



Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.

EVALUACIÓN DE LA PÉRDIDA DE FRICCIÓN EN PAVIMENTOS METROPOLITANOS DE MONTERREY, MÉXICO

Ivan Emilio Pérez¹
Luis Guillermo Díaz²

¹ Secretaría de Movilidad y Planeación Urbana de Nuevo León, Monterrey, México,
ivan.perezd@nuevoleon.gob.mx; perezdelgado@tec.mx

² Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, México, luis.diazfl@uanl.edu.mx

Resumen

Los vialidades y carreteras en el estado de Nuevo León, México, se han caracterizado históricamente por presentar superficies de rodamiento con baja resistencia al deslizamiento. Esto se debe principalmente a que los materiales pétreos disponibles tienden a pulirse con facilidad. Esta situación presume un vínculo con la cantidad de accidentes de tránsito que suceden cada año en el estado, estadística que ubica, año con año, a Nuevo León en el primer lugar a nivel nacional en siniestralidad. La Ley para la Construcción y Rehabilitación de Pavimentos del Estado de Nuevo León (LPCRPENL) establece un umbral mínimo para el cumplimiento de coeficiente de fricción y, con la finalidad de conseguir su cumplimiento, prescribe el uso de materiales resistentes al pulimento, así como texturas superficiales específicas. Sin embargo, en evaluaciones realizadas a superficies de reciente construcción que desde la etapa de diseño prescribieron con especificaciones técnicas para dar cumplimiento a la Ley, se ha encontrado que una alta proporción de ellas no cumple con los valores mínimos requeridos.

Se ha emprendido una investigación de la mano de universidades y empresas privadas para medir el coeficiente de fricción y la profundidad de la macrotextura en vialidades metropolitanas que se han rehabilitado recientemente. La investigación -que aún está en marcha- tiene el objetivo de evaluar: (A) la viabilidad del cumplimiento de los umbrales definidos en la Ley con los materiales disponibles en la región; (B) el tiempo de servicio en el que se pierde el nivel satisfactorio; (C) los factores que tienen mayor incidencia en la pérdida de las cualidades relacionadas con la resistencia a la fricción de los pavimentos. Se tiene como meta ejecutar cinco campañas de medición, de las que ya se han concluido cuatro.

Palabras Clave: Coeficiente de fricción, coeficiente de resistencia al deslizamiento, normatividad, vialidades metropolitanas, evaluación superficial de pavimentos

1 Antecedentes



**Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.**

Diversas investigaciones sobre la materia permiten afirmar que los pavimentos de las vialidades en Nuevo León se caracterizan por presentar superficies de rodamiento con resistencia a la fricción inadecuadas. Esto se debe principalmente a que los materiales pétreos disponibles en la zona tienden a pulirse con facilidad con el paso de los neumáticos [1]. Esta situación presume un vínculo con la cantidad de accidentes de tránsito que suceden cada año en el estado, estadística que ubica a Nuevo León en el primer lugar a nivel nacional, hecho que históricamente se ha mantenido prácticamente sin cambio en las últimas décadas [2]

A inicios de la década de los años 2000, esta situación ya había sido advertida por especialistas, por lo que, con el apoyo e interés de las autoridades, en el año 2009 fue promulgada la Ley para la Construcción y Rehabilitación de Pavimentos del Estado de Nuevo León “LPCRPENL”, -y ya desde su antecedente Reglamento de Construcción de Pavimentos, del año 2003- se estableció como uno de sus objetivos la construcción de pavimentos que fuesen más duraderos y seguros. Con ese propósito, en la LPCRPENL quedaron definidas algunas características de las superficies de los pavimentos de nueva construcción, que establecen parámetros de resistencia al deslizamiento, en específico, el coeficiente de fricción (CF o R por coeficiente de resistencia al deslizamiento), la textura superficial -también conocida como macrotextura- y el coeficiente o valor de pulimiento acelerado de los materiales pétreos que estarán en contacto con los neumáticos.

A pesar de esto, en mediciones recientes que se han realizado por distintas entidades a diversas vialidades de la Zona Metropolitana de Monterrey ZMM, se han encontrado valores de Coeficientes de Fricción CF que no cumplen con los parámetros señalados en la ley. Esto incluye vialidades que han sido sujetas a labores de rehabilitación o reconstrucción en años recientes [3].

Ante esta situación, surge la necesidad de llevar a cabo una serie de estudios técnicos que permitan atender las inquietudes tanto de los diseñadores, supervisores y constructores de obras de pavimentación, pero también de los administradores de esta infraestructura. Se requiere evaluar la efectividad de las medidas establecidas en la LPCRPENL, en específico (1) la exigencia del uso de materiales resistentes al pulimiento y (2) la pertinencia de los umbrales de aceptación o rechazo de los coeficientes de fricción.

A más de diez años de la entrada en vigor de la LPCRPENL es imperante emprender las investigaciones que permitan fortalecerla y, con ello, avanzar en el cumplimiento de sus objetivos de conseguir pavimentos que sean duraderos y seguros.

2 Objetivo del proyecto de investigación

Los estudios que se plantean emprender permitirán responder a las siguientes interrogantes (A) ¿es viable el cumplimiento de los umbrales y características definidas en la LPCRPENL con los materiales disponibles en la región?; (B) ¿en cuánto tiempo de servicio pierden su nivel de calidad satisfactorio aquellos pavimentos que cumplen con los parámetros de fricción y textura?; (C) ¿qué tipo de superficies cumplen de mejor forma con las características de fricción y textura?; (D) En las condiciones de operación y medioambientales de la ZMM ¿cuáles son los factores que tienen mayor incidencia en la pérdida de las cualidades relacionadas con la resistencia a la fricción de los pavimentos?

