

## EL SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO DE ESTABILIDAD (ESC) DE UN VEHÍCULO

### Introducción

Los vehículos de autotransporte son un medio ampliamente usado alrededor del mundo que satisface ya no sólo las necesidades de traslado de mercancías y personas, sino, en algunos casos, son usados también como medios de entretenimiento. En sus inicios a finales del siglo XIX, los vehículos eran simples y con capacidades muy limitadas; contaban básicamente con el tren motriz, el sistema de mando para guiarlo y el espacio para apenas uno o dos ocupantes. Sin embargo, han ido evolucionando a lo largo del tiempo, tanto en la parte mecánica como en la inclusión de sistemas para brindar mayor comodidad y seguridad a los ocupantes. A la par de la evolución de los vehículos, también se ha enfrentado la necesidad de desarrollar la infraestructura por la cual circulan, priorizando leyes y reglamentos que rijan su uso de una manera conveniente y segura.

A pesar de la ocurrencia de accidentes viales desde la época misma de nacimiento de los vehículos, por muchos años el mayor desarrollo en cuanto a seguridad de los ocupantes fue la implementación del cinturón de seguridad. Su función esencial es el anclaje del pasajero a su asiento, reteniéndole en cambios bruscos de desaceleración para evitar que abandone el habitáculo del vehículo o que se impacte el cuerpo con la estructura u otros elementos frontales.

En las últimas décadas, gracias a la concientización de gobiernos y fabricantes, así como el gran desarrollo de la electrónica, se han podido desarrollar más y mejores sistemas de seguridad. Debido a su accionamiento, los sistemas se han clasificado en dos tipos: sistemas de seguridad pasiva, que se activan

una vez que el vehículo ha sufrido algún percance, y sistemas de seguridad activa, cuya función es evitar la ocurrencia de un accidente. Como ejemplo de los primeros se cita el cinturón de seguridad, las bolsas de aire y las barras anti-vuelco, mientras que de los segundos sobresalen los sistemas antibloqueo de los frenos ABS, de asistencia electrónica de frenado EBD y de control de tracción, entre otros.

En los últimos años se ha generalizado en vehículos de alto desempeño el uso de sistemas de control electrónicos de estabilidad, comúnmente identificados como sistemas ESC (Electronic Stability Control). El uso de estos sistemas ha demostrado ser de gran ayuda para evitar accidentes y, con ello, salvar vidas humanas. Por esta importante razón, algunos países han optado por hacer obligatoria su inclusión como equipo de serie en los vehículos que se comercialicen en sus territorios, dando cierto margen de tiempo a los fabricantes para

### CONTENIDO

<b>EL SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO DE ESTABILIDAD (ESC) DE UN VEHÍCULO</b>	<b>1</b>
<b>EFFECTOS DEL TSUNAMI DE JAPÓN EN LA COSTA OCCIDENTAL DE MÉXICO</b>	<b>7</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>17</b>
<b>PROYECTOS EN MARCHA</b>	<b>17</b>
<b>PUBLICACIÓN</b>	<b>18</b>
<b>EVENTOS ACADÉMICOS</b>	<b>19</b>

su implementación. Desafortunadamente, éste no es aún el caso de México, por lo que sólo algunos modelos de vehículos comercializados en territorio nacional, generalmente automóviles de lujo, lo ofrecen como equipo de serie, mientras que en algunos otros modelos se ofrece como equipamiento opcional, ofertado con un costo extra.

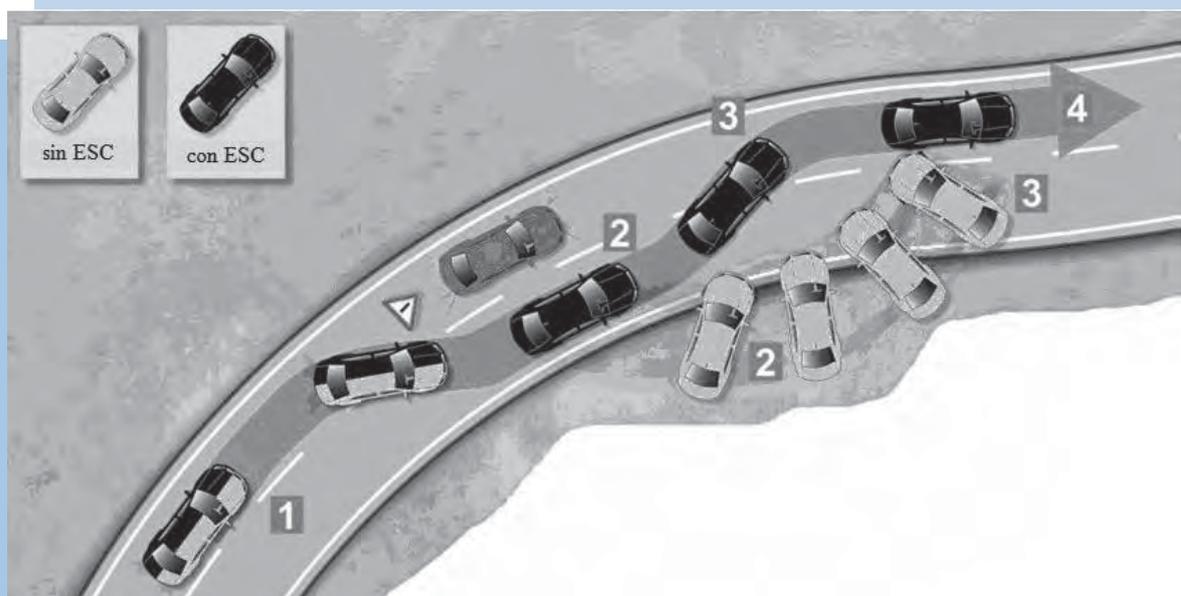
Dada la importancia de tener un mayor conocimiento de los sistemas de los vehículos que repercuten en la seguridad de sus usuarios, en este artículo se presentan algunos aspectos relevantes del sistema de control de estabilidad electrónico. De manera breve se describe la base de su funcionamiento, su historia y los principales beneficios de su implementación, con la finalidad de generar una mayor conciencia sobre sus capacidades y el papel en el desempeño de los vehículos que conlleven a un entorno más seguro.

**Generalidades del sistema ESC**

Básicamente, el control electrónico de estabilidad es un sistema de seguridad que opera activamente con acciones de frenado, monitoreando el movimiento y desempeño en las ruedas para evitar, en lo posible, la pérdida de

control direccional. Su acción repercute sobre el frenado en una o más de las ruedas al detectar situaciones de riesgo para evitar sobrevirajes y subvirajes, es decir, al negociar los cambios de dirección en el seguimiento de una trayectoria. Como un integrador, el sistema de control de estabilidad centraliza las funciones de los sistemas ABS, EBD y de control de tracción e, incluso, en la sofisticación y equipamiento de algunos vehículos, el ESC puede reducir la potencia del motor hasta que el control se recupera. Es importante mencionar que este sistema no mejora el desempeño dinámico del vehículo, sino que ayuda a minimizar la pérdida de control. Según estudios realizados por el IIHS (Insurance Institute for Highway Safety) y la NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration), una tercera parte de los accidentes fatales podrían haberse evitado con el uso de esta tecnología [1, 2].

Para ilustrar el efecto del ESC, la Figura 1 muestra una representación esquemática de una maniobra de rebase al transitar en curva, ejecutada con un vehículo equipado con ESC y otro sin ESC. El esquema remarca que mientras el vehículo con ESC logra realizar la maniobra de forma adecuada, el otro sufre una pérdida de control, lo que ocasiona que salga del camino.



**Figura 1**  
Maniobra crítica con un vehículo equipado con y sin ESC

Al acercarse a un obstáculo que deba ser esquivado, la maniobra inmediata es girar el volante para cambiar la trayectoria del vehículo y evitar la colisión, como se muestra en la etapa 1 en la figura. La acción siguiente es girar el volante en la dirección contraria (izquierda) con la intención de recuperar la trayectoria sobre el camino, que correspondería a la etapa 2 en el esquema. Esta acción genera la tendencia al giro del vehículo, en el que sin ESC (vehículo en color claro) tiene gran riesgo de perder el control direccional y salir de la trayectoria del camino, mientras que con ESC (vehículo oscuro) el sistema frena en la proporción adecuada una o ambas ruedas traseras para forzar a que el vehículo recupere y mantenga la trayectoria de evasión sobre el camino sin perder el control de la dirección, etapa 3. El vehículo con ESC puede entonces continuar en la trayectoria sobre el camino, etapa 4.

El esquema muestra, como consecuencia de la pérdida de control direccional, un aparente deslizamiento. Esta situación puede agudizarse si al salir del camino se enfrenta con algún obstáculo o un cambio en el nivel superficial, lo que podría originar una volcadura o colisionar con vehículos en sentido contrario.

