



ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO Y COSTO-EFECTIVIDAD DE MEDIDAS DE SEGURIDAD IMPLEMENTADAS EN CARRETERAS MEXICANAS

Introducción

El presente estudio muestra una revisión de las principales metodologías empleadas para evaluar medidas de seguridad en carreteras. A través del análisis costo-beneficio y costo-efectividad, el estudio identifica las mejores medidas de seguridad vial implementadas en Carreteras Federales de México en los últimos años, en función de sus beneficios netos y de su efectividad práctica en la reducción de accidentes, muertes, lesionados y daños materiales. Esto se efectúa con base en una muestra que comprende los proyectos de mejora desarrollados por la Dirección General de Servicios Técnicos de la SCT (DGST) para un conjunto de sitios conflictivos en Carreteras Federales, e implementados por la Dirección General de Conservación de Carreteras de la SCT (DGCC), dentro del Programa Nacional de Atención a Puntos de Conflicto entre 2001 y 2005. Asimismo, se actualiza el valor estadístico de la vida y de los heridos para el caso de México, utilizando el método del capital humano.

Antecedentes

Estudios de la Organización Mundial de la Salud (Referencia 1) revelan que los accidentes carreteros en 2004 fueron los causantes del 2.2% de las muertes a nivel mundial, ocupando el lugar 9 de causa de muerte. Para el 2030, esta cifra se estima será del 3.6% y ocupará el quinto lugar como causa de muerte a nivel mundial.

El presente estudio muestra una revisión de las principales metodologías empleadas para evaluar medidas de seguridad en carreteras. A través del análisis costo-beneficio y costo-efectividad, el estudio identifica las mejores medidas de seguridad vial implementadas en Carreteras Federales de México en los últimos años, en función de sus beneficios netos y de su efectividad práctica en la reducción de accidentes, muertes, lesionados y daños materiales. Esto se efectúa con base en una muestra que comprende los proyectos de mejora desarrollados por la Dirección General de Servicios Técnicos de la SCT (DGST) para un conjunto de sitios conflictivos en Carreteras Federales, e implementados por la Dirección

CONTENIDO

ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO Y COSTO-EFECTIVIDAD DE MEDIDAS DE SEGURIDAD IMPLEMENTADAS EN CARRETERAS MEXICANAS	1
SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE VEHÍCULOS. USO DE PROGRAMAS DE MODELACIÓN	8
GLOSARIO	15
PROYECTOS EN MARCHA	16
PUBLICACIÓN	17
EVENTOS ACADÉMICOS	18

General de Conservación de Carreteras de la SCT (DGCC), dentro del Programa Nacional de Atención a Puntos de Conflicto entre 2001 y 2005. Asimismo, se actualiza el valor estadístico de la vida y de los heridos para el caso de México, utilizando el método del capital humano.

Metodologías para la evaluación de medidas de seguridad en carreteras

Para que la política de seguridad vial en carreteras sea eficiente, es necesario seleccionar las medidas que proporcionen los mejores resultados al problema de seguridad vial con el mínimo de recursos necesarios para su implementación. La mejor medida de seguridad vial no es necesariamente aquella que genera los mayores beneficios, ni tampoco la que requiere de menores costos para su implementación, sino la medida que valorando y comparando de manera conjunta los beneficios y los costos, genera los mayores beneficios o la mayor efectividad por unidad de inversión.

Los dos métodos principales para evaluar medidas de seguridad en carreteras son el Análisis Costo-Efectividad (ACE) y el Análisis Costo-Beneficio (ACB).

Análisis Costo-Efectividad (ACE)

En el Análisis Costo-Efectividad (ACE) dos o más medidas de seguridad vial pueden ser evaluadas y jerarquizadas en función de sus costos y efectividad en alcanzar un objetivo en particular (ej. reducción de accidentes).

A diferencia del Análisis Costo-Beneficio (ACB), el ACE expresa los beneficios en impactos físicos (ej. reducción de accidentes) y no en términos monetarios.

Para poder evaluar la efectividad de una medida de seguridad en carreteras, el

objetivo de la medida y la cuantificación de su éxito deben ser previamente definidos. Los impactos de la medida sobre el objetivo previamente definido deben ser evaluados en términos físicos, por ejemplo, la cantidad de accidentes que pueden ser evitados mediante la implementación de cada una de las medidas. Así, el impacto total estimado de cada medida es comparado con el costo de implementación de las mismas. De esta forma, los impactos totales son expresados por unidad de costo de implementación (ej. cantidad de accidentes que pueden ser evitados por unidad de costo de implementación). Lo anterior permite comparar beneficios no expresados en términos monetarios con costos monetarios.

Además de los costos de implementar una medida de seguridad vial, el costo total del proyecto debe incluir los costos de operación y mantenimiento que ocurrirán a lo largo del horizonte del proyecto. De manera similar que para el ACB, los costos presentes y futuros deben ser descontados para poder ser comparados en un año base. Finalmente una vez que los costos y los impactos de las medidas de seguridad han sido estimados, éstos pueden ser combinados para estimar el costo-efectividad correspondiente a través de un cociente, como se muestra en la siguiente ecuación (Referencia 3):

$$CCE = E / C \quad (\text{Ec. 1})$$

donde:

$$\begin{aligned} CCE &= \text{Cociente Costo-Efectividad} \\ E &= \text{Efectividad del proyecto} \\ C &= \text{Costo total del proyecto} \end{aligned}$$

El *CCE* indica las unidades de efectividad que son obtenidas por cada unidad de costo en que se incurre. Un mayor valor del *CCE* indicará una mayor efectividad de una determinada medida de seguridad. Por ejemplo, el *CCE* de

una medida de seguridad en particular puede obtenerse calculando el siguiente cociente:

$$\text{CCE} = \frac{\text{Cantidad de accidentes prevenidos}}{\text{Costo total de la medida}} \quad (\text{Ec. 2})$$

Así, los datos necesarios para estimar el CCE de una medida de seguridad son: la cantidad estimada de accidentes, muertes o lesionados evitados con la medida de seguridad, y el costo total de la medida.

La ventaja principal del CCE es el ser una técnica simple que se enfoca sobre los efectos en la seguridad, por lo que no requiere de una valuación monetaria de dichos efectos. Sin embargo, esta técnica tiene la desventaja de que sólo se puede utilizar para la jerarquización de medidas sobre una base común de efectividad (reducción de accidentes, o reducción de muertes, o reducción de lesiones graves, o reducción de lesiones leves, o reducción de daños materiales), es decir, en la estimación de la efectividad no es posible considerar simultáneamente diferentes tipos de accidentes (con muertes, con lesiones graves, con lesiones leves y con daños materiales).

Análisis Costo-Beneficio (ACB)

El Análisis Costo-Beneficio (ACB) tiene como objetivo el determinar si un proyecto es eficiente económicamente y qué tan eficiente es (y si modificaciones en el objetivo pudieran incrementar su eficiencia). Entre las medidas de eficiencia más utilizadas se encuentran (Referencia 4):

- 1.El Valor Presente Neto del Proyecto (VPN)
- 2.La Relación Beneficio-Costo (RBC)
- 3.La Tasa Interna de Retorno (TIR)

El significado de las medidas anteriores es ampliamente conocido.