El presente trabajo hace referencia a las campañas de medición realizadas a la fecha y a los resultados que se obtuvieron en las mismas, sin embargo, se aclara que el horizonte de esta investigación implica una campaña de medición adicionales a llevarse a cabo en el presente año 2024.

3 Metodología y descripción de los trabajos



Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.

Se seleccionaron siete vialidades metropolitanas de Monterrey para ser evaluadas periódicamente durante los años 2023 y 2024. Las vialidades consideradas todas fueron sujetas a una rehabilitación superficial o estructural durante el segundo semestre del año 2022 y primer semestre de 2023 en algunos tramos.

Los trabajos de campo incluyen la determinación de parámetros que son exigidos por la LPCRPENL, a saber: coeficiente de fricción (CF) empleando péndulo británico conforme el estándar ASTM E 303, y la determinación de la profundidad de la macrotextura mediante la técnica del círculo de arena (ASTM E965). Adicionalmente, se han realizado dos campañas de medición de coeficiente de fricción empleando MuMeter, ya que también es considerado por la legislación local. Se tuvo especial atención en realizar las mediciones precisamente en las mismas ubicaciones campaña tras campaña, para favorecer la consistencia de los resultados. En este documento se presentan resultados únicamente de coeficiente de fricción obtenidos mediante péndulo británico.

Por otro lado, se identificaron las características de los tramos de las vialidades que conformen el universo muestral. Se investigó el nivel de tránsito de cada vialidad en términos del tránsito diario promedio anual (TDPA) y su clasificación vehicular. También, se consideró el tipo de material utilizado para la construcción de la capa de rodadura, ya sean mezclas asfálticas de granulometría abierta o densas de granulometría continua, así como pavimentos rígidos. En todos los casos se tomó conocimiento de la procedencia mineral de los agregados pétreos que componen las mezclas de dicha capa.

Las mediciones de coeficiente de fricción con péndulo británico y macrotextura se realizan con una periodicidad tetramestral, aproximadamente, con un total de cuatro campañas de medición hasta la fecha. La medición con MuMeter de todos los segmentos y de cada carril considerado se ha llevado a cabo en tres ocasiones y se tiene previsto llevar a cabo una campaña adicional en el verano de 2024, entre agosto y septiembre.

4 Características de los tramos evaluados

Se seleccionaron siete vialidades metropolitanas de Monterrey para ser evaluadas periódicamente durante los años 2023 y 2024. Las vialidades consideradas todas fueron sujetas a una rehabilitación superficial o estructural durante el segundo semestre del año 2022 y primer semestre de 2023 en algunos tramos. Todos los segmentos viales corresponden a vialidades principales en entorno urbano, clasificadas como nivel 3 según el artículo 21 de la LPCRPENL.

Las vialidades que conforman las unidades de muestreo son las siguientes:

Tabla 1. Segmentos viales considerados

Municipio	Avenida	Tramo evaluado		Observaciones
		Desde	Hasta	
Monterrey	Constitución	Constituyentes de Nuevo León	Gonzalitos	Carriles ordinarios. Abierta al tránsito en octubre 2022
Monterrey	Morones Prieto	Alemania	Guadalupe	Carriles ordinarios. Abierta al tránsito entre julio y noviembre 2022
Monterrey	Conchello	Ruiz Cortines	Francisco I. Madero	Reconstrucción; pavimento rígido. Abierta



Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.

Municipio	Avenida	Tramo evaluado		Observaciones
		Desde	Hasta	
				al tránsito en agosto y diciembre 2022
Monterrey	Gonzalitos	Constitución	Abraham Lincoln	Carriles principales, sentido hacia el norte. Abierta al tránsito: octubre 2022
Monterrey	Fidel Velázquez	Abraham Lincoln	Manuel L. Barragán	Carriles principales. Abierta al tránsito en noviembre 2022
Monterrey	Garza Sada	Revolución	Arroyo Los Elizondo	Carriles principales. Abierta al tránsito en septiembre 2022
Monterrey	Lázaro Cárdenas	Pedro Ramírez Vázquez	Garza Sada	Carriles principales. Abierta al tránsito: julio en 2022

