

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**"EVALUACIÓN DE LAS FALLAS SUPERFICIALES DEL  
PAVIMENTO, PARA DETERMINAR LA RUGOSIDAD  
EMPLEANDO APLICATIVOS INNOVADORES EN LA  
CARRETERA A YURA TRAMO KM 52+00 AL KM 62+00 –  
DISTRITO DE AREQUIPA, 2023"**

**PARA OPTAR:**

**TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. MARIANH KAREY COLQUE CENTENO**

**Bach. LAYLA BETZY VELASQUEZ CHIPANA**

**TACNA – PERÚ**

**2023**

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS**

**“EVALUACIÓN DE LAS FALLAS SUPERFICIALES DEL  
PAVIMENTO, PARA DETERMINAR LA RUGOSIDAD  
EMPLEANDO APLICATIVOS INNOVADORES EN LA  
CARRETERA A YURA TRAMO KM 52+00 AL KM 62+00 –  
DISTRITO DE AREQUIPA, 2023”**

Tesis sustentada y aprobada el 12 de Diciembre del 2023; estando el jurado calificador integrado por:

**PRESIDENTA : Mtra. DINA MARLENE COTRADO FLORES**

**SECRETARIA : Mag. OMAR ARTURO CUTIMBO TICONA**

**VOCAL : Dr. PEDRO VALERIO MAQUERA CRUZ**

**ASESOR : Mtro. ROLANDO GONZALO SALAZAR CALDERÓN  
JUÁREZ**

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Marianh Karey Colque Centeno y Layla Betzy Velasquez Chipana en calidad de bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 70783526 DNI 74994372 respectivamente declaramos bajo juramento que:

1. Somos los autores de la tesis titulada: *Evaluación de las fallas superficiales del pavimento, para determinar la rugosidad empleando aplicativos innovadores en la Carretera a Yura KM 52+00 al KM 62+00 – Distrito de Arequipa, 2023*, la cual presentamos para optar el Título *Profesional de Ingeniero Civil*.
2. La tesis es completamente original y no ha sido objeto de plagio, total ni parcialmente, habiéndose respetado rigurosamente las normas de citación y referencias para todas las fuentes consultadas.
3. Los datos presentados en los resultados son auténticos y no han sido objeto de manipulación, duplicación ni copia.

En virtud de lo expuesto, asumimos frente a *La Universidad* toda responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos asociados a la obra.

En consecuencia, nos comprometemos ante a *La Universidad* y terceros a asumir cualquier perjuicio que pueda surgir como resultado del incumplimiento de lo aquí declarado, o que pudiera ser atribuido al contenido de la tesis, incluyendo cualquier obligación económica que debiera ser satisfecha a favor de terceros debido a acciones legales, reclamos o disputas resultantes del incumplimiento de esta declaración.

En caso de descubrirse fraude, piratería, plagio, falsificación o la existencia de una publicación previa de la obra, aceptamos todas las consecuencias y sanciones que puedan derivarse de nuestras acciones, acatando plenamente la normatividad vigente.

Tacna, 12 de Diciembre del 2023.

  
.....  
Bach. Marianh Karey Colque Centeno  
DNI: 70783526

  
.....  
Bach. Layla Betzy Velasquez Chipana  
DNI: 74994372

  
.....  
Mtro. Rolando Gonzalo Salazar Calderón Juárez  
DNI: 00794213

## DEDICATORIA

A Dios, por otorgarme sabiduría y por guiar cada paso de mi carrera profesional, agradezco su apoyo inquebrantable y por ser mi fuente de fortaleza en los momentos de vulnerabilidad.

A mis preciados padres, Rubén y Julia quienes han sido el fundamento inquebrantable de mi vida, me han mostrado el valor del trabajo duro y la perseverancia, y siempre me han apoyado en mi crecimiento profesional y como persona, por más ambiciosos que parezcan; me han inculcado la creencia de que todo se puede lograr en esta vida y por eso estaré eternamente agradecida.

A mis amados abuelos, Armando y Margarita quiero expresarles mi gratitud por su apoyo constante a lo largo de mi camino de tesis, sus constantes oraciones han sido un pilar de fortaleza para mí y me han ayudado a recorrer cada paso del camino. Gracias desde el fondo de mi corazón.

A mi querido hermano Brayanh, quien ha desempeñado un papel importante en mi trayectoria académica y personal, agradezco su apoyo inmensurable en cada etapa de la redacción de mi tesis y por el estímulo para continuar esforzándome por alcanzar el éxito en todos los aspectos de nuestras vidas, que este trabajo sea el primer paso hacia un futuro lleno de logros y plenitud.

Marianh Karey Colque Centeno

## DEDICATORIA

A Dios, por otorgarme sabiduría y guardarme en cada decisión que tome a lo largo de este camino de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad.

A mi amada madre Sonia que siempre ha confiado en mí y ha sabido formarme con buenos sentimientos y valores los cuales me han ayudado a perseverar en los momentos más difíciles.

A mi preciado padre, Paul, por ser un ejemplo de esfuerzo y dedicación, por alentarme a perseguir cada uno de mis objetivos y enseñarme que en esta vida no existen imposibles.

A mi querida abuela Elena y tía Roxana, que fueron mi mejor compañía en los días difíciles, por momentos de interminables sonrisas, por la enorme confianza y admiración que depositan en mí.

Layla Betzy Velasquez Chipana

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, cuyo amor y benevolencia me han permitido disfrutar de este logro con júbilo. Él ha sido mi luz, guía y la fuente de mi fortaleza, impulsándome a avanzar incansablemente hacia mis objetivos.

A la Universidad Privada de Tacna por brindarme orientación a lo largo de mi experiencia universitaria. Además, extendiendo mi reconocimiento a los docentes por nuestra formación universitaria, permitiéndonos adquirir conocimientos fundamentales.

A mi familia, quienes han sido la base de mi vida. Su apoyo incondicional me sostuvo durante todos los años de mis estudios. Ellos fueron la fuerza impulsora detrás de mis aspiraciones y sueños, y creyeron e invirtieron de todo corazón en mi futuro. Su orientación, valores y principios me han inculcado un sentido de propósito y dirección que llevaré conmigo siempre.

Agradezco mucho a Fernando Bardales por toda tu ayuda. Tu sencillez y tu naturaleza genuina te convierten en una persona extraordinaria. Amigos como tú, que se dedican de todo corazón a cada esfuerzo, son verdaderamente invaluable. Tu apoyo y contribución fueron fundamentales para el éxito de mi tesis. Sin tu apoyo, no habría podido lograr esta hazaña. Gracias querido amigo.

Te expreso mi agradecimiento Diego Calderón por tu invaluable asistencia y orientación durante todo el proceso de realización de mi tesis. Sin tu apoyo y consejo, no habría podido lograr esta hazaña. tu presencia realmente ha facilitado la realización de este proyecto que tiene un gran significado para mí. Gracias querido amigo.

A mi Compañero de tesis, que sin el apoyo no se hubiera concluido la tesis.

Marianh Karey Colque Centeno

## **AGRADECIMIENTO**

Mi principal agradecimiento es para Dios por su amor y bondad, por permitirme sonreír ante este logro, por guiarme y darme fuerzas para seguir adelante.

A la Universidad Privada de Tacna por ser una guía en mi vida universitaria, así como a los docentes que brindaron un apoyo fundamental durante nuestra etapa de preparación universitaria para que adquiriéramos conocimientos básicos.

A mi familia, quienes son los pilares de mi vida, por su apoyo incondicional a lo largo de todos mis años de estudio, por ser los principales iniciadores de este sueño, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me brindaron.

