



Universidad
Señor de Sipán

**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

**Evaluación de la resistencia al deslizamiento para la
seguridad vial en pavimentos flexibles**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA
CIVIL**

Autora

Bach. Zevallos Calle Flor de María Yanira
<https://orcid.org/0000-0001-5601-5170>

Asesor

Dr. Muñoz Pérez Sócrates Pedro
<https://orcid.org/0000-0003-3182-8735>

Línea de Investigación

**Tecnología e Innovación en el Desarrollo de la Construcción y la
Industria en un Contexto de Sostenibilidad**

Pimentel – Perú

2023

**EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO PARA LA
SEGURIDAD VIAL EN PAVIMENTOS FLEXIBLES**

Aprobación del jurado

(Mg. SALINAS VAZQUEZ NESTOR PAUL)

Presidente del Jurado de Tesis

(Mg. REINOSO SAMAMÉ JORGE ANTONIO)

Secretario del Jurado de Tesis

(Mg. CHAVEZ COTRINA CARLOS OVIDIO)

Vocal del Jurado de Tesis

REPORTE DE SIMILITUD TURNITIN

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

Evaluación de la resistencia al deslizamiento para la seguridad vial en pavimentos flexibles

AUTOR

Flor de María Yanira Zevallos Calle

RECuento DE PALABRAS

10867 Words

RECuento DE CARACTERES

55725 Characters

RECuento DE PÁGINAS

58 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

2.0MB

FECHA DE ENTREGA

Dec 9, 2023 4:49 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Dec 9, 2023 4:49 PM GMT-5

● 9% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 8% Base de datos de Internet
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- 3% Base de datos de trabajos entregados

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)

Resumen


DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quien suscribe la DECLARACIÓN JURADA, soy egresado (s) del Programa de Estudios de **Ingeniería Civil** de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaro bajo juramento que soy autor del trabajo titulado:

**EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO PARA LA SEGURIDAD VIAL
EN PAVIMENTOS FLEXIBLES**

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán, conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación con las citas y referencias bibliográficas, respetando el derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y autentico.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

Zevallos Calle Flor de María Yanira	DNI: 73985587	
--	---------------	---

Pimentel, 09 de diciembre de 2023.

Dedicatoria

A mi abuela, por ser mi soporte y fortaleza cada día.

A mis padres y hermanas que siempre han estado a mi lado, me han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos, brindándome consejos y la fuerza que necesitaba durante los momentos más complicados, espero que algún día pueda devolverles todo lo que han hecho por mí y mi sueño.

Agradecimientos

A mi familia y amigos por el apoyo incondicional siempre, a mis maestros que formó parte en mi proceso de formación como profesional, por su tiempo brindado y aportes que me serán de suma importancia durante mi vida profesional.

Índice

Dedicatoria.....	5
Agradecimientos.....	6
Índice de tablas	8
Índice de figuras	9
Resumen	12
Abstract.....	13
I. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1. Realidad problemática.....	14
1.2. Formulación del problema	18
1.3. Hipótesis	18
1.4. Objetivos	18
1.5. Teorías relacionadas al tema	19
II. MATERIALES Y MÉTODO	39
2.1. Tipo y Diseño de Investigación.....	39
2.2. Variables, Operacionalización	39
2.3. Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección.....	42
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad ..	43
2.5. Procedimiento de análisis de datos.....	44
2.6. Criterios éticos	54
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
3.1. Resultados	55
3.2. Discusión.....	69
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
4.1. Conclusiones.....	70
4.2. Recomendaciones	70
REFERENCIAS	71
ANEXOS.....	77

Índice de tablas

Tabla I. Operacionalización de la variable independiente.....	40
Tabla II. Operacionalización de la variable dependiente	41
Tabla III. Ubicación de puntos evaluados en la carretera pe-1n km 770-775	42
Tabla IV. Valores de los coeficientes de fricción corregidos del tramo pe-1n km 770-775	57
Tabla V. Valores de la profundidad media de textura del tramo pe-1n km 770-775	58
Tabla VI. Valores del ifi referencial	60
Tabla VII. Coeficientes de fricción en relación a la velocidad para el ifi referencial	61
Tabla VIII. Profundidad media de textura en relación a la velocidad para el ifi referencial	63
Tabla IX. Valores del ifi de pe-1n km 770-775.....	64
Tabla X. Coeficientes de fricción en relación a la velocidad para el ifi.....	65
Tabla XI. Resumen comparativo entre ifi ref. Con el ifi pe-1n km 770-775.....	66

Índice de figuras

FIG. 1. DEFLEXIÓN DEL PAVIMENTO ANTE UNA CARGA.	19
FIG. 2. ESTRUCTURA TÍPICA DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS.	20
FIG. 3. MEJORAMIENTO DE LA SEGURIDAD EN LA INFRAESTRUCTURA VIAL.	25
FIG. 4. DIAGRAMA DE FUERZAS ACTUANDO SOBRE EL NEUMÁTICO.	27
FIG. 5. FACTORES PRINCIPALES QUE RIGEN LA CURVA DE VELOCIDAD DE DESLIZAMIENTO Y COEFICIENTE DE FRICCIÓN.	28
FIG. 6. EFECTO DEL AGUA EN PAVIMENTO FLEXIBLE.	29
FIG. 7. CLASIFICACIÓN DE LA TEXTURA DEL PAVIMENTO.	30
FIG. 8. CLASIFICACIÓN SEGÚN LONGITUD DE ONDA.	31
FIG. 9. CONCEPTO DE MICROTEXTURA.	32
FIG. 10. DEFINICIÓN DE MACROTEXTURA.	32
FIG. 11. MICROTEXTURA Y MACROTEXTURA.	33
FIG. 12. LA RELACIÓN ENTRE LA FRICCIÓN DEL PAVIMENTO Y LA VELOCIDAD DE DESLIZAMIENTO.	35
FIG. 13. MODELO DE LAS TRES ZONAS.	36
FIG. 14. RELACIÓN ENTRE LA TASA DE ACCIDENTES CON CONDICIONES DE CLIMA HÚMEDO Y FRICCIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO.	38
FIG. 15. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS EVALUADOS EN LA CARRETERA PE-1N KM 770-775.	43
FIG. 16. FORMATO DE DATOS - PÉNDULO BRITÁNICO TRRL.	43
FIG. 17. FORMATO DE DATOS - CÍRCULO DE ARENA.	43
FIG. 18. PÉNDULO BRITÁNICO TRRL Y EQUIPO SECUNDARIO.	45
FIG. 19. PASO 1 DEL ENSAYO DEL PÉNDULO BRITÁNICO TRRL.	46
FIG. 20. PASO 2 DEL ENSAYO DEL PÉNDULO BRITÁNICO TRRL.	46
FIG. 21. PASO 3 DEL ENSAYO DEL PÉNDULO BRITÁNICO TRRL.	47
FIG. 22. PASO 4 DEL ENSAYO DEL PÉNDULO BRITÁNICO TRRL.	47
FIG. 23. PASO 5 DEL ENSAYO DEL PÉNDULO BRITÁNICO TRRL.	48
FIG. 24. FORMATO DE LAS LECTURAS DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN.	49
FIG. 25. PASO 1 DEL ENSAYO DEL CÍRCULO DE ARENA.	50

FIG. 26. PASO 2 DEL ENSAYO DEL CÍRCULO DE ARENA	50
FIG. 27. PASO 3 DEL ENSAYO DEL CÍRCULO DE ARENA	51
FIG. 28. PASO 4 DEL ENSAYO DEL CÍRCULO DE ARENA	51
FIG. 29. SIGNIFICADO DE LAS DISTINTAS ZONAS EN UN DIAGRAMA DE FRICCIÓN-TEXTURA.....	54
FIG. 30. TEXTURA DE LOS PUNTOS EVALUADOS EN LA PANAMERICANA NORTE KM 770 - 775	56
FIG. 31. CURVA DE LOS VALORES DE CRD CORREGIDO, MÍNIMO Y PROMEDIO EN LOS PUNTOS EVALUADOS...58	
FIG. 32. EJEMPLO DE LAS MEDICIONES EN CAMPO.....	58
FIG. 33. CURVA DE LOS VALORES DE MTD DE LOS PUNTOS EVALUADOS	59
FIG. 34. EJEMPLO DE DIÁMETROS MEDIDOS EN CAMPO	60
FIG. 35. VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN EN DIFERENTES VELOCIDADES.....	62
FIG. 36. VARIACIÓN DE LA PROFUNDIDAD MEDIA DE TEXTURA EN DIFERENTES VELOCIDADES	64
FIG. 37. VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN EN DIFERENTES VELOCIDADES.....	66
FIG. 38. COMPARATIVO DE LA VARIACIÓN DE COEFICIENTE DE FRICCIÓN EN DIFERENTES VELOCIDADES	67
FIG. 39. ZONAS EN EL DIAGRAMA FRICCIÓN – TEXTURA.....	68

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Determinación del coeficiente de fricción	27
Ecuación 2. Cálculo del coeficiente de fricción corregido	48
Ecuación 3. Cálculo de la profundidad media de macrotextura (mdt)	52
Ecuación 4. Constante de velocidad s_p	52
Ecuación 5. Coeficiente de fricción a 60 km/h sin armonizar	53
Ecuación 6. Coeficiente de fricción armonizado a 60 km/h	53
Ecuación 7. Coeficiente de fricción a diferentes velocidades	53
Ecuación 8. Profundidad media de textura mínima	53

Resumen

En este proyecto de tesis presenta como problema el cómo afecta la resistencia al deslizamiento de pavimentos flexibles en la seguridad vial donde la fricción desarrollada por el neumático y el pavimento evoluciona con el transcurso del tiempo y vida útil de este último, asimismo sus objetivos son evaluar los límites de fricción mediante el ensayo del Péndulo Británico TRRL (ASTM E-303) , determinar la profundidad de la textura superficial del pavimento mediante el ensayo volumétrico del Círculo de arena (ASTM E-965), y a partir de la armonización de datos del coeficiente de fricción (CRD) y la profundidad de textura (MTD), comparar los parámetros del Índice de Fricción Internacional (ASTM E-1960).

El tramo evaluado fue la Red Vial Nacional Longitudinal de la Costa Norte Ruta PE-1N Km 770 -775, donde los resultados obtenidos fueron el CRD promedio es 0.75 mientras que el CRD Referencial es 0.45, estando por encima del valor mínimo indicado en el MTC, mientras que la MTD promedio obtenido es 0.62 mm, estando por debajo del MTD Referencial que es 0.70mm, considerándose una textura superficial en condición regular, finalmente el IFI de la carretera donde sus parámetros (0.31, 59.04) son mayores al IFI Referencial (0.23, 67.94), indicando que la microtextura y macrotextura se encuentran en condiciones aceptables respecto a la seguridad vial, sin embargo arrojó un Sp bajo de manera que es necesario mejorar la macrotextura.

Palabras claves: Pavimentos flexibles, resistencia al deslizamiento, microtextura, macrotextura, índice de fricción internacional, seguridad vial

Abstract

This thesis project presents the problem of how the skid resistance of flexible pavements affects road safety where the friction developed by the tire and the pavement evolves over time and pavement life, and its objectives are to evaluate the friction limits using the British Pendulum TRRL test (ASTM E-303), determine the depth of the surface texture of the pavement by means of the volumetric test of the Sand Circle (ASTM E-965), and from the harmonization of data of the coefficient of friction (CRD) and the texture depth (MTD), compare the parameters of the International Friction Index (ASTM E-1960).

The evaluated section was the Red Vial Nacional Longitudinal de la Costa Norte Route PE-1N Km 770 -775, where the results obtained were the average CRD is 0.75 while the Referential CRD is 0.45, being above the minimum value indicated in the MTC, while the average MTD obtained is 0.62 mm, being below the Referential MTD which is 0. Finally, the IFI of the road where its parameters (0.31, 59.04) are higher than the referential IFI (0.23, 67.94), indicating that the microtexture and macrotexture are in acceptable conditions with respect to road safety, however, it showed a low Sp so that it is necessary to improve the macrotexture.

Keywords: flexible pavements, skid resistance, microtexture, macrotexture, international friction index, road safety.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática.

La red de carreteras es una de las más utilizadas por las personas en todos los modos de transporte [1], predominantemente en pavimentos flexibles [2] debido al gran impacto en la comodidad de conducción, la maniobrabilidad del vehículo, la seguridad de conducción y el rendimiento general del pavimento. [3]

En la últimas décadas, el crecimiento económico y el avance social tiene una relación proporcional con la necesidad de viajar, ocasionando un aumento significativo en el número de vehículos circulando por las carreteras y esto ha dado lugar a mayores niveles de riesgo para los usuarios [4], por lo cual es fundamental el mantener las carreteras en buen estado [1]; por lo que se recomienda dedicar estudios de análisis de éstos para anticipar accidentes vehiculares y evitar pérdidas tanto humanas como elementos materiales. [5]

Según la OMS los accidentes de tráfico representan aproximadamente el 2,2% de las muertes mundiales cada año, alcanzando los 1,35 millones en 2016 [6], por consiguiente en febrero de 2020, se adoptó la Declaración de Estocolmo, instando a los países a reducir las muertes por accidentes a la mitad para el 2030 debido a las cifras presentadas [7] donde Malasia mostró que hasta el 2015 se aumentó a 489,606 casos de los cuales el 1.3% - 1.8% fueron fatales [8], en el 2016 el Caribe y América Latina tuvo aproximadamente 110 000 víctimas mortales [7], señalando que esta última región tiene la cuarta tasa de mortalidad en carretera más alta del mundo [9], no obstante, Rusia encabeza en cuanto a accidentes fatales en la carretera entre los países europeos y del norte de América [10].

Las condiciones climáticas tienen importantes implicaciones para el tráfico y el transporte [11], donde en los Estados Unidos, aproximadamente el 13.5% de los accidentes fatales y el 25% de todos los accidentes ocurrieron cuando los pavimentos estaban mojados [4]. Asimismo, en Alemania por medio de un estudio se mostró una reducción significativa de los accidentes en carreteras mojadas a medida que la fricción del pavimento aumenta

comprobando así el efecto de las condiciones climáticas en la seguridad vial [8], sin embargo, en Latinoamérica existe una destacada escasez de trabajo en seguridad vial [9] siendo un desafío importante en la región. [12]

La resistencia al deslizamiento del pavimento es un factor crucial que afecta la seguridad del tráfico y generalmente está representada por el coeficiente de fricción del pavimento y las características de textura de la superficie [13], los estándares de prueba para la resistencia al deslizamiento del pavimento producidos por varios países también son diferentes [14], realizándose a una velocidad de prueba específica con un dispositivo de medición específico, siendo la forma más aceptada y utilizada mundialmente, no obstante T. Fwa y L. Chu [15] explican que es inadecuado para representar y describir el rendimiento real de la fricción de un pavimento bajo diferentes condiciones de operación, y como alternativa mejorada para describir totalmente las características de la resistencia al deslizamiento, se menciona que en los últimos tiempos se ha obtenido una gran cantidad de modelos para determinar la fricción que varían en términos de distintos parámetros para analizar y describir la interacción de los neumáticos con la carretera. [16]

En nuestro país, desde años anteriores muchos gobiernos realizan fuertes inversiones en vías internacionales, nacionales y regionales, según el reporte de OSITRAN reportó que al presente año se incrementó en un 26.4% en comparación del 2022, apreciando un desarrollo en su competitividad y economía a través de una mayor conexión. Sin embargo, al no incluir un enfoque de seguridad vial como auditorias e inspecciones, estas vías pueden llegar a tener un alto número de accidentes por cantidad de autos [17] como lo es el tramo 4 de Inambari – Azángaro, que forma parte de la carretera Interoceánica, conocida como IIRSA Sur [18], razón por la que el Ministerios de Transportes y Comunicaciones (MTC) prevé medidas sectoriales de carácter normativo, educativo, tecnológico y de infraestructura, con el fin de minimizar los accidentes en carreteras nacionales.

En Lambayeque, en el año 2016 se registró un total de 472 accidentes de tránsito, siendo un incremento del 43% con respecto al año 2015, asimismo incrementó en un 12% la

cifra de muertos registrando a 64 personas fallecidas a esta causa [19]. Por otro lado, según Borja [20] el estado de la carretera Chiclayo – Reque, al tener un IMDA de 11 mil vehículos, según la norma del tránsito métrico de carreteras, debería ser una autopista de primer nivel teniendo cuatro carriles como mínimo puesto que excede los 6 mil vehículos.

En cuanto a estudios previos realizados anteriormente referente a la resistencia al deslizamiento con enfoques en la seguridad vial se destacan a continuación.

Wu y Abadie [4] en su artículo de investigación “Laboratory and field evaluation of asphalt pavement surface friction resistance”, teniendo como problema la fricción de la superficie del pavimento para la seguridad en la conducción vehicular, su objetivo fue desarrollar un modelo que permita predecir la fricción superficial y pueda ser aplicado durante la fase de diseño de la mezcla para la capa de rodadura; los resultados desarrollados en Louisiana, cuantificado por el número de fricción F (60) indicó que en general es posible diseñar una mezcla de asfalto con una resistencia al deslizamiento satisfactoria concluyendo que a partir de las propiedades del agregado y de la mezcla junto con el tráfico se puede predecir el número de deslizamiento.

Afonso, Dinis-Almeida y Fael [21] en su artículo de investigación “*Characterization of the Skid Resistance and Mean Texture Depth in a Permeable Asphalt Pavement*” cuyo objetivo es describir el terreno la superficie del pavimento según la resistencia al deslizamiento (PTV) y profundidad media de textura (MTD) utilizando los métodos del péndulo británico (TRRL) y parche de arena (volumétrico), los resultados estuvieron dentro de los valores límite establecidos por las normas sin embargo, no se observó una correlación muy fuerte entre MTD y PTV; concluyendo que los pavimentos de asfalto permeables presenta un buen rendimiento de la capa superficial proporcionando así una seguridad vial a los usuarios.

Suhaimi & Baharuddin [8] en su artículo de investigación “*Threshold value of skid resistance and texture depth for Malaysia road*” tuvo como problemática los valores límites de la resistencia al deslizamiento superficial (SRV) y la profundidad de la textura del pavimento

(MTD) cuyo objetivo fue determinar sus valores apropiados en superficie mojada y el número de deslizamiento (SN) para las carreteras federales de Malasia, los resultados de SRV y MTD se correlacionaron entre sí y se puede afirmar que el riesgo de accidente aumenta significativamente cuando el valor de SN es inferior al valor promedio de $31.49 + 7.87$; concluyendo que los valores mínimos deseables para SRV y SN para las carreteras federales de Malasia son 55 y 30 respectivamente.

Serigos , De Fortier Smit y Prozzi [22] en su artículo de investigación "*Incorporating Surface Microtexture in the Prediction of Skid Resistance of Flexible Pavements*" su objetivo fue cuantificar el efecto de los dos componentes de la textura en la predicción de su resistencia al deslizamiento superficial a través del método del péndulo de fricción, los resultados mostraron que cuando tomaron en cuenta ambos componentes de la textura de la superficie hubo una mejora significativa en la predicción del valor de la fricción. Asimismo, sugieren considerar la verdadera área de contacto entre las ruedas y el pavimento al caracterizar la microtextura de la superficie.

