

Nuevas tecnologías en el transporte marítimo y la infraestructura de puertos

Introducción

El transporte, importante pilar de la globalización, ha facilitado la compra y venta de mercancías, materias primas y componentes en casi todos los lugares del mundo. En este contexto, el transporte marítimo ha desarrollado un importante papel en el intercambio de mercancías voluminosas y de valor relativamente bajo.

La innovación tecnológica en el transporte marítimo se manifiesta principalmente en la contenerización cada vez mayor de la carga y en la tendencia a utilizar buques cada vez más grandes. En los puertos, ésta se manifiesta en la modernización del equipamiento, en la prestación de servicios de valor agregado y en la utilización de tecnologías de punta en materia de informática y comunicaciones.

Este fenómeno, que homogenizó la carga general, fue el responsable principal, junto con los avances de la informática y las telecomunicaciones, de todos los cambios que posteriormente siguieron en el transporte marítimo y también en los demás modos de transporte. En efecto, con la utilización del contenedor se pudo reducir sustancialmente el tiempo de manipulación de la carga en los puertos que antiguamente ocupaba aproximadamente los dos tercios del tiempo total del trayecto marítimo. Aparecieron nuevos conceptos y cambios profundos en la cadena de transporte, como la utilización del transporte multimodal entre los países desarrollados, la creación de centros de manipulación de contenedores, la concentración de operaciones en puertos estratégicamente ubicados como verdaderos centros de distribución, los puertos secos, la distribución "justo a tiempo", y el servicio "puerta

a puerta", entre otros. La importancia de este cambio es evidente. En 17 años, el movimiento de contenedores en todo el mundo aumentó 125 millones de TEU (de aproximadamente 39 millones de TEU en 1980, a 164 millones de TEU en 1997). Con gastos de funcionamiento similares, los buques post-panamax (grandes buques portacontenedores) pueden transportar un 40% o un 50% más de contenedores que un buque panamax. Por lo general, estos buques son más rápidos que los tradicionales, aunque esto es más una ventaja que una necesidad, pues es preciso compensar los mayores tiempos de permanencia en puerto.

El transporte marítimo es un sector de carácter tan internacional que se acepta de modo generalizado que la cuestión de la seguridad y otros asuntos han de abordarse a nivel internacional. Esto es aplicable tanto a los graneleros como a otros tipos de buques, y desde 1959, fecha en que se creó, la Organización principalmente responsable de su seguridad

CONTENIDO

NUEVAS TECNOLOGÍAS EN EL TRANSPORTE MARÍTIMO Y LA INFRAESTRUCTURA DE PUERTOS	1
MESA INCLINABLE, UN PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA DETERMINAR LA TENDENCIA AL VUELCO	8
GLOSARIO	16
PROYECTOS EN MARCHA	17
PUBLICACIÓN	18
EVENTOS ACADÉMICOS	18

es la Organización Marítima Internacional (OMI), el organismo especializado de las Naciones Unidas que se ocupa de la seguridad de la navegación y de la prevención de la contaminación ocasionada por los buques.

La OMI es una organización técnica cuyas funciones principales pueden resumirse en la frase “una navegación más segura y un mar más limpio”. Fundamentalmente la OMI cumple este mandato mediante la elaboración de convenios, códigos y recomendaciones destinadas a ser de aplicación universal. De todos estos instrumentos, los más importantes han conseguido ese objetivo. Algunos de los convenios más importantes han sido ratificados por más de 120 países y se aplican a más del 98% de la flota mercante mundial. En la práctica ningún buque puede efectuar un viaje internacional si no está construido y equipado de acuerdo con las prescripciones de la OMI (aunque la forma de implantarlas puede variar enormemente). Para que un puerto cuente con el certificado de puerto seguro, debe contar con un Centro de Control de Tráfico Marítimo (CCTM), el cual para su planificación e implementación deberá de seguir en lo posible, los lineamientos adoptados por la OMI en su Resolución 857 Asamblea 20.

El objetivo principal del CCTM, es incrementar la seguridad del puerto reduciendo los riesgos de accidentes inherentes a la navegación de las embarcaciones y artefactos navales, y de la seguridad de la vida humana en el mar; proteger el medio ambiente marino, además de controlar, coordinar y optimizar el tráfico marítimo, mediante la planeación estratégica de los movimientos de los buques y la facilitación de asistencia de información náutica y meteorológica. Los CCTM cuentan con equipos modernos marítimos de navegación, comunicación y meteorológicos, como los son los radares, radios de banda marina, así como sistemas de adquisición automática de buques (AIS).

En el ámbito del diseño de la infraestructura de puertos existe una nueva tecnología para

el estudio de maniobras de buques en tiempo real. El simulador es un sistema que reproduce de manera precisa el comportamiento de un buque, durante la ejecución de maniobras de acceso o salida de un puerto. Gracias a los adelantos en ingeniería naval, reproducción audiovisual e instrumentación real con los que cuenta un Simulador de Maniobra en Tiempo Real, el Capitán o Práctico que opera en dicho sistema es capaz de experimentar situaciones de igual modo como si estuviera en un puente de mando. Cuenta con instrumentos de navegación reales, radar sintético, reproducción visual de los escenarios a través de una pantalla de 180°, 260°, 270° o 360° dependiendo de las capacidades técnicas de cada simulador, y perspectivas desde distintos ángulos, además de incorporar las variables de agentes ambientales (oleaje, corrientes y viento), sonido ambiente, señales audibles y visibilidad limitada. Además, existe la posibilidad de incorporar la acción de remolcadores en las maniobras de operación realista.

Con todo ello, el sistema obtiene resultados de gran precisión, al incorporar la acción humana en el desarrollo de las maniobras e integrar gran parte de los factores presentes en las mismas. La utilización del Simulador de Maniobra en Tiempo Real es una herramienta esencial para el análisis detallado de condiciones de maniobra especialmente complejas, en las que el factor humano resulta relevante.

Características y dimensiones del buque

El buque es un barco con cubierta que por su tamaño, solidez y fuerza es apropiado para navegaciones o empresas marítimas de importancia.

Un buque para poder navegar debe poseer flotabilidad lo cual exige que su estructura sea impermeable al agua y resistente para soportar los esfuerzos a que estará sometida, lo que le proporciona esta impermeabilidad y resistencia es la calidad y forma de su casco.



Figura 1
Estora

Dimensiones de los buques

Eslora: Es la longitud del buque medida en el plano longitudinal. Existe la eslora máxima y la eslora entre perpendiculares (Figura 1).

Manga: Es el ancho del buque medido en el plano de la cuaderna maestra (Figura 2).

Puntal: Es la altura del buque medida sobre la perpendicular media, desde el borde inferior de la quilla hasta la cubierta principal (Figura 2).

Calado: Es la inmersión del buque en el agua. Se mide a partir de la línea de construcción,

que es la intersección del plano longitudinal con la cara superior de la quilla hasta la línea de flotación (Figura 2).

Movimiento y oscilaciones de un buque

El buque en el mar, sometido a todas las fuerzas actuantes, se mueve según seis grados de libertad. Tres de traslación y tres de rotación [2].

1. Traslaciones:

Los tres movimientos de traslación se mencionan a continuación y se describen en la figura 3:

- Movimiento vertical de ascenso y descenso (indicado con el número 1 de la figura 3), llamado Arzada.
- Movimientos lateral a ambas bandas (indicado con el número 2 de la figura 3), llamado Deriva
- Movimiento longitudinal (indicado con el número 3 de la figura 3), llamado de avance ó retroceso.

2. Rotaciones:

- Rotación según el eje vertical 'Z' (indicada con el número 4 de la Fig. 1.3): llamada Guiñada de rumbo.
- Rotación según el eje trasversal 'Y' (indicada con el número 5 de la Fig. 1.3): llamada Cabeceo.

