E: Módulo Elástico; **σ_{YS}:** Esfuerzo de fluencia; **σ_{UTS}:** Esfuerzo último; **\bar{x} :** Media estadística; **s:** Desviación estándar.

Se realizó un análisis de la microestructura del material empleando una muestra que fue pulida hasta un terminado espejo y posteriormente atacada con nital al 2%.

La probeta de flexión en tres puntos se dimensionó conforme a los lineamientos de la norma (ASTM E 399-05, 2005), en la cual se requiere un valor de la tenacidad a la fractura aproximado para el material; de acuerdo a (López et al., 2009) que trabajan con una fundición de acero, una aproximación de este valor puede ser de 26 MPa . Este valor junto con el esfuerzo de fluencia de la Tabla 1 se sustituyen en la ecuación (1) para obtener el espesor mínimo (B) que debe tener la probeta, el cual es de 16,20 mm. De acuerdo

a (González, 2007) una de las condiciones de la Mecánica de Fractura Lineal-Elastica (MFLE) es tener una constricción plástica fuerte y alta triaxialidad de esfuerzos, que es sinónimo de una pieza de espesor grande. En este sentido, la norma (ATSM B645-98, 1999) para aleaciones de aluminio establece la ecuación (2) para el cálculo del espesor de la probeta, esto significa un espesor dos veces más grande que el mínimo sugerido por la ecuación (1). Empleando la ecuación (2), el espesor mínimo de la probeta debe ser de 32,5 mm. Sin embargo, de acuerdo al material disponible se fabricaron dos probetas de flexión de tres puntos con espesor (B) de 52 mm y ancho (W) de 104 mm. A estas probetas se les denominará probeta grande B1-1 y B1-2.

$$B \geq 2,5(KQ/\sigma_{Ys})^2 \tag{1}$$

$$B \geq 5(KQ/\sigma_{Ys})^2 \tag{2}$$

Donde:

KQ: El valor de tenacidad a la fractura provisional

A partir de las probetas mencionadas, se obtuvieron diferentes tamaños de probetas de flexión en tres puntos, los cuales se muestran en la Tabla 2. Todos los especímenes fueron preagrietados por fatiga a una frecuencia de 15 Hz. La longitud de la pregrieta final en los especímenes fue de 0,54 W.



Figura 2
Microfotografía a 500X de la microestructura del acero colado atacada con nital al 2%

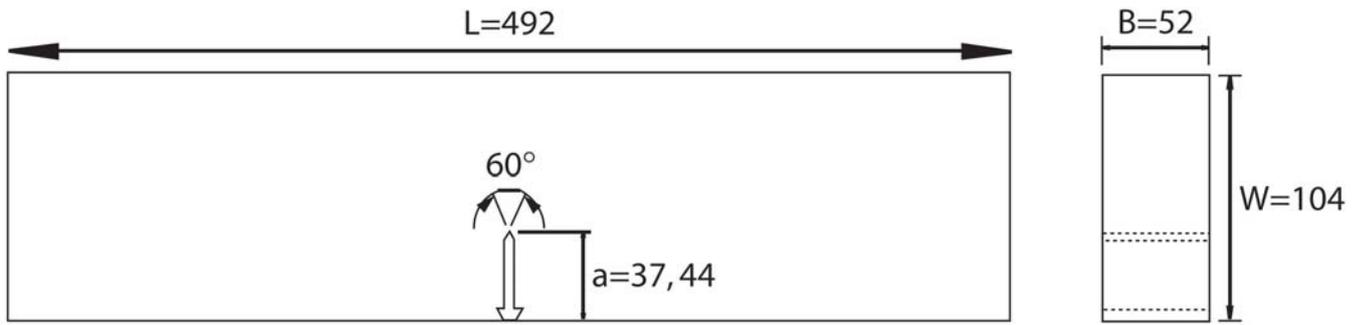


Figura 3
Dimensiones de la probeta de flexión en tres puntos grande. Unidades milímetros

Tabla 2
Tipos y dimensiones de probetas de flexión en tres puntos

Tipo de Probeta	B (mm)	W (mm)	W/B	No. Probetas
1. Grande (B11,B12)	52	104	2	2
2. Mediana (M1,..M4)	26	52	2	4
3. Pequeña (S1,...S8)	13	26	2	8
4. Prueba (P1,...P12)	15	30	2	6

De acuerdo con la norma (ASTM E 399-05, 2005), a cada una de las probetas preagrietadas por fatiga se les aplicó una carga monotónica hasta su colapso. Se midió la abertura de la muesca (V) por medio de un extensómetro y junto con el registro de la carga (P) que aplicaba la máquina servohidráulica Instron® 8801 se generó una gráfica de P en función de V. Un ejemplo de esta gráfica se observa en la Figura 4, que corresponde a la probeta grande B1-1, en la cual para encontrar el valor de PQ se traza una línea secante disminuida en un 5% respecto a la parte lineal de la gráfica P vs V; en este caso el valor de PQ es la carga máxima registrada antes de la intersección de ambas gráficas, la cual coincide con el pop-in. El pop-in indica que la grieta tuvo un crecimiento subcrítico