### Historia

En 1987, los primeros innovadores del ESC, Mercedes Benz y BMW, introducen su primer sistema de control de tracción. El control trabaja aplicando individualmente los frenos y el par de giro en cada rueda para mantener la tracción mientras se acelera pero, a diferencia del ESC, no estaba diseñado para asistir en la manejabilidad, [3].

En 1990 Mitsubishi desarrolló un sistema al que nombró Control Activo de Patinaje y Tracción (ASTC). El sistema fue desarrollado para ayudar al conductor a mantener la trayectoria deseada en curvas utilizando una computadora dentro del vehículo que monitoreaba sensores de sus diversos parámetros operacionales. Su característica principal era que cuando se usaba demasiada potencia mientras se circulaba en una curva, la entrega del motor y los frenos se

regulaban automáticamente para asegurar la trayectoria adecuada.

BMW trabajó con Robert Bosch GmbH y Continental Automotive Systems para desarrollar un sistema que redujera el par para prevenir la pérdida de control direccional, el cual aplicó en todos sus modelos de 1992. De 1987 a 1992, Mercedes Benz, en conjunto con Robert Bosch GmbH, desarrollaron un sistema llamado Programa Electrónico de Estabilidad (ESP por sus siglas en alemán), [3].

El grupo GM trabajó con Delphi Corporation y en 1997 introdujo su versión de ESC llamado "StabiliTrak" en algunos modelos selectos de Cadillac. El StabiliTrak se incluyó como equipo de serie en toda la gama de SUV's y vans vendidas en Estados Unidos y Canadá para el 2007. Mientras el nombre de StabiliTrak es usado por GM para el mercado de los Estados Unidos, el término Control Electrónico de Estabilidad es usado en las demás marcas de GM como Opel, Saab, etc. La versión de Ford del ESC llamado como AdvanceTrac fue introducido en el año 2000. Posteriormente Ford introdujo el Control de Estabilidad de Volcadura en el AdvanceTrac el cual fue primeramente utilizado en el Volvo XC90 de 2003, [3].

De acuerdo a los fabricantes y sus respectivos desarrollos, son diversas las designaciones del sistema electrónico de control de estabilidad. No obstante, su funcionamiento y componentes son similares, así como el propósito de su implementación. Debido a su mostrada efectividad, los gobiernos de algunos países han enfatizado e, incluso, condicionado el uso de sistemas de este tipo como equipamiento de serie de los vehículos que se comercialicen en su jurisdicción.

### FuFuncionamiento

Durante la conducción normal, el ESC trabaja en segundo plano monitoreando constantemente la conducción y dirección del vehículo. Compara la dirección deseada por el conductor (determinada mediante la medición del ángulo del volante) con la dirección real del vehículo (determinada mediante la medición de

la aceleración lateral, la rotación del vehículo y la velocidad individual de cada rueda). El ESC interviene solo cuando detecta pérdida del control direccional; por ejemplo, cuando el vehículo no sigue la trayectoria que el conductor le marca en el volante, [4]. Esto puede ocurrir cuando se produce patinaje durante virajes de emergencia, al circular por caminos resbaladizos o en el acua-planeo. El ESC estima la dirección de patinaje y aplica los frenos sobre ruedas individuales asimétricamente para generar un par de giro con respecto al eje vertical del vehículo y opuesto al patinaje, regresándolo de esta manera a la trayectoria deseada por el conductor. Adicionalmente, el sistema puede reducir la potencia del motor u operar la transmisión para reducir la velocidad de avance.

El ESC puede trabajar sobre cualquier superficie, desde pavimento seco hasta lagos congelados, incluidos vehículos pesados, [5, 6]. Dentro de los límites de la realidad física, reacciona y corrige el patinaje más rápido y con mayor efectividad que los conductores humanos comunes, en ocasiones aún antes de que el conductor perciba cualquier inminente pérdida de control [7].

### Componentes

El ESC está compuesto por diversos sensores y dispositivos que se controlan mediante una unidad de control. Entre los más comunes se tienen los siguientes [3]:

**Sensor del ángulo de dirección.** Es el encargado de medir el giro del volante de dirección, monitoreando así la dirección deseada del conductor.

**Sensor de la razón del coleo.** Mide la velocidad de rotación del vehículo con respecto a su eje vertical. Los datos registrados con este sensor son comparados con los del sensor del ángulo de dirección para determinar alguna acción correctiva.

**Sensor de la aceleración lateral.** Colocado muy cerca del centro de gravedad del vehículo, mide la aceleración lateral generada por los cambios de dirección.

**Sensor de velocidad de las ruedas.** Miden la velocidad de rotación de cada rueda, detectando las diferencias que puedan conducir al deslizamiento o en el seguimiento de trayectorias curvas.

**Modulador hidráulico.** Se asegura que cada rueda reciba la correcta fuerza de frenado. En los sistemas de antibloqueo de frenos ABS se utiliza un modulador similar sólo para reducir la presión durante el frenado, mientras que en ciertas situaciones, el ESC necesita además incrementarla.

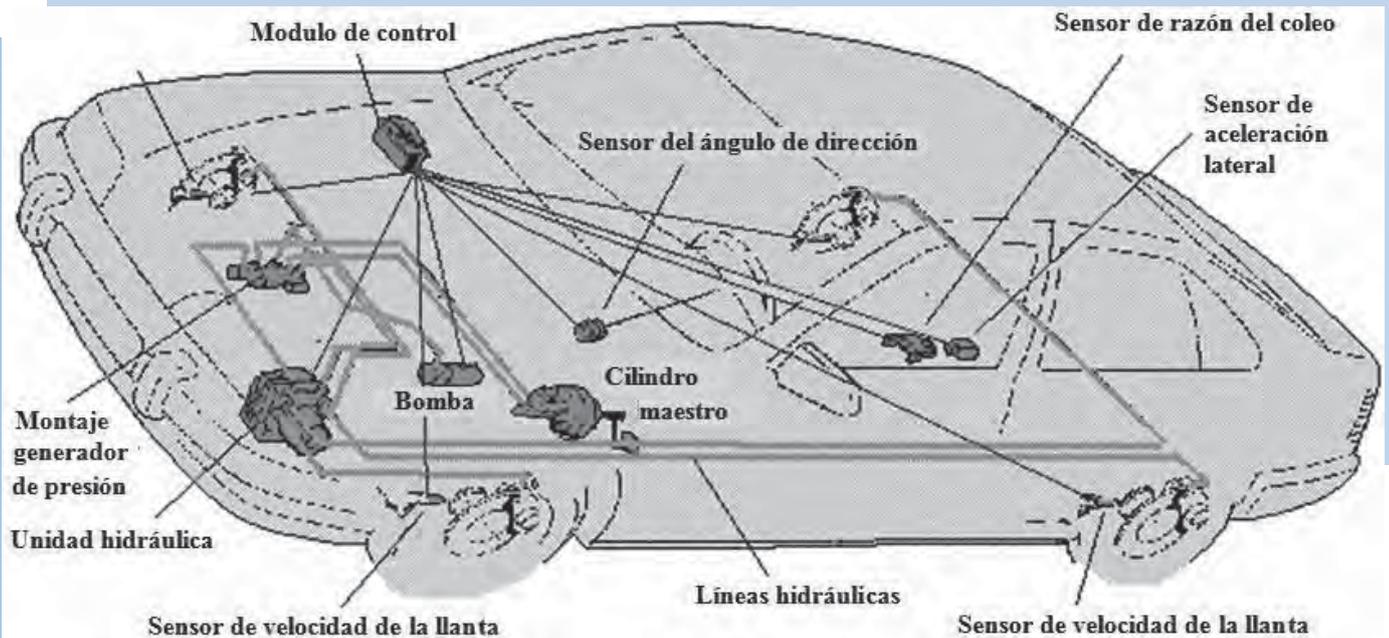
**Unidad de control electrónico (ECU).** Es el cerebro del sistema, al que converge la información monitoreada por cada sensor y enviar la instrucción para realizar los ajustes necesarios. El mismo ECU es utilizado también para controlar independientemente los diversos sistemas a la vez (ABS, sistema de control de tracción, etc.).

La mayoría de los sistemas de ESC tienen un interruptor que le permite al conductor apagarlo manualmente en casos que así se consideren. Esto podría ser deseable bajo ciertas condiciones de atascamiento de las ruedas en el camino, como caso de lodo, nieve, arena o tierra suelta. Sin embargo, de manera preestablecida, el sistema se enciende automáticamente cuando el vehículo se enciende.

En la Figura 2 se muestra esquemáticamente un vehículo con la ubicación de los componentes comunes del control de estabilidad electrónico.

