

INDICADORES DE SEGURIDAD VIAL EN LA RED CARRETERA FEDERAL MEXICANA

A. Cuevas, E. Mayoral & A. Mendoza
Instituto Mexicano del Transporte
México

ccuevas@imt.mx; emilio@imt.mx; Alberto.Mendoza@imt.mx

RESUMEN

En este artículo se muestra la definición de índices de seguridad vial en función de características como: número de carriles, longitud, tránsito y accidentes con víctimas de los tramos de la red carretera federal mexicana, a través de un modelo que maneja tres parámetros, la exposición, el riesgo de que suceda una colisión y las consecuencias de la misma [1]. Para medir la exposición se utilizan: el tránsito, longitud, y vehículos-kilómetro; para el segundo y tercer parámetro se emplean los accidentes con víctimas de tres años consecutivos para evitar los efectos de regresión a la media y migración de accidentes. Con el enlace de estos elementos se obtuvieron valores numéricos representativos del riesgo: los índices de peligrosidad, mortalidad y morbilidad; y el valor inverso de la ponderación de estos tres indicadores derivó en diferentes indicadores de seguridad vial. Posteriormente, los tramos carreteros se agruparon según su función (primaria, secundaria y local) y tipo de carretera, y de esta manera se efectuaron las comparaciones entre los diversos índices de seguridad vial con la finalidad de realizar una propuesta de cuáles serían los límites de este indicador para diferentes tipos de carreteras.

1. ANTECEDENTES

Desde hace más de una década, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) ha generado la captura de los registros de accidentes ocurridos en las carreteras vigiladas por la Policía Federal (PF) con base en el Sistema para la Adquisición y Administración de Datos de Accidentes (SAADA) creado por este Instituto y a partir del cual se elabora un anuario estadístico de accidentes en carreteras federales, el cual recopila y organiza las estadísticas de mayor relevancia, mismo que ayuda a orientar las acciones para la prevención y mitigación de sus secuelas. Además, el SAADA permite conjuntar y explotar de manera sistemática la información recopilada a través de un conjunto de programas de cómputo.

Para el anuario, además de obtener las estadísticas más importantes también se calculan los índices de accidentalidad, mortalidad y morbilidad por vehículos-kilómetro, estas últimas cifras son de carácter nacional, y aunque también se muestran tablas con los 10 tramos y 10 segmentos de 500 metros por cada una de la 32 entidades federativas con el mayor número accidentes por kilómetro, se entiende que en esta comparación no se está tomando en cuenta el efecto del flujo vehicular. Debido a lo anterior surge la necesidad de generar indicadores de seguridad vial que permitan hacer comparaciones y definir valores límites para los diferentes tipos de tramos carreteros según su función y su tránsito vehicular; permitiendo que en los futuros anuarios se muestren los tramos y segmentos que excedan dichos valores.

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Plataforma

La Red Carretera Federal (RCF) en nuestro país es de 56,780 kilómetros, la cual está dividida en 145 rutas, compuestas por 876 carreteras que fueron divididas en 2,756 tramos, que a su vez se conforman por más de 114 mil segmentos de 500 metros. Se generó una base de datos para cada nivel de agregación y un sistema de identificadores tomando como base la nomenclatura de la Dirección General de Servicios Técnicos (DGST) de la SCT.

Se determinó que para los análisis de esta primera aproximación los datos deberían estar en el nivel de segmentos de 500 metros, ya que algunas de las fuentes de información muestran los datos por cada kilómetro.

2.2. Incorporación de datos físicos y operativos

Se cuenta con un Reglamento [2] y una Norma Oficial [3] sobre el peso, dimensiones y capacidad de los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal, estos documentos clasifican los caminos en función de sus características geométricas y estructurales en: Ejes Troncales (ET), tipo A, B, C y D. En esta categorización los caminos ET y tipo A permiten la circulación de todos los vehículos autorizados con las máximas dimensiones, capacidad y peso, mientras que para el resto de los caminos existen algunas restricciones respecto al largo y el peso del vehículo, siendo los caminos tipo D los que presentan las mayores restricciones dado que no permiten la circulación de vehículos articulados. Cabe mencionar que sólo el 73.3% (41,645 km) de la RCF está clasificada según el reglamento antes citado.

Por otra parte, la Dirección General de Conservación de Carreteras (DGCC) de la SCT maneja una clasificación que obedece más a la funcionalidad del camino, dividiendo la red en: Corredor, Básica y Secundaria; adicional al tipo de red, también brinda información acerca del número de carriles [4]. De igual manera que el caso anterior la DGCC sólo tiene clasificada el 73.8% (41,887 km) de la RCF.

Adicionalmente, se incorporó a la plataforma de segmentos, el aforo y la configuración vehicular que la DGST de la SCT registró para los años 2006 a 2008 [5 a 7].

En resumen, se obtuvo una RCF segmentada en elementos de 500 metros a la cual se le agregaron: la clasificación del reglamento (ET, A, B, C y D) y los datos proporcionados por la DGCC (tipo de red, número de carriles y estado físico) obteniendo una red de casi 34 mil kilómetros con toda la información disponible. Lo anterior representa el 59.8% del total de la RCF; lo anterior debido a que no necesariamente la red que está clasificada por el reglamento es la misma que maneja la DGCC.

Cabe aclarar que debido a que la DGCC sólo tiene jurisdicción en carreteras libres de peaje en este análisis quedan fuera todas las carreteras de cuota que representan alrededor del 13% de la RCF.