(Anderson, 2005). Con este valor de PQ se determina el valor del factor de intensidad de esfuerzos KQ, empleando la fórmula (3), $f(a/W)$ es un valor adimensional que está en función de la longitud de grieta, la cual es el promedio de las mediciones de las longitudes de grieta realizadas sobre la superficie de fractura a $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ respecto del espesor (Figura 5b). De acuerdo a la norma, para este tipo de probeta $f(a/W) = f(0,547) = 3,11$; por lo tanto, para B1-1 el valor de $KQ = 41,80$ MPa . En la Figura 6a se muestra una fotografía de esta probeta después que la grieta alcanzó su longitud crítica y creció inestablemente. En la Figura

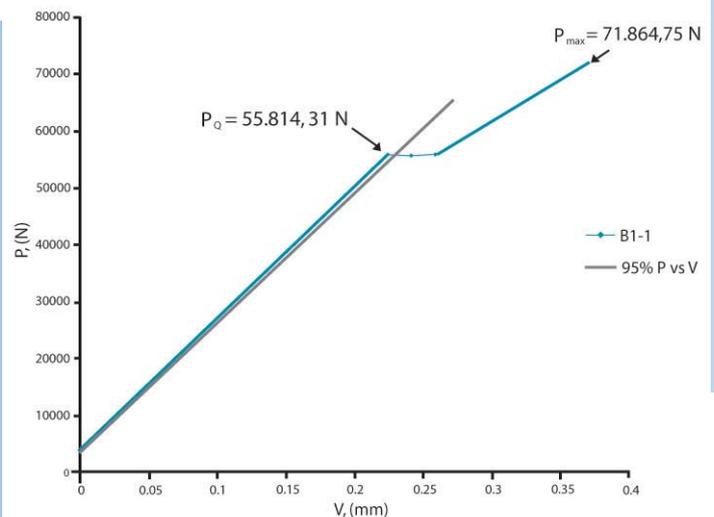


Figura 4
Gráfica de P en función de V, probeta B1-1

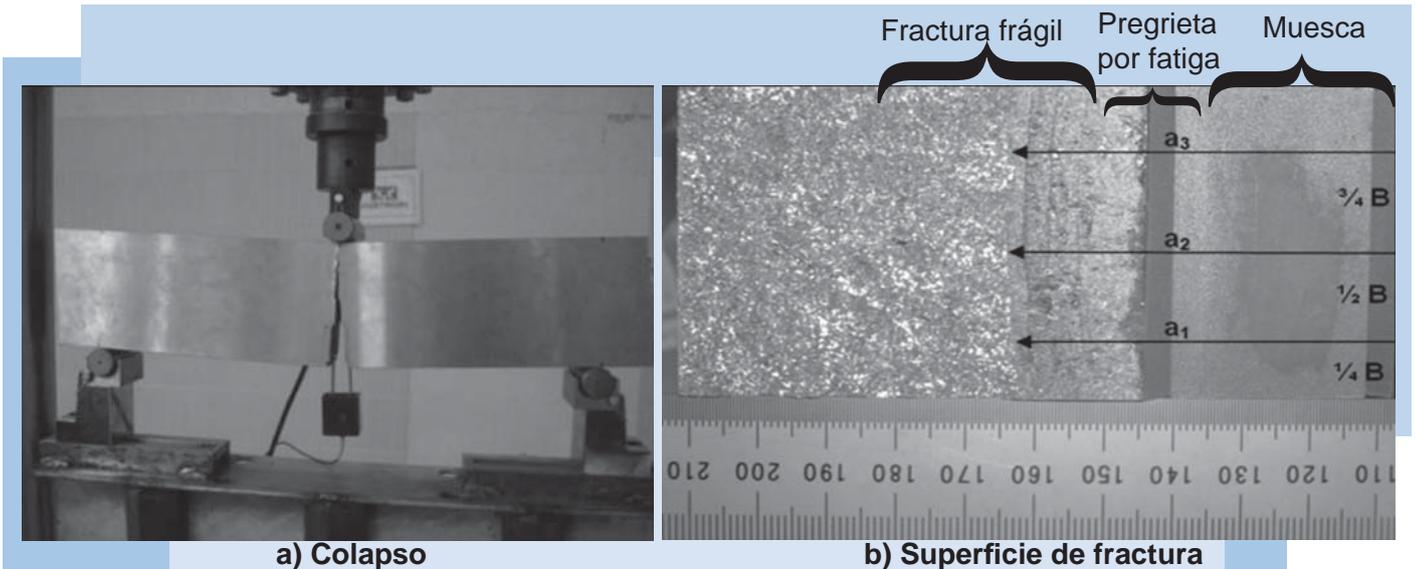


Figura 5
Probeta B1-1

6a se muestra una fractografía de la zona donde la grieta inicia a crecer inestablemente, se aprecia la región de fatiga y el mecanismo de clivaje debido a la fractura frágil. En la fractografía 6b se muestra el detalle de un poro.

