

REQUERIMIENTOS DE GEOMETRÍA CARRETERA DE LAS CONFIGURACIONES VEHICULARES ACTUALES

Introducción

Al paso de los años, los vehículos y las condiciones prevalecientes en el entorno como actividad económica y vehicular han variado significativamente, por lo cual se estima que las características geométricas y estructurales de algunas carreteras son inadecuadas para la circulación segura y eficiente de los vehículos actuales, sobre todo de los vehículos de gran envergadura como son los vehículos de carga.

Para dar una idea clara de lo anterior, para el año 2011, el estimado de la distribución de la flota de vehículos de carga fue: 32.8% para el T3-S2, 26.9% para el C2, 17.7% para el C3, 11.8% para el T3-S2-R4 y finalmente 8.4% para el T3-S3. La presencia del vehículo con doble articulación, T3-S2-R4 ha venido en aumento en las Carreteras Federales durante los últimos años [Gutiérrez, et al, 2012].

El presente trabajo pretende evaluar los efectos de las dimensiones máximas de las configuraciones vehiculares autorizadas actualmente con las características geométricas de la Red Carretera Federal, como una necesidad de actualizar los valores relacionados a la sección transversal en la normativa del proyecto geométrico de carreteras.

El presente trabajo se desarrolló con base en la siguiente metodología:

1. Realizar un levantamiento de campo de una muestra representativa, para obtener información de las dimensiones de los vehículos que actualmente circulan por la Red.

2. Determinar las combinaciones de las dimensiones de los vehículos de carga, así como las posibles dimensiones del tractocamión, remolques, semirremolques y convertidores, de las configuraciones vehiculares máximas permitidas para generar los vehículos tipo que se evaluarán, con base en los resultados obtenidos en el punto 1.

3. Determinar las características geométricas, como los anchos de carril, ampliaciones, deflexiones y radios mínimos, considerando los valores mínimos permitidos en la Norma de Proyecto Geométrico [SCT, 1984] para cada tipo de camino.

CONTENIDO

REQUERIMIENTOS DE GEOMETRÍA CARRETERA DE LAS CONFIGURACIONES VEHICULARES ACTUALES	1
MATRIZ ORIGEN – DESTINO DE CARGA FERROVIARIA	11
GLOSARIO	16
PROYECTOS EN MARCHA	17
PUBLICACIÓN	18
EVENTOS ACADÉMICOS	18

4. Utilizar el programa de cómputo AutoTURN para realizar las simulaciones gráficas de las trayectorias de los vehículos, obtenidos en el punto 2, obteniéndose los anchos de los barridos (Swept Path Width) que se compararán con las características geométricas de las carreteras definidas en el punto 3.

5. Generar un conjunto de conclusiones y recomendaciones a partir de los impactos evaluados en el punto anterior.

Conceptos generales

El vehículo

En el proyecto de los elementos de una carretera, deben tenerse en cuenta las características geométricas y de operación de los vehículos que la van a usar. Las características geométricas están definidas por las dimensiones y el radio de giro del vehículo. Las características de operación están definidas principalmente por la relación peso/potencia del vehículo [SAHOP, 1977]. Es importante conocer las dimensiones de todas las configuraciones vehiculares autorizadas que circulan actualmente en nuestro país para poder determinar su impacto en las carreteras. Para efectos de este estudio, únicamente se analiza el impacto de tres configuraciones vehiculares en particular: C3, T3S2 y T3S2R4.

Ampliación en una curva

El radio de giro es el radio de la circunferencia definida por la trayectoria de la rueda delantera externa del vehículo, cuando éste efectúa un giro. El radio de giro, la distancia entre ejes y la entre ejes del vehículo, definen la trayectoria que siguen las ruedas cuando el vehículo efectúa un giro [SAHOP, 1977].

En el caso de los vehículos (automóviles, camiones y vehículos de carga), las ruedas traseras no siguen la misma trayectoria que las delanteras cuando se realiza un giro. La diferencia en las trayectorias de las ruedas delanteras y las traseras se conoce como "offtracking" o "despiste" [AASHTO, 2004].

Durante el giro a velocidades bajas, las ruedas delanteras arrastran a las traseras hacia ellas en todo el interior de la curva. La magnitud de este fenómeno es pequeña en automóviles y se ignora por lo general. Para los tractocamiones, sin embargo, es considerable y es un factor importante en el proyecto geométrico de carreteras. El uso más importante del "despiste" para el uso en el proyecto geométrico de una carretera, es el "swept path width" o "ancho de barrido" que es la parte del ancho del camino que recorre un vehículo de carga al tomar una curva y que es igual al "despiste" más el ancho del tractocamión; es la dimensión más importante que se ve afectada por la diferencia en las trayectorias de la rueda exterior del eje delantero del tractocamión y la rueda interna del eje trasero del semirremolque. El "ancho de barrido" sirve para calcular las ampliaciones en las curvas horizontales de una carretera y para diseñar la orilla interna de la calzada en los ramales de las intersecciones. En la Figura 1 se muestra el esquema de las trayectorias, radio de giro, despiste máximo y ancho de barrido de un tractocamión articulado.

El "despiste" aumenta gradualmente a medida que un vehículo hace la maniobra de giro. Cuando su distancia sigue aumentando, dicha situación se denomina "despiste parcialmente desarrollado". A medida que el vehículo continúa moviéndose en una curva de radio constante, el despiste llega a su valor máximo; cuando el vehículo continúa circulando y el valor ya no aumenta más, se le denomina "despiste totalmente desarrollado" o "despiste máximo".



Figura 1
Ampliación de un tractocamión articulado.
Trayectorias, radio de giro, despiste máximo y ancho de barrido

Ampliación para proyecto de curvas horizontales

La ampliación es muy importante en el diseño de curvas horizontales; la ampliación es la distancia adicional al camino en tangente que requiere un vehículo para poder girar adecuadamente, de acuerdo a las dimensiones permitidas y velocidad en el camino. La ampliación depende de las dimensiones del vehículo, del radio de curvatura, de la velocidad, etc.

La normativa mexicana de proyecto geométrico "Norma de Proyecto Geométrico" [SCT, 1984], especifica las ampliaciones en

curva requeridas para cada tipo de camino, velocidad de proyecto, grado y radio de curvatura, sin indicar el tipo de vehículo utilizado para su cálculo. Dichos valores se basan en el Manual de Proyecto Geométrico [SAHOP, 1977], que utilizaba vehículos de proyecto representativos de hace 40 años; el vehículo de mayor envergadura mostrado en el Manual es la configuración tractocamión-semirremolque con 15.5 m de distancia entre ejes. La Tabla 1 muestra las ampliaciones máximas correspondientes a cada radio mínimo de curvatura, para cada tipo de camino y para cada velocidad de proyecto, presentadas en la Norma de Proyecto Geométrico.

Tabla 1
Ampliaciones requeridas por radio mínimo de curvatura para cada velocidad y tipo de camino

Velocidad (km/h)	Radio mínimo (m)	Tipo de Camino				
		A4S	A4	A2 y B	C	D y E
		Ampliaciones (cm)				
30	19.10	-	-	-	-	210
40	38.20	-	-	-	190	140
50	67.41	-	-	130	140	110
60	104.17	-	-	100	110	90
70	152.79	80	170	80	90	80
80	208.35	80	150	80	90	-
90	269.63	70	140	70	80	-
100	352.59	60	130	60	80	-
110	416.70	60	120	60	-	-

Dimensiones máximas autorizadas

La NOM-012-SCT-2-2008 (NOM-012) regula y especifica las dimensiones con las cuales deben circular los vehículos del autotransporte federal que transitan en las vías generales de jurisdicción federal; así como los casos especiales que se presenten en dichos vehículos. En ella, vienen especificadas las dimensiones máximas autorizadas y los casos especiales de carga, [SCT, 2008]:

- El ancho máximo autorizado para todas las clases de vehículos que transitan en los diferentes tipos de caminos será de 2.60 m; este ancho máximo no incluye los espejos retrovisores, elementos de sujeción y demás aditamentos para el aseguramiento de la carga. Sin embargo, estos accesorios no deben sobresalir más de 20 cm a cada lado del vehículo.
- La altura máxima autorizada para todas las clases de vehículos que transitan en los diferentes tipos de caminos, será de 4.25 m.