### Efectividad

Numerosos estudios en todo el mundo confirman que el ESC es altamente eficaz en ayudar al conductor a mantener el control del vehículo, así como en salvar vidas y reducir la severidad de los choques, [8]. A finales del 2004 la NHTSA de los ESTADOS UNIDOS determinó que el ESC reduce los choques en 35%. Adicionalmente, los vehículos utilitarios (SUVs) con el control de estabilidad tuvieron 67% menos accidentes que los que no contaron con él. De igual forma, la IIHS realizó su propio estudio en Junio de



**Figura 2**  
**Ubicación de los principales componentes del ESC**

2006, mostrando que más de 10000 accidentes fatales pudieran evitarse anualmente si todos los vehículos fueran equipados con el ESC, [9]. En junio de 2004 se logró que todos los vehículos fabricados en la Unión Europea contaran con el sistema ABS como equipo de serie, a más de 20 años de su invención. Optimistamente, se espera que para implementar completamente el ESC en todos los vehículos que se fabriquen, lleve tan sólo 10 años, [10].

### Futuro

El Mercado del ESC está creciendo rápidamente, especialmente en países europeos como Suecia, Dinamarca y Alemania. Por ejemplo, en 2003 en Suecia el porcentaje de carros nuevos vendidos con ESC fue del 15%. En septiembre de 2004 la administración de la seguridad en carreteras sueca emitió una recomendación acerca del uso del ESC; 16 meses después, el porcentaje creció al 58%, alcanzando el 96% para el 2008.

Así como el ESC, que trabaja en el plano horizontal, se apoya en el sistema antibloqueo

de frenos, ahora el ESC es la base para el desarrollo de nuevos sistemas, tal como el de control de estabilidad de volcadura (RSC), que trabaja en el plano vertical, [11, 12]. Otros adelantos en el ESC se enfocan en aprovechar su capacidad de procesamiento de datos para así interconectar los sistemas de seguridad activa y pasiva frente a otras causas de accidentes. Por ejemplo, los sensores pueden detectar cuando un vehículo está circulando muy cerca de otro y frenarlo, enderezar respaldos de los asientos y apretar los cinturones de seguridad, para evitar y/o prepararse para un choque.

### ReReglamentación

La historia de la aplicación del sistema de control electrónico de estabilidad en diferentes vehículos, ha mostrado su efectividad como un medio para reducir el número de accidentes y su severidad. Esto ha promovido que en algunos países se haya gestionado a nivel gubernamental la divulgación de las ventajas del uso de este sistema, que despierte la conciencia del manejo. Se han utilizado campañas públicas con el fin de promover el

empleo del ESC, como es el caso de Suecia, [13]. Otros países han optado por implementar o proponer leyes y reglamentos para su uso obligatorio.

La provincia canadiense de Québec fue la primera jurisdicción en implementar una ley que hizo obligatorio el uso del ESC para los transportistas de materiales peligrosos en 2005, [13]. Posteriormente se legisló una ley que obliga a todos los vehículos de pasajeros a contar con el ESC para el 1 de septiembre de 2011 en todo Canadá. En ese sentido, también los Estados Unidos establecieron la implementación del sistema de forma gradual para todos los vehículos de pasajeros de menos de 10000 lb (4,5 ton) con el 55% para modelos 2009, 75% para modelos 2010, 95% para modelos 2011 y 100% para 2012, [14].

El 23 de junio de 2009, el gobierno de Australia anunció la obligatoriedad del uso de ESC para todos los vehículos de pasajeros nuevos vendidos en ese país a partir del 1 de noviembre de 2011, y para todos los vehículos nuevos a partir de noviembre de 2013, [15]. De igual forma, el Parlamento Europeo presentó la propuesta de obligar el uso del ESC en todos los vehículos nuevos de pasajeros y comerciales vendidos en la Unión Europea a partir del 2012, [16].

### Para tomar en cuenta

Todos los constructores de ESC hacen énfasis que el sistema no mejora el desempeño ni reemplaza las prácticas de conducción segura. Más bien, el ESC es una tecnología que asiste al conductor para recobrar el control en situaciones peligrosas. El ESC trabaja dentro de los límites de la manejabilidad del vehículo y la tracción disponible entre las llantas y el camino, por lo que maniobras imprudentes pueden exceder estos límites, dando como resultado la pérdida de control con la severidad de un accidente.

México aún no tiene políticas definidas sobre el uso obligatorio de sistemas como el ESC.

Aunque es clara la importancia de realizar acciones que incrementen la seguridad vial, no se han emitido aún leyes o reglamentos que obliguen a la utilización de este tipo de equipamiento. Regionalmente, se sabe de algunos esfuerzos para generar una mayor conciencia en los conductores, de manera que utilicen los mecanismos con los que ya cuenta el vehículo, como es el caso del cinturón de seguridad. No obstante, se requieren esfuerzos todavía mayores para implementar otros equipos orientados a salvaguardar la vida de los usuarios de vehículos, promoviendo, además, el carácter obligatorio de su inclusión como equipos de serie en las unidades comercializadas en México.

### Referencias

1. *Electronic Stability Control Could Prevent Nearly One-Third Of All Fatal Crashes And Reduce Rollover Risk By As Much As 80%; Effect Is Found On Single- And Multiple-Vehicle Crashes*, IIHS News release, 2006.
2. Jennifer N. Dang, *Preliminary Results Analyzing The Effectiveness Of Electronic Stability Control(Esc) Systems*, DOT HS 809 790, 2004
3. *Electronic stability control*. Webpage [http://en.wikipedia.org/wiki/Electronic\\_stability\\_control](http://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_stability_control), consultada en enero de 2011.
4. *Q&As: Electronic stability control*. Webpage <http://www.iihs.org/research/qanda/esc.html>, consultada en enero 2011.
5. *Truck ESP System*. Video disponible en <http://www.youtube.com/watch?v=AHvoPJrXIMU>, consultado en enero 2011.
6. *How Effective is Stability Control*. Video disponible en <http://www.youtube.com/watch?v=K3m24bjkfg0>, consultada en enero 2011.
7. *Toyota glossary: Vehicle Stability Control (VSC)*, en webpage <http://www.toyota.com/>

help/glossary.html#v, consultada en enero de 2011.

8. Ferguson, Susan A. *The Effectiveness of Electronic Stability Control in Reducing Real-World Crashes: A Literature Review*. *Traffic Injury Prevention*, Volume 8, Issue 4, 2007, Pages 329 – 338.

9. *Electronic stability control could prevent nearly one-third of all fatal crashes and reduce rollover risk by as much as 80%; effect is found on single- and multiple-vehicle crashes*. IIHS New Releases. June 13 2006.

10. FITSA. *El control electrónico de estabilidad y el sistema de ayuda a la frenada: Descripción y evidencias científicas de su eficacia*. Fundación Instituto Tecnológico para la Seguridad del Automóvil. 2007. España.

11. Jianbo Lu, Dave Messih, and Albert Salib, *Roll Rate Based Stability Control - The Roll Stability Control System*, Proceedings of the 20th Enhanced Safety of Vehicles Conference, 2007.

12. Jianbo Lu, Dave Messih, Albert Salib, and Dave Harmison, *An Enhancement to an Electronic Stability Control System to Include a Rollover Control Function*, SAE Transactions, Vol. 116, pp. 303–313, 2007.

13. Anders Lie, Claes Tingvall, Maria Krafft, and Anders Kullgren, *The Effectiveness of ESC (Electronic Stability Control) in Reducing Real Life Crashes and Injuries*, Proceedings of the 19th Enhanced Safety of Vehicles Conference, 2005.

14. Electronic Stability Control (ESC) | National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) | U.S. Department of Transportation. <http://www.nhtsa.gov/>

15. Twomey, David. *Govt makes ESC mandatory from 2011. June 23rd, 2009. Australia*. Nota disponible en <http://www.caradvice.com.au/33443/govt-makes-esc-mandatory-from-2011/>, consultada en enero de 2011.

16. Carscoop. *EU: Electronic Stability Control to be Standard on all Vehicles from 2014*. Nota publicada en <http://carscoop.blogspot.com/2008/05/eu-electronic-stability-control-to-be.html>, consultada en enero de 2011.