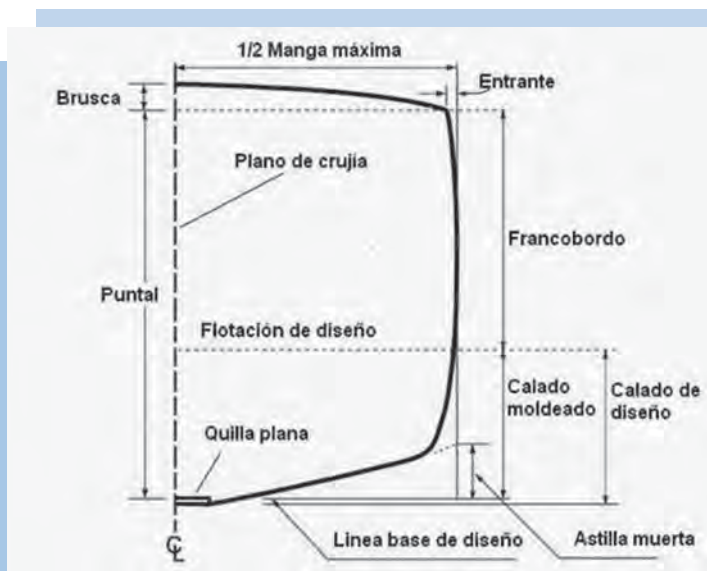


Figura 2
Dimensiones transversales de un buque

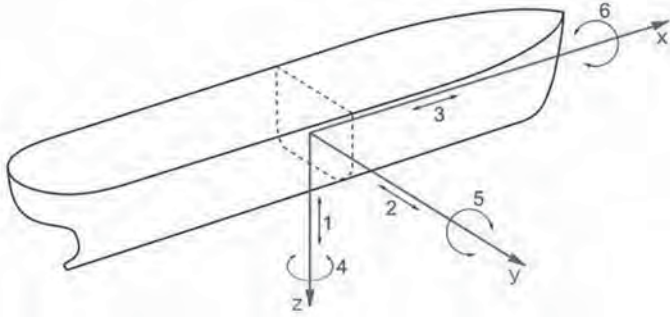


Figura 3
Movimiento del buque sujeto a la acción del oleaje

•Rotación según el eje longitudinal 'X' (indicada con el número 6 de la figura 3): llamada Balanceo.

4. Aumento en el tamaño de los buques:

Los principales factores a tener en cuenta en el aumento en el tamaño de los buques son: el aumento de la eslora, manga y calado del buque, así como el aumento de carga media por buque.

Lo anterior exige: Aumentar el calado de los canales de acceso y muelles (dragando), Aumento de la longitud de los puestos de atraque, Aumentar la capacidad de los sectores de almacenamiento de mercancías y de contenedores, Aumentar la capacidad de las grúas y otros equipos de manipulación de carga [3].

Como ejemplo del aumento de tamaño de los buques se citan a manera de ejemplo, las características del buque "EMMA MAERSK", el mayor buque portacontenedores del mundo.

Las dimensiones del EMMA MAERSK son las siguientes: Eslora: 397 m (1302' 6"), Manga: 56 m (183' 8"), Casco profundidad: 30 m (98' 4") (borde de cubierta a la quilla), Tonelaje Bruto: 170,974 Toneladas (BT), Tonelaje Neto: 55,396 Toneladas (NT), Peso Muerto: 156,907 Toneladas (DWT), Potencia 80,080 kW (109.000 CV) a 102 rev/min, Velocidad: más de 25.5 nudos (aprox. 40 km/h), Tripulación: el buque tiene capacidad para 30 personas, aunque la tripulación normal es de sólo 13.

Generación		Longitud	Calado	TEU
Primera (1956-1970)	Buque de adaptado	135 m	< 9 m	500
	Buque-tanque adaptado	200 m	< 30 ft	800
Segunda (1970-1980)	Barco de Contenedores	215 m	10 m 33 ft	1,000 - 2,500
Tercera (1980-1988)	Clase Panamax	250 m	11-12 m 36-40 ft	3,000
		290 m		4,000
Cuarta (1988-2000)	Post Panamax	275 - 305 m	11-13 m 36-43 ft	4,000 - 5,000
Quinta (2000-2005)	Post Panamax Plus	335 m	13-14 m 43-46 ft	5,000 - 8,000
Sexta (2006-)	Nuevo Panamax	397 m	15.5 m 50 ft	11,000 - 14,500

Figura 4
Avance histórico de las embarcaciones usuales

En la figura 4 se muestra la evolución que han tenido los buques de la primera generación (de 1956 a 1970) a la sexta generación (de 2006 a la fecha)

Adaptación de los puertos a la evolución del transporte marítimo

En el desarrollo de la industria marítima, los puertos han desempeñado el factor de adaptación en mayor medida que el motor que da impulso al desarrollo mismo, lo que implica la necesidad de tomar decisiones rápidas por la evolución del transporte marítimo, y la ventaja de aprovechar espacios sin utilizar cuando se planifican nuevas inversiones [3].

El reto del transporte marítimo a la respuesta de los puertos proviene de:

- El incremento en el volumen del tráfico marítimo.
- El empleo de buques cada vez de mayor porte.
- Las nuevas tecnologías en la manipulación de la carga.
- La unitarización y ventajas.
- El desarrollo de nuevos sistemas de transporte.
- El desarrollo de nuevos tráficos especiales.
- Las necesidades cambiantes en cuanto a productividad del transporte marítimo.

Las nuevas tecnologías en la manipulación de la carga

Las formas tradicionales de manipulación de carga y estiba a mano, de bultos de carga individuales, presentan tres desventajas importantes:

- Demasiado tiempo en el puerto.
- Mayores costos en la operación.
- Los bultos inducen a daños y mermas.

El proceso normal es:

- De la fábrica al medio de transporte terrestre.
- Del medio de transporte terrestre al almacén de tránsito.
- Del almacén de tránsito al equipo de transferencia del puerto.
- Del equipo de transferencia a la carga y estiba final en el buque.

Estos grandes efectos de la “contenerización”, se pueden ampliar de esta manera [4]:

1. Economía de escala en el transporte de carga general

Los buques son cada vez más grandes, con mayor velocidad de rotación. Un buque portacontenedor de gran tamaño reemplaza a más de cinco y hasta siete buques convencionales. Con la racionalización de salidas se obtuvo una efectiva reducción del costo del transporte por unidad/milla. Este cambio ha requerido enormes inversiones en buques y contenedores, y es la razón por la cuál muchos Armadores tradicionales han desaparecido. Se comenzaron a formar Consorcios, que ofrecen servicios conjuntos, y otros se juntaron directamente y formaron nuevas empresas más fuertes.

2. Regularidad de servicios con buques-porta contenedores en todo el mundo

El buque porta-contenedor no se atrasa por lluvias, ni por muchas otras causas imprevisibles. Las experiencias mundiales han demostrado que, cuando una ruta marítima es atendida con servicios regulares de contenedores, se obtiene un efecto muy positivo sobre la distribución de mercancías por la regularización del flujo de los productos, lo que estimula a las industrias a racionalizar sus órdenes de compra posibilitando la reducción de stock. Se aplica el lema de llegada justo a tiempo (Just-in-time). La contenerización significa, para la distribución y transporte de la carga, lo que fue la fabricación en serie para la industria.

