

PARTICIPACIÓN DEL FERROCARRIL EN EL MOVIMIENTO DE CARGA DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

Introducción

Dentro de los diferentes análisis que con relación a la carga ferroviaria se han realizado en la Coordinación de Integración del Transporte del Instituto Mexicano del Transporte, se encuentra el estudio: "Participación del ferrocarril en el movimiento nacional e internacional de la industria automotriz, 2011" elaborado para la Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal (DGTFM) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

El estudio se centra en el análisis de la matriz origen – destino de la carga de vehículos terminados de 2011, construida a partir de la estadística ferroviaria proporcionada por la propia DGTFM.

La industria automotriz en México

Dada la importancia de la industria automotriz, tanto a nivel internacional, como para México, es conveniente destacar algunas de sus características actuales. De acuerdo con la Organización Internacional de Fabricantes de Vehículos, si se comparara la producción mundial de automóviles con las economías nacionales, ésta ocuparía la sexta posición entre las economías del mundo, y además destaca, que por cada empleo generado en la fabricación de vehículos, crea en promedio cinco empleos indirectos. Por su parte, la Secretaría de Economía del país reconoce que la industria automotriz se vincula con 33 ramas productivas, 30 de ellas manufactureras.

En el segmento de las armadoras, la participación del país ha estado desde su origen, 1925, orientado a la exportación, vocación que se acentuó en la década de los 80's cuando por decreto se redujo el porcentaje del contenido local y se desgravó la importación de los componentes. Para 1989, los vehículos fabricados en México debían tener un contenido de autopartes nacionales equivalente a 36 % del costo de producción. (Romero, 2011).

El eslabón de autopartes, es atendido en México por alrededor de 1,500 fabricantes, 80% de los cuales son empresas internacionales clasificadas como empresas de alcance global. Según Romero (2011) "El hecho de que las filiales de 89% de las proveedoras globales más importantes de autopartes de primer

CONTENIDO

PARTICIPACIÓN DEL FERROCARRIL EN EL MOVIMIENTO DE CARGA DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ	1
TECNOLOGÍAS PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA	9
EL MAR DE FONDO EN LAS COSTAS DE MÉXICO	18
GLOSARIO	25
PROYECTOS EN MARCHA	26
PUBLICACIÓN	27
EVENTOS ACADÉMICOS	27

nivel (Tier 1), estén instaladas en el país, representa un reto importante para desarrollar una industria local de autopartes competitiva globalmente” (Romero, 2011), ya que son justamente los fabricantes locales, quienes promueven la compra de insumos locales e invitan a sus colegas de los niveles inferiores a integrarse a la cadena de valor. Actualmente, dada las características mencionadas, se calcula que alrededor del 55 % del valor del automóvil ligero ensamblado en el país es importado.

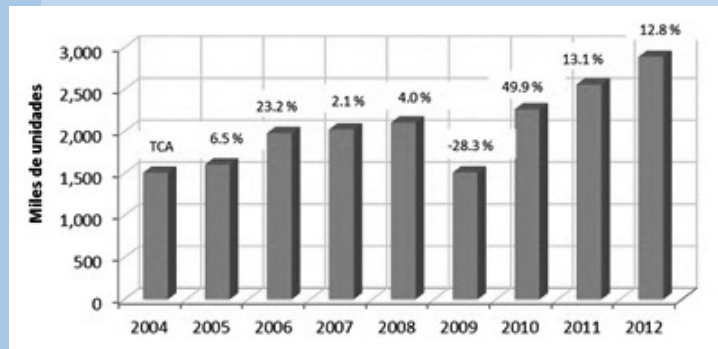
La parte final de la cadena de suministro de la industria automotriz, la que corresponde a la venta de refacciones, accesorios y servicios para los autos, es identificada por los especialistas como un nicho de oportunidad para los fabricantes mexicanos de piezas, equipos y repuestos, el cual además es un generador importante de empleo.

Otra característica de la industria automotriz mexicana ligada a su vocación exportadora, es su dependencia del mercado estadounidense y, por tanto, la diversificación de mercados representa un reto para no depender excesivamente de las circunstancias de la economía del país vecino, particularmente cuando más del 50 % de la producción de autos corresponde a las firmas General Motors, Ford y Chrysler y cuyas repercusiones directas de la crisis de 2008 – 2009, ya se sintieron en la industria automotriz localizada en el país.

Si bien esta industria se ha beneficiado del traslado de operaciones de las armadoras automotrices al país y de la ampliación de la capacidad de sus plantas en éste, tendrá que enfocarse, como ocurre en Canadá y otros países productores, en la creación de capacidades locales tecnológicas y de innovación, apoyadas por la inversión y coordinación entre el gobierno, las grandes empresas de autopartes y los centros de investigación.

El análisis de Romero, 2011, expone entre sus conclusiones que en México el destino de la industria automotriz está en manos de las armadoras, que la tarea entonces, del gobierno, asociaciones automotrices y otros agentes involucrados en el sector, es el de asegurar que el país continúe siendo atractivo para la inversión, lo cual implica mejorar la logística, punto en el que el ferrocarril tiene un papel importante¹, trabajar para facilitar el comercio y homologar las capacidades de la fuerza laboral, además de seguir ampliando el acceso a mercados internacionales para consolidar a México como una plataforma de exportación. Por otra parte, el citado análisis sugiere la necesidad de fortalecer el mercado nacional ante la incertidumbre de crecimiento económico de las economías industrializadas, caso del principal socio comercial del país, hacia el que México dirige 70% de la exportación de vehículos terminados y 90 % de las autopartes.

Gráfica 1
Producción anual de vehículos



Fuente: Elaborado con datos de PwC Mexico (Mayo 2013). Doing Business in Mexico. Automotive Industry.

¹El presidente de la AMF, señaló que el asentamiento de las nuevas plantas armadoras en el país ha sido concebido con base en la red de cobertura del ferrocarril. El servicio ferroviario está íntimamente ligado a la logística de la industria automotriz, tanto en su proveeduría como en la exportación de las unidades terminadas. T21mx (29/02/2014). <http://t21.com.mx/ferroviario/2014/01/29/general-motors-inicia-operaciones-nueva-espuela-ferrocarril-slp>

Desde la firma del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), la producción anual de vehículos ha ido en aumento, con excepción de 2009, año en que la crisis económica causó estragos en todos los sectores productivos y donde en consecuencia el crecimiento anual registró un porcentaje negativo (gráfica 1).

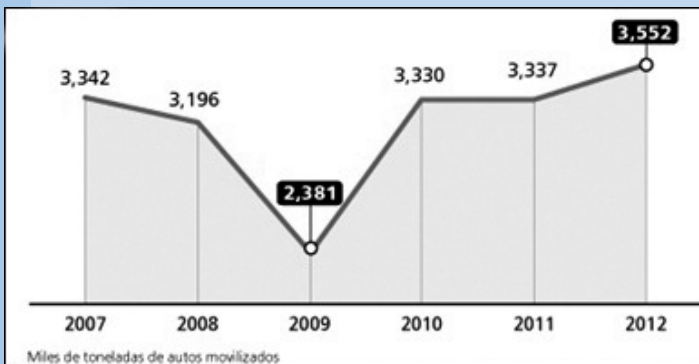
Debido a la crisis económica, el transporte ferroviario de vehículos terminados, disminuyó, como se observa en la gráfica 2, para aumentar después de 2009 cerca de 50 % al término de 2012.

El aumento en la producción de vehículos ha colocado a México entre los diez principales productores del mundo (figura 1), debido a que es uno de los mercados más competitivos y abiertos, lo que le ha permitido elevar su capacidad exportadora de 28 % en 1990 a 75% en 2008.

De acuerdo con *ProMéxico*, el país participó en 2010 con cerca del 4 % de la producción mundial de automóviles, ocupando el segundo lugar en la producción de vehículos en América Latina y el noveno a nivel mundial. La industria automotriz contribuyó en ese año con 3 % del PIB nacional y participó con 23 % de las exportaciones del país, 80 % de la cuales tuvieron como destino Estados Unidos y 11 % se distribuyó por Latinoamérica.

Gráfica 2

Miles de toneladas de autos movilizados



Fuente: El Financiero en alianza con Bloomberg. (6/02/2014) <http://www.elfinanciero.com.mx/empresas/automotrices-marcan-ruta-de-proyectos-ferroviarios.html>



Fuente: : PwC Mexico (Mayo 2013). Doing Business in Mexico. Automotive Industry.

Figura 1

Principales países productores de automóviles en el mundo

Desde la perspectiva del patrón de localización de la industria automotriz se sabe que éste ha variado de acuerdo con la política económica seguida en diferentes etapas de la historia económica del país. A partir de la firma del TLCAN, la industria automotriz adoptó una nueva distribución espacial, las empresas armadoras se han concentrado en dos regiones: el norte y el centro-occidente y la industria de autopartes, si bien se distribuye a lo largo de todo el país, la zona norte y los clústeres alrededor de las armadoras, son las áreas principales de esa geografía productiva. (Carrillo, J. y García, H., 2009: 20). Por ejemplo, General Motors se trasladó de la Ciudad de México a Silao, Guanajuato y estableció nuevas plantas armadoras en Coahuila, Nuevo León y recientemente en San Luis Potosí, donde se siguió la estrategia de conformar clústeres automotrices, igual que en el Estado de México. (Villareal y Villegas, 2008: 4).

En este contexto de la industria automotriz, el transporte ferroviario tiene un papel fundamental, la Asociación Mexicana de Ferrocarriles (AMF) destaca al respecto: que entre las primeras peticiones de las armadoras se encuentra la de tener una conexión efectiva con el ferrocarril y una de las razones por las que México ha atraído inversión extranjera

y nacional, deriva de la integración de la infraestructura ferroviaria de México con la de Norteamérica. “Las empresas armadoras que han llegado a México y siguen llegando lo hacen porque hay un sistema ferroviario que les da eficiencia, competitividad, seguridad, tiempo y precio”².

Análisis de distribución de la carga ferroviaria de vehículos terminados

Considerando, sólo a manera de introducción el total de la carga asociada a la industria automotriz, es decir: vehículos terminados y autopartes, el volumen en toneladas en 2011, ascendió a 4,200,000 toneladas, equivalentes a 3.6 % de la carga total de dicho año, donde 88 % del tonelaje total movilizado por ferrocarril correspondió a vehículos terminados. A nivel de entidades, únicamente cinco de las que registran tonelajes de carga automotriz superiores a 100,000 toneladas, muestran movimientos de autopartes mayores a 15 % (gráfica 3). San Luis Potosí y Nuevo León son los únicos que tienen movimientos mayoritarios de autopartes.

De las 20 entidades que concentran los flujos ferroviarios de carga de vehículos terminados, sólo once registran volúmenes mayores a 100,000 toneladas, como lo expresa el mapa 1, en el que destacan con los mayores movimientos: Coahuila, Sonora y Tamaulipas. Las dos primeras como entidades de producción de la industria automotriz y puertos del comercio exterior a través de los nodos de Nogales y Piedras Negras, y la tercera por ser sede del paso ferroviario más activo del país (Nuevo Laredo) hacia los Estados Unidos.

En un segundo conjunto, se ubican los estados de Guanajuato, Veracruz, Estado de México y Tlaxcala, cuyos altos volúmenes

Figura 2

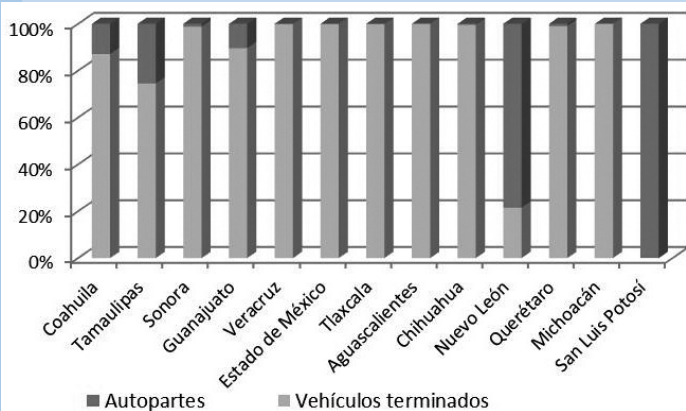
El ferrocarril participará en transporte de vehículos y autopartes, lo que favorecerá a la industria.