2.3. Incorporación de datos de siniestralidad

Con el fin de minimizar los efectos de regresión a la media y migración de accidentes que comúnmente se presentan en los análisis de siniestralidad, se consideraron los accidentes de los años 2006 a 2008 [8]; la recopilación de datos de accidentes para este periodo fue satisfactoria desde el punto de vista que se logró incorporar una base que contiene 88,431 accidentes, lo que representa un 97.9% del total para los tres años,

reportado por la PF que es de 90,340 [9 a 11]. Dado que se carece de un procedimiento que garantice el registro de la totalidad de los accidentes, se seleccionaron sólo los accidentes con víctimas es decir, con muertos y/o lesionados, obteniendo una base de 48,087 accidentes que dejaron un saldo de 14,985 y 94,050 personas muertas y lesionadas, respectivamente. De la misma manera que los datos físicos y operativos fueron agregados a cada segmento de 500 metros se incorporaron los datos de siniestralidad.

3. ANÁLISIS GENERAL

Una vez incorporados los datos a la plataforma de segmentos de 500 metros, se realizó un primer análisis general, desprendiéndose las siguientes tablas: primeramente en la Tabla 1 se muestra la distribución en porcentajes de la longitud (41,887 km con datos del tipo de red) para cada tipo de red en función del número de carriles y la clasificación del reglamento de pesos y dimensiones; se observa que el 26% de la red está catalogada como corredor, el 34% como básica y el 40% es secundaria; la red de corredores es la más importante ya que presenta una mayor proporción de carreteras de cuatro carriles (33.58%), así como de caminos clasificados como ET (72%), contrario a la red básica y secundaria en donde los caminos de dos carriles representan más del 90%. El antepenúltimo renglón tiene la leyenda S/C (sin clasificación) estos tramos corresponden a aquéllos que tiene información del tipo de red, pero que no están clasificados en el reglamento, y en este sentido se observa que el 2.01, 11.5 y 35.85% de la red tipo corredor, básica y secundaria respectivamente, se encuentran en esta situación.

Tabla 1. Distribución en porcentajes de la longitud

LONGITUD										
Tipo de Red		Corredor			Básica			Secundaria		
N° de carriles		> 4	4	2	> 4	4	2	> 4	4	2
Clasificación	ET	1.06	30.69	40.49	0.22	0.74	3.63	-	-	0.21
	A	0.02	0.64	8.37	0.01	0.69	5.08	-	-	2.48
	B	0.01	1.59	11.82	0.58	2.71	34.96	0.17	1.08	20.01
	C	-	0.30	2.99	0.05	1.30	27.75	-	0.13	12.87
	D	-	-	0.01	-	0.48	10.29	0.01	0.26	26.93
	S/C	-	0.37	1.64	0.21	1.48	9.81	0.02	0.79	35.04
Total		1.09	33.58	65.33	1.07	7.40	91.53	0.20	2.26	97.54
		25.53			34.35			40.12		

Como parte de este análisis general se formaron tablas similares a la anterior con los datos de accidentes, muertos, lesionados y vehículos-kilómetro, las cuales se muestran a continuación. De los 48,087 accidentes con víctimas seleccionados de las bases de datos 37,397 acontecieron en segmentos de 500 metros con información del tipo de red, y sus saldos ascienden a 11,451 muertos y 71,656 lesionados. Sobre estas cifras fueron obtenidas las proporciones que se muestran en las Tablas 2, 3, 4 y 5.

La Tabla 2 muestra los porcentajes para los accidentes con víctimas ocurridos de 2006 a 2008; en ella se observa que la concentración de accidentes por tipo de red es 37, 41 y 22% para corredor, básica y secundaria, respectivamente. En el caso particular de los corredores, las carreteras de cuatro carriles clasificadas como ET son las que concentran

el mayor número de accidentes con el 47.33%; para la red básica, las carreteras de dos carriles clasificadas como C agrupan el 26.95%; y para la red secundaria, las carreteras de dos carriles clasificadas como D aglutinan el 26.75% de las colisiones.

Tabla 2. Distribución en porcentajes del total de accidentes de 2006 a 2008

ACCIDENTES										
Tipo de Red		Corredor			Básica			Secundaria		
Nº de carriles		> 4	4	2	> 4	4	2	> 4	4	2
Clasificación	ET	3.78	47.33	23.13	0.60	1.94	2.95	-	-	0.43
	A	0.04	0.42	6.93	0.01	1.66	5.82	-	-	2.38
	B	-	2.49	12.16	1.81	6.21	25.48	1.91	2.38	19.04
	C	-	0.74	1.10	0.03	3.98	26.95	-	0.89	14.45
	D	-	-	-	-	0.83	11.63	0.07	0.66	26.75
	S/C	-	0.97	0.91	1.29	2.08	6.72	-	2.15	28.88
Total		3.81	51.95	44.23	3.74	16.70	79.56	1.98	6.08	91.94
		36.67			41.08			22.25		

En las Tablas 3 y 4 se muestra la distribución de muertos y lesionados, ambas presentan un comportamiento similar al de accidentes.