BLAKE Carlos  
cblake@imt.mx  
FLORES Oscar  
oflores@imt.mx  
FABELA Manuel  
mjfabela@imt.mx

## EFECTOS DEL TSUNAMI DE JAPÓN EN LA COSTA OCCIDENTAL DE MÉXICO

### Introducción

En este documento se presentan los trabajos realizados en México horas posteriores al 11 de marzo de 2011, fecha en la que ocurrió un fuerte tsunami de magnitud  $M_w=9.0$  en la costa del Pacífico Japonés. Los trabajos realizados describen las mediciones de los equipos de la Red Nacional de Estaciones Oceanográficas y Meteorológicas (RENEOM), se describen los efectos del tsunami de Japón

en la costa occidental de México, así como el pronóstico de la propagación del tsunami en las aguas del océano Pacífico realizado por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). Merece la pena comentar que dicho trabajo en el que se puntualizó tanto el tiempo de llegada como la altura esperada del tsunami a nuestras costas, sentó las bases para que la Coordinación General de Protección Civil de la Secretaría de Gobernación tomara las

medidas pertinentes ante tal evento. Para que el lector encuentre ilustrativos los registros del tsunami en los puertos de la costa occidental de México y en el Golfo de California, a continuación se definen algunos conceptos importantes.

Tsunami es un término de origen Japonés que significa “oleaje de puerto”, algunas veces llamado oleaje sísmico, o erróneamente onda de marea. Los tsunamis son usualmente pequeños y escasamente observados en el océano profundo, pero se amplifican y causan daño cuando se acercan a la costa. Los tsunamis pueden ser estudiados desde diversos enfoques ya que su generación se relaciona con procesos geológicos, la propagación y observación en aguas profundas son objeto de estudio de la oceanografía, mientras que su comportamiento en la costa es mayormente estudiado por la Ingeniería de Costas.

Los tsunamis son ondas gravitatorias generadas por un desplazamiento súbito del fondo marino que afecta de forma similar a la superficie del océano. A este desplazamiento es lo que se conoce como condición inicial del tsunami. El origen del desplazamiento puede ser sismotectónico, por deslizamiento de grandes masas de sedimento en el talud continental, o por erupciones volcánicas.

Los tsunamis según la distancia o tiempo de viaje desde su lugar de origen se clasifican en Locales, si el lugar de arribo a la costa es menos de 1 hora de tiempo de viaje desde su origen; Regionales, si el lugar de arribo en la costa está a no más de 1000 Km. de la zona de generación y Lejanos, si el lugar de arribo está en costas extremo-opuestas, o a más de 1000 Km. de distancia de la zona de generación (medio día o más de tiempo de viaje).

La amplitud del tsunami se mide del cero al pico positivo o negativo (cualquiera de los dos). La altura del tsunami también llamada rango de doble amplitud, se mide del valle al pico. En la siguiente figura se muestra gráficamente el significado de la amplitud y altura del tsunami.

Durante la ocurrencia de un tsunami se tienen tres diferentes etapas: la generación, la propagación y el ascenso del nivel del agua en la costa (runup). La etapa de generación de un tsunami incluye la formación inicial de la perturbación de la superficie del océano debido a la deformación del fondo marino. Esta primera perturbación de la superficie del agua evoluciona para convertirse en una onda de gravedad de largo período. Una vez generado, el tsunami se puede propagar a grandes distancias, es decir, esta onda puede viajar a expensas de su propia energía

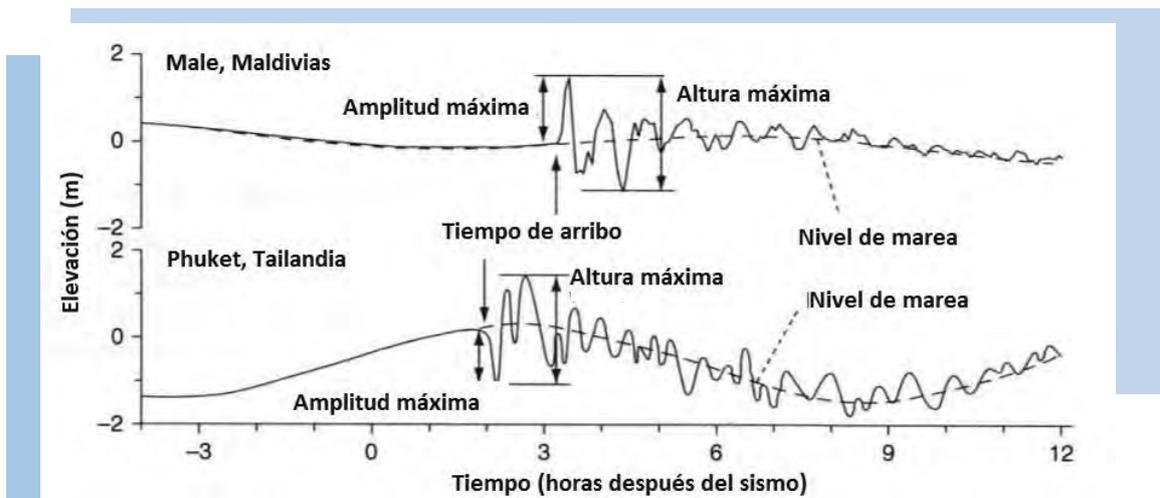


Figura 1

Registro del nivel del mar durante el tsunami ocurrido en diciembre de 2004, Sumatra-Andaman)

cientos o miles de kilómetros de la fuente del terremoto antes de que golpee la costa. Finalmente, cuando la onda llega a la costa, se va a presentar una sobreelevación del nivel del mar la cual es conocida como runup. Este mecanismo de ascenso de agua originará inundaciones y fuertes corrientes en la franja costera.

### Historia de los tsunamis en México

En lo que concierne a nuestro país, la zona de subducción de la Placa de Cocos, adyacente a la costa occidental de México es una de las zonas sísmicas más activa en el Hemisferio Occidental. En esta zona han ocurrido aproximadamente 40 sismos de magnitud mayor a siete ( $M_w > 7$ ) hasta el siglo XIX. En comparación, en la zona correspondiente a la falla de San Andrés en California han ocurrido cinco sismos con magnitud  $M > 7$  (Singh et. al., 1981 y 1984). Del total de sismos mexicanos producidos en la zona de Subducción de la Fosa Mesoamericana en los últimos tres siglos, al menos 14 eventos generaron tsunamis destructivos con alturas de 2 a 11 m.

La costa Oeste de México ha recibido también tsunamis de origen distante no destructivos, generados por sismos producidos alrededor del Océano Pacífico.

Los tsunamis de origen local fueron generados en la parte Sur, a lo largo de la Fosa Mesoamericana, donde la Placa de Cocos se desliza bajo la Placa de Norteamericana. Sus alturas, así como sus efectos, disminuyeron gradualmente desde el origen hacia el Norte y Sur a lo largo de la línea de Costa, llegando a ser aún menores cuando se comparan con otros lugares de arriba a través del Pacífico. El ejemplo más reciente de esto es el evento de Septiembre 19, 1985 (Pararas-Carayannis, 1985; Sánchez y Farreras, 1987). Al Norte de la fractura de Rivera, la Placa del Pacífico se desliza hacia el Norte a lo largo de la falla de cizalla del Golfo de California con respecto a la Placa de Norteamérica. Como resultado California y el Golfo de California no son áreas de origen de tsunamis locales pero sí son áreas receptoras de aquellos de origen distante (ver Figura 2).



**Figura 2**  
Zonificación de la ocurrencia de tsunamis locales y lejanos en México (según Farreras et. al., 1993)

**Tabla 1**  
**Resumen cronológico de tsunamis de origen local observados o registrados en**  
**la costa occidental de México (Sánchez y Farreras, 1993)**