A mi compañero de tesis, sin su apoyo no habría podido completar la tesis.

A todos mis compañeros de nivel universitario, porque el compañerismo, la amistad y el apoyo moral hicieron que estos años fueran muy gratificantes.

Layla Betzy Velasquez Chipana

## ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS.....	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD .....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiii
RESUMEN .....	xvi
ABSTRACT .....	xvii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Descripción del Problema .....	2
1.2. Formulación del Problema .....	4
1.2.1. Problema general .....	4
1.2.2. Problemas específicos.....	5
1.3. Justificación e importancia .....	5
1.4. Objetivos.....	6
1.4.1. Objetivo general.....	6
1.4.2. Objetivos específicos.....	6
1.5. Hipótesis .....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	8
2.1. Antecedentes de la Investigación.....	8
2.2. Bases Teóricas .....	14
2.3. Definición de términos.....	77
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO .....	85
3.1. Diseño de la investigación.....	85
3.2. Acciones y actividades .....	85
3.3. Materiales y/o instrumentos .....	92



3.4. Población y muestra de estudio .....	93
3.5. Operacionalización de variables.....	93
3.6. Técnica de procesamiento y análisis estadístico .....	94
CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....	106
4.1. Análisis de las fallas utilizando el "Método del Índice de Condición del Pavimento" (PCI) .....	106
4.2. Evaluación de las fallas con el aplicativo "TOTAL PAVE" .....	136
4.3. Evaluación de las fallas con el aplicativo "ABAKAL" .....	140
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN .....	144
CONCLUSIONES .....	150
RECOMENDACIONES .....	152
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	153
ANEXOS .....	156

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de Severidad - Falla por piel de cocodrilo .....	19
Tabla 2. Niveles de Severidad - Fallas por exudación .....	22
Tabla 3. Niveles de severidad - F. Por abultamientos & hundimientos .....	27
Tabla 4. Niveles de Severidad - F. Por corrugaciones .....	30
Tabla 5. Niveles de severidad - F. Por desniveles carriles – bermas .....	37
Tabla 6. Niveles de severidad - F. Por parcheos .....	41
Tabla 7. Niveles de Severidad- F. por Pulimiento de agregados .....	44
Tabla 8. Índice de serviciabilidad.....	60
Tabla 9. Rangos de calificación del PCI .....	62
Tabla 10. Longitudes de unidades de muestreo asfálticas .....	65
Tabla 11. Valores para determinar el estado vial en el Perú según la rugosidad .....	69
Tabla 12. Operacionalización de variables .....	94
Tabla 13. Longitud de unidad de muestreo .....	94
Tabla 14. Formato de recopilación de datos usados .....	96
Tabla 15. Resultados del PCI por cada Unidad de Muestra .....	106
Tabla 16. Hoja de registro “Densidad” y “Valor Deducido” de la Muestra 1 .....	113
Tabla 17. Resultados de los “Valor Deducido” máximo corregido para la Muestra 1 .....	114
Tabla 18. Hoja de registro “Densidad” y “Valor Deducido” de la Muestra 21 .....	115
Tabla 19. Resultados de “Valor Deducido” máximo corregido de la Muestra 21 .....	116
Tabla 20. Hoja de registro “Densidad” y “Valor Deducido” de la Muestra 41 .....	116
Tabla 21. Resultados de “Valor Deducido” máximo corregido de la Muestra 41 .....	117
Tabla 22. Hoja de registro “Densidad” y “Valor Deducido” de la Muestra 61.....	118
Tabla 23. Resultados de “Valor Deducido” máximo corregido de la Muestra 61.....	119
Tabla 24. Hoja de registro “Densidad” y “Valor Deducido” de la Muestra 81.....	119
Tabla 25. Resultados de “Valor Deducido” máximo corregido de la Muestra 81.....	120
Tabla 26. Hoja de registro “Densidad” y “Valor Deducido” de la Muestra 101.....	121

Tabla 27. Resultados de “Valor Deducido” máximo corregido de la Muestra 101....	122
Tabla 28. Hoja de registro “Densidad” y “Valor Deducido” de la Muestra 121.....	122
Tabla 29. Resultados de “Valor Deducido” máximo corregido de la Muestra 121....	123
Tabla 30. Hoja de registro “Densidad” y “Valor Deducido” de la Muestra 141.....	124
Tabla 31. Resultados de “Valor Deducido” máximo corregido de la Muestra 141.....	125
Tabla 32. Hoja de registro “Densidad” y “Valor Deducido” de la Muestra 161.....	125
Tabla 33. Resultados de “Valor Deducido” máximo corregido de la Muestra 161.....	126
Tabla 34. Hoja de registro “Densidad” y “Valor Deducido” de la Muestra 181.....	127
Tabla 35. Resultados de “Valor Deducido” máximo corregido de la Muestra 181.....	128
Tabla 36. Hoja de registro “Densidad” y “Valor Deducido” de la Muestra 201.....	128
Tabla 37. Resultados de “Valor Deducido” máximo corregido de la Muestra 201.....	129
Tabla 38. Hoja de registro “Densidad” y “Valor Deducido” de la Muestra 221.....	130
Tabla 39. Resultados de “Valor Deducido” máximo corregido de la Muestra 221.....	131
Tabla 40. Hoja de registro “Densidad” y “Valor Deducido” de la Muestra 241.....	131
Tabla 41. Resultados de “Valor Deducido” máximo corregido de la Muestra 241.....	132
Tabla 42. Hoja de registro “Densidad” y “Valor Deducido” de la Muestra 261.....	133
Tabla 43. Resultados de “Valor Deducido” máximo corregido de la Muestra 261.....	134
Tabla 44. Hoja de registro “Densidad” y “Valor Deducido” de la Muestra 281.....	134
Tabla 45. Resultados de “Valor Deducido” máximo corregido de la Muestra 281.....	135
Tabla 46. Datos Obtenidos por el aplicativo TOTAL PAVE KM 52+00 al KM 62+00	137
Tabla 47. Datos Obtenidos por el aplicativo ABAKAL KM 52+00 al KM 62+00.....	140
Tabla 48. Resultados de la rugosidad obtenido del aplicativo ABAKAL.....	145
Tabla 49. Clasificación del estado del pavimento .....	145
Tabla 50. Clasificación de la transitabilidad en función del IRI .....	146
Tabla 51. Clasificación de la transitabilidad .....	146
Tabla 52. Resultados de la rugosidad obtenido del aplicativo TOTAL PAVE.....	147
Tabla 53. Clasificación de la transitabilidad en función del IRI TOTAL PAVE.....	147

Tabla 54. Comparativo de la clasificación del Estado del Pavimento de ambos aplicativos .....	148
Tabla 55. Comparativo de la transitabilidad de ambos aplicativos utilizados .....	148

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la Zona de Estudio .....	3
Figura 2. Zona de investigación.....	3
Figura 3. Zona de investigación.....	4
Figura 4. Falla de Pavimento por piel de cocodrilo .....	20
Figura 5. Falla de Pavimento por exudación.....	23
Figura 6. Falla de tipo de Agrietamiento en bloque.....	25
Figura 7. Falla por hundimiento .....	28
Figura 8. Falla de tipo de corrugación .....	30
Figura 9. F. Por depresiones .....	33
Figura 10. F. Por desniveles carriles – bermas.....	37
Figura 11. Falla por grietas longitudinales y transversales .....	39
Figura 12. Falla por Parcheo .....	42
Figura 13. Pulimiento del Agregado .....	44
Figura 14. Falla de pavimentos por Huecos .....	46
Figura 15. Falla por cruce de vía férrea.....	49
Figura 16. F. por ahuellamientos .....	51
Figura 17. Representación gráfica del modelo " Cuarto de Carro".....	59
Figura 18. Formato de exploración de condición para carreteras con superficie asfálticas.....	64
Figura 19. Formato de inspección diseñado para evaluar carreteras que presentan una superficie construida en concreto hidráulico.....	67
Figura 20. Modelo de cuarto de carro.....	71
Figura 21. Aplicativo ABAKAL IRI.....	71
Figura 22. Ubicación del teléfono en el vehículo .....	73
Figura 23. Métodos de calculo.....	74
Figura 24. Resultados Informe IRI.....	75