Tabla 3. Distribución en porcentajes del total muertos en accidentes de 2006 a 2008

MUERTOS										
Tipo de Red		Corredor			Básica			Secundaria		
Nº de carriles		> 4	4	2	> 4	4	2	> 4	4	2
Clasificación	ET	2.80	44.99	26.52	0.63	1.68	3.50	-	-	0.46
	A	-	0.59	8.09	-	1.48	6.03	-	-	2.65
	B	-	2.56	11.51	0.98	4.77	29.97	1.27	1.65	21.67
	C	-	0.45	1.41	0.07	2.26	28.06	-	0.81	16.03
	D	-	-	-	-	0.63	11.80	0.04	0.73	26.31
	S/C	-	0.59	0.49	0.70	1.59	5.86	-	1.23	27.16
Total		2.80	49.18	48.02	2.37	12.41	85.22	1.30	4.41	94.28
		37.11			40.12			22.77		

Tabla 4. Distribución en porcentajes del total lesionados en accidentes de 2006 a 2008

LESIONADOS										
Tipo de Red		Corredor			Básica			Secundaria		
Nº de carriles		> 4	4	2	> 4	4	2	> 4	4	2
Clasificación	ET	3.80	46.71	22.85	0.66	1.91	3.07	-	-	0.35
	A	0.03	0.39	7.41	0.003	1.71	5.50	-	-	2.35
	B	-	2.45	12.91	1.95	5.66	25.34	1.91	2.26	19.99
	C	-	0.59	0.95	0.02	4.41	27.21	-	0.71	13.97
	D	-	-	-	-	0.71	12.13	0.09	0.56	26.67
	S/C	-	0.94	0.98	1.31	2.07	6.34	-	2.31	28.85
Total		3.83	51.08	45.09	3.95	16.47	79.58	1.99	5.83	92.17
		36.22			41.24			22.54		

También se determinó la distribución de los vehículos-kilómetro por tipo de red en función del número de carriles y la clasificación del reglamento de pesos y dimensiones; observándose que el flujo vehicular presenta el mismo comportamiento que los accidentes (véase Tabla 5).

Tabla 5. Distribución en porcentajes del total de vehículos-kilómetro recorridos de 2006 a 2008

VEHÍCULOS-KILÓMETRO										
Tipo de Red		Corredor			Básica			Secundaria		
N° de carriles		> 4	4	2	> 4	4	2	> 4	4	2
Clasificación	ET	4.48	50.65	22.82	0.84	1.68	2.87	-	-	0.33
	A	0.03	0.51	5.98	0.02	2.05	5.39	-	-	2.83
	B	0.01	2.60	9.95	3.50	5.88	26.14	1.56	3.15	18.97
	C	-	0.33	1.09	0.03	3.45	25.92	-	0.38	16.84
	D	-	-	0.01	0.00	0.73	10.62	0.02	0.65	23.78
	S/C	-	0.58	0.96	2.32	2.39	6.17	0.05	2.55	28.88
Total		4.52	54.67	40.81	6.71	16.18	77.11	1.63	6.74	91.63
		36.49			40.88			22.63		

En este panorama general se detecta que no obstante que la red secundaria representa el 40% de la RCF analizada en este artículo (véase Tabla 1), su concentración en cuanto al número de accidentes y víctimas, y el tránsito que circula por éstas es inferior (véase Tablas 2 a 5); mientras que las redes de corredor y básica tiene una menor longitud, pero mueven una mayor cantidad de vehículos y concentran un porcentaje importante de accidentes y víctimas (véase Figura. 1).

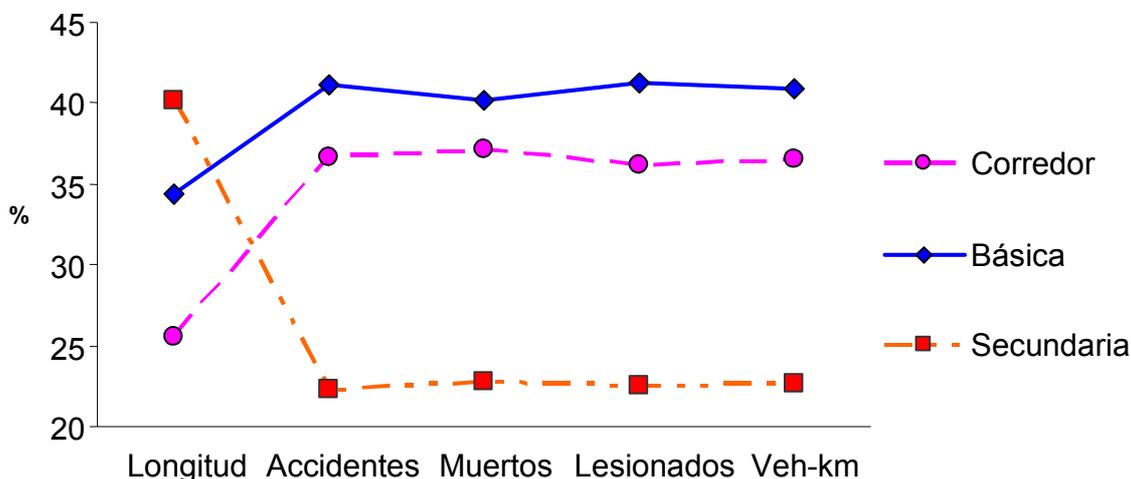


Figura 1. Distribución para los diferentes tipos de red

Con los saldos de accidentes y los vehículos-kilómetro, se calcularon los índices de peligrosidad (accidentes con víctimas), mortalidad y morbilidad por millón de vehículos-kilómetro; se observó que los valores máximos son reportados en las carreteras de dos carriles, tal y como se muestra en la Figura 2.