En el caso de las acciones específicas para mejorar la seguridad vial, frecuentemente se utiliza la tasa de retorno del primer año (TRPA). La TRPA de un proyecto o medida de seguridad vial se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{TRPA} = \frac{\text{RCAPA} * 100}{\text{Costo de implementación de la medida}} \quad (\text{Ec. 3})$$

donde:

RCAPA = Reducción en el costo de los accidentes en el primer año de operación de la medida (beneficios)

Si una medida tiene una TRPA menor que la tasa de descuento especificada, quiere decir que no es rentable emprender esa medida en ese año. La TRPA no proporciona un criterio de evaluación riguroso ya que ignora cualquier tipo de beneficios o costos después del primer año, pero su utilización ha sido defendida en proyectos de muy alta incertidumbre (como son los de ingeniería de seguridad vial) sobre la base de que en éstos: (I) la estimación de los beneficios más allá del primer año es difícil; y (II) frecuentemente se obtiene una tasa de retorno de los primeros años muy elevada (superior al 100%), lo cual hace innecesario el uso de un criterio de decisión más sofisticado. La TRPA es un índice que proporciona, más que una técnica de evaluación económica rigurosa, un medio grueso para jerarquizar proyectos (Referencia 5).

Uno de los mayores problemas del ACB es obtener valores monetarios válidos y confiables de los efectos o beneficios relevantes. Por lo tanto, es importante distinguir entre un análisis costo-efectividad (ACE) y un análisis costo-beneficio (ACB). En el primer caso, el costo de implementar una medida de seguridad es comparado con sus efectos, en donde los efectos de las medidas no son expresados en

términos monetarios. En el caso del análisis costo-beneficio, el resultado de la evaluación se obtiene comparando los costos con los beneficios, ambos expresados en términos monetarios.

El ACB es particularmente útil cuando existen múltiples objetivos de política ó cuando los objetivos de política están en conflicto. Entre los datos requeridos para realizar el ACB se encuentran: los costos de implementación de la medida de seguridad, así como los beneficios derivados de los costos de los accidentes evitados en términos de muertes, lesionados y daños materiales y otros efectos cuantificables (medio ambiente, tiempo de viaje, operación de los vehículos, etc.).

Cabe señalar que la valuación monetaria de la vida humana que se realiza en esta técnica, continua siendo controversial y difícil, pero inevitable. En general, la valuación de los accidentes resulta compleja, ya que éstos generan una diversidad de impactos sobre las personas y la sociedad, entre los que se encuentran los siguientes:

- Costos médicos y hospitalarios
- Pérdida de producto interno bruto futuro
- Dolor, pena y sufrimiento
- Pérdidas materiales
- Costos policiales y de servicios de rescate
- Seguros
- Costos legales

Valuación Estadística de la Vida

Un estudio reciente realizado por la "International Road Assessment Programme (iRAP)" (Referencia 6) obtiene, mediante un análisis de regresión lineal, el valor estadístico de la vida en función del ingreso y del método de estimación empleado, en donde se distinguen dos métodos principales

para estimar el valor estadístico de la vida: el método de la disposición a pagar y el método del capital humano como pérdida del producto. El primero, es un método ex ante, el cual intenta valorar la disponibilidad a pagar de la sociedad para evitar la muerte, lesiones y daños materiales como resultado de los accidentes carreteros. El segundo, es un método ex post, en el cual se estima un valor de la vida humana en función del potencial o contribución futura de las personas en la generación de riqueza (Referencia 7). Para el presente estudio, se emplea el método del capital humano o método de producción bruta. Lo anterior se debe a que en México no se tienen disponibles estudios confiables sobre la valuación estadística de la vida utilizando el método de la disposición a pagar por evitar accidentes carreteros.

Así, se tiene que el valor estadístico de la vida se determina mediante la siguiente ecuación estimada por la iRAP:

$$LOG (VEV) = 2.519 + 1.125 * \log (\text{PIB per cápita}) + 0.496 * (\text{Método}) \quad (\text{Ec. 4})$$

donde:

VEV = Valor Estadístico de la Vida

PIB = Producto Interno Bruto

Método = 1 si se utiliza el método de la disposición a pagar ó 0 si se utiliza el método del capital humano como pérdida del producto.

Cabe señalar que la estimación de la ecuación anterior, mediante la técnica de regresión lineal múltiple generó un coeficiente de determinación del 97%.

Por lo tanto, para el caso de México, el Valor Estadístico de la Vida para el año 2007 es:

$$\begin{aligned} \text{Log (VEV)} &= 2.519 + 1.125 * \log (7,608) \\ &= 288,691 \text{ dólares (3.15 millones de pesos)} \end{aligned}$$

Asimismo, la iRAP recomienda como una aproximación razonable el considerar que el valor de un lesionado es equivalente al 25% del valor Estadístico de la Vida. Por lo tanto, para el caso de México se tiene que para el 2007, el valor promedio de un lesionado es de aproximadamente 72,173 dólares (790 mil pesos).

ACE y ACB de medidas de seguridad vial implementadas

Se obtuvo información completa para 421 sitios conflictivos en la Red Carretera Federal mejorados dentro del Programa Nacional de Atención a Puntos de Conflicto durante el período 2001 a 2005.

Para cada uno de los sitios anteriores, se obtuvo de la DGST y/o de la DGCC un reporte conteniendo un estudio de “antes y después” sobre la implementación de mejoras o medidas de seguridad vial para el año posterior a la misma, es decir, la cantidad de accidentes, muertos, heridos y pérdidas materiales generadas por accidentes, un año

antes y un año después de la implementación de las medidas de seguridad vial. Este reporte proporciona información sobre la ubicación, el tipo de sitio conflictivo, el tipo de mejora, la fecha de puesta en operación de la mejora y el costo real de la obra. Esta información se vació en una base de datos para los fines de cómputo y análisis de este trabajo.

Con base en los 421 sitios conflictivos considerados, la Tabla 1 sintetiza los tipos de mejora implementados en cada tipo de sitio conflictivo.

Utilizando las estadísticas de accidentes, los costos de implementación de las medidas de seguridad, los valores estadísticos de la vida y del lesionado, se calcularon tanto el CCE como la TRPA para cada sitio. Por restricciones de información disponible, ambos índices anteriores fueron calculados para estimar el efecto en el año posterior a la puesta de operación de la medida.

La Tabla 2 muestra las diez medidas de seguridad más efectivas desde el punto de vista del Análisis Costo-Efectividad. En

Tabla 1
Distribución de frecuencias de tipos de mejora por tipos de sitios conflictivos

Tipo de sitio conflictivo \ Tipo de mejora	Curva	Tramo	Entronque	Punto	Retorno	Acceso	Cruce a nivel	Otros
Señalamiento	59	33	15	5	3	2	2	5
Entronque	1	2	36	0	0	0	0	1
Superficie de rodamiento	6	0	0	0	0	0	0	1
Alineamiento	7	1	0	0	0	0	0	0
Curvas	56	0	0	0	0	0	0	0
Combinación de las anteriores	55	44	17	1	4	1	3	61
Total	184	80	68	6	7	3	5	68

este estudio, el Cociente Costo-Efectividad (CCE) se calculó como el cociente entre la reducción de muertos como resultado de la implementación de la medida, y el costo de implementación de la medida en millones de pesos. Los valores mostrados representan el promedio de los mayores CCE por tipo de medida. Cabe señalar, que dicho indicador de efectividad resulta ser no sólo el más importante sino el más confiable, dadas las estadísticas disponibles. Se observa que el “Señalamiento” resultó ser la medida de seguridad más efectiva con una reducción de alrededor de 150 muertes por cada millón de pesos invertidos, superando en más de 150% a la medida que le siguió en efectividad: “Reductores de velocidad y señalamiento”. De hecho, algunas de las medidas más efectivas son a su vez una combinación de medidas de seguridad, en donde el señalamiento forma parte de esa combinación.