Fuente: El Financiero en alianza con Bloomberg. (6/02/2014) <http://www.elfinanciero.com.mx/empresas/automotrices-marcan-ruta-de-proyectos-ferroviarios.html>

² T21mx (29/02/2014). <http://t21.com.mx/ferroviario/2014/01/29/general-motors-inicia-operaciones-nueva-espuela-ferrocarril-slp>

Gráfica 3
Relación entre vehículos terminados y autopartes transportados por ferrocarril, 2011



Fuente: : Elaboración propia, con base en los datos 2011 de la Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, SCT.

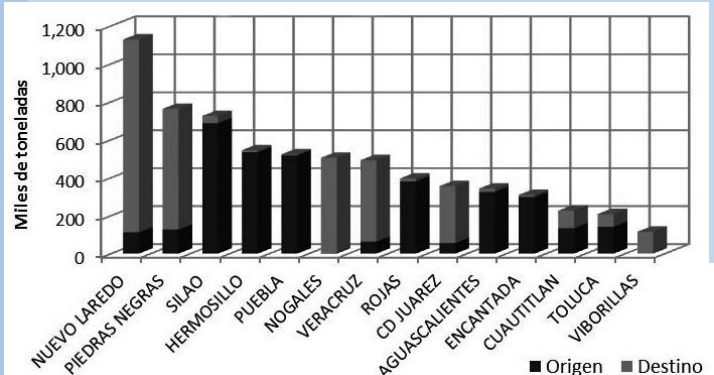
obedecen a la producción automotriz de Silao y Salamanca en Guanajuato; Toluca y Cuautitlán en Estado de México, y de la ciudad de Puebla, caso en el que la puerta de salida del transporte ferroviario de la planta armadora Volkswagen se sitúa en Panzacola, Tlaxcala. La participación de Veracruz obedece en cambio, a la importancia del puerto de Veracruz como punto de embarque de la carga internacional para la exportación y, en menor medida, importación de vehículos de las armadoras ubicadas en México. Ambos conjuntos de entidades, movilizan 83 % de la carga ferroviaria relativa a vehículos terminados.

Un tercer conjunto de entidades, está integrado por aquellas en las que el ferrocarril transporta volúmenes de vehículos automotores, de entre 100 mil y 500 mil toneladas, de ellas: Aguascalientes y Chihuahua responden a su función de producción, y ésta última además a la participación de Ciudad Juárez como nodo de comercio exterior. Michoacán debe su presencia en este grupo al papel del puerto de Lázaro Cárdenas y Querétaro, al movimiento que genera el gran centro de distribución nacional de General Motors.

A nivel de los centros donde se origina, recibe y registra la carga ferroviaria, es decir los nodos o estaciones, se observa que 14 de los 34 nodos de origen y 40 de destino, que presentan movimientos mayores a 100 mil toneladas, al menos en una de sus direcciones (recepción o emisión de la carga), concentran en conjunto: 89 % del volumen de vehículos terminados. Los tres principales movimientos, corresponden a Nuevo Laredo, Piedras Negras y Silao, cada uno con más de 700 mil toneladas cuya suma comprende 35 % del volumen total de este tipo de carga. En general, la gráfica 4 muestra los principales nodos fronterizos por donde se mueve el comercio exterior de vehiculos terminados, así como los principales nodos donde estan ubicadas las plantas armadoras del país.

Considerando sólo la función emisora de los nodos, el volumen de los flujos de carga de vehículos terminados, situa a las localidades de asiento de las principales plantas de la industria automotriz en los primeros sitios y su suma asciende a 81 % de la carga emitida (gráfica 5). Los volúmenes de vehículos automotores con origen en las principales puertas del comercio exterior de México indican que la importación de dichos bienes, vía ferrocarril, es inferior al 19%.

Gráfica 4
Nodos con movimientos de carga mayores a 100,000 toneladas



Fuente: Elaboración propia, con base en los datos 2011 de la Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, SCT.

La relación de mutua conveniencia entre la industria automotriz y el transporte ferroviario se observa de manera constante, un ejemplo, de como el crecimiento de la primera impulsa el desarrollo del subsector ferroviario de carga, es el anuncio de Ferromex acerca de que invertirá en la ampliación de su infraestructura a fin de responder al crecimiento del sector automotriz en los corredores de exportación Bajío - Piedras Negras y Bajío – Veracruz, pues espera que la demanda de transporte por esta vía crezca 19%, como consecuencia de la entrada en operación de la segunda planta de Nissan en Aguascalientes y de las plantas de Mazda y Honda en Guanajuato³.

De hecho esta empresa reconoce ya al sector automotriz como su segundo segmento de mercado después del granel agrícola.

Desde la función de recepción de la carga, gráfica 6, son los puertos de la frontera norte (Nuevo Laredo, Piedras Negras, Nogales y Ciudad Juárez) y Veracruz, quienes

concentran el 77.7 % de los vehículos terminados transportados por el ferrocarril⁴. Esto claramente corresponde con los puntys por donde pasa la vigorosa exportación de Vehículos de las armadoras ubicadas en México.

La atracción de la carga de vehículos terminados en el resto de los nodos que integran el sistema ferroviario nacional es de 22 % y de éste, alrededor del 10 % se centraliza, como lo expresa la gráfica 6, en los nodos donde se ubican las principales plantas armadoras de la industria automotriz.

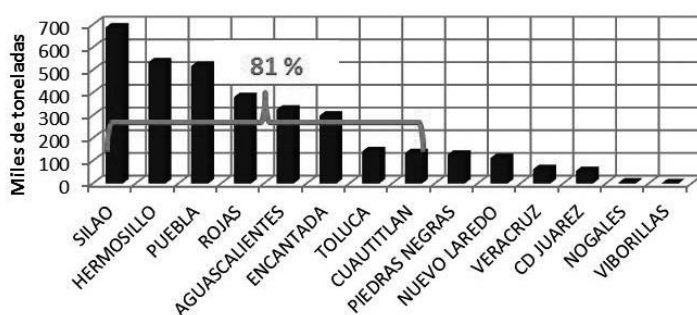
Les siguen los intercambios Aguascalientes – Piedras Negras; Silao – Ciudad Juárez y Panzacola – Nuevo Laredo, cuya distancia promedio es de 1,319 km, además del par Encantada – Piedras Negras con una distancia de 477 km pero con un volumen de 280 mil toneladas en 2011.

Salvo los pares Ciudad Industrial – Nogales; Encantada y Rojas con Piedras Negras y Nuevo Laredo y Veracruz – Panzacola, con un promedio de distancia de 380 km, el transporte ferroviario entre los principales flujos de este tipo de carga, comprende distancias mayores a 1,000 km.

En la porción de la matriz origen – destino correspondiente a los intercambios de más de 50 millones de t-km de vehículos terminados, destacan Silao como nodo de origen con los dos mayores flujos de intercambio y Nuevo Laredo como destino con el mayor número de intercambios de más de 50 millones de t-km.

De acuerdo con el proceso de asignación de la carga utilizado (empleando TransCAD), donde el principio de operación es definir los

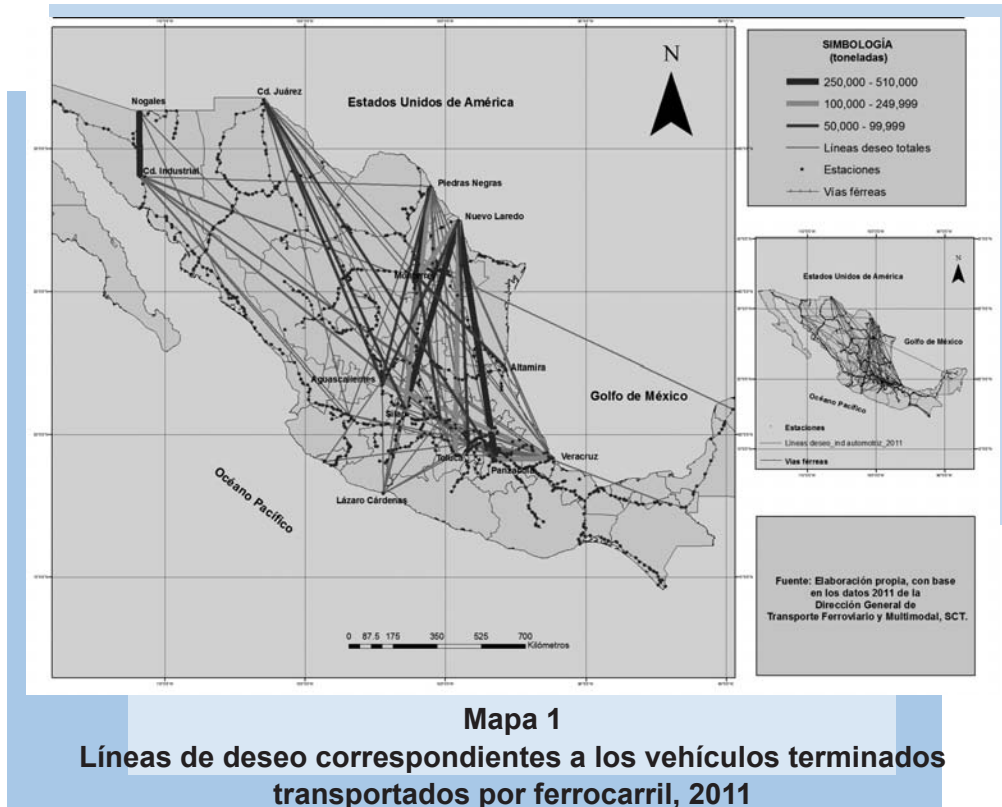
Gráfica 5
Principales nodos emisores de vehículos terminados transportados por ferrocarril



Fuente: Elaboración propia, con base en los datos 2011 de la Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, SCT.

³ T21mx (31/07/2013). <http://www.am.com.mx/leon/negocios/aceleran-armadoras-transporte-ferroviario-35847.html>

⁴ El subsecretario de Transporte de la SCT destacó en fecha reciente, que el ferrocarril fue un eslabón importante para que las exportaciones automotrices alcanzaran en 2013, su nivel más alto en la historia del país, 48 mil millones de dólares. T21mx (29/02/2014). <http://t21.com.mx/ferroviario/2014/01/29/general-motors-inicia-operaciones-nueva-espuela-ferrocarril-slp>



Mapa 1
Líneas de deseo correspondientes a los vehículos terminados transportados por ferrocarril, 2011

flujos a partir de la ruta más corta, la imagen obtenida, representa la distribución de la carga que generaron la producción, exportación - importación y distribución interna de vehículos terminados, transportados en 2011 a través de la red ferroviaria nacional.

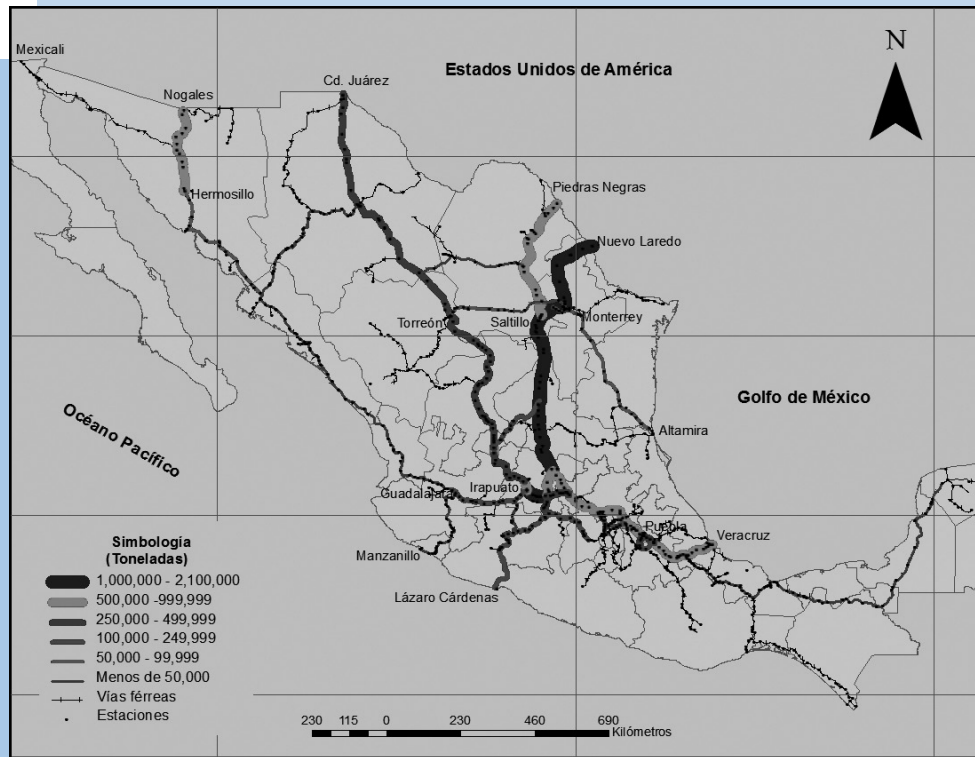
Los flujos de carga de vehículos terminados representados en el mapa 2, definen 2 corredores principales, el primero, con los mayores volúmenes de carga (entre uno y dos millones de toneladas anuales), formado por Nuevo Laredo - Monterrey – San Luis Potosí – norte de Guanajuato. Se trata del eje ferroviario más activo del sistema ferroviario del país. El segundo corredor con un volumen de carga de 500 mil a un millón de toneladas va del puerto de Veracruz a la gran aglomeración urbana del centro del país, representada por la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM).

