

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v7i13edespab.0187>

ANÁLISIS DE MACRO TEXTURA, SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL PARA LA SEGURIDAD EN EL TRAMO JIPIJAPA – ANDIL

ANALYSIS OF MACROTEXTURE, HORIZONTAL AND VERTICAL SIGNAGE FOR SAFETY ON THE JIPIJAPA – ANDIL STRETCH

Moreno-Ponce Luis Alfonso ¹; Solórzano-Villegas Lucy Elizabeth ²;
Cañarte-Baque George Alfredo ³; Orejuela-Mendoza Ivanova Claribel ⁴

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

² Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Técnica, Universidad Estatal del Sur de Manabí. Jipijapa, Ecuador. Correo: lucy.solorzano@unesum.edu.ec.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9903-5304>

³ Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Técnica, Universidad Estatal del Sur de Manabí. Jipijapa, Ecuador. Correo: george.canarte@unesum.edu.ec.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3376-2557>

⁴ Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Técnica, Universidad Estatal del Sur de Manabí. Jipijapa, Ecuador. Correo: orejuela.mendoza@unesum.edu.ec.
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-5266-0120>

Resumen

Este estudio exploró la seguridad vial en la ruta Jipijapa - Andil, enfocándose en la macrotextura del pavimento y la efectividad de la señalización horizontal y vertical. Esencial para el drenaje de agua y la resistencia al deslizamiento, la macrotextura, junto con una señalización adecuada, es importante para la seguridad de los conductores. La investigación utilizó técnicas de medición para evaluar estas características y mejorar la seguridad y la experiencia de conducción. Empleando un diseño no experimental y cuantitativo, el estudio incluyó conteos vehiculares y utilizó el método de la mancha de arena para clasificar la textura del pavimento según los estándares de la Asociación Mundial de Carreteras (PIARC). La recolección de datos implicó observaciones directas en el campo y el análisis de datos secundarios para contextualizar los hallazgos con estudios previos y normativas actuales. Los conteos de tráfico indicaron un flujo consistente, con una notable presencia de vehículos pesados, destacando la importancia de este tramo como ruta de carga. Los vehículos ligeros generalmente cumplían con los límites de velocidad, mientras que los pesados a menudo los excedían, señalando la necesidad de mejorar la señalización y las medidas de control de velocidad. Además, el estudio de la macrotextura del pavimento mostró variabilidad, con áreas que requerían mejoras para cumplir con los estándares de seguridad. El estudio recalca la necesidad de señalizaciones efectivas para manejar la diversidad y el volumen del tráfico, y de intervenciones en la textura del pavimento para mejorar la seguridad.

Palabras clave: análisis del pavimento, gestión del tráfico, macrotextura, seguridad vial, señalización vertical.

Abstract

This study explored road safety on the Jipijapa - Andil route, focusing on the macrotexture of the pavement and the effectiveness of horizontal and vertical signaling. Essential for water drainage and slip resistance, the macrotexture, together with proper signaling, is crucial for driver safety.

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 16 de enero de 2024.

Fecha de aceptación: 08 de marzo de 2024.

Fecha de publicación: 29 de abril de 2024.



The research used measurement techniques to assess these features and improve both safety and the driving experience. Employing a non-experimental and quantitative design, the study included vehicle counts and used the sand patch method to classify pavement texture according to the standards of the World Road Association (PIARC). Data collection involved direct field observations and the analysis of secondary data to contextualize findings with previous studies and current regulations. Traffic counts indicated a consistent flow, with a notable presence of heavy vehicles, highlighting the importance of this section as a freight route. Light vehicles generally complied with speed limits, while heavy vehicles often exceeded them, indicating the need for improved signage and speed control measures. Additionally, the study of pavement macrotexture showed variability, with areas requiring improvements to meet safety standards. The study emphasizes the need for effective signage to manage the diversity and volume of traffic, and interventions in pavement texture to enhance safety.

Keywords: pavement analysis, traffic management, macrotexture, road safety, vertical signage.