$$K_Q = \frac{P_Q}{B\sqrt{W}} f\left(\frac{f}{W}\right) \quad (3)$$

Por otro lado se modelaron las probetas de tamaño grande (B1-1 y B1-2) en el software de elementos finitos Ansys® para obtener

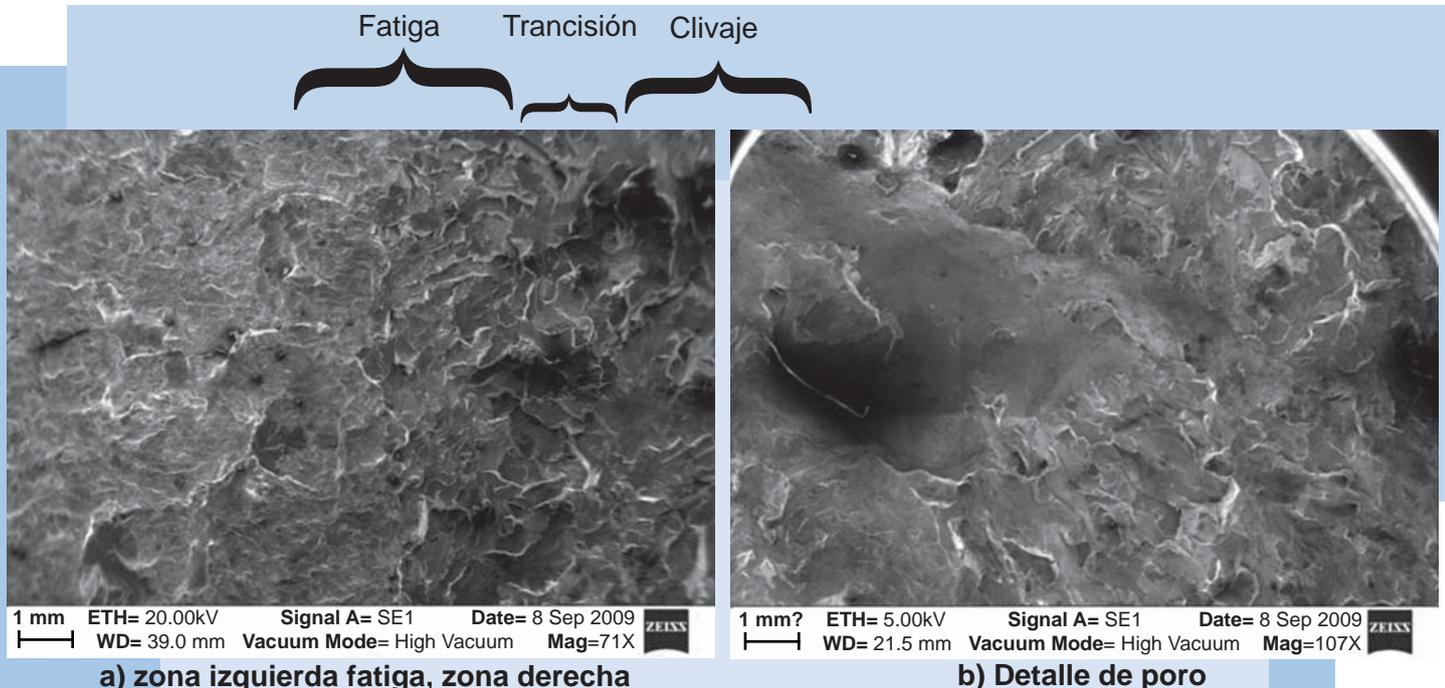


Figura 4
Fractografía

Tabla 3
Resultados de las pruebas de tenacidad a la fractura

TAMAÑO	PROBETA	B (mm)	W (mm)	P _{max} (N)	P _Q (N)	B min (mm)	P _{max} /P _Q	K _Q MPa(m) ^{1/2}
GRANDE	B1-1	52.06	104.14	71,864.75	55,814.31	40.87	1.29	41.8
	B1-2	52.05	104.3	65,589.13	49,173.74	32.83	1.33	37.01
MEDIANA	M1-1	26.33	52.22	24,395.37	18,477.74	34.78	1.32	38.1
	M1-2	26.64	52.43	25,556.36	19,629.85	35.58	1.3	38.53
	M1-3	26.34	52.21	25,424.84	16,264.41	25.59	1.56	32.68
	M1-4	26.34	52.23	22,605.19	17,508.56	34.55	1.29	34.55
PRUEBA	P1-1	15.05	30.07	9,402.95	6,307.88	20.65	1.49	29.36
	P1-3	14.92	30.02	9,948.69	6,014.25	20.62	1.65	29.34
	P1-6	15.07	30.01	10,509.22	6,513.42	22.20	1.61	30.44
	P1-9	15.09	30.05	9,482.37	6,050.21	19.31	1.57	28.39
	P1-10	15.08	30.04	9,447.43	6,362.00	21.02	1.48	29.62
	P1-12	15.08	30.05	8,942.77	6,237.69	21.47	1.43	29.94
CHICA	S1-1	12.81	26.048	6,971.62	4,785.84	20.15	1.46	29.00
	S1-3	13.06	26.09	7,851.26	4,870.38	20.94	1.61	29.56
	S1-4	13.08	26.12	7,950.53	6,165.35	33.77	1.29	37.54
	S1-5	12.81	25.73	6,707.43	4,547.44	19.66	1.47	28.65
	S1-6	12.81	25.67	5,731.76	4,847.27	21.16	1.18	29.72
	S1-7	13.07	26.1	7,635.25	4,863.34	20.19	1.57	29.03
	S1-8	13.05	26.1	9,068.33	4,757.11	19.59	1.91	28.59
	S1-9	12.83	25.78	7,027.90	4,857.10	19.13	1.45	28.25