Lubis, Muis y Gultom [23] en su artículo de investigación "*The effect of contaminant on skid resistance of pavement Surface*" cuyo objetivo fue analizar el efecto de contaminantes como el lubricante, agua, sal y arena en la resistencia al deslizamiento de la superficie de asfalto realizando el ensayo del péndulo británico antes y después de que la superficie del pavimento estuviera cubierta de éstos. Los resultados mostraron una disminución de la resistencia al deslizamiento en la superficie después de que se cubriera con los contaminantes de lubricante, agua, sal y arena en un 50.5%, 20.1%, 37,1% y 22.8% respectivamente, concluyendo así que el valor de la resistencia al deslizamiento después de la exposición a contaminantes era inadecuada.

Mundaca Córdova [24] en su tesis para titulación "*Evaluación del Coeficiente de Fricción del pavimento en 10 vías rápidas en Arequipa usando el Péndulo de Fricción Británico TRRL*" teniendo como objetivo conocer el coeficiente de fricción de 10 vías enfocándose en la seguridad vial. Los resultados indicaron que, de las vías sometidas,

únicamente dos cumplen el IFI, esto es que, ocho vías requieren mejoras en las texturas del pavimento.; concluye así que la razón de los accidentes de tráfico también depende del desgaste del neumático, maniobras vehiculares y condiciones climáticas.

La capacidad de un pavimento para resistir el deslizamiento es una propiedad esencial y crucial para la seguridad vial, especialmente en lo que respecta a prevenir accidentes de tráfico, motivo por el que se justifica la realización del estudio a forma de salvaguardar la vida de los usuarios, a pesar de ello, a nivel nacional y regional hay una clara escasez de estudios relacionados al presente tema, siendo exacta dos proyectos de tesis en todo el Perú. Dicho así, académicamente, dar un mayor conocimiento a los problemas ligados a la operación y seguridad vial.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo afecta la resistencia al deslizamiento de pavimentos flexibles en la seguridad vial?

1.3. Hipótesis

Una mala textura en un pavimento flexible influye en los accidentes de tránsito haciendo deficiente la seguridad vial.

1.4. Objetivos

Objetivo general

Evaluar la resistencia al deslizamiento para la seguridad vial en pavimentos flexibles.

Objetivos específicos

- Determinar el coeficiente de fricción mediante el ensayo del péndulo británico TRRL.
- Determinar la profundidad de la textura superficial del pavimento mediante el ensayo volumétrico del círculo de arena.

- Comparar los parámetros del Índice de Fricción Internacional Referencial con el Índice de Fricción Internacional del tramo evaluado.

1.5. Teorías relacionadas al tema

Pavimentos Flexibles

Los pavimentos se pueden clasificar en tres categorías: Pavimento flexible, Pavimento rígido, Pavimento compuesto. [25]

Los pavimentos flexibles son una mezcla de agregado y aglutinante bituminoso en la que el agregado funciona como un esqueleto estructural y el aglutinante bituminoso como pegamento [26]. El término "flexible" indica que la estructura del pavimento soporta las cargas mediante la flexión de la capa superficial de asfalto, que tiende a distribuir la carga sobre un área relativamente pequeña. [27]

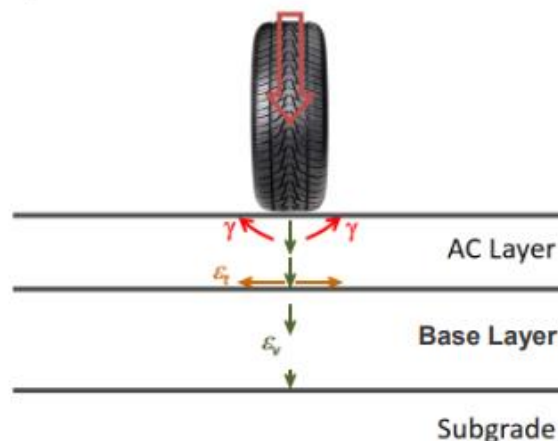


Fig. 1. Deflexión del pavimento ante una carga. [27]

Capas

En los pavimentos flexibles, la carga de las ruedas se transfiere a través de las capas inferiores a lo largo de toda la estructura granular por lo que a medida que aumenta la profundidad del pavimento, las tensiones se dispersan en una zona más amplia, y así reduciéndolas, razón por la cual su diseño utiliza varias capas [25], que deben asegurar una buena adherencia entre ellas de manera que toda la estructura actúe como una sola ante las

solicitaciones generadas por el tránsito y las condiciones climáticas [28], asimismo [29] la falta de adherencia causa la disminución tanto de la rigidez como de la capacidad estructural y un aumento en las deflexiones.

La capacidad de cada una de las capas se basa en su contribución estructural siendo relacionada con la calidad del material empleado, por lo que las capas a excepción de la carpeta asfáltica pueden ser fabricadas con materiales de baja calidad [1], no obstante, las propiedades del material de la subrasante son vitales en el diseño, con propiedades deseables como la incompresibilidad, el drenaje adecuado, la estabilidad y la facilidad de compactación. [25]

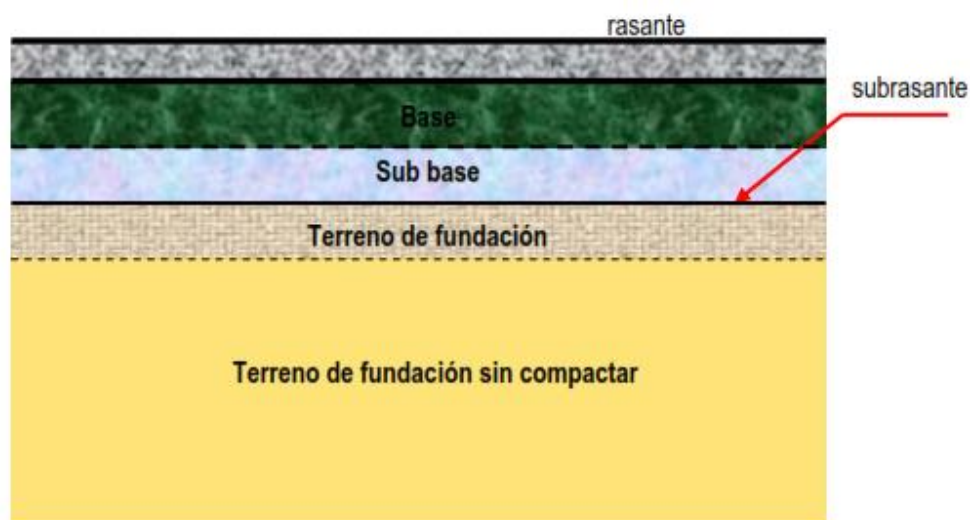


Fig. 2. Estructura Típica de Pavimentos Asfálticos. [30]

Sub-rasante

Es la capa más inferior del pavimento, justo por encima del terreno de fundación, siendo una parte inmanente de las carreteras flexibles al encargarse del pavimento desde abajo. [25]

Sub base

Es una capa opcional entre la subrasante y la capa base y normalmente consiste en piedras rotas o áridos mezclados con tierra, teniendo como tipos de suelo estabilizado o de

macadán ligado con agua. [25]

Base granular

Debajo de la capa superficial, se coloca una capa de diferentes materiales que se conoce como capa base [25], siendo un componente esencial en un pavimento flexible que soporta la capa superficial y distribuye las cargas del tráfico a la subbase y la subrasante. [31]

Carpeta asfáltica

Al ser la capa superior del pavimento, donde se produce la mayor resistencia a la tensión [1], soportando las máximas tensiones de compresión y el desgaste de la superficie [25], se fabrica principalmente con betún de material superior [1] para una ideal compactación durante la carga de tráfico y la expansión del ligante durante el clima cálido, y una excelente calidad de áridos, ya que constituyen la mayor parte de las mezclas bituminosas específicamente los áridos gruesos que forman la estructura básica de dichas mezclas e influyen significativamente en el rendimiento y el comportamiento de la capa de rodadura [32]. Al no encontrarse esta capa en óptimas condiciones, en una propagación de grietas en las capas restantes, el agrietamiento se intensifica notablemente a la vez que se reduce el grosor de la capa bituminosa. [28]

Componentes

El betún ha actuado como material aglutinante para la construcción de carreteras y pavimentos durante muchos años debido a sus excelentes propiedades ligantes e impermeabilizantes, su naturaleza es visco-elástica, por lo que su resistencia y mecanismos de adherencia vienen determinados por la velocidad de carga y la temperatura [1]. Asimismo, las propiedades elásticas-viscosas-plásticas únicas del asfalto significan que su módulo varía con las fluctuaciones de temperatura ambiental [28], es decir, esto puede agravar la formación de baches en climas cálidos y de grietas en climas fríos, que debilitan el pavimento [26].

Varios investigadores han utilizado las cenizas de estanque estabilizadas/reforzadas en la ingeniería, para su utilización eficaz como material de cimentación seguro, de relleno, para la construcción de las capas de base y subbase. [33]

Diseño

Debe proporcionar una estructura sólida que sea capaz de resistir las cargas provocadas sin daños excesivos [21] optimizando sus parámetros desde la perspectiva del análisis de seguridad y costo-beneficio [34] junto con técnicas innovadoras de diseño de pavimentos sostenibles. [1]

Asimismo, AASHTO menciona que todos los métodos de diseño en un tramo del pavimento tengan un rendimiento favorable ante las condiciones ambientales como de tránsito [35] durante su vida útil, la cual supone idealmente de 20 años [26] cumpliendo los parámetros como la cantidad adecuada de huecos de aire y la resistencia a la humedad. [32]

El método AASHTO está entre los procedimientos más frecuentes para diseñar estructuras de pavimentos flexibles. Esta metodología está centrada en los resultados de los ensayos de pavimento, a menudo denominados Prueba de carretera AASHO. [28]

Se realizan ensayos Marshall en las muestras preparadas para evaluar el contenido óptimo de betún y otros parámetros de diseño dependiendo en gran medida de la fricción interna proporcionada por el esqueleto del árido y escasamente de la cohesión proporcionada por el betún [32]. Con este método se pretende determinar la resistencia y el flujo de la mezcla para una durabilidad necesaria en la carpeta asfáltica ante los efectos climáticos y la fricción vehicular. [36]

Seguridad vial

Es un proceso sistemático de planificación, diseño y funcionamiento del tráfico vial implementando intervenciones asequibles y efectivas centradas en las exigencias de los usuarios de las vías [37] respaldados, por una sólida estructura institucional que esté

constituida siguiendo los principios de planificación, intervención e investigación y que, además cuente con el apoyo de una capacidad técnica y operacional apropiada y eficiente disponiendo de recursos humanos y financieros [38], debido que al comprender la influencia de diversos parámetros en el rendimiento del pavimento es fundamental para una toma de decisiones y una optimización sólida [28].

Existe una demanda creciente de carreteras más seguras y una necesidad de métodos más efectivos para monitorear los parámetros relacionados con la seguridad vial [22], así como medidas adecuadas para la prevención de accidentes de tráfico [39], y al mismo tiempo reforzar la legislación para mitigar los principales factores de riesgo como estrategia para una gestión de pavimentos [6].

En los incidentes de tránsito, una razón principal es la falta de fricción entre el neumático del vehículo y la superficie de la carretera [4], de modo que uno de los elementos fundamentales para garantizar la seguridad en una carretera es la capacidad de resistencia al deslizamiento, que desempeña un papel crucial [40], especialmente en condiciones húmedas y de lluvia, dado que el valor del índice de rozamiento de la superficie mojada es inferior al de la superficie seca, y cuanto mayor es la velocidad, mayor es la diferencia del índice de rozamiento entre los dos estados [41]. Por lo tanto, las autoridades viales deben supervisar y mantener bajo control el nivel de fricción en sus carreteras a través de la planificación y el cuidado adecuado de las superficies de pavimento, así como la aplicación de tratamientos correspondientes. [42]

Los accidentes de tráfico se producen debido a varios factores relacionados con el conductor, el estado del vehículo y el estado de la carretera [42], estos elementos de riesgo afectan de manera diversa a la seguridad vial, dependiendo de la gravedad del accidente, y se distinguen por las interacciones complejas que los caracterizan [43]. Por consiguiente, es fundamental obtener información sobre los elementos que inciden tanto en la ocurrencia como en la frecuencia de estos accidentes, y que influyen en sus consecuencias. [34]

Factores

Infraestructura vial

Uno de los factores más cruciales influyentes la seguridad es la infraestructura vial y su relación con el medio ambiente [34] , de este modo, la capacidad de una superficie de pavimento para proporcionar suficiente resistencia al deslizamiento a vehículos en movimiento en condiciones de clima húmedo es un requisito clave para la seguridad de conducción en las carreteras [15], así, la seguridad se ve influenciada de manera significativa por la capacidad del pavimento para resistir el deslizamiento, siendo este uno de los factores cruciales [44] haciendo que la rugosidad de la superficie esté relacionado con el coeficiente de fricción del pavimento [45]. En conclusión, la manifestación de deterioros sobre la carpeta asfáltica afecta negativamente la seguridad vial haciéndola menos comfortable o acortando su vida útil e incrementando los costos de operación [26].

En las fases de planificación, diseño e implementación de la estructura vial se deben integrar los principios de seguridad como las Auditorias e Inspecciones, Intervenciones correctivas, etc. que son métodos sistemáticos para la comprobación del cumplimiento de las normativas [38], en resumen, el optimizar los planes de mantenimiento, y mejorando la seguridad y eficiencia de las carreteras [3]



Fig. 3. Mejoramiento de la Seguridad en la Infraestructura Vial. [46]

Vehículo

El correcto comportamiento de los vehículos es un elemento fundamental para ayudar a que el sistema de transporte sea adecuado y seguro [47]. La importancia de desarrollar un método para evaluar el impacto de la confiabilidad del vehículo en la seguridad vial es causada por la necesidad de reducir la incidencia de accidentes de tráfico [10], consiguiendo este último con una estrategia en un sistema enfocado en el diseño de los vehículos y el sistema de transporte por carretera [48], debido a esto el diseño del vehículo elabora e implanta sistemas de seguridad contra accidentes (antes, durante y después), ambiental y contra incendios lo que eleva el componente de seguridad a un nuevo nivel de cualificación [49]. Por tanto, se sugiere mayor disponibilidad de tecnologías de seguridad para vehículos

[7].

No obstante, existen múltiples factores que inciden en la seguridad durante la conducción tales como un error humano, defectos del vehículo o del paso, condiciones ambientales o una combinación de estos [50], haciendo difícil medir cuantitativamente el nivel de seguridad. El coeficiente de adherencia a la carretera es menor en carreteras mojadas, el rendimiento de frenado del vehículo disminuye, del mismo modo el límite de velocidad de los neumáticos [44].

Usuario

Los usuarios de la vía pública son muy diferentes, empezando por el papel que desempeñan (conductor, peatón, ciclista, pasajero), la edad y el estado de salud hasta los distintos niveles de preparación y el comportamiento de los conductores [39] ya que la respuesta que tengan estos últimos ante una situación repentina determinará la magnitud del accidente [51], de manera que las actitudes y los comportamientos humanos influyen en la gravedad potencial ocasionado en las víctimas [12], por tal motivar a los operadores de carreteras y proporcionarles la información necesaria para mantener el pavimento y la seguridad vial [52]. Sin embargo, se han realizado investigaciones donde se estudiaron el problema de la estabilidad de conducción y la seguridad vial en diferentes términos y rara vez consideran el sentimiento de los pasajeros o los conductores [44].

Resistencia al deslizamiento superficial

Siendo una caracterización de la superficie de rodadura que describe la interacción de las ruedas de un vehículo y el camino [40], también se puede referir como la fuerza que se produce cuando un neumático que está total o parcialmente impedido de rodar se desliza por una superficie de pavimento en condiciones lubricadas [8] y contribuye a la estabilidad de los vehículos [14]. Por otro lado, se define como una medición de la fricción obtenida bajo condiciones especificadas y normalizadas, generalmente elegidas para establecer los valores

de muchos de los factores variables potenciales. [53]

Se describe la fricción como una suma de dos componentes: adherencia e histéresis. La adherencia aparece en la interfaz pavimento-neumático, se dice que está relacionada con las asperezas a nivel micro de los agregados del pavimento, es decir, la microtextura, mientras que la histéresis se atribuye a las asperezas de nivel macro de la superficie, la macrotextura [42], identificándose como el mecanismo dominante durante el frenado en pavimentos mojados. [54]

El coeficiente de fricción es la proporción entre la fuerza de fricción y la fuerza normal (1) aplicada en dirección perpendicular a la zona de contacto [8], y en términos de específicos, es la relación entre las fuerzas resistivas y el movimiento relativo entre las ruedas y la superficie de la carretera, y el componente normal del peso de los vehículos, lo que lo hace sin unidades [11].

$$\mu = \frac{F}{F_w} \quad (1)$$

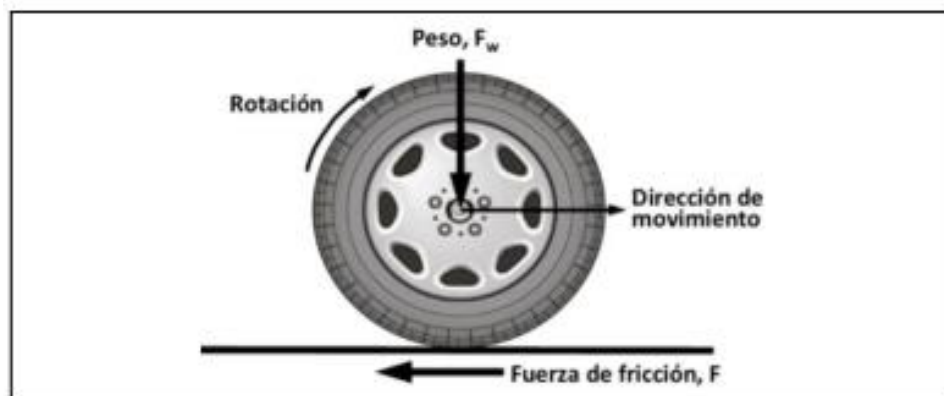


Fig. 4. Diagrama de fuerzas actuando sobre el neumático. [55]

La relación entre la fuerza de frenado y el deslizamiento determina la variación del coeficiente de fricción entre la superficie y el neumático, es decir, al aumentarse produce un coeficiente crítico y al disminuir se produce a un total de deslizamiento [55]; así pues, la diferencia entre ambos al variar puede ser igual hasta la mitad del valor de deslizamiento, sin

embargo sobre pavimentos húmedos es mucho mayor, por lo que se afirma que un coeficiente crítico de fricción ocurre principalmente en pavimentos mojados. [16]

Es bien sabido que el coeficiente de fricción se ve afectado por la textura [45], donde la microtextura controla el coeficiente de fricción máximo (condiciones húmedas) en la curva de deslizamiento mientras que la macrotextura gobierna su disminución [54]. Por otro lado, el rendimiento de fricción de un pavimento de asfalto también depende de la textura, específicamente del tipo y la calidad de los agregados gruesos utilizados. [40]

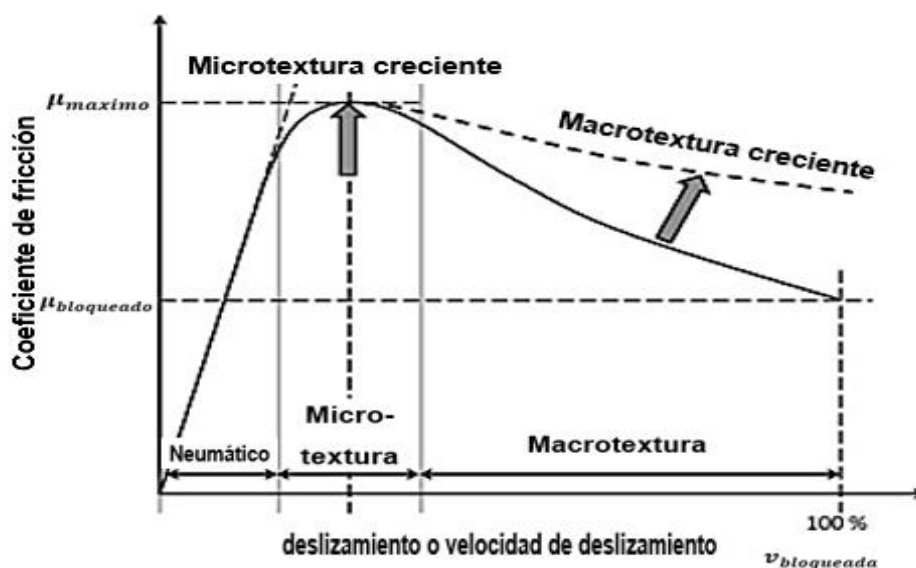


Fig. 5. Factores principales que rigen la curva de velocidad de deslizamiento y coeficiente de fricción. [54]

La resistencia al deslizamiento tiende deteriorarse debido a dos mecanismos: Eliminación de aglutinante, se refiere cuando la capa de betún se elimina gradualmente debido a una acción combinada entre el tráfico y el clima; y el pulido, que es el que suaviza y regenera los bordes causados por el agregado grueso. [53]

La capacidad de resistir el deslizamiento cambia con el tiempo debido a las influencias del tráfico y las condiciones climáticas [53], una vez que se puede definir y establecer su estado en una sección del pavimento, es posible determinar el valor único en una serie de pruebas a partir de la identificación de las características del pavimento en un determinado

periodo [15].