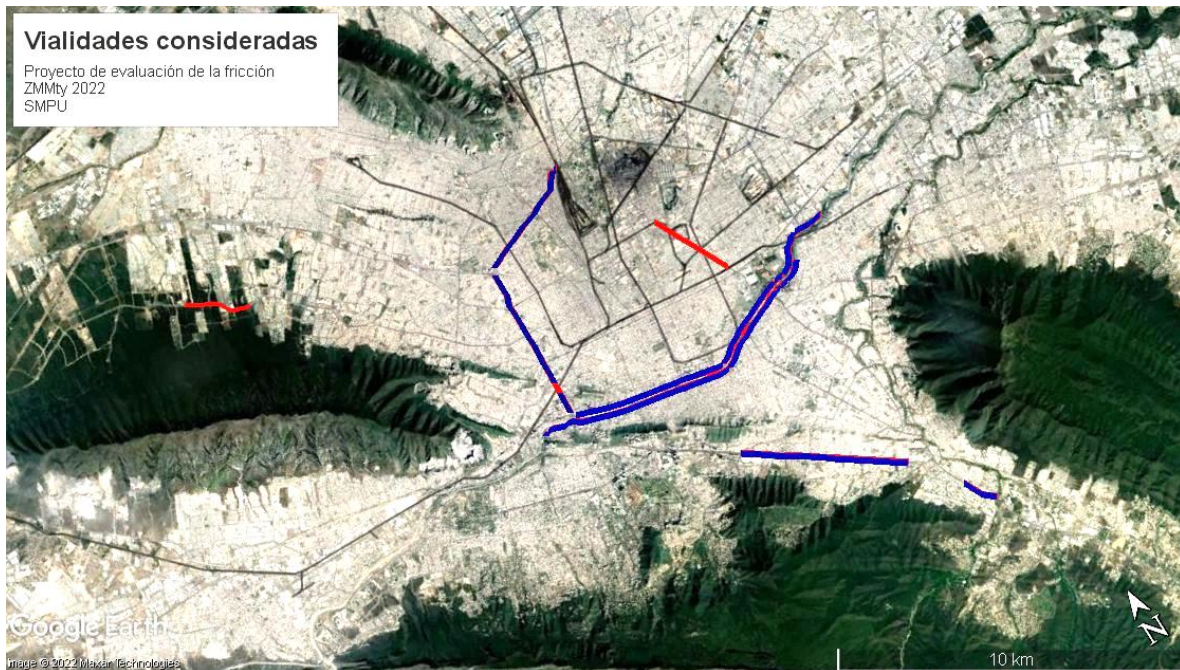


Figura 1. Zona Metropolitana de Monterrey, Nuevo León. Vialidades consideradas en el proyecto.

El TPDA y distribución vehicular de cada vialidad se presentan en la Tabla 2. En algunos casos, se hace distinción entre segmentos de una misma vialidad donde el comportamiento del tránsito es considerablemente diferente.

Tabla 2. Cargas de tránsito en cada vialidad



Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.

AVENIDA	TIPO DE PAVIMENTO	TPDA	A (%)	B (%)	C (%)	ΣEE DIARIO
Av. Constitución	Flexible	48,031	97.89	0.59	1.52	3,159
Av. Morones Prieto tramo poniente	Flexible	51,266	92.59	1.39	1.64	13,409
Av. Morones Prieto tramo oriente	Flexible	67,535	95.75	1.94	2.32	9,329
Av. Conchello norte a sur	Rígido	23,530	88.80	0.13	11.07	9,340
Av. Conchello sur a norte	Rígido	17,560	82.00	0.05	17.95	11,555
Av. Gonzalitos	Flexible	103,371	92.00	2.00	6.01	25,572
Av. Fidel Velázquez oriente a poniente	Flexible	83,488	96.31	1.10	2.59	9,573
Av. Fidel Velázquez poniente a oriente	Flexible	87,292	98.36	0.11	1.53	4,452
Av. Garza Sada	Flexible	73,783	94.70	5.28	0.95	15,475
Av. Lázaro Cárdenas	Flexible	37,974	98.40	0.37	1.23	1,896

En la Tabla 2 la columna ΣEE corresponde a la cantidad de ejes equivalentes diarios considerando 70% de vehículos pesados cargados.

5 Resultados

Se encontró que, en la mayoría de los tramos, los valores de coeficiente de resistencia al deslizamiento (CDR o CF) se han incrementado en las primeras 3 campañas de medición. Esto puede apreciarse en las figuras 2 a la 4 que se muestran a continuación como ejemplo. El comportamiento de los resultados de CF es similar en la mayoría de las vialidades evaluadas: el valor de CF se incrementa durante el primer año. Para el segundo año se observa que el CF disminuye (en la cuarta campaña).

Otro hallazgo relevante es que, a una muy corta edad, las superficies de los pavimentos no cumplen el valor óptimo o ideal de coeficiente de fricción de 0.6, que es el valor mínimo establecido por la LPCRPENL en su artículo 21 para vialidades de este tipo. Aunado a esto, en cuando menos tres avenidas, el valor de CF apenas supera el valor mínimo de 0.4 establecido en la normativa mexicana para carreteras en operación.

Los valores más bajos de CF se encontraron de manera consistente en la Av. Conchello, que es la única superficie construida con pavimento rígido.



Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.

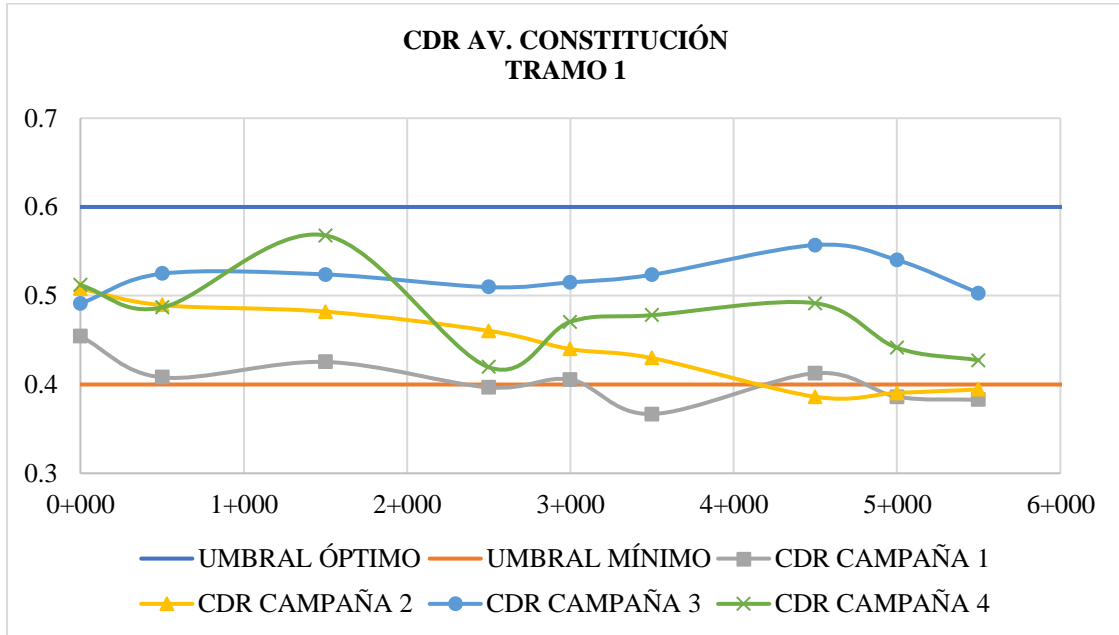


Figura 2. Resultados de coeficiente de fricción para Av. Constitución, campañas 1 a la 3