Tabla 2

Jerarquización de medidas de seguridad en función de su Costo-Efectividad

No.	Propuesta de solución	Costo-Efectividad
1	Señalamiento	149.90
2	Reductores de velocidad y señalamiento	58.96
3	Restricción de accesos directos de vías secundarias	47.95
4	Sobreelevación y ampliación en curva	35.48
5	Señalamiento y modificación de acceso en retorno	33.76
6	Semaforización y señalamiento	32.51
7	Colocación de defensas laterales y señalamiento	22.93
8	Mejoramiento del alineamiento	18.19
9	Modernización de entronque	14.52
10	Mejoramiento de la superficie de rodamiento y del señalamiento	12.41

Tabla 3

Jerarquización de medidas de seguridad en función de su Costo-Beneficio

No.	Propuesta de solución	TRPA
1	Señalamiento	606.34
2	Restricción de accesos directos de vías secundarias	245.28
3	Señalamiento y modificación de acceso en retorno	235.28
4	Reductores de velocidad y señalamiento	146.88
5	Sobreelevación y ampliación en curva	127.70
6	Colocación de defensas laterales y señalamiento	106.30
7	Dispositivos de defensas laterales y señalamiento	89.34
8	Mejoramiento de la superficie de rodamiento y del señalamiento	84.25
9	Modernización de entronque	59.46
10	Mejoramiento del alineamiento	58.49

Asimismo, la Tabla 3 muestra las diez medidas de seguridad más eficientes desde el punto de vista económico, es decir empleando el Análisis Costo-Beneficio. En este caso, el indicador utilizado es la tasa de retorno del primer año (TRPA) que, como se señaló anteriormente, se define como el cociente entre la reducción en el costo de los accidentes en el primer año de operación de la medida (beneficios) y su costo de implementación. Los valores mostrados representan el promedio de los casos que presentan la mayor TRPA por tipo de medida. Al igual que en caso del ACE, se observa que el “Señalamiento” resultó ser la medida de seguridad más eficiente, superando en más de 150% a las medidas que le siguieron en eficiencia: “Restricción de accesos directos de vías secundarias” y “Señalamiento y modificación de acceso en retornos”. También se observa que algunas de las medidas más rentables son a su vez una combinación de medidas de seguridad, en donde el señalamiento forma parte de esa combinación.

Conclusiones y recomendaciones

Los dos métodos principales para evaluar medidas de seguridad vial son el Análisis Costo-Efectividad (ACE) y el Análisis Costo-Beneficio (ACB).

A partir de las estimaciones del CCE y TRPA para los 421 casos considerados, el tipo de mejora denominado "Señalamiento" (mejoramiento o colocación de señalamiento) resultó ser el más eficiente (con mayor CCE), así como también el más rentable (con mayor TRPA).

Asimismo, los tipos de mejoras que resultaron más efectivos para la reducción de muertes en accidentes fueron, además del "Señalamiento", los "Reductores de Velocidad complementados con Señalamiento" y la "Restricción de accesos directos de vías secundarias".

Para el caso de las medidas de seguridad que resultaron más rentables desde el punto de vista económico fueron, además del "Señalamiento", la "Restricción de accesos directos de vías secundarias" y la "Modificación de acceso en retornos complementados con Señalamiento".

Con el fin de mejorar la evaluación de la efectividad y rentabilidad de las medidas de seguridad implementadas en las Carreteras Federales de México, se recomienda ampliar el período del estudio de "antes y después" de la implementación. En este caso se utilizó un año porque éste es el período que utilizan la DGST y la DGCC. Sin embargo, para mejorar la confiabilidad en la estimación del efecto de la mejora, en la bibliografía se recomienda utilizar los saldos de 3 a 5 años antes y de 3 a 5 años después (Referencia 8).

Otra recomendación importante es el incluir en la base de datos las medidas de seguridad implementadas en las autopistas de cuota de México.

Referencias

1. World Health Statistics, 2008. <http://www.who.int/en/>.
2. Secretaria de Comunicaciones y Transportes. Segundo Informe de Labores 2008. <http://portal.sct.gob.mx/>
3. Road Safety and Environmental Benefit-Cost and Cost-Effectiveness Analysis for Use in Decision-Making. Barriers to the use of efficiency assessment tools in road safety policy. Road Safety and Environmental Benefit-Cost and Cost-Effectiveness Analysis for Use in Decision-Making. ROSEBUD, Funded by the European Comisión, Mayo 2004.
4. Road Safety and Environmental Benefit-Cost and Cost-Effectiveness Analysis for Use in Decision-Making. Recommendations. ROSEBUD, Funded by the European Comisión, Diciembre 2005.
5. Ogden, K. W. 1996. Safer roads: a guide to road safety engineering. Avebury Technical.
6. McMahon, K. and S. Dahdah, 2008. The True Cost of Road Crashes, Valuing Life and the Cost of Serious Injury. International Road Assessment Programme.
7. Giles M. 2003. The Cost of Road Crashes: A Comparison of Methods and Recent Australian Estimates. Journal of Transport Economics and Policy. Volume 37, Part 1, January 2003, pp. 95-110
8. Nicholson, A.J. 1987. The estimation of accident rates and counter measure effectiveness. Traffic Engineering and Control 28(9): 518-523.

RIVERA César
crivera@imt.mx
MENDOZA Alberto
mendoza@imt.mx

SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE VEHÍCULOS. USO DE PROGRAMAS DE MODELACIÓN

Introducción

La comprensión de la interacción entre los distintos factores que componen el sistema de transporte, el vehículo, el conductor, la infraestructura y el entorno, incide directamente en la seguridad vial. El conocimiento adecuado de la interrelación de estos factores da lugar a una correcta operación de un vehículo, preparando o anticipando acciones que permitan mantener la seguridad durante su tránsito.

La conducción implica una armonía entre conductor y vehículo, compatible con la infraestructura y el entorno que envuelve el espacio de conducción. El vehículo es un sistema complejo cuyo comportamiento resulta de la correspondencia mecánica entre sus diversos componentes, dispositivos y sistemas. No obstante, de manera frecuente el usuario común desconoce las características de ese comportamiento, promoviendo mayores riesgos durante su tránsito.

Las acciones de avance, detención y control direccional, son habitualmente dependientes del conductor. Éste considera su percepción del medio y la interacción del vehículo con la infraestructura. El usuario con conocimiento técnico toma ventaja de las capacidades del vehículo para reaccionar debidamente y decidir la maniobra necesaria y su ejecución. La determinación de las capacidades del vehículo requiere de una evaluación detallada de su comportamiento, tanto estático como dinámico. No obstante, es común que las propiedades estáticas de los vehículos sean extrapoladas hacia las dinámicas, introduciendo diferencias que pueden resultar en comportamientos inesperados, [1].

Para facilitar las tareas de evaluación del desempeño mecánico de los vehículos, se han desarrollado diversos programas computacionales especializados en la simulación del comportamiento y la respuesta dinámica. Aunque concebidos académicamente, la evolución de sus algoritmos y su apego al comportamiento real de vehículos con base en la validación experimental extensa, ha dado lugar a su utilización comercial. Aquí se describen las generalidades de un programa comercial de simulación de ese tipo, utilizado en estudios de dinámica vehicular en el Instituto Mexicano del Transporte. Aunque estos programas no sustituyen la experimentación, son un medio complementario a los procesos de análisis del comportamiento de los vehículos durante su movimiento, especialmente los utilizados para el transporte de carga pesada.