La operación ferroviaria vinculada a la industria automotriz define, además de los corredores mencionados, cuatro segmentos

con alto movimiento de carga. Son los casos del tramo Ciudad Industrial – Nogales y Piedras Negras – Saltillo, y Querétaro – Tula - ZMCM, con flujos de 500 mil a un millón de toneladas; además del tramo Irapuato – Celaya – Querétaro (con variaciones de 500 mil a más de 2 millones de toneladas), que concentra la producción automotriz de la región y los flujos procedentes de Ciudad Juárez, Aguascalientes, Guadalajara, Lázaro Cárdenas y en parte del eje norte – sur que transporta la carga de vehículos automotores que sale o entra por los puertos fronterizos de Piedras Negras y Nuevo Laredo (mapa 2).

Con un movimiento menor (250 mil a 500 mil toneladas), el eje Ciudad Juárez - Torreón – Aguascalientes - Irapuato, participa en el transporte ferroviario de vehículos terminados (mapa 2).

Los vínculos entre la industria automotriz y el ferrocarril corresponden a una relación simbiótica, es decir conveniente para ambos, de manera que entre mejor avenida se encuentre



Fuente: Elaboración propia, con base en los datos 2011 de la Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, SCT.

Mapa 2
Corredores ferroviarios de carga de la industria automotriz en México, 2011

y mayor sinergia logre, mejores resultados obtendrán ambos en el futuro. El punto de integración se sitúa en la incorporación del ferrocarril a las necesidades logísticas de la industria automotriz. Al respecto el presidente de la Asociación Mexicana de Ferrocarriles comentó a la Revista T21 en febrero de 2014, “El servicio ferroviario está íntimamente ligado a la logística de la industria automotriz, tanto en su proveeduría como en la exportación de las unidades terminadas”. Lo cierto es que la competitividad de esta rama industrial se puede ver ampliamente favorecida por una participación de servicios logísticos cada vez más sofisticados y eficientes que ofrezcan las empresas ferroviarias y los operadores intermodales en el país.

Por otra parte, la relación de interdependencia económica entre el crecimiento de la industria automotriz y la también expansión

y fortalecimiento del subsector ferroviario de carga ha llevado a la identificación de obras de infraestructura férrea, caso del Libramiento de Celaya de gran importancia, debido a que en esta zona se concentra 40 % de la carga ferroviaria total que se opera en el país. Según estimaciones de la SCT, una vez que se concluya el Libramiento de Celaya, el tiempo de cruce se reducirá de 2 horas, a 30 minutos⁵.

Biografía

Romero, I. (2011). *Impacto asimétrico de la crisis global sobre la industria automotriz: Canadá y México comparados*. Perspectivas para el futuro. México. CEPAL. Naciones Unidas. Recuperado de: <http://www.cepal.org/>

⁵ El Financiero. (06/02/2014). <http://www.elfinanciero.com.mx/empresas/ferrocarriles-crecen-en-el-bajo-para-atender-sector-automotriz.html>

mexico/publicaciones/xml/4/44794/2011-058_Impacto_asim%C3%A9trico_de_la_crisis_global_-_Serie_130.pdf

Villareal G., D. y Villegas S., M. (2008). *Cambios en la localización de la industria automotriz en México 1994 – 2004*. Recuperado de: <http://csh.xoc.uam.mx/produccioneconomica/eventos/pdf/articulos/cambiosenlalocalizaciondelaindustria.pdf>

INEGI. *La industria automotriz en México 2013*. Serie estadísticas sectoriales 2013. Recuperado de: <http://www.amdamex.mx/documentosfront/industriaautomotriz.pdf>

Carrillo, J. y García, H. (2009). *La situación de la industria automotriz en México*. Recuperado de: <http://www.colef.mx/jorgecarrillo/wp-content/uploads/2012/04/PU336.pdf>

Vicencio M., A. (2007) *La industria automotriz en México. Antecedentes, situación actual y*

perspectivas. Parte del marco contextual de la investigación doctoral: “La incidencia de la calidad y la productividad en la competitividad de las organizaciones. El caso de dos empresas automotrices en México”. Ciencias Administrativas de la Escuela Superior de Comercio y Administración del Instituto Politécnico Nacional. Recuperado de: <http://www.ejournal.unam.mx/rca/221/RCA22110.pdf>

Unger, K. con colaboración de Detraux, B.; Martínez, A. y Revilla, M. (2003). *Los clústeres industriales en México: especializaciones regionales y la política industrial*. Chile. CEPAL. Naciones Unidas. Recuperado de: <http://www.eclac.org/ddpe/noticias/paginas/8/15078/KurtUnger.pdf>

GARCIA Gabriela
ggarcia@imt.mx
MARTNER Carlos
martner@imt.mx

TECNOLOGÍAS PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

Introducción

Una de las consecuencias de la incompatibilidad entre el progreso tecnológico y el avance de la civilización humana ha sido la alteración del medio ambiente. El hombre tiene una gran capacidad de adaptarse al medio para sobrevivir, pero en su constante desarrollo ha realizado trabajos enormes orientados a adaptar su entorno para satisfacer sus necesidades. La contaminación surge del desequilibrio del medio emanado de las acciones debidas a la mano del hombre, afectando el estado y composición del agua, del suelo y del aire, repercutiendo en la salud e integridad de los seres vivos. Algunos de los participantes en este desequilibrio son los productos resultantes del proceso tradicional de generación de energía a partir

de combustibles fósiles. Entre otros usos, estos combustibles son utilizados de manera generalizada para producir el movimiento de los vehículos de transporte.

Debido al evidente deterioro del ambiente natural causado por la actividad humana, en las últimas décadas se han aplicado diversas medidas encaminadas a mitigar y tratar de revertir el daño causado a los diversos ecosistemas del planeta. Algunas de estas medidas están relacionadas con la implementación de leyes y reglamentos que limitan la emisión de contaminantes que se liberan a la atmósfera. Tal es el caso de las emisiones contaminantes producidas por los motores de combustión interna (MCI), que proveen la energía mecánica necesaria para accionar una amplia gama de maquinarias y vehículos.

Ya sea que los motores utilicen combustibles como diesel, gasolina o gas, que consecuentemente se enciendan por compresión o por chispa, al combinarse con el oxígeno del aire producen otros compuestos que se emiten a la atmósfera. De esta manera, el desarrollo de los motores combina dos temas importantes relacionados con la combustión, como principio de funcionamiento. Uno de ellos se refiere a la calidad del combustible, mientras que el otro se relaciona con la innovación y desarrollo tecnológico aplicados a los motores para efficientar el proceso de combustión y sus productos derivados.

Con base en el funcionamiento de los MCI y el desarrollo combinado de las tecnologías y de las mejoras en los combustibles, las normas y reglamentos son revisados periódicamente para establecer límites cada vez más restrictivos y las fechas en que deben entrar en vigor. Este proceso considera el avance tecnológico actual y la promoción de nuevas tecnologías, dando oportunidad para que los fabricantes de motores apliquen sus desarrollos y cumplan con la normatividad y reglamentación que se establezcan.

Como respuesta a las condiciones de restricción cada vez más estrictas en términos de emisiones, se ha dado lugar al desarrollo de diversas tecnologías y dispositivos que permiten reducir las emisiones contaminantes. Algunas de estas tecnologías corresponden a la aplicación de turbocompresores, de convertidores catalíticos, de inyección electrónica de combustible, el manejo selectivo de gases y filtros de partículas, entre otros componentes. Es el propósito de este artículo el de describir las generalidades de algunas de estas tecnologías, cuya aplicación forma parte de las medidas desarrolladas históricamente en el tema de mejorar la calidad del aire, afectada por las emisiones de motores de combustión interna.

El motor de combustión interna (MCI)

La necesidad de aplicar energía mecánica en sus distintas tareas llevó al hombre a desarrollar diversos mecanismos que las facilitarían. Desde sencillas palancas hasta dispositivos complejos y sofisticados han constituido herramientas que permiten tener un mayor rendimiento y aprovechamiento para el hombre, sustituyendo su participación directa en la ejecución de trabajo mecánico. En el proceso de sofisticación de los dispositivos surgieron los motores, convertidores de tipos de energía potencialmente contenida a energía de movimiento. De esta manera, aparecieron los motores accionados por la presión del vapor, para después dar lugar a los motores de combustión interna, siendo éstos últimos máquinas que producen energía mecánica a partir de la combustión de un combustible dentro de una cámara que forma parte del mismo motor.

Atendiendo al ciclo termodinámico aplicado para su funcionamiento, los MCI se dividen en dos tipos básicos: los que aplican el ciclo Otto (desarrollado por Nikolaus Otto) y los que aplican el ciclo Diesel (desarrollado por Rudolf Diesel). Los primeros requieren que la combustión se inicie por una chispa y utilizan comúnmente gasolina o gas como combustible, mientras que los segundos utilizan en la actualidad combustible diesel e inician la combustión por compresión del aire y su consecuente aumento de temperatura. En ambos casos, se utiliza como comburente el oxígeno del aire atmosférico. Sin embargo, la composición química del combustible y la existencia de otros gases en la atmósfera reaccionan durante la combustión, de manera que resultan inevitablemente otros productos derivados como el dióxido y monóxido de carbono (CO₂ y CO respectivamente), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) y diverso material particulado, [1].

Estos compuestos se vierten a la atmósfera, constituyéndose en emisiones contaminantes que alteran la calidad del aire y que pueden combinarse con otros elementos para producir sustancias nocivas para la salud y para el medio ambiente en general. Por tanto, se ha hecho necesario que se desarrollen nuevos esquemas en la generación de energía mecánica, de los cuales sobresale el desarrollo de algunas tecnologías que puedan aplicarse a los MCI para reducir las emisiones contaminantes.

Tecnologías para reducción de contaminantes

Ante la necesidad actual de utilizar los MCI, como parte de su evolución tecnológica se han desarrollado diversas tecnologías con la pretensión de evitar o atenuar la emisión de estos contaminantes. Algunos de estos desarrollos se aplican como elementos o sistemas que mejoran la combustión, mientras que otros se orientan al manejo o tratamiento posterior de los gases de escape. Ya sea que se introduzca un volumen mayor de aire previamente comprimido, que favorezcan la inyección de combustible y mejoren la combustión o que apliquen un tratamiento a los productos de la combustión previo a su emisión a la atmósfera, algunas tecnologías pueden interactuar de manera combinada para mejorar el manejo de las emisiones contaminantes, sin demeritar las mejoras de desempeño y rendimiento del motor.

Turbocompresor

Uno de los enfoques iniciales en el desarrollo de los motores fue incrementar la potencia y, de manera paralela, reducir el consumo de combustible. La idea de introducir un mayor volumen de aire llevó al desarrollo del turbocompresor que, en la actualidad, es un elemento muy utilizado. El turbocompresor se desarrolló un poco después que los motores de combustión interna fabricados por Gottlieb Daimler entre los años 1880 y 1890. Ya desde

entonces se investigaban modos de pre-comprimir el aire para mejorar la combustión. No obstante, a principios del siglo pasado se dio un avance enorme en esta dirección, cuando el suizo Alfred J. Büchi concibió la idea de aprovechar la energía de los gases de escape del motor para mover un compresor, convirtiéndose en patente a finales de 1905, [2].