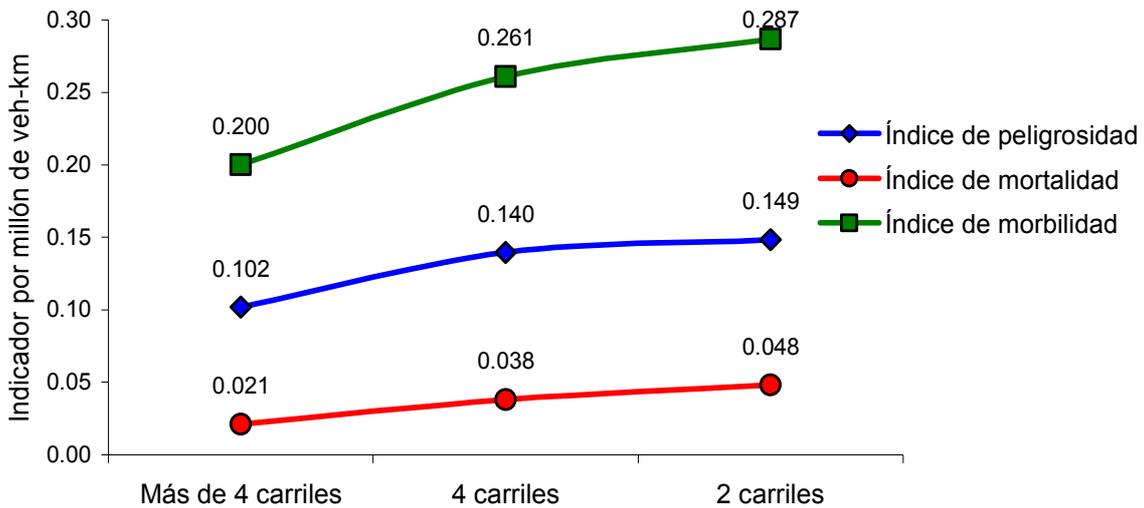


Figura 2. Indicadores por millón de vehículos-kilómetro, por número de carriles

La Figura 3 muestra los indicadores en función de la clasificación del camino y se observa que los caminos tipo D presentan los índices de peligrosidad y morbilidad más elevados 0.159 y 0.310 respectivamente, mientras que el índice de mortalidad mas alto se presenta en los caminos tipo A.

También se analizaron los indicadores en función del tipo de red (corredor, básica y secundaria) obteniéndose valores muy homogéneos, por ejemplo el índice de peligrosidad oscila de 0.141 a 0.145, el de mortalidad de 0.043 a 0.045, mientras que el de morbilidad 0.274 a 0.278; estas cifras son muy similares a las mostradas en la Figura 3.

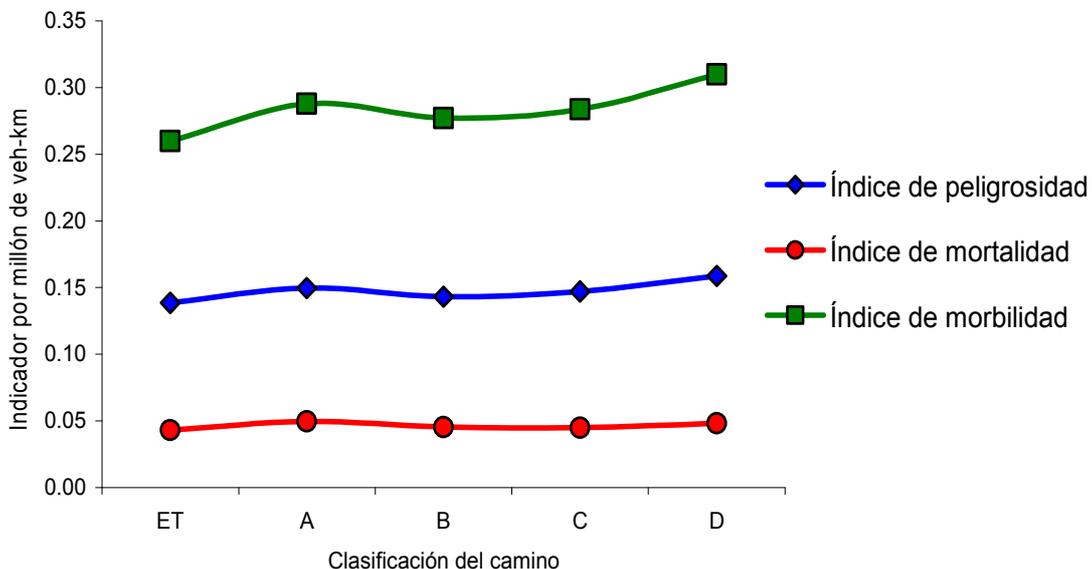


Figura 3. Indicadores por millón de vehículos-kilómetro, por clasificación del camino

4. ANÁLISIS PARTICULAR

En un primer intento por definir una metodología para obtener indicadores de seguridad vial y en vista de los resultados obtenidos, se decidió acotar el alcance, tomando en consideración los siguientes aspectos: las carreteras de dos carriles son las que presentan los indicadores más elevados y de este grupo se eligieron las clasificadas como tipo B, ya que estas vialidades son las que agrupan la mayor longitud (9,657.41 km).