Inicios de la modelación de vehículos

Desde la construcción del primer vehículo autopropulsado en 1769, se han ideado diversas formas para analizar su comportamiento y, con ello, obtener las mayores ventajas de su uso. No obstante, los estudios formales se dieron a inicios del siglo pasado, los cuales fueron gradualmente detallados a medida que se desarrollaban nuevas técnicas de análisis para los distintos componentes, principalmente la dirección, la fuente de potencia y las llantas neumáticas, [2].

El desarrollo de los vehículos de carretera ha tenido su auge en las últimas décadas, favorecidas por las innovaciones obtenidas de los desarrollos tecnológicos. Aunque los

automóviles de pasajeros han reflejado de manera preponderante la evolución en ese campo, los vehículos pesados han facilitado enormemente el movimiento de grandes cantidades de carga, con mayor evidencia a partir de la década de los 80's, [3].

La importancia que tomaron los vehículos de carga pesada y sus efectos debidos al movimiento, resaltaron la preocupación por incrementar los niveles de seguridad durante su tránsito por carretera. Este propósito dio origen al interés de evaluar de manera precisa el desempeño de vehículos pesados, dándose los primeros intentos por la Asociación de Transporte Carretero de Canadá en 1984, quien patrocinó el Estudio Canadiense de Pesos y Dimensiones de Vehículos, [4]. De resultados de pruebas experimentales y del apoyo de la simulación por computadora, se propusieron en ese país bases técnicas para una reforma regulatoria de pesos y dimensiones de ese tipo de vehículos.

Posteriormente, extendiendo los alcances de estudios similares, el University of Michigan Transportation Research Institute (UMTRI) propuso un conjunto de medidas de desempeño que guiaran el desarrollo de evaluaciones y regulaciones de diversas configuraciones vehiculares de carga pesada. Estas medidas se fundamentaron en la evaluación precisa de la estabilidad vehicular, la tendencia a la volcadura y la respuesta direccional, como parte del comportamiento dinámico de vehículos, [4].

Los estudios realizados en ese entonces, fueron sustentados con un modelo de simulación denominado "Yaw-Roll", cuyo programa computacional de referencia fue desarrollado por el UMTRI. El modelo de simulación teórico-numérico del comportamiento dinámico de vehículos pesados supone que el vehículo se desplaza a una velocidad de avance constante,

cuyas ecuaciones se resuelven en el dominio del tiempo, [5]. Esencialmente, este modelo es utilizado para analizar combinadamente la respuesta de coleo y balanceo de vehículos unitarios y multiarticulados, durante maniobras de conducción en condiciones dinámicas que se aproximan al límite de volcadura.

El modelo de simulación "Yaw-Roll" ha conformado la base de otros programas de simulación, cuyas características resultantes involucran capacidades de visualización adicionales. Así mismo, programas comerciales presentan a mayor detalle las características y propiedades físicas de los vehículos pesados, del conductor, de la infraestructura y del entorno físico. Las sofisticaciones de estos desarrollos incluyen la modelación de otros tipos de vehículos de carretera, como autobuses, automóviles y motocicletas, así como sistemas avanzados de control direccional y la interacción entre ellos, como en el caso de colisiones.

El programa de simulación TruckSim®

TruckSim® se constituye como una herramienta computacional para analizar el comportamiento dinámico de camiones medianos y pesados, así como de autobuses y combinaciones vehiculares articuladas de carga, [6]. En términos generales, el programa muestra cómo responde dinámicamente un vehículo ante entradas provenientes del conductor y del entorno inmediato. En su lanzamiento al mercado en la década de los 90's, el TruckSim® fue identificado como el primer paquete de software que combinaba modelos dinámicos de vehículos pesados altamente detallados, con una moderna interfase gráfica.

El programa se compone de cuatro elementos básicos principales, indicados en la Figura 1. Estos componentes son la interfaz gráfica,

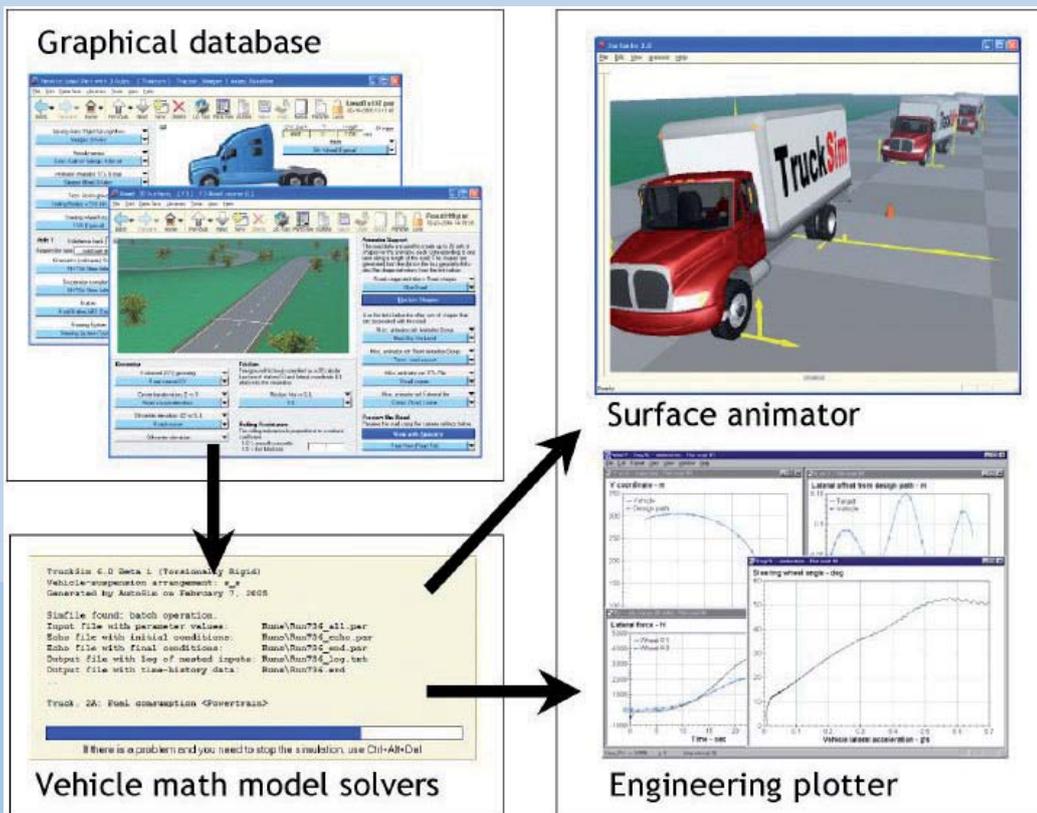


Figura 1
Componentes principales del TruckSim®, [6]

el modelo matemático y su solución, la visualización animada y el despliegue técnico de resultados.

El primer componente es una interfaz que administra una amplia base de datos del modelo. Esta base de datos permite visualizar la relación entre cada uno de los parámetros introducidos y su ubicación física en el complejo sistema mecánico del vehículo. Permite también la definición de las características del entorno, como la carretera, los parámetros de operación del vehículo y la simulación, en su caso, de algunas acciones del conductor traducidas a efectos geométricos o mecánicos.