3. Transformación de los puertos

Los clásicos puertos, con depósitos al lado del muelle y con guinches de poca capacidad, han sido reemplazados por grandes espacios o playas pavimentadas para apilar contenedores con costosas grúas especiales. El manipuleo de la carga se está trasladando a lugares alejados del puerto: a terminales interiores de carga (puertos secos) y a los centros de producción. Las compañías de estiba del Puerto, que fueron simples intermediarias de mano de obra, han desaparecido, y fueron reemplazadas por operadores de terminales, que hicieron grandes inversiones en equipos y utilizan mano de obra especializada. Se requiere mucho menos personal portuario que antes, pero ellos deben estar bien capacitados.

4. Transportes terrestres

La evolución requiere un nuevo enfoque en transportes internos. En lo que se refiere a países “desarrollados” se puede decir que, los transportistas terrestres que vieron en un principio al contenedor con mucho recelo ahora lo consideran como un elemento más del equipo de transporte que también los puede beneficiar. En vez de tener que utilizar un camión con caja, o furgón, ahora usan un simple chasis, sirviendo el mismo contenedor de furgón. En muchos países se aprovecha el contenedor para trasladar mercaderías nacionales con el fin de “posicionar” contenedores en el interior del país, donde se los necesita para la exportación. Los camioneros se agruparon con sus “enemigos” naturales: los ferrocarriles.

5. Nuevos contratos de transportes: transportes combinados (intermodales y multimodales).

Las posibilidades que ofrece el contenedor para ser transferido, mediante el uso de elementos mecánicos, de un modo de transporte a otro sin la ruptura de la unidad de carga, fomentó la integración de la cadena de transporte, que en el inicio todos llamaban Transporte Combinado. Ahora se comienza a llamar Transporte Intermodal y se usa el término Transporte Multimodal para contratos con un único transportista contratante, que es responsable

por toda la cadena y que emite un Documento de Transporte Multimodal.

6. Efecto multiplicador

Diseñado originalmente para solucionar los problemas de los armadores, el contenedor se convirtió en el elemento básico de un sistema de transporte que despertó el interés general. Cargadores y consignatarios comenzaron a dar otro enfoque a sus estudios de costos totales y decidieron profundizar el análisis de su composición lo que, con el uso del contenedor, resultó posible. En muchos países se han formado fuertes Consejos de Embarcadores (Shipper's Councils) que son los interlocutores de las Conferencias de Fletes. Actúan cada vez más los especialistas de transporte (Freight Forwarders / Expedidores / Comisionistas / Transitarios) con profundos conocimientos del transporte total desde el origen hasta su lugar de destino. Ahora el comercio, en todo el mundo, exige el uso de contenedores para el transporte marítimo (Trade and transport facilitation committees). El uso del contenedor tiene el claro objetivo de abaratar los costos totales del transporte, cosa que se ha conseguido en muchos países del mundo. La Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD) se ha dedicado mucho a este tema y, ya en los años 80, se formaron Comisiones especiales que establecieron reglas para Facilitar el Comercio y el Transporte, con la directa participación de la actividad privada, de los Gobiernos y de las Aduanas, que han arrojado muy buenos resultados.

Nuevas tecnologías para el diseño y proyectos de cuerpos de agua en puertos

Los modelos numéricos y simuladores de navegación y maniobra de buques suponen un potente medio para el estudio de proyectos marítimos y portuarios. Su aplicación se centra en el diseño y explotación de instalaciones portuarias, canales de acceso y áreas de flotación, con el objetivo de proporcionar al proyectista una orientación sobre las posibilidades y restricciones del buque en relación con la infraestructura y condiciones climáticas existentes.

Con ellos se pretende reproducir el comportamiento durante la maniobra de un buque sometido a la acción de los factores climáticos (viento, oleaje, corrientes, etc.), y auxiliado por remolcadores. En consecuencia, el uso de estas herramientas permite evaluar la viabilidad de una determinada estrategia de maniobra bajo diversas condiciones meteorológicas incorporando en su caso la acción del hombre. Por lo tanto, se obtienen orientaciones sobre la forma más adecuada de realizar la maniobra, así como sus márgenes de seguridad, e incluso sobre la necesidad y potencia de los medios de maniobra auxiliares a utilizar. Existen diferentes clases de modelos y simuladores de navegación y maniobra, que son capaces de dar respuesta a problemas diferentes. En las versiones más avanzadas, pueden destacarse las siguientes aplicaciones [5]:

- a. Proyecto de obras marítimas y portuarias
- b. Análisis de condiciones de operación
- c. Formación de personal
- d. Investigación sobre tráfico portuario
- e. Investigación sobre el buque

Tecnologías existentes

1. Modelo de buque atracado / fondeado

Es un modelo numérico que se aplica en una computadora personal, el cual reproduce el comportamiento de un buque atracado o fondeado bajo la acción del viento, el oleaje y la corriente. Un ejemplo de este tipo de modelos se puede mencionar el modelo Ship Moorings desarrollado en Holanda. Con la aplicación de dicho modelo es posible estudiar las siguientes acciones {6}:

- En el muelle es posible estudiar: Amarras+Defensas
- En el fondeadero es posible estudiar: Ancla+Cadena
- También es posible estudiar los movimientos del Buque + Cargas

- Es un modelo no interactivo, es decir no actúa el factor humano en las simulaciones, las cuales se desarrollan de acuerdo a las condiciones iniciales previamente definidas.

- Proporciona información de la respuesta física del buque en actividades de Operación y Permanencia

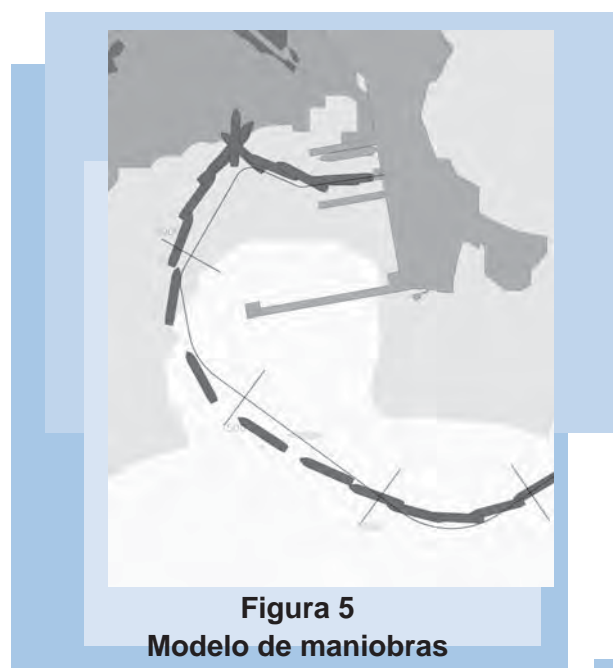
2. Modelo de maniobra con autopiloto

Es un modelo numérico que se aplica en una computadora personal que reproduce el comportamiento de un buque durante la maniobra, sometido a la acción del viento, el oleaje y la corriente y asistido por remolcadores.

Este modelo es determinista, y es necesario definir como condiciones iniciales:

- Geometría/Condiciones locales
- Trayectoria objetivo
- Algoritmo de corrección de desvíos
- Timón - Máquina - Remolcadores

Es un modelo no interactivo. Su operación es en tiempo acelerado “fast-time”, y parte de una trayectoria de maniobra de referencia. Como ejemplo de este tipo de modelos se puede mencionar el modelo Shipma desarrollado en Holanda.