Fecha	Epicentro del sismo (°N, °O)	Zona del sismo	Magnitud del sismo	Lugar registrado del tsunami	Altura max. de olas (m)
25, feb. 1732	No definido	Guerrero		Acapulco	4.0
01, sep. 1754	No definido	Guerrero		Acapulco	5.0
26, mar. 1787	No definido	Guerrero	>8.0	Acapulco	3.0 - 8.0
03, abr. 1820	No definido	Oaxaca		Juquila Pochutla	4.0 4.0
04, may. 1820	17.2° 99.5°	Guerrero	7.6	Acapulco	4.0
10, mar. 1833	No definido	Guerrero		Acapulco	N/D
11, mar. 1834	No definido	Guerrero	7.9	Acapulco	N/D
07, abr. 1845	16.6° 99.2°	Guerrero		Acapulco	N/D
29, nov. 1852	No definido	B.California		Río Colorado	3.0
04, dic. 1852	No definido	Guerrero		Acapulco	N/D
11, may. 1870	15.8° 96.7°	Oaxaca	7.9	Puerto Ángel	N/D
23, feb. 1875	No definido	Colima		Manzanillo	N/D
14, abr. 1907	16.7° 99.2°	Guerrero	7.6	Acapulco	2.0
30, jul. 1909	16.8° 99.9°	Guerrero	7.2	Acapulco	N/D
16, nov. 1925	18.0° 107°	Guerrero	7.0	Zihuatanejo	7.0 - 11.0
22, mar. 1928	15.670° 96.100°	Oaxaca	7.5	Puerto Ángel	N/D
16, jun. 1928	16.330° 96.700°	Oaxaca	7.6	Puerto Ángel	N/D
03, jun. 1932	19.870° 104.420°	Jalisco	8.2	Manzanillo San Pedrito Cuyutlan San Blas	2.0 3.0 N/D N/D
16, jun. 1932	19.5° 103.5°	Jalisco	7.8	Manzanillo	1.0
22, jun. 1932	18.740° 104.680°	Jalisco	6.9	Cuyutlan Manzanillo	9.0 - 10.0 N/D
29, jun. 1932		Jalisco		Cuyutlan	N/D
03, dic. 1946	22.0° 106.5°	Nayarit	6.9	Islas Marías	2.0 - 5.0
14, dic. 1950	17.220° 98.120°	Guerrero	7.2	Acapulco	0.3
28, jul. 1957	17.110° 99.100°	Guerrero	7.8	Acapulco Salina Cruz	2.6 0.3
11, may. 1962	17.250° 99.580°	Guerrero	7.2	Acapulco	0.8
19, may. 1962	17.120° 99.570°	Guerrero	7.1	Acapulco	0.3
23, ago. 1965	16.178° 95.877°	Oaxaca	7.3	Acapulco	0.4
30, ene. 1973		Colima	7.6	Acapulco Manzanillo Salina Cruz La Paz Mazatlán	0.4 1.1 0.2 0.2 0.1
29, nov. 1978	16.013° 96.586°	Oaxaca	7.6	P. Escondido	1.5
14, mar. 1979	17.750° 101.263°	Guerrero	7.4	Acapulco Manzanillo	1.3 0.4
19, sept. 1985	18.419° 102.468°	Michoacán	8.1	L. Cárdenas Zihuatanejo Playa Azul Acapulco Manzanillo	2.5 3.0 2.5 1.1 1.0
21, sept. 1985	17.828° 101.681°	Michoacán	7.6	Acapulco Zihuatanejo	1.2 2.5

Tabla 2

Resumen cronológico de tsunamis de origen lejano recientes (después de 1950) registrados en la costa occidental de México (Sánchez y Farreras, 1993)

Fecha	Epicentro del sismo	Zona del sismo	Magnitud del sismo	Lugar en que se registró el tsunami	Altura máx. de las olas (m)
4, nov. 1952	52.8° N 159.5° E	Kamchatka	8.3	La Paz, B.C.S. Salina Cruz, Oax.	0.5 1.2
9, mar. 1957	51.3°N 175.8°W	I. Aleutianas	8.3	Ensenada, B.C. La Paz, B.C.S. Guaymas, Son. Mazatlán, Sin. Salina Cruz, Oax Manzanillo, Col. Acapulco, Gro.	1.0 0.2 <0.1 0.2 0.4 0.6 0.6
22, may. 1960	39.5°S 74.5°W	Chile	8.5	Ensenada, B.C. La Paz, B.C.S. Guaymas, Son. Topolobampo, Sin. Mazatlán, Sin. Acapulco, Gro. Salina Cruz, Oax.	2.5 1.5 0.6 0.2 1.1 1.9 1.6
20, nov. 1960	6.8°S 80.7°W	Perú	6.8	Acapulco, Gro.	0.1
13, oct. 1963	44.8°N 149.5°E	I. Kurlies	8.1	Acapulco, Gro. Salina Cruz, Oax. Mazatlán, Sin. La paz, B.C.S.	0.5 0.5 0.1 <0.1
28, mar. 1964	61.1°N 147.6°W	Alaska	8.4	Ensenada, B.C. La Paz, B.C.S. Guaymas, Son. Mazatlán, Sin. Manzanillo, Col. Acapulco, Gro. Salina Cruz, Oax.	2.4 0.5 0.1 0.5 1.2 1.1 0.8
4, feb. 1965	51.3°N 179.5°E	I. Aleutianas	8.2	Mazatlán, Sin. Manzanillo, Col. Acapulco, Gro. Salina Cruz, Oax.	0.1 0.3 0.4 0.5
17, oct. 1966	107°S 78.6°W	Perú	7.5	Salina Cruz, Oax.	0.2
16, may. 1968	41.5°N 142.7°E	Japón	8.0	Ensenada, B.C. Mazatlán, Sin. Manzanillo, Col. Acapulco, Gro.	0.3 0.1 0.4 0.4
29, nov. 1975	19.4°N 155.1°W	Hawaii	7.2	Ensenada, B.C. Isla Guadalupe San Lucas, B.C.S. Loreto, B.C.S. Manzanillo, Col Pto. Vallarta, Jal. Acapulco, Gro. Salina Cruz, Oax.	0.5 0.4 0.3 0.1 0.3 0.2 0.3 0.3
14, ene. 1976	29.0°S 178.0°W	Kermadec	7.3	San Lucas, B.C.S. Pto. Vallarta, Jal. Manzanillo, Col. Acapulco, Gro. Salina Cruz, Oax.	0.1 0.1 0.2 0.2 0.3
12, dic. 1979	1.6°N 79.4°W	Colombia	7.9	Acapulco, Gro.	0.3

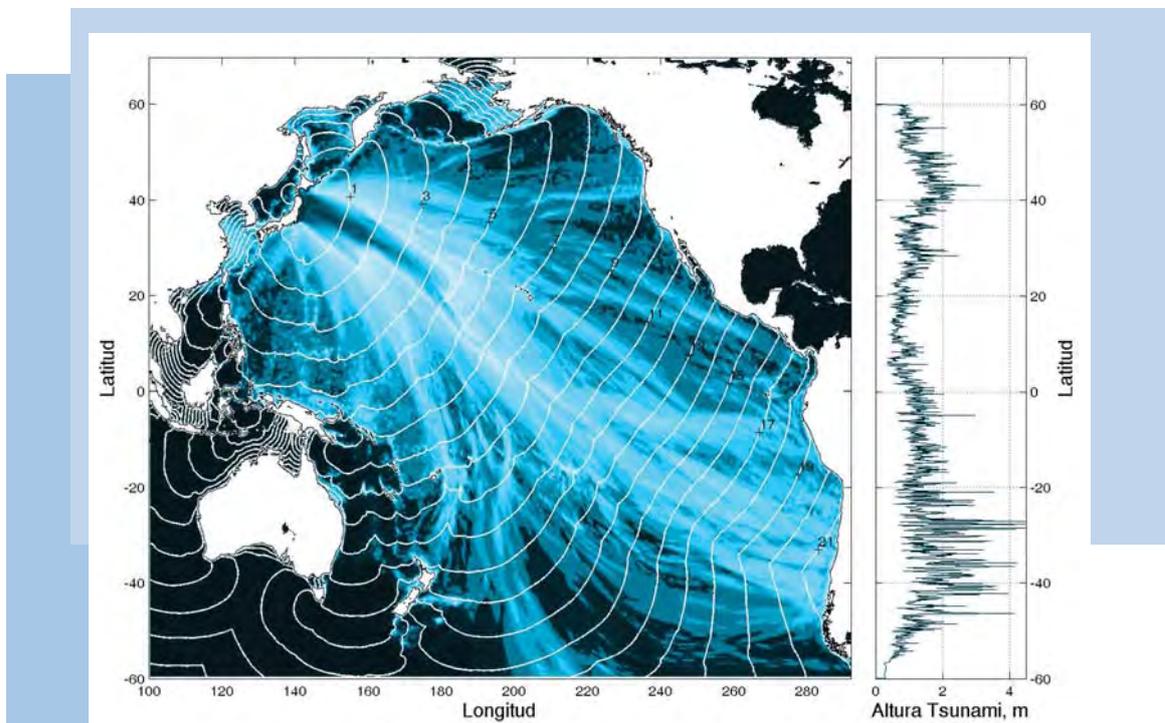
Las alturas de ola máxima en todos los registros de los únicos nueve eventos de origen local registrados en los últimos 40 Años, con pocas excepciones, son menores de 2 m (Sánchez y Farreras, 1987). Esta información obtenida en un corto plazo de tiempo puede conducir a interpretaciones erróneas, llegando a la falsa conclusión de que los tsunamis de origen local no son una amenaza real; mientras que la información histórica de los últimos tres siglos indica lo contrario.

Una comparación de los variables tectónicas de los 6 sismos tsunamigénicos mexicanos con los de los macrosismos de Chile 1960 y Alaska 1964, muestran que las áreas de generación son mas cortas, angostas y profundas y el levantamiento vertical es mas pequeño (Sánchez y Farreras, 1988). Esto parece indicar que los 10 sismos mexicanos más grandes no tienen la potencia ni la eficiencia para generar y esparcir energía suficiente en forma de macro tsunamis a través del Océano

Pacífico. La información histórica disponible, al menos hasta ahora, confirma esta conclusión. Los tsunamis de origen lejano, registrados u observados, rara vez han alcanzado más de 2 m de altura y no han presentado amenaza significativa para las poblaciones costeras.