Figura 25. Logo Total Pave .....	75
Figura 26. Tramo Km 00+052 inicio de tramo de recolección de datos y Tramo Km 00+062 final de recolección de datos .....	86
Figura 27. Falla de pavimento por grieta de bordes y piel de cocodrilo. ....	86
Figura 28. Falla de pavimento por grieta de bordes, piel de cocodrilo, hundimientos. ....	87
Figura 29. Falla de pavimento por agrietamiento en bloque .....	87
Figura 30. Falla de pavimento por grieta en bloque.....	88
Figura 31. Falla de pavimento por piel de cocodrilo, parcheo. ....	88
Figura 32. Falla de pavimento por abultamientos y hundimientos, huecos .....	89
Figura 33. Falla de pavimento por Huecos .....	89
Figura 34. Falla de pavimento por piel de cocodrilo.....	90
Figura 35. Falla de pavimento por grieta de bordes.....	91
Figura 36. Falla de pavimento por piel de cocodrilo y grieta de bloques.....	91
Figura 37. Falla de pavimento por grieta de bordes y piel de cocodrilo .....	92
Figura 38. Diagrama utilizado para procesar los datos del valor deducido asociado a la presencia de piel de cocodrilo .....	97
Figura 39. Valor de deducción máximo .....	97
Figura 40. Aplicativo móvil TOTAL PAVE.....	98
Figura 41. Iniciar sesión TOTAL PAVE.....	99
Figura 42. Ubicación del teléfono en el móvil .....	99
Figura 43. Nivelar TOTAL PAVE .....	100
Figura 44. Iniciamos con la recopilación de datos .....	100
Figura 45. Recopilación de datos TOTAL PAVE .....	101
Figura 46. Mapa temático del recorrido .....	101
Figura 47. Aplicativo móvil ABAKAL IRI .....	102
Figura 48. Instalación del celular .....	102
Figura 49. Ícono para iniciar la recopilación de datos .....	103

Figura 50. La pantalla de inicio se configura automáticamente con el tipo de cálculo de valores máximos seleccionado.....	103
Figura 51. La pantalla de inicio está ajustada para mostrar el tipo de cálculo estadístico seleccionado. ....	104
Figura 52. Ubicación del smartphone .....	104
Figura 53. Valores IRI obtenidas según las progresivas recorridas .....	139
Figura 54. Recorrido TOTALPAVE .....	139
Figura 55. Valores IRI obtenidas según las progresivas recorridas .....	142
Figura 56. Recorrido ABAKAL .....	143
Figura 57. Índice de condición del pavimento (PCI).....	144

## RESUMEN

En este estudio se analizó la condición del pavimento en la carretera a Yura, específicamente en el tramo que va desde el kilómetro 52+00 hasta el kilómetro 62+00, ubicado en el Distrito de Arequipa. Se emplearon dos métodos de evaluación: el Índice de Condición del Pavimento (PCI) y la medición de la rugosidad utilizando las aplicaciones TOTAL PAVE y ABAKAL. Los resultados obtenidos mostraron que el estado del pavimento fue clasificado como "Muy Malo" según ambos métodos de evaluación. Por lo tanto, se recomienda llevar a cabo labores de rehabilitación o reconstrucción de la capa superficial del pavimento. Es crucial priorizar la seguridad y comodidad de quienes transitan por la vía mediante mejoras en la carretera. Además, se sugiere implementar un plan integral de mantenimiento preventivo y correctivo, así como realizar estudios de diseño para la rehabilitación o reconstrucción del pavimento. Es importante sensibilizar a las autoridades y a la comunidad sobre la importancia de invertir en la conservación de la infraestructura vial.

**Palabras clave:** Pavimento, rugosidad, transitabilidad.



## ABSTRACT

In this study, the pavement condition on the road to Yura, specifically from kilometer 52+00 to kilometer 62+00 in the District of Arequipa, was evaluated. The Pavement Condition Index (PCI) method and roughness index, measured using the TOTAL PAVE and ABAKAL applications, were employed. The results indicated that the pavement condition was "Very Bad" according to both evaluation methods. Therefore, it is recommended to rehabilitate or reconstruct the surface layer of the pavement. Prioritizing the safety and comfort of road users through road improvements is crucial. It is also recommended to implement a comprehensive preventive and corrective maintenance plan, conduct design studies for pavement rehabilitation or reconstruction, and raise awareness among authorities and the community about the importance of investing in road infrastructure conservation.

**Key words:** Pavement, Roughness, Trafficability.

## INTRODUCCIÓN

El rápido crecimiento de la población de Arequipa ha llevado a un aumento considerable en el número de vehículos, lo que ha destacado el pésimo estado de las carreteras y ha exacerbado un problema ya crítico que afecta negativamente la experiencia de los usuarios. En este contexto, nuestro estudio tiene como objetivo evaluar la condición del pavimento en el tramo que va desde el kilómetro 52+00 hasta el kilómetro 62+00 de la carretera hacia Yura, en el Distrito de Arequipa, utilizando dos aplicaciones de tecnología moderna: TOTAL PAVE y ABAKAL. La evaluación se llevará a cabo mediante el uso del Índice de Condición del Pavimento (PCI) y la rugosidad del pavimento, con el fin de cumplir con los requisitos establecidos y contribuir a la mejora de la gestión vial en la región.

El intenso tráfico vehicular, tanto público como privado, caracteriza actualmente la carretera a Yura en el tramo comprendido entre los kilómetros 52+00 y 62+00 del Distrito de Arequipa, evidenciando una alta demanda de transporte en dicha zona, producto de estas intervenciones son particularmente necesarias debido a las pesadas cargas que transportan los vehículos, el transporte de pasajeros entre provincias y el uso extensivo de rutas de transporte público tanto formales como informales. Desafortunadamente, esta combinación, sumada al uso inadecuado de la carretera por parte de los residentes que viven a lo largo de sus fronteras, ha provocado numerosos accidentes de tráfico que han resultado en la trágica pérdida de vidas humanas y animales.

La investigación se desarrolló en cinco capítulos. El capítulo 1 aborda la descripción y formulación del problema, su justificación, los objetivos e hipótesis. El capítulo 2 expone el marco teórico, incluyendo antecedentes, bases teóricas y definiciones de términos. El capítulo 3 describe la metodología, el diseño de investigación, la población y la muestra. El capítulo 4 presenta los resultados del método PCI para determinar el estado de la vía, detallando las patologías detectadas y los aplicativos TOTAL PAVE y ABAKAL utilizados. El capítulo 5 profundiza en la discusión, analizando los resultados y comparando las dos aplicaciones. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones del estudio.

## CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. Descripción del Problema

La preocupante situación de la infraestructura vial en el País es un tema de gran relevancia, y la ausencia de este recurso crea una división mayor en las perspectivas de crecimiento nacional estén más lejanas, siendo claramente responsabilidad de las autoridades gubernamentales, ya que quienes no han demostrado el compromiso requerido para resolver este problema que se ha observado a lo largo de los años, siendo así perjudicial para el crecimiento económico de nuestro país.

