

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v7i13edespab.0188>

IMPORTANCIA DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN PARA EL ANÁLISIS DE SEGURIDAD VIAL, EN EL TRAMO DE CARRETERA JIPIJAPA - LA PILA DE LA PROVINCIA DE MANABÍ

IMPORTANCE OF THE FRICTION COEFFICIENT FOR ROAD SAFETY ANALYSIS ON THE JIPIJAPA - LA PILA ROAD SEGMENT IN MANABÍ PROVINCE

Moreno-Ponce Luis Alfonso ¹; Álvarez-Álvarez Martha Johana ²;
Delgado-Alvia Ronald Pastor ³; Zavala-Vásquez Carlos José ⁴

¹ Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Técnica, Universidad Estatal del Sur de Manabí. Jipijapa, Ecuador. Correo: luis.moreno@unesum.edu.ec.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9880-1310>

² Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Técnica, Universidad Estatal del Sur de Manabí. Jipijapa, Ecuador. Correo: martha.alvarez@unesum.edu.ec.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9879-0367>

³ Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Técnica, Universidad Estatal del Sur de Manabí. Jipijapa, Ecuador. Correo: ronald.delgado@unesum.edu.ec.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6265-2651>

⁴ Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Técnica, Universidad Estatal del Sur de Manabí. Jipijapa, Ecuador. Correo: carlos.zavala@unesum.edu.ec.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3323-0702>

Resumen

La seguridad vial es un desafío global, y el uso de herramientas como el análisis del coeficiente de fricción longitudinal (CFL) son esenciales para evaluar y mejorar las condiciones de las carreteras. Este estudio se centró en el tramo Jipijapa - La Pila en Ecuador, utilizando un enfoque cuantitativo para analizar el CFL mediante técnicas descriptivas y comparativas, incluyendo el ensayo de mancha de arena para evaluar la textura superficial del pavimento. Los resultados destacan la correlación directa entre la calidad del pavimento y la seguridad vial, mostrando la importancia de mantener adecuados niveles de fricción y textura para prevenir accidentes. El estudio mostró que el mantenimiento de las vías es fundamental para garantizar la seguridad y eficiencia de las redes viales, sugiriendo la necesidad de integrar prácticas de auditoría de seguridad vial más regulares y normativas en la gestión del pavimento. La comparación de los datos con normativas internacionales valida la metodología utilizada y resalta la eficacia de las intervenciones propuestas para mejorar la infraestructura vial en el contexto específico de Manabí.

Palabras clave: Mancha de Arena, Coeficiente de Fricción Longitudinal, Seguridad Vial, Textura del Pavimento, Mantenimiento Vial.

Abstract

Road safety is a global challenge, and the use of tools such as the International Roughness Index (IRI) and the analysis of the Longitudinal Friction Coefficient (CFL) are essential for assessing and improving road conditions. This study focused on the Jipijapa - La Pila segment in Ecuador, using a quantitative approach to analyze the CFL through descriptive and comparative techniques, including the sand patch test to assess the pavement's surface texture. The results

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 16 de enero de 2024.

Fecha de aceptación: 08 de marzo de 2024.

Fecha de publicación: 29 de abril de 2024.



highlight the direct correlation between pavement quality and road safety, underscoring the importance of maintaining adequate levels of friction and texture to prevent accidents. The study demonstrated that road maintenance is fundamental to ensuring the safety and efficiency of road networks, suggesting the need to integrate more regular and standardized road safety audit practices into pavement management. Comparing the data with international standards validates the methodology used and highlights the effectiveness of the proposed interventions to improve road infrastructure in the specific context of Manabí.

Keywords: Sand Patch, Longitudinal Friction Coefficient, Road Safety, Pavement Texture, Road Maintenance.

1. Introducción

El coeficiente de fricción entre los neumáticos y la superficie de la carretera juega un papel fundamental en la seguridad vial y la dinámica del vehículo. Es un parámetro crítico que influye en la efectividad de los sistemas de seguridad activa del vehículo, como el control de tracción, el control de estabilidad en giros y la prevención de vuelcos (Ahn et al., 2012). Estos sistemas dependen de las fuerzas de los neumáticos que se generan en la zona de contacto entre el neumático y la carretera. Sin embargo, las fuerzas no deben exceder los límites de fricción para mantener la estabilidad del vehículo. Por lo tanto, la capacidad de estimar con precisión el coeficiente de fricción neumático-carretera en tiempo real es esencial para optimizar el rendimiento de estos sistemas de seguridad y mejorar la seguridad vial

en general (Choi et al., 2013; Rajamani et al., 2006; Zhang & Göhlich, 2017).