Debido a la importancia que genera en la seguridad vial, los sistemas de gestión de pavimentos necesitan un modelo de predicción de resistencia al deslizamiento, que permita conocer de antemano la fricción disponible del pavimento en función de diferentes factores [42] , por lo que surgen enfoques basados en datos de la superficie, como los parámetros de textura relacionados con la fricción de los neumáticos, la modelización del contacto de caucho y la fricción de la llanta que incluye parcialmente el lubricante, y finalmente, un enfoque combinado que abarca ambos aspectos previos. [54]

En definitiva, el poder proporcionar una representación completa y adecuada es de gran importancia práctica para garantizar la operación segura de la carretera puesto que menos resistencia al deslizamiento o falta total de resistencia es la razón de las carreteras resbaladizas [40].

Textura superficial

El rendimiento de la fricción es altamente dependiente de las características de la textura superficial [45] puesto que existe la probabilidad de reducir los coeficientes de fricción críticos al ofrecer un sistema de drenaje eficaz y una superficie de contacto apropiada [16], de modo que está directamente relacionada con el rendimiento antideslizante del pavimento [44] garantizando la básica interacción del neumático y el pavimento.

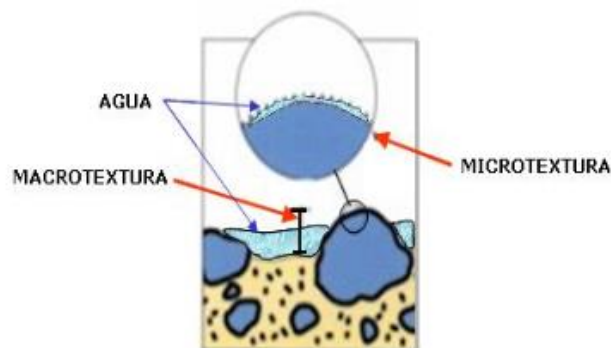


Fig. 6. Efecto del agua en pavimento flexible. [56]

Se puede lograr un aumento en el valor de la resistencia al deslizamiento al reducir el tamaño y distancia de las partículas, sin embargo, ambos ajustes crearían una disminución en la profundidad media de la textura, no obstante, una profundidad máxima de la textura genera vacíos más grandes en la superficie reduciendo el área efectiva del contacto del neumático con la carretera significando una reducción en el valor de la resistencia al deslizamiento [8]. Debido a lo mencionado es evidente la correlación existente, por eso se menciona que se han realizado muchos esfuerzos en una variedad de bases para anticipar la resistencia al deslizamiento exclusivamente a partir de mediciones de la textura, ya que depende especialmente en sus componentes de escala fina por debajo de 1mm. [54]

Las categorías de la textura fueron definidas por las PIARC en función de la longitud de onda (k), y la amplitud (A) de las desviaciones como microtextura, macrotextura, megatextura y rugosidad [42]. Sin embargo, los aspectos más influyentes para evaluar la resistencia al deslizamiento son la micro y macrotextura [52] debido al deterioro de una superficie que se ve afectada fundamentalmente en la zona superior de la macrotextura, donde la pérdida de desgaste estaría en función de la microtextura. [53]

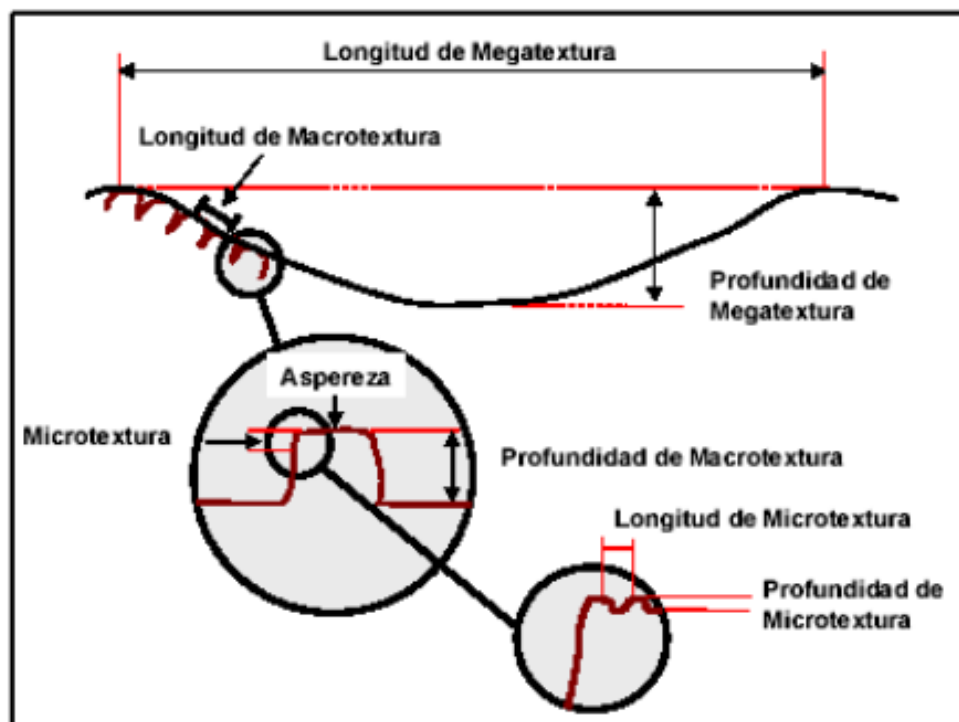


Fig. 7. Clasificación de la textura del pavimento. [47]

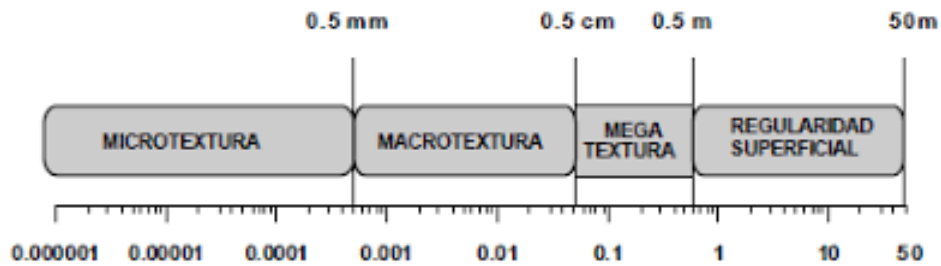


Fig. 8. Clasificación según longitud de onda. [47]

Microtextura

Se relaciona estrechamente con las las características de mineralogía de los áridos, incluidas las asperezas de los mismos [52] viéndose afectada principalmente por la textura superficial del agregado grueso, de modo que hace referencia a la textura de escala reducida en la superficie de una partícula agregada [4] y ejerce una considerable influencia en el agarre entre el neumático y la superficie [42]. Sus mediciones de longitud de onda relativas horizontal y verticalmente oscilan entre 0 a 0.5 mm y 0 a 0.2 mm respectivamente. [47]

La función principal de la microtextura es producir resistencia a la fricción entre el neumático e irrumpir la continuidad de la capa de agua [57] ya que incluso si la macrotextura proporciona un sistema de drenaje suficiente, pueden quedar películas de agua muy finas en la parte superior de las asperezas, que solo pueden eliminarse con una microtextura afilada [16]. A medida que la microtextura se vuelve más áspera, el área entre neumático y la superficie aumenta, resultando en una mayor magnitud del componente de adhesión de la fuerza de fricción. En pavimentos mojados, una microtextura más áspera fortalece la resistencia al deslizamiento al evacuar la fina capa de agua del pavimento. [22]

Microtextura

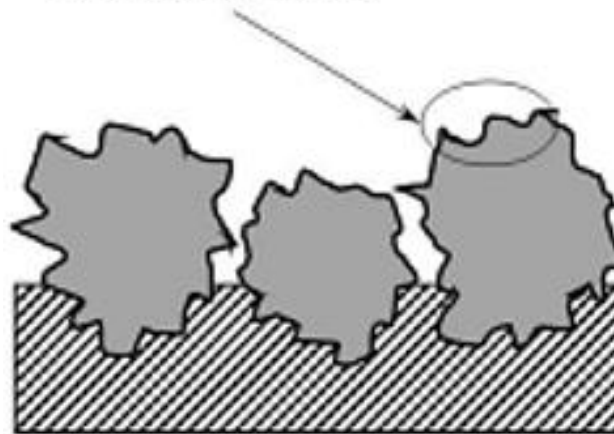


Fig. 9. Concepto de microtextura. [58]

Macrotextura

La gradación de los áridos, los niveles de compactación alcanzados y las propiedades del ligante influyen principalmente en los niveles de macrotextura [52]. Sus mediciones de longitud de onda relativas horizontal y verticalmente oscilan entre 0.5 mm a 50 mm y 0.2 mm a 10 mm respectivamente. [47]

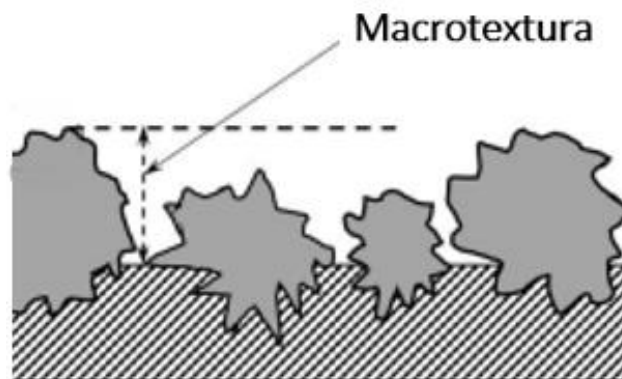


Fig. 10. Definición de macrotextura. [58]

La macrotextura es importante para explicar la fricción superficial de los pavimentos flexibles siendo directamente responsable de la fricción debido al mecanismo de histéresis para vehículos que viajan a altas velocidades [59] cuando no hay tiempo suficiente para que

el neumático evacúe el agua de la zona de contacto [16]. Dicho esto, la capacidad de drenar el agua superficial entre las bandas de rodadura de los neumáticos y la superficie es otra propiedad importante requerida en el pavimento [8]. Además, cuanto más gruesa sea la macrotextura, más se deforma el material del neumático y mayor es la magnitud del componente de histéresis de la fuerza de fricción. [22]

Factores influyentes

Existen cuatro grupos principales de factores contribuyentes a la generación de fricción en la conexión entre el pavimento y el neumático: características de la superficie del asfalto, factores del vehículo, propiedades del neumático y condiciones ambientales. [42]

Superficie del pavimento

Es la interacción que se produce entre el pavimento y los neumáticos, relacionándose con aspectos como la seguridad del transporte, resistencia al deslizamiento y el diseño de carreteras en curvas horizontales, distancias de frenado, entre otros. [50]

Con el fin de que la superficie asfáltica tenga una adecuada fricción a lo largo de su vida útil, es necesario la identificación de una adecuada combinación de texturas [4], no obstante, se tiene que considerar la cantidad de asfalto puesto que su excedencia provocaría exudación, asimismo la presencia de elementos contaminantes como el caucho o el polvo, interfiriendo con los mecanismos de fricción y reducir sus valores [42].

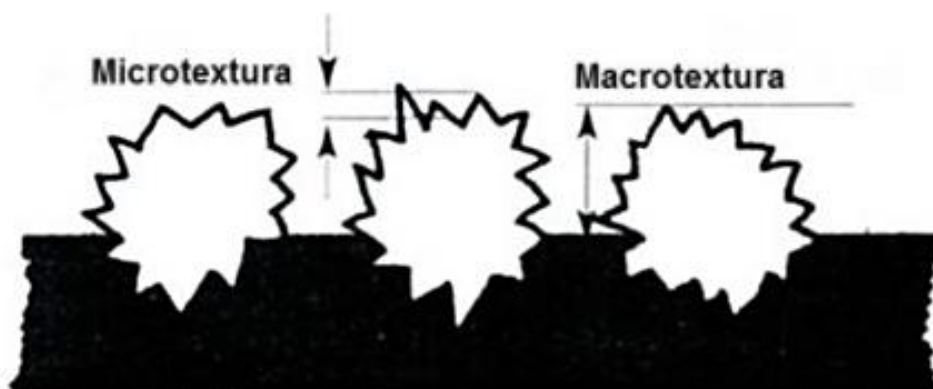


Fig. 11. Microtextura y Macrotextura. [8]

Tránsito

Los umbrales de estabilidad, que determinan los límites seguros de un vehículo, están influenciados por factores como la velocidad de desplazamiento, la distribución de la carga, y el coeficiente de fricción de los neumáticos [51], además la alineación de la carretera influye en la velocidad de los vehículos, lo que implica que el diseño geométrico y los patrones de velocidad también afectan la resistencia al deslizamiento [60], por lo tanto el diseño de vehículos para carreteras incorpora sistemas de seguridad que abordan aspectos relacionados con los accidentes, tanto antes, durante como después de los mismos, llevando la seguridad a un nivel cualitativo superior [49]. Es esencial tener conocimiento del coeficiente de fricción máximo presente en el pavimento, permitiendo que un controlador del sistema de frenos antibloqueo optimice la presión de frenado de manera adecuada [61], en este sentido, es esencial incrementar la disponibilidad de tecnologías específicas destinadas a mejorar la seguridad de los vehículos [7].

La categorización de una carretera influye en la resistencia al deslizamiento, especialmente su geometría, que plantea diversas demandas en términos de fricción [60], como por el volumen del tráfico que soporta [62], siendo éste último vinculado directamente con el proceso de pulido [16]. En este proceso, los agregados del pavimento experimentan un desgaste, reduciendo su coeficiente de fricción hasta llegar a una etapa de equilibrio, donde la resistencia al deslizamiento tiende a permanecer constante [63], no obstante, esta estabilidad está condicionada por la continuidad de los flujos de tráfico, principalmente a causa de la microtextura de los agregados situados bajo la capa de aglomerante en las renovaciones de pavimentos desgastados por el tiempo [40]. En pocas palabras, a medida que aumenta la carga, se intensifica el desgaste del pavimento y, en consecuencia, se reducen las características necesarias para mantener una textura superficial adecuada. [64]

Por otra parte, la velocidad del automóvil y las restricciones legales aplicadas a una carretera dependiendo de su clasificación funcional, son elementos esenciales en la gestión

vial [65] ya que existen las probabilidades de deslizamientos en la carretera, su superficie, en condiciones mojadas a velocidades elevadas durante situaciones operativas [66]. En la figura 12, muestra un nivel máximo de fricción a una velocidad de deslizamiento crítica, donde, a medida que se aumenta la velocidad, hay una tendencia a que la fricción disminuya, lo cual se debe a la reducción en el área de contacto del neumático con el pavimento.[67]



Fig. 12. La relación entre la fricción del pavimento y la velocidad de deslizamiento. [67]

Neumáticos

La rigidez del neumático desempeña una función crucial en el manejo del balanceo e inclinación del vehículo [68], afectando a la cantidad de ruido interno y externo producido por el movimiento del vehículo sobre el pavimento [50]. Sin embargo, su rendimiento es altamente impredecible incluso cuando el motor proporciona potencia adecuada, existiendo la posibilidad de deslizamiento, especialmente a través del hidroplaneo, que ocurre cuando hay una capa de agua entre el pavimento y el neumático, causando que éste se levante e impide la generación de fuerzas y momentos para la respuesta del vehículo a las acciones del

conductor, así, la fuerza del neumático juega un papel esencial en la precisión de la conducción. [69]; Además, la probabilidad de deslizamiento aumenta en superficies mojadas, lo que hace que la resistencia al deslizamiento en condiciones húmedas sea un indicador crucial para evaluar la seguridad de los neumáticos adquiriendo una importancia destacada en velocidades elevadas [70], por lo que es importante destacar que la temperatura de los neumáticos suele estar relacionada con la temperatura del aire. [63]

La deformación del neumático cuando está en contacto con el pavimento dependerá de factores tales como las propiedades mecánicas del material del neumático, la presión del neumático y la macrotextura de la superficie [22]. En teoría la carga normal de cada neumático se altera constantemente cuando se aplica cierta presión de freno [44], ocurrido debido a la transferencia de carga longitudinal y lateral del automóvil mientras se dirige, acelera y desacelera.