1. Introducción

La seguridad vial es una preocupación crítica en la ingeniería de transporte, donde el objetivo es minimizar accidentes y mejorar la experiencia de conducción (Hassan & Easa, 2003). El análisis de la macrotextura de las superficies de las carreteras y la implementación de una señalización horizontal y vertical efectiva son factores clave para lograr este objetivo. La macrotextura se refiere a la textura de mayor escala de la superficie de la carretera, que es esencial para proporcionar resistencia adecuada al deslizamiento y drenaje de agua, asegurando así un rendimiento de conducción seguro y cómodo para los usuarios (Vilaça et al., 2010).

Investigaciones han demostrado que la combinación de señales de

chevrón con tratamientos adicionales como espinas de pescado, hombros sellados y señales amarillas intermitentes mejoran significativamente la seguridad en curvas horizontales y verticales, optimizando la velocidad y el posicionamiento lateral del vehículo (Zeleeuw et al., 2014). Además, el análisis a largo plazo de la textura vial mediante técnicas como el análisis espectral y el filtrado espacial de datos de series temporales es crucial. Estos métodos revelan periodicidades en la profundidad de la textura, atribuibles a factores como la carga de vehículos pesados y las prácticas constructivas, lo que permite prever necesidades de mantenimiento y prolongar la durabilidad de la infraestructura vial (Edmondson et al., 2019).

De igual manera, la seguridad vial está directamente afectada por la calidad y el diseño de las superficies de las carreteras y la señalización. Las técnicas avanzadas, como el escaneo láser y la fotogrametría de estructura desde el movimiento, son esenciales para evaluar y mejorar la macrotextura de las carreteras, lo que es crucial para la resistencia al deslizamiento en condiciones húmedas (Edmondson et al., 2019). Además, la correcta implementación y coordinación de la señalización vertical y horizontal influye positivamente en el comportamiento de los conductores y mejora la seguridad en tramos complicados, disminuyendo así los riesgos de accidentes. Estudios recientes resaltan la eficacia de señalizaciones específicas, como las señales de chevrón con señales adicionales, en la mejora del rendimiento del conductor y la reducción de accidentes en curvas complejas (Kazemzadehazad et al., 2019).

La estratégica colocación y diseño de estas señalizaciones no solo guían e informan a los conductores, sino que también mejoran las señales perceptuales, haciendo que las rutas sean más atractivas y

claras para navegar, lo cual contribuye a una reducción en la probabilidad de accidentes (Wang & Wang, 2018). Además, la coordinación entre elementos horizontales y verticales es crucial para un entorno de conducción continuo y predecible. En términos de tecnología, el uso de escáneres láser 3D y la descomposición wavelet proporcionan datos críticos para el mantenimiento y la evaluación del estado y seguridad de las superficies viales, permitiendo intervenciones precisas y oportunas (Zeleelew et al., 2014).

De tal manera que la seguridad vial es un tema de gran importancia y el estudio de la macrotextura y la señalización vial es fundamental para su mejora. La macrotextura del pavimento juega un papel crucial en la resistencia al deslizamiento, especialmente en carreteras con altas velocidades y bajo condiciones de superficie mojada, ya que influye en el drenaje del agua y reduce el efecto de hidropneumático. Un nivel adecuado de macrotextura puede disminuir el riesgo de accidentes de tráfico (Pranjić et al., 2018). Además, la macrotextura afecta la interacción entre el neumático y la superficie del

pavimento, lo que es esencial para proporcionar la fricción necesaria para evitar accidentes (Saykin et al., 2013). Por lo tanto, es necesario desarrollar y validar métodos simples para evaluar la textura superficial y la resistencia al deslizamiento, lo que podría optimizar el diseño de la textura y beneficiar tanto a investigadores como a profesionales (Praticò & Astolfi, 2017).

Por otro lado, la señalización vial es un componente esencial que complementa la macrotextura en la promoción de la seguridad vial. La señalización adecuada guía y advierte a los conductores, ayudando a prevenir accidentes. Sin embargo, la efectividad de la señalización puede verse comprometida si las condiciones de la superficie de la carretera no son óptimas, especialmente bajo condiciones de lluvia, donde la macrotextura adecuada es vital para mantener la adherencia del pavimento (Li et al., 2010). Además, la macrotextura no solo afecta la seguridad, sino también otros aspectos como el ruido de rodadura de los neumáticos, lo que tiene implicaciones ambientales y para la comodidad de los conductores

(Gardziejczyk, 2014). Por lo tanto, analizar cómo la macrotextura y la señalización afectan la seguridad vial es esencial para desarrollar estrategias integrales que mejoren la seguridad y la experiencia de conducción en nuestras carreteras.