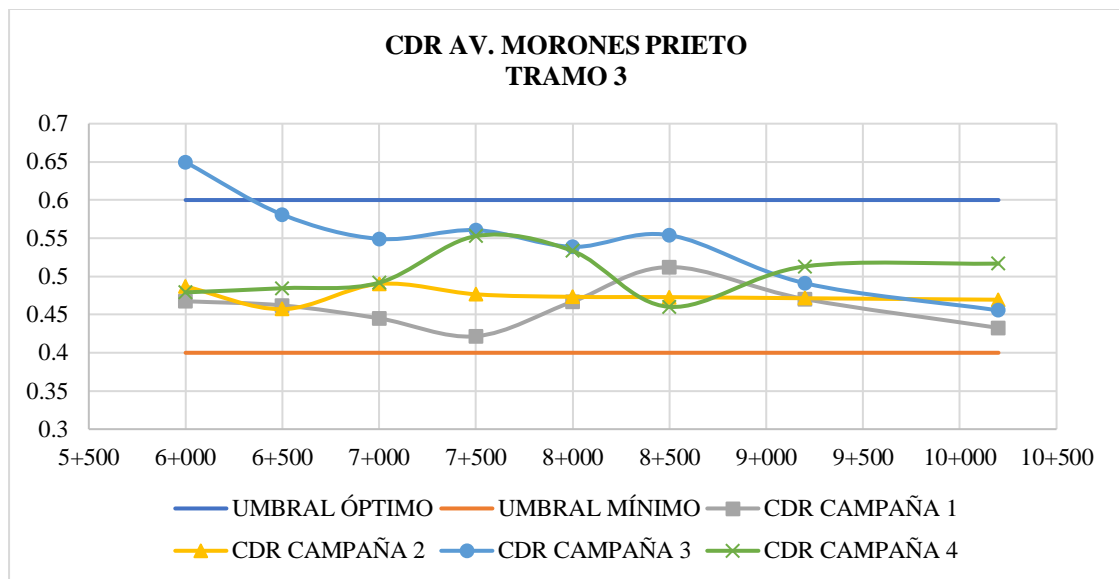


Figura 3. Resultados de coeficiente de fricción para Av. Morones Prieto, campañas 1 a la 3



Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.

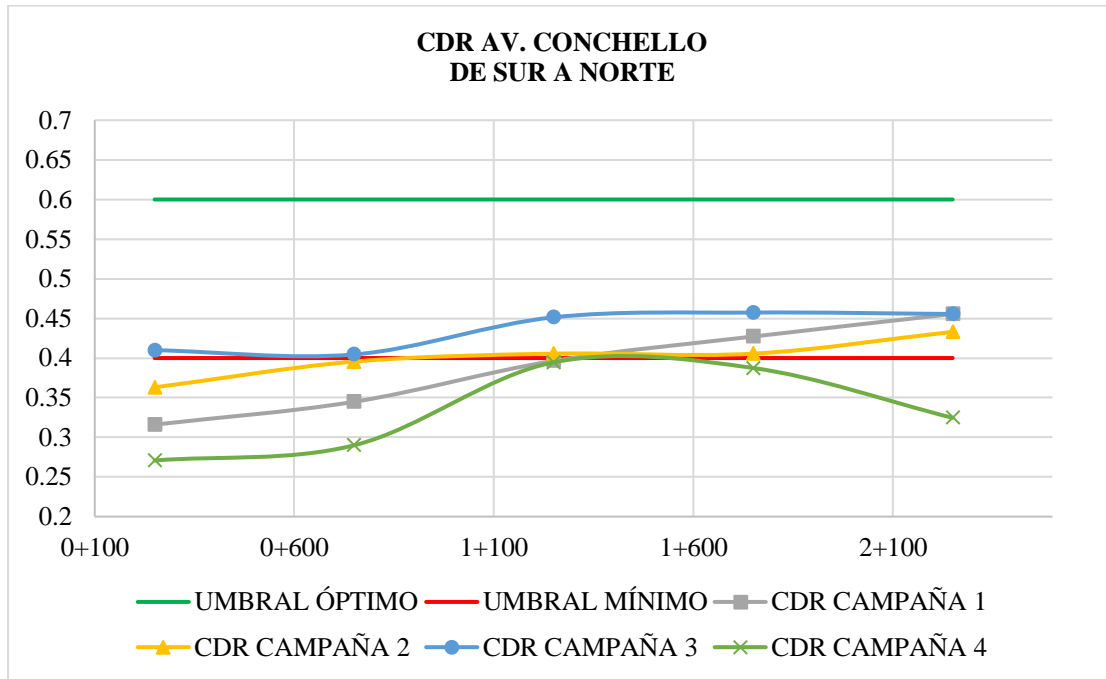


Figura 4. Resultados de coeficiente de fricción para Av. José Ángel Conchello, campañas 1 a la 3. A partir de la medición 6 corresponde al cuerpo de tránsito en sentido norte a sur.