- El largo máximo de cada tipo de vehículo de acuerdo al tipo de camino por el que transite se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2
Longitud máxima para cada configuración vehicular por tipo de camino

Configuración vehicular	Largo total (m)			
	ET y A	B	C	D
TSR	31.00	28.50	NA	NA
TS	23.00	20.80	18.50	NA
C	14.00	14.00	14.00	12.50

Nota: NA = No autorizado

Levantamiento de campo de una muestra representativa

La información más representativa que se puede tener de las dimensiones de las configuraciones vehiculares actuales, es midiendo los vehículos que transitan por la Red Federal. Es por ello que se hizo una medición de unidades, en campo, en una estación de

pesaje. La estación de peso y dimensiones en la que se hizo el levantamiento de datos fue el centro de verificación de peso y dimensiones de Calamanda, el cual se encuentra ubicado en la Carretera Federal 57, en el tramo México-Querétaro, a 20 km de la Cd. de Querétaro y en dirección hacia México. Cabe mencionar que esta vía es de las que tiene un mayor Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) en todo el país.

Los datos que se tomaron fueron el largo y ancho de los vehículos y otras que se requieren para posteriormente realizar las simulaciones en el programa AutoTURN. Un ejemplo de las mediciones realizadas se muestran en la Figura 2, correspondiente a la configuración tractocamión con semirremolque y remolque. Se midieron 73 vehículos, de los cuales 28 corresponden a camiones, 35 al arreglo tractocamión-semirremolque y 10 al arreglo tractocamión-semirremolque-remolque.

Determinación de los vehículos representativos a evaluarse

Las dimensiones de los vehículos, considerados como los más representativos, elegidas para realizar las simulaciones en el programa AutoTURN se tomaron con base, primeramente, en las mediciones realizadas en la estación Calamanda y posteriormente corroboradas y afinadas con base en las fichas técnicas de la ANPACT [ANPACT, 2006] y a partir de un registro de datos obtenido de la Dirección General de Autotransporte Federal (DGAF) de la SCT. Las longitudes de los vehículos representativos analizados para este estudio se muestran en las Figuras 3, 4 y 5.

Determinación de las características geométricas

El vehículo T3S2R4-35 con longitud de 27.99 m no excede el límite para los caminos ET, A

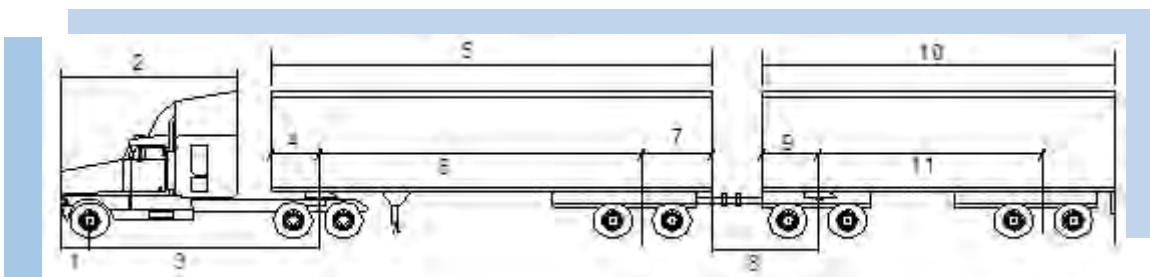


Figura 2
Dimensiones de un tractocamión con semirremolque y remolque

Donde:

1 = Vuelo delantero	7 = Distancia del eje trasero del semirremolque al término de este
2 = Largo de la cabina del tractocamión	8 = Distancia de donde termina el semirremolque al primer eje del remolque
3 = Distancia entre ejes del tractocamión	9 = Distancia del inicio del remolque al centro del convertidor
4 = Distancia del inicio del semirremolque a la quinta rueda	10 = Largo del remolque
5 = Largo del semirremolque	11 = Distancia del centro del convertidor al centro del arreglo de ejes del remolque
6 = Distancia de la quinta rueda al centro del arreglo de ejes del semirremolque	

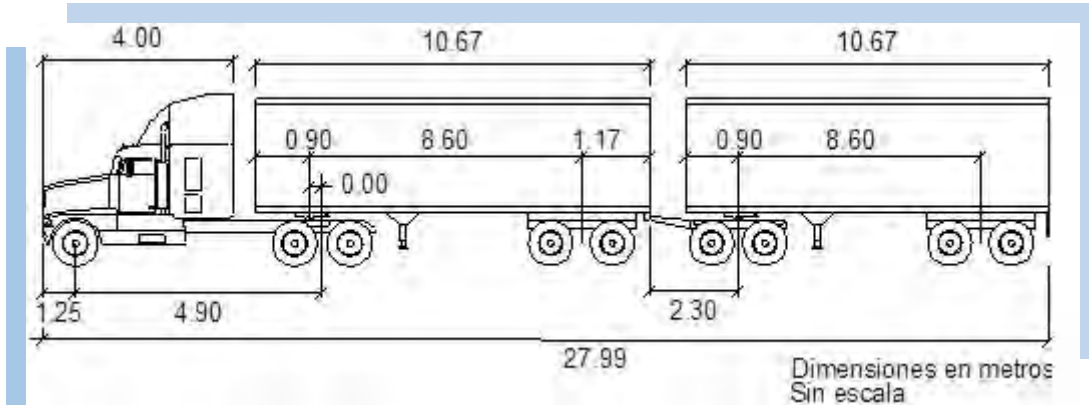


Figura 3
Longitudes del vehículo de configuración
tractocamión-semirremolque-remolque con cajas de 35 pies
denominado T3S2R4-35

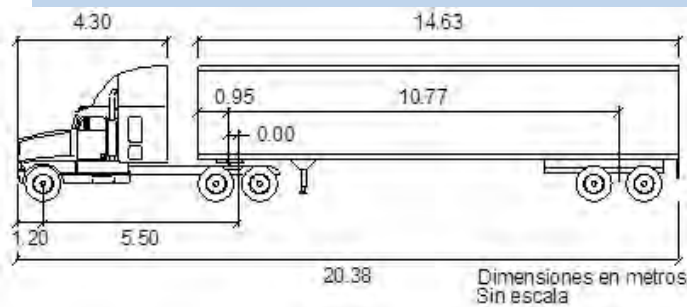


Figura 4
Longitudes del vehículo de configuración
tractocamión-semirremolque con caja de 48
pies denominado T3S2-48

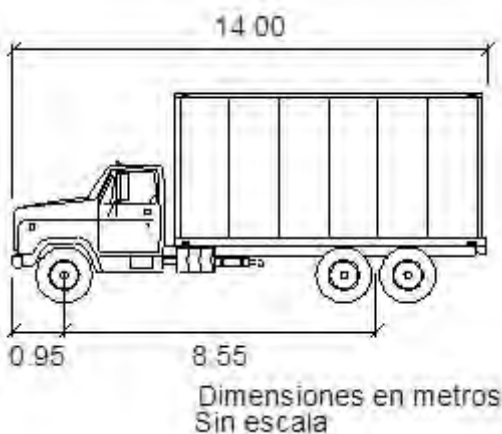


Figura 5
Longitudes del camión unitario denominado
C3-14

y B. Para este estudio se consideró realizar las simulaciones para el tipo de camino más restrictivo, el tipo B. Aunque no está permitida la circulación para los vehículos con configuración TSR en caminos tipo C, se tomó en cuenta para realizar las simulaciones debido a los casos de conectividad y por considerar algunas situaciones críticas que pudieran presentarse.