En primer lugar se realizó un análisis de la distribución del Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) por tipo de red, para las carreteras seleccionadas, obteniéndose los resultados de la Figura 4 que muestra en línea continua la frecuencia acumulada y en línea discontinua la distribución normal; del análisis estadístico se obtuvieron los valores de la media para la red secundaria, básica y de corredor de 3,560, 6,410 y 8,280 vehículos respectivamente.

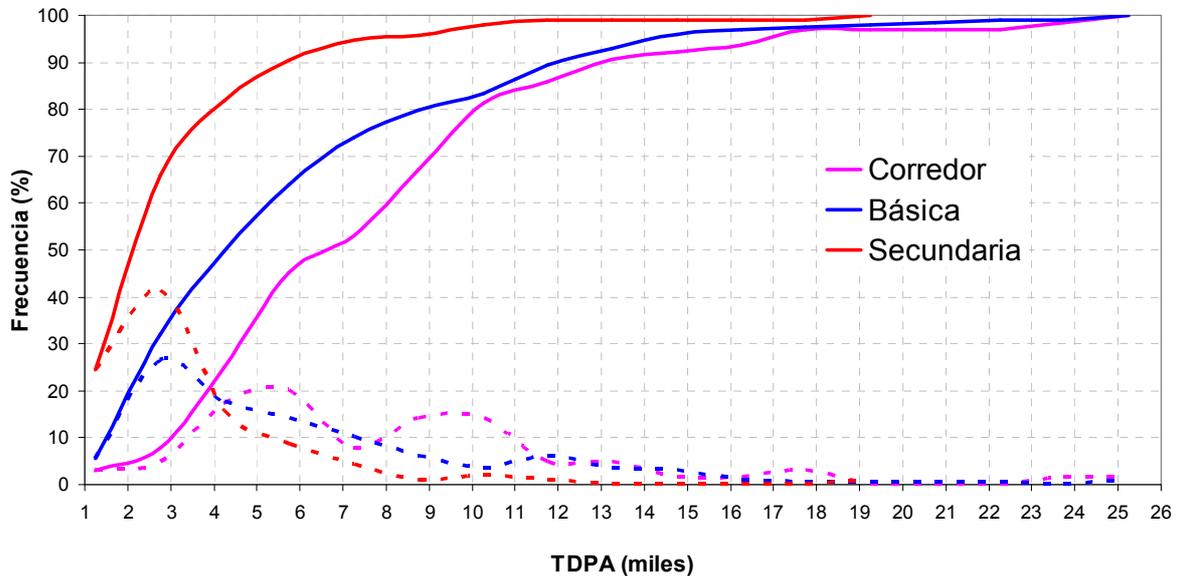


Figura 4. Distribución de frecuencias del TDPA por tipo de red

Este mismo análisis se realizó para los valores de vehículos-kilómetro consiguiéndose la gráfica de la Figura 5, debido a que entra en el análisis la variable longitud, los valores de la media ya no son tan dispersos; de tal forma que, para la red de corredor la media es de 136.9, en la básica 132.2 y finalmente para la secundaria es 112.8 millones de vehículos-kilómetro.

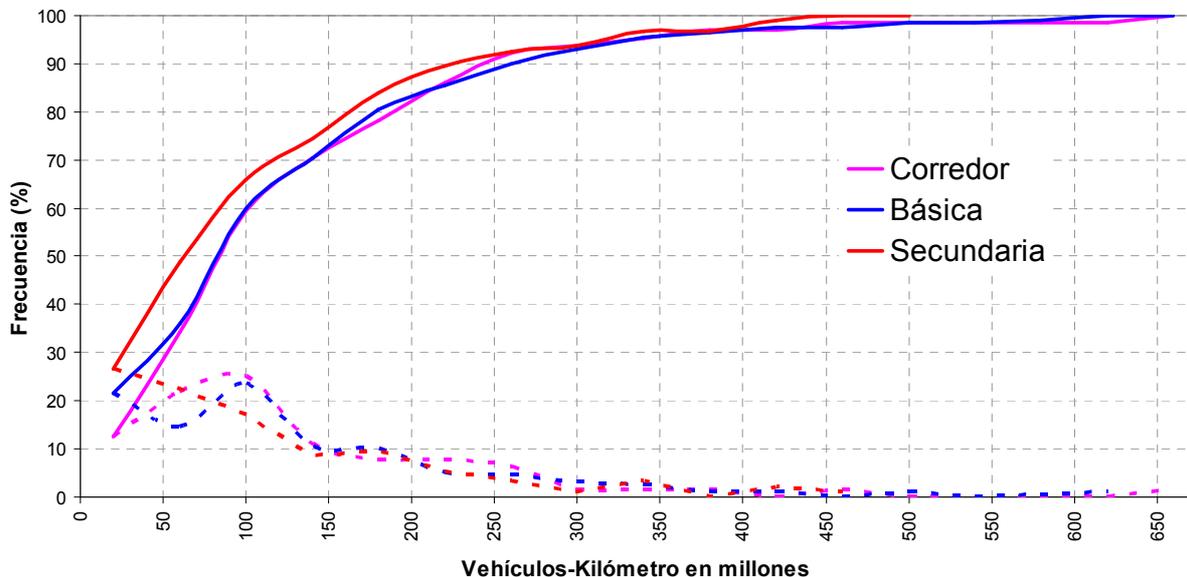


Figura 5. Distribución de frecuencias de los vehículos-kilómetro por tipo de red

Dado que la distribución de los vehículos-kilómetro muestra un comportamiento uniforme; se agruparon los tramos de todas las redes y se definieron seis rangos en función del TDPA; posteriormente, con el objetivo de determinar los valores de la media se analizó la distribución del índice de peligrosidad, mortalidad y morbilidad por cada 100 millones de vehículos-kilómetro; así como del número de accidentes, muertos y lesionados por

kilómetro, encontrándose los valores que muestra la Tabla 6; la cifra entre paréntesis en la primera columna representa el número de tramos analizados.