En la figura 13 se muestra un modelo que comprende tres zonas, describiendo las condiciones de contacto entre el neumático y la superficie durante el deslizamiento en superficies mojadas en relación con la fricción. La longitud de cada zona varía en función de la velocidad del vehículo y la cantidad de agua que debe eliminarse de la interfaz. Esta variación se atribuye, en parte, a factores como el lubricante y la velocidad de deslizamiento empleados en las mediciones de resistencia al deslizamiento. [54]

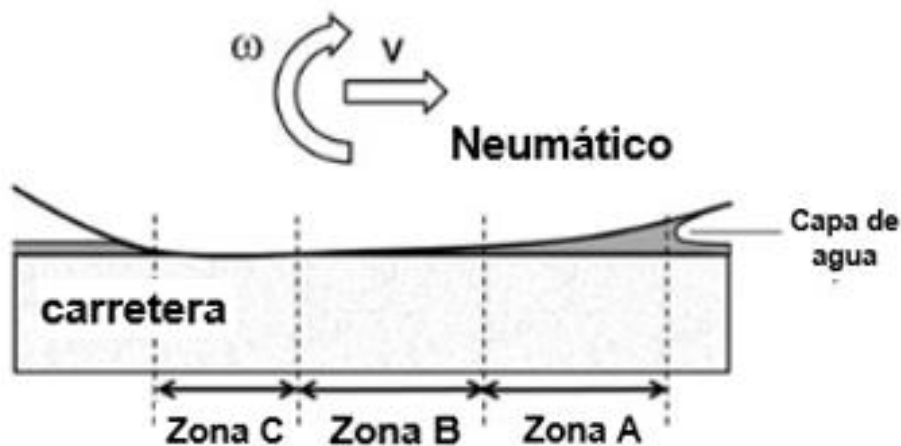


Fig. 13. Modelo de las tres zonas. [54]

La zona A es la zona de hundimiento y corresponde al régimen de lubricación elasto-hidrodinámica donde el agua separa completamente las dos superficies. La zona B es la zona de transición y corresponde al régimen de lubricación mixta donde los elementos de la banda de rodadura, habiendo penetrado la película de compresión, comienzan a cubrirse sobre las principales asperezas. La zona C es el contacto real o la zona de tracción, corresponde al régimen de lubricación límite en el que en partes se puede establecer contacto seco. [54]

Dado que la profundidad de la textura y la resistencia al deslizamiento son factores cruciales en el mecanismo de fricción y en la seguridad de las operaciones vehiculares en pavimentos [8], con el objetivo de aumentar la durabilidad, seguridad y eficiencia económica de los neumáticos, es esencial mejorar las propiedades relacionadas con la resistencia al deslizamiento, al desgaste y a la rodadura, por lo que la clave reside en mantener un equilibrio adecuado durante la fabricación de los compuestos para neumáticos [70]. Simultáneamente, el ingeniero de diseño aprovecha la información sobre el comportamiento del neumático para optimizar su rendimiento y mejorar la experiencia de conducción. [68]

Condiciones climáticas

El rendimiento del pavimento asfáltico disminuye con el tiempo debido a los efectos medioambientales [28] y la forma en que se relaciona con los materiales de la superficie y las cargas de tráfico, por lo cual la temperatura siendo el factor ambiental más importante puesto que a una mayor temperatura del pavimento implica un coeficiente de fricción decreciente [42], como por ejemplo la precipitación [52], los ciclos hielo-deshielo [71], además de otros, que influyen en la resistencia al deslizamiento al interferir con la fricción de los neumáticos, disminuyendo su valor en un 75% en comparación en superficies secas y limpias. [72]

La humedad y la temperatura se destacan como principales factores ambientales que afectan el desempeño del pavimento asfáltico, sus alteraciones afectan directamente las condiciones de tensión y deformación de la capa superficial del asfalto [28], observándose que la resistencia al deslizamiento varía, por lo general, siendo menor al concluir el verano y

mayor durante la temporada invernal [53] debido a que el caucho de los neumáticos como los materiales bituminosos son materiales viscoelásticos, son más sensibles a los cambios de temperatura [42], asimismo, según diversos estudios, la resistencia al deslizamiento en las carreteras disminuye significativamente en climas húmedos [72], lo que tiene un fuerte impacto en la incidencia de accidente relacionados con el deslizamiento durante el frenado en carreteras húmedas. [73]

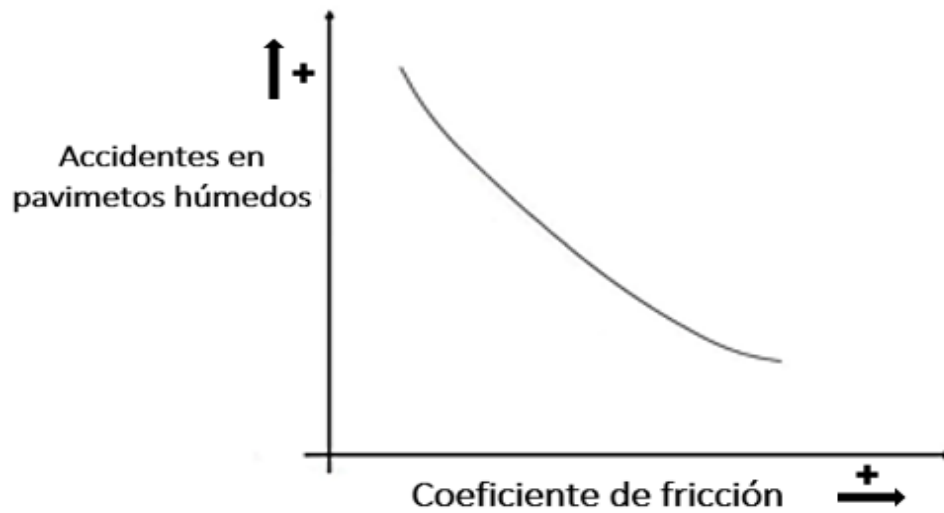


Fig. 14. Relación entre la tasa de accidentes con condiciones de clima húmedo y fricción superficial del pavimento. [8]

II. MATERIALES Y MÉTODO

2.1. Tipo y Diseño de Investigación

El tipo de investigación es aplicada y básica.

Investigación aplicada: Recolección de datos por medio de ensayos in situ

Investigación básica: Dichos datos en relación al marco teórico se describen la condición del pavimento en dicho tramo de acuerdo a parámetros establecidos por normas.

El diseño de la investigación se considera:

No Experimental Transversal: Se recogen múltiples datos del tramo a evaluar en un solo momento para así describir las variables sin manipularlas y la incidencia y relación de éstas con respecto al sujeto.

2.2. Variables, Operacionalización

Se tuvo de sujeto al Pavimento flexible y dos tipos de variables en la investigación, variable independiente: Resistencia al deslizamiento; y la variable dependiente: Seguridad Vial. La operacionalización de las variables se muestra en las siguientes tablas.

Tabla I.

Operacionalización de la variable independiente

Variable de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Valores finales	Tipo de variable	Escala de medición
Resistencia al deslizamiento	Fricción que resiste el movimiento relativo en la interfaz entre el neumático de un vehículo y una superficie de tráfico cuando se aplican fuerzas de frenado a la rueda. [47]	Medida de la microtextura de la superficie del pavimento flexible	Coefficiente de Fricción	$CRD_{min} = 0.45$	Péndulo británico (MTC E 1004)	Adimensional	Numérica	Intervalo
		Medida de la macrotextura de la superficie del pavimento flexible	Profundidad media de textura	MTD Buena = 0.7 Regular = 0.5 Mala = 0.3	Ensayo del círculo de arena (MTC E 1005)	mm		
		Cálculo de la constante de velocidad (Sp)	Índice de fricción internacional	IFI <small>Referencia</small>	Modelo PIARC (ASTM E-1960)	(Adimensional; Km/h)		
		Cálculo de la fricción armonizada a 60 Km/h						

Tabla II.

Operacionalización de la variable dependiente

Variable de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Tipo de variable	Escala de medición
Seguridad vial	Es un proceso sistemático de planificación, diseño y funcionamiento del tráfico vial implementando intervenciones asequibles y efectivas enfocados en las necesidades de los usuarios de las vías. [47]	Medida de la microtextura de la superficie del pavimento flexible	Factor Infraestructura	Inversiones	Gestión de pavimentos	Categorica	Intervalo
					Auditorias e inspecciones		
		Medida de la macrotextura de la superficie del pavimento flexible	Factor vehículo	Tasas de mortalidad	Estudios de impacto		
		Cálculo de la constante de velocidad (Sp)			Planes y programas de seguridad vial		
	Cálculo de la fricción armonizada a 60 Km/h	Factor Usuario					

2.3. Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección

La población a evaluar fue la Red Vial Nacional Longitudinal de la Costa Norte Ruta PE-1N Km 770 -775, estableciéndose 10 puntos con una distancia de alrededor de 500 metros entre ellos. Cabe mencionar que los ensayos realizados se desarrollaron en el carril derecho con dirección del Sur hacia el Norte.

Tabla III.

Ubicación de puntos evaluados en la carretera PE-1N Km 770-775

N° Prueba	Grados decimales		Grados, minutos, segundos		UTM	
	LATITUD	LONGITUD	LATITUD	LONGITUD	ESTE	NORTE
1	-6.873911°	- 79.817394°	6°52'26.08"S	79°49'2.62"O	630663.82	9240028.38
2	-6.869447°	- 79.817244°	6°52'10.01"S	79°49'2.08"O	630681.61	9240521.9
3	-6.865008°	- 79.816864°	6°51'54.03"S	79°49'0.71"O	630724.88	9241012.6
4	-6.861914°	- 79.819650°	6°51'42.89"S	79°49'10.74"O	630417.84	9241355.51
5	-6.857583°	- 79.824669°	6°51'27.30"S	79°49'28.81"O	629864.34	9241835.7
6	-6.852053°	- 79.826678°	6°51'7.39"S	79°49'36.04"O	629643.9	9242447.75
7	-6.847569°	- 79.828283°	6°50'51.25"S	79°49'41.82"O	629467.68	9242943.9
8	-6.843322°	- 79.829286°	6°50'35.96"S	79°49'45.43"O	629358.01	9243413.77
9	-6.838614°	- 79.829328°	6°50'19.01"S	79°49'45.58"O	629354.67	9243934.38
10	-6.833619°	- 79.829369°	6°50'1.03"S	79°49'45.73"O	629351.41	9244486.62



Fig. 15. Ubicación de los puntos evaluados en la carretera PE-1N Km 770-775

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Se aplicará la técnica de la Observación, de manera que los datos recogidos por medio de los ensayos del Péndulo Británico y Círculo de arena se plasmarán en los siguientes formatos de las guías de observación.

PENDULO BRITANICO												
PUNTO	SENTIDO	CARRIL	L1	L2	L3	L4	L5	L Promedio	T°	CRD		CONDICION
										Corregido	Mínimo	

Fig. 16. Formato de datos - Péndulo británico TRRL

CIRCULO DE ARENA									
PUNTO	VOLUMEN (mm ³)	D1	D2	D3	D4	D5	D PROMEDIO	MDT (mm)	TEXTURA

Fig. 17. Formato de datos - Círculo de arena

Con respecto a la validez y confiabilidad de datos, en el anexo 4 se adjuntan las fichas de validación según AIKEN, firmadas por 05 especialistas en el área de investigación con una validez del 0.95, siendo confiable. Asimismo, con las estadísticas de fiabilidad se muestran las tablas, donde los instrumentos utilizados en la investigación son válidos, superando las correlaciones de Pearson y el valor de la prueba de análisis de varianza.

2.5. Procedimiento de análisis de datos

Este proyecto destinado a la evaluación de la resistencia al deslizamiento superficial se enfoca en el cálculo de la textura del pavimento, es decir en la microtextura y macrotextura, mediante el Péndulo británico (TRRL) y el Circulo de arena respectivamente, especificados por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC). En relación con lo mencionado, se calculará también el Índice de Fricción Internacional (IFI) desarrollado por la Asociación Mundial de Carretera (PIARC) para comparar los datos obtenidos con los requisitos mínimos de referencia y determinar los valores de coeficiente de fricción en diferentes velocidades.

Para empezar, debemos saber los valores aceptados en la norma peruana, tanto del coeficiente de fricción al deslizamiento (CRD) como de la profundidad media de textura (MTD) y así poder calcular el IFI referencial que son valores que aseguran una óptima condición del pavimento en diferentes velocidades.

Al tener ubicados los puntos, procedemos a realizar ambos ensayos en cada punto y así obtener los valores necesarios para determinar el CRD y la MTD, asimismo, con estos valores se realizará el cálculo del IFI de la carretera a diferentes velocidades, las mismas que usamos para el IFI referencial.

Finalmente, con los resultados que se obtuvieron se analizó primero de forma independiente el valor promedio del CRD y de la MTD de acuerdo al valor mínimo que decreta el manual peruano de carreteras. Luego, comparamos los valores del IFI referencial y el IFI de la carretera para determinar si éste último se encuentra por encima o debajo de los valores aceptados.

Ensayo del Péndulo Británico TRRL

Es un método estándar, determina la resistencia al deslizamiento mediante la medición de la pérdida de energía cuando un borde deslizante de goma se balancea sobre una superficie de prueba, es decir utiliza la pérdida de impulso de un péndulo oscilante para medir las propiedades de fricción del pavimento. [74]



Fig. 18. Péndulo británico TRRL y equipo secundario

Procedimiento

Paso 1. Cuando ya tenemos determinado el punto a evaluar, se procede a posicionar el equipo en forma longitudinal al camino de manera que, el péndulo oscile en la misma dirección que los vehículos. Se coloca el brazo, ajustándolo de forma horizontal para que quede en el mismo eje donde irá soportado en todo el proceso. Una vez esto, se nivela mediante los tres apoyos guiándose de la burbuja.



Fig. 19. Paso 1 del ensayo del Péndulo británico TRRL

Paso 2. Se calibra el equipo en cero, para esto el brazo del péndulo debe estar libre, en otras palabras, no debe tener contacto con la superficie y así al oscilar el brazo, la aguja marque en el cero.



Fig. 20. Paso 2 del ensayo del Péndulo británico TRRL

Paso 3. Se calibra para el ensayo, de manera que bajamos el brazo al nivel que roce con la superficie con una medida de 127 mm de inicio a fin, con lo que nos ayudamos de una regla.

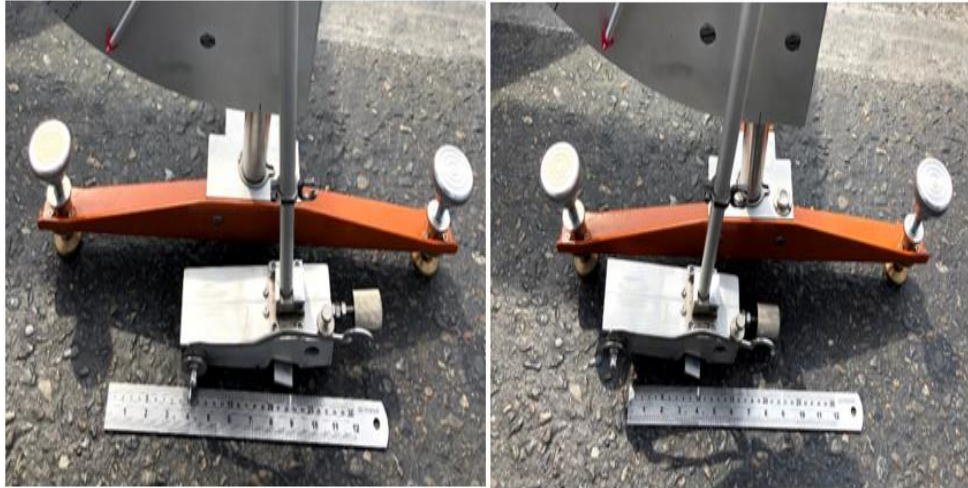


Fig. 21. Paso 3 del ensayo del Péndulo británico TRRL

Paso 4. Una vez calibrado todo, el brazo se coloca de forma horizontal y se limpia de impurezas el área de la superficie para luego mojarla al igual que la zapata, asimismo también se mide la temperatura.

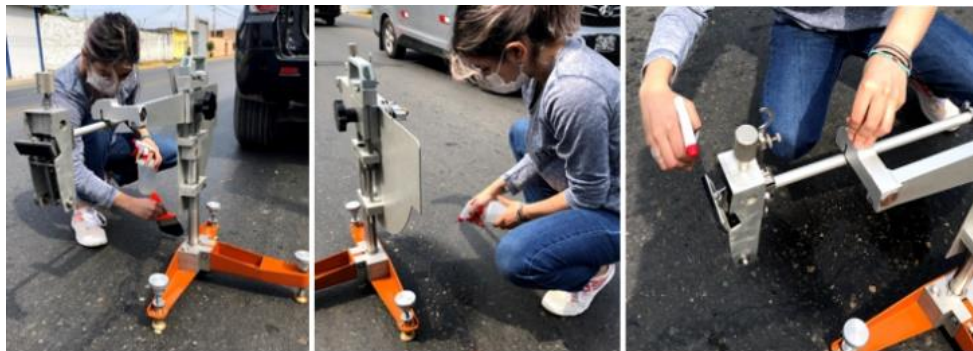


Fig. 22. Paso 4 del ensayo del Péndulo británico TRRL

Paso 5. Con el área lista, presionamos el botón que suelta al brazo haciéndolo oscilar y así la aguja marca el valor obtenido. Se realizan 05 tiros en cada punto donde los valores obtenidos no deben diferir en más de 3 unidades, de pasar eso, se continúa haciendo lecturas hasta que sean consecutivas.



Fig. 23. Paso 5 del ensayo del Péndulo británico TRRL

Paso 6. Las lecturas son registradas en campo en los formatos mencionados en el punto 2.4.

Parámetros

Los parámetros para el coeficiente de resistencia se toman del Manual de Carreteras: “Especificaciones generales para la construcción de carreteras” donde en la sección de aceptación de trabajos menciona que el CRD mínimo es de 0.45 para los diversos tipos de mezclas asfálticas. (Anexo 1)

Cálculos

El cálculo del coeficiente de fricción se realiza con una corrección de temperatura a 20°C bajo cualquier condición climática.

$$CRD_{\text{corregido}} = \frac{CRD_{\text{prom}}}{100} + FC_{20^{\circ}} \quad (2)$$

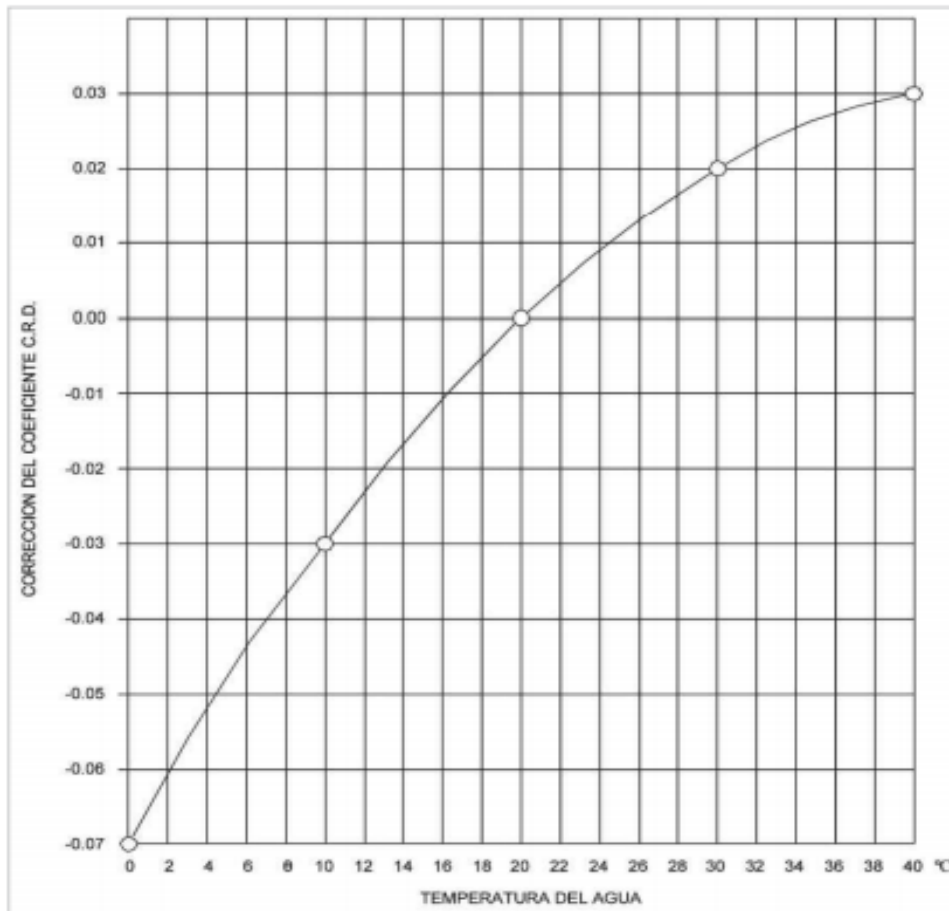


Fig. 24. Formato de las lecturas del coeficiente de fricción. [74]

Ensayo del Círculo de arena

Ensayo Volumétrico que determina la profundidad promedio de la macrotextura del pavimento sobre una región alisando un área con una cantidad conocida de arena normalizada libre de impurezas para evaluar la capacidad de evacuación de agua de la superficie [74]. Para este ensayo se utilizó arena fina limpia, tamizada tipo 80/100 y seca, en recipientes de 10 cm³.