El vehículo tractocamión-semirremolque T3S2-48 tiene 20.38 m de longitud total que no excede los límites de los caminos A y B pero sí del tipo C. Como en el caso anterior, la simulación de este tipo de vehículo decidió realizarse para caminos tipo B y C, el primero por considerarse el tipo de camino con más restricciones en la que está autorizado a circular y el segundo para considerar los casos de conectividad o situaciones especiales. El vehículo representativo C3-14 tiene 14 m de longitud, que está dentro del límite de los caminos tipo A, B y C, pero no para el tipo D, aunque en casos de conectividad podría circular por éste. Para fines de este estudio, se decidió realizar las simulaciones por el tipo de camino autorizado con mayores restricciones, que es el camino tipo C y en el camino tipo D, para tomar en cuenta el aspecto de conectividad.

Para cada tipo de camino se eligieron 6 radios representativos para evaluar sus valores de ampliación; en la Tabla 3 se muestran los radios utilizados para cada tipo de camino, con base en los valores autorizados en la Norma de Proyecto Geométrico [SCT, 1984]. Estos radios se eligieron de tal manera que estuvieran distribuidos a lo largo de todos los radios permitidos para cada camino, excluyendo los más grandes e incluyendo el mínimo.

Tabla 3
Radios elegidos por tipo de camino para realizar las simulaciones

Tipo de camino			
A	B	C	D
Radio (m)			
572.96	381.97	458.37	127.32
416.70	254.65	286.48	95.49
352.59	143.24	163.70	71.62
269.63	104.17	76.39	60.31
208.35	81.85	54.57	52.09
152.79	67.41	38.20	38.20

Realización de las simulaciones y resultados

En las Tablas 4 a 9 se muestran los resultados del ancho de barrido obtenidos para los vehículos representativos en los tipos de camino y radios antes mencionados. En las tablas se puede observar que la fila superior indica el tipo y ancho en tangente del camino y el vehículo representativo con el cual se hicieron las simulaciones. La columna 1 muestra los 6 radios elegidos para el tipo de camino, como se mencionó en el apartado anterior; la columna 2 contiene la ampliación por carril especificada para cada radio de curvatura y velocidad indicadas en la Norma de Proyecto Geométrico [SCT, 1984]; la columna 3 muestra la suma del ancho de carril en tangente más la ampliación (columna

2); las columnas de 4 a 6 presenta el ancho de barrido obtenido con el programa AutoTURN para los 6 radios en cada deflexión; la columna 7 presenta la distancia libre entre vehículos (C) correspondiente al tipo de camino; la columna 8 muestra el ancho adicional por dificultades de maniobra (Z) para cada radio, estas variables son consideradas por AASHTO [AASHTO, 2004]; de la columna 9 a la 11 se presenta la suma de los valores de las columnas 4 a 6 más las variables de maniobra (C y Z) correspondientes a cada deflexión; y la columna 12 muestra el valor del ancho de carril con ampliación correspondiente según el método de cálculo por AASHTO.

Se puede apreciar en las tablas que los resultados presentados en las columnas 9 a 11 cubren con los requerimientos necesarios de espacio de cada tipo de vehículo representativo para circular con seguridad por las curvas especificadas; la columna 3 nos indica el espacio proporcionado por la vía bajo el criterio de la normativa actual; y la columna 12 es un valor de referencia de la normativa internacional para comparar los dos resultados anteriores.

Para el caso del T3S2R4-35 los anchos de barrido al circular en curvas con características geométricas para caminos tipo B exceden a los anchos de carril con ampliación especificados en las normas, particularmente en los 4 radios menores elegidos para realizar las simulaciones. Para la circulación por caminos tipo C, los anchos de barrido exceden a los anchos de carril con ampliación en todos los radios. Para el caso del vehículo T3S2-48 sobre las curvas con características geométricas para un camino tipo B, los anchos de barrido requeridos por este vehículo también son mayores a los anchos de carril con ampliación en la mayoría de los radios; en el camino tipo C los anchos de barrido son superiores a los anchos de carril con ampliación desde 2 cm en el radio de curvatura más grande

Tabla 4
Resultados del vehículo T3S2R4-35 en camino tipo B

Camino Tipo B			Ancho de carril 3.5 m			Vehículo representativo T3S2R4-35					
Características Geométricas			Ancho de barrido con programa (m)			Variables para mejorar la maniobra (m)		Ancho de barrido más variables (m)			Ancho con Método AASHTO (m)
Radio(m)	Ampliación por carril (m)	Ancho de carril más ampliación(m)	Deflexión			C	Z	Deflexión			
			60°	90°	130°			60°	90°	130°	
381.97	0.20	3.70	2.62	2.62	2.62	0.83	0.13	3.58	3.58	3.58	3.59
254.65	0.25	3.75	2.73	2.73	2.73		0.16	3.72	3.72	3.72	3.74
143.24	0.35	3.85	3.01	3.01	3.01		0.21	4.05	4.05	4.05	4.07
104.17	0.45	3.95	3.26	3.26	3.26		0.24	4.33	4.33	4.33	4.34
81.85	0.55	4.05	3.50	3.51	3.51		0.28	4.61	4.62	4.62	4.61
67.41	0.65	4.15	3.72	3.76	3.76		0.30	4.85	4.89	4.89	4.88

Tabla 5
Resultados del vehículo T3S2R4-35 en camino tipo C

Camino Tipo C			Ancho de carril 3 m			Vehículo representativo T3S2R4-35					
Características Geométricas			Ancho de barrido con programa (m)			Variables para mejorar la maniobra (m)		Ancho de barrido más variables (m)			Ancho con Método AASHTO (m)
Radio(m)	Ampliación por carril (m)	Ancho de carril más ampliación(m)	Deflexión			C	Z	Deflexión			
			60°	90°	130°			60°	90°	130°	
458.37	0.20	3.20	2.59	2.59	2.59	0.58	0.09	3.26	3.26	3.26	3.27
286.48	0.25	3.25	2.70	2.70	2.70		0.12	3.40	3.40	3.40	3.41
163.70	0.35	3.35	2.93	2.93	2.93		0.16	3.67	3.67	3.67	3.69
76.39	0.55	3.55	3.59	3.59	3.59		0.23	4.40	4.40	4.40	4.40
54.57	0.70	3.70	4.03	4.09	4.10		0.27	4.88	4.94	4.95	4.92
38.20	0.95	3.95	4.49	4.78	4.87		0.32	5.39	5.68	5.77	5.73