Tabla 6. Valores de la media para diversos indicadores

Rango de TDPA (N° de tramos)	Indicadores por cada 100 millones de vehículos-kilómetro			Indicadores por kilómetro		
	Peligrosidad	Mortalidad	Morbilidad	Accidentes	Muertos	Lesionados
< 3000 (94)	16.320	7.130	34.150	0.130	0.054	0.278
3000 – 6000 (132)	18.350	5.850	36.900	0.288	0.091	0.584
6000 – 9000 (61)	15.540	5.560	29.840	0.420	0.149	0.809
9000 – 12000 (35)	19.210	6.810	36.600	0.744	0.265	1.419
12000 – 15000 (20)	14.480	5.720	24.700	0.687	0.280	1.171
> 15000 (15)	12.250	2.790	23.410	0.885	0.203	1.679

Como puede observarse los indicadores por vehículos-kilómetro presentan un comportamiento inestable hasta el rango entre 9 y 12 mil vehículos y a partir de este punto muestran una tendencia a la baja. Mientras que, los indicadores por kilómetro muestran un desempeño directamente proporcional al TDPA hasta el rango antes mencionado y a partir de éste el comportamiento se vuelve inestable (véase Figuras 6 y 7).

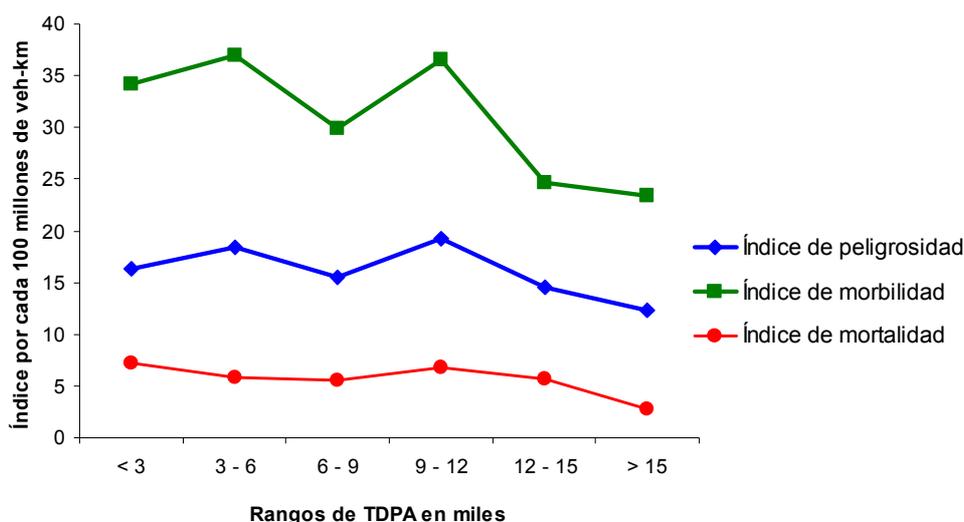


Figura 6. Desempeño de los indicadores por vehículos-kilómetro

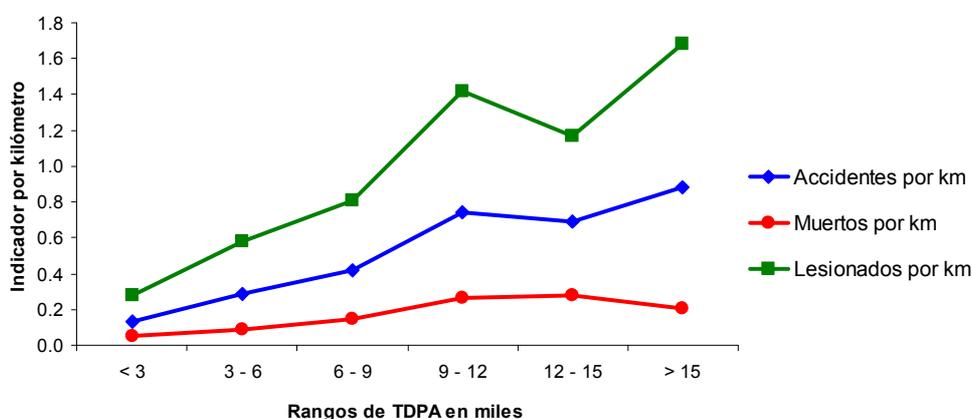


Figura 7. Desempeño de los indicadores por kilómetro

En función de que los indicadores por vehículos-kilómetro muestran un comportamiento inestable, se utilizaron los indicadores por kilómetro para hacer un análisis más detallado. El cual contempla únicamente los tramos con un TDPA menor a 13 mil vehículos (más del 90% de los tramos analizados), ya que como queda expuesto en las figuras anteriores los tramos con un tránsito mayor el comportamiento es inestable para estos indicadores. En este análisis final se determinaron los valores máximos, mínimos y promedio de accidentes, muertos y lesionados por kilómetro, para rangos de TDPA con incrementos de 1000. Las Figuras 8, 9 y 10 muestran el resultado gráfico de estos valores, los números en color rojo y azul representan los valores máximos y mínimos detectados para cada uno de los rangos, respectivamente, y se representan por las barras en color gris; el círculo verde es el valor promedio y la línea es la tendencia.