En el tramo Jipijapa - Andil, ubicado en la provincia de Manabí, Ecuador, se ha observado una creciente preocupación por la seguridad vial. Este segmento de carretera enfrenta desafíos significativos debido a la inadecuada macrotextura de las superficies de las carreteras y una señalización vertical y horizontal insuficiente o ineficaz. Estas deficiencias contribuyen a un aumento en la probabilidad de accidentes, especialmente en condiciones adversas como la lluvia, donde la resistencia al deslizamiento se ve comprometida. Además, la falta de claridad y la adecuación de la señalización existente pueden confundir a los conductores, especialmente en puntos críticos como curvas combinadas horizontales y crestas verticales, elevando así el riesgo de incidentes viales.

El objetivo general de este estudio es analizar cómo la macrotextura y la

señalización, tanto horizontal como vertical, influyen en la seguridad vial en el tramo Jipijapa - Andil. Este análisis incluye la evaluación del estado actual de estas características y su impacto en la seguridad, utilizando métodos de medición y recolección de datos sobre el tráfico vehicular, concretamente mediante aforo vehicular manual para entender mejor el volumen y tipo de vehículos que transitan esta vía y su interacción con la señalización existente.

La investigación adoptará un enfoque cuantitativo para medir y analizar las variables que influyen en la seguridad vial en el tramo Jipijapa - Andil. Se justifica por la necesidad de cuantificar el impacto de las mejoras en la macrotextura del pavimento y la eficacia de la señalización horizontal y vertical. Los análisis incluirán aforos vehiculares y evaluaciones de la textura superficial del pavimento utilizando el método de mancha de arena de la Asociación Mundial de Carreteras (PIARC).

Los resultados de esta investigación aportan información valiosa sobre

las condiciones actuales de la infraestructura vial en el tramo Jipijapa - Andil. La evaluación cuantitativa de la macrotextura del pavimento identifica áreas específicas donde la textura es insuficiente para garantizar la seguridad en condiciones de humedad, destacando la necesidad urgente de mejoras en el mantenimiento y diseño de la carretera. Asimismo, el análisis de la señalización existente revela deficiencias en su capacidad para guiar eficazmente a los conductores, especialmente en secciones de la carretera con geometrías complicadas y zonas de alto riesgo.

2. Materiales y métodos

Este proyecto de investigación adoptó un enfoque aplicado y descriptivo, centrado en un diseño no experimental predominando el ámbito cuantitativo. El objetivo principal fue documentar las condiciones actuales de la infraestructura vial del tramo Jipijapa - Andil y evaluar componentes críticos como la señalización y la macrotextura del pavimento. Para ello, el estudio empleó métodos de recolección de datos cuantitativos

rigurosos, incluyendo aforos vehiculares y análisis exhaustivo de la señalización actual. Adicionalmente, se llevó a cabo una clasificación de la textura superficial del pavimento (HA mm) siguiendo los estándares de la Asociación Mundial de Carreteras (PIARC), utilizando la técnica de mancha de arena. Estas metodologías no solo permitieron cuantificar, sino también describir en detalle cómo cada aspecto evaluado incide en la seguridad vial, proporcionando una visión clara de los factores críticos involucrados.

Asimismo, la investigación se clasificó como descriptiva y exploratoria: descriptiva por la observación y documentación detallada de las características del pavimento y la señalización, y exploratoria por abordar aspectos de la seguridad vial previamente subestimados o desconocidos en este tramo específico. La recopilación de datos se realizó en campo, complementada con revisiones bibliográficas en bases de datos científicas para cotejar los hallazgos con estudios previos.

3. Resultados y discusión

Los resultados obtenidos en el marco de esta investigación proporcionaron una visión amplia y exhaustiva sobre la influencia de las mejoras en la macrotextura del pavimento y la efectividad de la señalización vial en el tramo Jipijapa - Andil. La evaluación fue realizada en distintos puntos de este tramo, abarcando tanto las características actuales de la superficie del pavimento como la señalización existente.