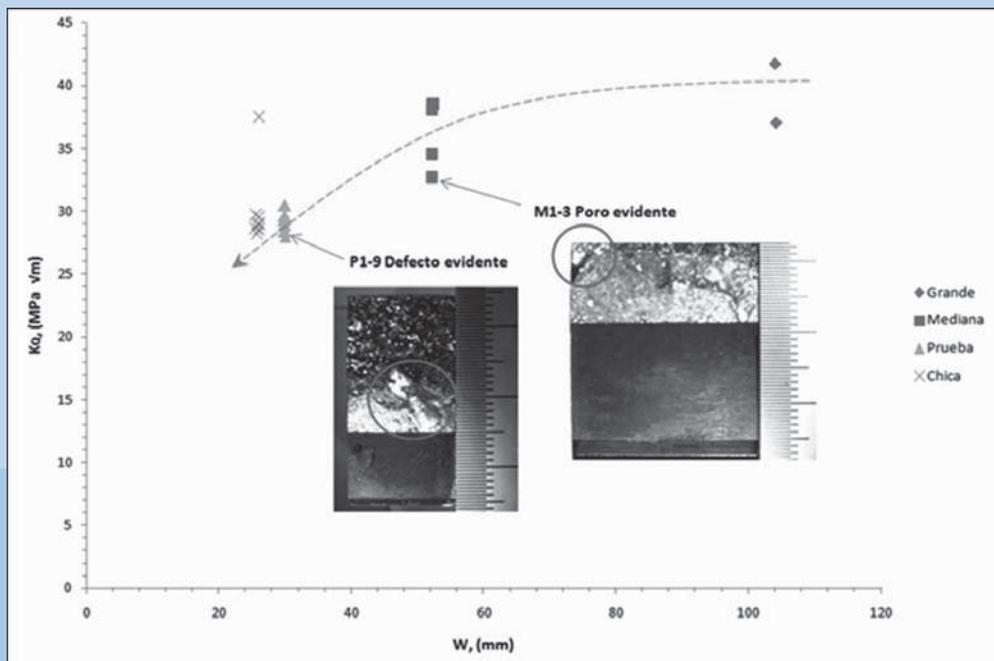


Figura 7
KQ en función de W para los distintos tamaños de probeta

una gráfica de $P = f(V)$ considerando que no hay defectos microestructurales en el material. El análisis que se desarrolló fue un análisis no lineal, ya que se capturó los datos experimentales de la curva esfuerzo-deformación del acero colado.

Resultados y discusión

Los resultados de la prueba de tenacidad a la fractura para las 20 probetas de flexión en tres puntos se resumen en la Tabla 3. Se puede observar que al aumentar el tamaño