**Registro RENEOM del tsunami del 11 de marzo de 2011**

En las primeras horas del 11 de marzo, se recibió información sobre el sismo ocurrido en territorio Japonés y en base a dicha información, el CICESE realizó una propagación del tsunami para las costas del continente americano. Los resultados de esta modelación numérica indicaron tiempos de propagación del frente de onda del tsunami. Así como la altura relativa de la onda que se indica en la figura 1 en escala de colores (mayores alturas hacia el rojo). En la figura también se observa a la derecha, la altura esperada del tsunami a lo largo de la costa del Continente Americano.



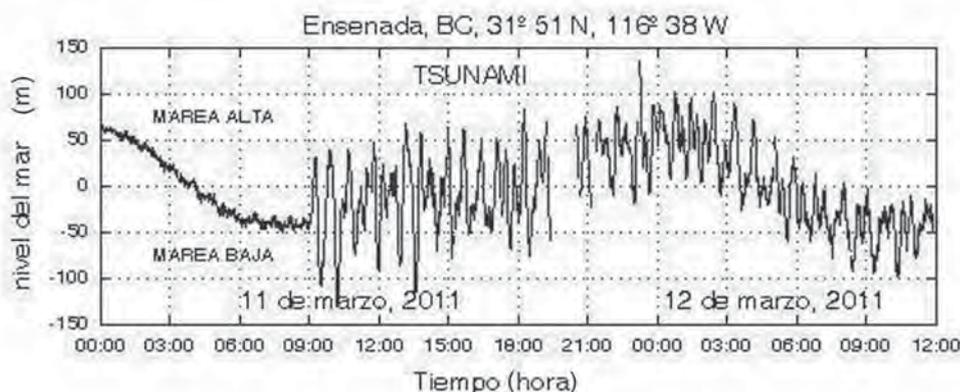
**Figura 3**  
**Propagación numérica del tsunami originado por el sismo de Japón el 11 de marzo de 2011**

En general los resultados mostraron que el tsunami estaría contenido entre los niveles de pleamar y bajamar, pudiendo sobrepasar en caso extremo hasta con un metro el nivel de la pleamar en algunas localidades. Cabe mencionar que aun cuando no se esperaban inundaciones por tsunami, sí se esperaban corrientes fuertes en las playas y de peligro para los bañistas por el efecto de los cambios rápidos en nivel del mar, lo cual quedó validado con la información del nivel del mar recabada con las estaciones mareográficas y los sensores de alta frecuencia de la RENEOM.

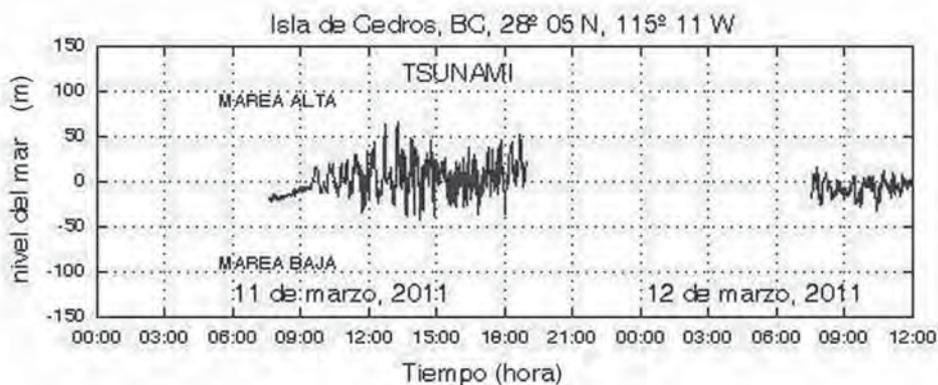
En los registros de las graficas que se muestran a continuación, se puede observar cómo llega el tsunami al puerto de Ensenada a las 9:00 hrs, con alturas de 1.7 m de valle a cresta (de mínimo a máximo) durante las primeras 12 horas, y cómo estas oscilaciones,

más atenuadas, continúan por un lapso mayor a 24 horas.

En cada una de las figuras se indican los niveles del mar en cada puerto y se puede observar cómo en los puertos de Manzanillo y Zihuatanejo el tsunami sobrepasó con un metro el nivel de la marea alta, ocasionando fuertes flujos y reflujos suficientes para interrumpir la navegación. También se puede observar en los registros cómo el tsunami quedó contenido entre los niveles de pleamar y bajamar en la mayoría de los puertos. Cabe mencionar que el tsunami fue prácticamente imperceptible en el puerto San Carlos, BCS, por estar al interior de la Bahía Magdalena, y de igual manera en La Paz, BCS y en Topolobampo, Sinaloa, por estar situados al interior del Golfo de California.



**Figura 4**  
Serie de tiempo del nivel del mar en el puerto de Ensenada, B.C.



**Figura 5**  
Serie de tiempo del nivel del mar en el puerto de Isla de Cedros, B.C.

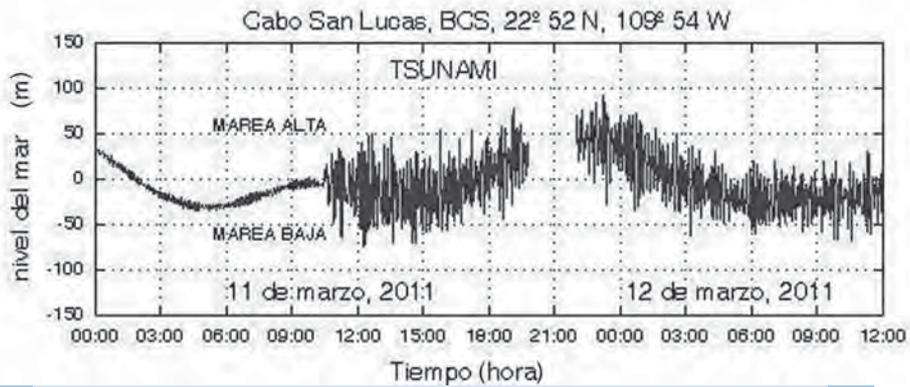


Figura 6

Serie de tiempo del nivel del mar en el puerto de Cabo San Lucas, B.C.S.

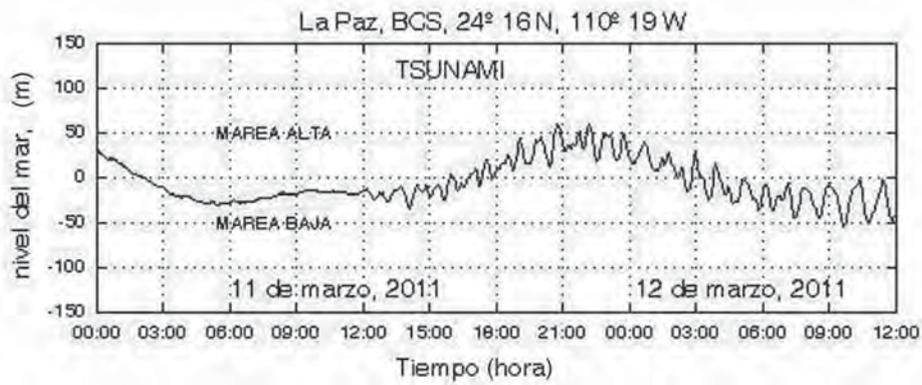


Figura 7

Serie de tiempo del nivel del mar en el puerto de La Paz, B.C.S.