Todas las consecuencias de este enigma repercuten gravemente en la seguridad de las personas, el estado del mismo, es el que aumenta el riesgo de accidentes de tránsito, así como afectaciones al patrimonio (daño de las mismas unidades vehiculares), afectaciones en el medio ambiente y deformaciones plásticas del pavimento, provocando elevados costes para su mantenimiento y restauración.

La SubDirección de Seguridad Vial de Arequipa (2018), ha experimentado un importante aumento de accidentes de tránsito en los últimos años, con un alarmante récord anual de aproximadamente 4.500 accidentes. Entre estos accidentes, hay una media de 210 víctimas mortales y una asombrosa cifra de alrededor de 4.000 personas que sufren diversas lesiones y soportan las consecuencias asociadas. Además, estos accidentes resultan en daños económicos sustanciales, todos los cuales pueden atribuirse a fallas en el comportamiento humano, problemas mecánicos, condiciones de la carretera o condiciones climáticas desfavorables.

Arequipa es una metrópolis que ha ido cobrando impulso durante muchos años con inmigraciones por su estructura básica.

Se ha convertido en una continua expansión urbana en las regiones sur y norte, considerando que la localidad está rodeada al este por la mina Cerro Verde y al oeste por el volcán Misti.

Dada la rápida y descontrolada expansión urbana en el distrito en cuestión, la planificación deficiente ha generado un caos en la disposición de calles y callejones, lo que resulta en una conexión casi completa entre la ciudad y la carretera Arequipa-A Yura. Este caos ha contribuido a la inseguridad vial y ha expuesto a los ciudadanos a un mayor riesgo de accidentes de tráfico en numerosas intersecciones, paradas de autobús y terminales a lo largo de la mencionada vía. Además, es necesario considerar

la falta de educación y formación vial, tanto por parte de peatones como de conductores y autoridades locales.

Se observa una tendencia a la normalización de invasiones en el crecimiento urbano que reduce el espacio disponible en la carretera Yura, con la intención de convertirla en una avenida principal. Estos problemas se ven agravados por la aparente falta de interés y visión a largo plazo por parte de las autoridades municipales del distrito Yura.

La Figura 1 y el Anexo 2 ilustran con precisión la ubicación de la Zona de Estudio, la cual se extiende entre los kilómetros 52+00 y 62+00 de la carretera Arequipa-A Yura, dentro del distrito de Arequipa, Perú. Esta área específica reviste una importancia singular debido a su papel como nexo fundamental entre la red vial principal y la infraestructura urbana. En este sentido, se configura como un punto crítico no solo para la seguridad vial, sino también para el desarrollo urbano sostenible de la región.

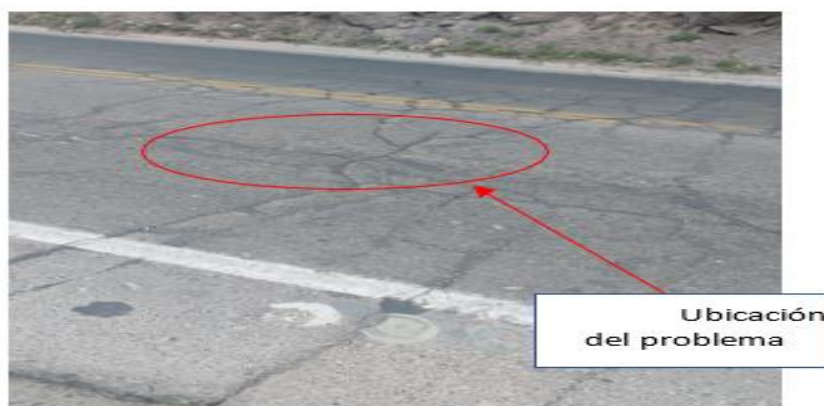
### Figura 1

*Localización del Área de Investigación.*



### Figura 2

*Zona de investigación*



**Figura 3**  
*Zona de investigación*



Las Figuras 2 y 3 revelan un estado deplorable del pavimento en la vía objeto de estudio, caracterizado por signos evidentes de deterioro y la ausencia de un mantenimiento adecuado. Durante la inspección de campo, se corroboró la presencia de diversas fallas y patologías en diferentes tramos de la carretera. En vista de esta situación, uno de los objetivos primordiales de esta investigación radica en la identificación y evaluación exhaustiva de estas fallas en el pavimento. El propósito central es determinar la rugosidad del pavimento mediante la implementación de herramientas innovadoras como TOTAL PAVE y ABAKAL. Este enfoque innovador busca contribuir de manera significativa a la mejora de la transitabilidad vehicular en la zona de estudio, garantizando la seguridad y el bienestar de los usuarios de la vía.

## **1.2. Formulación del Problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Evaluando las fallas superficiales del pavimento, se podrá determinar la rugosidad empleando aplicativos innovadores en la carretera a Yura Tramo KM 52+00 al KM 62+00, Distrito de Arequipa, 2023?

### 1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿De qué manera las fallas superficiales del pavimento afectan a la carretera a Yura Tramo KM 52+00 al KM 62+00, Distrito de Arequipa, 2023?
- b) ¿Cuál es el valor de la rugosidad calculada de la calzada utilizando la aplicación ABAKAL de la carretera a Yura Tramo KM 52+00 al KM 62+00, Distrito de Arequipa, 2023?
- c) ¿Cuál es el valor de la rugosidad calculada de la calzada utilizando la aplicación TOTAL PAVE de la carretera a Yura del KM 52+00 al KM 62+00, Distrito de Arequipa, 2023?
- d) ¿Cuáles son las diferencias de los valores de la rugosidad calculada de la calzada utilizando aplicativos innovadores de la carretera a Yura del KM 52+00 al KM 62+00, Distrito de Arequipa, 2023?

### 1.3. Justificación e importancia

La carretera Arequipa-Yura cuenta con un alto índice de tránsito, provocando accidentes frecuentemente durante los últimos años. Por consiguiente, es necesario buscar soluciones ya que podría generar mayor cantidad de heridos y muertes, así mismo, evaluar la superficie de la carretera para determinar las causas de su deterioro, entre las que se encuentran el tráfico pesado, los fenómenos naturales, el mantenimiento deficiente, etc.

Las condiciones de las superficies de las carreteras en el área de la carretera Yura están siendo evaluadas debido a la influencia del tráfico vehicular, el crecimiento demográfico y otros elementos relevantes.

En concordancia con lo expuesto, se implementará el método IRI (Índice de Rugosidad Internacional) para la determinación precisa de la rugosidad superficial del pavimento en la zona de estudio. Este método, ampliamente reconocido en el ámbito de la ingeniería vial, nos permitirá evaluar objetivamente la comodidad y seguridad que ofrece la vía para los usuarios. De manera complementaria, se aplicará el Índice de Condición del Pavimento (PCI), una herramienta de diagnóstico integral que permite evaluar el estado actual del pavimento mediante observaciones detalladas. Este método nos permitirá identificar diversos tipos de patologías, tales como agrietamiento, baches, deformaciones y desprendimientos, con el fin de proponer soluciones pertinentes y eficaces para la rehabilitación y mantenimiento de la carretera.

El Índice Internacional de Rugosidad (IRI) se erige como una métrica fundamental en el análisis de pavimentos, permitiendo determinar con precisión su nivel de rugosidad y, en consecuencia, evaluar el grado de servicio que ofrece la vía a los usuarios. Su aplicación proporciona información valiosa sobre la comodidad y seguridad del tránsito vehicular, aspectos que resultan cruciales para la toma de decisiones en materia de gestión vial.