El segundo componente vincula la base de datos con el modelo matemático del vehículo

elegido y resuelve numéricamente las ecuaciones matemáticas correspondientes. A partir de la solución, genera los datos necesarios para que pueda ser ejecutada la animación visual a través del tercer componente, o la presentación gráfica de los resultados con el cuarto componente. Para la animación visual los datos son exportados al programa SurfAnim, mientras que la generación de resultados gráficos se realiza a través del programa WinEP, [6, 7].

Estos cuatro componentes son controlados por medio de la pantalla principal, mostrada en la Figura 2. Esta pantalla indica gráficamente el acceso a cada uno de los elementos del programa, incluyendo el acceso a parámetros de control de la corrida de simulación.

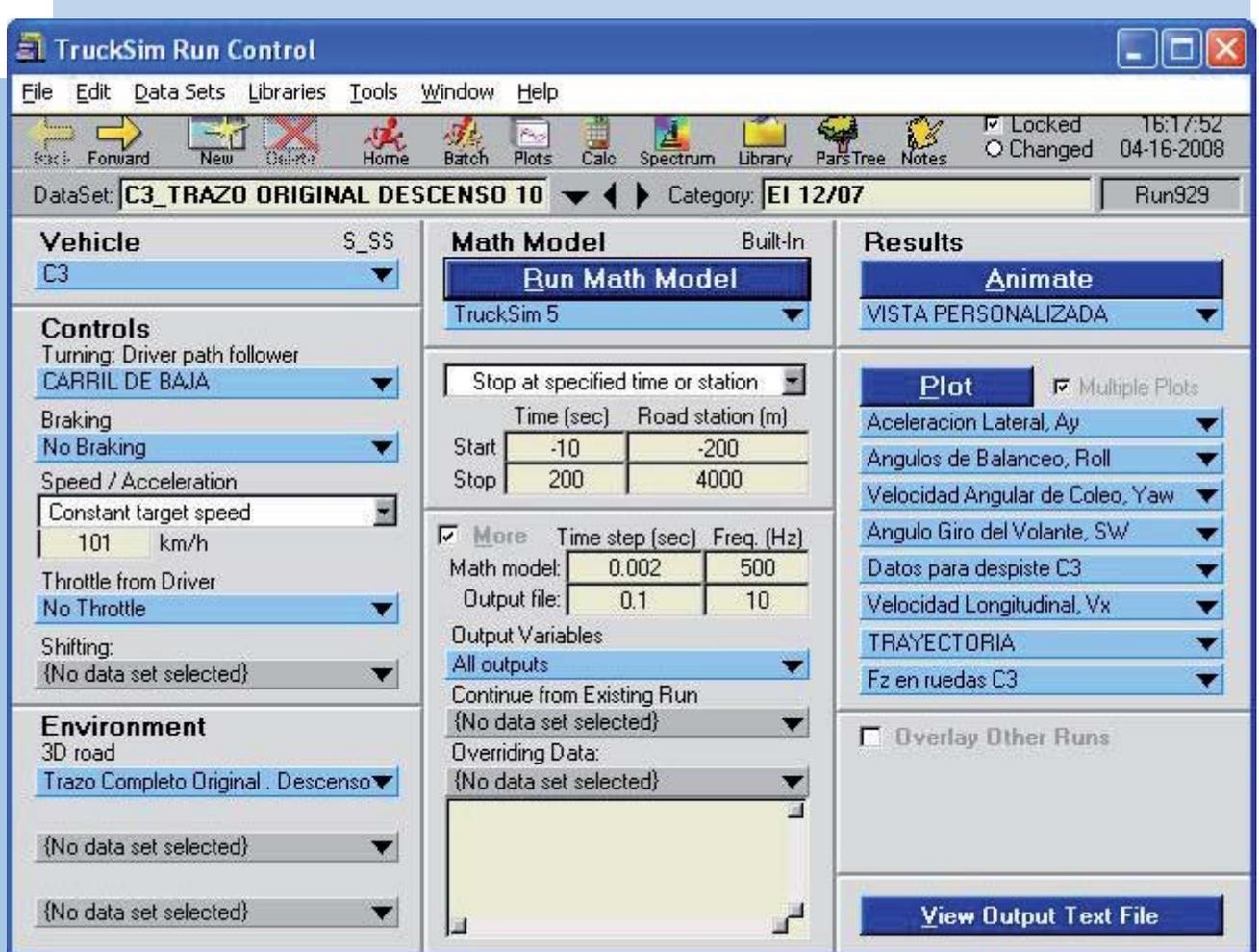


Figura 2
Despliegue de la pantalla de control del TruckSim®

Para el proceso de modelación, el programa requiere de la introducción estructurada de parámetros asociados al vehículo, a la carretera y algunos aspectos del entorno. Estos parámetros se obtienen de las propiedades preponderantemente geométricas y mecánicas de los diferentes sistemas, que emulan las condiciones de la simulación.

La introducción de dimensiones y propiedades se realiza de acuerdo a cada componente que participa en la definición del comportamiento del vehículo, desplegado en ventanas interactivas, como se muestra en la Figura 3. Propiedades con características variables pueden ser introducidas de manera tabular.

De manera similar, la geometría y propiedades de la superficie del camino se introducen en ventanas como las mostradas en la Figura 4.

Una vez integrados todos los parámetros del modelo y de la simulación, se ejecuta la corrida, resultando cientos de variables emitidas como historias de tiempo, útiles para análisis, inspección y animación. Particularmente útiles son las historias de variables como aceleración y fuerzas, como se ejemplifica en la Figura 5.

Aunque sobre el modelo del vehículo representado se tienen puntos específicos para registrar las variables resultantes del