Los avances recientes en métodos de estimación se han centrado en diversas aproximaciones para determinar el coeficiente de fricción neumático-carretera bajo diferentes condiciones de conducción y excitaciones. Estos métodos utilizan la dinámica del vehículo, como los movimientos laterales/giroscópicos y el deslizamiento longitudinal, para estimar el coeficiente de fricción (Ahn et al., 2012; Choi et al., 2013). Algunos estudios han propuesto algoritmos integrados que combinan múltiples técnicas de estimación para mejorar la robustez y precisión de la estimación del coeficiente de fricción en un rango más amplio de condiciones (Ahn et al., 2012; Ren et al., 2014; Zhang & Göhlich, 2017).

También se ha explorado el desarrollo de algoritmos para la

estimación en tiempo real del coeficiente de fricción neumático-carretera de cada rueda individual, lo cual es valioso para aplicaciones de seguridad activa que requieren un control preciso de cada rueda. Estos algoritmos a menudo emplean observadores basados en diferentes configuraciones de sensores, incluyendo el par motor del motor, el par de frenado, mediciones GPS y acelerómetros (Rajamani et al., 2006).

Además, se han introducido métodos de estimación jerárquicos e híbridos, que utilizan técnicas de filtrado avanzadas y algoritmos de aprendizaje automático para estimar el coeficiente de fricción neumático-carretera. Estos métodos pueden adaptarse a excitaciones pequeñas y grandes, típicas en escenarios de conducción diaria, y proporcionan un mapeo más preciso desde los parámetros de entrada hasta el coeficiente de fricción sin necesidad de modelos de neumáticos complejos (Ren et al., 2014; Zhang & Göhlich, 2017).

La estimación del coeficiente de fricción neumático-carretera no solo es importante para los sistemas de

seguridad activa, sino también para la evaluación de las condiciones de las carreteras, lo cual es un componente crítico en la seguridad del tráfico. La capacidad de estimar el coeficiente de fricción de manera precisa y en tiempo real permite que los algoritmos de control en los sistemas de actividad del vehículo se adapten a las condiciones externas de conducción, mejorando así la seguridad y el manejo del vehículo (Ahn et al., 2011; Han et al., 2017; Lin, 2010; Liu et al., 2017; Rajamani et al., 2010).

Sin embargo, existen notables vacíos en la investigación sobre cómo variaciones específicas en el coeficiente de fricción influyen directamente los incidentes de tráfico y cómo la metodología para su medición puede estandarizarse para garantizar resultados consistentes. Esto es particularmente relevante en regiones como Manabí, donde las condiciones ambientales y de tráfico pueden alterar significativamente los parámetros de fricción del pavimento, lo que requiere un enfoque investigativo adaptado a estas particularidades.

Este estudio tiene como objetivo principal se centran en analizar el coeficiente de fricción a través de parámetros investigativos específicos para el tramo de carretera mencionado, con el fin de aportar a la mejora de la circulación vehicular y la seguridad vial. El estudio adopta un enfoque cuantitativo y aplica un diseño metodológico descriptivo y comparativo para analizar el coeficiente de fricción en el tramo de carretera especificado. Asimismo, se centra en parámetros investigativos detallados para evaluar la importancia y efectividad de los controles de fricción longitudinal, comparando estos datos con análisis realizados en otros países para contextualizar y validar los hallazgos.

Adicionalmente, se emplea el ensayo de la Mancha de Arena (HAMM) para diagnosticar y clasificar la textura superficial del pavimento, siguiendo los criterios de la Asociación Mundial de Carreteras (PIARC). Este método se complementa con la medición de la variabilidad del Coeficiente de Fricción Longitudinal utilizando técnicas analíticas, cuyos resultados

se comparan con los estándares de las normas técnicas vigentes.

Los resultados obtenidos en este estudio resaltan la importancia crítica del mantenimiento de las vías para asegurar redes viales seguras y eficientes. El ensayo de Textura Superficial realizado en el tramo Jipijapa - La Pila clasificó la textura de la superficie como fina, con un valor promedio de 0,23 mm según la clasificación de Textura PIARC, lo que indica una insuficiente consideración de los criterios de seguridad vial en la pavimentación de este tramo. Este factor contribuye a una menor interacción neumático-pavimento, elevando el riesgo de accidentes de tránsito. Además, los análisis del Coeficiente de Fricción Longitudinal y la Distancia Mínima de Frenado, que arrojaron valores próximos a la norma vigente Nevi-12, validan la implementación de estas técnicas metodológicas en el diseño y mantenimiento de carreteras.

No obstante, en Ecuador, los procesos de Auditoría en Seguridad Vial son incipientes y se observa una aplicación limitada de auditorías e inspecciones de seguridad vial, generalmente impulsadas por iniciativas individuales de

funcionarios o algunas entidades gubernamentales. Por esta razón, se propone la elaboración de un formulario de verificación para una auditoría en seguridad vial, específicamente en temas de pavimento y calzada, con el objetivo de evaluar las condiciones de seguridad de carreteras nuevas o existentes, integrando así una perspectiva práctica y normativa en la investigación.