En el ámbito de la evaluación y clasificación de pavimentos flexibles y rígidos, el Índice de Condición del Pavimento (PCI) se posiciona como el método más exhaustivo y ampliamente reconocido entre los diversos modelos de gestión vial disponibles en la actualidad. Su implementación permite realizar un diagnóstico detallado del estado actual del pavimento, identificando con precisión la presencia de diversas patologías como agrietamiento, baches, deformaciones y desprendimientos. Esta información detallada es esencial para la planificación y ejecución de intervenciones de rehabilitación y mantenimiento, orientadas a prolongar la vida útil del pavimento y garantizar la seguridad vial.

#### **1.4. Objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo general**

Evaluar las fallas superficiales del pavimento, para determinar la rugosidad empleando aplicativos innovadores en la carretera a Yura tramo km 52+00 al km 62+00 – distrito de Arequipa, 2023.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- a) Determinar las fallas superficiales del pavimento que afectan a la carretera a Yura Tramo KM 52+00 al KM 62+00, Distrito de Arequipa, 2023.
- b) Determinar el valor de la rugosidad calculada de la calzada utilizando la aplicación ABAKAL de la carretera a Yura Tramo KM 52+00 al KM 62+00, Distrito de Arequipa, 2023.
- c) Determinar el valor de la rugosidad calculada de la calzada utilizando la aplicación TOTAL PAVE de la carretera a Yura del KM 52+00 al KM 62+00, distrito de Arequipa, 2023.
- d) Identificar las diferencias de los valores de la rugosidad calculada de la calzada utilizando aplicativos innovadores de la carretera a Yura del KM 52+00 al KM 62+00, distrito de Arequipa, 2023.

## **1.5. Hipótesis**

### **1. 5.1. Hipótesis General**

Evaluando las fallas superficiales del pavimento se determinará la rugosidad empleando aplicativos innovadores en la carretera a Yura tramo km 52+00 al km 62+00 – Distrito de Arequipa, 2023.

### **1.5.2. Hipótesis Específicas**

- a) Las fallas superficiales del pavimento afectan negativamente a la Carretera a Yura Tramo KM 52+00 al KM 62+00, Distrito de Arequipa, 2023.
- b) El valor de la rugosidad calculada de la calzada utilizando la aplicación ABAKAL de la carretera a Yura tramo km 52+00 al km 62+00 – Distrito de Arequipa, 2023, es deficiente.
- c) El valor de la rugosidad calculada de la calzada utilizando la aplicación TOTAL PAVE de la carretera a Yura Tramo KM 52+00 al KM 62+00, Distrito de Arequipa, 2023, es deficiente.
- d) Las diferencias de los valores de la rugosidad de la calzada utilizando aplicativos innovadores es similar para la carretera a Yura del KM 52+00 al KM 62+00, Distrito de Arequipa, 2023.



## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la Investigación

A nivel Internacional

Reyes (2020) realizó la investigación “Determinación del Índice de Rugosidad Internacional en la Av. La Prensa, usando aparatos Inteligentes y el Rugosímetro de Merlín”, de la Universidad Estatal del Sur de Manabí. El presente estudio tiene como objetivo principal determinar la regularidad superficial del pavimento de la avenida La Prensa, empleando para ello una batería de herramientas tecnológicas de vanguardia. En primer lugar, se utilizarán aplicativos móviles especializados en el análisis de pavimentos, los cuales permitirán obtener una primera aproximación al estado de la superficie. Posteriormente, se empleará software especializado en el análisis del pavimento, el cual proporcionará datos más precisos y detallados sobre la rugosidad del mismo. Para culminar la evaluación, se utilizará el Rugosímetro de Merlín, un instrumento de medición de alta precisión que permitirá obtener el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) de la vía. Esta información es crucial para evaluar el grado de confort y seguridad que ofrece la avenida a los usuarios. Los resultados obtenidos mediante la aplicación de estas herramientas convergen en una conclusión inequívoca: el valor del IRI de la avenida La Prensa es de 2 m/km, lo que indica que la superficie del pavimento se encuentra en un estado óptimo. Cabe destacar que la utilización de estas herramientas tecnológicas innovadoras constituye un referente importante para la evaluación precisa del IRI, permitiendo tomar decisiones informadas en materia de mantenimiento y conservación de la infraestructura vial.

Álvarez (2021) Realizó la investigación “Evaluación funcional del pavimento de la vía a Noboa en el acceso Oriental de la Ciudad de Jipijapa provincia de Manabí, desde la abscisa 0+000 Hasta 1+000”, de la universidad Estatal del sur de Manabí, de la ciudad de Ecuador, Manabí. En el marco de un estudio exhaustivo, se llevó a cabo una evaluación funcional del pavimento flexible en la vía hacia Noboa, situada en el acceso oriental de la ciudad de Jipijapa. Esta evaluación, meticulosamente planificada, tuvo como objetivo principal determinar el estado actual del pavimento y compararlo con los parámetros establecidos en las normativas vigentes. Para lograrlo, se implementó una serie de ensayos específicos en la capa de rodadura, proporcionando datos valiosos sobre su condición estructural y funcional. La comparación de los resultados obtenidos con los valores establecidos en las normativas vigentes permitió concluir que el pavimento flexible en la vía hacia Noboa se encontraba en buen estado general,

cumpliendo con los estándares de calidad y seguridad establecidos. Esta conclusión se basó en el análisis exhaustivo de los datos obtenidos en los diferentes ensayos realizados, los cuales proporcionaron una imagen completa del estado estructural y funcional del pavimento.

Días et al. (2021) Realizaron la investigación "Estudio de la correlación del Índice de estado "IRI" Índice de rugosidad internacional, respecto de la capacidad estructural del pavimento, específicamente con los cuencos de deflexión para concesiones de cuarta generación "4G", de la universidad de Santo Tomas, de la ciudad de Ecuador, Bogotá. En el marco de una investigación exhaustiva, se abordó el estudio de la relación existente entre la regularidad y la capacidad estructural del pavimento en el Sector 4 Esquinas - Sesquilé, perteneciente a la Unidad Funcional 1 de la Concesión "Perimetral Oriental de Cundinamarca". Este análisis, meticulosamente planificado, tuvo como objetivo principal determinar en qué medida la regularidad superficial del pavimento influye en su capacidad para soportar las cargas del tránsito vehicular. Para lograr este objetivo, se implementó una metodología rigurosa que combinó la recolección y análisis de datos de campo con el estudio de la literatura especializada. En primer lugar, se llevó a cabo una inspección visual detallada del pavimento, registrando observaciones sobre su estado general y la presencia de posibles fallas o deterioros. Posteriormente, se emplearon técnicas de medición especializadas para determinar la rugosidad superficial del pavimento en diferentes puntos del sector. Los datos de rugosidad obtenidos se correlacionaron con los resultados de pruebas de carga realizadas en el pavimento, las cuales permitieron evaluar su capacidad estructural. Esta correlación permitió establecer si existe una relación significativa entre la regularidad superficial y la capacidad del pavimento para soportar cargas. Los resultados del estudio revelaron que existe una relación positiva entre la regularidad superficial del pavimento y su capacidad estructural. En otras palabras, un pavimento con una superficie más regular presenta una mayor capacidad para soportar las cargas del tránsito vehicular, lo que se traduce en una menor probabilidad de aparición de fallas o deterioros. Esta conclusión es de gran importancia para la gestión y el mantenimiento de la infraestructura vial, ya que pone de relieve la necesidad de considerar la regularidad superficial como un factor clave en la evaluación del estado del pavimento. Al priorizar la conservación de una superficie regular, se puede contribuir a prolongar la vida útil del pavimento y reducir los costos de mantenimiento a largo plazo.