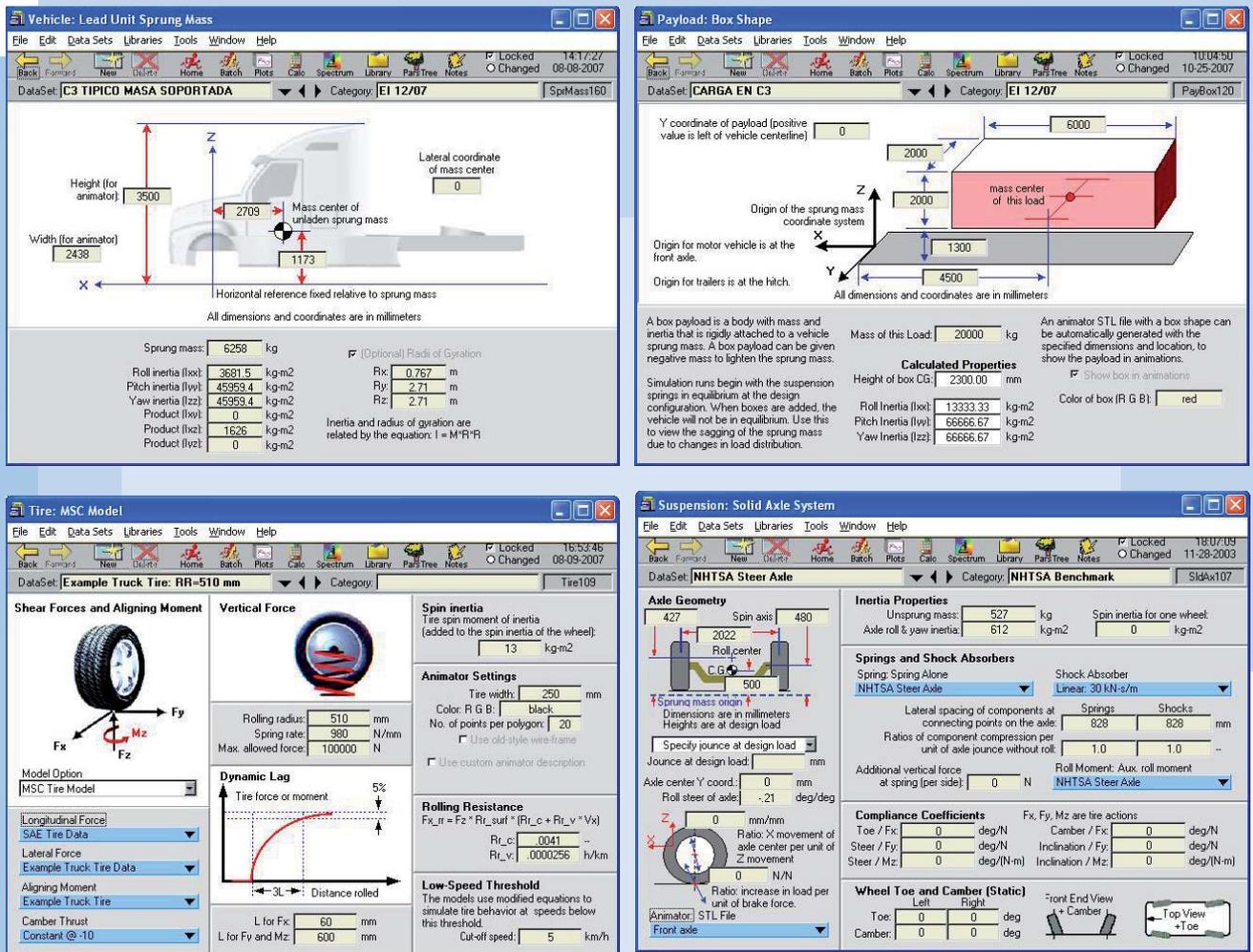


Figura 3
Ejemplo de introducción de valores de parámetros al modelo de simulación

movimiento, la simulación en el programa permite definir puntos particulares de interés. Esto significa que algunas variables pueden ser adaptadas para indicar el mismo tipo de salidas que se obtendrían por instrumentos y sensores durante el desarrollo de pruebas experimentales en un vehículo real instrumentado, [7]. Esta modalidad facilita la comparación y validación de las simulaciones respecto a la ejecución de pruebas reales, minimizando los errores atribuibles al cambio de puntos de referencia entre modelo y vehículo de prueba.

Consideraciones

El conocimiento y entendimiento de la forma en que los vehículos se comportan y responden de acuerdo a sus capacidades durante su operación, es vital para utilizarlos de manera adecuada. El uso apropiado e integrado al resto de los elementos de un sistema de transporte, redundará en un tránsito más seguro. Tanto las labores experimentales como de simulación son necesarias para alcanzar ese conocimiento.

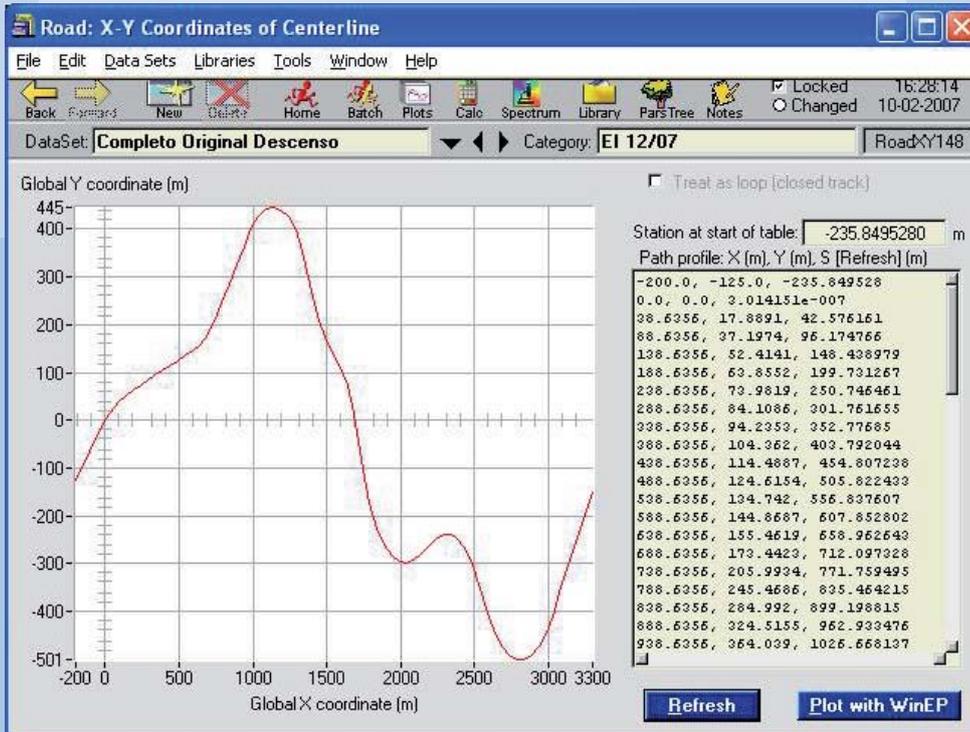
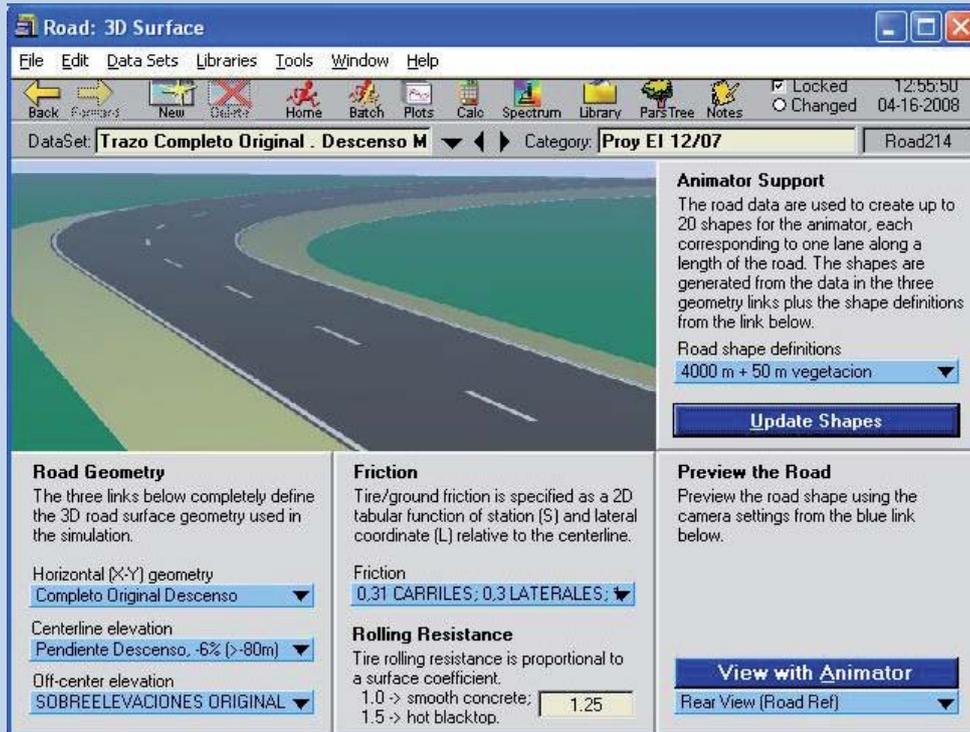