En conclusión, el mantenimiento adecuado de las vías es esencial para garantizar redes viales seguras y eficientes. La implementación de técnicas metodológicas avanzadas y la realización de auditorías de seguridad vial son fundamentales para lograr los estándares de seguridad vial deseados. Este estudio contribuye al conocimiento y la aplicación de prácticas de seguridad vial en el tramo de carretera Jipijapa - La Pila, evidenciando la necesidad de enfocar esfuerzos en la mejora de la textura superficial del pavimento y en la evaluación precisa del coeficiente de fricción longitudinal para reducir el riesgo de accidentes de tránsito.

2. Materiales y métodos

El estudio adoptó un enfoque cuantitativo y utiliza un diseño metodológico descriptivo y comparativo para analizar el coeficiente de fricción en el tramo específico de la carretera Jipijapa - La Pila. Este enfoque se centró en detallar y evaluar la importancia y la efectividad de los controles de fricción longitudinal, utilizando parámetros investigativos exhaustivos. Los datos recogidos se compararon con estudios similares realizados en otros países, permitiendo así una contextualización y validación internacional de los hallazgos. Esta comparación es esencial para establecer estándares de referencia que ayudaran a interpretar los resultados obtenidos.

Además, en el estudio se incorporó el ensayo de la Mancha de Arena (HA mm) para diagnosticar y clasificar la textura superficial del pavimento. En este ensayo se siguió los criterios establecidos por la Asociación Mundial de Carreteras (PIARC), siendo fundamental para entender cómo la textura del pavimento puede influir en la

seguridad vial, dado que una textura adecuada puede significativamente mejorar el contacto neumático-pavimento, reduciendo el riesgo de accidentes.

Asimismo, se realizó la medición de la variabilidad del Coeficiente de Fricción Longitudinal mediante técnicas analíticas avanzadas. Estos análisis proporcionan datos esenciales sobre la capacidad de frenado y la estabilidad vehicular en el pavimento, comparando posteriormente estos resultados con los estándares de las normas técnicas vigentes para asegurar que cumplen con los requisitos de seguridad vial.

Como parte de una integración práctica y normativa, el estudio propuso la creación de un formulario de verificación para realizar auditorías en seguridad vial, enfocadas en pavimento y calzada. Este formulario tiene como objetivo principal evaluar las condiciones de seguridad de carreteras nuevas o ya existentes, facilitando la identificación de potenciales riesgos y promoviendo intervenciones basadas en evidencia para mejorar la seguridad vial. Esta metodología integral permite no solo evaluar los

parámetros de seguridad actuales, sino también formular recomendaciones basadas en comparaciones internacionales y normas técnicas, contribuyendo así de manera significativa a la literatura científica en seguridad vial y a la práctica de ingeniería de transporte.

3. Resultados y discusión

La evaluación del coeficiente de fricción longitudinal y la textura superficial en el tramo de carretera Jipijapa - La Pila, ubicado en la provincia de Manabí es transcendental, dado que estas características del pavimento juegan un papel fundamental en la seguridad vial, influenciando directamente en la capacidad de los vehículos para mantener el control y detenerse eficazmente bajo diversas condiciones operativas.

A través de métodos de investigación, se procedió a la recolección y análisis de datos que permitieron no solo entender el estado actual del pavimento, sino también comparar estos resultados con normativas técnicas vigentes y estándares internacionales. En este enfoque metodológico se incluyó el uso del ensayo de la Mancha de

Arena (HA mm) para la evaluación de la textura superficial y la aplicación de modelos de fricción y así determinar el coeficiente de fricción longitudinal, aspectos que son esenciales para diagnosticar la capacidad del pavimento para proporcionar la seguridad necesaria a los usuarios de la vía. Los resultados obtenidos están orientados a identificar áreas críticas donde se requieren intervenciones, proponiendo medidas correctivas que mejoren la infraestructura existente.