### A nivel Nacional

Arteaga (2019) realizó la investigación “Análisis de la Variación del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en función de variables constructivas y geométricas en vías menores” de la Universidad Ricardo Palma del Perú, Lima. En el marco de un estudio exhaustivo, se abordó la determinación de la influencia ejercida por las variables geométricas y constructivas en el tramo Cotahuasi-Pausa, ubicado en una vía de tercera clase, a una distancia aproximada de 510 metros del pueblo de Andamarca. Este análisis, meticulosamente planificado, tuvo como objetivo principal identificar en qué medida las características geométricas y constructivas de la vía inciden en su rugosidad superficial. Para lograr este objetivo, se implementó una metodología rigurosa que combinó la aplicación de instrumentos especializados con el estudio de datos de campo. En primer lugar, se empleó el Rugosímetro Merlín para medir la rugosidad superficial del pavimento en ambos carriles de la vía, obteniendo valores que oscilaron entre 4,54 m/km y 6,32 m/km. Posteriormente, se utilizó el Perfilómetro Láser "CHASQUI" para obtener un perfil detallado de la superficie del pavimento, registrando valores de rugosidad que variaron entre 4,5 m/km y 6,0 m/km. Los datos de rugosidad obtenidos con ambos instrumentos se correlacionaron con las características geométricas y constructivas de la vía, tales como el ancho del carril, la pendiente transversal y el tipo de material utilizado en la capa de rodadura. Esta correlación permitió establecer si existe una relación significativa entre las variables geométricas y constructivas y la rugosidad superficial del pavimento. Los resultados del estudio revelaron que existe una relación positiva entre las variables geométricas y constructivas y la rugosidad superficial del pavimento. En otras palabras, un mayor ancho de carril, una menor pendiente transversal y un material de rodadura de mayor calidad se asocian con una menor rugosidad superficial del pavimento. Esta conclusión es de gran importancia para el diseño y la construcción de vías, ya que pone de relieve la necesidad de considerar las variables geométricas y constructivas como factores clave para obtener una superficie de pavimento con baja rugosidad. Al priorizar estos aspectos en el diseño y la construcción, se puede contribuir a mejorar la comodidad y seguridad de los usuarios de la vía, así como a prolongar su vida útil.

Mozo et al. (2019) Realizó la investigación “Evaluación Superficial de la condición y serviciabilidad del Pavimento Flexible por el Método Pavement Condition Index (Pci) y Roadroid en el Circuito Humedal Lucre-Huacarpay”, de la Universidad Andina de Cusco, Perú. En el marco de un estudio exhaustivo, se abordó la determinación del índice de condición superficial del pavimento flexible en una carretera específica. Para ello, se empleó el método del Índice de Condición del Pavimento (PCI),

siguiendo rigurosamente los lineamientos establecidos en el estándar ASTM D-6433. Adicionalmente, se utilizó la aplicación Roadroid para evaluar el nivel de serviciabilidad del pavimento. La aplicación del método PCI arrojó un valor de 22,87, lo que clasificó al pavimento flexible como "Muy Malo" según la escala de clasificación PCI. Este resultado indica que la superficie del pavimento presenta un deterioro significativo, lo que afecta negativamente la comodidad y seguridad de los usuarios de la vía. Por otro lado, el índice de serviciabilidad (PSI) obtenido mediante la aplicación Roadroid alcanzó un valor de 2,814 en la dirección de ida y 2,813 en la dirección de retorno. Estos valores clasificaron al pavimento como "Regular" según la escala de clasificación PSI. Si bien esta clasificación indica que el pavimento aún se encuentra en condiciones operativas, el valor relativamente bajo del PSI sugiere que la superficie presenta cierto grado de deterioro que podría afectar su desempeño en el futuro. El análisis visual de la superficie de la carretera reveló la presencia de diversas patologías, como agrietamiento, baches y deformaciones, las cuales confirman el estado moderado de degradación del pavimento. Estas patologías obligan a los conductores a reducir su velocidad, lo que impacta negativamente en la fluidez del tránsito vehicular. Con el objetivo de complementar la evaluación del estado del pavimento, se utilizó la aplicación Roadroid para determinar el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) y la rugosidad superficial. Los resultados obtenidos confirmaron la presencia de una superficie irregular, lo que corrobora la necesidad de implementar medidas de rehabilitación. En base a los resultados obtenidos en este estudio exhaustivo, se propone la implementación de una intervención de rehabilitación que consiste en la aplicación de una mezcla asfáltica en caliente a nivel de la capa de rodadura o superficie superficial. Esta medida permitiría corregir las patologías presentes en el pavimento, mejorar la comodidad y seguridad de los usuarios, y prolongar la vida útil de la infraestructura vial.

Rios et al. (2022) realizaron la investigación "Índice de regularidad internacional usando aplicativos móviles para establecer el nivel de servicio de la superficie de rodadura" de la Universidad Ricardo Palma del Perú, Lima. En el marco de un estudio exhaustivo, se abordó la determinación del nivel de servicio de la superficie de rodadura en un tramo específico de la Carretera PE 18A. Para ello, se empleó la novedosa técnica de evaluación mediante aplicativos móviles, específicamente en el tramo que va desde el kilómetro 30+00 hasta el kilómetro 60+00. Esta metodología innovadora permitió obtener datos valiosos sobre el estado de la superficie de rodadura de manera eficiente y accesible. Como resultado de la investigación, se determinó que el aplicativo Total Pave se destaca como una herramienta de evaluación con una mayor confiabilidad para este tipo de estudios. Su precisión y facilidad de uso lo convierten en un instrumento

valioso para la evaluación del estado de las carreteras, así como para la viabilidad de obras de rehabilitación y mantenimiento. Este hallazgo representa un avance significativo en el ámbito de la evaluación de pavimentos, ya que abre la puerta a la inclusión de aplicativos móviles como equipos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) en los controles de calidad de las carreteras. La implementación de esta tecnología innovadora permitiría optimizar los procesos de evaluación, reducir costos y mejorar la eficiencia en la gestión de la infraestructura vial.

#### A nivel Local

Lozano et al. (2021) Realizaron la investigación “Evaluación de la Rugosidad en el Pavimento utilizando teléfonos inteligentes para mejorar la Transitabilidad Vehicular en la Av. Antúnez de Mayolo, Distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna -2021”, de la Universidad Privada de Tacna. En el marco de un estudio exhaustivo, se abordó el examen de la rugosidad del pavimento en una avenida específica, con el objetivo de determinar potenciales mejoras en la transitabilidad. Para ello, se empleó la novedosa técnica de evaluación mediante teléfonos inteligentes, utilizando las aplicaciones Roadroid y Abakal. La aplicación Roadroid arrojó valores promedio del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) de 4,66 m/km en la calzada de bajada y 4,49 m/km en la calzada de subida. Estos resultados indican que la superficie de la calzada de bajada presenta una rugosidad ligeramente mayor que la calzada de subida. Por otro lado, la aplicación Abakal proporcionó valores promedio de IRI de 5,15 m/km en la calzada de bajada y 4,97 m/km en la calzada de subida. Si bien estos valores son ligeramente superiores a los obtenidos con Roadroid, la tendencia general es similar, con una mayor rugosidad en la calzada de bajada. Al analizar ambos conjuntos de datos, se determinó un valor promedio de IRI para la avenida de 4,58 m/km con la aplicación Roadroid y de 5,06 m/km con la aplicación Abakal. Esta diferencia en los valores promedio refleja la variabilidad inherente a las mediciones de rugosidad del pavimento. En conclusión, al analizar los datos recopilados de ambas aplicaciones, se encontró que producen resultados comparables en cuanto a la condición del pavimento y las calificaciones de transitabilidad. Esto sugiere que las aplicaciones para teléfonos inteligentes pueden ser herramientas confiables para la evaluación de la rugosidad del pavimento. Sin embargo, en términos de costos y tiempo invertido, las aplicaciones para teléfonos inteligentes presentan una ventaja significativa en comparación con los métodos tradicionales de evaluación de la rugosidad del pavimento. Los teléfonos inteligentes son dispositivos ampliamente disponibles y económicos, lo que permite realizar evaluaciones con mayor facilidad y frecuencia. Además, las aplicaciones para teléfonos inteligentes pueden

recopilar y procesar datos de manera rápida y eficiente, lo que reduce significativamente el tiempo necesario para completar una evaluación.