Tabla 6
Resultados del vehículo representativo T3S2-48 en camino tipo B

Camino Tipo B			Ancho de carril 3.5 m			Vehículo representativo T3S2-48					
Características Geométricas			Ancho de barrido con programa (m)			Variables para mejorar la maniobra (m)		Ancho de barrido más variables (m)			Ancho con Método AASHTO (m)
Radio(m)	Ampliación por carril (m)	Ancho de carril más ampliación(m)	Deflexión			C	Z	Deflexión			
			60°	90°	130°			60°	90°	130°	
381.97	0.20	3.70	2.58	2.58	2.58	0.83	0.13	3.54	3.54	3.54	3.55
254.65	0.25	3.75	2.67	2.67	2.67		0.16	3.66	3.66	3.66	3.68
143.24	0.35	3.85	2.90	2.90	2.90		0.21	3.94	3.94	3.94	3.95
104.17	0.45	3.95	3.11	3.11	3.11		0.24	4.18	4.18	4.18	4.18
81.85	0.55	4.05	3.31	3.32	3.32		0.28	4.18	4.43	4.43	4.41
67.41	0.65	4.15	3.5	3.53	3.53		0.30	4.63	4.66	4.66	4.64

Tabla 7
Resultados del vehículo representativo T3S2-48 en camino tipo C

Camino Tipo C			Ancho de carril 3 m			Vehículo representativo T3S2-48					
Características Geométricas			Ancho de barrido con programa (m)			Variables para mejorar la maniobra (m)		Ancho de barrido más variables (m)			Ancho con Método AASHTO (m)
Radio(m)	Ampliación por carril (m)	Ancho de carril de más ampliación(m)	Deflexión			C	Z	Deflexión			
			60°	90°	130°			60°	90°	130°	
458.37	0.20	3.20	2.55	2.55	2.55	0.58	0.09	3.22	3.22	3.22	3.23
286.48	0.25	3.25	2.64	2.64	2.64		0.12	3.34	3.34	3.34	3.36
163.70	0.35	3.35	2.83	2.83	2.83		0.16	3.57	3.57	3.57	3.59
76.39	0.55	3.55	3.39	3.39	3.39		0.23	4.20	4.20	4.20	4.18
54.57	0.70	3.70	3.76	3.81	3.81		0.27	4.61	4.66	4.66	4.62
38.20	0.95	3.95	4.15	4.38	4.45		0.32	5.05	5.28	5.35	5.28

Tabla 8
Resultados de la simulación del vehículo C3-14 en camino tipo C

Camino Tipo C			Ancho de carril 3 m			Vehículo representativo C3-14					
Características Geométricas			Ancho de barrido con programa (m)			Variables para mejorar la maniobra (m)		Ancho de barrido más variables (m)			Ancho con Método AASHTO (m)
Radio(m)	Ampliación por carril (m)	Ancho de carril de más ampliación(m)	Deflexión			C	Z	Deflexión			
			60°	90°	130°			60°	90°	130°	
458.37	0.20	3.20	2.39	2.39	2.39	0.58	0.09	3.06	3.06	3.06	3.16
286.48	0.25	3.25	2.45	2.45	2.45		0.12	3.15	3.15	3.15	3.24
163.70	0.35	3.35	2.56	2.56	2.56		0.16	3.30	3.30	3.30	3.39
76.39	0.55	3.55	2.85	2.85	2.85		0.23	3.66	3.66	3.66	3.74
54.57	0.70	3.70	3.06	3.07	3.07		0.27	3.91	3.92	3.92	4.00
38.20	0.95	3.95	3.30	3.39	3.40		0.32	4.20	4.26	4.30	4.38

Tabla 9
Resultados de la simulación del vehículo C3-14 en camino tipo D

Camino Tipo C			Ancho de carril 3 m			Vehículo representativo C3-14					
Características Geométricas			Ancho de barrido con programa (m)			Variables para mejorar la maniobra (m)		Ancho de barrido más variables (m)			Ancho con Método AASHTO (m)
Radio(m)	Ampliación por carril (m)	Ancho de carril de más ampliación(m)	Deflexión			C	Z	Deflexión			
			60°	90°	130°			60°	90°	130°	
127.32	0.30	3.30	2.63	2.63	2.63	0.58	0.18	3.39	3.39	3.39	3.48
95.49	0.40	3.40	2.74	2.74	2.74		0.20	3.52	3.52	3.52	3.61
71.62	0.45	3.45	2.89	2.89	2.89		0.24	3.71	3.71	3.71	3.79
60.31	0.50	3.50	3.00	3.00	3.00		0.26	3.84	3.84	3.84	3.92
52.09	0.55	3.55	3.11	3.11	3.11		0.28	3.97	3.97	3.97	4.05
38.20	0.70	3.70	3.38	3.40	3.40		0.32	4.28	4.30	4.30	4.38

hasta en poco más de 1 m para el radio más pequeño. Para el caso del vehículo C3-14, en sus resultados para el camino tipo C se puede ver cómo los anchos de carril con ampliación son excedidos por los anchos de barrido que requiere este vehículo para los 3 radios de curvatura más pequeños, mientras que en los radios de curvatura más grandes el vehículo puede transitar sin problemas de espacio; en camino tipo D, se puede observar cómo los anchos de barrido que requiere son superiores a los anchos de carril con ampliación, siendo obviamente la diferencia más crítica en el radio de curvatura menor, en el que la trayectoria del vehículo excede en todas las deflexiones en aproximadamente 0.6 m el ancho del carril con ampliación; debido a esto se tendrían dificultades para este vehículo al realizar un giro en este tipo de caminos.

Conclusiones y recomendaciones

De acuerdo con las dimensiones actuales de los vehículos que integran el autotransporte federal y el efecto que éstas tienen en la Red Carretera Federal se puede concluir que, las dimensiones de los vehículos autorizados a circular actualmente sobrepasan en muchos casos las características geométricas de las carreteras.

Con estos resultados queda demostrado que los vehículos que circulan actualmente con dimensiones de largo total inferiores al máximo permitido por la NOM-012, exceden las condiciones de diseño de los diferentes tipos de caminos que conforman la Red Carretera Federal.

Se recomienda actualizar y aumentar las ampliaciones especificadas en la Norma de Proyecto Geométrico, es decir, que éstas se obtengan para vehículos actuales y de acuerdo con el camino que se está proyectando, considerando la configuración y dimensiones

de los vehículos que vayan a circular. Con valores actualizados, se obtendrá una mayor seguridad vial en los nuevos caminos que se construyan y en los existentes que se modernicen.

Referencias

AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials. 2004. *A Policy on Geometric Design of Highway and Streets*. Washington, D.C. 2004.

ANPACT, Asociación Nacional de Productores de Autobuses, Camiones y Tractocamiones. 2006. *Anuario de Vehículos de Autotransporte*. México, D.F. 2006.

Gutiérrez Hernández José, Soria Anguiano Verónica. 2012. *Análisis Estadístico de la Información Recopilada en las Estaciones Instaladas en 2011*, Documento Técnico No. 50. Sanfandila Querétaro. 2012.

SAHOP. Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. 1977. *Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras*. México, D.F. 1977.

SCT. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. 1984. Libro 2, *Normas de Servicios Técnicos*. Parte 2.01 Proyecto Geométrico. México, D.F. 1984.

SCT. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. 2008. NOM-012-SCT-2-2008, *Sobre el Peso y Dimensiones Máximas con los que pueden Circular los Vehículos de Autotransporte que Transitan en las Vías Generales de Comunicación de Jurisdicción Federal*. México, D.F. 2008.

ABARCA Emilio
eabarca@imt.mx

MENDOZA Alberto
mendoza@imt.mx

LÓPEZ Erick
herick_lopez13@hotmail.com

MATRIZ ORIGEN – DESTINO DE CARGA FERROVIARIA

Introducción

Debido El desarrollo metodológico para integrar una matriz origen – destino de la carga transportada por el ferrocarril, se realizó dentro del marco del Comité Técnico Especializado de Información Económica y Operativa del Sector Transporte (CTE-IEOST), encabezado y conducido por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), con base en los fundamentos de la importancia que para la economía tiene el transporte por su efecto multiplicador y de la relevancia en si misma de éste, como actividad económica.