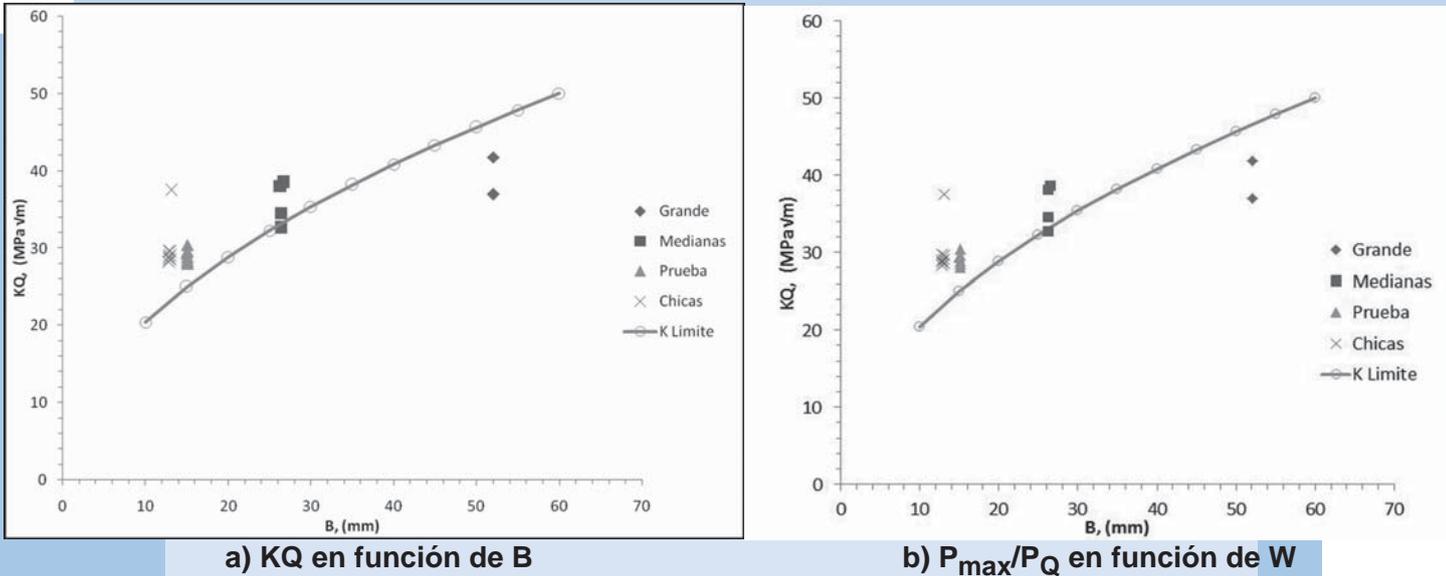


Figura 8
Fractografía

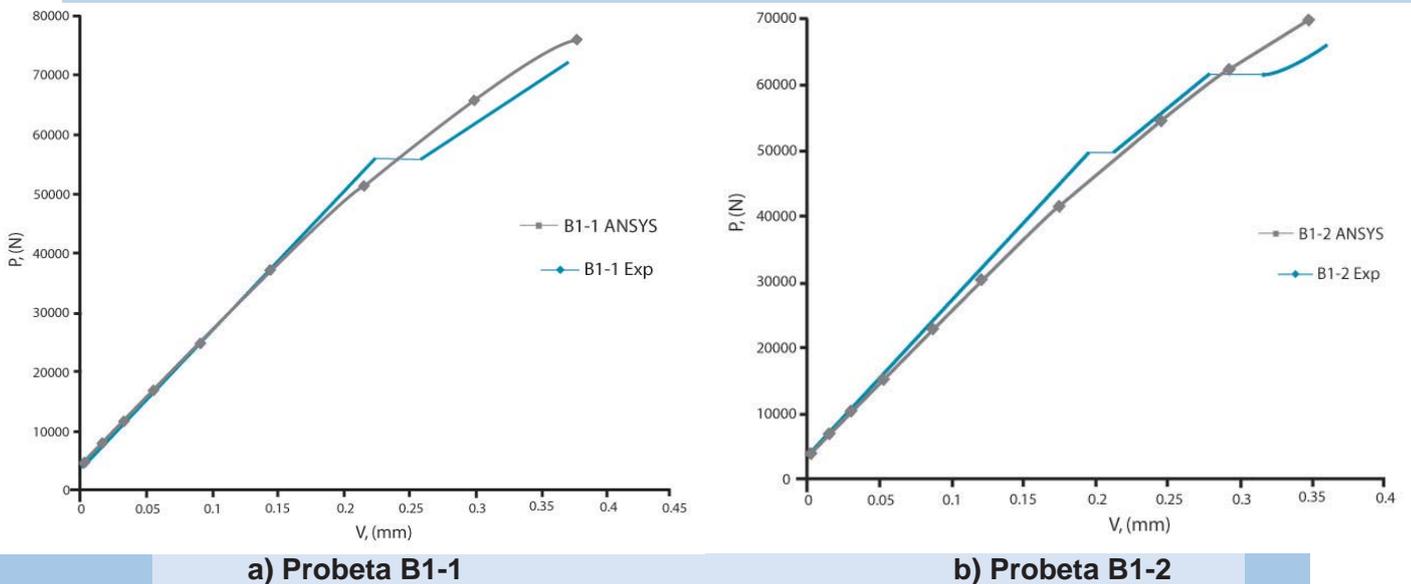


Figura 9
Gráfica de P en función de V experimental y con Ansys

de la probeta hay una tendencia de que KQ aumente, tal y como lo reporta (May, 1970).

En la Figura 7 se señalan dos probetas que en su superficie de fractura muestran defectos como cavidades, M1-2 y P1-9; ambas probetas muestran un valor de K bajo con respecto a su grupo.

La Figura 9 muestra la curva de P en función de V obtenida experimentalmente y con Ansys tanto para B1-1 como para B1-2. Se observa que las gráficas siguen la misma tendencia y se confirma que los pop-in se atribuyen a las imperfecciones del material (cavidades y poros).

Conclusiones

1. La existencia de cavidades y poros provoca una “fragilización aparente del material” disminuyendo la tenacidad a la fractura del material. Además se observa una tendencia a incrementar la relación de cargas.
2. Para este material y a las condiciones de ensayo se mostró una tendencia a disminuir el valor de la tenacidad a la fractura conforme la probeta disminuye su tamaño.
3. Las probetas chicas muestran la mayor variabilidad en la relación de cargas y una tendencia diferente en las gráficas de $K=f(B)$ y $K=f(W)$ respecto a los otros tamaños de probetas.
4. Las gráficas que se obtuvieron en Ansys para B1-1 y B1-2 muestran una buena tendencia respecto a las gráficas experimentales y una ausencia de “Pop-in”. Por tanto, si el material no tuviera imperfecciones es probable una disminución en la relación de cargas.
5. Como trabajo futuro queda analizar si las cavidades y poros presentes en el material son el origen de los Pop-in en las gráficas P en función de V.