Se realizó un análisis de la evolución del valor de coeficiente de fricción con respecto a la acumulación de tránsito en términos de ejes equivalentes. Esto es posible dado que se cuenta con la estimación de cargas de tránsito proporcionadas por la autoridad municipal, así como con el conocimiento de las fechas de apertura al tránsito de cada sitio en que se realizaron mediciones. Se muestra en la Tabla 3 la pérdida de fricción, en promedio, para cada segmento evaluado.

Tabla 3. Pérdida de coeficiente de fricción, en promedio, desde el inicio de los trabajos hasta la campaña No. 4

AVENIDA	PÉRDIDA FRICC PROMEDIO	DESCRIPCIÓN DE LA MEZCLA	% DE VEHÍCULOS PESADOS	EE DIARIOS
AV. CONSTITUCIÓN ORD	-0.06	DISCONTÍNUA CON ESCORIA 80% (FRACC. GRUESA)	2.11	3,159
AV. MORONES PRIETO TRAMO 1	0.09	DISCONTÍNUA CON GRANITO, 80% (FRACC. GRUESA)	7.41	13,409



Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.

AVENIDA	PÉRDIDA FRICC PROMEDIO	DESCRIPCIÓN DE LA MEZCLA	% DE VEHÍCULOS PESADOS	EE DIARIOS
AV. MORONES PRIETO TRAMO 2	-0.03	DISCONTÍNUA CON GRANITO, 80% (FRACC. GRUESA)	4.25	9,329
AV. CONCHELLO Sur a Norte	0.05	MR-48 CON GRANITO, 100% FRACC. GRUESA; 35% FRACCIÓN FINA	18.00	11,555
AV. CONCHELLO Norte a Sur	-0.05	MR-48 CON GRANITO, 100% FRACC. GRUESA; 35% FRACCIÓN FINA	11.20	9,340
AV. GONZALITOS	-0.02	DISCONTÍNUA CON GRANITO, 73% (FRACC. GRUESA)	8.00	25,572
AV. FIDEL VELÁZQUEZ Oriente a Poniente	-0.05	DISCONTÍNUA CON ESCORIA 80% (FRACC. GRUESA)	3.69	9,573
AV. FIDEL VELÁZQUEZ Poniente a Oriente	-0.06	DISCONTÍNUA CON ESCORIA 80% (FRACC. GRUESA)	1.64	4,452
AV. GARZA SADA (FASE 1)	0.09	DENSA CON GRANITO, 35% (FRACC. GRUESA)	5.30	15,475
AV. LÁZARO CÁRDENAS	0.05	DENSA CON GRANITO, 35% (FRACC. GRUESA)	1.60	1,896

En la Tabla 3 los valores negativos indican un incremento en el coeficiente de fricción.



Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.

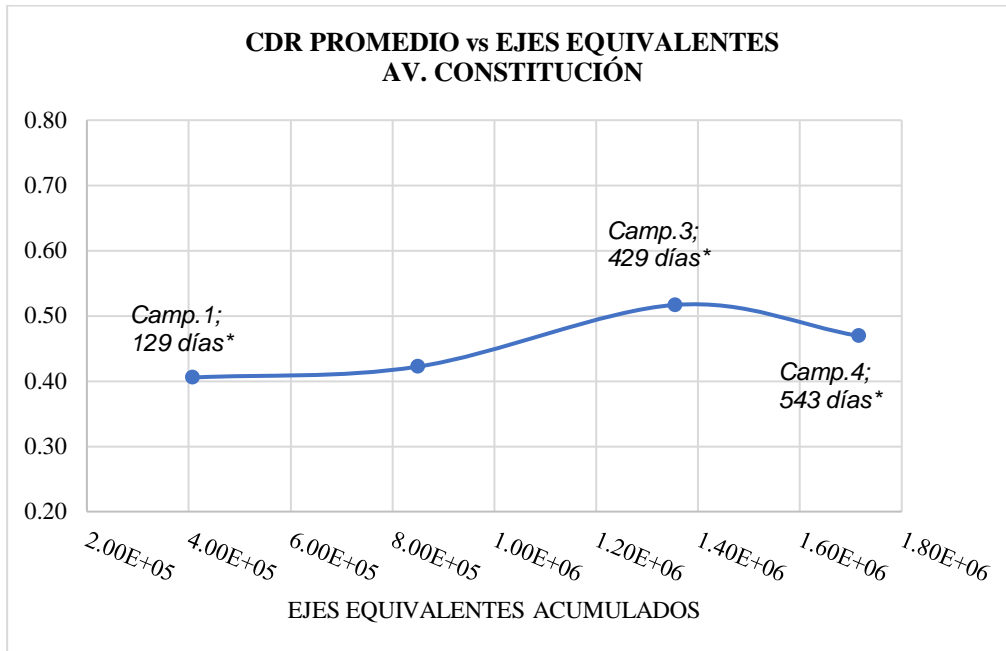


Figura 5. Evolución del coeficiente de fricción con respecto a la acumulación de ejes equivalentes para la Av. Constitución, carriles ordinarios