Procedimiento

Paso 1. La ubicación de los puntos serán la misma que del ensayo del péndulo británico, sin embargo, el área debe estar seca y no presentar grietas o huecos mayores a 25 mm en profundidad. Se limpia la superficie de las impurezas.



Fig. 25. Paso 1 del ensayo del círculo de arena

Paso 2. La arena, tamizada y limpia, contenida en el cilindro de volumen de 10 cm³ y 25 cm³, hasta el tope se vacía en la superficie cuidando del viento ocasionado por el tránsito, protegida por una caja o una llanta.



Fig. 26. Paso 2 del ensayo del círculo de arena

Paso 3. Se esparce la arena en forma circular con el disco, tratando de llenar todas las cavidades de la superficie al ras.



Fig. 27. Paso 3 del ensayo del círculo de arena

Paso 4. Registramos 05 medidas de diámetros del círculo esparcido. Si los diámetros exceden a 30.5 mm se reduce el volumen a la mitad.



Fig. 28. Paso 4 del ensayo del círculo de arena

Paso 5. Los valores de los diámetros son registrados en campo en los formatos mencionados en el punto 2.4.

Parámetros

Los parámetros para la MTD se toman del “Manual de Carreteras: Sección suelos y pavimentos” donde en el capítulo 12 muestra los valores umbrales para la condición de la

textura superficial. (Anexo 1)

Cálculos

Los cálculos a desarrollar luego de esparcir la arena en el tramo a evaluar y medir el diámetro promediado, se calcula el promedio de la profundidad.

$$MDT = \frac{4 \times V}{\pi \times D^2} \quad (3)$$

Donde:

V = volumen de arena utilizada (mm³)

D = diámetro promedio del área cubierta por la arena (mm).

coefíndice de Fricción Internacional (IFI)

En este punto, es necesario mencionar que se realizan dos cálculos de IFI. El primero es calculado a partir de los valores recomendados por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) por lo que se considera como el IFI referencial, y el segundo se calcula con los valores promedios de los datos obtenidos de los ensayos del péndulo británico TRRL y del círculo de arena en la carretera evaluada; de esta manera podemos al final hacer una comparación entre ambos IFI para determinar la condición del pavimento. Sin embargo, el procedimiento explicado a continuación es el mismo para ambos.

Paso 1. Antes que nada, se toman los valores tanto del CRD como de la MTD (Anexo 1), éste último en mm.

Paso 2. Se calcula la constante de velocidad Sp, en función de la macrotextura, es decir, de la MTD.

$$Sp = a + (b \times MTD) \quad (4)$$

Donde a y b son constantes que dependen del dispositivo de medición de la macrotextura, en este caso MTD A8. Los valores empleados son tomados de PIARC (Anexo 2)

Paso 3. Cálculo del FR60, en función del coeficiente de fricción (CRD) obtenido en el

pavimento evaluado. Por otra parte, el valor de la velocidad de deslizamiento S es tomado de PIARC (Anexo 3).

$$FR_{60} = CRDe^{(S-60)/Sp} \quad (5)$$

Paso 4. Ahora se puede obtener el F60, donde A, B son constantes determinadas para cada dispositivo de medida en el experimento PIARC (Anexo 3), en este caso A14-BPT (Péndulo británico). Sin embargo, también depende la medida de la macrotextura, en este caso MTD, para elegir los valores de las constantes.

$$F(60) = A + (B \times FR_{60}) \quad (6)$$

Paso 5. Finalmente, con los parámetros anteriores ya conocidos se puede calcular la fricción a diferentes velocidades para luego plasmarla en una curva y ver su desarrollo. En el presente trabajo las velocidades trabajadas serán 0, 20, 40, 60, 80 y 100 Km/h debido a ser una red vial primaria.

$$F(S) = F(60)e^{(60-S)/Sp} \quad (7)$$

Paso 6. Por otra parte, para representar gráficamente los resultados en cuadrantes y saber los problemas específicos de la textura, se realiza un gráfico que consta de la curva F que son los valores referenciales de coeficientes de fricción con la profundidad media de textura, ambos a diferentes velocidades; y de la línea T que es la MTD referencial.

$$MTD \min = (Sp - a)/b \quad (8)$$

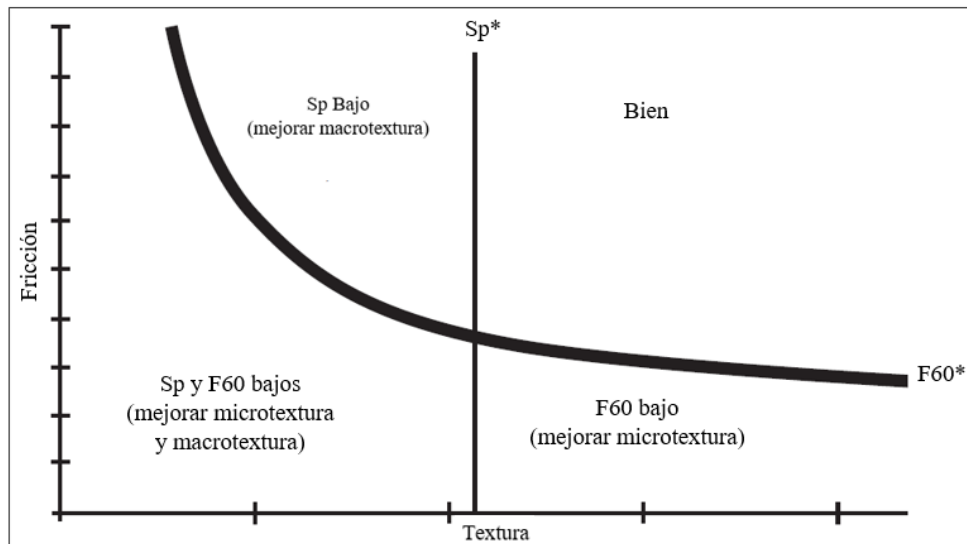


Fig. 29. Significado de las distintas zonas en un diagrama de fricción-textura. [47]

2.6. Criterios éticos

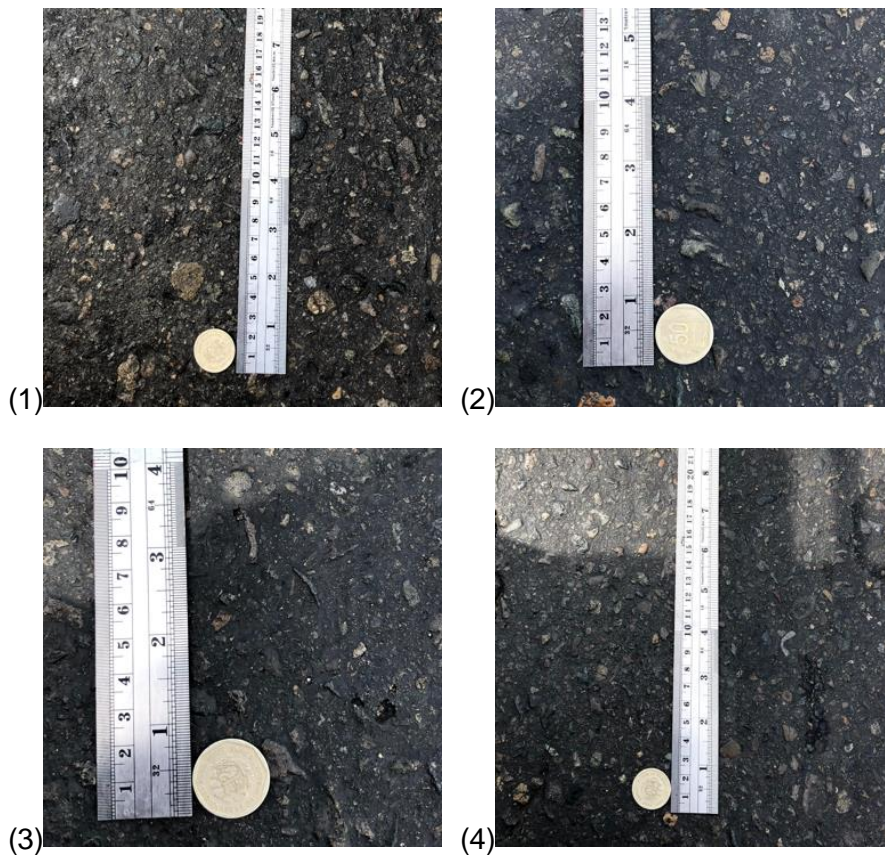
Esta investigación sigue los principios éticos del Código de Ética en Investigación de USS S.A.C, en particular, los delineados en los artículos 5 y 6 [75], que proporcionan las pautas esenciales para la realización adecuada de la investigación científica. Además, se adhiere a las políticas de prevención de plagio, garantizando la correcta citación de toda la documentación referenciada de acuerdo con el estilo bibliográfico IEEE.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados

De acuerdo con los objetivos, es necesario antes que nada tener en cuenta la apariencia de la textura de la superficie evaluada, ya que de esta manera se puede hacer una idea de su condición y esto se comprueba con los resultados de los ensayos correspondientes.

A continuación, se muestra la textura de cada punto donde se realizaron los ensayos a lo largo del tramo, donde se aprecia que todos tienen una textura cerrada.



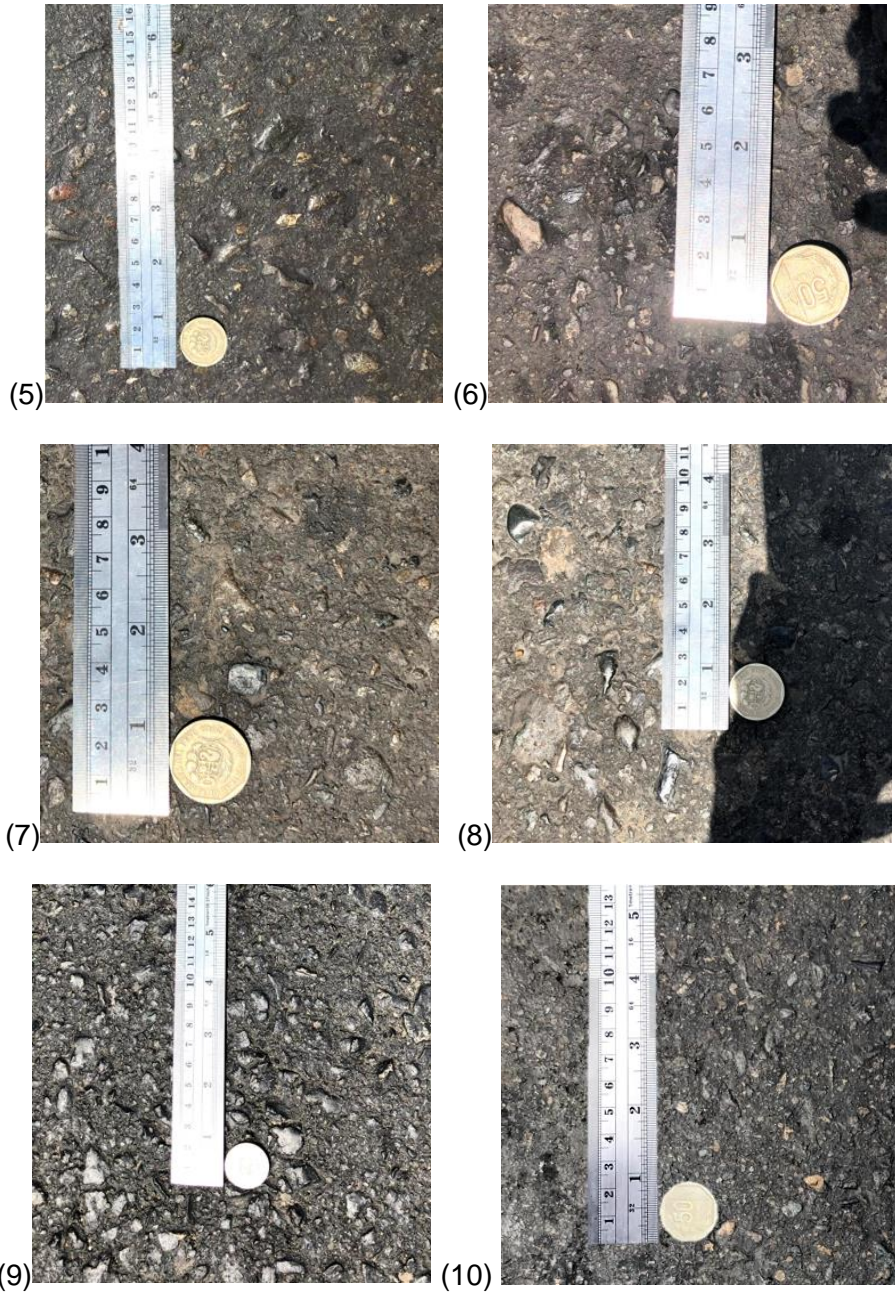


Fig. 30. *Textura de los puntos evaluados en la Panamericana Norte Km 770 - 775*

El primer objetivo específico de la presente tesis es determinar el coeficiente de fricción mediante el ensayo del péndulo británico TRRL, se muestra a continuación la tabla IV con los valores de coeficientes de fricción (CRD) corregidos y el promedio del tramo evaluado, a la par con una gráfica de la curva de dichos valores mencionados dentro de los parámetros mínimos de la norma peruana (Figura 32) y una representación gráfica de las medidas tomadas in situ (Figura 33).

El CRD Promedio obtenido del ensayo del Péndulo británico TRRL es 0.75 mientras que el CRD Referencial es 0.45, estando por encima del valor mínimo indicado en el MTC. Esto indica que la superficie cuenta con una adecuada microtextura, es decir garantiza la interacción básica entre el neumático y el pavimento con un área de contacto adecuada.

Tabla IV.

Valores de los coeficientes de fricción corregidos del tramo PE-1N Km 770-775

PUNTO	SENTIDO	CARRIL	L1	L2	L3	L4	L5	L Promedio	T°	CRD	
										Corregido	Mínimo
1	S - N	Der	78	76	77	76	76	0.77	19	0.77	0.45
2	S - N	Der	75	75	73	74	75	0.74	19	0.74	0.45
3	S - N	Der	74	75	74	74	74	0.74	20	0.74	0.45
4	S - N	Der	70	70	71	71	71	0.71	20	0.71	0.45
5	S - N	Der	68	69	68	70	70	0.69	20	0.69	0.45
6	S - N	Der	71	72	72	72	72	0.72	20	0.72	0.45
7	S - N	Der	76	76	76	77	77	0.76	20	0.76	0.45
8	S - N	Der	82	81	81	81	81	0.81	21	0.81	0.45
9	S - N	Der	84	84	84	84	84	0.84	21	0.84	0.45
10	S - N	Der	71	71	71	71	72	0.71	21	0.71	0.45
CRD promedio										0.75	

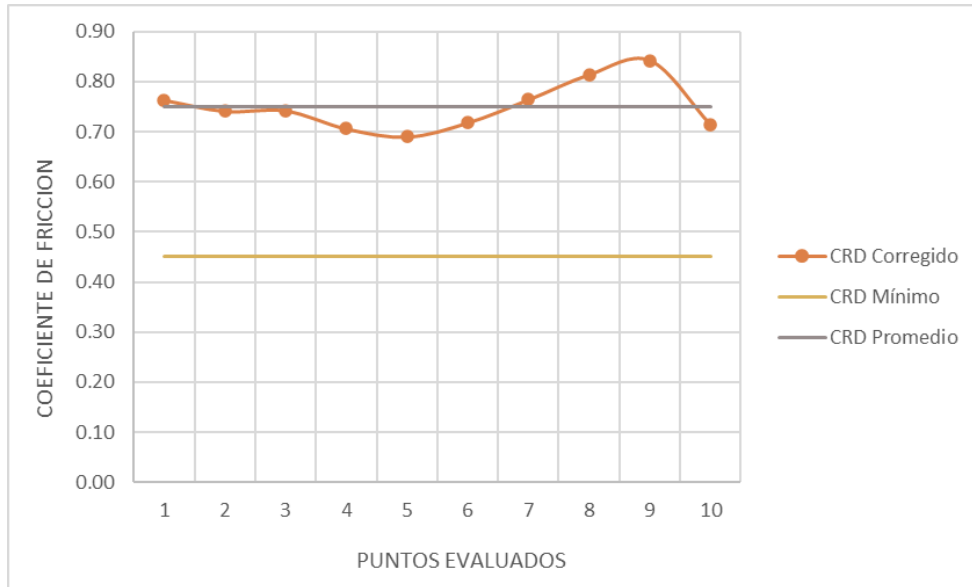


Fig. 31. Curva de los valores de CRD corregido, mínimo y promedio en los puntos evaluados



Fig. 32. Ejemplo de las mediciones en campo

El segundo objetivo específico es determinar la profundidad de la textura superficial del pavimento mediante el ensayo volumétrico del círculo de arena, se muestra a continuación la tabla V con los valores de profundidad media de la textura (MTD), a la par con una gráfica de la curva de dichos valores mencionados dentro de los parámetros mínimos de la norma peruana (Figura 34) y una representación gráfica de las medidas tomadas in situ (Figura 35).

La MTD promedio obtenido del ensayo del círculo de arena es 0.62 mm, estando por debajo del MTD Referencial que es 0.70mm, sin embargo, anexo 1 al ser mayor a 0.50 mm se considera una textura superficial en condición regular lo que requiere un seguimiento a

través del tiempo para garantizar su cumplimiento mas no es necesario una medida correctiva.

Tabla V.