Aplicaciones del modelo	Ventajas	Limitaciones	Criterios de evaluación
<ul style="list-style-type: none"> •Casos sencillos •Comparación objetiva •Alternativas de proyecto •Condiciones meteorológicas •Tipos y tamaños de buques 	<ul style="list-style-type: none"> •Especificada •Bajo costo •Plazo reducido •Múltiples casos •Precisión (física) 	<ul style="list-style-type: none"> •Factor humano muy relevante: <ul style="list-style-type: none"> -Ciaboga, remolcadores -Buques complejos -Percepción/Decisión •Establecer estrategia previa 	<ul style="list-style-type: none"> •Controlabilidad del buque •Uso de los medios de maniobra •Espacio ocupado en planta •Márgenes de seguridad a estructuras y buques

3. Simulador de maniobra en tiempo real

Sistema utilizado para reproducir el comportamiento de un buque específico en maniobra gobernado por un Capitán o Práctico. El sistema dispone de los siguientes subsistemas:

- Puente de mando
- Sistema visual
- Sonido ambiente
- Comunicaciones

El sistema permite Interactividad, Inmersión y operación en tiempo real de las maniobras del buque. Como ejemplo de este tipo de sistemas destaca el MERMAID 500 desarrollado en Holanda.

Es la herramienta tecnológica más avanzada para la realización de estudios de detalle en casos complejos de manobras de buques,

pues permite realizar dichos estudios con especificaciones altas en lo relativo a:

- Disposición del puerto
- Condiciones meteorológicas
- Buques y remolcadores
- Estrategias de actuación

Es un equipo de alto costo, los estudios requieren mayores plazos de ejecución, se requiere más participación de profesionales y tiene una alta precisión de resultados.

Instrumentación del puente	
<ul style="list-style-type: none"> •Telégrafo 1/2 ejes •1/2 timones •Hélices auxiliares proa/popa •Interfono / Corredera electromagnética •Corredera Doppler •Velocidad de caída •Compás •Radar sintético 	<ul style="list-style-type: none"> •Ecosonda •Reloj •Indicador rpm hélices •Paso variable •Ángulo de timón •Dirección / velocidad del viento

La percepción visual de la zona de navegación, en lo general tiene las siguientes especificaciones y permite observar los siguientes efectos:

Percepción visual de la zona de navegación	
<ul style="list-style-type: none"> •Ejemplo de panorámica de 260° (7 canales) •Imágenes texturadas •Alta velocidad de refresco •Punto de vista variable <ul style="list-style-type: none"> -Centro-alerones -Proa-popa-través 	<ul style="list-style-type: none"> •Día-crepúsculo-noche •Niebla con visibilidad controlable •Chubascos de intensidad variable •Oleaje real •Movimientos del buque •Buques próximos (controlados)



Conclusiones

1. Los requerimientos de un Puerto de última generación se resumen como sigue:

- Infraestructura = Calado y Muelles
- Equipamientos = Grúas de gran capacidad, Remolcadores, etc.
- Conexiones Terrestres: Ferrocarril y Autopistas.
- Red Logística: Puertos Secos para concentrar cargas.
- Puerto ecológico: Protección del medio ambiente y desarrollo sostenible.

2. Con la inclusión de la tecnología de los CCTM operado por Capitanes y Oficiales de la Marina Mercante, con amplia experiencia en el manejo de equipos de navegación y comunicación marítima, así como en el sector marítimo y portuario, es posible incrementar la seguridad del puerto reduciendo los riesgos de accidentes inherentes a la navegación de las embarcaciones y artefactos navales, y de la seguridad de la vida humana en el mar; proteger el medio ambiente marino, además de controlar, coordinar y optimizar el tráfico marítimo, mediante la planeación estratégica de los movimientos de los buques y la facilitación de asistencia de información náutica y meteorológica.

3. El desarrollo de las nuevas tecnologías en materia de simuladores de manobras de embarcaciones, ha permitido consensuar la participación de los Capitanes navales y de los ingenieros proyectistas de la infraestructura portuaria, con objeto de definir infraestructuras portuarias optimizadas en costos y en operación, obteniéndose con un mayor fundamento técnico apoyo para el diseño de puertos en lo relativo a:

- Disposición y anchura de canales, dimensionamiento de bocana, áreas de maniobra, muelles y terminales y condiciones límite de acceso

- Apoyo para la preparación de manuales de operación en lo relativo a normas de acceso a puerto (tipo de buques, tamaño de buques, niveles de marea, condiciones meteorológicas), empleo de remolcadores y operaciones en atraque /desatraque.

- Apoyo en el análisis de emergencias para el análisis de riesgos, medidas preventivas, medidas correctivas, protocolos de actuación, planes de contingencia y análisis de accidentes.

- Apoyo en el entrenamiento de Capitanes y Prácticos, maniobras en condiciones extremas, respuesta ante emergencias y entrenamientos específicos (nuevos buques, nuevos muelles).

Referencias

[1]Wikipedia, la enciclopedia libre: Buque, <http://es.wikipedia.org/wiki/Buque>.

[2]Wikipedia, la enciclopedia libre: Movimiento y oscilación del buque, http://es.wikipedia.org/wiki/Movimiento_y_oscilaci%C3%B3n_del_buque.

[3]Caballero Alexander (Junio 2009): Infraestructura Portuaria Parte 1, Lima. Perú.

[4]Zuidwijk, J, A. (2001): Contenedores, buques y puertos, partes de un sistema de transporte, Argentina.

[5]Puertos del Estado (): Configuración marítima del puerto: Canal de acceso y área de flotación, Norma ROM3.1-99, España.

[6] SIPORT 21(Mayo 2010): Presentación corporativa, España.

MONTOYA Miguel
mmontoya@imt.mx
AVILA Dora
davila@imt.mx

MESA INCLINABLE, UN PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA DETERMINAR LA TENDENCIA AL VUELCO

Introducción

Conocer los límites de las condiciones seguras de operación en los vehículos representa un especial interés en el mundo del transporte, dado que la seguridad de los usuarios será permanentemente tema importante dentro del área de desarrollo vehicular. A medida que avance la tecnología relacionada con incrementos en las capacidades del vehículo como velocidad, potencia y soporte de carga, será necesaria la evaluación del comportamiento dinámico de los vehículos. Dicha evaluación se basa en determinar los niveles de estabilidad y capacidades de control, principalmente ante condiciones de manejo extremas, [1].

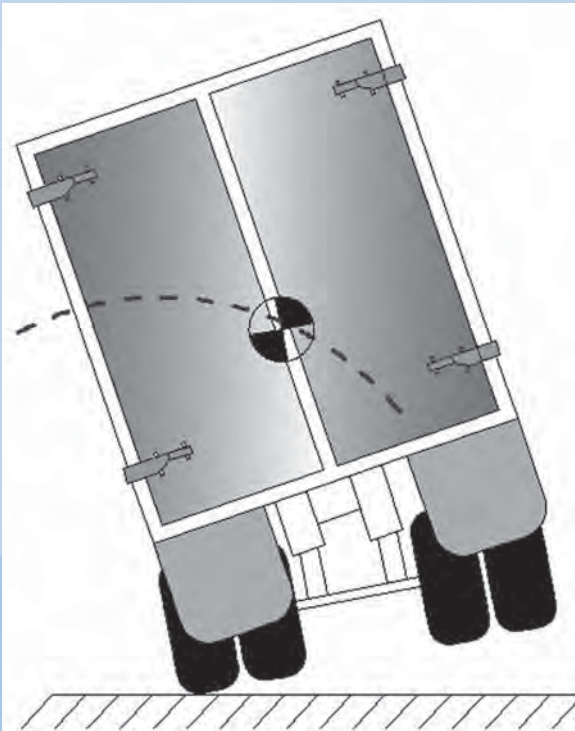


Figura 1

Vuelco de un vehículo por rotación alrededor de su eje longitudinal

Una manifestación radical de inestabilidad se hace presente cuando el vehículo vuelca, fenómeno en el que el vehículo rota alrededor de su eje longitudinal, como se ilustra en la Figura 1. Consecuentemente, el vehículo inicia con la pérdida de contacto con el piso en uno de sus lados hasta quedar invertido o sobre su costado.