Figura 4
Ventanas relativas a las características del camino

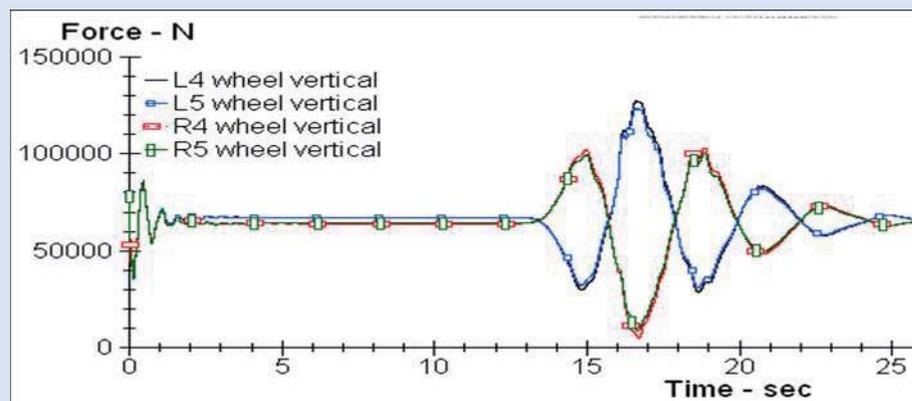
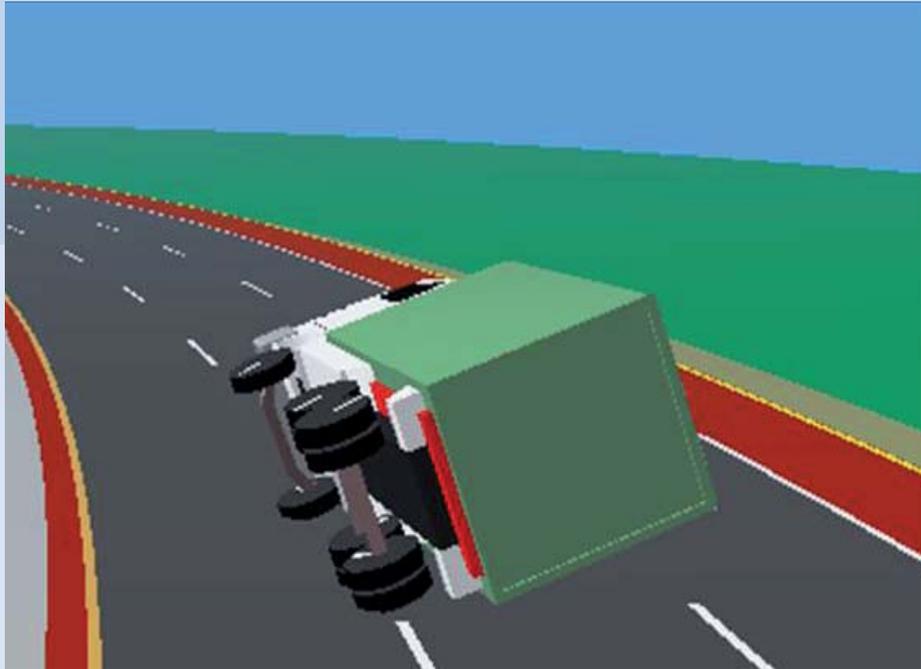


Figura 5

Ejemplo de la visualización de la simulación y de resultados gráficos

Aunque los programas de simulación cuentan con bases de datos básicos de geometrías y propiedades de algunos vehículos típicos, la diversidad de vehículos de transporte requiere que se introduzcan datos fidedignos asociados al tipo de vehículo bajo análisis. Para mayor congruencia del comportamiento real con el simulado y de acuerdo a los alcances de un estudio, es necesario realizar mediciones experimentales de sistemas y componentes principales en laboratorio y/o en campo, que representen las particularidades individuales del vehículo estudiado, cuyas desviaciones

y errores puedan ser minimizados al usar el modelo correspondiente.

Como sucede a menudo con la aplicación de modelos de simulación teórico-numéricos, es posible ejecutar corridas de simulación de vehículos bajo condiciones de prueba que serían difíciles y costosas de llevar a cabo en un experimento a escala real. Permite, en este sentido, extender los alcances de análisis complementando con la simulación maniobras y acciones de alto riesgo que demandarían y excederían las capacidades mecánicas y de respuesta del vehículo de prueba.

Referencias

1. Fabela Gallegos, M. J.; Vázquez Vega, D.; Hernández Guzmán, A.; Hernández Jiménez, J. R.; Orozco Orozco, P. R. "Comportamiento dinámico de vehículos terrestres". Artículo 3, Boletín Notas No. 62. Instituto Mexicano del Transporte. Sanfandila, Qro. Enero-Febrero 2002.
2. Gillespie, T. D. "Fundamentals of Vehicle Dynamics". Society of Automotive Engineers, Inc. Warrendale, PA, USA. 1992.
3. Fitch, J. W. "Motor Truck Engineering Handbook". 4th Edition, ISBN 1-56091-378-9, Society of Automotive Engineers, Inc. MA, USA. 1994.
4. El-Gindy, M. "An Overview of Performance Measures for Heavy Commercial Vehicles in North America", Int. J. Of Vehicle Design, 16, pp. 441-463, 1995.
5. Gillespie, T. D. and MacAdam, C. C. "Constant Velocity YAW/ROLL Program User's Manual", The University of Michigan Transportation Research Institute, U.S.A. October, 1982.
6. Mechanical Simulation. TruckSim Program. <http://www.carsim.com/products/trucksim>. Mechanical Simulation Corporation. Consultada en Marzo de 2009.
7. TruckSim. User Manual Update. Version 5.04. Mechanical Simulation Corporation. June 2003.

FABELA Manuel

mjfabela@imt.mx

VÁZQUEZ David

vazqvega@imt.mx

FLORES Oscar

oflores@imt.mx

HERNÁNDEZ Ricardo

jrhddez@imt.mx

GLOSARIO

A continuación se presentan las palabras clave con su descripción correspondiente, las cuales son contenidas respectivamente en los dos artículos técnicos presentados en este boletín:

Artículo 1:

Evaluación económica: Comparación de las ventajas y desventajas económicas de un proyecto, con objeto de emitir un juicio sobre la conveniencia de llevarlo a cabo en lugar de otros proyectos.

Medida de seguridad: Acción dirigida a mejorar la seguridad vial en un segmento carretero.

Carretera Mexicana: Adaptación de una faja sobre la superficie terrestre mexicana

para permitir el rodamiento adecuado de los vehículos.

Artículo 2:

Sistema de transporte: Sistema compuesto por los elementos vehículo, conductor, infraestructura y entorno.

Comportamiento dinámico: Conjunto de características que describen la forma en que un vehículo responde cuando está en movimiento, producto de la interacción mecánica de sus componentes ante acciones y perturbaciones externas.

Medida de desempeño: Indicador que cuantifica las propiedades dinámicas de un vehículo.