Coeficientes de Fricción y Distancias de Frenado

Para analizar los Coeficientes de Fricción Longitudinal (CFL) y las

Distancias Mínimas de Frenado (DMF) de manera más detallada y comparativa, empleamos diversos métodos investigativos y modelos, permitiendo una comparación con la normativa técnica vigente. A continuación, se presentan las tablas comparativas que resumen los resultados obtenidos:

1. Coeficientes de Fricción Longitudinal

Se calculó el CFL a distintas velocidades usando el Modelo de Fricción y comparando dos condiciones de fricción diferentes ($CFD = 0.29$ y $CFD = 0.32$). Los resultados se muestran en la siguiente tabla 1:

Tabla 1 Comparación de dos condiciones de fricción

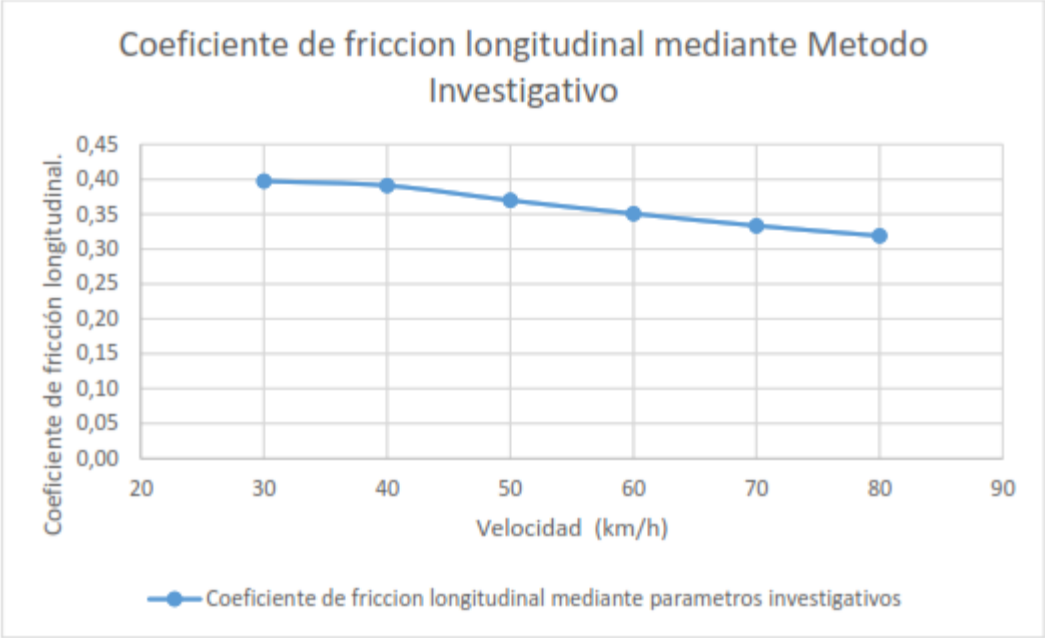
Velocidad (km/h)	CFL con $CFD=0.29$	CFL con $CFD=0.32$
30	0.45	0.64
40	0.33	0.46
50	0.24	0.35
60	0.19	0.27
70	0.15	0.21
80	0.12	0.17

La figura 1 muestra que el Coeficiente de Fricción Longitudinal (CFL) disminuye levemente con el aumento de la velocidad, partiendo

de aproximadamente 0.40 a 30 km/h y descendiendo hacia 0.32 a 80 km/h. Esta tendencia indica que el CFL se reduce a medida que la

velocidad del vehículo aumenta, lo cual es una consideración crucial para la seguridad vial y el diseño de pavimentos.

Figura 1 Coeficiente de Fricción Longitudinal por Método Investigativo



2. Distancias Mínimas de Frenado

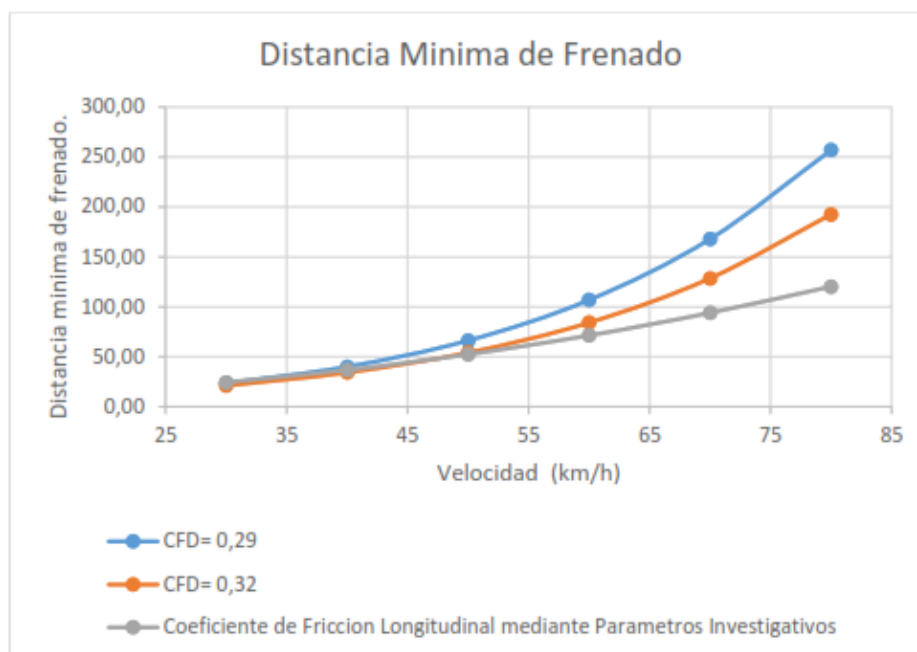
Las DMF se calcularon para las mismas condiciones de fricción,

despreciando la pendiente del terreno para garantizar la uniformidad del estudio. Los resultados son los siguientes:

Tabla 2. Distancias Mínimas de Frenado

Velocidad (km/h)	DMF con CFD=0.29 (m)	DMF con CFD=0.32 (m)	DMF por Método Investigativo (m)
30	23.41	21.05	24.41
40	40.00	34.22	36.76
50	66.22	54.15	52.43
60	106.86	84.19	71.38
70	167.98	128.60	93.99
80	257.00	192.56	120.28

Figura 2. Distancia Mínima de Frenado según Modelo de Fricción y Método Investigativo



Los resultados muestran que tanto el CFL como las DMF varían significativamente con la velocidad y el método utilizado para su cálculo. Es evidente que un mayor coeficiente de fricción (CFD = 0.32) resulta en distancias de frenado más cortas en comparación con un coeficiente más bajo (CFD = 0.29), destacando la importancia de mantener altos niveles de fricción en las carreteras para mejorar la seguridad vial. Además, los datos obtenidos del método investigativo proporcionan una información concreta para las futuras intervenciones y políticas de seguridad vial.

Análisis de Textura Superficial

Para analizar la textura superficial en el tramo de carretera Jipijapa - La Pila, se realizaron mediciones utilizando un marco portátil, arena sílice y otros materiales para determinar la macrotextura del pavimento flexible mediante el método de la mancha de arena. Estas mediciones son esenciales para evaluar la capacidad del pavimento para expulsar agua y prevenir el hidroplaneo, un factor crítico en la prevención de accidentes de tránsito.

Los resultados de las mediciones de la textura superficial se muestran en la siguiente tabla 3, que presenta la altura promedio de la macrotextura

(HA mm) y la clasificación según el criterio de la Asociación Mundial de Carreteras (PIARC):

Tabla 3. Mediciones de la textura superficial

Nº Muestra	Coordenadas del Ensayo (E, N, Z)	Longitud de la Mancha (cm)	Área Promedio de la Mancha (cm²)	Altura de la Macrotextura (mm)	Clasificación de Textura (PIARC)
1	E: 545971.270, N: 9856561.711, Z: 316.13	58, 57, 59	1160	0.22	Fina
2	E: 545731.876, N: 9857998.140, Z: 293.08	65, 64, 65	1293.3	0.19	Muy Fina
3	E: 545697.213, N: 9859354.429, Z: 273.74	57, 58, 58	1153.3	0.22	Fina
4	E: 545972.227, N: 9861505.202, Z: 239.98	52, 51, 53	1040	0.24	Fina
5	E: 546328.026, N: 9870650.596, Z: 257.08	47, 48, 45	933.3	0.27	Fina
6	E: 546654.226, N: 9873056.851, Z: 267.56	63, 61, 64	1253.3	0.20	Fina
7	E: 546778.688, N: 9874417.208, Z: 263.57	61, 63, 62	1240	0.20	Fina
8	E: 547021.842, N: 9875619.523, Z: 228.68	55, 56, 56	1113.3	0.22	Fina
9	E: 546419.478, N: 9877320.131, Z: 211.46	50, 51, 53	1026.7	0.24	Fina
10	E: 546044.313, N: 9877637.863, Z: 203.96	40, 42, 39	806.7	0.31	Fina

Las mediciones de la altura de la macrotextura oscilaron entre 0.19 mm y 0.31 mm, clasificadas predominantemente como "Fina" según PIARC. Los resultados indican que la superficie del

pavimento en estos tramos puede no ser adecuada para prevenir eficazmente el hidropelaje bajo condiciones de lluvia, lo que sugiere la necesidad de intervenciones para

mejorar la textura y así incrementar la seguridad vial.

En conclusión, el análisis de textura superficial revela variaciones significativas en la macrotextura a lo largo del tramo de carretera, con la mayoría de los valores indicando una textura que podría comprometer la seguridad bajo ciertas condiciones. Estos datos son significativos para futuras decisiones sobre el mantenimiento y mejora de la infraestructura vial para asegurar la

expulsión eficiente del agua y la reducción de riesgos de accidentes.