El trabajo del CTE-IEOST se alinea al objetivo del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica que es el de proveer información estadística de transporte a todos los usuarios, con las características de: puntual, confiable y comparable, para apoyar la planeación del desarrollo de la infraestructura y la prestación de servicios, así como la toma de decisiones, tanto del sector público, como del privado. (CTE – IEOST, 2011: 5).

La oportunidad y relevancia del CTE – IEOST en su carácter de permanente, adquiere mayor sentido en el contexto del Sistema Ferroviario Mexicano, que desde su desregulación en 1996, no ha contado con información que permita realizar estudios y análisis sistemáticos de su comportamiento y evolución. De ahí que la metodología formulada, representa un avance en un aspecto claramente deficitario, información de los flujos de carga transportados a través de la red ferroviaria mexicana.

El desarrollo de esta metodología es el inicio de la consolidación de una base de datos origen–destino de la carga ferroviaria de publicación periódica, que en un futuro permitirá generar procedimientos y herramientas de planeación a través de modelos de generación de viajes o de distribución de la carga.

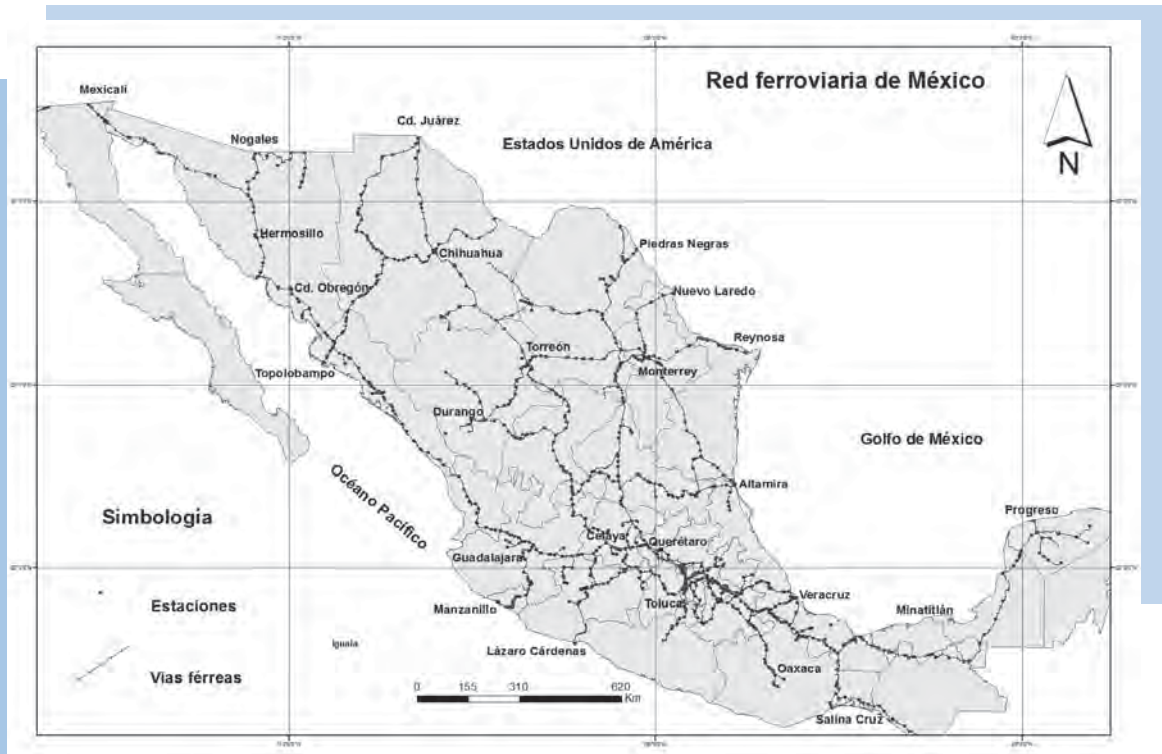
Para su aplicación, la metodología debió de atender tres aspectos:

1. Depuración de la base estadística proporcionada por la Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal (DGTFyM). Integrada por el número de carros, las toneladas y las toneladas – kilómetro que se movilizan entre cada par de estaciones.

2. La construcción explícita de un marco de información geográfica que permitiera la representación espacial de los orígenes y destinos que integran la matriz de la carga ferroviaria. Finalmente integrado por la red ferroviaria del país y un conjunto de más de 710 estaciones entre las que se distribuyen los flujos de carga.

3. Una clasificación de productos que posibilita el manejo de los miles de registros que integran la base de datos.

La clasificación de productos era una condición imprescindible, debido a la diversidad de mercancías que moviliza el ferrocarril (más de 315 rubros distintos) y a que cada empresa ferroviaria maneja su propia tipología de productos. La clasificación establecida se basa en el equipo ferroviario empleado para el transporte de los bienes, de manera que la carga transportada por ferrocarril quedó organizada en seis categorías:



Fuente: Elaboración con base en cartografía proporcionada por Geotecnología Inteligente en Transporte y Sustentabilidad a – Instituto de Geografía, UNAM. Octubre 2011. Mapa Digital de INEGI. Horarios de las empresas ferroviarias y Mapa impreso elaborado por Ferromex.

Figura 1
Red ferroviaria de México

- Carga contenerizada (intermodal)
- Productos agrícolas transportados a granel en tolvas
- Minerales arrastrados a granel en tolvas y góndolas con y sin tapa
- Productos líquidos o gaseosos a granel transportados en carros-tanque
- Vehículos automotores terminados transportados en plataformas bi-nivel y tri-nivel
- Productos industriales no contenerizados o carga general seca trasladados en furgones

Una vez que los datos estadísticos están listos, se asocian a la información geográfica para generar, con apoyo del software TransCAD, dos procesos:

1. Uno dirigido a establecer las líneas de deseo, que representan los intercambios ocurridos, en toneladas y toneladas-kilómetro, entre pares de estaciones ferroviarias.
2. Otro, de asignación de la carga, que modela el volumen de los flujos de carga transportada por ferrocarril.

Una vez realizados ambos procesos informáticos se exportan a un Sistema de Información Geográfica, en este caso el utilizado fue el software de ArcGIS, donde se pueden llevar a cabo otros manejos de la información y la representación cartográfica de los procesos elaborados en TransCAD.

La metodología ya se ha aplicado a tres categorías de productos de la base de datos 2010, proporcionada por la DGTFyM.

Se trata de la carga contenerizada, los gráneles agrícolas y los productos minerales manejados a granel, además de la carga total transportada por ferrocarril en 2010.

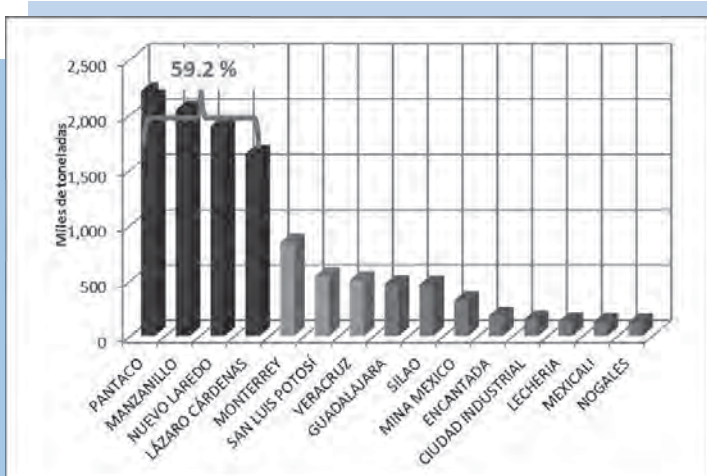
A manera de ejemplo, presentamos ahora los resultados del análisis de la carga contenerizada, cuya matriz estuvo compuesta por 270 pares origen-destino, integrados por 45 estaciones emisoras y 53 receptoras, 15 de las cuales concentran el manejo del 88 % de la carga (gráfica siguiente), destacando de entre ellos, los nodos: Pantaco, D.F, Manzanillo, Col., Nuevo Laredo, Tamps. y Lázaro Cárdenas, Mich. con intercambios totales mayores a un millón de toneladas.

Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM). En este sentido de los flujos, 10 de los 45 nodos emisores o generadores de carga contenerizada, equivalentes al 22% del total, distribuyeron el 87% de la carga.

En el sentido inverso, 14 de las 53 estaciones receptoras, recibieron el 90 % de la carga, siendo. Pantaco en la ZMCM el principal nodo de atracción de la carga en 2010 con casi 1.5 millones de toneladas, seguido de: Lázaro Cárdenas, Nuevo Laredo y Manzanillo. La representación espacial de los intercambios de mercancías contenerizadas por medio de líneas de deseo, ubica en forma inmediata a los principales ejes y nodos de distribución de este tipo de carga. El tejido de estas líneas, destaca la convergencia de las mismas sobre el centro del país, con vértices en los puertos del Pacífico, en la frontera norte y en el Golfo de México. Lo cual sugiere que el intermodalismo en México está básicamente orientado al comercio internacional.

Al realizar el análisis de la matriz de carga contenerizada, a partir de las líneas de deseo, destacan dos intercambios, Manzanillo – Pantaco y Lázaro Cárdenas – Pantaco, ambos con flujos superiores a 500,000 toneladas.

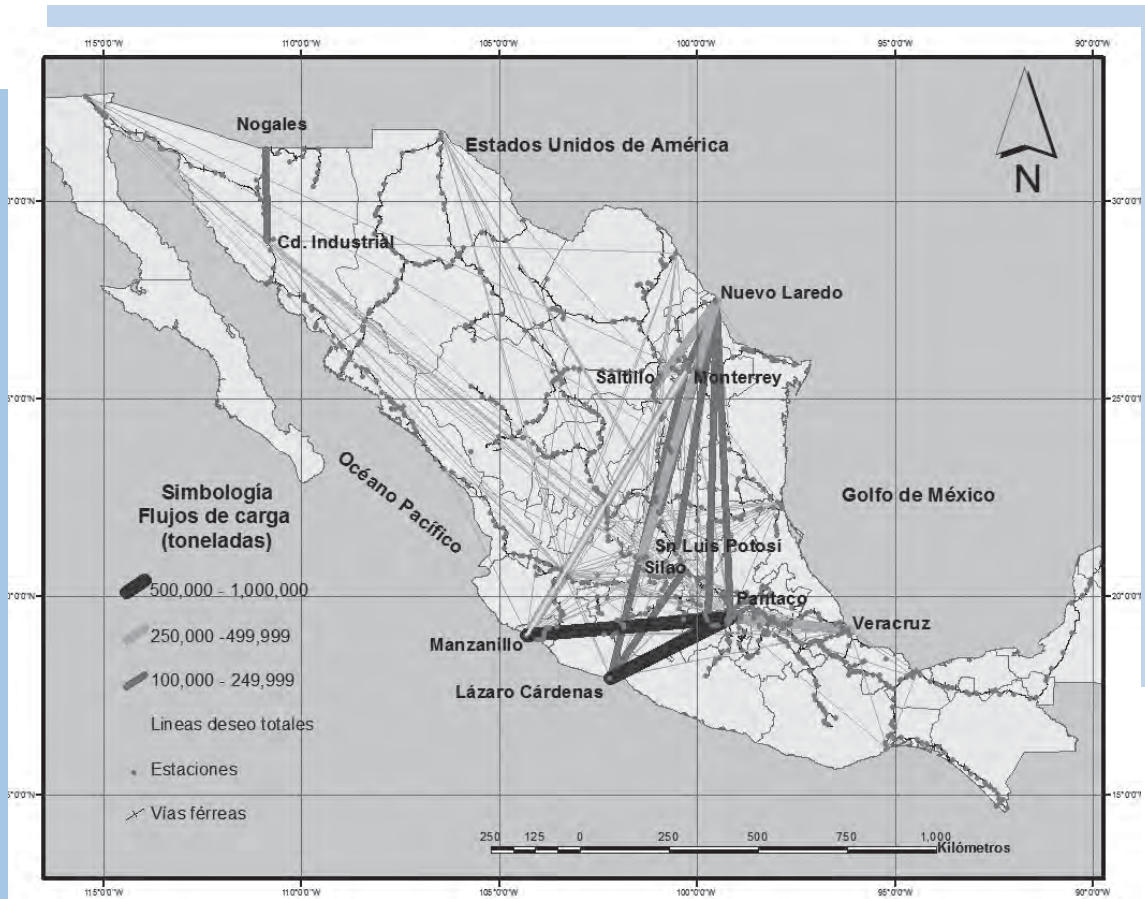
De 270 pares origen-destino representados por las líneas de deseo, sólo 19 mueven más de 100,000 toneladas equivalentes en conjunto al 65 % de la carga intermodal transportada por ferrocarril. Tal concentración en la distribución de los intercambios permite ir perfilando y jerarquizando los principales corredores intermodales del país. En contra parte a lo anterior, es notable que el movimiento de carga contenerizada transportada por ferrocarril está prácticamente ausente en el sur del país. Entidades como Guerrero, Oaxaca, Chiapas y Tabasco, y los estados de la Península de Yucatán, no participan del manejo de este tipo de flujos.



Fuente: Elaboración propia, con base en los datos 2010 de la Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, SCT.

Figura 2
Estaciones que manejan los mayores volúmenes de carga contenerizada en la red ferroviaria nacional en 2010

Al diferenciar el manejo de la carga, de acuerdo a la dirección de los flujos, es decir, distinguiendo si se trata de nodos (estaciones) de generación o de atracción de la carga, Manzanillo sobresale como el principal generador de carga contenerizada del país, seguido por Nuevo Laredo, Tamps. en la frontera norte, el puerto de Lázaro Cárdenas, Mich. y en cuarta posición Pantaco, en la



Fuente: Elaboración propia, con base en los datos 2010 de la Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, SCT.

Figura 3
Líneas de deseo con volúmenes de intercambio mayores a 100,000 toneladas