El vuelco¹ es una de las inestabilidades críticas potencialmente peligrosas (Figura 2), pues además de los daños mismos al vehículo, a su carga y ocupantes, puede ocasionar daños a la infraestructura y obstruir el tránsito en el camino. También puede contribuir a la contaminación ambiental cuando los vehículos involucrados transportan sustancias peligrosas.



Fuente: Noticieros Televisa <http://www.esmas.com/noticierostelevisa>

Figura 2

Vehículo pesado volcado en la ciudad de México

¹Popularmente se utiliza el término de volcadura, aunque gramaticalmente el correcto es vuelco

Para que un vehículo vuelque es necesario que sea sujeto a una fuerza lateral que produzca un par de giro alrededor de su eje longitudinal (Figura 3), de manera que sean excedidas las fuerzas verticales de reacción por su contacto con el piso, que actúan sobre las llantas en el lado externo del giro, [2]. No obstante, los vehículos tienen diferente propensión a volcar, siendo los más vulnerables los vehículos de carga pesada, debido a sus dimensiones, a la elevada ubicación del centro de gravedad y a las características geométricas y mecánicas del sistema de suspensión, entre otros factores.

Conocer la capacidad de resistencia a volcar de un vehículo permite ubicar sus mejores condiciones de operación y, con ello, promover una conducción y tránsito con mayores niveles de seguridad. Desde un punto de vista mecánico se aplican diversos análisis y técnicas para determinar la tendencia a volcar de los vehículos, en el que los mayores acercamientos se obtienen experimentalmente con el uso de lo que se conoce como mesa inclinable. La mesa inclinable consiste de un mecanismo que simula de manera controlada el proceso de vuelco. Algunas de las consideraciones que sustentan su uso, se presentan de manera general en este artículo.

Un Umbral de vuelco

Dada la importancia y riesgo de la severidad que representa el vuelco como manifestación de inestabilidad, se han analizado diversos indicadores que puedan dar una idea de la tendencia que tienen los vehículos a volcar. Del análisis mecánico del vuelco de un vehículo simple resulta una variable cinemática, la aceleración, que es aplicable como indicador de este fenómeno, [3]. La aceleración referida actúa lateralmente al vehículo que, participando con la masa y la altura del centro de gravedad en un plano horizontal, dan origen al par que puede ocasionar el vuelco alrededor del eje longitudinal del vehículo. La tendencia a volcar puede también interpretarse como la resistencia que los vehículos ofrecen a experimentar esta inestabilidad.

Se ha definido el término “umbral” como un parámetro para determinar el valor de resistencia al vuelco. La forma más simple para estimar este umbral se obtiene considerando únicamente la geometría de un vehículo rígido, como se muestra en la Figura 3. Como elementos geométricos se indican la distancia T entre llantas de un mismo eje (entrevía) y la altura h desde el piso del centro de gravedad (cg), así como la posición de la aceleración lateral a_y experimentada por ese centro.

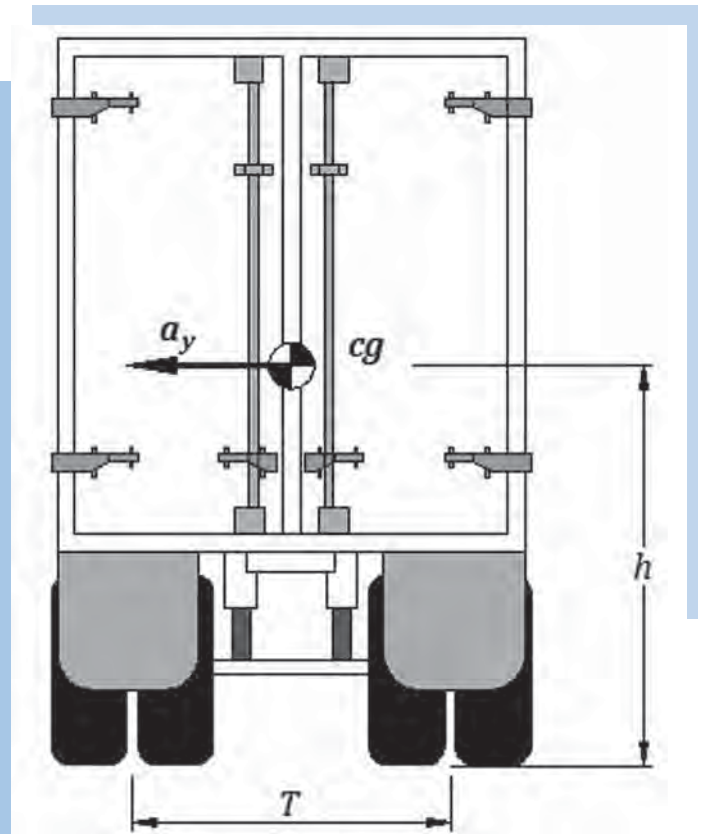


Figura 3
Variables cinemática y geométricas para estimar el umbral estático de vuelco

La expresión correspondiente, denominada umbral estático de vuelco, es:

$$\frac{a_y}{g} = \frac{T}{2h}$$

La relación de la aceleración lateral a_y y la magnitud de la aceleración de la gravedad, g en la ecuación anterior, permiten expresar el indicador en múltiplos de la aceleración de la gravedad, resultando unidades “g’s”. El

valor estandarizado de la aceleración de la gravedad es $9,80665 \text{ m/s}^2$.

Aparentemente, la aplicación de la expresión anteriores relativamente sencilla. Sin embargo, el vuelco de un vehículo en la realidad es un fenómeno de mayor complejidad. Así, considerando la expresión simple, una de las principales dificultades en la práctica es la determinación de la altura del centro de gravedad. Aunado a esta primera complicación, en el modelo rígido no se incluyen los efectos de la suspensión ni de otros componentes con movimiento relativo, como tampoco los posibles desplazamientos de la ubicación aparente del centro de gravedad (Figura 4).

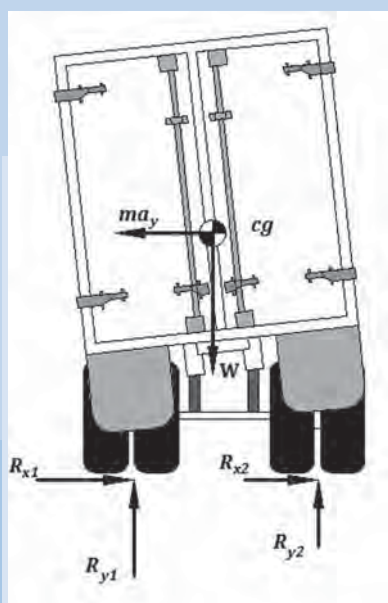


Figura 4

Vuelco desde una perspectiva más realista

Aunque modelos matemáticos más elaborados incluyen estos efectos, también requieren del conocimiento previo de la altura del centro de gravedad (h), cuya medición experimental requiere de instrumentación e instalaciones que plantean su propia problemática. Estos modelos son normalmente auxiliados con paquetes computacionales matemáticos debido a un mayor número de variables y a la cantidad de ecuaciones que se deben manejar.

Por su parte, los métodos experimentales consisten en evaluar los parámetros dinámicos de manera práctica, es decir llevando al vehículo a condiciones específicas de manera controlada, en las que se manifiesten aquellas propiedades que influyen en el proceso del volcado. En estos casos, es necesario contar con equipos e instrumentos de medición en los que se registren las variables que conduzcan a la inestabilidad. En base a ello, este tipo de pruebas pueden resultar relativamente costosas, por lo que se deben minimizar los errores en el proceso de medición, además de que la instrumentación debe estar completamente protegida para que no resulte dañada.