Aforo Vehicular

En el marco del proyecto de mejoramiento y rehabilitación del tramo Jipijapa - Andil, se llevó a cabo un detallado aforo vehicular utilizando la técnica de conteo manual. Este estudio se realizó para entender el volumen y tipo de tráfico que caracteriza a esta ruta, proporcionando datos cruciales para la planificación de señalizaciones apropiadas y la estimación de la velocidad de diseño. El aforo se extendió durante siete días consecutivos, desde el 11 al 17 de diciembre de 2021, capturando datos de tráfico desde las 06H00 hasta las 18H00 diariamente.

Metodología del Aforo Vehicular

El aforo se realizó en la abscisa 0+200 del cantón Jipijapa hacia Andil. Durante el aforo, se observaron tanto vehículos livianos como pesados, clasificados según siluetas estandarizadas

proporcionadas por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO). Se registró la cantidad y tipo de vehículos que circulaban en intervalos de dos horas a lo largo del día, y se aplicó un porcentaje de 10% para considerar el tráfico fuera del horario principal de registro.

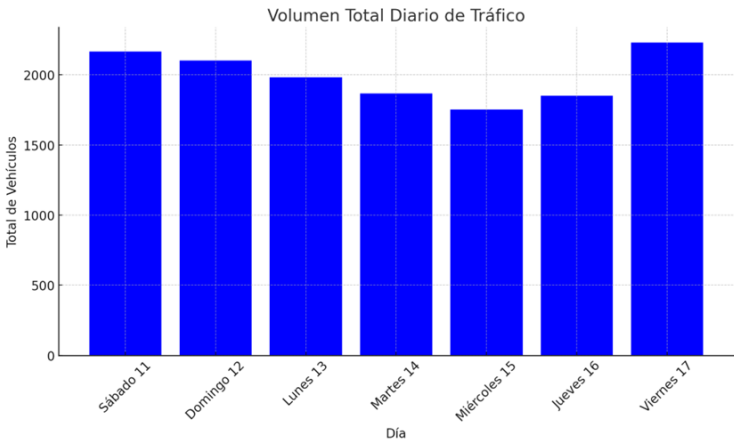
Tabla 1 Aforo vehicular

Día	Total Vehículos Livianos	Total Vehículos Pesados	Total General
Sábado 11	1576	589	2165
Domingo 12	1540	561	2101
Lunes 13	1450	533	1983
Martes 14	1362	505	1867
Miércoles 15	1272	481	1753
Jueves 16	1349	501	1850
Viernes 17	1615	614	2229

Los resultados de la tabla indican un patrón consistente de tráfico con una ligera disminución entre semana y un pico los fines de semana, especialmente el viernes. La presencia notable de vehículos

pesados indica la importancia de este tramo como ruta de carga, recalcando la necesidad de señalizaciones efectivas que puedan manejar tanto la diversidad como el volumen de tráfico.

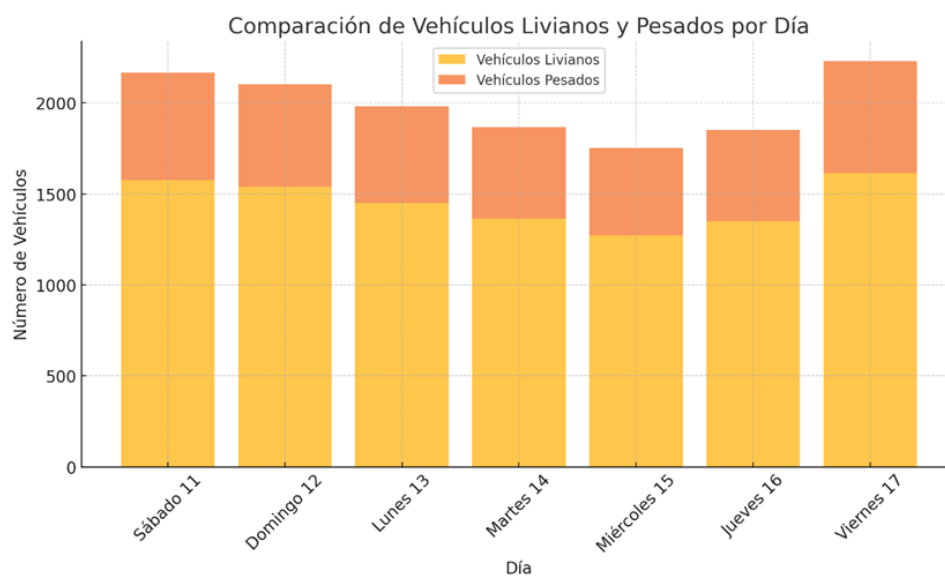
Figura 1 Volumen total diario de tráfico