PROYECTOS EN MARCHA

Indicadores económicos para el servicio de autotransporte federal

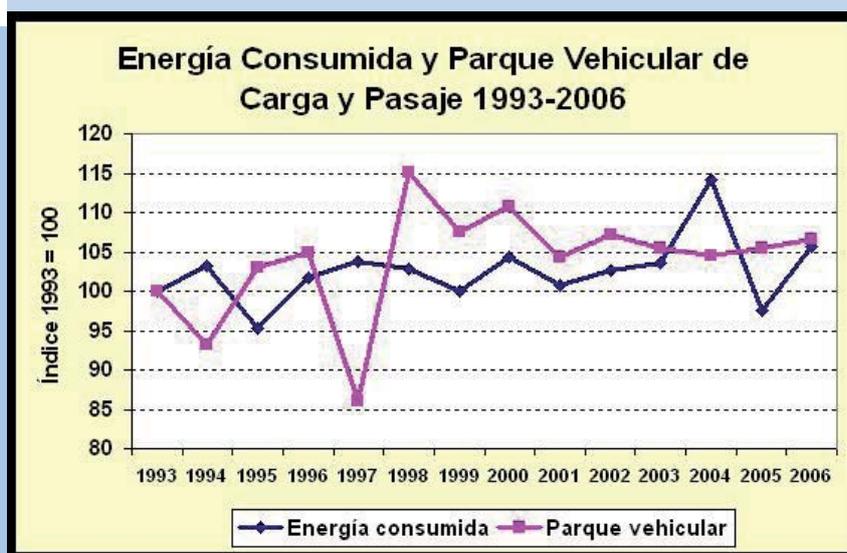
El autotransporte es el modo predominante en los movimientos de transporte en México, tanto en pasajeros como en carga, y sus impactos ambientales así como sus externalidades negativas como son los accidentes, el ruido y la congestión son de los más elevados de entre todos los modos.

Por otra parte, el papel central que tiene el autotransporte en la actividad económica le da un importante peso como factor de apoyo en la producción industrial, las industrias manufactureras y las industrias extractivas, y que es difícil reemplazar por otro modo en el corto plazo.

Esta dualidad, presente también en otros modos de transporte, plantea a los planificadores y a las autoridades involucradas en el fomento y

el control del autotransporte la necesidad de contar con indicadores de desempeño de este modo a fin de guiar las acciones de planeación y el diseño de medidas encaminadas a mejorar el autotransporte y a atenuar sus efectos negativos. Un ejemplo de índices que muestran aspectos del desempeño del autotransporte se ve en la siguiente figura, que muestra las variaciones porcentuales en los consumos de energía y en el tamaño de la flota vehicular del autotransporte tanto de pasajeros como de carga entre 1993 y 2006.

Dentro de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, la entidad con vocación natural para abordar la problemática del autotransporte es la Dirección General de Autotransporte Federal (DGAF), quien se ha interesado en el tema de indicadores del autotransporte y ha



establecido contacto con el Instituto Mexicano del Transporte a fin de elaborar un estudio al respecto.

Dada la magnitud de la problemática general del autotransporte, al considerar tanto el movimiento de pasajeros como el de carga, se decidió que el estudio de indicadores se iniciará en una primera etapa enfocándose al autotransporte de carga.

Para la DGAF, el contar con un conjunto de indicadores económicos del autotransporte de carga, le permitirá tener un panorama más objetivo de este subsector, a la vez que le dará elementos de apoyo para sus procesos de planeación y también para el diseño, la implantación y el seguimiento de medidas de control que lleven a mejorar el desempeño del autotransporte y a atenuar sus impactos no deseados.

Adicionalmente, la experiencia que se obtenga en el uso y seguimiento de los indicadores económicos, le dará a la DGAF la oportunidad de difundir información del comportamiento y el desempeño del autotransporte entre los interesados en este subsector. De esta manera, la DGAF podrá contribuir a orientar a los usuarios, a los inversionistas, a los fabricantes de vehículos y en general a los actores involucrados en el autotransporte, a tomar mejores decisiones para el uso del servicio, para ofrecer insumos y servicios a este subsector, para la negociación de tarifas, para aumentar la eficiencia de las cadenas de suministro y para otras oportunidades de negocio y/o de mejora de la actividad, a la luz de la información de estos indicadores.

MORENO Eric
emoreno@imt.mx

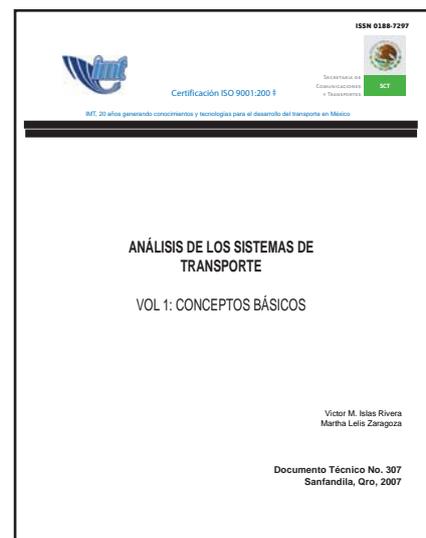
PUBLICACIÓN

Análisis de los sistemas de transporte Vol. 1: Conceptos básicos

En la **PUBLICACIÓN TÉCNICA 307** se desea aportar al lector algunas de las definiciones y conocimientos básicos sobre los sistemas de transportación, su clasificación, atributos, composición e interacción con su medio ambiente.

Este es el primer reporte de una serie de documentos con los que se espera se puedan tener elementos sobre un esquema general sobre la clasificación, desarrollo y planificación de los sistemas de transportación en México.

Se puede consultar de forma gratuita en la página del Instituto: <http://imt.mx/Espanol/Publicaciones/pubtec/pt307.pdf>



EVENTOS ACADÉMICOS

Seguridad en carreteras: El factor humano y su influencia en la ocurrencia de accidentes en carreteras

Este curso internacional fue llevado a cabo del 28 de julio al 1° de agosto del 2008, en las instalaciones del IMT en Sanfandila, Querétaro. La coordinación académica del curso estuvo a cargo del M en I Emilio Mayoral Grajeda.

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 para 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, así como para estudiantes y académicos interesados en este tema.

El curso se diseñó para profesionistas técnicos, autoridades y operadores del sector transporte, tanto público como privado, involucrados en la prevención de accidentes ocasionados por factores relacionados con la conducta humana, así como para estudiantes y académicos interesados en este tema.

Tuvo una asistencia de 35 participantes, de los cuales varios provinieron de la Dirección General de medicina preventiva-SCT, Dirección General de tránsito y transporte, Dirección General de conservación de carreteras-SCT, Dirección General de conservación de carreteras-SCT, CAPUFE, diferentes centros SCT como Zacatecas, Estado de México, Morelos, Guerrero, Sonora, Veracruz, Jalisco,

Guanajuato, Chihuahua, Chiapas, San Luis Potosí, Gobierno del Estado de Aguascalientes, Guanajuato, San Luis Potosí, Grupo Estrella Blanca S.A. de C.V., Construcciones y terracerías S.A. de C.V., Universidad Marista de Querétaro, Bufete de valuación inmobiliaria y construcción, Cal y Mayor y Asociados S.C., Gómez constructores S.A. de C.V., Bufete de valuación inmobiliaria y construcción; y Transporte Binampak.

Las ponencias estuvieron a cargo de los investigadores de la Coordinación de Seguridad y Operación del Transporte del IMT; y del Dr. Francisco Toledo procedente de la Universidad de Valencia, España.

Algunos de los temas a tratar fueron:

El factor humano:

- Accidentalidad y seguridad
- Procesos psicológicos básicos
- Factores de riesgo
- Intervención y supervisión

Gestión del factor humano:

- Entrevista y apoyo
- Habilidades sociales
- Estrategias de comunicación y persuasión en el aula

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

M. en I. Ramón Cervantes Beltrán
Coordinador de Ingeniería Estructural Formación Profesional y Telemática
 (55) 55 98 56 10 ext. 4324
 ramon.cervantes@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**