Mesa inclinable

Una prueba experimental que resulta en una mejor aproximación para determinar el umbral de vuelco es induciendo de manera controlada la inclinación lateral del vehículo. En la prueba, de tipo cuasiestático, se le imprime al vehículo un movimiento de rotación considerablemente lento hasta obtener las condiciones para su vuelco inminente. La mayoría de estas pruebas se realizan en una plataforma que rota alrededor de un eje, a lo largo del cual se alinea el vehículo. Este tipo de plataformas, como la que se muestra en la Figura 5, se conocen comúnmente como "mesa inclinable".



Figura 5
Mesa inclinable, [4]

Con el uso de una mesa inclinable se induce al vehículo a girar con respecto a un eje fijo, a una velocidad angular pequeña y prácticamente constante (Figura 6), a modo de evitar generar movimientos inerciales no deseados durante la prueba [5]. Con este movimiento se aprovecha el par resultante que se produce de la descomposición de la fuerza debida al peso propio del vehículo y a las reacciones de soporte durante la rotación de éste por la plataforma, analíticamente perpendiculares y paralelas al plano de la plataforma.

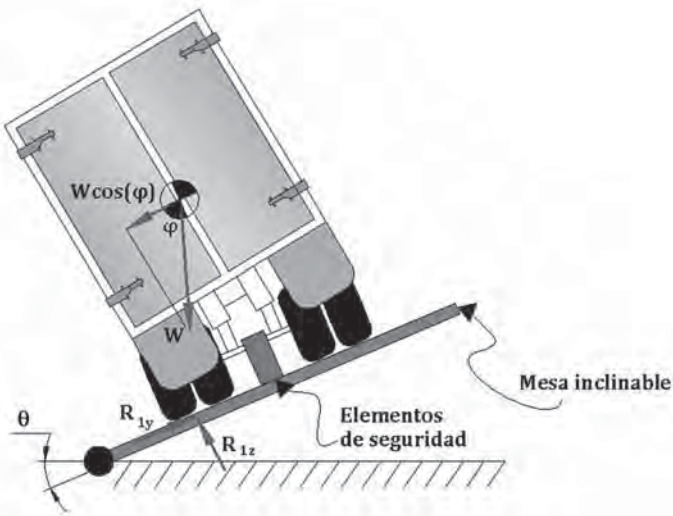


Figura 6
Esquema general de la mesa inclinable

El criterio para considerar el umbral de vuelco se obtiene comúnmente cuando se pierde contacto de alguna de las llantas (o en ocasiones toda una hilera de llantas) con la mesa. Por tal motivo, para evitar la completa rotación del vehículo sobre la mesa, ésta debe contar con diversos sistemas y mecanismos de seguridad que restrinjan el desplazamiento de separación posterior a la pérdida de contacto.

El uso de la mesa inclinable permite que todos los sistemas y componentes de un vehículo que participan en el proceso de vuelco manifiesten sus propiedades mecánicas, como se ilustra en la Figura 7. En este sentido, los valores

obtenidos como umbral son muy cercanos al del vuelco real, además de que su aplicación facilita la medición de otras variables de interés asociadas al comportamiento dinámico de los vehículos, como es la estimación de la altura del centro de gravedad.

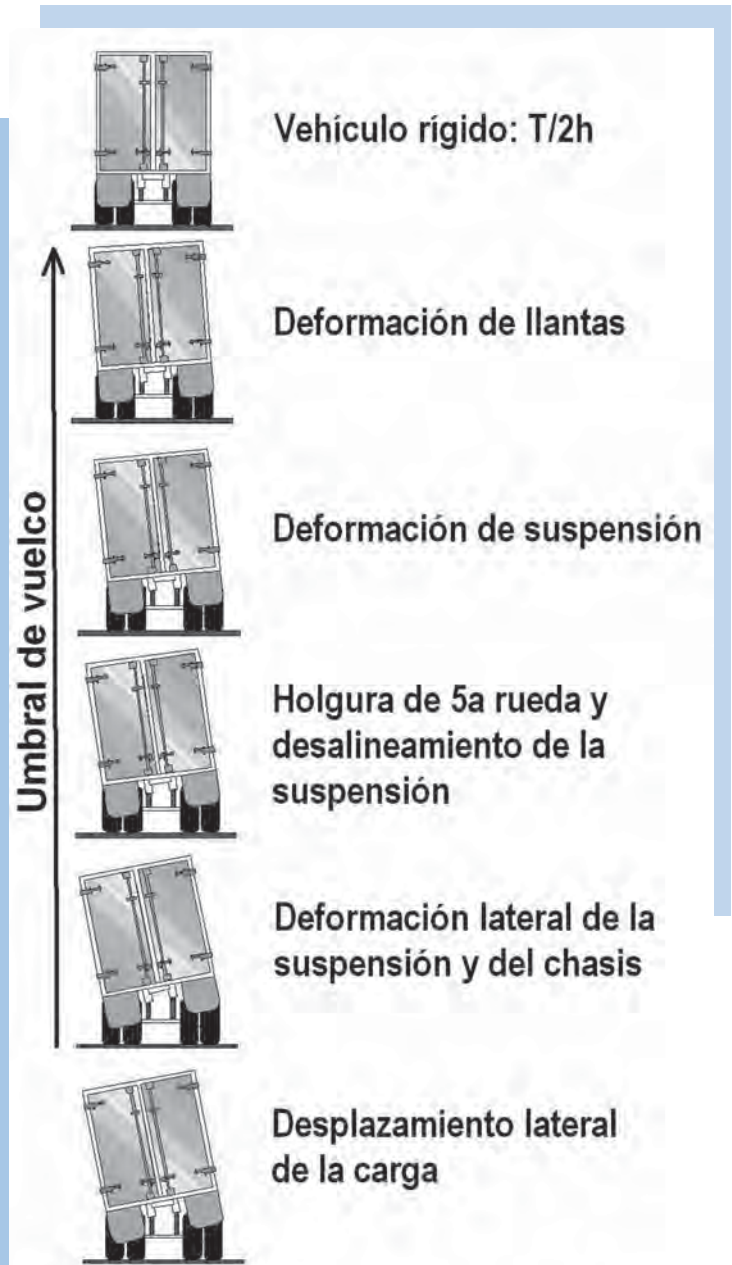


Figura 7
Efectos diversos de comportamiento de los sistemas de un vehículo pesado en la estimación del umbral de volcadura, [6]

En la evaluación y caracterización de la operación de vehículos cuyo diseño y aplicación contemplan el tránsito por terrenos irregulares, requieren de pruebas especiales. Tal es el caso de vehículos especiales de construcción, de rescate, de control de incendios y militares (Figura 8). Una de las pruebas necesarias de este tipo de vehículos especiales, para evaluar su estabilidad cuando deban trasladarse en un camino con inclinación considerable, son las del umbral de vuelco, [7, 8]. Estos casos refuerzan el sustento de la aplicación de mesas inclinables y la importancia de su papel en estudios de estabilidad y en la determinación del comportamiento seguro de los vehículos en tránsito.



Figura 8

Vehículo especial FAA HPRV bajo prueba en una mesa inclinable, [7]

Para la aplicación de mesas de este tipo se parte de diversas recomendaciones que fundamentan su diseño y operación. Un ejemplo de ello es la SAE J2180, referente al procedimiento de aplicación en la determinación del umbral estático de vuelco de vehículos pesados, [5]. Ejecutada como se describe, la prueba simula el seguimiento de una curva en estado estable, sin vibraciones presentes, utilizando una componente del peso propio del vehículo para simular la carga lateral.