Análisis Comparativo

El estudio comparó el estado actual de la carretera con los estándares internacionales de seguridad y textura. Se determinó que las condiciones existentes no cumplen con los umbrales recomendados para condiciones de carretera seguras, señalando la necesidad de mejoras significativas a continuación se muestran los siguientes datos:

Tabla 4. Comparativa de Distancia Mínima de Frenado

Velocidad (km/h)	Modelo Fricción (CFD=0.29) (m)	Modelo Fricción (CFD=0.32) (m)	Método Investigativo (m)	Norma NEVI-12 (m)
30	23.41	21.05	24.41	8.8
40	40.00	34.22	36.76	16.6
50	66.22	54.15	52.43	24.8 - 28.1
60	106.86	84.19	71.38	36.1 - 42.9
70	167.98	128.60	93.99	50.4 - 62.2
80	257.00	192.56	120.28	64.2 - 83.9
90	-	-	-	77.7 - 106.2
100	-	-	-	98.0 - 135.6
110	-	-	-	116.3 - 170.0

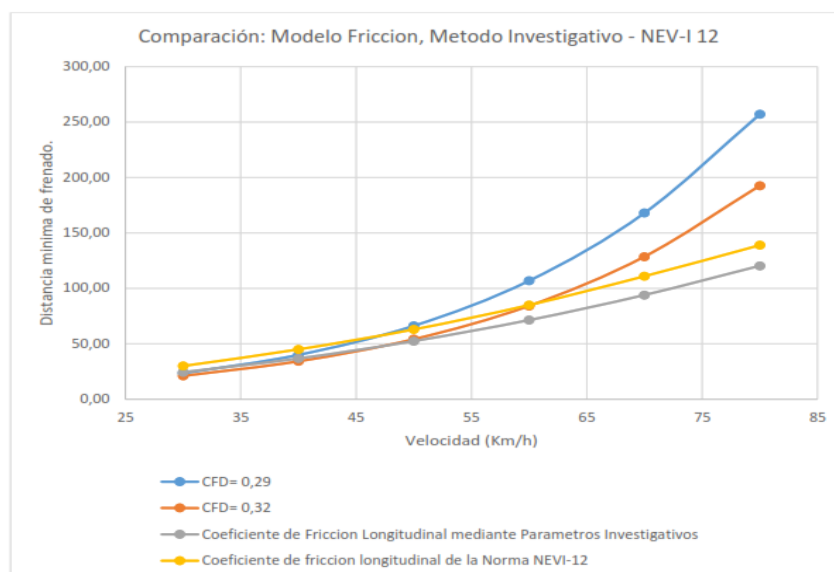
La tabla comparativa detalla las distancias mínimas de frenado (DMF) a diversas velocidades, empleando diferentes modelos y normativas técnicas para el coeficiente de fricción longitudinal (CFL), presentando una clara comparación entre los enfoques

utilizados. Los Modelos de Fricción (CFD=0.29 y CFD=0.32) revelan que las DMF aumentan con la velocidad, siendo consistentemente menores en el modelo con un coeficiente más alto (CFD=0.32), destacando la relevancia de un adecuado coeficiente de fricción en la

reducción de las DMF y, por ende, en la mejora de la seguridad vial. El Método Investigativo muestra DMF generalmente inferiores comparadas con el modelo de fricción $CFD=0.29$ y comparables o inferiores a las de $CFD=0.32$, sugiriendo que este método podría proporcionar una estimación más precisa de las condiciones reales de la carretera. Por otro lado, la Norma NEVI-12 ofrece las distancias más cortas, especialmente a velocidades bajas, aunque las diferencias se amplían significativamente a velocidades más altas, lo que podría reflejar un enfoque más conservador o orientado a condiciones de seguridad extremas.

De igual manera el análisis comparativo en la figura que se presenta a continuación ilustra la variación en las distancias mínimas de frenado (DMF) calculadas según diferentes modelos y normativas a lo largo de varias velocidades. Aquí se compara el modelo de fricción con coeficientes de fricción determinados ($CFD=0.29$ y $CFD=0.32$), el método investigativo y el estándar de la norma técnica NEVI-12. Este análisis es fundamental para evaluar la adecuación de la carretera respecto a los estándares de seguridad vigentes.

Figura 3 Comparación de Distancia de Frenado según Modelo Fricción, CFL mediante Método Investigativo y NEVI-12



Nota. Las distancias en la norma NEVI-12 son proporcionadas en rangos para algunas velocidades, lo que indica una variabilidad en las distancias de frenado dependiendo de la velocidad de marcha y el tiempo de percepción y reacción considerados.