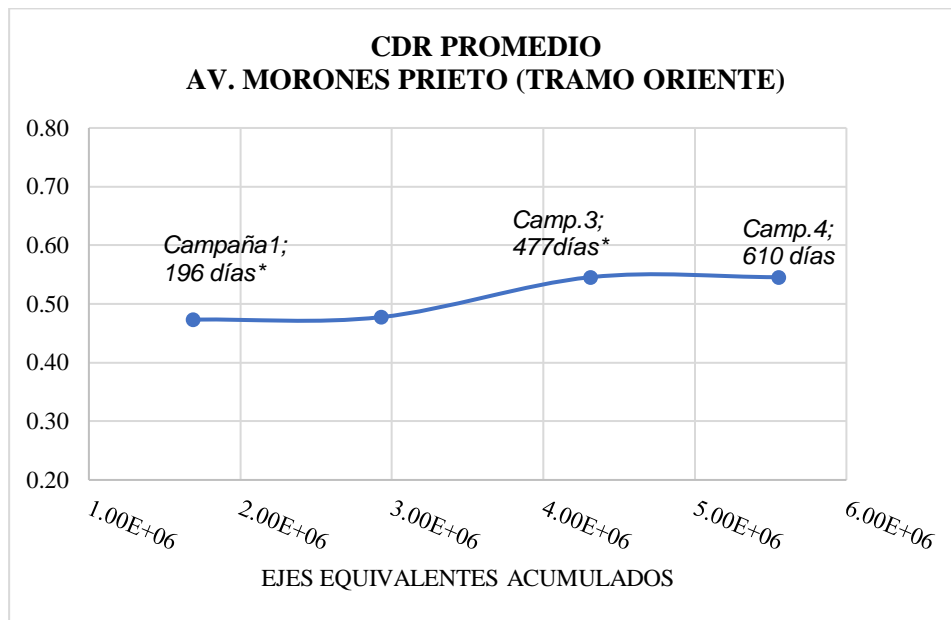


Figura 6. Coeficiente de fricción con respecto a la acumulación de ejes equivalentes para la Av. Morones Prieto, carriles ordinarios



Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.

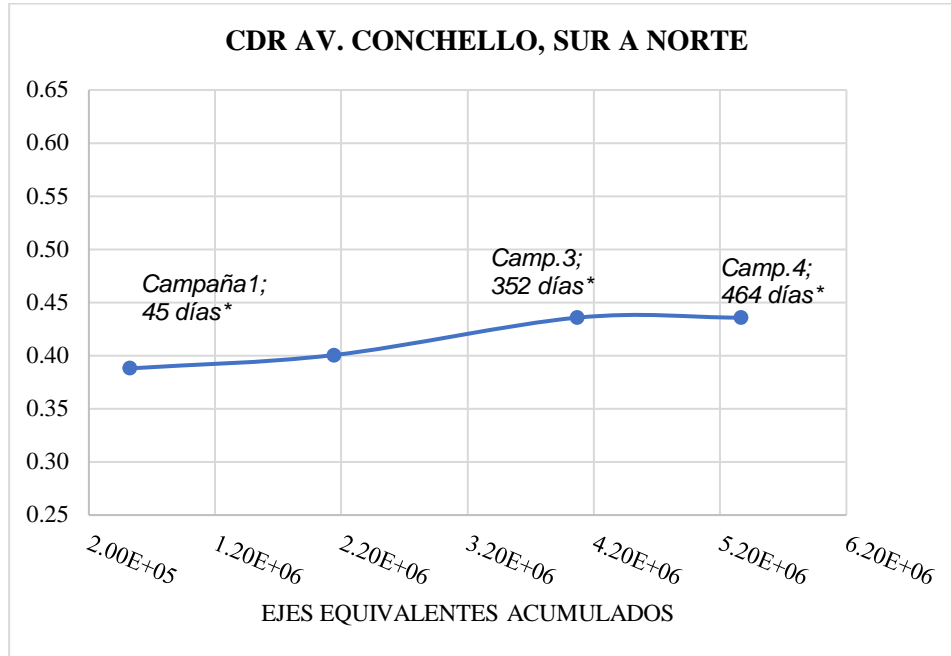


Figura 6. Coeficiente de fricción con respecto a la acumulación de ejes equivalentes para la Av. Conchello, de sur a norte

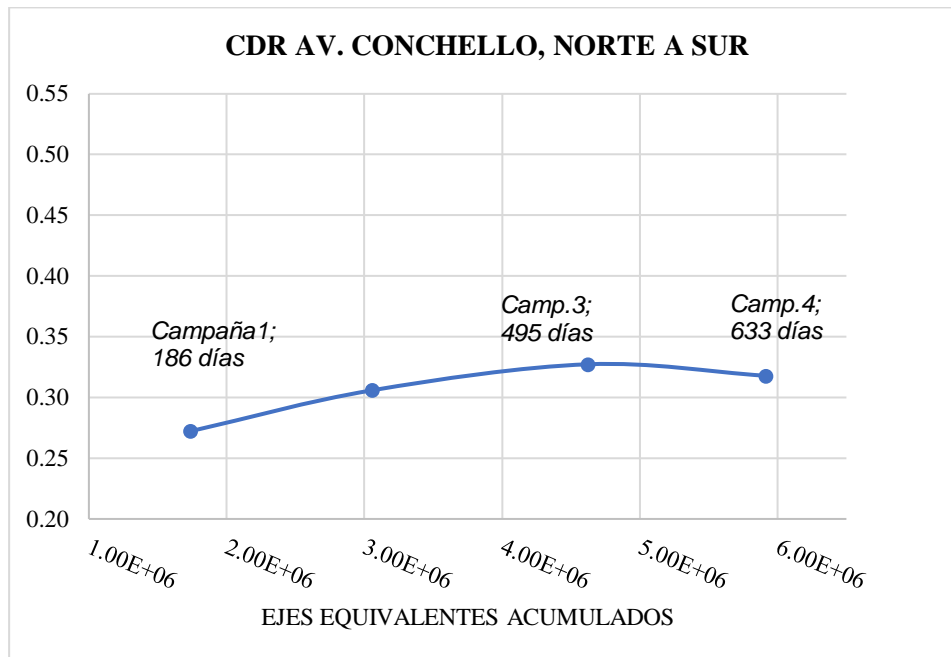


Figura 7. Coeficiente de fricción con respecto a la acumulación de ejes equivalentes para la Av. Conchello, de norte a sur



Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.