De igual manera la figura muestra el volumen total de tráfico diario en el tramo Jipijapa - Andil durante una semana de observación. Se observa una variabilidad notable en el flujo de tráfico a lo largo de la semana, con picos significativos los días sábado y viernes, lo que indica un aumento

potencial de viajes durante los fines de semana o días cercanos a estos. Este patrón puede estar asociado a movimientos locales típicos de inicio y fin de semana, lo cual es relevante para la planificación del mantenimiento y la gestión de la seguridad vial.

Figura 2 Comparación de vehículos livianos y pesados por día



La Figura 2 compara la cantidad de vehículos livianos y pesados que transitan diariamente por la vía. Los vehículos livianos constituyen la mayoría del tráfico todos los días, aunque la proporción de vehículos pesados es significativa, especialmente en días laborables como lunes y miércoles. Este dato es esencial para entender el desgaste del pavimento y las necesidades de señalización específicas, dado que los vehículos pesados ejercen un

impacto más considerable sobre la infraestructura vial.

Velocidad de diseño in situ

El estudio in situ se centró en medir la velocidad de los vehículos utilizando la técnica de velocidad de punto, donde se delimitaron dos puntos con una distancia predefinida y se midió el tiempo que cada vehículo tardaba en recorrer esa distancia. Los datos obtenidos de los vehículos livianos y pesados se

presentan a continuación en las siguientes tablas:

Tabla 2 Velocidades promedio de vehículos livianos

Distancia (m)	Tiempo Promedio (s)	Velocidad Promedio (km/h)
100	17.89	63.58

Los vehículos livianos mostraron una velocidad promedio de aproximadamente 63.58 km/h, que se encuentra dentro del límite máximo de 60 km/h estipulado por las normativas locales para carreteras de dos carriles. Este hallazgo sugiere que, aunque

ligeramente por encima del límite, las señalizaciones actuales podrían ser adecuadas, pero podría considerarse la implementación de medidas de moderación de velocidad para asegurar el cumplimiento total de las normas de seguridad vial.

Tabla 3 Velocidades promedio de vehículos pesados

Distancia (m)	Tiempo Promedio (s)	Velocidad Promedio (km/h)
100	15.81	56.37

Los vehículos pesados mostraron una velocidad promedio de aproximadamente 56.37 km/h, que supera el límite máximo de 50 km/h estipulado por las normativas para este tipo de vehículos en carreteras de dos carriles. Este hallazgo destaca una preocupación significativa respecto a la seguridad vial y la efectividad de las señalizaciones existentes para moderar las velocidades de vehículos pesados.

Implementación de señalización vertical

En el tramo Jipijapa - Andil, se identificó la necesidad de ajustar y mejorar la señalización vertical para cumplir con las normativas de seguridad vial y adaptarse a las condiciones actuales de tráfico. La evaluación in situ permitió detectar que, aunque algunas señales reguladoras y preventivas están presentes, su ubicación y

especificaciones no siempre cumplen con los estándares requeridos para maximizar su efectividad.

1. Señales Regulatorias:

Ciclovías: Las señales existentes a lo largo de la ciclovía son adecuadas y no requieren modificación.

Prohibición de Rebasar: Se observó que las señales de "No Rebasar" son insuficientes en áreas críticas como curvas y zonas de alta congestión. Es recomendable añadir más señales en estos puntos para reforzar la visibilidad y cumplimiento de la norma.

Límites Máximos de Velocidad:
Actualmente, las señales que indican

los límites de velocidad están colocadas en dos puntos específicos; sin embargo, no se abordan los límites para vehículos pesados. Se sugiere la implementación de señales SR-30B para regular la velocidad de los vehículos pesados, siguiendo la misma distribución que las señales existentes para vehículos livianos.

2. Señales Preventivas:

Curvas Abiertas: La señalización en la mayoría de las curvas es adecuada, pero falta una señal en la curva número 4. Se recomienda instalar señales adicionales para mejorar la anticipación de los conductores ante estas curvas.