El propósito del turbocompresor es introducir más aire a los cilindros del motor a través de la compresión. Consiste en una turbina accionada por los gases de escape del motor, en cuyo eje se fija un compresor centrífugo que toma el aire a presión atmosférica después de pasar por el filtro de aire; luego lo comprime para introducirlo en los cilindros a mayor presión. Este aumento de la presión consigue introducir al cilindro una mayor cantidad de oxígeno que lo que aspiraría únicamente a presión atmosférica. Así se favorece la obtención de mayor potencia, producida por una mayor fuerza que empuja los cilindros en la carrera de expansión.

En los motores de gasolina se incrementa el consumo de manera proporcional al aumento de masa del aire que entra al motor. Por otro lado, en los motores diesel la masa de aire no es proporcional al gasto de combustible y el aire entra de manera adicional al carecer de mariposa que restrinja el flujo. Este hecho favorece la aplicación de

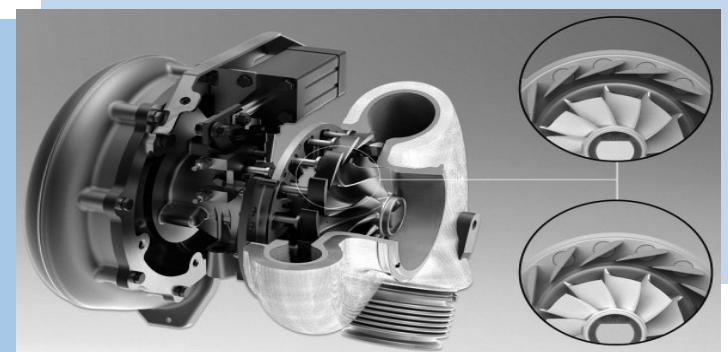


Figura 1
Turbocompresor, [4]

los turbocompresores, encontrando en los motores diesel una aplicación sumamente efectiva, [3]. Ejemplo de un turbocompresor acoplado entre los múltiples de admisión y escape se presenta en la figura 1.

Aunque en una etapa del desarrollo de los motores el turbocompresor era sinónimo de mayor potencia y mejores prestaciones, en la actualidad se ha convertido en un componente más del motor común, [2]. Las ventajas de esta tecnología no se deben ya tanto a las prestaciones ni a los consumos, pues su papel como reductor de las emisiones contaminantes resulta crucial. En los motores de gasolina sobrealimentan el aire, compensando con ello las reducciones drásticas de cilindrada, mientras que en los motores diesel incrementan el flujo sin incrementar proporcionalmente el combustible necesario para la explosión.

Inyección electrónica de combustible

La preocupación por mejorar la quema de combustible y obtener menor cantidad de productos nocivos tuvo como condiciones la dosificación adecuada de acuerdo a las condiciones demandadas de operación del

motor y la inyección al cilindro en el momento oportuno. Estas condiciones tomaron forma en el desarrollo de los sistemas de inyección de combustible, elemento importante en los MCI, en los que la electrónica permitió tener un mayor control y monitoreo del proceso de inyección.

La inyección electrónica de combustible vino a reemplazar al sistema de inyección mecánica, tanto en motores de encendido por chispa como en los de encendido por compresión. El control de la dosificación y el momento de la inyección favorecen su efectividad, convirtiéndolo en un sistema más amigable con el medio ambiente que el sistema mecánico clásico, ya que disminuye en forma considerable la emisión de gases nocivos de los motores, [5]. A través del sistema se toma aire del medio ambiente, se mide y se introduce al motor. Luego se inyecta la cantidad precisa de combustible para que la combustión sea lo más completa posible, de acuerdo a los requerimientos específicos del fabricante del motor.

El sistema de inyección electrónica de combustible basa su operación en la medición de ciertos procesos de trabajo del motor como

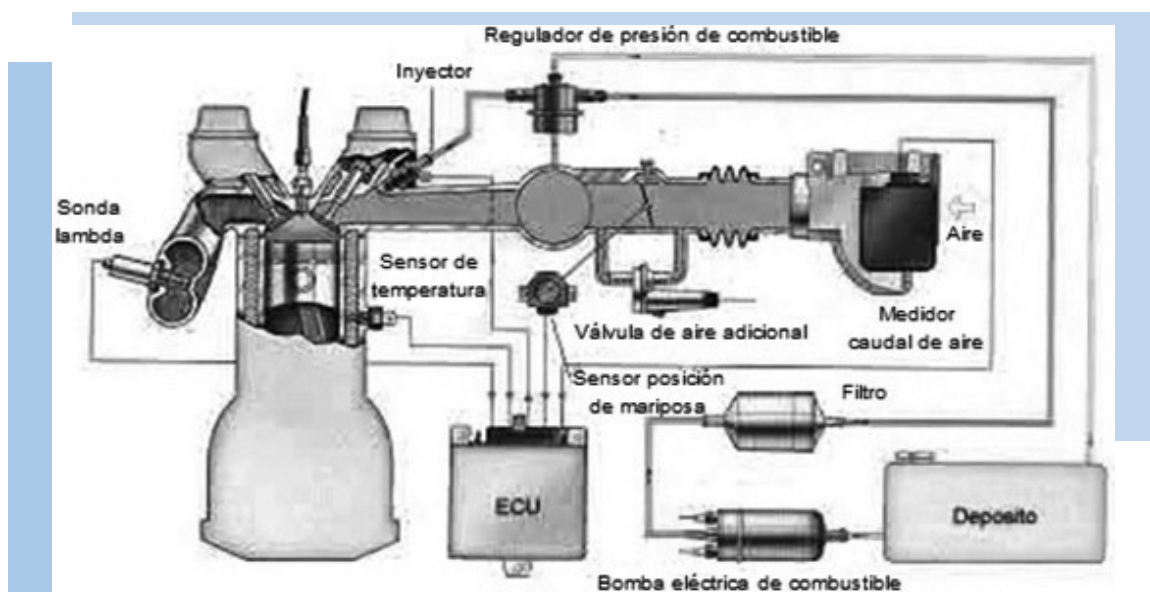


Figura 2

Composición de un sistema de inyección electrónica de combustible [6]

la temperatura y caudal del aire, el estado de carga, la temperatura del refrigerante, de los gases de escape y la cantidad de oxígeno que poseen, además de la velocidad de rotación del motor. Una unidad de control (ECU) procesa la información y transmite códigos de operación a los actuadores que van controlando, según el estado general del motor, la inyección de cierta cantidad de combustible, encargándose también de lograr una combustión completa. Otro componente del sistema realiza un autodiagnóstico que monitorea el proceso y detecta parámetros fuera de orden y reacciona para corregir los parámetros de inyección. La figura 2 muestra un esquema en el que se aprecian los diferentes componentes de un sistema de inyección electrónico de combustible.

A través de los inyectores, el sistema presuriza y atomiza el combustible, inyectándolo conforme a la estimación de requerimientos del régimen del motor. Consecuentemente, las emisiones de la combustión disminuyen por la medición precisa y la dosificación requerida de la inyección.

Convertidor catalítico

Idealmente, se esperaría que los productos de la combustión del combustible en los MCI fueran agua (H₂O) y dióxido de carbono (CO₂), que resultan inocuos al ambiente. No obstante, debido a la composición del aire atmosférico y la inevitabilidad de otras reacciones, se producen gases dañinos, como el monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NO_x, que representa NO y NO₂). Los convertidores catalíticos tienen la función de convertir los contaminantes peligrosos en emisiones menos dañinas antes de dejar el sistema de escape, utilizando un elemento catalizador. El catalizador da lugar a que se presente una reacción química, sin verse a sí mismo afectado.

Los convertidores catalíticos se emplearon por primera vez en automóviles fabricados en 1975, como resultado de las exigencias

regulatorias aprobadas dos años antes por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (Environmental Protection Agency, EPA). Dichas exigencias contemplaban la reducción de las emisiones de los automóviles y la solicitud de disminución gradual en el contenido de plomo de todos los combustibles. Lo anterior, con base en un estudio lanzado el 28 de noviembre de 1973, en el que EPA determinó "que el plomo expulsado por los automóviles representaba una amenaza directa a la salud pública". Aunque el convertidor catalítico se desarrolló desde la década de 1950, éste no podía usarse en los vehículos debido al plomo en la gasolina, [7].

La parte interna del convertidor catalítico es una especie de panal de corredores recubiertos con un catalizador tal como el platino, el rodio o el paladio. Al introducirse los gases de escape en el dispositivo, el elemento catalizador induce una reacción química con los compuestos contaminantes, tales como el óxido nitroso, el monóxido de carbono y los hidrocarburos no quemados. De esa reacción catalizada se obtiene, entonces, gas nitrógeno, dióxido de carbono y agua, [7]. La Figura 3 muestra genéricamente los diferentes componentes del convertidor catalítico y las emisiones resultantes.

Hasta la fecha, se han manejado tres tipos de convertidores catalíticos, denominados de dos vías, de tres vías y de tres vías más aire. El primer convertidor catalítico empleado fue un convertidor de dos vías, utilizado en automóviles de Estados Unidos entre 1975 y 1980. Este convertidor oxidaba los hidrocarburos no quemados y el monóxido de carbono, produciendo agua y dióxido de carbono. Posteriormente, el convertidor de tres vías, además de realizar lo mismo que su predecesor, tuvo la capacidad de reducir los óxidos nitrosos en nitrógeno y oxígeno. El convertidor de tres vías más aire realiza la misma función que el convertidor de tres vías, pero añade además aire entre los dos

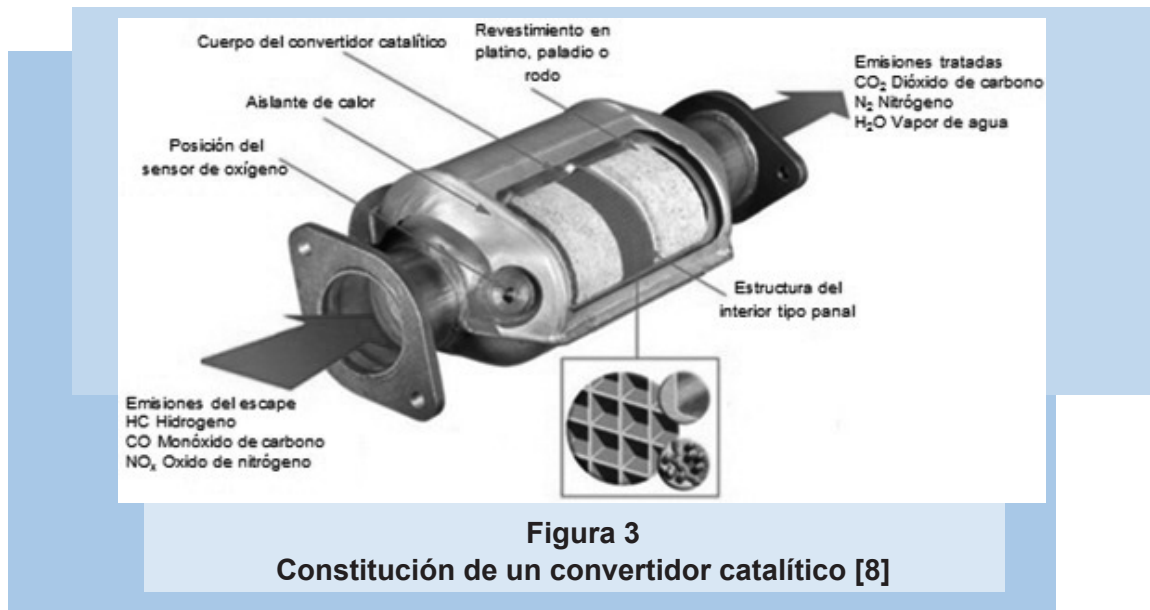


Figura 3
Constitución de un convertidor catalítico [8]

catalizadores internos, con lo cual mejora la oxidación del convertidor.