Recomendaciones

Realizar un estudio de las inclusiones presentes en el acero mediante microscopía electrónica de barrido para determinar la composición química y conocer el efecto de éstas en la tenacidad a la fractura. Determinar la distribución estadística de las propiedades mecánicas y de mecánica de fractura para conocer la variabilidad de éstas.

Bibliografía

- Anderson, T. L., *Fracture Mechanics. Fundamentals and Applications*, CRC Press, Boca Raton, FL, USA, pp 309-311, 2005.
- ASTM, *Standard Test Method for Tension Testing of Metallic Materials*, ASTM Designation E 8M-04, West Conshohocken, PA, USA, 2004.
- ASTM, *Standard Test Method for Linear-Elastic Plane-Satrin Fracture Toughness K_{Ic} of Metallic Materials*, ASTM Designation E 399-05, West Conshohocken, PA, USA, 2005.
- Carrión F., López J. A. and Balankin A., *Probabilistic Model for Bridge Structural Evaluation using Nondestructive Inspection Data*. Nondestructive Evaluation and Health Monitoring of Aerospace Materials, Composites, and Civil Infrastructure IV, Proc. of SPIE Vol. 5767, pp 400-407, 2005.
- Gómez R., Murià-Vila D., Sánchez-Ramírez R., Escobar J. A., Rodríguez-Gutierrez G., Mendoza-García M. A., *An Account of Structural Health Monitoring and Related Problems of Bridge Structures in Mexico: Case Studies*. The Monitor, International Society for Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure, pp 11-34, 2008.
- González Velázquez J. L., *Mecánica de Fractura*, Limusa, México, D.F., pp 75-76, 2007.

López-López J. A., Carrión-Viramontes F. J., Quintana-Rodríguez J. A., Díaz de León Benard A., *Crack Analysis and Evaluation of Structural Elements in a Cable Stayed Bridge*. XVIII International Materials Research Congress, Materials Research Society, Cancún, Q. R., México, 2009.

López-López J. A., Carrión F. J., Quintana, J. A., Samayoa D., Lomelí M. G., and Ororzo P. R., *Verification of the Ultrasonic Qualification for Structural Integrity of Partially Concrete Embedded Steel Elements*, Advanced Materials Research, Vol. 65, pp 69-78, 2009.

Munz, *Minimum Specimen Size for the Application of Linear-Elastic Fracture Mechanics*, Elastic-Plastic Fracture, ASTM STP 668, J. D. Landes, J. A. Begley, and G. A. Clarke, Eds., American Society for Testing and Materials, pp 406-425, 1979.

Santarelli, E. L., *A Two-Parameter Method for Determining the Fracture Toughness of*

Materials from Subsize Specimens, Journal of Testing and Evaluation, American Society for Testing and Materials, Vol. 34, No 4, pp 280-299, 2006.

Terán J., González J. L., Hallen J. M., Martínez M., *Efecto del Tamaño de Probeta y Orientación en la Resistencia a la Tracción y a la Tenacidad a la Fractura*, Revista de Metalurgia, 43(5), pp 337-351, 2007.

TERÁN Jorge

jteran@imt.mx

ALCARÁZ Alejandro

alexalcaraz@itc.mx

BALANKIN Alexander

abalankin@ipn.mx

CARRIÓN Francisco

carrion@imt.mx

GUTIÉRREZ Alejandra

agutierrez@imt.mx

PÉREZ Trinidad

jtperez@imt.mx

GLOSARIO

Artículo 1:

Transporte transfronterizo: Transporte de mercancía de un país a otro a través de una Frontera Terrestre.

Programa demostrativo: Programa temporal para la apertura del transporte Transfronterizo creado por los gobiernos de México y Estados Unidos con la finalidad de resolver de forma práctica, oportuna y paulatina las limitaciones pendientes para el libre tráfico del autotransporte entre ambos países acordado en el TLCAN.

Transfer: Tractocamiones dedicados a dar servicio de arrastre de carga para realizar el cruce de frontera. La operación consiste en enganchar el remolque, cruzar la frontera y

desenganchar la carga para que la tome otro tractocamión y la lleve a su destino final.

Artículo 2:

Acero colado: Producto que se obtiene al vaciar el metal líquido en un molde para obtener la geometría deseada.

Carga monotónica: El Incremento de la fuerza a una velocidad constante, de tal manera, que la probeta alcance la ruptura.

Tenacidad a la fractura (K_{IC}): Es el valor crítico que representa la propiedad del material agrietado a resistir la fractura.