Valores de la profundidad media de textura del tramo PE-1N Km 770-775

PUNTO	VOL mm ³	mm						D Prom	MTD	Textura
		D1	D2	D3	D4	D5				
1	10000	159	160	162	165	142	157.60	0.51	REGULAR	
2	10000	153	148	150	157	165	154.60	0.53	REGULAR	
3	10000	168	160	150	153	161	158.40	0.51	REGULAR	
4	10000	161	155	158	160	159	158.60	0.51	REGULAR	
5	10000	155	160	160	157	164	159.20	0.50	REGULAR	
6	10000	145	156	155	151	157	152.80	0.55	REGULAR	
7	10000	163	153	156	161	145	155.60	0.53	REGULAR	
8	10000	125	112	122	130	120	121.80	0.86	BUENA	
9	10000	108	112	115	116	116	113.40	0.99	BUENA	
10	10000	130	132	135	135	126	131.60	0.74	BUENA	

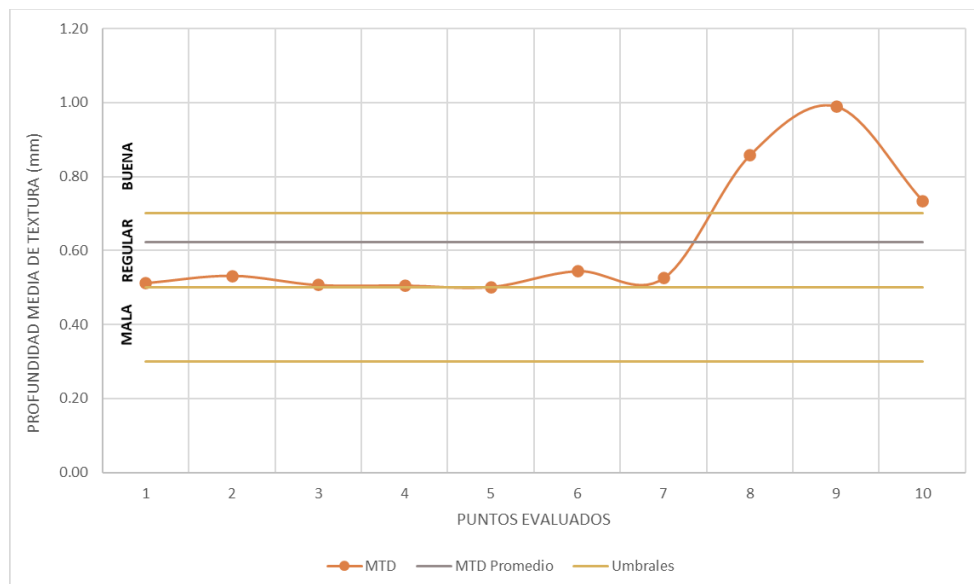


Fig. 33. Curva de los valores de MTD de los puntos evaluados



Fig. 34. Ejemplo de diámetros medidos en campo

El tercer objetivo específico es comparar los parámetros del Índice de Fricción Internacional Referencial con el Índice de Fricción Internacional del tramo evaluado, por lo cual se calculó dichos índices por separado. Por tratarse de una evaluación, en la presente investigación se desarrolla el diagrama de zonas con relación a la fricción – textura (Figura 40), para determinar de acuerdo a los valores referencial si los valores obtenidos son adecuados para un pavimento seguro y de no serlo, identificar los problemas específicos para establecer así las medidas correctivas correspondientes.

El IFI de la carretera Panamericana Norte PE-1N Km 770-775 donde sus parámetros (0.31, 59.04) son mayores al IFI Referencial (0.23, 67.94), indicando que la microtextura y macrotextura se encuentran en condiciones aceptables respecto a la seguridad vial.

Referencial

Para el cálculo del IFI que será de referencia con respecto a la carretera evaluada para una superficie de pavimento en buenas condiciones, tomaremos los valores mínimos brindados por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC). Así pues, con valores para CRD=0.45 y MTD=0.7mm (Anexo 1) resultó que el IFI de referencia es (0.23,67.94).

Tabla VI.

Valores del IFI Referencial	
IFI (F60, Sp) =	0.23, 67.94

- Constante de velocidad Sp

$$Sp = a + (b \times MTD)$$

$$Sp = -11.5981 + (113.63246 \times 0.7)$$

$$Sp = 67.9446 \cong 67.94 \text{ Km/h}$$

- FR60

$$FR60 = CRDe^{(S-60)/Sp}$$

$$FR60 = 0.45 * 100e^{(10-60)/67.94}$$

$$FR60 = 21.5585 \cong 21.56$$

- F60

$$F(60) = A + (B \times FR_{60})$$

$$F(60) = 0.07784 + (0.00709 \times 21.56)$$

$$F(60) = 0.2307 \cong 0.23$$

Asimismo, se calculan los CRD en relación a la velocidad, en este caso se tomó de forma gradual. De esta manera se puede saber hasta qué velocidad es seguro para el manejo de vehículos sin el riesgo de un deslizamiento.

$$F(S) = F(60)e^{(60-S)/Sp}$$

Tabla VII.

Coeficientes de fricción en relación a la velocidad para el IFI Referencial

Km/h	0	20	40	60	80	100
F(S)	0.56	0.42	0.31	0.23	0.17	0.13

- En velocidad 0 Km/h

$$F(0) = 0.23e^{(60-0)/67.94}$$

$$F(0) = 0.56$$

- En velocidad 20 Km/h

$$F(20) = 0.23e^{(60-20)/67.94}$$

$$F(20) = 0.42$$

- En velocidad 40 Km/h

$$F(40) = 0.23e^{(60-40)/67.94}$$

$$F(40) = 0.31$$

- En velocidad 60 Km/h

$$F(60) = 0.23e^{(60-60)/67.94}$$

$$F(60) = 0.23$$

- En velocidad 80 Km/h

$$F(80) = 0.23e^{(60-80)/67.94}$$

$$F(80) = 0.17$$

- En velocidad 100 Km/h

$$F(100) = 0.23e^{(60-100)/67.94}$$

$$F(100) = 0.13$$

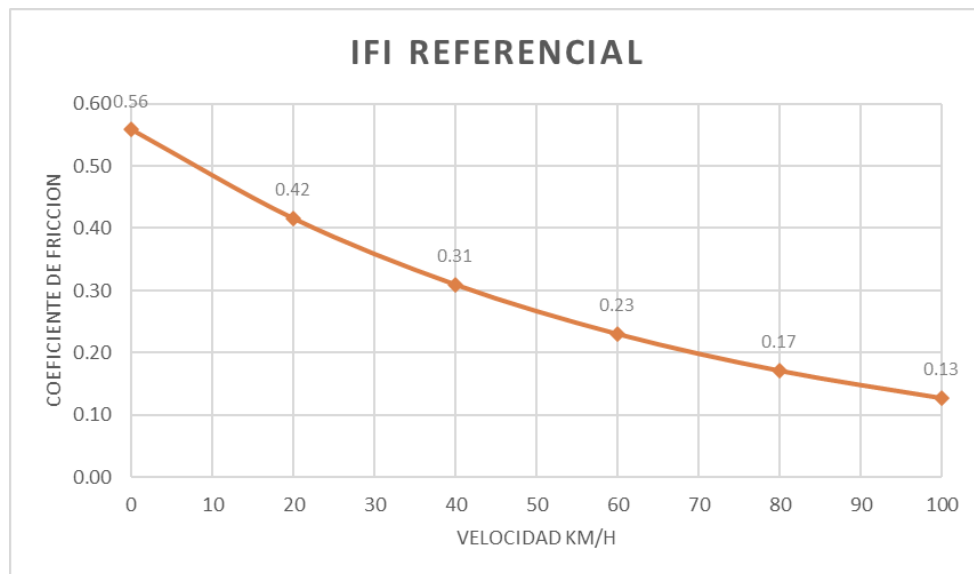


Fig. 35. Variación del coeficiente de fricción en diferentes velocidades

Por último, se calculan las MTD Mínimas en las diferentes velocidades

$$MTD_{\min} = (Sp - a)/b$$

Tabla VIII.

Profundidad media de textura en relación a la velocidad para el IFI Referencial

Km/h	0	20	40	60	80	100
MDT min	0.10	0.28	0.45	0.63	0.81	0.98

- En 0 Km/h

$$MTD_{\min} = \frac{0 - (-11.5981)}{113.63246}$$

$$MTD_{\min} = 0.10$$

- En 20 Km/h

$$MTD_{\min} = \frac{20 - (-11.5981)}{113.63246}$$

$$MTD_{\min} = 0.28$$

- En 40 Km/h

$$MTD_{\min} = \frac{40 - (-11.5981)}{113.63246}$$

$$MTD_{\min} = 0.45$$

- En 60 Km/h

$$MTD_{\min} = \frac{60 - (-11.5981)}{113.63246}$$

$$MTD_{\min} = 0.63$$

- En 80 Km/h

$$MTD_{\min} = \frac{80 - (-11.5981)}{113.63246}$$

$$MTD_{\min} = 0.81$$

- En 100 Km/h

$$MTD_{\min} = \frac{100 - (-11.5981)}{113.63246}$$

$$MTD_{\min} = 0.98$$

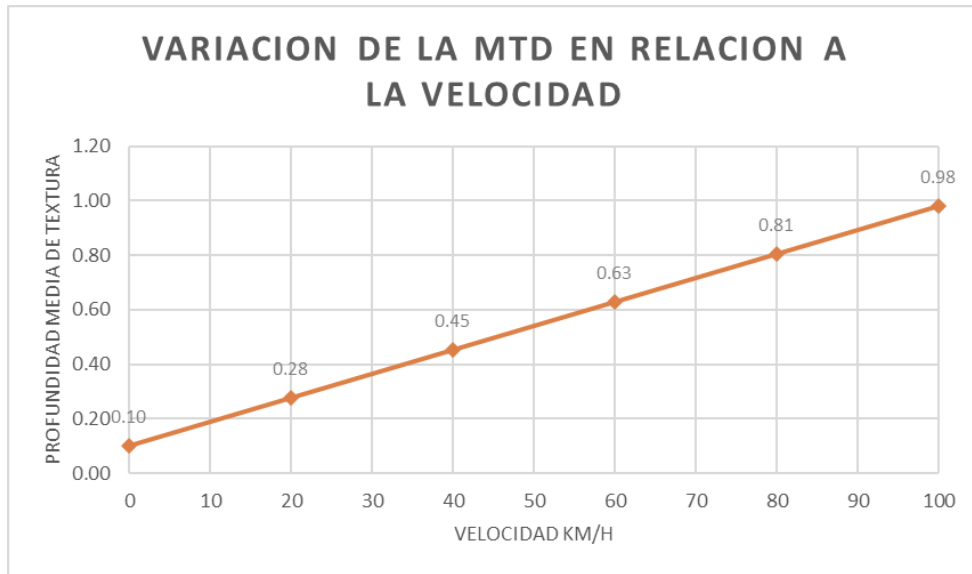


Fig. 36. Variación de la profundidad media de textura en diferentes velocidades

Evaluado

Para el cálculo del IFI que será comparado con el IFI Referencial, tomaremos los valores obtenidos por los ensayos realizados del péndulo británico TRRL y el círculo de arena, presentados en el punto 3.1.2 y 3.1.3 respectivamente. Así pues, con valores para CRD=0.75 y MTD=0.62 mm resultó que el IFI de la PE-1N Km 770-775 es (0.31,59.04).

Tabla IX.

Valores del IFI de PE-1N Km 770-775

$$\text{IFI (F60, Sp)} = 0.31, 59.04$$

- Constante de velocidad Sp

$$Sp = a + (b \times MTD)$$

$$Sp = -11.5981 + (113.63246 \times 0.62)$$

$$Sp = 59.0371 \cong 59.04 \text{ Km/h}$$

- FR60

$$FR60 = CRDe^{(S-60)/Sp}$$

$$FR_{60} = 0.75 * 100e^{(10-60)/59.04}$$

$$FR_{60} = 32.1291 \cong 32.13$$

- F60

$$F(60) = A + (B \times FR_{60})$$

$$F(60) = 0.07784 + (0.00709 \times 32.13)$$

$$F(60) = 0.3056 \cong 0.31$$

Asimismo, se calculan los coeficientes de fricción en relación a la velocidad, en este caso se tomó de forma gradual. De esta manera se puede saber hasta qué velocidad es seguro para el manejo de vehículos sin el riesgo de un deslizamiento.

$$F(S) = F(60)e^{(60-S)/Sp}$$

Tabla X.

Coeficientes de fricción en relación a la velocidad para el IFI

Km/h	0	20	40	60	80	100
F(S)	0.84	0.60	0.43	0.31	0.22	0.16

- En velocidad 0 Km/h

$$F(0) = 0.31e^{(60-0)/59.04}$$

$$F(0) = 0.84$$

- En velocidad 20 Km/h

$$F(20) = 0.31e^{(60-20)/59.04}$$

$$F(20) = 0.60$$

- En velocidad 40 Km/h

$$F(40) = 0.31e^{(60-40)/59.04}$$

$$F(40) = 0.43$$

- En velocidad 60 Km/h

$$F(60) = 0.31e^{(60-60)/59.04}$$

$$F(60) = 0.31$$

- En velocidad 80 Km/h

$$F(80) = 0.31e^{(60-80)/59.04}$$

$$F(80) = 0.22$$

- En velocidad 100 Km/h

$$F(100) = 0.31e^{(60-100)/59.04}$$

$$F(100) = 0.16$$

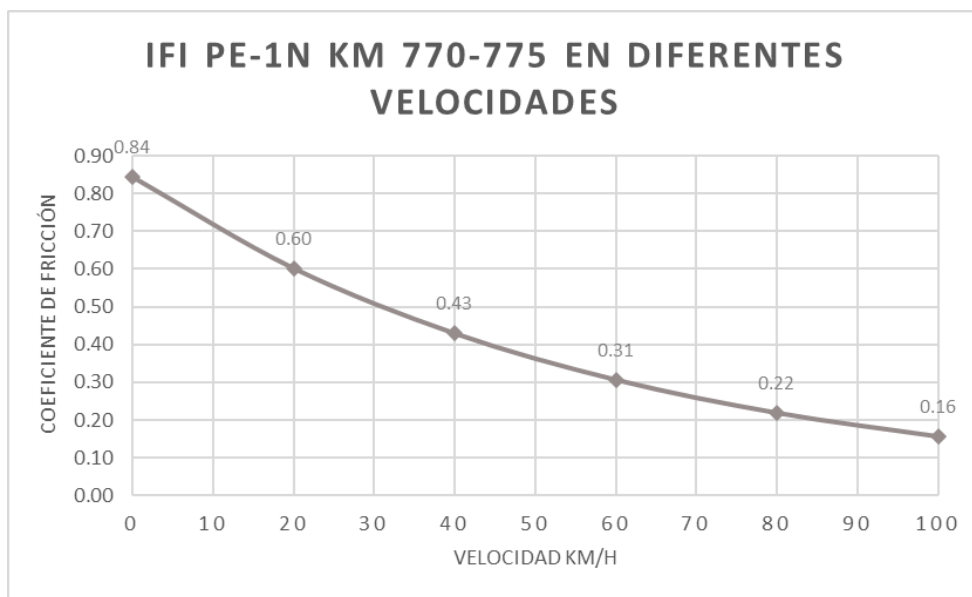


Fig. 37. Variación del coeficiente de fricción en diferentes velocidades

Tabla XI.

Resumen comparativo entre IFI ref. con el IFI PE-1N Km 770-775

IFI	CRD	MTD (mm)	Parámetros		F(s) Velocidad Km/h					
			F60	SP (Km/h)	0	20	40	60	80	100
REFER.	0.45	0.70	0.23	67.94	0.56	0.42	0.31	0.23	0.17	0.13
PE-1N	0.75	0.62	0.31	59.04	0.84	0.60	0.43	0.31	0.22	0.16

En la figura 38 se puede apreciar que los coeficientes de fricción a diferentes velocidades se encuentran por encima de los valores de referencia. No obstante, la diferencia

entre los coeficientes de fricción se va haciendo mínima con el aumento de velocidad debido a la reducción del área de contacto en la interfase pavimento - neumático, es decir, que en las altas velocidades y en condiciones extremas que afectan la resistencia al deslizamiento existe un riesgo, aunque mínimo, de hidroplaneo.

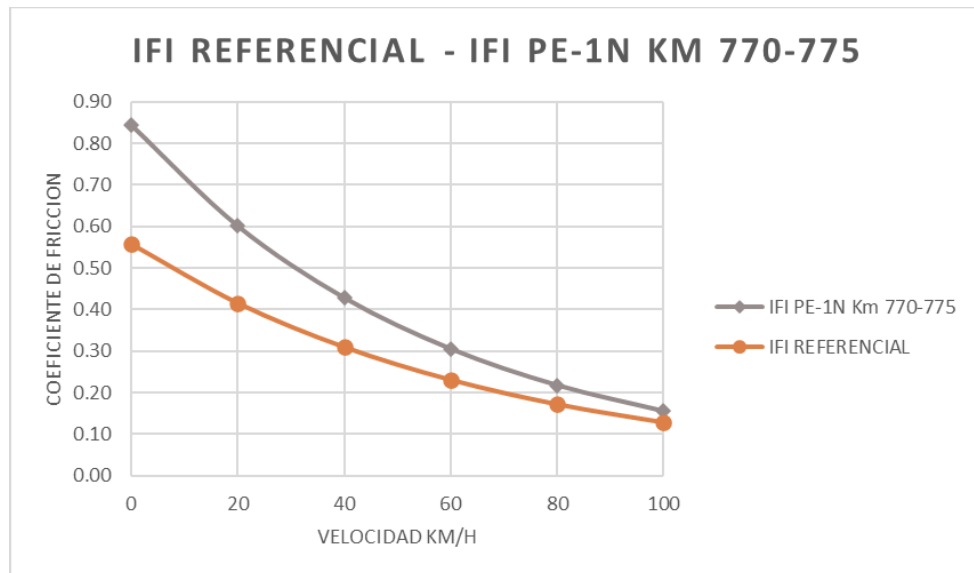


Fig. 38. Comparativo de la variación de coeficiente de fricción en diferentes velocidades

En la figura 39 indica que los puntos evaluados del 8 al 10 al encontrarse en el cuadrante II cumplen con los valores requeridos tanto en la microtextura como en la macrotextura. Sin embargo, los puntos del 1 al 6 se encuentran en el cuadrante I lo que significa que su Sp es bajo de manera que es necesario mejorar la macrotextura.

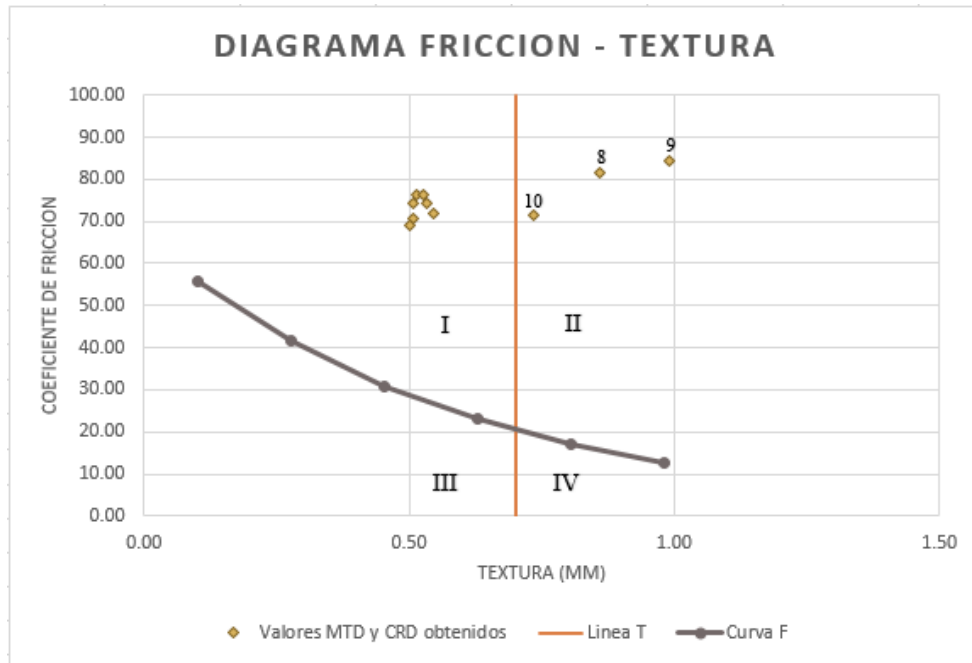


Fig. 39. Zonas en el diagrama Fricción – Textura

3.2. Discusión

Con respecto a Wu y Abadie [4], y la predicción del coeficiente de fricción, es una situación un poco incierta ya que se tiene la incógnita de que tan probable y exacto puede ser puesto que al estudiar las características de rozamiento del pavimento en su etapa de mezcla, puede haber una garantía que la mezcla está en sus óptimas condiciones, sin embargo no solo depende de la preparación de la mezcla, también está el proceso constructivo y las condiciones climáticas, que en estos últimos años son muy inestables y en muchas partes del mundo, se está experimentando climas de lo que no están acostumbrados. En contraste con Serigos, De Fortier Smit y Prozzi [22] que también realizó un estudio para la predicción, pero en la microtextura, con la cual es más preciso al decir que hubo una gran mejora al involucrar ambas texturas, y adicionalmente, tener en cuenta el área de contacto real entre el neumático y el pavimento, ya que nada será más acertado que lo que evalúas presente.