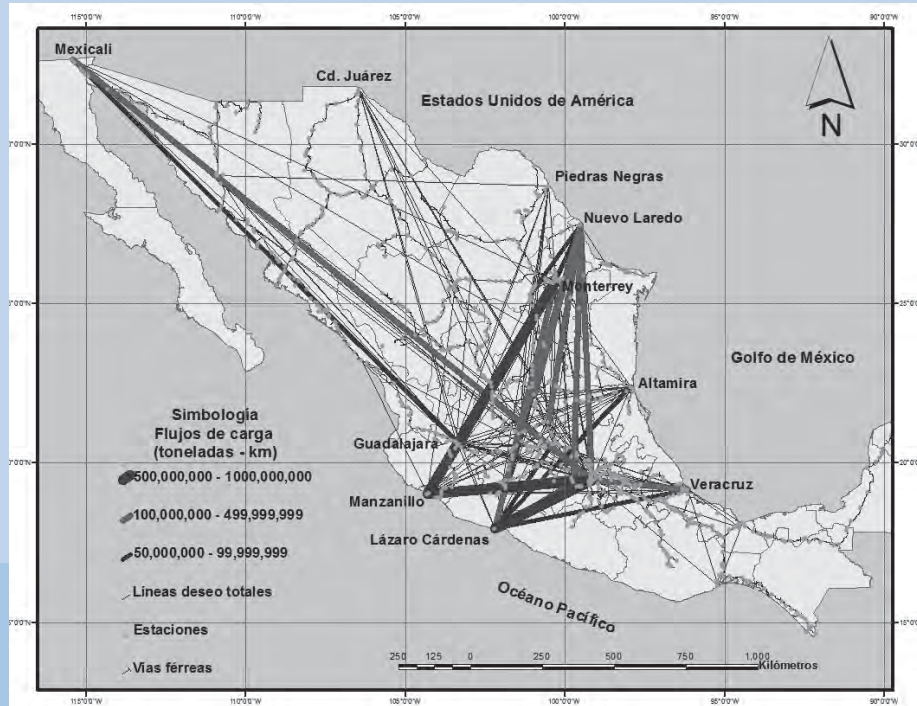
Cabe preguntarse entonces:

- ¿En el sureste mexicano no existe mercado para el desarrollo de servicios intermodales con participación del ferrocarril? y/o
- ¿La infraestructura ferroviaria no presenta las condiciones particulares para el manejo de este tipo de carga? y/o
- ¿Las regiones del sureste del país carecen de potencial para la internacionalización de sus cadenas productivas?
- ¿Qué planes y plazos cabría ofrecer para la modernización de la infraestructura ferroviaria en estas áreas del país?

Otra perspectiva de análisis de la metodología propuesta es la revisión del comportamiento de los intercambios, entre pares origen-destino, a partir de las toneladas-kilómetro (t-km).

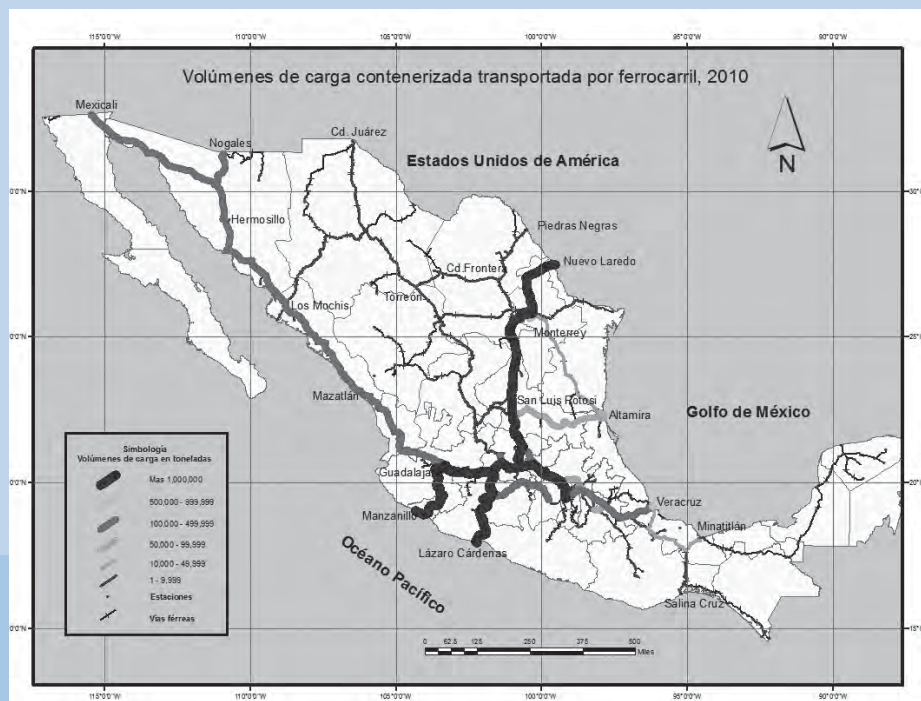
Al representar los movimientos se confirma cuáles son los centros y los flujos de intercambio fundamentales, no obstante aparecen otros que adquieren relevancia precisamente por la longitud de las distancias recorridas, es el caso de las líneas Mexicalí, B. C. – Guadalajara, Jal. y Mexicalí, B. C. – ZMCM.

Como parte de los recursos metodológicos aplicados al análisis de las estadísticas sobre



Fuente: Elaboración propia, con base en los datos 2010 de la Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, SCT.

Figura 4
Líneas de deseo con intercambios mayores a 50 millones



Fuente: Elaboración propia, con base en los datos 2010 de la Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, SCT.

Figura 5
Corredores intermodales en México (Modelo de asignación IMT)

el transporte ferroviario de carga, se utilizaron las funciones de las herramientas informáticas que permiten diferenciar geográficamente la densidad de los volúmenes de carga que se movilizan por la red ferroviaria nacional.

Al aplicar el modelo de asignación de la carga por todos los arcos y nodos de la red ferroviaria se distinguen tres corredores con flujos de más de un millón de toneladas anuales, como puede apreciarse en el mapa que se presenta a continuación.

- El primer corredor tiene una configuración transversal este-oeste, de Manzanillo a la ZMCM (Tlanepantla y Pantaco), pasando por los nodos de Guadalajara y el Bajío.

- El segundo corredor también opera como eje transversal, al conectar Lázaro Cárdenas con ciudades del Bajío y la ZMCM.

- En tercer lugar, destaca el eje norte- sur, desde Nuevo Laredo hasta el centro del país (Pantaco, Cuautitlán, Toluca (Mina México) y

Tlanepantla, circulando por nodos intermedios como Monterrey, San Luis Potosí, Celaya y Querétaro.

Conclusiones

Puede decirse que se trata de una metodología práctica y flexible cuya aplicación periódica puede proporcionar información relevante sobre la situación que guarda el transporte ferroviario y multimodal. Aporta información útil para una periódica modelación de los flujos que contribuya a la planeación, la toma de decisiones gubernamental y el desarrollo de políticas públicas.

GARCÍA Gabriela
ggarcia@imt.mx

MARTNER Carlos
martner@imt.mx

Con la colaboración:

GRADILLA Luz
lgradilla@imt.mx

MORALES Elsa
emorales@imt.mx

GLOSARIO

Artículo 1:

Dimensiones: Alto, ancho y largo máximo expresado en metros de un vehículo en condiciones de operación incluyendo la carga.

Tractocamión: Vehículo automotor destinado a soportar y arrastrar semirremolques.

Tractocamión articulado: Vehículo destinado al transporte de carga, constituido por un tractocamión y un semirremolque.

Conectividad: Permiso que expide la SCT para las unidades y configuraciones vehiculares que requieran utilizar un camino de menor clasificación para llegar o salir de una planta productora o centro de distribución, o utilizar

un camino de menor clasificación cuando no estén conectados dos ejes o tramos de un mismo eje.

Artículo 2:

Líneas de deseo: Corresponden a los enlaces entre los orígenes y destinos de los volúmenes de carga contenerizada (en toneladas y toneladas-kilómetro), que se transportan por ferrocarril.

Asignación de la carga: Se realiza a través de la función del software TransCAD con el propósito de modelar los flujos de carga que circulan por todos los arcos y nodos de la red ferroviaria.

PROYECTO EN MARCHA

Comportamiento a la fatiga de mezclas asfálticas

Los deterioros usuales en pavimentos asfálticos están relacionados con los niveles de agrietamiento por fatiga de la capa de rodadura y las deformaciones permanentes en las capas de terracerías. La vida por fatiga en una carpeta asfáltica está afectada por los componentes particulares de la mezcla, como son los agregados y el tipo de asfalto, además de factores externos como son la intensidad del tránsito vehicular y el clima.