K_Q : Valor provisional de tenacidad a la fractura calculado con la carga P_Q

PROYECTO EN MARCHA

Evaluación de la relación succión-módulo de resiliencia en suelos finos compactados

En la mayoría de los diseños de pavimentos un parámetro clave para la determinación de los espesores de las capas que formarán la estructura es el módulo de resiliencia (M_r), sin embargo, en México las investigaciones que se han llevado a cabo sobre éste son muy escasas. Es por esto que desde 1997 hasta la fecha, el Instituto Mexicano del Transporte ha incursionado en este tema llevando a cabo investigaciones que han incluido la determinación de los módulos de resiliencia en materiales granulares y suelos finos.

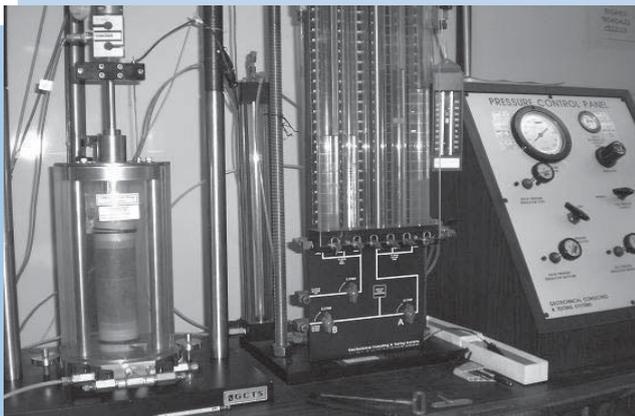


Figura 1

Equipo triaxial cíclico para llevar a cabo pruebas de módulo de resiliencia

Una de las guías de diseño de pavimentos que se está proponiendo actualmente es la de AASHTO del tipo empírico-mecanicista y en ésta una de las características es se requiere una gran cantidad de parámetros de los materiales que formarán la estructura del pavimento, entre ellos el del módulo de resiliencia.

Con respecto al módulo de resiliencia, la guía hace uso del modelo EICM (Enhanced Integrated Climatic Model) para predecir la variación que éste tendrá durante la vida

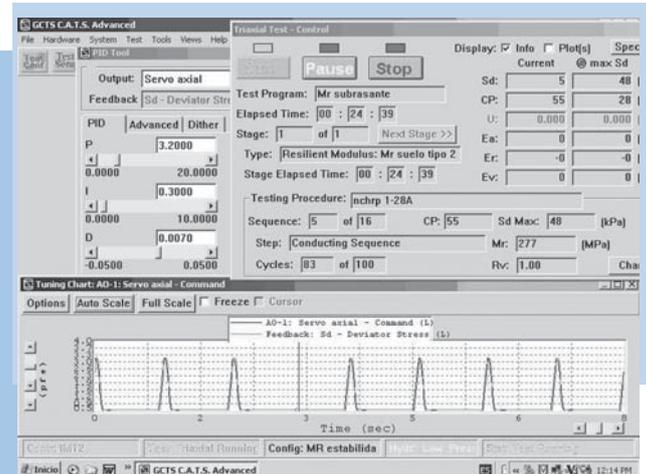


Figura 2

Representación de la aplicación de carga en forma cíclica

útil del pavimento. Sin embargo, aun faltan investigaciones que determinen los modelos que pronostiquen en forma más confiable la variación del módulo de resiliencia cuando se presentan variaciones en el contenido de agua o succión del suelo, modelos que después pueden ser introducidos en el EICM utilizado en la nueva guía AASHTO.

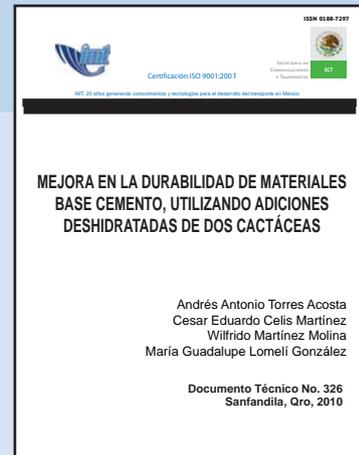
De acuerdo con esto, uno de los proyectos en curso consiste en estudiar el comportamiento del módulo de resiliencia de especímenes compactados de varios suelos finos que se someten a ciclos de humedecimiento y secado, de tal forma que se pueda determinar en qué medida el M_r se ve afectado si el grado de saturación o succión del suelo se incrementa o se reduce con respecto a una condición inicial que simula las condiciones que se tienen después de la construcción.

PÉREZ Natalia
nperez@imt.mx

PUBLICACIÓN

Mejora en la durabilidad de materiales base cemento, utilizando adiciones deshidratadas de dos cactáceas

En la **PUBLICACIÓN TÉCNICA 326** se presenta los resultados de la caracterización de cubos de mortero fabricados con adiciones botánicas (verdes) deshidratadas de nopal y sábila (aloe vera). Las adiciones usadas de nopal y sábila se mezclaron con cemento Pórtland ordinario (CPO) en diferentes porcentajes. Los descubrimientos iniciales sugieren que adicionando cantidades pequeñas de nopal, como remplazo de cemento, puede ser una opción para mejorar las propiedades físicas de los materiales base cemento que, a su vez, mejoran su durabilidad.