Los resultados de los avances tecnológicos en los vehículos permiten que se pueda disponer de mayores potencias, capacidades de carga y velocidades, así como mayor diversificación de aplicaciones, por ejemplo, en todo-terreno. Esta multiplicidad de usos obliga a una continua evaluación del comportamiento dinámico de los vehículos, de manera que se sustenten criterios de condiciones seguras de operación. En este caso, el uso de mesas inclinables en pruebas experimentales representan una herramienta útil en la determinación de la estabilidad en los vehículos, bajo un enfoque de la resistencia a volcar.

Referencias

1. Vázquez Vega, D.; Fabela Gallegos, M. J.; Martínez Madrid, M. Revisión documental sobre la evaluación del comportamiento dinámico de vehículos pesados. Publicación Técnica No. 259, Sanfandila, Qro. 2004.
2. Fabela Gallegos, M. J. Resistencia a la volcadura de vehículos. Revista Ciencia y Desarrollo, Febrero 2008, vol. 34, no. 216, p. 18-23.
3. Fabela Gallegos, M. J. "Umbral de volcadura: tendencia a la volcadura de vehículos y su relación con límites operacionales". Artículo 1 del Boletín IMT Notas No. 96, Septiembre de 2005 (Nota No. 305, 15 de Enero de 2006), Instituto Mexicano del Transporte. Sanfandila, Qro.
4. Bushman Avontec, Custom designed tilt table for e-one, www.e-one.com
5. Surface Vehicle Recommended Practice. SAE J2180 "Tilt Table Procedure for Measuring the Static Rollover Threshold for Heavy Trucks". December, 1998. SAE International. USA.
6. Winkler, Chris. "Rollover of Heavy Commercial Vehicles". University of Michigan Transportation Research Institute. UMTRI

Research Review, October-November 2000. Volume 31, Number 4. Michigan, USA.

7. Keith Bagot, Evaluation of Retrofit ARFF Vehicle Suspension Enhancement to Reduce Vehicle Rollovers, Office of Aviation Research Washington, D.C. 20591, Final report, Springfield Virginia, Marzo 2002.

8. Gillespie, T. D., "Fundamentals of vehicle dynamics", Society of Automotive Engineers Inc. Warrendale, PA, USA. 1994.

SEGOVIA Omar
jimmie_depover@hotmail.com
PÉREZ Humberto
mojica666@hotmail.com
FABELA Manuel
mjfabela@imt.mx

GLOSARIO

Artículo 1:

Transporte marítimo: Es la acción de llevar personas o cosas por mar, de un punto geográfico a otro a bordo de un buque con un fin lucrativo.

Buque: Es un barco con cubierta que por su tamaño, solidez y fuerza es apropiado para navegaciones o empresas marítimas de importancia.

Simulador de maniobra en tiempo real: Sistema que reproduce el comportamiento de un buque específico en maniobra por un capitán o práctico.

Artículo 2:

Vuelco: Giro del vehículo a lo largo de su

eje longitudinal, que produce la pérdida de contacto entre llantas y piso al menos del lado externo al giro, produciendo que el chasis del vehículo u otra parte de su estructura tenga contacto con el piso. Usualmente el vehículo gira 90° o más.

Mesa inclinable: Plataforma sobre la que se coloca un vehículo para inferirle un movimiento de rotación controlada para determinar su capacidad de resistirse al vuelco.

Umbral de vuelco: Magnitud de aceleración lateral, convencionalmente expresada en múltiplos de la aceleración de la gravedad, asociada al par necesario para producir el vuelco de un vehículo sobre una superficie plana horizontal.

PROYECTO EN MARCHA

Pista de pruebas del Centro Experimental en Seguridad Vehicular del IMT

La evaluación de vehículos ha sido detectada como una imperiosa necesidad dentro del proceso para mejorar la seguridad de tránsito. El incremento en la siniestralidad en carreteras ha sido un factor determinante que ha requerido la atención para proponer esquemas de mayor

seguridad y operación con mayor eficiencia de los vehículos circulantes. Considerando que el vehículo es un objeto conducido que depende de las acciones del conductor y de las condiciones de la infraestructura y del medio circundante, es importante entonces conocer

sus capacidades y límites de operación, que sustenten su adecuado aprovechamiento y uso. Por tanto, rebasar sus capacidades estáticas y dinámicas implica incrementar el riesgo para la ocurrencia de accidentes o incidentes durante su tránsito por carretera.

El Instituto Mexicano del Transporte (IMT) atiende, a través de una de sus líneas de investigación, el estudio del desempeño estático y dinámico de vehículos y su interacción con el camino y su entorno. Para reforzar los estudios sobre ese tópico, se propuso la materialización de lo que se ha denominado Centro Experimental en Seguridad Vehicular del IMT (CenESV-IMT), cuyo componente principal es una pista de pruebas. Recientemente se ha construido esa pista en una zona adjunta a las instalaciones actuales del IMT, ocupando una extensión de alrededor de 35 ha.

Para la ejecución de pruebas ordinarias y especializadas, la pista dispone de diversos tramos pavimentados rectos y curvos, que totalizan una longitud efectiva de alrededor de 2,7 km. El ancho típico de calzada es de 7 m para prácticamente todos los tramos, excepto un tramo recto de aproximadamente 400 m de longitud con un ancho de 14 m. El circuito principal, continuo en forma de óvalo con longitud de poco menos de 2 km, se compone de dos tramos rectos de 500 m cada uno y dos curvas circulares opuestas

de 150 m de radio, una de ellas con 10% de sobre-elevación (peralte) y otra prácticamente plana. Dispone también de dos circuitos circulares con diámetros respectivos de 300 m y 120 m, ambos sin peraltes, siendo parte el círculo mayor del circuito principal. Cuenta adicionalmente con una superficie semi-ovalada de aproximadamente 3200 m², así como algunos caminos de acceso y de maniobra para cambio de dirección.

La pista permitirá evaluar, desde una perspectiva experimental combinada con otras instalaciones de laboratorios, equipos y sistemas de análisis teórico-práctico, las condiciones para evidenciar las capacidades estáticas y dinámicas de los vehículos en sus distintas categorías. De igual manera se podrá evaluar el efecto de sistemas y componentes de los mismos, así como la respuesta y efectividad de elementos de seguridad empleados en las carreteras. Con ello se podrá brindar información y elementos necesarios para sustentar las decisiones relativas a los dictámenes de aplicación de los vehículos de transporte en el país, para el establecimiento de criterios normativos y de homologación nacional e internacional, fundamentados en la mejora en la seguridad, en el uso apropiado de los vehículos y de la infraestructura carretera de una manera integral.

FABELA Manuel
mjfabela@imt.mx

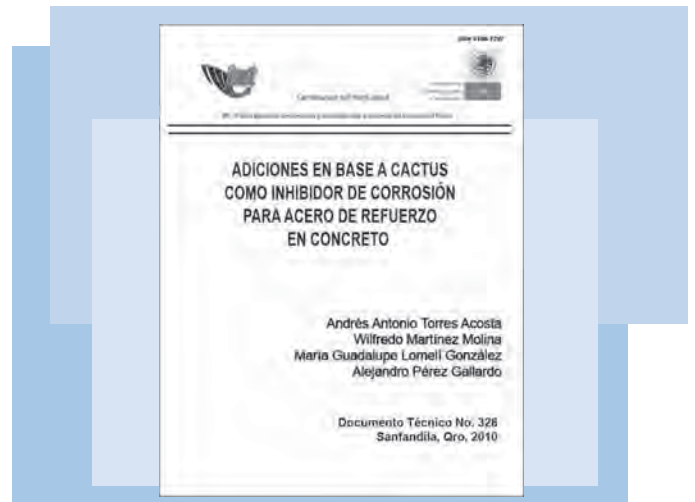


Vista aérea de la pista proyectada en los terrenos del IMT

PUBLICACIÓN

Adiciones en base a cactus como inhibidor de corrosión para acero de refuerzo en concreto

La **PUBLICACIÓN TÉCNICA 328** incluye resultados del comportamiento a la corrosión del acero de refuerzo en concreto cuando el cactus deshidratado (*Opuntia Ficus Indica*, nopal) es usado como aditivo en concreto. Los resultados demostraron que el nopal deshidratado presenta un buen efecto inhibitor de la corrosión en el acero de refuerzo, en todos los especímenes probados, cuando los iones cloruro están presentes. La adición del cactus llevó a la formación evidente de una capa superficial más densa y llena de hidróxido de oxígeno en la superficie de acero la cual disminuyó la actividad de la corrosión.