Es por ello que este proyecto tiene como objetivo el de evaluar el comportamiento a la fatiga de mezclas asfálticas, comúnmente utilizadas en México, a través de ensayos de resistencia a la flexión, en especial el llamado viga de cuatro puntos (Figura 1). La mezcla asfáltica se ve sometida a cargas repetidas que inducen esfuerzos y deformaciones de tensión en la parte inferior de la carpeta asfáltica, que terminan por afectar su integridad estructural y terminan por manifestarse como agrietamientos en la superficie de una carretera.

Los estándares más utilizados para evaluar la resistencia a la fatiga de mezclas asfálticas incluye la AASHTO 321 y la Europea EN 12697-24. Cuando se evalúa la resistencia a la fatiga a través de la prueba de vigas cargadas en cuatro puntos, los estándares definen la falla del espécimen cuando la rigidez del material se ha reducido en un 50 % respecto a la rigidez inicial. Los ensayos suelen realizarse considerando diferentes niveles de deformación y a diferentes temperaturas.

La resistencia a la fatiga es la capacidad que tiene una mezcla asfáltica para soportar la flexión repetida sin fracturarse. Cuando se presenta pérdida de rigidez se origina la aparición de deformaciones que conducen a la formación de microfisuras hasta una fisura visible, propagándose hacia la superficie y

llegando a producirse lo que se conoce como agrietamiento tipo piel de cocodrilo.

La deformación a la tensión y la rigidez de la mezcla asfáltica son las dos principales variables que influyen en la vida a la fatiga, los exponentes de estas variables en las ecuaciones de predicción varían de acuerdo a la prueba de laboratorio, a las condiciones de carga y la mezcla asfáltica estudiada.

Entre las variables a considerar más relevantes, está el uso de modificadores que permitan alargar la vida de fatiga del material, para identificar aquellos que puedan usarse técnica y económicamente para incrementar la durabilidad de la red carretera nacional.

GOMEZ Antonio
jagomez@imt.mx



Figura 1
Comportamiento a la fatiga de mezclas asfálticas y equipo utilizado para ensaye de fatiga (viga en cuatro puntos)

PUBLICACIÓN

La concentración económica en el aerotransporte comercial de pasajeros, después de la desregulación

En la **Publicación Técnica 360** se presenta un panorama general de los principios básicos requeridos para comprender el funcionamiento de los motores Diesel y sus efectos sobre la dinámica del vehículo.

Se presentan las curvas que caracterizan el funcionamiento del motor, a partir de las cuales se construye el diagrama de velocidades para establecer la metodología de la conducción técnica.

Como consecuencia de los principios de la conducción técnica, se tratan los temas de seguridad, situaciones de emergencia en carreteras y los problemas de contaminación ambiental asociados con motores Diesel.



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

<http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt360.pdf>

EVENTOS ACADÉMICOS Y CONGRESOS

Congreso AMIP en el IMT

La Asociación Mexicana de Infraestructura Portuaria, Marítima y Costera, A.C. (AMIP) con el apoyo de la Coordinación General de Puertos y Marina Mercante y el Instituto Mexicano del Transporte realizaron el 27 y 28 de junio de 2013 el Curso Práctico de Obras Marítimas con una duración de 16 horas y 50 participantes de diferentes instituciones como Administradoras Portuarias Integrales, Empresas Particulares y Direcciones Generales de la SCT.

El objetivo del curso fue actualizar a los asistentes en aspectos prácticos sobre los

trabajos relacionados con las obras marítimas, tales como factores para el diseño, materiales, inspecciones previas, durante y después del colado, mantenimiento, rehabilitación y supervisión de obras, siempre bajo el criterio u óptica de una administración portuaria y de las empresas contratistas.

El curso estuvo dirigido a los técnicos responsables o participantes en las siguientes áreas: Planeación, Anteproyecto, Diseño constructivo, Supervisión, Construcción, Mantenimiento y/o Conservación de Obras Marítimas. Lo anterior

comprende a ingenieros de bufetes de ingeniería o de consultoría, personal técnico de APIs y de organismos gubernamentales o paraestatales involucrados en obras marítimas.

Los temas expuestos fueron:

1. Condiciones críticas para el Diseño de Obras Marítimas. **Ponente:** Ing. José Luis Murillo Bagundo de la Asociación Mexicana de Infraestructura Portuaria.

2. Criterios de Diseño de Obras de Protección. **Ponente:** Ing. Eduardo Saucedo Dueñas de la Asociación Mexicana de Infraestructura Portuaria.

3. Gestión Moderna de los Proyectos de Infraestructura. **Ponente:** Ing. Marco Antonio Reyes Aboytes de la Asociación Mexicana de Infraestructura Portuaria.

4. La ejecución de los trabajos de dragado. **Ponentes:** Julio Pindter Vega, Ing. Ivo R. Huisman e Ing. David San Román Tovar de la Asociación Mexicana de Infraestructura Portuaria.

5. Evaluación Económica y Financiera de las Obras Portuarias. **Ponente:** M.I. José Alfonso Ovilla Álvarez de la Asociación Mexicana de Infraestructura Portuaria.

6. Gerencia de Proyectos de Infraestructura Portuaria. **Ponente:** Ollincuahtli Méndez Ramírez de la Asociación Mexicana de Infraestructura Portuaria.

7. Obras Portuarias de Concreto. **Ponente:** Emigdio Mercado Díaz de la Asociación Mexicana de Infraestructura Portuaria.

8. Mantenimiento, Rehabilitación y Reconstrucción de Obras Portuarias. **Ponente:** M.I. Abel Gálvez Montes de la Asociación Mexicana de Infraestructura Portuaria.

9. Estado de Durabilidad de los Muelles Mexicanos. **Ponente:** Dr. Andrés Torres Acosta, Instituto Mexicano del Transporte.



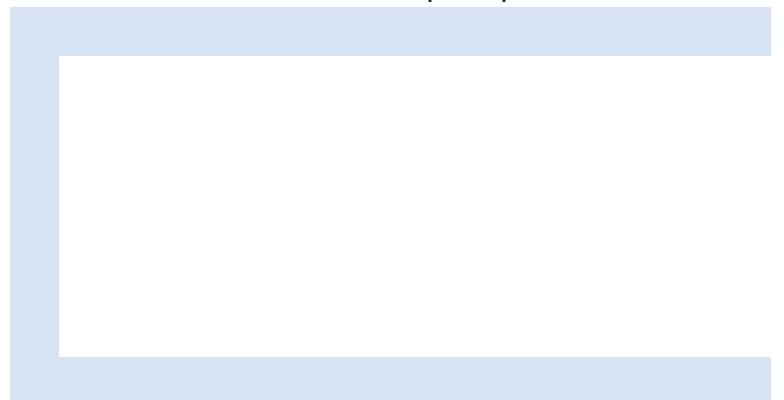
Fe de erratas en el boletín NOTAS #141 marzo-abril:

En la página nueve, al finalizar el artículo "Aspectos básicos aplicables a la evaluación de la maniobrabilidad de vehículos de carretera", no se incluyeron los autores de dicho artículo los cuales son: Manuel de Jesús Fabela Gallegos (mjfabela@imt.mx), Carlos S. Blake Cervantes (carblake72@gmail.com), José Ricardo Hernández Jiménez (jrhdez@imt.mx), David Vázquez Vega (vazqvega@imt.mx) y Oscar Flores Centeno (oflores@imt.mx).



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

Registro Postal
Cartas
CA22-0070
Autorizado por Sepomex



POR AVIÓN
AIR MAIL