El comportamiento de los resultados permite deducir que no ha iniciado el proceso de pérdida de fricción en la mayoría de los segmentos evaluados y que se encuentran en la fase en la que la película de asfalto que recubre los agregados está siendo desgastada, en el caso de los pavimentos flexibles. Independientemente de ello, puede apreciarse que, hasta la campaña de mediciones #3, en las vialidades con mayor intensidad de tránsito pesado la ganancia en términos de coeficiente de fricción es menor que en el resto, lo que permite afirmar que el tránsito pesado incide de manera notable en la evolución del coeficiente de fricción.

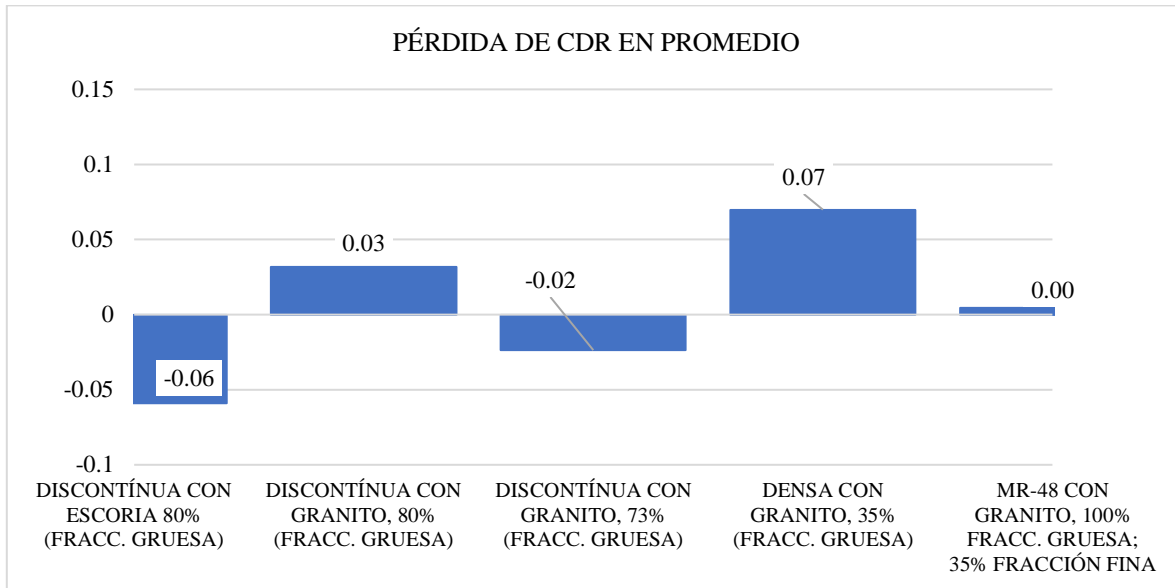


Figura 8. Pérdida del coeficiente de fricción según tipo de mezcla. Números negativos implican un incremento en el valor de coeficiente de fricción.

Con la información con la que se cuenta hasta el momento se analizó la posible relación entre el tipo de mezcla, la intensidad de tránsito pesado y los cambios en los niveles de CF, lo que se muestra en las figuras 9 y 10.



Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.

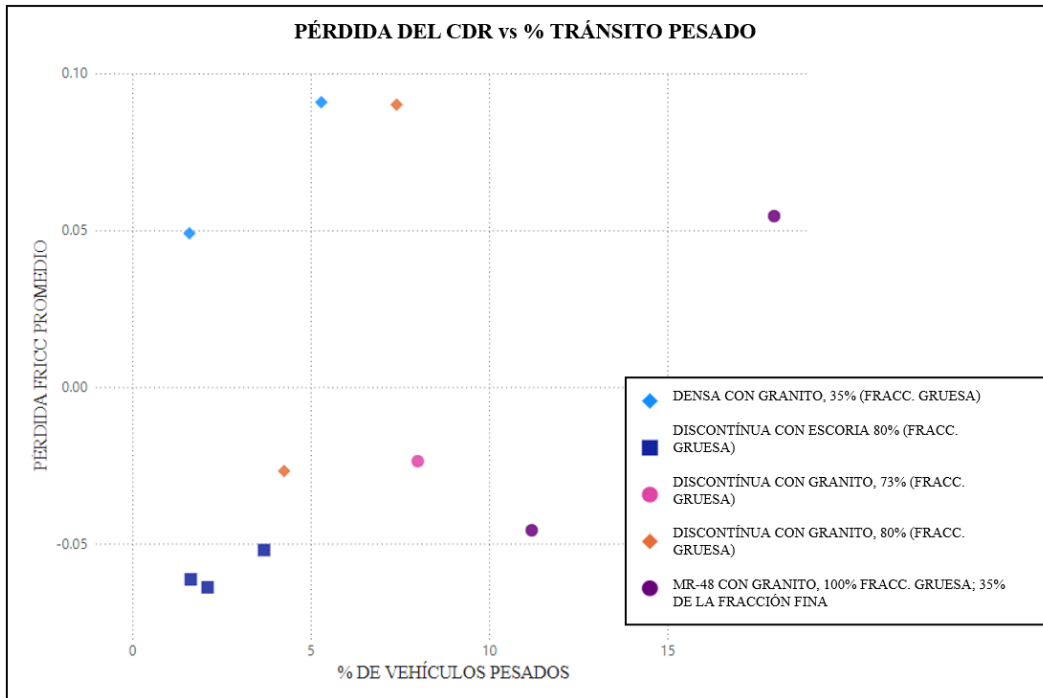


Figura 9. Pérdida o evolución de la fricción con respecto a la intensidad de tránsito pesado, según el tipo de mezcla