Se puede consultar de forma gratuita en la página del Instituto: <http://imt.mx/Espanol/Publicaciones/pubtec/pt328.pdf>

EVENTOS ACADÉMICOS

Evaluación económica y social de proyectos de infraestructura del transporte regional

Del 23 al 27 de agosto de 2010, se llevó a cabo dicho Curso Internacional en las Instalaciones del Instituto Mexicano del Transporte en Sanfandila, Querétaro. La coordinación de este estuvo a cargo del Dr. Guillermo Torres y del M. en I. José Antonio Arroyo, investigadores del IMT.

El objetivo fue proporcionar las herramientas de análisis que son empleadas en la identificación de las variables que intervienen en la evaluación económica de proyectos de infraestructura de transporte regional, 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.

El curso estuvo diseñado para los servidores públicos que se encargan de la planeación de la infraestructura a nivel nacional, regional y estatal, así como de aquellos que se responsabilizan de la elaboración de los programas de inversión de las obras; asimismo, para los profesionales y consultores privados que realizan estudios de factibilidad para dependencias del Sector.

Tuvo una duración de 36 horas y una asistencia de 25 participantes, los cuales provinieron de

la Dirección General de Carreteras-SCT, Dirección General de Evaluación-SCT, Dirección General de Conservación de Carreteras-SCT, Dirección General Adjunta de Caminos Rurales-SCT, Gobierno del Estado de Sinaloa, Secretaría de Finanzas del Gobierno del Estado de México, Secretaría de Obra Pública del Gobierno del Estado de Guanajuato, Secretaría de Obras Públicas del Gobierno del Estado de Yucatán, Secretaría de Obras Públicas del Gobierno del Estado de Yucatán, de los Centros SCT Colima, Durango y Michoacán; de la Universidad de Guadalajara, Universidad Autónoma de Chihuahua y de las empresas Cal y Mayor y Asociados, Creando Conocimiento S.C., Evaluación y Ejecución S.A., Ingeniería Técnica Total S.A. de C.V. y Servicios de Consultoría en Infraestructura Vial.

Parte de la temática tratada fue:

- Identificación de variables que intervienen en la estimación de la demanda regional del transporte
- Modelos matemáticos, y econométricos utilizados para la estimación de la demanda.
- Fundamentos de la evaluación económica de

proyectos: Variables socioeconómicas y operacionales que intervienen en la evaluación de proyectos.

- Conceptos básico sobre la evaluación económica de proyectos: Definición de indicadores de rentabilidad que intervienen en el análisis costo-beneficio de proyectos de inversión.
- Análisis de sensibilidad: Comportamiento de los indicadores de rentabilidad económica ante distintos escenarios de inversión y de operación.
- Estimación de valor subjetivo del tiempo: Preferencias declaradas y preferencias reveladas.
- Evaluación económica de proyectos de caminos rurales y proyectos ferroviarios.
- Evaluación económica de proyectos de infraestructura carretera de altas especificaciones.
- Aspectos básicos en la elaboración del programa de inversiones para el corto, mediano y largo plazos.
- Evaluación económica de proyectos de infraestructura marítimo-portuaria y fuentes de financiamiento para proyectos de infraestructura para el transporte.



DIRECTORIO

Ing. Roberto Aguerrebere Salido
Director General
 (55) 55 98 56 10 ext. 2001
 roberto.aguerrebere@imt.mx

Ing. Jorge Armendariz Jiménez
Coordinador de Administración y Finanzas
 (55) 55 98 56 10 ext. 4316
 jorge.armendariz@imt.mx

Ing. Alfonso Mauricio Elizondo Ramírez
Coordinador de Normativa para la Infraestructura del Transporte
 (55) 55 98 56 10 ext. 4314
 alfonso.elizondo@imt.mx

M. en E. Victor Manuel Islas Rivera
Coordinador de Economía de los Transportes y Desarrollo Regional
 (442) 216 97 77 ext. 2018
 victor.islas@imt.mx

Dr. Carlos Daniel Martner Peyrelongue
Coordinador de Integración del Transporte
 (442) 216 97 77 ext. 2059 martner@imt.mx

Dr. Miguel Martínez Madrid
Coordinador de Ingeniería Vehicular e Integridad Estructural
 (442) 216 97 77 ext. 2010
 miguel.martinez@imt.mx

Dr. Alberto Mendoza Díaz
Coordinador de Seguridad y Operación del Transporte
 (442) 216 97 77 ext. 2014
 alberto.mendoza@imt.mx

M. en C. Tristán Ruíz Lang
Coordinador de Ingeniería Portuaria y Sistemas Geoespaciales
 (442) 216 97 77 ext. 2005
 tristan.ruiz@imt.mx

M. en C. Rodolfo Téllez Gutiérrez
Coordinador de Infraestructura
 (442) 216 97 77 ext. 2016
 rodolfo.tellez@imt.mx

El diseño y elaboración de la presente publicación es realizada y está a cargo de:

M. en D.G. Alejandra Gutiérrez Soria
 (442) 216 97 77 ext. 2056 agutierrez@imt.mx

INFORMACIÓN Y CONTACTOS**CURSOS INTERNACIONALES IMT**

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

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

PUBLICACIONES, BOLETINES Y NORMAS

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

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

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

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

INFORMES:

Tels: (442) 216 97 77, 216 97 44
 216 96 57 ext. 2034

Fax: 216 97 77 ext. 3037

Correo: publicaciones@imt.mx

Electrónico: capacitación@imt.mx

Para cualquier comentario o sugerencia con respecto, a esta publicación o ejemplares pasados, nos podrá contactar en: notas@imt.mx

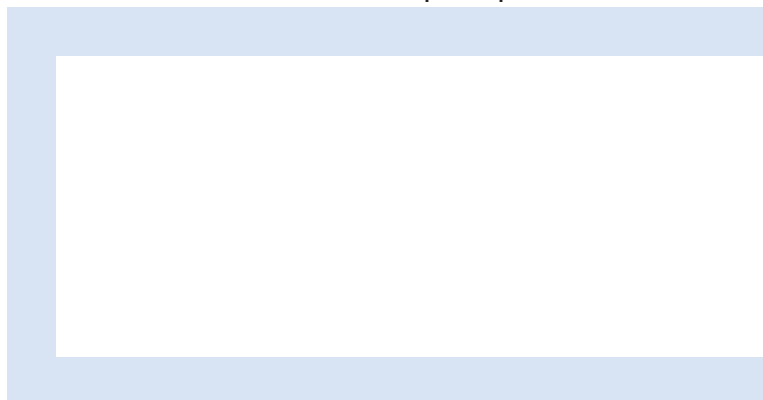
El contenido de los artículos aquí publicados es responsabilidad exclusiva de sus autores; por tanto, no refleja necesariamente el punto de vista del Instituto Mexicano del Transporte.

Se autoriza la reproducción parcial o total de los artículos contenidos en este ejemplar, siempre y cuando sean citados como fuente los nombres de autor (es), título del artículo, número y fecha de este boletín.



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

Registro Postal
Cartas
CA22-0005
Autorizado por Sepomex



POR AVIÓN
AIR MAIL