Tabla 4 Diseño de señalización, curva N° 4



3. Señales Informativas y de Propósitos Especiales:

Chevrones y Señales de nombre de la ciudad: Están correctamente ubicadas y no requieren cambios.

Señales de Cementerio: Estas señales están bien posicionadas y visibles en ambas direcciones.

Propuesta de Implementación

De acuerdo con los resultados se propone la siguiente implementación de señalización vertical y horizontal:

Distancia entre Señales: Para mejorar la efectividad de las señales verticales, especialmente en áreas donde se requiere transmitir múltiples mensajes, se deben separar las señales por una distancia mínima de 32.43 metros, calculada como 0.6 veces la velocidad promedio al 85% de los vehículos en condiciones libres.

Dimensiones de las Señales: Las señales verticales deberán tener dimensiones mínimas de 600mm x 600mm para garantizar que sean visibles y legibles a velocidades que excedan los 5 km/h sobre el límite estándar.

Altura de las Señales: Todas las señales verticales deben estar colocadas a una altura libre mínima de 1.50 metros desde la superficie del terreno hasta el borde inferior de la señal.

La tabla 5 muestra las señalizaciones verticales y horizontales en el tramo Jipijapa - Andil, destacando las que podrían requerir más señales o ajustes en su ubicación. Esta información detallada incluye la cantidad y ubicación de cada tipo de señal, facilitando la identificación de concentraciones y posibles áreas que necesiten atención.

Tabla 5 Señalizaciones verticales y horizontales propuestas

Tipo de Señal	Cantidad	Ubicaciones UTM (Este, Norte)	Descripción
Ciclo vía (R4-1c)	4	549148, 9850790; 549622, 9850905; 549987, 9851234; 550933, 9851201	Regulatoria
Límites Máximos de Velocidad (SR-30)	2	550295, 9851269; 549039, 9850737	Regulatoria

Curva Abierta Izquierda (P1-2I B)	3	549299, 9850804; 549653, 9850919; 550660, 9851162	Preventiva
Curva Abierta Derecha (P1-2D B)	2	550905, 9851191; 549090, 9850759	Preventiva
Chevrones Izquierda (D6-2I B)	10	550062, 9851317 (varios puntos)	Delineadora
Chevrones Derecha (D6-2D B)	6	551227, 9851124 (varios puntos)	Delineadora
Nombre de Ciudad (I1-3c)	2	549871, 9851111; 550854, 9851171	Informativa
Cementerio (T2-12)	1	549685, 9850941	Propósitos Especiales

Figura 3 Diseño de las señales verticales y horizontales propuestas en la sección 1



Clasificación de la textura superficial del pavimento (HA mm) según el PIARC

Para analizar los resultados obtenidos del estudio de la textura superficial del pavimento en el tramo

Jipijapa – Andil, se clasificaron las mediciones de la altura de la macrotextura (HA mm) según el criterio de la Asociación Mundial de Carreteras (PIARC). La evaluación involucró mediciones específicas en distintas abscisas a lo largo de la

carretera, y las alturas de la macrotextura obtenidas se clasificaron en tres categorías principales: fina, media, y gruesa, según la altura promedio de la macrotextura.

A continuación, se presenta una tabla de los resultados obtenidos, clasificando cada muestra según el criterio de PIARC y detallando la abscisa y la clasificación correspondiente:

Tabla 6 Promedio de Macrotextura

Abscisa	Altura Promedio de Macrotextura (mm)	Clasificación según PIARC
0+000	0.32	Fina
0+500	0.41	Media
0+1000	0.38	Fina
0+1500	0.37	Fina
0+2000	0.49	Media
0+2500	0.45	Media
0+3000	0.41	Media
0+000	0.33	Fina
0+500	0.46	Media
0+1000	0.46	Media
0+1500	0.41	Media
0+2000	0.35	Fina
0+2500	0.38	Fina
0+3000	0.39	Fina

Estos resultados demuestran una variabilidad en la textura del pavimento a lo largo del tramo Jipijapa - Andil, con predominancia de texturas finas y medias. Esto sugiere que en algunos segmentos podría ser necesario considerar intervenciones para mejorar la textura del pavimento, especialmente en aquellos clasificados como 'Media', para

aumentar la seguridad y eficacia de la vía.