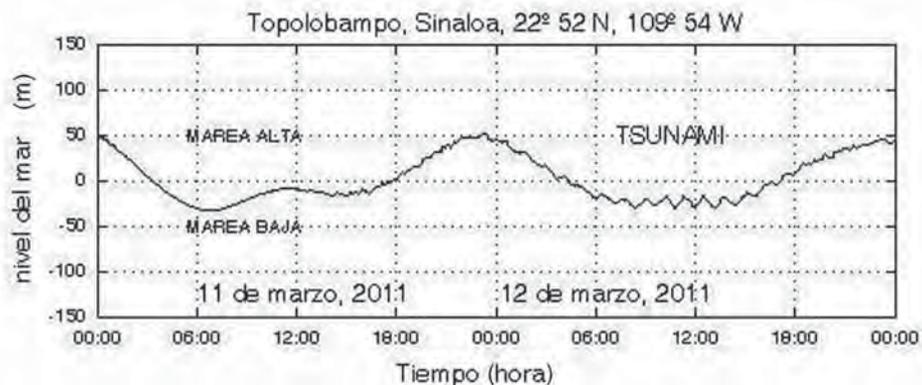
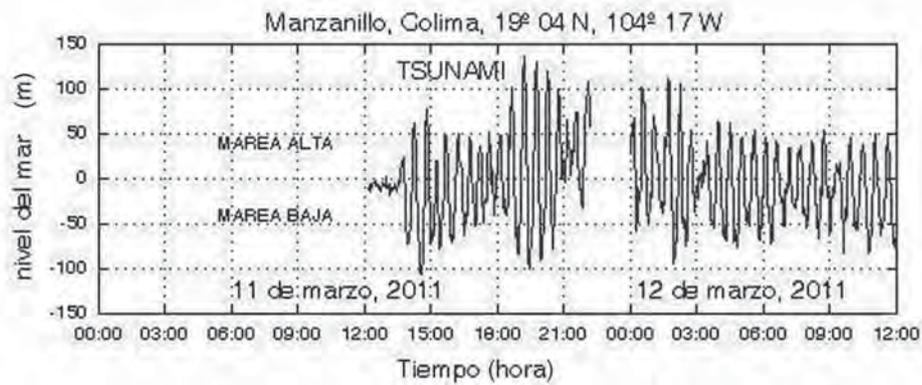
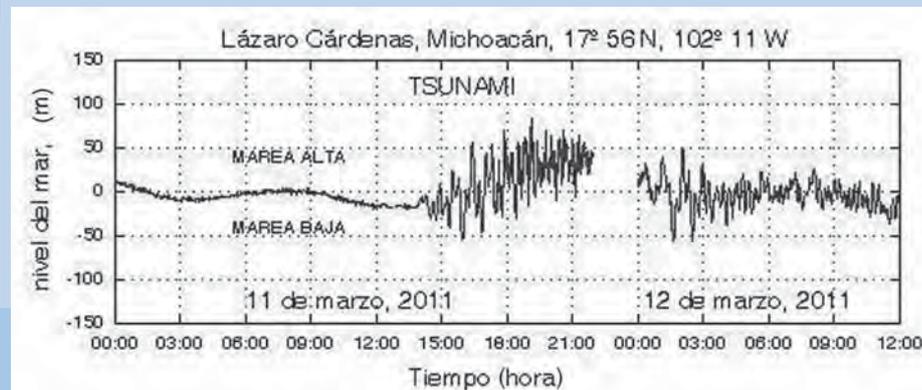


Figura 8

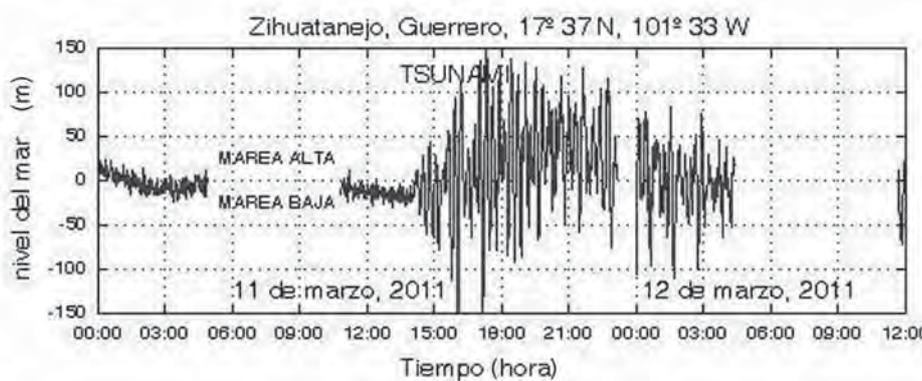
Serie de tiempo del nivel del mar en el puerto de Topolobampo, Sin.



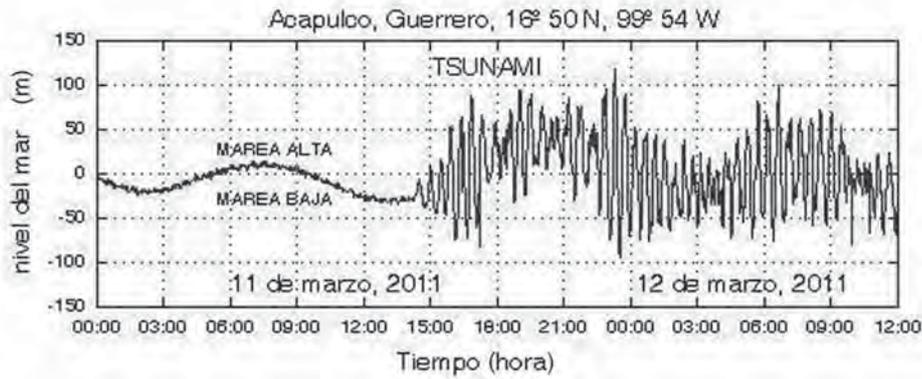
**Figura 9**  
Serie de tiempo del nivel del mar en el puerto de Manzanillo, Colima



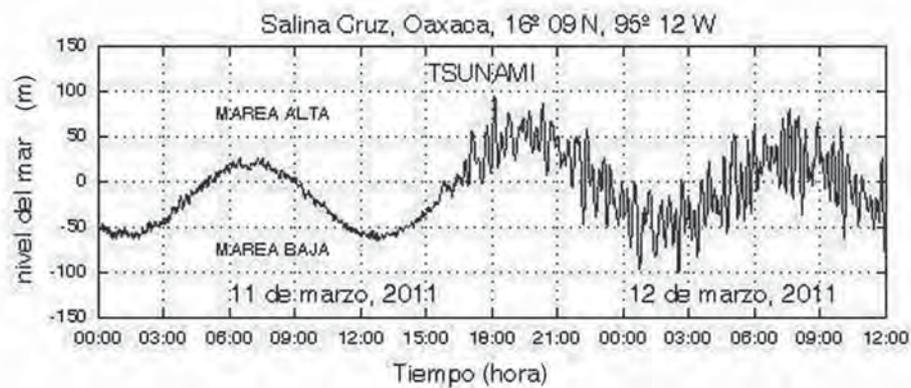
**Figura 10**  
Serie de tiempo del nivel del mar en el puerto de Lázaro Cárdenas, Mich.



**Figura 11**  
Serie de tiempo del nivel del mar en el puerto de Zihuatanejo, Gro.



**Figura 12**  
Serie de tiempo del nivel del mar en el puerto de Acapulco, Gro.



**Figura 13**  
Serie de tiempo del nivel del mar en el puerto de Salina Cruz, Oax.

**Referencias**

Singh, S. K. L. Astiz and J. Havskov, 1981. Seismic gaps and recurrence periods of large earthquakes along the Mexican subduction zone: a reexamination. Bull. Seismol. Soc. Am., 71 (3): 827-843.

Singh, S. K., M. Rodriguez and J. M. Spindola, 1984. A catalog of shallow earthquakes of México, 1900-1981. Bull. Seismol. Soc. Am., 74: 267-279.

Pararas-Carayannis, G., 1985. The mexican earthquakes and tsunamis of 19 and 21 of September, 1985. Tsunami Newsletter, XVIII (2): 1-4.

Sánchez, A. J., and S. F. Fmras, 1987. Tsunami flooding extension for coastal zones of México. Marine Geodesy, 11 (2,3): 127-135

Sánchez, A. J., and S. F. Farreras, 1988. Tsunami threat to the mexican Pacific Ocean coast-Summary, Proc. 1987. Intern. Tsunami Symp., I.U.G.G., E.N. Bernard (ed), NOAA/PMEL, Seattle, WA.: 215-219

Sánchez A., and S. F. Farreras (1993): Catálogo de Tsunamis (Maremotos) en la Costa Occidental de México. World Data Center A for Solid Earth Geophysics Publication SE-50, NOAA.

ORTÍZ Modesto  
ortizf@cicese.mx  
MONTROYA José Miguel  
mmontoya@imt.mx  
TOLEDANO Noe  
ntoledano@imt.mx  
ISLAS Luis

## GLOSARIO

### Artículo 1:

**ESC:** Siglas en inglés de Electronic Stability Control, sistema de control electrónico de estabilidad.

**Subviraje:** Situación cuando el cuerpo del vehículo tiende a experimentar un giro de orientación menor a lo que el conductor intenta a través del volante de dirección. En el caso de pérdida de control direccional, el vehículo puede presentar un movimiento de avance hacia el frente debido a la insuficiencia en la respuesta en las ruedas frontales.

**Sobreviraje:** Situación cuando el cuerpo del vehículo gira más rápido en su movimiento de orientación que lo que el conductor intenta a través del volante de dirección. En el caso de pérdida de control direccional, existe un coleo excesivo (rotación alrededor de un eje vertical) debido a la pérdida de adherencia de las ruedas traseras.