El uso de convertidores catalíticos ha contribuido en la disminución de contaminantes emitidos a la atmósfera, respaldado por los controles impuestos. De acuerdo con la EPA, debido a esos controles que la agencia impuso hace más de 30 años, "los vehículos ahora vendidos en Estados Unidos emiten 96 por ciento menos monóxido de carbono, 98 por ciento menos hidrocarburos y 90 por ciento menos óxidos nitrosos que los vehículos vendidos en los inicios de la década de 1970", [7]. No obstante, en MCI que emplean diesel, los convertidores en sí mismos no han sido igualmente efectivos para reducir los NO_x, debido a que los motores diesel operan a temperaturas más frías que las convencionales de gasolina y los convertidores trabajan mejor a mayor temperatura.

Recirculación de gases de escape (EGR)

La introducción de aire atmosférico a la cámara de combustión de los MCI incluye oxígeno y nitrógeno que, favorecido por una alta temperatura, se promueve la generación de NO_x. Una alternativa tecnológica aplicada a los MCI encendidos por compresión, aunque también puede aplicarse a los de encendido por chispa, es la recirculación de gases de

escape (EGR, Exhaust Gas Recirculation). Consiste en recircular los gases de escape hacia los cilindros, reduciendo de esta manera la concentración de oxígeno y la temperatura de combustión e incrementando el dióxido de carbono, disminuyendo, por ende, la formación de óxidos de nitrógeno, [9].

El principal componente del sistema es la denominada "válvula EGR", la cual se encarga de dosificar el caudal de gases de escape que se reingresan a la cámara de combustión. Diversos sensores monitorean parámetros como el régimen de operación del motor, la inyección de combustible, el volumen de aire aspirado, la temperatura del motor y la presión atmosférica, entre otros. En función de ellos, se controla la apertura de la válvula de acuerdo a la proporción adecuada de recirculación de gases, [9]. El proceso del reciclado de gases de escape se ilustra esquemáticamente en la figura 4.

El sistema de control de la válvula EGR la activa a cargas parciales y a temperatura normal de operación del motor, debido a los riesgos de sobrecalentamiento por la temperatura de los gases de escape. La recirculación no se activa con el motor frío o en periodos de aceleración. Debido a que el EGR reduce la disponibilidad de oxígeno en los cilindros,

se incrementa la susceptibilidad de producir mayor cantidad de material particulado. Por tanto, es conveniente combinar otras tecnologías que complementen los aspectos que no cubre el sistema de recirculación de gases por sí mismo en los motores.

viajan suspendidas en los gases de escape. Combustibles de baja calidad, como los que contienen azufre, promueven la formación de hollín. Por ello, para remover las partículas de los gases de escape se emplean filtros en los que se deposita la ceniza o que aplican diversos tratamientos para quemar el material depositado.

Un filtro antipartículas (FAP) es un dispositivo cuya función es remover el material particulado de los gases de escape, atrapándolo y dejando únicamente el gas en sí. Un FAP puede capturar cerca del 99% de partículas contaminantes en los gases de escape. Sin embargo, para mantener su cualidad de filtrado, debe mantenerse limpio, por lo que las partículas depositadas deben ser eliminadas periódicamente. Esto se hace comúnmente por un proceso que se denomina regeneración, proceso que implica la quema del hollín a una temperatura muy elevada que deja únicamente pequeños residuos, [11]. Por tanto, un vehículo con un filtro instalado no emitirá humo visible de su tubo de escape, [12]. Un esquema de un filtro de este tipo se presenta en la figura 5.

Estos filtros se integran comúnmente en el convertidor catalítico, atrapando las partículas generadas al forzar el paso del gas de escape a través del filtro. De esta manera, el filtro

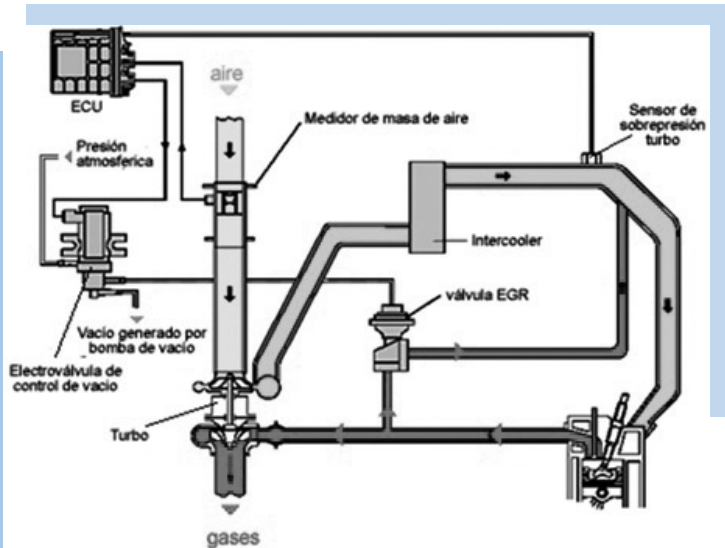


Figura 4
Recirculación de gases de escape [10]

Filtro de partículas

La combustión incompleta del combustible diésel resulta en material particulado y hollín, cuyo tamaño de partículas puede ser menor a 1 µm. Este material es una mezcla compleja de partículas sólidas y líquidas, que

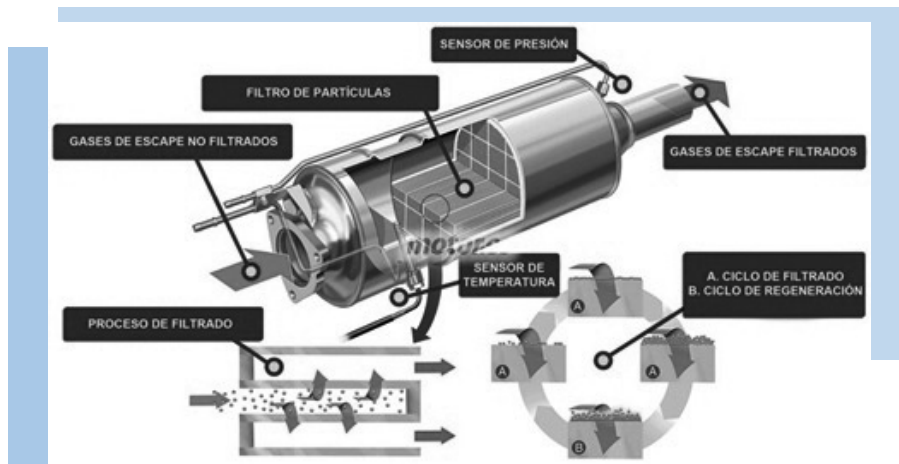


Figura 5
Proceso de filtrado de partículas [13]

juega un papel importante en la reducción de emisiones contaminantes y que afectan la salud.

Reducción catalítica selectiva (SCR)

Los requerimientos normativos respecto a la reducción de emisiones han promovido el desarrollo de tecnologías cada vez más novedosas que se aplican a los motores de combustión interna. Uno de los componentes sumamente dañinos provenientes de la quema del combustible es el grupo de los óxidos de nitrógeno (NOx). La imperiosa necesidad de reducir su emisión al ambiente dio lugar a la aplicación de la tecnología denominada Reducción Catalítica Selectiva (SCR, Selective Catalytic Reduction) a los motores diesel, atendiendo a que la palabra “selectiva” se aplica a los NOx.

La tecnología SCR se empleó por primera vez en centrales eléctricas propulsadas por carbón, con el objetivo de limpiar los óxidos de nitrógeno (NOx) de los gases de combustión. En 2006, la tecnología se introdujo con éxito en el mercado europeo de los vehículos diesel industriales, permitiendo que los camiones pudieran cumplir con los límites más recientes establecidos en las normas Euro IV y Euro V. En la aplicación del proceso SCR se reducen los óxidos de nitrógeno, convirtiéndolos en vapor de agua (H₂O) y nitrógeno diatómico (N₂), requiriendo, para ello el empleo de amoníaco (NH₃), que puede ser añadido de esa manera o como urea (CON₂H₄).

Debido a la peligrosidad del amoníaco para el ser humano, es común manejar urea en este proceso, aprovechando, además, su solubilidad en agua, [14]. La solución común de urea para esta aplicación es aproximadamente de 32,5% en agua desmineralizada, dando lugar a un producto conocido como AUS 32, que comercialmente se maneja como AdBlue en Europa, ARLA 32 en Brasil o DEF (Diesel Exhaust Fluid) en Estados Unidos, [15]. El

sistema SCR combina el uso de esta solución acuosa junto con un catalizador de vanadio o de metal común, montado en el silenciador del vehículo.

La reacción de los NOx se produce más allá del motor, en el sistema de escape, por lo que es conocida como "after-treatment". A diferencia de la tecnología común de EGR alternativa, el SCR aborda el problema fuera del motor y tiene el potencial de alcanzar un porcentaje de reducción del NOx superior al 80%, permitiendo que el motor se ponga a punto para obtener su máxima eficiencia. Lo anterior permite un ahorro en combustible estimado entre el 3-5% [16].

Los componentes principales del sistema SCR son el catalizador especial SCR, los inyectores, el depósito de urea y el control de dosificación. Se espera que, a la salida del motor, los gases de escape pasen por un catalizador previo con un filtro atrapa partículas. La solución de urea se inyecta en el tubo de escape, previo a la entrada de los mismos al catalizador, aprovechando la zona donde el intervalo de temperaturas es óptimo para la descomposición de la urea en amoníaco y CO₂. Cuando el NOx reacciona con el amoníaco dentro del catalizador, las moléculas contaminantes de NOx se convierten en agua y nitrógeno, que resultan inocuas al medio ambiente, [17].

En la Figura 6 se observa la composición esquemática básica de un sistema de reducción catalítica selectiva (SCR) de los gases de escape de un motor de combustión interna.

El aprovechamiento de la aplicación de un sistema SCR parte del empleo de un combustible diésel de alta calidad, en el que el contenido de azufre es extremadamente reducido. Así mismo, la eficacia en la alta reducción de emisiones es condicionada al empleo combinado de otras tecnologías que

no puede sustituir. Por tanto, se esperaría que a la salida de la cámara de combustión del motor, los gases de escape pasen por un catalizador previo (DOC, diesel oxidation catalyst) y por un filtro atrapa partículas, entre los más importantes.

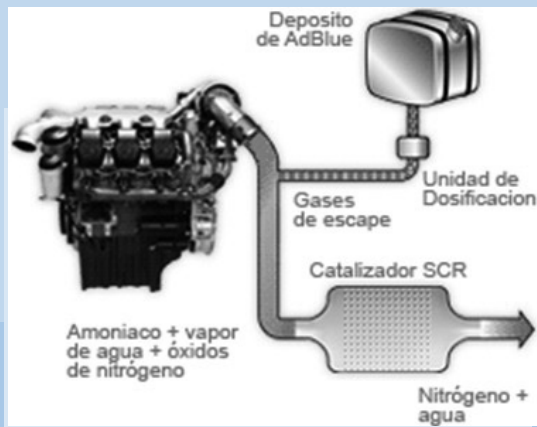


Figura 6
Reducción catalítica selectiva, [18].

Comentarios sobre tecnologías

La preocupación ya añeja, pero vigente, sobre la reducción de emisiones provenientes de los motores de combustión interna que afectan la calidad del aire atmosférico y promueven la contaminación del medio ambiente, ha sido el principal impulsor del desarrollo de tecnologías para producir motores cada vez más limpios. Estas tecnologías se han tratado de mantener compatibles para no afectar significativamente la eficiencia ni la capacidad de entrega de energía de los motores. Así mismo, algunas de estas tecnologías son compatibles entre sí, cuya aplicación combinada permite atacar el amplio espectro de productos contaminantes generados durante la combustión, de manera que las emisiones al aire lo constituyan únicamente productos inocuos a la salud. Estas tecnologías permiten cumplir en los motores modernos con los requerimientos internacionales de emisiones contaminantes. Sin embargo, depende de cada país establecer las condiciones para que esos requerimientos se cumplan y se respeten, evitando que se demeriten los beneficios de las sofisticadas tecnologías de los motores modernos.

Referencias

1. Faiz, Asif; Weaver, Christopher S.; Walsh, Michael P.; Gautam, Surhid P.; Chan, Lit-Mian Air Pollution from Motor Vehicles; Standards and Technologies for Controlling Emissions. November, 1996. The World Bank. Washington, D.C. USA.

2. Autofácil. Página web <http://www.autofacil.es/tecnologia/2013/02/12/historia-turbocompresor/12877.html> consultada en enero de 2014.