Gonzalo et al. (2021) En la investigación “Aplicación del Smartphone y el Rugosímetro de Merlín para la medición de la Rugosidad del Pavimento Flexible en la av. Internacional, Tacna - 2021”, de la Universidad Privada de Tacna. En el marco de un estudio exhaustivo, se abordó el establecimiento y contraste de la rugosidad del pavimento flexible en la Avenida Internacional, utilizando tanto una aplicación para Smartphone como el Rugosímetro de Merlín. Esta iniciativa innovadora tuvo como objetivo principal evaluar la viabilidad de las aplicaciones móviles como herramientas complementarias para la evaluación del estado del pavimento. Para lograr este objetivo, se definió un procedimiento riguroso que combinó la utilización de la aplicación Abakal con la metodología tradicional del Rugosímetro de Merlín. La aplicación Abakal, instalada en un Smartphone, permitió recopilar datos de manera eficiente y accesible, mientras que el Rugosímetro de Merlín proporcionó mediciones de alta precisión. Los resultados obtenidos con el Rugosímetro de Merlín arrojaron un promedio de Índice Internacional de Rugosidad (IRI) de 4,61 m/km. De acuerdo a las normativas del MTC, este valor clasifica el estado del pavimento como "Malo", lo que indica la necesidad de implementar medidas de rehabilitación para mejorar la transitabilidad y seguridad de la vía. Al comparar los valores IRI obtenidos con ambos métodos, se observó una similitud media del 87,43%. Esta coincidencia significativa respalda la confiabilidad de la aplicación Abakal como una herramienta viable para la evaluación de la rugosidad del pavimento. Sin embargo, cabe destacar que se presentaron diferencias leves en los valores IRI entre ambos métodos, principalmente en el lado izquierdo de la vía. Estas diferencias se atribuyen a las características propias de cada método de medición. El Rugosímetro de Merlín, al ser un dispositivo portátil, está sujeto a variaciones en la aplicación de la carga durante el recorrido, mientras que la aplicación Abakal, al basarse en la aceleración del Smartphone, puede verse afectada por la posición del dispositivo y la velocidad del vehículo.

Zeballos et al. (2021) Realizaron la investigación “Aplicación de teléfonos inteligentes y el Rugosímetro de Merlín para la determinación de la Rugosidad del Pavimento Flexible en la Carretera Ta-615, Tramo: Puente El Peligro – Emp. Pe-40, Tacna - 2020”, de la Universidad Privada de Tacna. En el marco de un estudio exhaustivo, se abordó la evaluación de la rugosidad del pavimento flexible en la carretera TA-615, utilizando tanto aplicaciones de teléfonos inteligentes como el Rugosímetro de Merlín. Esta iniciativa innovadora tuvo como objetivo principal comparar la eficacia de estas dos metodologías para la evaluación del estado del pavimento. Para

lograr este objetivo, se empleó la aplicación Roadroid, instalada en un teléfono inteligente, y el Rugosímetro de Merlín, un dispositivo tradicional utilizado para la medición de la rugosidad del pavimento. Ambas metodologías permitieron identificar desgastes, imperfecciones e irregularidades en la superficie del pavimento. Con el objetivo de evaluar el estado general del pavimento y su impacto en la transitabilidad, se calculó un Índice Internacional de Rugosidad (IRI) ponderado para la carretera TA-615. Los resultados obtenidos con el Rugosímetro de Merlín arrojaron un valor IRI de 3,52 m/km, mientras que la aplicación Roadroid proporcionó un valor IRI de 3,59 m/km. La similitud observada entre los valores IRI obtenidos con ambos métodos es un hallazgo significativo que respalda la viabilidad de las aplicaciones de teléfonos inteligentes como herramientas complementarias para la evaluación de la rugosidad del pavimento. Esta coincidencia en los resultados sugiere que la aplicación Roadroid puede ser una alternativa confiable al Rugosímetro de Merlín en escenarios donde el acceso a este dispositivo tradicional sea limitado o costoso. Sin embargo, es importante destacar que la aplicación Roadroid presenta algunas limitaciones inherentes a su naturaleza. Al basarse en los sensores del teléfono inteligente, la precisión de las mediciones puede verse afectada por factores como la posición del dispositivo, la velocidad del vehículo y las condiciones ambientales. En contraste, el Rugosímetro de Merlín es un dispositivo diseñado específicamente para la medición de la rugosidad del pavimento, lo que le otorga una mayor precisión y confiabilidad.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Pavimento**

Un pavimento bien construido desempeña un rol fundamental en el sistema vial, al proporcionar una superficie de conducción excepcional que se adapta al movimiento vehicular. Esta superficie de calidad garantiza la comodidad y seguridad de los usuarios, independientemente de las condiciones climáticas o la velocidad a la que se circule. La variedad de pavimentos disponibles es amplia y responde a las necesidades específicas de cada tipo de vía. La elección del pavimento adecuado depende de diversos factores, incluyendo el tipo y volumen de vehículos que transitarán por ella.

### **2.2.2. Clasificación de pavimentos**

Existen tres categorías de pavimentos que pueden ser identificadas

### Pavimento Flexible:

Espinoza (2020) El sistema estructural del pavimento se compone de diversas capas interdependientes que trabajan en conjunto para soportar las cargas impuestas por el tráfico vehicular y garantizar la durabilidad y funcionalidad de la vía. Cada capa tiene un rol específico que contribuye al desempeño general del pavimento. En la parte superior se encuentra la carpeta asfáltica, una capa de mezcla asfáltica que actúa como superficie de rodadura. Esta capa proporciona una superficie lisa y uniforme que minimiza la fricción entre los neumáticos y el pavimento, optimizando el control del vehículo y reduciendo el desgaste de los neumáticos. Además, la carpeta asfáltica es flexible, lo que le permite deformarse ligeramente ante las cargas sin sufrir daños estructurales. Debajo de la carpeta asfáltica se encuentran las capas granulares de base y subbase. La base, compuesta por agregados gruesos, se encarga de distribuir las cargas impuestas por la superficie de rodadura hacia la subbase, mientras que la subbase, formada por agregados más finos, transmite estas cargas de manera uniforme hacia la subrasante, que es la capa natural de suelo que se encuentra en la parte inferior del sistema estructural. La subrasante juega un papel fundamental en el desempeño del pavimento, ya que proporciona soporte y estabilidad a las capas superiores. Su capacidad para drenar el agua y mantener su integridad estructural es crucial para evitar fallas en el pavimento. En conjunto, las capas del sistema estructural del pavimento trabajan en sinergia para garantizar una superficie de rodadura segura, duradera y confortable. La elección del tipo de materiales y el espesor de cada capa depende de diversos factores, como el tipo y volumen de tráfico, las condiciones climáticas y las características del suelo de la subrasante.