En conclusión, la comparación muestra diferencias significativas en las distancias de frenado estimadas según diferentes modelos y normativas. El uso de un coeficiente de fricción adecuado y la selección del modelo o normativa adecuada son críticos para la planificación y mejora de la seguridad vial. Los hallazgos sugieren la necesidad de revisar y posiblemente actualizar las prácticas y normativas actuales para reflejar más precisamente las condiciones reales y mejorar las estrategias de seguridad en la carretera

Auditorías de Seguridad Vial

Con los resultados obtenidos se desarrolló un formulario de verificación diseñado específicamente para la realización de auditorías en seguridad vial, con un enfoque particular en la evaluación de pavimento y calzada. Este formulario es una herramienta esencial para evaluar las condiciones de seguridad de carreteras, tanto nuevas como existentes, permitiendo a los técnicos identificar potenciales riesgos de manera sistemática. Su estructura facilita la documentación

detallada y el seguimiento de las condiciones del tramo evaluado, promoviendo intervenciones efectivas y basadas en evidencia que buscan mejorar la seguridad vial.

Este enfoque metódico no solo permite evaluar los parámetros de seguridad actuales, sino también formular recomendaciones de mejora. Estas recomendaciones se fundamentan en comparaciones internacionales y el cumplimiento de normas técnicas vigentes, enriqueciendo significativamente la literatura científica en seguridad vial y avanzando la práctica de la ingeniería de transporte. El formulario contiene un total de 11 preguntas, cubriendo diversos aspectos del estado del pavimento y las características de la calzada que son críticos para la seguridad vial, asegurando así una evaluación exhaustiva y detallada.

Tabla 5 Formulario de verificación de una Auditoría en Seguridad Vial en temas de Pavimento y Calzada

FORMULARIO DE VERIFICACIÓN DE UNA AUDITORIA EN SEGURIDAD VIAL EN PAVIMENTO/CALZADA					
INFORMACIÓN DEL PROYECTO					
Nombre del Proyecto:			Nombre del Técnico:		
Lugar y Dirección:			Fecha y Hora:		
Hora:			Condiciones Climáticas:		
Otros:					
No.	TÓPICO DE ANÁLISIS	RESPUESTA			HOJA DE FORMULARIO No:
1	PAVIMENTO/CALZADA	SI	NO	N/A	COMENTARIOS/APUNTES
1,1	El estado de la vía tiene presencia de ahuellamientos, baches, empozamientos, entre otros.				
1,2	El estado de la vía da lugar a la formación de grandes acumulaciones de agua que permiten el hidroplaneo				
1,3	Las propiedades antideslizantes del Pavimento cumplen con los criterios de seguridad de los usuarios.				
1,4	El comportamiento superficial de la Micro y Macrotextura del Pavimento cumplen con las normativas vigentes.				
1,5	La calzada se encuentra limpia de obstáculos que puedan poner en riesgo la seguridad de los usuarios de la vía				
1,6	La Distancia Mínima de Frenado en la vía cumple desde el momento que se pisa el pedal del freno hasta que se detiene por completo el vehículo.				
1,7	Los Radios de Curvas Horizontales en el tramo vial cumplen con las normativas vigentes.				
1,8	Los Radios de Curvas Verticales en el tramo vial cumplen con las normativas vigentes.				
1,9	Al inicio o fin de una curva Horizontal se presentan problemas de visibilidad o maniobrabilidad				
1,10	Al inicio o fin de una curva Vertical se presentan problemas de visibilidad o maniobrabilidad				
1,11	Existe transición de curvas horizontales a verticales o viceversa				

4. Conclusiones

En conclusión, la presente investigación ha proporcionado ideas valiosas sobre el impacto del coeficiente de fricción longitudinal y la textura superficial en la seguridad vial del tramo de carretera Jipijapa - La Pila. Mediante un enfoque metodológico riguroso que incluye análisis comparativos con estándares internacionales y normativas vigentes, se ha logrado una comprensión profunda de cómo estas características del pavimento afectan la capacidad de frenado y control vehicular bajo diversas condiciones operativas.

Los resultados obtenidos destacan la importancia crítica de un coeficiente de fricción adecuado, mostrando que un mayor coeficiente conduce a distancias de frenado significativamente reducidas, lo que directamente mejora la seguridad vial. Esto enfatiza la necesidad de mantener niveles óptimos de fricción en las carreteras para prevenir accidentes y facilitar una conducción segura. A su vez, la evaluación detallada de la textura superficial mediante el método de la Mancha de Arena ha permitido identificar

secciones del pavimento que requieren intervenciones específicas para optimizar su desempeño.

Estos hallazgos evidencian que, además de la necesidad de mejorar la infraestructura vial existente, es fundamental adoptar un enfoque equilibrado en la gestión del mantenimiento del pavimento. Ajustar la textura superficial y los coeficientes de fricción no solo contribuiría a la seguridad, sino que también facilitaría el diseño eficiente de nuevas infraestructuras viales. Estas conclusiones buscan mejorar la aplicación de prácticas en la ingeniería de transporte y la seguridad vial, recomendando ajustes proactivos basados en evidencia científica detallada y comparativa.