Se puede consultar de forma gratuita en la página del Instituto:
<http://imt.mx/Espanol/Publicaciones/pubtec/pt326.pdf>

EVENTOS ACADÉMICOS

Seguridad en carreteras: Buenas prácticas en relación con el comportamiento del factor humano en la conducción

Del 2 al 6 de agosto de 2010, se llevó a cabo dicho Curso Internacional en las Instalaciones del Instituto Mexicano del Transporte en Sanfandila, Querétaro. La coordinación de este estuvo a cargo de Emilio Mayoral en conjunto con el Dr. Francisco Toledo Catillo proveniente de la Universidad de Valencia, España.

El objetivo fue ofrecer de manera clara una visión de los principales elementos que, desde la perspectiva del factor humano, inciden en la seguridad vial; y con ello fortalecer la experiencia en los profesionales relacionados con la seguridad vial y el sector transporte, tanto público como privado, en carreteras y vías urbanas, involucrados directamente en manejo y prevención de accidentes.

Tuvo una asistencia de 27 participantes, los cuales provinieron de la Dirección General de Conservación de Carreteras-SCT, Dirección General de Autotransporte Federal-SCT, Dirección General de Protección y Medicina Preventiva-SCT, Caminos y Puentes Federales (CAPUFE), Secretaría de Seguridad Pública del Municipio de Querétaro, de los Centros SCT Puebla, Colima, Chiapas, Sonora, San Luis Potosí, Tamaulipas; de la Universidad UMSNH y UACM y de las empresas Ingenieros Civiles Asociados, S.A. de C.V., Transportes Bonampak S.A. de C.V., Autotankes Nieto, S.A. de C.V., FEMSA Logística y Grupo Peñasco.

DIRECTORIO*Ing. Roberto Aguerrebere Salido***Director General**

(55) 55 98 56 10 ext. 2001

roberto.aguerrebere@imt.mx

*Ing. Jorge Armendariz Jiménez***Coordinador de Administración y Finanzas**

(55) 55 98 56 10 ext. 4316

jorge.armendariz@imt.mx

*Ing. Alfonso Mauricio Elizondo Ramírez***Coordinador de Normativa para la Infraestructura del Transporte**

(55) 55 98 56 10 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***Encargado de la Coordinación de Integración del Transporte**

(442) 216 97 77 ext. 2059 martner@imt.mx

*Dr. Miguel Martínez Madrid***Coordinador de Ingeniería Vehicular e Integridad Estructural**

(442) 216 97 77 ext. 2010

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:***LCC Alejandra Gutiérrez Soria**

(442) 216 97 77 ext. 2056

agutierrez@imt.mx

INFORMACIÓN Y CONTACTOS**CURSOS INTERNACIONALES IMT**

El Instituto Mexicano del Transporte (IMT), a través de su Unidad de Servicios Académicos, hace una cordial invitación a los profesionales interesados en participar en los cursos que ofrece dentro del programa de capacitación IMT; el cual se publica en la página web:

<http://imt.mx/Espanol/Capacitacion/>

PUBLICACIONES, BOLETINES Y NORMAS

En dicha página web pueden consultarse sus publicaciones completas, los boletines externos "NOTAS" anteriores y las nuevas normas técnicas, ingresando a los enlaces siguientes:

<http://imt.mx/Espanol/Publicaciones/>

<http://boletin.imt.mx/>

<http://normas.imt.mx/>

INFORMES:

Tels: (442) 216 97 77, 216 97 44

216 96 57 ext. 2034

Fax: 216 97 77 ext. 3037

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

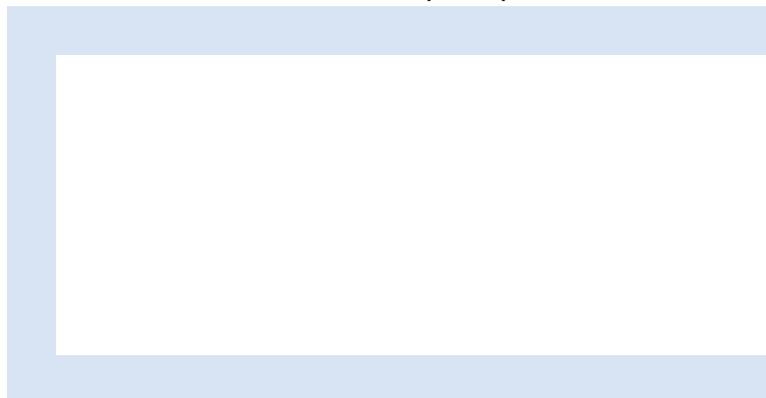
El contenido de los artículos aquí publicados es responsabilidad exclusiva de sus autores; por tanto, no refleja necesariamente el punto de vista del Instituto Mexicano del Transporte.

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
CA22-0005
Autorizado por Sepomex



POR AVIÓN
AIR MAIL