3. Wikipedia La Enciclopedia Libre. Página web <http://es.wikipedia.org/wiki/Turbocompresor> consultada en enero de 2014.

4. Motorpasión. Página web <http://www.motorpasion.com/tecnologia/sobrealimentacion-de-motores-turbocompresores> consultada en enero de 2014.

5. Mis Respuestas. Página web <http://www.misrespuestas.com/que-es-la-inyeccion-electronica-de-combustible.html> consultada en enero de 2014.

6. Aficionados a la Mecánica. Página web http://www.aficionadosalamecanica.net/inyeccion_gasolina1.htm consultada en enero de 2014.

7. eHowTM en Español. Página web http://www.ehowenespanol.com/construido-convertidor-catalitico-sobre_101505/ consultada en enero de 2014.

8. Mi Taller. Página web <http://www.mitaller.com/content/fallas-convertidor-catalitico-del-auto> consultada en enero de 2014.

9. Aficionados a la Mecánica. Página web http://www.aficionadosalamecanica.com/sistema_egr.htm consultada en enero de 2014.

10. Aficionados a la Mecánica. Página web http://www.aficionadosalamecanica.net/gestion_electronica_diesel4.htm consultada en enero de 2014.

11. Diesel particulate filters. Documento disponible en la página web <https://www.gov.uk/government/publications/diesel-particulate-filters-guidance-note>. Página consultada en febrero de 2014.

12. Wikipedia La Enciclopedia Libre. Página web http://es.wikipedia.org/wiki/Filtro_de_part%C3%ADculas_di%C3%A9sel consultada en enero de 2014.

13. Página web <http://www.motor.es/noticias/el-dichoso-filtro-de-particulas-y-sus-problemas-hay-solucion-201314444.php> consultada en enero de 2014.

14. Urea. Descripción en la página Wikipedia. Página web <http://es.wikipedia.org/wiki/Urea>, consultada en febrero de 2014.

15. Air1. Tecnología SCR y AdBlue. Página web <http://mexico.air1.info/es/all-about-adblue/scr-technology> Página consultada en febrero de 2014.

16. FINADBLUE.COM. Página web <http://www.findadblue.com/adblue/scr/> consultada en enero de 2014.

17. Air1. Página web <http://us.air1.info/en/all-about-def/scr-technology/> consultada en enero de 2014.

18. Industria Automotriz de Venezuela. Página web <http://industriaautomotrizdevenezuela.com/blog/2009/07/06/camion-del-ano-2009-en-europa-mercedes-benz-actros/> consultada en enero de 2014.

FLORES Oscar
oflores@imt.mx

BLAKE Carlos
carblake72@gmail.com

FABELA Manuel
mjfabela@imt.mx

Agradecimientos:
HERNÁNDEZ Ricardo

jrhdez@imt.mx

VÁZQUEZ David
vazqvega@imt.mx

EL MAR DE FONDO EN LAS COSTAS DE MÉXICO

Introducción

Desde la antigüedad, el desarrollo de asentamientos humanos en las zonas costeras del mundo ha jugado un papel importante para la sociedad, ya que el mar representa un importante medio de transporte y una gran fuente de recursos, siendo esa región del mundo, una zona que se ve expuesta a una gran variedad de fenómenos océano meteorológicos, que al presentarse de forma extrema, se convierten en un peligro para los habitantes de esas regiones.

Por lo anterior, este trabajo, buscará describir uno de esos fenómenos que se presenta año con año en las costas de México, el cual presenta oleaje que posee gran cantidad de energía, llegando a ser peligroso y destructivo,

y que es conocido como mar de fondo.

Para tal efecto, en primer lugar definiremos las variables con las que se puede caracterizar una onda. En la figura 1, se presenta un esquema en el cual se puede observar que una onda puede ser cuantificada en una escala espacial por su altura de onda H , definida como la distancia vertical que existe entre un valle y una cresta consecutivas; y por su longitud de onda L , definida como la distancia horizontal que existe entre dos valles o dos crestas consecutivas. En la escala temporal, el periodo de onda T se define como el tiempo requerido para que una cresta o valle que se encuentra en el punto A llegue al punto B (ver figura 1).

Ahora, una vez que definimos los componentes de una onda, es importante describir

brevemente los tipos de ondas que se pueden presentar sobre la superficie libre del mar y para ello nos basaremos en la gráfica 1.

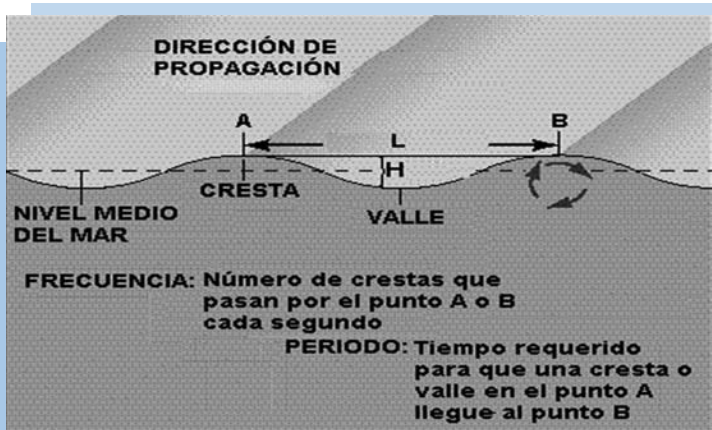
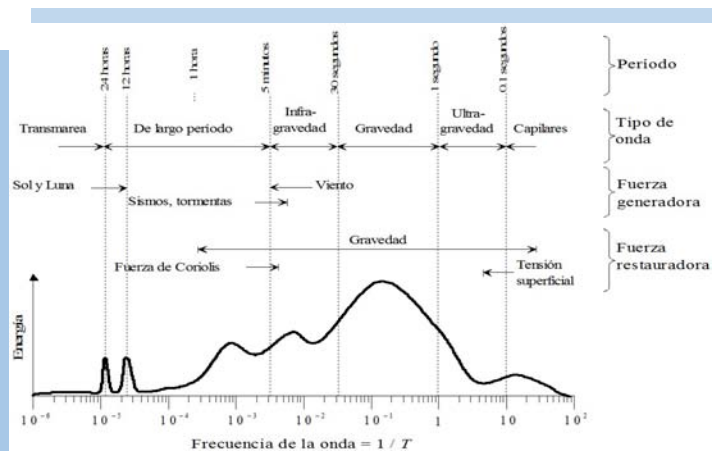


Figura 1
Características de una onda



Gráfica 1
Clasificación de las ondas referidas a la frecuencia – energía

En la gráfica anterior se clasifican los tipos de ondas que se pueden presentar sobre la superficie libre del mar, de acuerdo a su periodo ($T=1/\text{frecuencia}$) y que se definen como:

Ondas capilares: tipo de onda cuyo periodo es menor a 0.1 s, y la fuerza que las genera proviene del viento.

Ondas de Ultra-gravedad: ondas con periodos que van de 0.1 s a 1 s, la fuerza que las genera es el viento.

Ondas de gravedad: ondas con periodos que van de 1 s a 30 s y son producidas por la acción del viento.

Ondas de Infra-gravedad: tipo de onda cuyos periodos van de los 30 s a 5 minutos, la fuerza que las genera puede ser el viento, o bien, sismos o tormentas.

Ondas de largo periodo: ondas con periodos que van de los 5 minutos a 24 horas, la fuerza que las genera es totalmente debida a la ocurrencia de sismos, tormentas o a la atracción de los astros.

Como se mostró en la gráfica 1, los factores naturales que intervienen tanto en la generación como en la restauración de las ondas son diversos y de ellos dependen características tales como el periodo T y la cantidad de energía que transporten.

En este caso nos enfocaremos en las clasificación de las ondas del tipo gravedad, cuya fuerza generadora es la acción del viento y que son mejor conocidas como “olas” o “oleaje”, ya que el mar de fondo que describiremos está dentro de este grupo de ondas.

Como se comentó en un principio, a través de la historia se han registrado un sin número de esfuerzos por entender la generación y transformación del oleaje, y como ejemplo de ello, los antiguos griegos quienes estaban conscientes de la interacción entre el mar y la atmosfera, siendo Aristóteles en su obra “Acerca del cielo; meteorológicos” (300 a. C.), quien señaló la importancia que juega el viento en el desarrollo del oleaje.

El oleaje generado por el viento en mar abierto está formado por componentes que abarcan un amplio rango de periodos. A medida que éstas se desplazan a lo largo de la plataforma continental hacia la costa, los componentes de onda larga lideran el grupo de ondas,

viajando a continuación las ondas de corto período. En la zona de generación del oleaje el fondo no afecta el comportamiento del oleaje, pero a partir de que las ondas comienzan a propagarse en aguas más someras, éste empieza a refractarse por efecto de la configuración del fondo o de las corrientes y parte de la energía es transformada. A medida que la propagación continúa en dirección hacia la costa, las ondas pierden parte de su energía por efecto de la fricción en el fondo y a pesar de ello, la amplitud de la onda aumenta y la longitud de onda se va reduciendo, dando lugar a un vuelco de la cresta de la onda conocido como rotura del oleaje.

El oleaje en su propagación se ve afectado por innumerables procesos físicos, pero la refracción, difracción, someramiento, reflexión y rotura pueden ser considerados dentro de los más importantes para fines ingenieriles. El oleaje en el mar puede representarse como una suma lineal de componentes sinusoidales (cuya descripción queda fuera del alcance de este trabajo), lo cual implica la existencia de interacciones entre cada una de dichas componentes. Cuando se desea conocer los efectos directos de la hidrodinámica del oleaje en alguna playa o estructura es importante representar, de ser posible todos los fenómenos considerados en el párrafo anterior.

El mar de fondo

Cuando se observa el oleaje en cualquier sitio de la costa, se debe tomar en cuenta que este pudo ser formado por una tormenta a cientos o miles de kilómetros. El oleaje formado por el viento, se genera por la transferencia de energía del viento sobre la superficie del mar en un área determinada la cual es conocida como “fetch”.

Dependiendo del tamaño del fetch (area influenciada por el viento), y de la duración e intensidad del viento, se generará oleaje con alturas y periodos de ciertas características, que viajarán a través del océano desde su zona de formación hasta la costa donde finalmente rompera. De acuerdo a lo anterior, existe una clasificación para nombrar dos tipos de oleaje con respecto a su origen, las cuales se conocen como Sea y Swell, y que tienen que ver con el sitio donde es observado, es decir donde se encuentra el viento que lo genera, (dentro del fetch) o fuera de la zona de generación.

Seas

Sea, es el oleaje que aun se encuentra influenciado por el viento en la zona de generación, presenta periodos entre 3 y 25 segundos. La apariencia de la superficie del

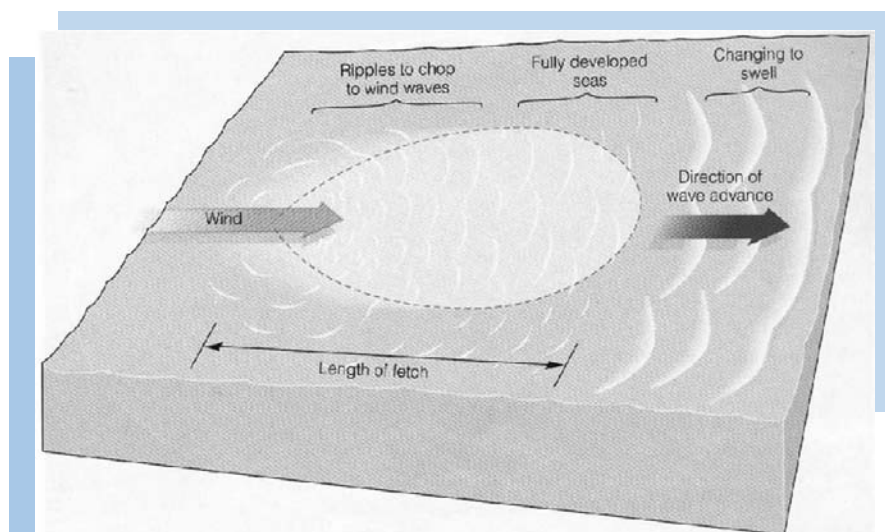


Figura 2
Esquema del “fetch”

mar es tempestuosa, con oleaje irregular de crestas cortas.