Con respecto a Afonso, Dinis-Almeida y Fael [21] menciona que no se encontró una correlación muy fuerte entre la profundidad media de textura y la resistencia al deslizamiento, sin embargo, la macrotextura, es la textura evaluada para determinar la profundidad media de textura, es importante para explicar la fricción superficial debido a la histéresis. En contraste con Suhaimi & Baharuddin [8] donde, en condiciones húmedas sí encontró una correlación.

Tanto Lubis, Muis y Gultom [23] Mundaca [24] estuvieron de acuerdo en que la superficie asfáltica al estar expuesta a diversos factores, su resistencia al deslizamiento con el tiempo no se encuentra en óptimo rendimiento, por lo que, para una seguridad vial duradera, la superficie debe estar en constante mantenimiento y así cumplir con su real tiempo de vida.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

El 100% del tramo presenta una buena microtextura con un CDR promedio de 0.75, mientras que el CDR mínimo recomendado en el Perú es de 0.45, garantizando la interacción básica entre el neumático y el pavimento con un área de contacto adecuada.

La MTD promedio del tramo es de 0.62 mm por consiguiente su macrotextura es regular, específicamente el 70% del tramo desde el Km 770 al 773.5, significando que existe el riesgo que el vehículo, en condiciones húmedas y altas velocidades, sufra un hidroplaneo debido a que la macrotextura no se encuentra en sus óptimas condiciones para evacuar la película de agua formada.

La Red Vial Nacional Longitudinal Ruta PE-1N Km 770-775 teniendo un IFI (0.31, 59.04) cumple con IFI referencial (0.23, 67.94). Los puntos 8, 9 y 10 ubicados entre los Km 773.5-775, el 30% del tramo se encuentra en óptimas condiciones debido a que la microtextura y macrotextura presentan valores por encima de los recomendados por el MTC.

4.2. Recomendaciones

Para la medición del coeficiente de fricción en la superficie, en el caso de realizar el ensayo del péndulo británico, se recomienda ubicar los puntos a evaluar en la parte del carril que están directamente afectada por la interacción vehículo – pavimento, es decir donde suelen transitar el mayor porcentaje de vehículos.

Con respecto a la Profundidad media de la textura, es decir la macrotextura, tiene valores que no cubren con los parámetros, se recomienda un sellado en los tramos con déficit para recuperar la adherencia y la evacuación de las películas de agua en lluvias como el Fenómeno del Niño.

La gestión de pavimentos debe tener, de manera principal, un enfoque preventivo en la preservación de las infraestructuras viales, puesto que es más factible social y económicamente que las medidas correctivas.

REFERENCIAS

- [1] G. Singh y R. Chauhan, «Sustainable Use of Plastic Waste and Crumb Rubber in Bituminous Concrete Production,» *Lecture Notes in Civil Engineering*, pp. 659 - 670, 2021.
- [2] A. Demir, J. Santos, S. Miller, R. Diele y G. Naarding, «Multi-objective optimization of flexible pavement design from an environmental and economic perspective,» *Journal of Cleaner Production*, 2023.
- [3] Q. Zhang, S. Yang y G. Chen, «Regional variations of climate change impacts on asphalt pavement rutting distress,» *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2023.
- [4] Z. Wu y C. Abadie, «Laboratory and field evaluation of asphalt pavement surface friction resistance,» *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, vol. 12, nº 3, pp. 372-381, 2018.
- [5] D. Alfonso Portela, Artist, *Determinación del coeficiente de resistencia al deslizamiento a partir de la macrotextura*. [Art]. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, 2018.
- [6] World Health Organization, Global status report on road safety 2018, 2018.
- [7] K. Bhalla y K. Gleason, «Effects of vehicle safety design on road traffic deaths, injuries, and public health burden in the Latin American region: a modelling study,» *The Lancet Global Health*, vol. 8, nº 6, pp. e819-e828, 2020.
- [8] A. Suhaimi y A. R. Baharuddin, «Threshold value of skid resistance and texture depth for Malaysia road,» *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 512, nº 1, 2019.
- [9] S. Martinez, R. Sanchez y P. Yañez-Pagans, «Road safety: challenges and opportunities in Latin America and the Caribbean,» *Latin American Economic Review*, vol. 28, 2019.
- [10] S. Repin, S. Evtiukov y S. Maksimov, «A method for quantitative assessment of vehicle reliability impact on road safety,» *Transportation Research Procedia*, vol. 36, pp. 661-668, 2018.
- [11] A. Abohassan, K. El-Basyouny y T. J. Kwon, «Exploring the associations between winter maintenance operations, weather variables, surface condition, and road safety: A path analysis approach,» *Accident Analysis & Prevention*, vol. 163, 2021.
- [12] R. C. McIlroy, C. Mont'Alvão, S. P. Cordovez, J. Váscquez-González y E. Ortiz Prado, «The influence of fatalistic beliefs and risk perceptions on road safety attitudes in Latin America; A two-country study,» *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, pp. 84 - 99, 2022.
- [13] M. Yu, Z. Yang, Z. You, Y. Luo, J. Li y L. Yang, «Laboratory investigation of traffic effect on the long-term skid resistance of asphalt pavements,» *Construction and Building Materials*, p. 401, 2023.

- [14] Y. Tan, J. Li, H. Xu, Z. Li y H. Wang, «The mechanisms, evaluation and estimation of anti-skid performance of snowy and icy pavement: A review,» *Journal of Road Engineering*, pp. 229-238, 2023.
- [15] T. Fwa y L. Chu, «The concept of pavement skid resistance state,» *Road Materials and Pavement Design*, 2019.
- [16] R. Kienle, W. Ressel, T. Götz y M. Weise, «The influence of road surface texture on the skid resistance under wet conditions,» *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, vol. 234, nº 3, pp. 313-319, 2020.
- [17] G. A. Gallardo Zevallos, Artist, *La seguridad vial en el Perú*. [Art]. Universidad de Piura, 2016.
- [18] RPP, «Ninguna de las 68 adendas a concesiones viales en Perú especifica infraestructura para seguridad,» 07 Febrero 2018.
- [19] Andina, «Lambayeque confía en reducir los accidentes de tránsito en la región,» 13 Octubre 2017.
- [20] M. Borja Suarez, «PROBLEMAS Y CARENCIAS DE LA CIUDAD: CHICLAYO: UNA MIRADA A SU INFRAESTRUCTURA,» 16 Setiembre 2011. [En línea]. Available: <http://vigilaperulambayeque.blogspot.com/2011/09/problemas-y-carencias-de-la-ciudad.html>.
- [21] M. L. Afonso , M. Dinis-Almeida y C. S. Fael, «Characterization of the Skid Resistance and Mean Texture Depth in a Permeable Asphalt Pavement,» *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 471, nº 2, 2019.
- [22] P. A. Serigos , A. De Fortier Smit y J. A. Prozzi, «Incorporating Surface Microtexture in the Prediction of Skid Resistance of Flexible Pavements,» *Transportation Research Record*, vol. 2457, pp. 105-113, 2014.
- [23] A. S. Lubis, Z. A. Muis y E. M. Gultom, «The effect of contaminant on skid resistance of pavement surface,» *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 126, nº 1, 2018.
- [24] J. C. Mundaca Cordova, Artist, *Evaluación del Coeficiente de Fricción del pavimento en 10 vías rápidas en Arequipa usando el Péndulo de Fricción Británico TRRL*. [Art]. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2019.
- [25] S. Kaur y P. Singh, «Design and Cost Analysis for the Rehabilitation of a Flexible Pavement Through the Study on Traffic Data,» *Lecture Notes in Civil Engineering*, pp. 717 - 731, 2021.
- [26] M. Nandal, H. Sood y P. K. Gupta, «A review study on sustainable utilisation of waste in bituminous layers of flexible pavement,» *Case Studies in Construction Materials*, vol. 19, 2023.
- [27] Pavement Engineering & Science Program, *Structural Design Guide for Flexible Pavement*, University of Nevada, Reno, 2022.
- [28] C. Wu, X. Zhu y W. Si, «Sensitivity analysis of asphalt pavement performance under freeze-thaw cycles by applying reliability method,» *Case Studies in Construction Materials*, vol. 19, 2023.

- [29] H. Delbono, «Restauración de pavimentos: adherencia entre capas con interposición de geosintético de diferente abertura de malla,» *Revista ingeniería de construcción*, vol. 34, nº 3, 2019.
- [30] S. Minaya González y A. Ordoñez Huaman, *Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos*, 2da Edición ed., Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2006.
- [31] J. Liu, J. Liu, P. Li y S. Saboundjian, «Performance Evaluation of Flexible Pavements with Asphalt-Treated Base Courses,» *Lecture Notes in Civil Engineering*, vol. 164, pp. 157 - 167, 2022.
- [32] P. Singh y S. Singh , «Performance Evaluation for Use of Recycled Concrete Aggregates in Flexible Pavement,» *Lecture Notes in Civil Engineering*, pp. 305 - 319, 2021.
- [33] G. Gupta, H. Sood y P. K. Gupta, «Utilization of Pond Ash for Sustainable Construction,» *Lecture Notes in Civil Engineering*, pp. 611 - 630, 2021.
- [34] P. Pokorny, J. K. Jensen, F. Gross y K. Pitera, «Safety effects of traffic lane and shoulder widths on two-lane undivided rural roads: A matched case-control study from Norway,» *Accident Analysis & Prevention*, vol. 144, 2020.
- [35] A. P. Bazhanov, «General issues of assessing the reliability of roads,» *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 632, nº 1, 2019.
- [36] A. Y. Kurnia, R. Dewi, D. Y. Permata, M. Pataras y S. Adelia, «Characteristics Comparison of Refinery Asphalt, Rubberized Asphalt, and Buton Asphalt in Stone Matrix Asphalt Pavement with Marshall and Cantabro Method,» *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1500, 2020.
- [37] PIARC; World Road Safety, *Road Safety Manual (RSM)*, Tercera ed., 2019.
- [38] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, *Plan Estratégico Nacional de Seguridad Vial PENsv 2017 - 2021*, Lima, 2019.
- [39] V. Jasiūnienė y R. Vaiškūnaitė, «Road safety assessment considering the expected fatal accident density,» pp. 31 - 48, 2020.
- [40] R. H. Ariyapijati, S. P. Hadiwardoyo y R. J. Sumabrata, «Skid resistance of gap graded hot-mix asphalt with added crumb rubber,» *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1376, nº 012010, 2019.
- [41] X. Huang, Y. Jiang, B. Zheng y R. Zhao, «Theory and methodology on safety braking of autonomous vehicles based on the friction characteristic of road surface,» *Kexue Tongbao/Chinese Science Bulletin*, pp. 3328 - 3340, 2020.
- [42] H. Pérez-Acebo, H. Gonzalo-Orden , D. Findley y E. Roji , «A skid resistance prediction model for an entire road network,» *Construction and Building Materials*, vol. 262, nº 120041, 2020.
- [43] S. Chen, T. U. Saeed, M. Alinizzi, S. Lavrenz y S. Labi, «Safety sensitivity to roadway characteristics: A comparison across highway classes,» *Accident Analysis and Prevention*, vol. 123, pp. 39-50, 2019.
- [44] B. Zheng, X. Huang, J. Tang, J. Chen, R. Zhao, Z. Hong, T. Tang y M. Han, «Evaluation on Braking Stability of Autonomous Vehicles Running along

- Curved Sections Based on Asphalt Pavement Adhesion Properties,» *Journal of Advanced Transportation*, vol. 2022, 2022.
- [45] Q. Deng, Y. Zhan, C. Liu, Y. Qiu y A. Zhang, «Multiscale power spectrum analysis of 3D surface texture for prediction of asphalt pavement friction,» *Construction and Building Materials*, p. 293, 2021.
- [46] Consejo Nacional de Seguridad Vial, «Programa de Intervenciones de Seguridad Vial PENsv 2017-2021,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.ccimasenalizaciones.pe/images/pdf/documentos/Programa-de-Intervenciones-de-Seguridad-Vial-PENsv.2017-2021.pdf>.
- [47] PIARC, International PIARC experiment to compare and harmonize texture and skid resistance measurements, España y Bélgica, 1995.
- [48] M. Stevenson y K. Bhalla, «Global road safety: a well-travelled road?,» *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 2020.
- [49] S. Evtiukov, M. Karelina y A. Terentyev, «A method for multi-criteria evaluation of the complex safety characteristic of a road vehicle,» *Transportation Research Procedia*, vol. 36, pp. 149-156, 2018.
- [50] M. N. Alamdarlo y S. Hesami, «Statistical analysis of variables affecting tire - pavement friction,» *International Journal of Pavement Research and Technology*, vol. 14, pp. 378 - 384, 2021.
- [51] M. Alonso, D. A. Mántaras y P. Luque, «Methodology for determining real time safety margin in a road vehicle,» *Transportation Research Procedia*, vol. 33, pp. 331-338, 2018.
- [52] M. Pomoni, C. Plati , A. Loizos y G. Yannis , «Investigation of pavement skid resistance and macrotexture on a long-term basis,» *International Journal of Pavement Engineering*, pp. 1-10, 2020.
- [53] M. -T. Do, V. Cerezo y C. Ropert, «Questioning the approach to predict the evolution of tire/road friction with traffic from road surface texture,» *Surface Topography: Metrology and Properties*, vol. 8, nº 2, 2020.
- [54] A. Ueckermann, D. Wang, M. Oeser y B. Steinauer, «A contribution to non-contact skid resistance measurement,» *International Journal of Pavement Engineering*, vol. 16, nº 7, pp. 646 - 659, 2015.
- [55] Ministerio de Transporte y Comunicaciones, MTC, Manual de Seguridad Vial, Lima, 2017.
- [56] A. Ramirez Rodriguez, Artist, *Nuevo procedimiento de ensayo para determinar el coeficiente de pulimento acelerado de mezclas bituminosas*. [Art]. Universidad Politecnica de Madrid, 2017.
- [57] M. Wasilewska, W. Gardziejczyk y P. Gierasimiuk, «Comparison of measurement methods used for evaluation the skid resistance of road pavements in Poland–case study,» *International Journal of Pavement Engineering*, pp. 1662 - 1668, 2020.
- [58] CNSV., «Consejo Nacional de Seguridad Vial,» Lima, 2017.
- [59] R. Vaiana, M. De Rose y G. Perri, «Microsurfacing: a predictive macrotexture model from mix design parameters,» *Construction and Building*

Materials, vol. 409, 2023.

- [60] V. Nicolosi, M. D'Apuzzo y A. Evangelisti, «Cumulated frictional dissipated energy and pavement skid deterioration: Evaluation and correlation,» *Construction and Building Materials*, vol. 263, nº 120020, 2020.
- [61] V. Arricale, F. Carputo, F. Farroni, A. Sakhnevych y F. Timpone, «Experimental investigations on tire/road friction dependence from thermal conditions carried out with real tread compounds in sliding contact with asphalt specimens,» *Key Engineering Materials*, vol. 813 KEM, pp. 261- 266, 2019.
- [62] M. Mahanpoor , S. Monajjem y V. Balali , «An optimization model for synchronous road geometric and pavement enhancements,» *Journal of Traffic and Transportation Engineering* , vol. 8, nº 3, pp. 421 - 438, 2021.
- [63] H. Perez-Acebo , H. Gonzalo-Orden , D. Findley y E. Roji , «A skid resistance prediction model for an entire road network,» *Construction and Building Materials*, vol. 262, nº 120041, 2020.
- [64] J. Li , J. Yu , J. Xie y Q. Ye , «Performance degradation of large-sized asphalt mixture specimen under heavy load and its affecting factors using multifunctional pavement material tester,» *Materials*, vol. 12, nº 23, 2019.
- [65] D. Bellini , M. Iaconis y E. Traettino , «Speed limits and road warning signs as aid for driving behavior,» *Transportation Research Procedia*, vol. 45, pp. 135 - 142, 2020.
- [66] M. Kane , M.-T. Do , V. Cerezo , Z. Rado y C. Khelifi , «Contribution to pavement friction modelling: an introduction of the wetting effect,» *International Journal of Pavement Engineering*, vol. 20, nº 8, pp. 965 - 976, 2019.
- [67] J. Ivan , N. Ravishanker , E. Jackson , B. Aronov y S. Guo , «A Statistical Analysis of the Effect of Wet-Pavement Friction on Highway Traffic Safety,» *Journal of Transportation Safety and Security*, vol. 4, nº 2, pp. 116 - 136, 2012.
- [68] V. S. Swamy, H. G. Shivayogi y N. R. Mathivanan, «Selection of Optimal Tire and Design Optimisation of Steering System for a Formula Student Race Car through Tire Data Treatment,» *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1478, nº 1, 2020.
- [69] A. Nazari , L. Chen , F. Battaglia , J. Ferris , G. Flintsch y S. Taheri , «Prediction of Hydroplaning Potential Using Fully Coupled Finite Element-Computational Fluid Dynamics Tire Models,» *Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME*, vol. 142, nº 10, 2020.
- [70] C. Mao, Y. Ma, S. Wu, Y. Wei y J. Li, «Wear resistance and wet skid resistance of composite bionic tire tread compounds with pit structure,» *Materials Research Express*, vol. 6, nº 8, 2019.
- [71] T. Tan , C. Xing , Y. Tan y X. Gong , «Safety aspects on icy asphalt pavement in cold region through field investigations,» *Cold Regions Science and Technology*, vol. 161, pp. 21 - 31, 2019.
- [72] X. Zhu , Y. Yang , H. Zhao , D. Jelagin , F. Chen , F. Gilabert y A. Guarin , «Effects of surface texture deterioration and wet surface conditions on asphalt runway skid resistance,» *Tribology International*, vol. 153, nº 106589, 2021.

- [73] J. Peng , L. Chu y T. Fwa , «Determination of safe vehicle speeds on wet horizontal pavement curves,» *Road Materials and Pavement Design*, pp. 2641 - 2653, 2021.
- [74] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, MTC, Manual de Ensayo de Materiales, Lima, 2016.
- [75] Ministerio de Transportes y Comunicaciones , Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, Lima, 2014.
- [76] Vicerrectorado de Investigación, Código de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán S.A.C., Pimentel, 2022.