Bibliografía

Abdelaziz, N., El-Hakim, R. T. A., El-Badawy, S., & Afify, H. (2020). International Roughness Index prediction model for flexible pavements. *International Journal of Pavement Engineering*, 21, 88–99. <https://doi.org/10.1080/10298436.2018.1441414>

- Ahn, C., Peng, H., & Tseng, H. E. (2011). Robust estimation of road friction coefficient. *Proceedings of the 2011 American Control Conference*, 3948–3953. <https://doi.org/10.1109/TCST.2011.2170838>
- Ahn, C., Peng, H., & Tseng, H. E. (2012). Robust estimation of road friction coefficient using lateral and longitudinal vehicle dynamics. *Vehicle System Dynamics*, 50, 961–985. <https://doi.org/10.1080/00423114.2012.659740>
- Choi, M., Oh, J., & Choi, S. B. (2013). Linearized Recursive Least Squares Methods for Real-Time Identification of Tire–Road Friction Coefficient. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 62, 2906–2918. <https://doi.org/10.1109/TVT.2013.2260190>
- D’Apuzzo, M., Evangelisti, A., & Nicolosi, V. (2020). An exploratory step for a general unified approach to labelling of road surface and tyre wet friction. *Accident; Analysis and Prevention*, 138, 105462. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105462>
- Gardziejczyk, W. (2014). Influence of Road Pavement Macrotexture on Tyre/Road Noise of Vehicles. *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 9, 180–190. <https://doi.org/10.3846/BJRB.E.2014.23>
- Han, K., Lee, E., Choi, M., & Choi, S. B. (2017). Adaptive Scheme for the Real-Time Estimation of Tire-Road Friction Coefficient and Vehicle Velocity. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 22, 1508–1518. <https://doi.org/10.1109/TMECH.2017.2704606>
- Hsu, C.-H., Ni, S.-P., & Hsiao, T. (2022). Look-Up Table-Based Tire-Road Friction Coefficient Estimation of Each Driving Wheel. *IEEE Control Systems Letters*, 6, 2168–2173. <https://doi.org/10.1109/lcsys.2021.3137722>
- Khanjari, M., Kordani, A. A., & Monajjem, S. (2022). Simulation and Modelling of Safety of Roadways in Reverse Horizontal Curves (RHCs): With Focus on Lateral Friction Coefficient. *Journal of Advanced Transportation*. <https://doi.org/10.1155/2022/1952323>
- Li, H., Tang, B., Shao, D., Li, M., & Gao, J. (2010). Impact of Macrotexture Depth and Its Variation on Safety on Rainy Days. 484–495. [https://doi.org/10.1061/41127\(382\)52](https://doi.org/10.1061/41127(382)52)

- Lin, F. (2010). A New Method for Estimating Road Friction Coefficient. *Advanced Materials Research*, 139–141, 2622–2625.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.139-141.2622>
- Liu, Y., Li, T., Yang, Y., Ji, X., & Junshu, W. (2017). Estimation of tire-road friction coefficient based on combined APF-IEKF and iteration algorithm. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 88, 25–35.
<https://doi.org/10.1016/J.YMS SP.2016.07.024>
- Rajamani, R., Piyabongkarn, D., Lew, J., & Grogg, J. A. (2006). Algorithms for Real-Time Estimation of Individual Wheel Tire-Road Friction Coefficients. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 17, 1183–1195.
<https://doi.org/10.1109/ACC.2006.1657460>
- Rajamani, R., Piyabongkarn, D., Lew, J., Yi, K., & Phanomchoeng, G. (2010). Tire-Road Friction-Coefficient Estimation. *IEEE Control Systems*, 30, 54–69.
<https://doi.org/10.1109/MCS.2010.937006>
- Ren, H., Chen, S., Shim, T., & Wu, Z. (2014). Effective assessment of tyre–road friction coefficient using a hybrid estimator. *Vehicle System Dynamics*, 52, 1047–1065.
<https://doi.org/10.1080/00423114.2014.918629>
- Xu, G., Xu, J., Shan, H., Gao, C., Ran, J., Ma, Y., & Yao, Y. (2022). The influence of the pavement friction coefficient evolution caused by traffic flow on the risk of motorway horizontal curves. *PLoS ONE*, 17.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0266519>
- Yu, F., Zhang, C., Xie, Q., Su, L., Zhao, T., & Jan, M. Q. (2020). Particle breakage of sand subjected to friction and collision in drum tests. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*.
<https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2020.08.004>
- Zamani, M., & Knez, D. (2021). A New Mechanical-Hydrodynamic Safety Factor Index for Sand Production Prediction. *Energies*, 14, 3130.
<https://doi.org/10.3390/EN14113130>
- Zhang, X., & Göhlich, D. (2017). A hierarchical estimator development for estimation of tire-road friction coefficient. *PLoS ONE*, 12.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171085>