Swell

También conocido como mar de fondo, se refiere al oleaje que se ha desplazado fuera de su zona de generación, el cual llegar a presentar periodos más largos (> 10 segundos). Este tipo de oleaje se caracteriza por estar formado por crestas regulares bien definidas y de periodo largo, con una apariencia del mar en un estado ordenado.

Nuestro país, por su ubicación geográfica está bordeado en la costa oeste por el océano Pacífico, y en el este por el golfo de México, y ambas costas son afectadas por tormentas tropicales durante la estación de verano y parte del otoño; en el caso del golfo de México, estas se extienden hasta el invierno, por los "nortes", provocados por masas de aire frío que arriban al país provenientes del hemisferio norte. Tales condiciones generan oleaje de mar de fondo (swell), cuando la tormenta aún se encuentra fuera de la costa; solo cuando la tormenta se encuentra sobre la línea de costa, y que por el efecto del viento que esta ejerce genera el oleaje tipo sea, caso similar al oleaje que se observa en los puertos afectados por los "nortes". Sin embargo, se han presentado casos de mar de fondo en las costas mexicanas del Océano Pacífico, en los cuales el oleaje que ha llegado a la costa es generado por tormentas lejanas en las áreas sur y norte del Océano Pacífico.

A continuación y a manera de ejemplo, se muestra una nota periodística de medios informativos a nivel nacional sobre el mar de fondo:

"CIUDAD DE MÉXICO, México, jul. 07, 2014.- El oleaje prolongado que en los últimos días ha provocado afectaciones en las costas de Oaxaca y Guerrero se denomina Mar de Fondo. El teniente Raúl Hernández, pronosticador del Centro de Análisis y Pronóstico Meteorológico

de la Secretaría de Marina (SEMAR), explicó que "es un conjunto de olas que se propagan cientos y miles de millas. El evento que acaba de ocurrir hace dos días, su origen fue en el Hemisferio Sur, frente a las costas de Chile".

Las tormentas marinas que producen Mar de Fondo generalmente se originan entre el sur de Australia y el Continente Americano, por lo que el fenómeno llega a recorrer distancias superiores a 10 mil kilómetros, hasta las costas mexicanas del Istmo de Tehuantepec.

Esto se debe a que en el mar no enfrentan barreras que los puedan detener hasta que lleguen a la costa, donde concluyen su recorrido marino.

"Se inicia la propagación de estos sistemas hasta las costas mexicanas... generan fuertes vientos, oleaje elevado... erosión de playa, es lo que principalmente ocasiona", detalló el teniente Raúl Hernández.

Se considera riesgoso para las personas que construyen en las playas y para los negocios cercanos al mar.

El fenómeno conocido como Mar de Fondo se presenta cada año aproximadamente entre los meses de marzo y noviembre.

Al presentarse este fenómeno, se recomienda extremar precauciones en las actividades que se realicen en las playas, restringir la navegación a embarcaciones menores y situar la mayor parte de los objetos lejos del alcance de las olas". NOTICIEROS TELEVISIA

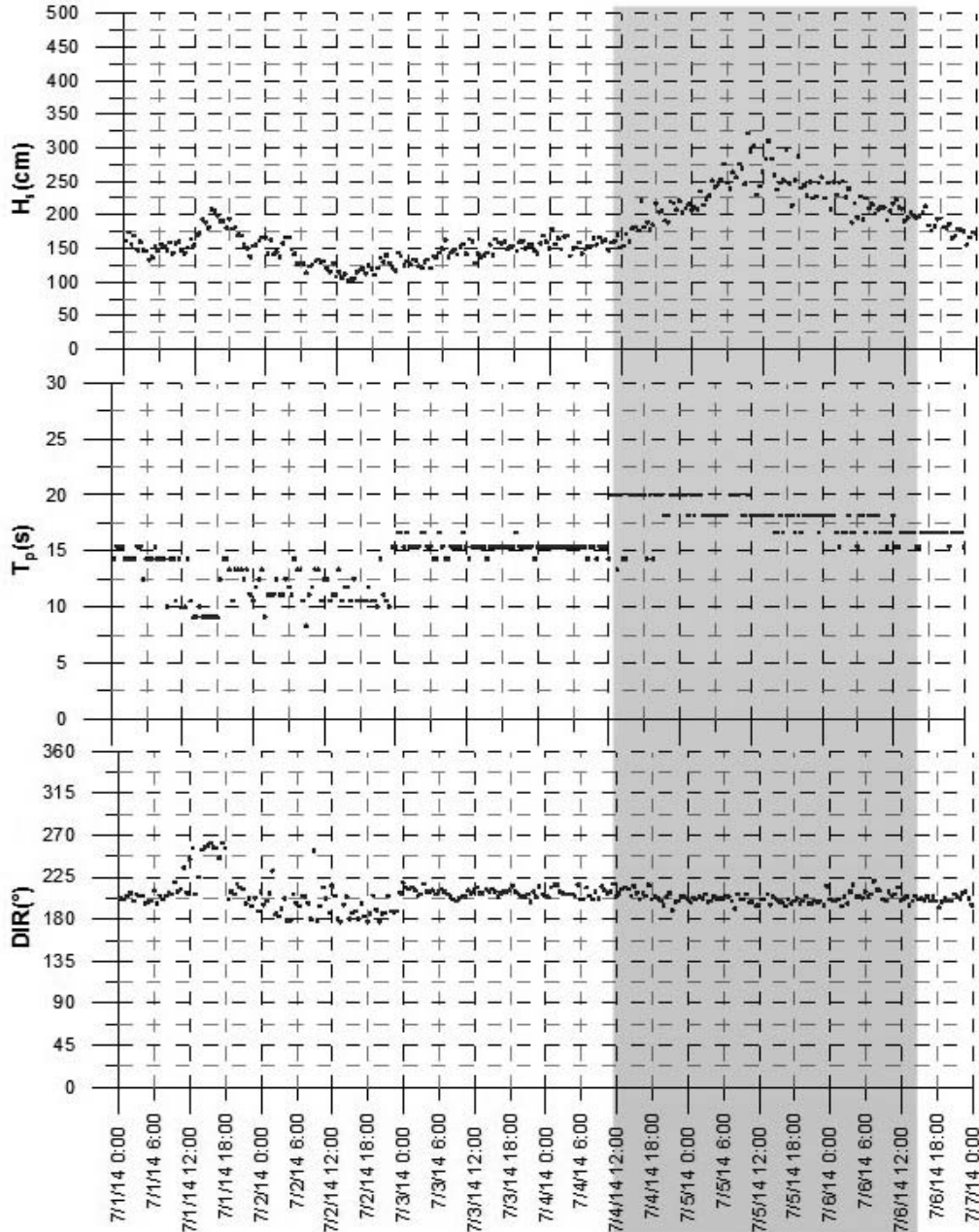
Mediciones con la RENEOM

El oleaje que causó los efectos que se describen en la nota periodística incluida en el párrafo anterior de este trabajo, fue medido con las boyas direccionales medidoras de oleaje que se encuentran instaladas como parte de la RENEOM, operada por la División de Ingeniería de Puertos y Costas de este Instituto (ver gráfica 2).

En los registros que se muestran en las siguientes gráficas, podremos identificar cronológicamente el estado de mar característico de un mar de fondo, cuando

los periodos de ola (Serie de tiempo que se encuentra al centro de cada una de las siguientes gráficas, $T_p(s)$ tengan valores cercanos a los 20 s.

Estación: IMTOL20 (Acapulco, Gro.)
Ubicación: 16° 47' 23" Lat. N, 99° 51' 43.9" Long. O
Periodo de medición: 1-07-2014 a 6-07-2014
Horario del Meridiano: 90 W. G.

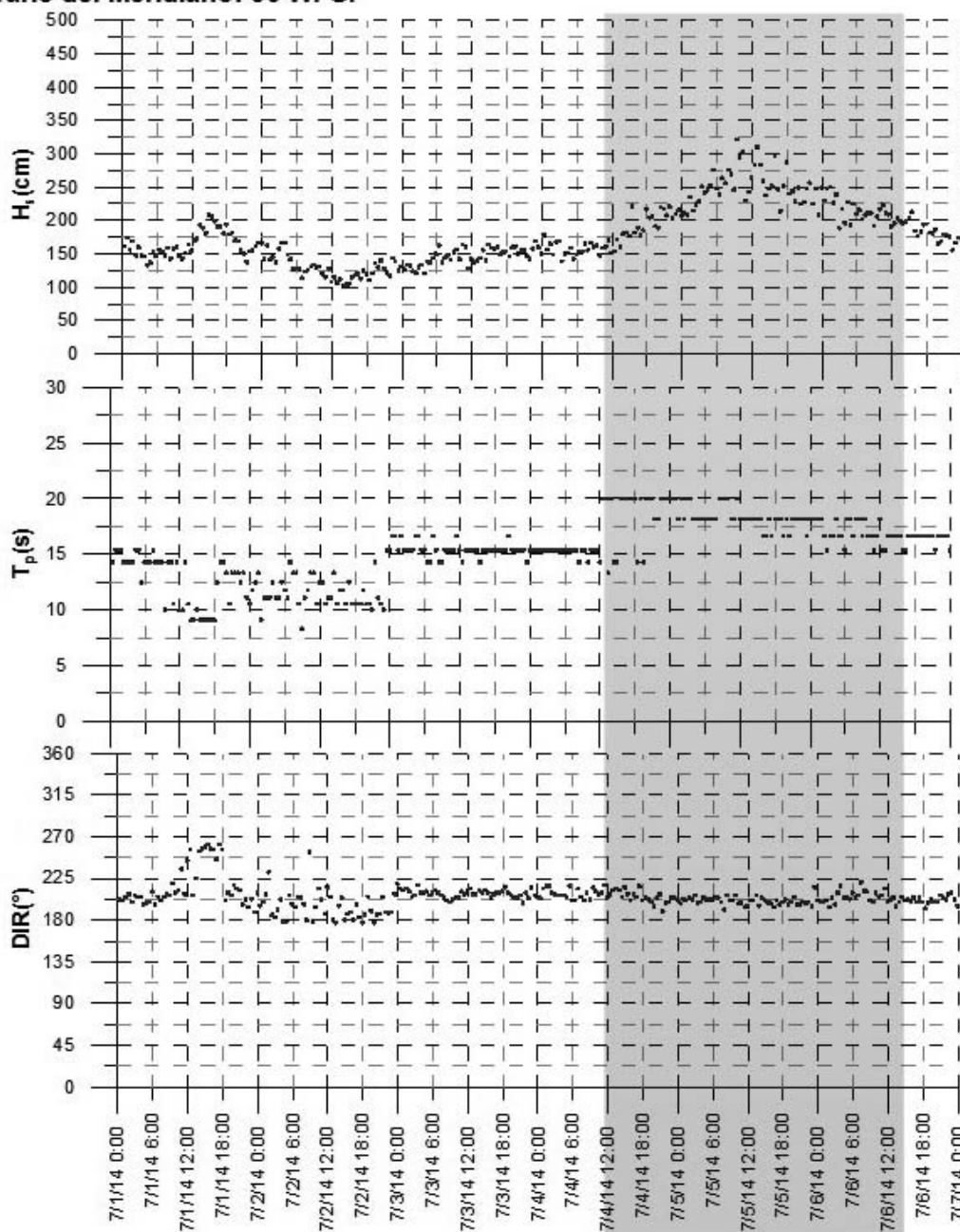


Gráfica 2
Registros de las características del oleaje en el puerto de Acapulco, Gro. Mar de fondo resaltado en rojo los días 4 y 5 de julio