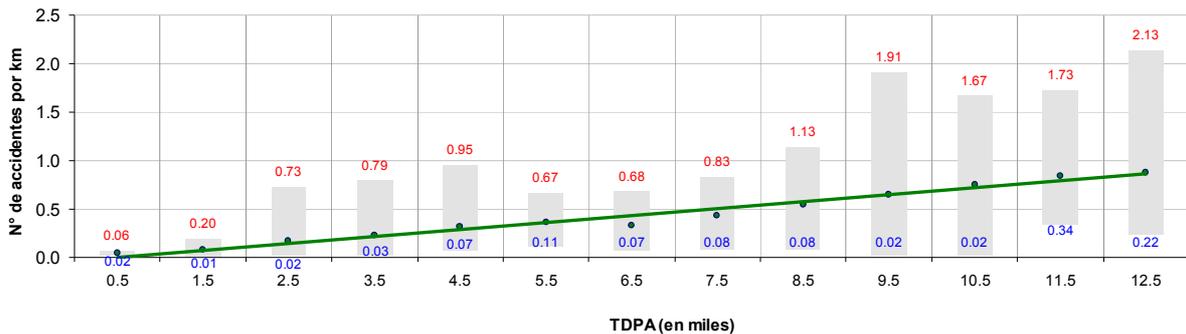


Figura 8. Valores máximos, mínimos y promedio de accidentes por kilómetro

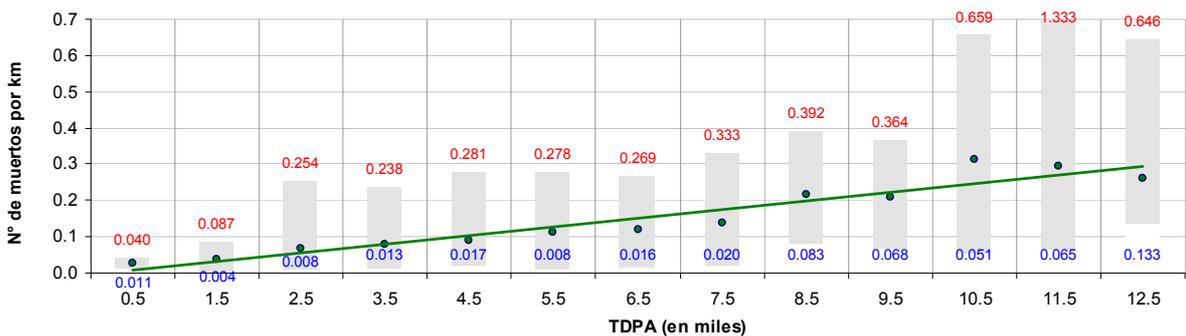


Figura 9. Valores máximos, mínimos y promedio de muertos por kilómetro

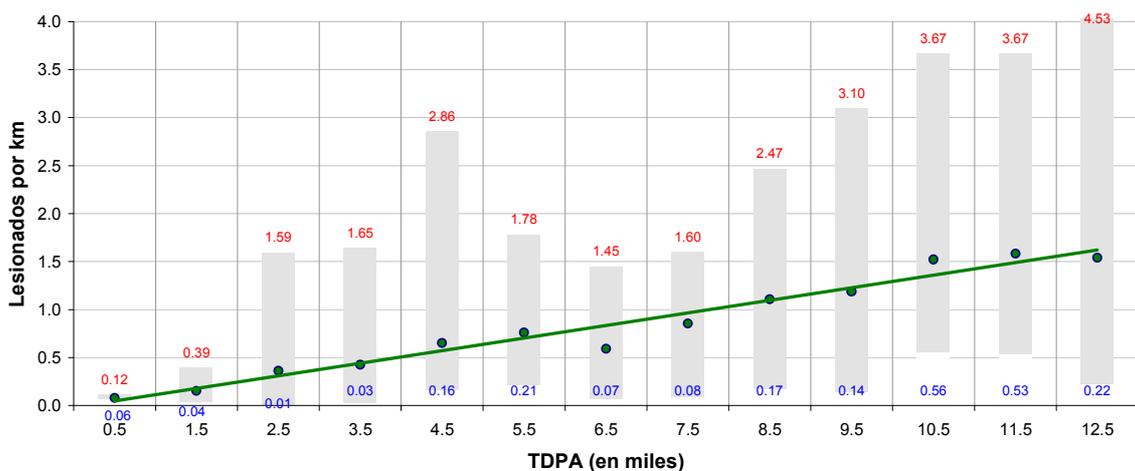


Figura 10. Valores máximos, mínimos y promedio de lesionados por kilómetro

Teniendo el valor del TDPA y de los indicadores por kilómetro para un tramo carretero de dos carriles y clasificado como B se podría ingresar a estas gráficas y determinar que condiciones de siniestralidad reporta respecto a los valores medios obtenidos para estos tramos.