4. Conclusiones

El aforo vehicular detallado indicó un flujo consistente de tráfico con una presencia notable de vehículos pesados, acentuando la importancia de este tramo como ruta de carga. Esto destaca la necesidad crítica de señalizaciones efectivas que se

adapten tanto a la diversidad como al volumen de tráfico, para garantizar la seguridad vial y el mantenimiento adecuado de la infraestructura.

Los estudios de velocidad in situ demostraron que, si bien los vehículos livianos en su mayoría se mantienen dentro del límite de velocidad establecido, los vehículos pesados frecuentemente exceden sus límites máximos permitidos. Esto indica la necesidad de reforzar las medidas de control de velocidad, posiblemente a través de la mejora de la señalización existente o la introducción de nuevas tecnologías de moderación de velocidad.

Asimismo, se identificó la necesidad de mejorar la señalización vertical para cumplir con las normativas de seguridad vial actuales que se adapten a las condiciones dinámicas del tráfico. En particular, la falta de señales reguladoras adecuadas en puntos críticos como curvas y áreas de alta congestión vehicular podría ser tratada para mejorar la visibilidad y el cumplimiento de las normas.

Finalmente, la clasificación de la macrotextura del pavimento según el criterio de PIARC demostró una variabilidad que sugiere la necesidad de intervenciones específicas en

segmentos con textura media. Mejorar estas áreas podría incrementar significativamente la seguridad y la eficiencia del tramo, adaptándose mejor a las condiciones de tráfico y ambientales prevalentes.

Bibliografía

- Edmondson, V., Woodward, J., Lim, M., Kane, M., Martin, J., & Shyha, I. (2019). Improved non-contact 3D field and processing techniques to achieve macrotexture characterisation of pavements. *Construction and Building Materials*, 227, 116693. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116693>
- Gardziejczyk, W. (2014). Influence of Road Pavement Macrotexture on Tyre/Road Noise of Vehicles. *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 9, 180–190. <https://doi.org/10.3846/BJRB E.2014.23>
- Hassan, Y., & Easa, S. M. (2003). Effect of Vertical Alignment on Driver Perception of Horizontal Curves. *Journal of Transportation Engineering*, 129(4), 399–407. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(2003\)129:4\(399\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2003)129:4(399))
- Kazemzadehazad, S., Monajjem, S., Larue, G. S., & King, M. J.

- (2019). Evaluating new treatments for improving driver performance on combined horizontal and crest vertical curves on two-lane rural roads: A driving simulator study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 62, 727–739. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.03.002>
- Li, H., Tang, B., Shao, D., Li, M., & Gao, J. (2010). Impact of Macrotexture Depth and Its Variation on Safety on Rainy Days. 484–495. [https://doi.org/10.1061/41127\(382\)52](https://doi.org/10.1061/41127(382)52)
- Pranjić, I., Tibljaš, A. D., Cuculic, M., & Skender, R. (2018). Pavement Surface Macrotexture Analysis. <https://doi.org/10.5592/co/cetra.2018.706>
- Praticò, F., & Astolfi, A. (2017). A new and simplified approach to assess the pavement surface micro- and macrotexture. *Construction and Building Materials*, 148, 476–483. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2017.05.050>
- Saykin, V. V., Zhang, Y., Cao, Y., Wang, M. L., & McDaniel, J. (2013). Pavement Macrotexture Monitoring through Sound Generated by a Tire-Pavement Interaction. *Journal of Engineering Mechanics-Asce*, 139, 264–271. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EM.1943-7889.0000485](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EM.1943-7889.0000485)
- Vilaça, J. L., Fonseca, J. C., Pinho, A. C. M., & Freitas, E. (2010). 3D surface profile equipment for the characterization of the pavement texture – TexScan. *Mechatronics*, 20(6), 674–685. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2010.07.008>
- Wang, X., & Wang, X. (2018). Speed change behavior on combined horizontal and vertical curves: driving simulator-based analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 119, 215–224. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.07.019>
- Zeleelew, H., Khasawneh, M., & Abbas, A. (2014). Wavelet-based characterisation of asphalt pavement surface macro-texture. *Road Materials and Pavement Design*, 15(3), 622–641. <https://doi.org/10.1080/14680629.2014.908137>