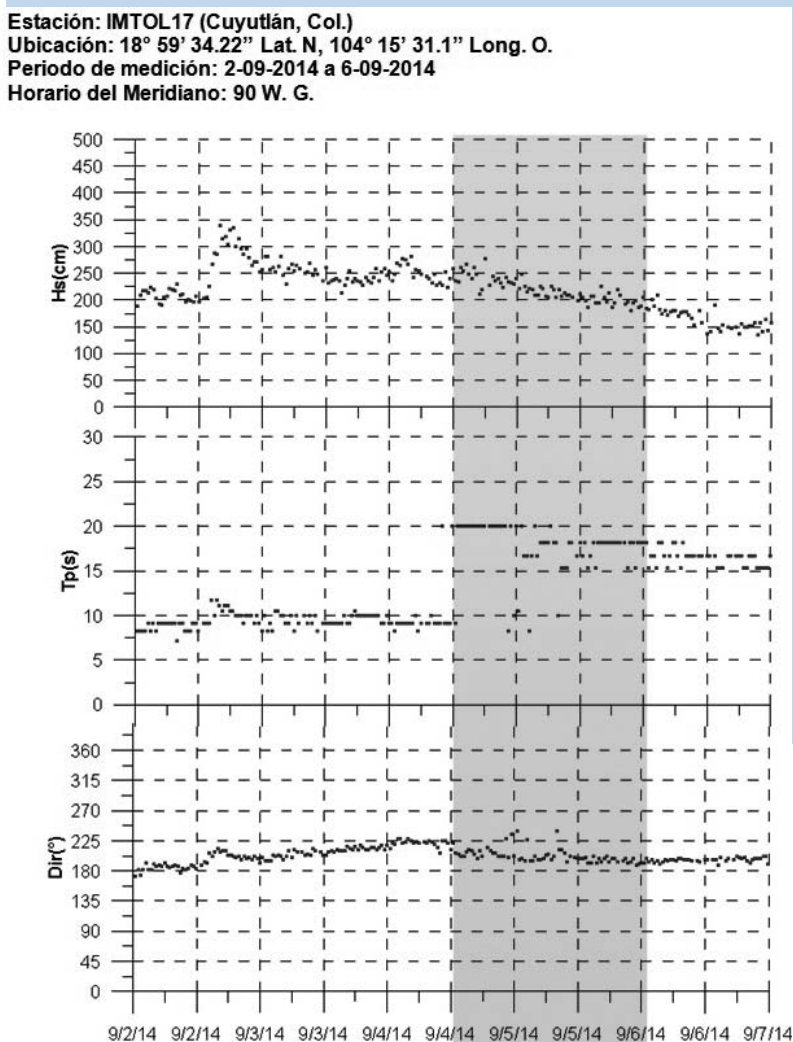
Para el caso de las gráficas 2 y 3, el fenómeno meteorológico que generó el mar de fondo, fue

el huracán Marie que se debilitó a Categoría 3 el día martes 2 de septiembre del 2014.

Estación: IMTOL20 (Acapulco, Gro.)
Ubicación: 16° 47' 23" Lat. N, 99° 51' 43.9" Long. O
Periodo de medición: 1-07-2014 a 6-07-2014
Horario del Meridiano: 90 W. G.



Gráfica 2
Registros de las características del oleaje en el puerto de Acapulco, Gro. Mar de fondo resaltado en rojo los días 4 y 5 de julio



Gráfica 4
Registros de las características del oleaje en el puerto de Cuyutlán, Col.
Mar de fondo resaltado en rojo los días 4 y 5 de septiembre

En las gráficas que se presentaron, podemos identificar la presencia de un estado de mar típico de mar de fondo los días 4 y 5 de julio para el puerto de Acapulco, Gro. (Gráfica 2), las últimas horas del día 5 y el día 6 de septiembre para el puerto de Mazatlán, Sin. (Gráfica 3) y después del mediodía del 4 y el 5 de septiembre para el puerto de Cuyutlán, Col. (Gráfica 4).

En todos los casos, las series de tiempo muestran que primero se presenta oleaje de tormenta (oleaje tipo sea, con periodos cercanos a los 10 s), y conforme se aleja la

tormenta, el tipo de olas cambia y estas se caracterizan por formar trenes de ondas con crestas regulares bien definidas y de periodo largo (aprox. 20 s), con una apariencia del mar en un estado ordenado, principal diferencia que permite distinguir el oleaje del mar de fondo de del de tormenta, ya que en este último la superficie del mar es caótica y los periodos de ola que se presentan son menores.

Referencias bibliográficas

Nota periodística del evento del 5/07/2014
<http://noticieros.televisa.com/mexico/1407/que-es-mar-fondo/>

U.S. Army Corps of Engineers. 2002. Shore Protection Manual. Vols. 1,2 and 3. Coastal Engineering Research Center, U.S. Army Corps Of Engineers, Washington, D.C. 633 pp.

Noe Toledano Vega. 2006. Caracterización de la rotura del oleaje en modelo elíptico disipativo de transformación del oleaje. UNAM. México D. F.

Rodolfo Silva Casarín. 2005. Análisis y descripción estadística del oleaje. UNAM. México D. F.

Instituto Mexicano del Transporte. 2014. Operación de la Red Nacional de Estaciones Oceanográficas y Meteorológicas. Querétaro.

TOLEDANO Noe
ntoledano@imt.mx

RENDÓN Camilo
crendon@imt.mx

SERRANO Etelberto
eserranp@imt.mx

GLOSARIO

Artículo 1:

Tier: Son los proveedores que forman parte de una cadena de suministro, en este caso de la industria automotriz. Existen varios niveles y estos dependen de una serie de características, por ejemplo los de primer nivel (Tier 1) deben tener capacidad para abastecer directamente la demanda de las plantas armadoras y poseer las atribuciones de las empresas de clase mundial.

Nodos emisores: Corresponde a las estaciones de ferrocarril, terminales logísticas o centros de producción en donde se embarca la mercancía. Son los puntos de origen de la carga ferroviaria.

Nodos receptores: Son los puntos de destino de la carga ferroviaria, referidos en ocasiones como nodos o puntos de atracción de la carga.

Artículo 2:

MCI: Motor de combustión interna, que utiliza básicamente combustibles fósiles para producir energía mecánica a partir de una reacción química de oxidación, en la que el combustible se combina con un comburente, comúnmente el oxígeno del aire atmosférico.

Emisión contaminante: En el caso de MCI, cada uno de los productos resultantes de la

combustión llevada a cabo en las cámaras de combustión del motor, que se emite a la atmósfera y que tiene un efecto nocivo a los seres vivos.

Artículo 3:

Mar de fondo: es el movimiento de las olas que se propaga fuera de la zona donde se ha generado, pudiendo llegar a lugares muy alejados. También recibe el nombre de mar tendida o mar de leva. Por tanto este estado del mar no tiene relación alguna con el viento presente, aunque su causa es el viento que se haya originado en otra área distinta.

Fetch: Es un término procedente directamente del inglés usado en geografía física, meteorología y otras ciencias para designar a la longitud rectilínea máxima de una gran masa de agua superficial de mares u océanos que es uniformemente afectada en dirección y fuerza del viento, generando a su vez un determinado tipo de oleaje. Se mide de manera paralela a la dirección del viento

Oleaje: Se define el oleaje como una sucesión de ondas u olas sobre una superficie de agua que, su origen se debe a la transferencia de energía del viento a la superficie del agua, para luego propagarse hasta alcanzar tierra.

PROYECTO EN MARCHA

Lineamientos generales para establecer una política institucional sobre investigación de accidentes de tránsito

Actualmente, la seguridad vial se ha convertido en un tema de máxima preocupación. El incremento de los accidentes de tránsito y sus costos asociados (muertos, heridos, discapacitados y daños materiales) ha provocado que una de las principales causas de muerte en personas menores de 35 años sean precisamente los accidentes de tránsito.

En este contexto, implementar las acciones preventivas que ofrezcan los mejores beneficios; es decir, prevenir los accidentes, pasa necesariamente por saber cuándo, cómo, porqué o dónde están ocurriendo. Es bien sabido que la primera condición que exige la solución de cualquier problema es conocerlo, lo que hace imprescindible saber cuáles son las principales causas que los originan, los factores que más influyen en su severidad, etc.

No obstante, cabe decir que los accidentes de tránsito constituyen un fenómeno de gran complejidad, en el que intervienen un gran número de variables (conductor, vehículo, camino y medio ambiente), las cuales admiten infinitas asociaciones cuando de un accidente se trata, por lo cual, el conocimiento preciso de todas esas variables y su interacción en la ocurrencia de un accidente es una tarea bastante complicada, que convierte a la investigación científica en una herramienta imprescindible, para que a través de ella se identifiquen las causas y se planteen las mejores soluciones.

El trabajo que se desarrolla documenta las mejores prácticas a nivel internacional sobre

la investigación de accidentes de tránsito y a partir de ellas se proponen los lineamientos generales para establecer una política institucional para llevar a cabo la investigación de accidentes de tránsito en la Red Carretera Federal de México.

Este trabajo permitirá a la SCT contar con un estudio que permita establecer una política institucional y los procedimientos para llevar a cabo la investigación de accidentes de tránsito en la Red de Carreteras Federales, que contemplen quién, cómo, cuándo y bajo qué lineamientos de orden técnico y jurídico se deberá llevar a cabo la investigación de accidentes en México, así como las necesidades pertinentes para su implementación.

CHAVARRÍA Jesús
jchavarria@imt.mx
MENDOZA Alberto
mendoza@imt.mx



PUBLICACIÓN

Análisis de la estructura del Sistema de Evaluación del Impacto Ambiental para proyectos carreteros

La **publicación técnica 390** propone el uso de una herramienta diseñada por Christopher Woods para analizar los sistemas de evaluación de impacto ambiental. Esta metodología se aplicó al Sistema de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA) del Estado de Michoacán para identificar, por un lado la efectividad del uso de la herramienta en México y, por otro, el grado de cumplimiento que el SEIA del Estado en estudio presentaba con respecto a los criterios señalados por Woods.

Los resultados mostraron la utilidad de los criterios de Woods para identificar las debilidades que pueden presentar los SEIA y con ello establecer las áreas de oportunidad para fortalecer y mejorar dichos SEIA.

También se describen las áreas de oportunidad encontradas en el análisis, encaminadas a mejorar la evaluación del impacto ambiental.

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

<http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt390.pdf>

EVENTOS ACADÉMICOS Y CONGRESOS

Evaluación económica y social de proyectos de infraestructura del transporte

Por considerar que la realización de proyectos de inversión de carácter público, sobre todo en lo que a proyectos de infraestructura para el transporte se refiere, requiere del empleo de técnicas cualitativas y cuantitativas que fundamenten la justificación económica de los mismos, así como la determinación de su impacto en la sociedad mexicana, el Instituto Mexicano del Transporte organizó este Curso Internacional, el cual se llevó a cabo en las instalaciones del IMT del 18 al 22 de agosto.

Tuvo como objetivo proporcionar las herramientas de análisis que son empleadas en la identificación de las variables que intervienen en la evaluación económica de proyectos de infraestructura de transporte, e introducir a los participantes en

el manejo de metodologías para la evaluación económica de proyectos de infraestructura para el transporte, así como para la programación de inversiones en el corto, mediano, y largo plazos.

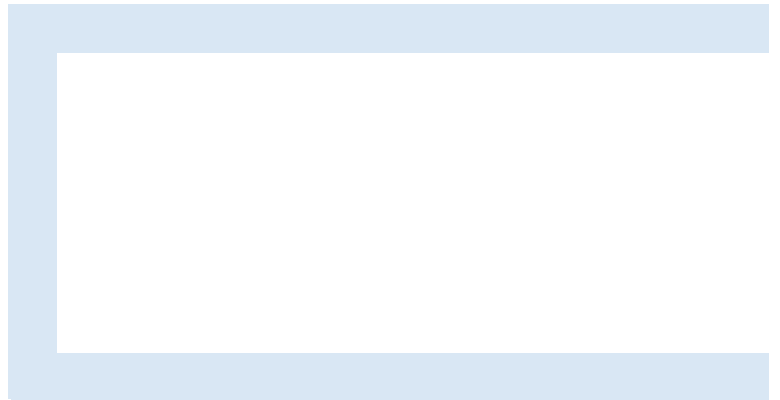
Este curso tuvo una asistencia de 32 participantes, los cuales provinieron de diferentes Centros y Oficinas Centrales de la SCT, del Gobierno del Estado de Querétaro y Guanajuato, de la Universidad de Quintana Roo; así como de diversas empresas de iniciativa privada.

Algunos de los temas a tratar fueron: Esquema de planeación de la infraestructura carretera e introducción a los modelos de estimación de la demanda del transporte.



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

Registro Postal
Cartas
CA22-0070
Autorizado por Sepomex



POR AVIÓN
AIR MAIL