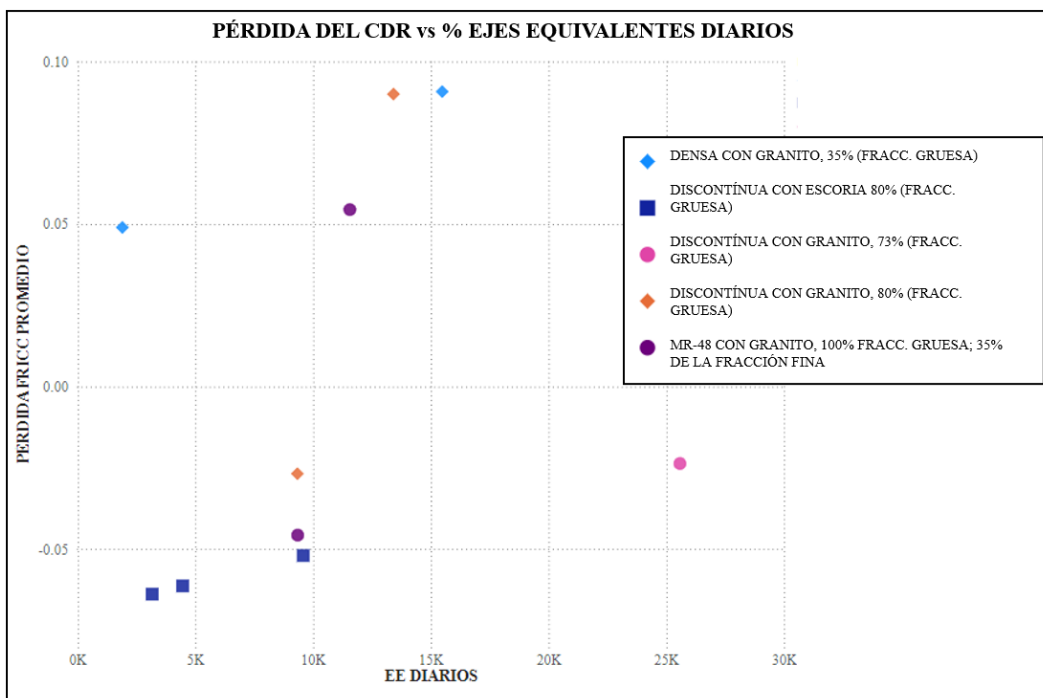


Figura 10. Pérdida o evolución de la fricción con respecto a la cantidad de ejes equivalentes diarios, según el tipo de mezcla



Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.

5 Conclusiones

Con los resultados que se tienen hasta la fecha, se puede concluir lo siguiente:

- 1) La viabilidad del cumplimiento del valor mínimo de CF conforme se establece en el artículo 21 de la LPCRPENL es discutible pues, en todas las unidades de muestreo (es decir, tramos evaluados) no se consiguió obtener evidencia de que los valores promedio de CF estén próximos al valor señalado. Debe decirse que el tiempo de operación que cada segmento vial tenía al momento de llevarse a cabo la primera campaña de medición oscila entre los 45 días y los 190 días. En ese sentido, puede afirmarse que es conveniente realizar mediciones a los 60 y a los 90 días para conocer si en ese periodo se obtienen valores satisfactorios.
- 2) El valor del CF se incrementa durante los primeros 12 meses, especialmente en vialidades con baja intensidad de tránsito pesado. Es recomendable realizar mediciones de CF posteriores a cumplirse un año de la puesta en operación para conocer la evolución de este parámetro en edades tempranas.
- 3) Para las vialidades y segmentos considerados en el presente estudio, y con la información que hasta el momento se ha recabado, la pérdida de la fricción se da más rápidamente en mezclas con agregados gruesos de granito. Sin embargo, existen segmentos viales con altos niveles de tránsito que cuentan con ese material y muestran un buen desempeño, como lo es la avenida Gonzalitos.
- 4) Se propone indagar la posibilidad de elaborar una propuesta regulatoria que establezca periodos de evaluación de coeficiente de fricción en virtud de la intensidad de tránsito pesado.

Los siguientes pasos en esta investigación son continuar con la campaña de medición #5 para profundizar en los hallazgos y ampliar estas conclusiones.

6 Colaboración institucional y agradecimientos

Merece mención especial el hecho de que todas las actividades que se han realizado en el marco del presente proyecto de investigación se han realizado con ayuda de estudiantes de Ingeniería Civil y otras carreras, quienes participan en calidad de becarios o voluntarios. De igual forma, ha sido posible emprender este proyecto gracias a la colaboración gratuita del Tecnológico de Monterrey, el Instituto de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Nuevo León, así como de las empresas Control 2000 SA y TECON, que cuentan laboratorios certificados y reconocidos por la Secretaría de Movilidad y Planeación Urbana de Nuevo León.

7 Referencias

- [1] Flores, E. A. (2010). *Publicación Técnica No. 340 Mejoramiento de la resistencia al deslizamiento por medio de mezclas de agregado*. Instituto Mexicano del Transporte.
- [2] INEGI. (2023). *Accidentes de tránsito por entidad federativa*. Ciudad de México: INEGI.
- [3] Gobierno del Estado de Nuevo León. (2020). Programa Integral de Movilidad Urbana Sustentable, Zona Metropolitana de Monterrey, Informe 12. Monterrey, N.L.