Finalmente, con la intención de encontrar un valor que refleje la seguridad de un tramo, se generó un índice de seguridad (I_s) que pondera los indicadores de las Figuras 8, 9 y 10.

$$I_s = \frac{1}{[(N^\circ \text{ de accidentes}/km)(0.1)] + [(N^\circ \text{ de muertos}/km)(0.6)] + [(N^\circ \text{ de lesionados}/km)(0.3)]}$$

La Figura 11 muestra los valores del índice de seguridad en función de los rangos del TDPA, la línea verde delimita el valor medio, los puntos son el índice de seguridad de cada uno de los 327 tramos analizados, de tal manera que podríamos decir que los puntos en el área blanca (174) que están por encima del valor medio presentan problemas de siniestralidad leves, los que caen dentro el área verde (84) tiene un problema moderado, mientras que los que están dentro del área roja (68) tienen problemas serios ya que reportan un índice menor al 60% de la media.

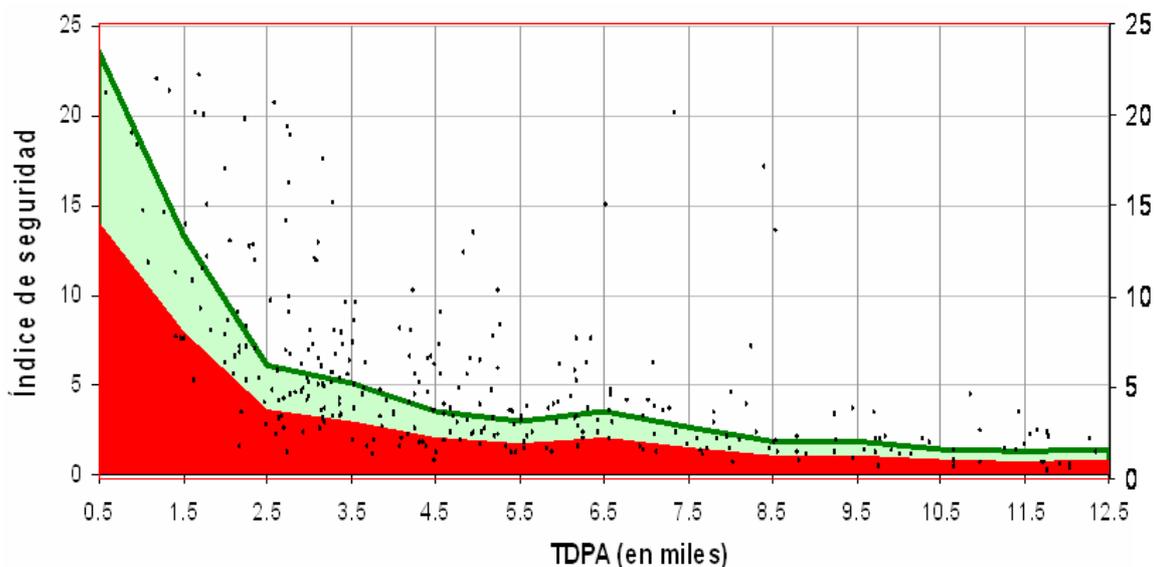


Figura 11. Índice de seguridad por rangos de TDPA

CONCLUSIONES

Con este artículo se obtienen los primeros indicadores de seguridad vial para una parte de la RCF, es decir caminos tipo B de 2 carriles, en un intento más por comprender el desempeño de estos indicadores. Esta primera aproximación nos permitió de una manera sencilla relacionar la accidentalidad en función del TDPA, ya que en los demás parámetros tienen una menor incidencia. Además, se cuenta con las primeras gráficas para determinar las condiciones siniestralidad para los caminos antes mencionados.

Una de las siguientes tareas será obtener los datos de la siniestralidad durante 2009 y 2010 para realizar un análisis más profundo, así como evaluar el comportamiento de los demás tramos de la red en función de su clasificación (ET, A, C y D) y número de carriles de circulación. Y con los resultados de este primer análisis y de la próxima tarea se vinculará la información a un sistema de información geográfica con el fin de mejorar la visualización de los resultados.

REFERENCIAS

1. C Azparren C (2003). *Modelación de la accidentalidad según el tipo de carretera y su circulación*, Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid, España.
2. Diario Oficial de la Federación (2006). *Reglamento sobre el peso, dimensiones y capacidad de los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal*. . Última reforma publicada el 15 de noviembre, Ciudad de México, México
3. Diario Oficial de la Federación (2008). *Norma Oficial Mexicana 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*. Última reforma publicada el 1° de abril, Ciudad de México, México
4. DGCC-SCT (2010). *Estado físico de la red carretera*, Dirección General de Conservación de Carreteras. Ciudad de México, México <http://dgcc.sct.gob.mx/>
5. DGST-SCT (2007). *Datos viales 2006*, Dirección General de Servicios Técnicos, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Subsecretaría de Infraestructura, Ciudad de México, México.
6. DGST-SCT (2008). *Datos viales 2007*, Dirección General de Servicios Técnicos, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Subsecretaría de Infraestructura, Ciudad de México, México.
7. DGST-SCT (2009). *Datos viales 2008*, Dirección General de Servicios Técnicos, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Subsecretaría de Infraestructura, Ciudad de México, México.
8. J Ma. Pardillo M (2004). *Procedimientos de estudio, diseño y gestión de medidas de seguridad vial en las infraestructuras*, Ministerio de Fomento, Madrid, España
9. IMT (2008). *Anuario estadístico de accidentes en carreteras federales (2006)*, Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, México
10. IMT (2009). *Anuario estadístico de accidentes en carreteras federales (2007)*, Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, México
11. IMT (2010). *Anuario estadístico de accidentes en carreteras federales (2008)*, Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, México