### Artículo 2:

**Tsunami:** Onda gravitatoria de largo periodo generado por un sismo en el fondo del mar

**Tsunami Local:** Si el lugar de arribo es menos de 1 hora de viaje desde su origen

**Tsunami Regional:** Si el lugar de arribo no está a más de 1000 Km. de la zona de generación

**Tsunami Lejano:** También conocidos como Remotos, Trans-Pacíficos, Tele-tsunamis, si el lugar de arribo está en costas extremo-opuestas, o a más de 1000 Km. de distancia de la zona de generación (medio día o más de tiempo de viaje)

**Sismo Tsunamigénico:** Sismo capaz de generar un tsunami

**Run up:** Mecanismo de ascenso de agua en la costa, originado por ondas de superficie

## PROYECTO EN MARCHA

### Urbanización y motorización en México: implicaciones económicas y ambientales

Este estudio desea abordar esta compleja problemática que es consecuencia del desarrollo económico y social de México y que se caracteriza por una creciente urbanización de la actividad humana y una dependencia también creciente de medios de transporte motorizados (principalmente el automóvil). Precisamente, es una preocupación generalizada la posibilidad de que sea una mala gestión pública, la principal causa de que el mencionado proceso de urbanización y motorización tenga una alta incidencia en los

efectos nocivos del desarrollo y ponga en riesgo la sustentabilidad económica y ambiental del propio proceso de desarrollo. Por lo anterior, el estudio tiene como objetivo general el de analizar los procesos de urbanización y motorización en México, enfatizando sus implicaciones socio-económicas y ambientales para contribuir a la definición de las políticas públicas nacionales necesarias para un transporte urbano sustentable y eficiente. Por ejemplo, un primer resultado del estudio muestra que el total de vehículos

en circulación dentro del territorio mexicano se ha duplicado en los últimos diez años. El crecimiento de la cantidad de vehículos en circulación es de tal magnitud que rebasa incluso al propio crecimiento de la población. Como consecuencia obvia, la motorización de la vida económica y social del país (medida en la cantidad de vehículos en circulación por cada habitante) tiene un notable avance, sobre todo en los años recientes. Así, mientras que en año 2000 se tenía un total de 160 vehículos por cada mil habitantes, este indicador pasa a casi 300 en el año 2010.

Una de las posibles políticas públicas que puede llegar a incidir en la reducción de las consecuencias contaminantes o de consumo de energéticos de este incremento en la motorización es la relación de precios entre gasolina y diesel. Sin embargo, la demanda de automóviles no parece resentir los incrementos observados en los precios de dichos combustibles.

Es frecuente que, ante el incremento en sus costos, y particularmente de los combustibles, se presente una fuerte exigencia de los transportistas para que les sean incrementadas las tarifas que cobran a los usuarios. Si las autoridades les autorizan dichos incrementos, el transporte público pierde atractividad para los usuarios, en términos de costos relativos, frente a la opción del automóvil particular. Peor aún, cuando las autoridades locales se resisten a los incrementos de tarifas en el transporte público de pasajeros, provocan un rezago que se puede traducir en una disminución de la calidad del servicio de este transporte ya que los dueños de las concesiones tienden a postergar el mantenimiento y el reemplazo de unidades, entre otros errores de gestión.

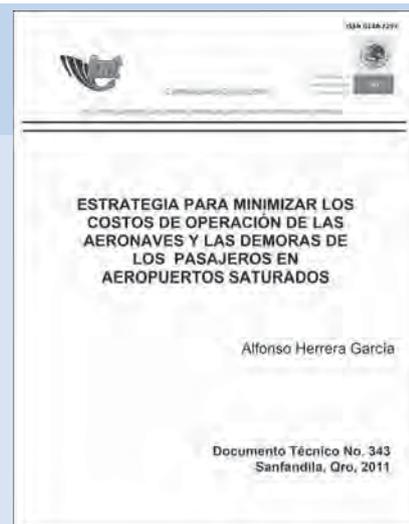
ISLAS Victor  
vislas @imt.mx  
HERNÁNDEZ Salvador  
chava@imt.mx

## PUBLICACIÓN

### Es Estrategia para minimizar los costos de operación de las aeronaves y las demoras de los pasajeros en aeropuertos saturados

En la **PUBLICACIÓN TÉCNICA 343** se desarrolla una estrategia para determinar el orden de atención de las aeronaves, en un aeropuerto saturado, durante las fases de despegue y aterrizaje, con objeto de minimizar sus costos de operación y las demoras de los pasajeros. Además, se consideraron tres políticas administrativas que pueden promover la estrategia propuesta.

Los resultados, presentados mediante tablas y figuras, muestran que al aplicar la estrategia propuesta se pueden obtener reducciones significativas, de hasta 47.6% en los costos de operación y de 73.2% en las demoras de los pasajeros.



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

## EVENTOS ACADÉMICOS

### Información y tecnología geoespacial para la gestión de la infraestructura del transporte

Del 30 de mayo al 3 de junio de 2011, se llevó a cabo dicho Curso Internacional en las instalaciones del Instituto Mexicano del Transporte en Sanfandila, Querétaro. La coordinación de éste estuvo a cargo del Mtro. en Geog. Miguel Ángel Backhoff Pohls.

El objetivo fue impartir las bases conceptuales y operativas de las principales tecnologías para el manejo de información geoespacial, a fin de inducir su uso mediante la identificación de aplicaciones en la planeación y gestión de la infraestructura del transporte. Así como difundir la conceptualización y alcances del Sistema de información Geográfica de Carreteras de la SCT (SIGCSI-SCT), así como iniciar a los participantes en el uso y manejo de las diversas herramientas desarrolladas para la integración, visualización cartográfica, análisis espacial y generación de conocimiento estratégico para la gestión de la infraestructura carretera.

El curso estuvo diseñado para el personal técnico-operativo y funcionarios de nivel de mando medio de todos los Centros SCT y oficinas centrales de la misma Secretaría, quienes desempeñan labores relacionadas con la generación y uso de información estadística y geográfica con fines de planeación y gestión de la infraestructura carretera.

Tuvo una duración de 36 horas y una asistencia de 28 participantes, los cuales provinieron de la Dirección General de Carreteras-SCT, de la Dirección General de Conservación de Carreteras-SCT, Dirección General de Planeación-SCT, Dirección General de Servicios Técnicos-SCT.

de los Centros SCT de Zacatecas, Querétaro, Coahuila, Sonora, Michoacán, Guanajuato, Chiapas, Aguascalientes, Guerrero, Nayarit, Tabasco, Chihuahua y Tlaxcala.

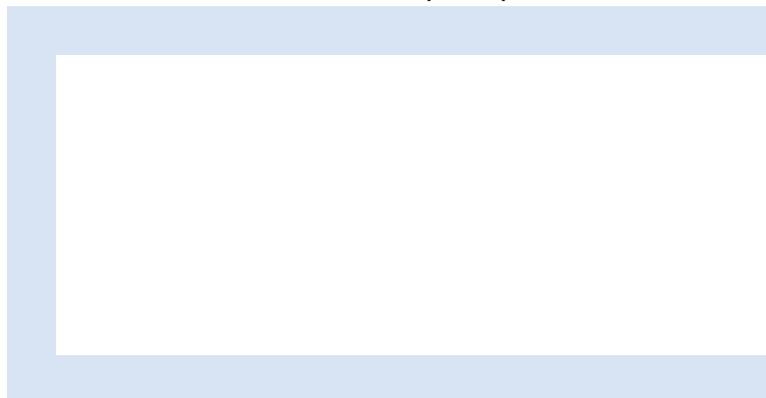
Alguna de la temática fue:

- Aplicación de las tecnologías SIG/GPS en la atención de desastres. Caso Centro SCT-Sonora
- “El Inventario Nacional de Infraestructura para el Transporte, INIT 2007/08”
- Sistemas de Información Geográfica de Carreteras de la Subsecretaría de Infraestructura – SCT (Geodatabase y Proyectos Geocartográficos)
- Descripción y prueba de desempeño del SIG móvil. Asignación y obligaciones
- Portal Especializado en Transporte del Proyecto SIGCSI-SCT
- Taller para la obtención de requerimientos (funciones geoespaciales) para el Portal Especializado en Transporte del Proyecto SIGCSI-SCT
- **Práctica de campo:** Iniciar a los asistentes en el uso de GPS, como instrumento de registro de datos en campo; se demuestran las aplicaciones al transporte así como la transferencia e integración de la información generada tanto al sistema de manejo y análisis geoestadístico en gabinete, como al Servidor de Datos Geoespaciales disponible en el Portal Especializado en Transporte (PETRA), desarrollados por la Unidad GITS del proyecto SIGCSI.



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

Registro Postal  
Cartas  
CA22-0005  
Autorizado por Sepomex



POR AVIÓN  
AIR MAIL