ANEXOS

Anexo 1. *Parámetros peruanos de coeficiente de fricción y Profundidad media de textura*

TIPO	CRD min
Tratamiento superficial	
Mezcla asfáltica en caliente	
Mortero asfáltico	
Micro-pavimento	
Mezcla densa en frío	0.45
Mezcla abierta en frío	
Mezcla asfáltica porosa	
Mezcla asfáltica Stone Mastic Asphalt	
Concreto hidráulico	

Textura Superficial	Superficie De Rodadura Mezcla Asfáltica
	Textura (mm)
Buena	0.70
Regular	0.50
Mala (Superficie resbaladiza)	0.30

Anexo 2. Constante de velocidad Sp

TABLE 24. REGRESSIONS OF THE PREDICTED SPEED CONSTANT S_p WITH THE GOLD SPEED CONSTANT G_S .
 TABLEAU 24. RÉGRESSIONS SERVANT À PRÉDIRE LA CONSTANTE S_p À PARTIR DE LA CONSTANTE DE VITESSE D'OR G_S .
 TABLA 24. REGRESIÓN ENTRE LA CONSTANTE DE VELOCIDAD S_p Y LA CONSTANTE DE VELOCIDAD DE REFERENCIA G_S .

METHOD	DEVICE	V	N	a	b	Max E	Ave E	RMSE	R
MPD	A2	34	69	14.235	89.719746	77.80	14.78	21.33	0.956
ETD	A2	34	69	37.3855	76.9768	78.27	14.79	21.42	0.950
MPD	A5	0	65	9.74081	81.67568	77.19	16.94	23.18	0.941
TDMA	A2	34	69	17.3401	94.25999	69.42	17.75	23.59	0.939
MTD	A8	0	69	-11.5981	113.63246	85.38	17.95	25.42	0.930
MTD	A3B	60	25	-12.6729	119.769	57.90	18.70	25.39	0.920
4SC	D3	60	67	17.628	92.9984	125.73	18.54	28.02	0.915
RQ	D3	60	67	14.1414	180.6588	130.17	19.33	28.71	0.911
MPD	A4	18	69	11.5017	69.13345	96.95	20.80	29.14	0.906
RMS	A2	34	69	18.7992	170.08937	96.47	20.14	28.57	0.906
RA	D3	60	64	16.395	225.4199	126.00	19.07	28.56	0.906
RMS	A1	30	69	22.6763	285.61917	86.20	23.48	29.31	0.902
MPD	A4	36	69	9.22889	83.2893	109.41	21.59	30.39	0.897
MTD	A3B	30	25	-3.4267	116.55418	73.32	21.48	29.27	0.892
RMS	A3B	60	25	13.9824	186.7008	71.52	23.41	30.97	0.878
1/TIME	B11E	80	33	48.1228	129.9821	69.52	15.45	24.20	0.877
MTD	A3B	80	25	-3.05123	108.202	72.06	24.69	31.96	0.870
RMS	A5	0	66	21.1784	158.69943	96.14	24.67	35.10	0.862
CSMTD	D4	50	58	30.6987	148.4899	141.45	23.44	34.48	0.814
MTD	D2	69	62	-34.9681	142.6474	128.76	20.01	37.21	0.806
RMS	A3B	80	25	21.4705	172.5365	95.43	29.92	39.02	0.798
SMTD	D5	50	63	25.8322	139.6801	151.73	24.40	36.48	0.793
RMS	A3B	30	25	35.2133	154.6843	114.56	29.22	46.46	0.781
ROUGH	A3E	30	33	9.67855	215.1516	71.81	21.62	31.61	0.779
MEGA	A3E	30	33	32.535	247.9318	90.98	21.96	32.78	0.759
MPD	A4	72	69	42.256	139.2028	146.97	35.23	48.10	0.714
FINE	A3E	30	33	21.9145	317.0124	115.30	29.81	43.74	0.496
BPN	A14	0	68	-130.262	3.70656	177.74	48.60	61.44	0.451
BPN	B7	0	62	-44.4114	2.99675	162.51	50.41	60.05	0.397

Method / Método / Método

Anexo 3. Valores A y B constantes de calibración

MACROTEXTURE MEASURE IS MTD / LA MESURE DE MACROTEXTURE EST LA MTD /
LA MEDIDA DE LA MACROTEXTURA ES MTD

«MICROTEXTURE»	S	N	A	B	C	Max E	Ave E	RMSE	R
A13.20	20	65	0.09269	0.78191	0	0.072	0.025		0.96
A14	10	68	0.07784	0.00709	0	0.123	0.042		0.875
B7	10	62	0.05408	0.00917	0	0.157	0.033		0.923
D8.5	0.7	23	0.08317	0.84639	0	0.081	0.029		0.935

Anexo 4. Instrumentos de validación estadística con criterio jueces expertos y criterio muestra piloto



Colegiatura N° 24446

Ficha de validación según AIKEN

I. Datos generales

Apellidos y nombres del informante	Cargo o Institución donde labora	Nombre del instrumento de evaluación	Autor del Instrumento
Ruiz Saavedra, Nepton David	Universidad Señor de Sipán	Ensayo del Péndulo Británico TRRL, Círculo de arena e Índice de fricción internacional (IFI)	Zevallos Calle, Flor de María Yanira
Título de la Investigación: Evaluación de la resistencia al deslizamiento para la seguridad vial en pavimentos flexibles			

II. Aspectos de validación de cada ítem

Estimado complete la siguiente tabla después de haber observado y evaluado el instrumento adjunto. Escriba (A) acuerdo o (D) desacuerdo en la segunda columna. Asimismo, si tiene alguna opción o propuesta de modificación, escriba en la columna correspondiente.

ITEMS	ACUERDO O DESACUERDO	MODIFICACIÓN Y OPINIÓN
1	A	APLICABLE
2	A	APLICABLE
3	A	APLICABLE

III. Opinión de aplicabilidad del instrumento certificado de validez de contenido del instrumento

	Dimensiones/Ítems	Claridad		Contexto		Congruencia		Dominio del constructo	
		Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
1	Coefficiente de fricción	x		x		x		x	
2	Profundidad media de Textura	x		x		x			x
3	Índice de fricción internacional	x			x	x		x	

Observaciones (precisar si hay suficiencia): Ninguna

Opinión de aplicabilidad: Aplicable (X) Aplicable después de corregir () No aplicable ()

Apellidos y nombres del juez validador: Ruiz Saavedra, Nepton David

Especialidad: Ingeniero Civil

Colegiatura N° 20853

Ficha de validación según AIKEN

I. Datos generales

Apellidos y nombres del informante	Cargo o Institución donde labora	Nombre del instrumento de evaluación	Autor del Instrumento
Ballena del Río, Pedro Manuel	Universidad Señor de Sipán	Ensayo del Péndulo Británico TRRL, Círculo de arena e Índice de fricción internacional (IFI)	Zevallos Calle, Flor de María Yanira
Título de la Investigación:			
Evaluación de la resistencia al deslizamiento para la seguridad vial en pavimentos flexibles			

II. Aspectos de validación de cada ítem

Estimado complete la siguiente tabla después de haber observado y evaluado el instrumento adjunto. Escriba (A) acuerdo o (D) desacuerdo en la segunda columna. Asimismo, si tiene alguna opción o propuesta de modificación, escriba en la columna correspondiente.

ITEMS	ACUERDO O DESACUERDO	MODIFICACIÓN Y OPINIÓN
1	A	APLICABLE
2	A	APLICABLE
3	A	APLICABLE

III. Opinión de aplicabilidad del instrumento certificado de validez de contenido del instrumento

	Dimensiones/Ítems	Claridad		Contexto		Congruencia		Dominio del constructo	
		Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
1	Coefficiente de fricción	x		x		x		x	
2	Profundidad media de Textura	x		x		x			x
3	Índice de fricción internacional	x			x	x		x	

Observaciones (precisar si hay suficiencia): Ninguna

Opinión de aplicabilidad: Aplicable (X) Aplicable después de corregir () No aplicable ()

Apellidos y nombres del juez validador: Ballena del Río, Pedro Manuel

Especialidad: Ingeniero Civil

do Pedro Ballena del Río

Colegiatura N° 59091

Ficha de validación según AIKEN

I. Datos generales

Apellidos y nombres del informante	Cargo o Institución donde labora	Nombre del instrumento de evaluación	Autor del Instrumento
Medrano Lizarzaburu Eithel Yván	Universidad Señor de Sipán	Ensayo del Péndulo Británico TRRL, Círculo de arena e Índice de fricción internacional (IFI)	Zevallos Calle, Flor de María Yanira
Título de la Investigación:			
Evaluación de la resistencia al deslizamiento para la seguridad vial en pavimentos flexibles			

II. Aspectos de validación de cada ítem

Estimado complete la siguiente tabla después de haber observado y evaluado el instrumento adjunto. Escriba (A) acuerdo o (D) desacuerdo en la segunda columna. Asimismo, si tiene alguna opción o propuesta de modificación, escriba en la columna correspondiente.

ITEMS	ACUERDO O DESACUERDO	MODIFICACIÓN Y OPINIÓN
1	A	APLICABLE
2	A	APLICABLE
3	A	APLICABLE

III. Opinión de aplicabilidad del instrumento certificado de validez de contenido del instrumento

	Dimensiones/Ítems	Claridad		Contexto		Congruencia		Dominio del constructo	
		Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
1	Coefficiente de fricción	x		x		x		x	
2	Profundidad media de Textura	x		x		x			x
3	Índice de fricción internacional	x			x	x		x	

Observaciones (precisar si hay suficiencia): Ninguna

Opinión de aplicabilidad: Aplicable (X) Aplicable después de corregir () No aplicable ()

Apellidos y nombres del juez validador: Medrano Lizarzaburu Eithel Yván

Especialidad: Ingeniero Civil



INGENIERO CIVIL
REG CIP N° 59091

Colegiatura N° 30694

Ficha de validación según AIKEN

I. Datos generales

Apellidos y nombres del informante	Cargo o Institución donde labora	Nombre del instrumento de evaluación	Autor del Instrumento
Salinas Vásquez, Néstor Raúl	Universidad Señor de Sipán	Ensayo del Péndulo Británico TRRL, Círculo de arena e Índice de fricción internacional (IFI)	Zevallos Calle, Flor de María Yanira
Título de la Investigación:			
Evaluación de la resistencia al deslizamiento para la seguridad vial en pavimentos flexibles			

II. Aspectos de validación de cada ítem

Estimado complete la siguiente tabla después de haber observado y evaluado el instrumento adjunto. Escriba (A) acuerdo o (D) desacuerdo en la segunda columna. Asimismo, si tiene alguna opción o propuesta de modificación, escriba en la columna correspondiente.

ITEMS	ACUERDO O DESACUERDO	MODIFICACIÓN Y OPINIÓN
1	A	APLICABLE
2	A	APLICABLE
3	A	APLICABLE

III. Opinión de aplicabilidad del instrumento certificado de validez de contenido del instrumento

	Dimensiones/Ítems	Claridad		Contexto		Congruencia		Dominio del constructo	
		Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
1	Coefficiente de fricción	x		x		x		x	
2	Profundidad media de Textura	x		x		x			x
3	Índice de fricción internacional	x			x	x		x	

Observaciones (precisar si hay suficiencia): Ninguna

Opinión de aplicabilidad: Aplicable (X) Aplicable después de corregir () No aplicable ()

Apellidos y nombres del juez validador: Salinas Vásquez, Néstor Raúl

Especialidad: Ingeniero Civil



Colegiatura N° 75063

Ficha de validación según AIKEN

I. Datos generales

Apellidos y nombres del informante	Cargo o Institución donde labora	Nombre del instrumento de evaluación	Autor del Instrumento
Villegas Granados, Luis Mariano	Universidad Señor de Sipán	Ensayo del Péndulo Británico TRRL, Círculo de arena e Índice de fricción internacional (IF)	Zevallos Calle, Flor de María Yanira
Título de la Investigación:			
Evaluación de la resistencia al deslizamiento para la seguridad vial en pavimentos flexibles			

II. Aspectos de validación de cada ítem

Estimado complete la siguiente tabla después de haber observado y evaluado el instrumento adjunto. Escriba (A) acuerdo o (D) desacuerdo en la segunda columna. Asimismo, si tiene alguna opción o propuesta de modificación, escriba en la columna correspondiente.

ITEMS	ACUERDO O DESACUERDO	MODIFICACIÓN Y OPINIÓN
1	A	APLICABLE
2	A	APLICABLE
3	A	APLICABLE

III. Opinión de aplicabilidad del instrumento certificado de validez de contenido del instrumento

	Dimensiones/Ítems	Claridad		Contexto		Congruencia		Dominio del constructo	
		Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
1	Coefficiente de fricción	x		x		x		x	
2	Profundidad media de Textura	x		x		x			x
3	Índice de fricción internacional	x			x	x		x	

Observaciones (precisar si hay suficiencia): Ninguna

Opinión de aplicabilidad: Aplicable (X) Aplicable después de corregir () No aplicable ()

Apellidos y nombres del juez validador: Villegas Granados, Luis Mariano

Especialidad: Ingeniero Civil

VALIDEZ Y CONFIABILIDAD POR 5 JUECES EXPERTOS

INSTRUMENTO SOBRE EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO PARA LA SEGURIDAD VIAL EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

	Claridad			Contexto		
	Coefficiente de fricción	Profundidad media de textura	Índice de fricción internacional	Coefficiente de fricción	Profundidad media de textura	Índice de fricción internacional
JUEZ 1	1	1	1	1	1	0
JUEZ 2	1	1	1	1	1	1
JUEZ 3	1	1	1	1	1	1
JUEZ 4	1	1	1	1	1	1
JUEZ 5	1	1	1	1	1	1
s	5	5	5	5	5	4
n	5					
c	2					
V de Aiken por preg =	1	1	1	1	1	0.8
V de Aiken por criterio	1			0.933333333		

	Congruencia			Dominio del constructo		
	Coefficiente de fricción	Profundidad media de textura	Índice de fricción internacional	Coefficiente de fricción	Profundidad media de textura	Índice de fricción internacional
JUEZ 1	1	1	1	1	0	1
JUEZ 2	1	1	1	1	1	1
JUEZ 3	1	1	1	1	1	1
JUEZ 4	1	1	1	1	0	1
JUEZ 5	1	1	1	1	1	1
s	5	5	5	5	3	5
n						
c						
V de Aiken por preg =	1	1	1	1	0.6	1
V de Aiken por criterio	1			0.86666667		

V de Aiken del instrumento por jueces expertos

0.95

Luis Arturo Montenegro Camacho
 LIC. ESTADÍSTICA
 MG. INVESTIGACION
 DR. EDUCACION
 COESPE 262

VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DEL INSTRUMENTO SOBRE EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO PARA LA SEGURIDAD VIAL EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

Estadísticas de fiabilidad

Alfa de Cronbach	N° de elementos
0,992	3

	Correlación total de elementos corregida	Alfa de Cronbach si el elemento se ha suprimido
Coefficiente de fricción	0,971	1,000
Profundidad media de textura	0,992	0,982
Índice de fricción internacional	0,992	0,982

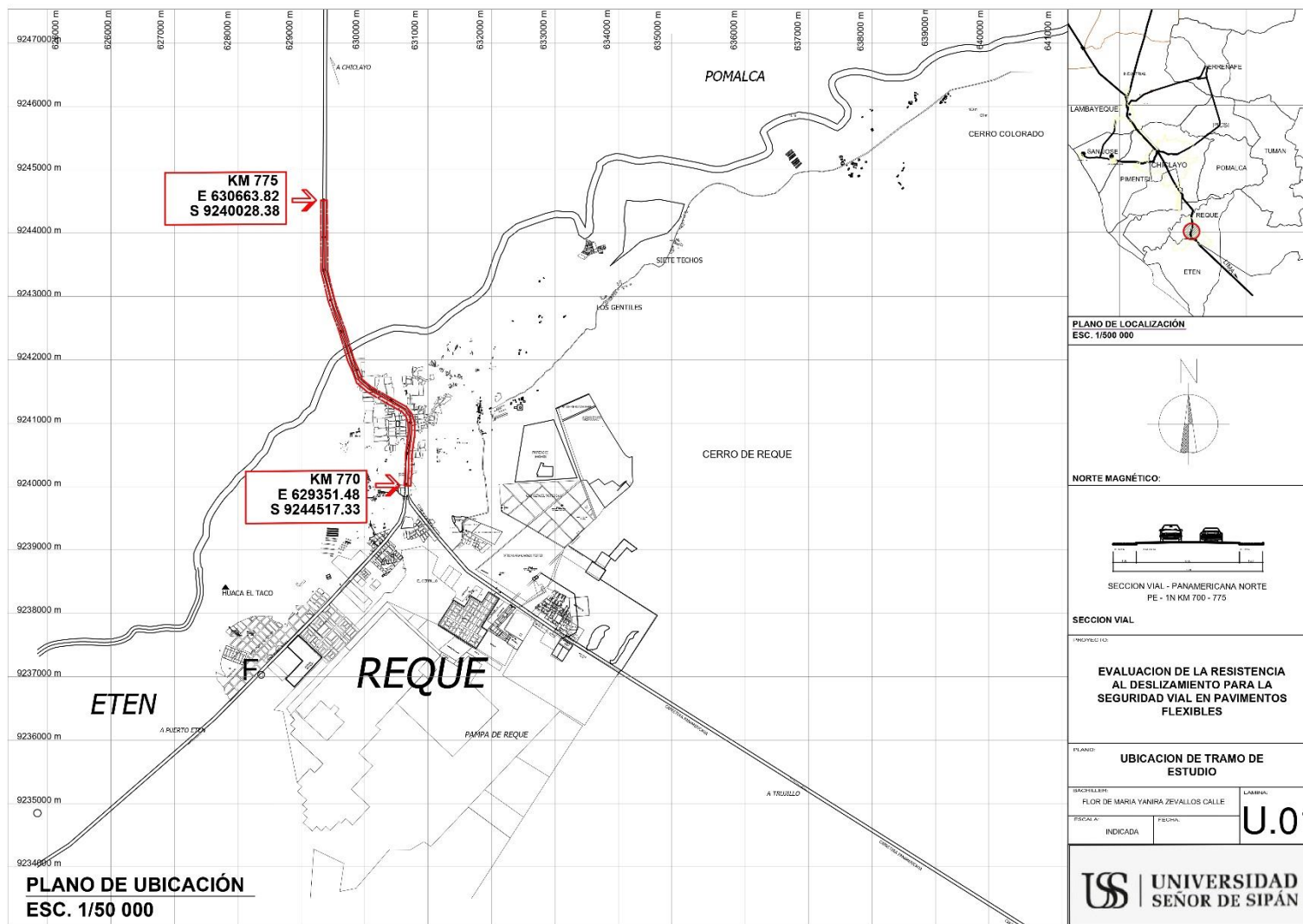
ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig
Inter sujetos	1357,611	5	271,522		
Intra sujetos					
Entre elementos	4570,111	2	2285,056	9,025	0,006
Residuo	2531,889	10	253,189		
Total	7102,000	12	591,833		
Total	8459,611	17	497,624		

En las tablas se observa que, el instrumento sobre evaluación de la resistencia al deslizamiento para la seguridad vial en pavimentos flexibles es válido (correlaciones de Pearson superan al valor de 0.30 y el valor de la prueba del análisis de varianza es altamente significativo $p < 0.01$) y confiable (el valor de consistencia alfa de cronbach es mayor a 0.80).


 LIC. ESTADÍSTICA
 MG. INVESTIGACIÓN
 DR. EDUCACIÓN
 COESPE 262

Anexo 5. Plano de Ubicación del tramo Panamericana Norte Km 770-775



Anexo 6. Plano de ubicación y coordenada UTM de los puntos evaluados