### Pavimento Rígido:

Espinoza (2020) Los pavimentos urbanos se caracterizan por su elaboración a base de losas de concreto hidráulico, las cuales, en ocasiones, se encuentran reforzadas con acero. Estas losas se disponen sobre una capa de base o subbase, y finalmente, sobre la subrasante, conformando una estructura integral diseñada para prevenir cualquier tipo de deformación en las capas inferiores. Las losas de concreto hidráulico, elementos fundamentales de este tipo de pavimento, se fabrican mediante el fraguado de una mezcla de cemento, agua, agregados gruesos y finos, y, en algunos casos, acero de refuerzo. Su principal característica es su elevada resistencia a la compresión, lo que les permite soportar las cargas impuestas por el tráfico vehicular sin sufrir deformaciones significativas. La capa de base o subbase, ubicada debajo de las losas de concreto, juega un rol crucial en la distribución uniforme de las cargas hacia la



subrasante. Esta capa, compuesta por materiales granulares como grava o piedra triturada, actúa como un colchón que absorbe y transmite las presiones ejercidas por el peso de los vehículos, evitando la concentración de esfuerzos en puntos específicos del sistema. La subrasante, la capa natural de suelo que se encuentra en la parte inferior del sistema estructural, proporciona soporte y estabilidad a las capas superiores. Su capacidad para drenar el agua y mantener su integridad estructural es fundamental para evitar hundimientos o fallas en el pavimento. En conjunto, los pavimentos urbanos a base de losas de concreto hidráulico se distinguen por su durabilidad, resistencia y capacidad para soportar altos volúmenes de tráfico. Su diseño, que considera la interacción entre las losas, la base o subbase y la subrasante, permite prevenir deformaciones y garantizar una superficie de rodadura segura y confortable para los usuarios.

#### Pavimento Híbrido:

Espinoza (2020) Los pavimentos híbridos emergen como una solución innovadora que combina las ventajas de los materiales flexibles y rígidos para satisfacer las necesidades específicas del entorno urbano. Este enfoque innovador busca principalmente reducir el límite de velocidad para los vehículos, priorizando la seguridad y el confort de los usuarios. Su aplicación se destaca en entornos urbanos, donde la circulación vehicular presenta características particulares. El alto volumen de tráfico, la presencia de peatones y ciclistas, y la necesidad de reducir la contaminación acústica exigen soluciones pavimentales que conjuguen resistencia, durabilidad y confort. La combinación de materiales flexibles y rígidos en la construcción del pavimento híbrido permite adaptarse a estas demandas. La capa superior, generalmente compuesta por asfalto, aporta flexibilidad y capacidad de adaptación a las deformaciones del terreno. Por su parte, la capa inferior, conformada por hormigón o concreto, proporciona rigidez y resistencia estructural, distribuyendo las cargas de manera uniforme y previniendo la fisuración del pavimento. En definitiva, los pavimentos híbridos representan una alternativa innovadora que responde a las necesidades específicas del entorno urbano, priorizando la seguridad, el confort y la sostenibilidad. Su capacidad para reducir la velocidad, minimizar el ruido y ofrecer una superficie duradera y resistente los convierte en una opción atractiva para calles, avenidas y zonas peatonales, contribuyendo a mejorar la calidad de vida en las ciudades.

### **2.2.3. Las fallas en pavimentos flexibles pueden clasificarse en varios tipos**

#### **2.2.3.1. F. Por piel de cocodrilo**

Ministerio de transportes y comunicaciones (2019), el pavimento asfáltico, esa superficie que nos permite transitar con seguridad, no está exento de sufrir daños con el paso del tiempo. Entre los problemas más complejos y desafiantes se encuentra la falla de piel de cocodrilo, una condición que afecta la integridad estructural del pavimento y compromete la seguridad vial.

El origen de problema:

La falla de piel de cocodrilo se origina por la fatiga del material, un fenómeno que se produce cuando el pavimento es sometido a cargas repetidas durante un período prolongado. Estas cargas, provenientes del tráfico vehicular, generan pequeñas deformaciones en la estructura del pavimento, las cuales, con el tiempo, acumulan y conducen a la formación de grietas.

La falla de piel de cocodrilo se desarrolla en etapas progresivas:

- Etapa inicial: En sus inicios, la falla se manifiesta como sutiles grietas longitudinales, paralelas entre sí, que se extienden gradualmente hacia la superficie del pavimento. Estas grietas representan el primer indicio de la falla y son difíciles de detectar a simple vista.
- Etapa intermedia: Con el paso del tiempo y la exposición a cargas vehiculares recurrentes, las grietas comienzan a fusionarse y fragmentarse, generando segmentos más pequeños. A medida que la falla avanza, se observa la formación de ángulos agudos en el lado interior de las grietas, lo que genera un patrón distintivo que recuerda la piel rugosa y escamosa de un cocodrilo. Este patrón característico, que da nombre a la falla, se vuelve más evidente con el aumento de la severidad del daño.
- Etapa avanzada: En las etapas más severas de la falla, las grietas se vuelven amplias y profundas, formando un patrón intrincado que cubre una superficie significativa del pavimento. En este estado, la falla compromete seriamente la integridad estructural del pavimento y representa un riesgo significativo para la seguridad vial.

La severidad de la falla de piel de cocodrilo se clasifica en diferentes niveles, como se muestra en la Tabla 1 y se ilustra en la Figura 4. La clasificación se basa en la magnitud de las grietas, la extensión del área afectada y el impacto en la seguridad vial y la comodidad de los usuarios.

La falla de piel de cocodrilo tiene consecuencias negativas en la infraestructura vial:

- Compromiso de la integridad estructural: Las grietas debilitan la estructura del pavimento, haciéndolo más susceptible a baches, hundimientos y fracturas.
- Disminución de la seguridad vial: Las grietas irregulares y profundas pueden generar inestabilidad en la superficie del pavimento, aumentando el riesgo de accidentes, especialmente para motociclistas y ciclistas.
- Deterioro de la comodidad de los usuarios: La circulación sobre un pavimento con piel de cocodrilo genera ruido excesivo, vibraciones en los vehículos y salpicaduras de material asfáltico, afectando la experiencia de los usuarios.
- Aumento de los costos de mantenimiento: La reparación de la falla de piel de cocodrilo requiere técnicas especializadas y materiales costosos, lo que incrementa los gastos en mantenimiento vial.

Combatir la falla de piel de cocodrilo requiere un enfoque integral que incluya:

- Diseño adecuado del pavimento: Considerar el tipo de tráfico vehicular, las características del subsuelo y las condiciones climáticas para diseñar un pavimento con la resistencia adecuada.
- Selección de materiales de alta calidad: Utilizar materiales asfálticos y agregados resistentes a la fatiga y al desgaste.
- Técnicas de construcción adecuadas: Implementar técnicas de compactación y pavimentación que aseguren la uniformidad y densidad del pavimento.
- Monitoreo y mantenimiento periódico: Inspeccionar el pavimento regularmente para detectar las primeras señales de la falla y tomar medidas correctivas oportunas.
- Implementación de sistemas de drenaje eficientes: Evitar la acumulación de agua en el subsuelo, que puede debilitar la estructura del pavimento y acelerar la formación de grietas.

La falla de piel de cocodrilo es un problema complejo que exige atención inmediata para garantizar la seguridad vial, proteger la inversión en infraestructura y prolongar la vida útil de las carreteras. La implementación de estrategias preventivas, un mantenimiento adecuado y un monitoreo constante son claves para mantener nuestras carreteras en óptimas condiciones. Solo así podremos evitar que este enemigo sigiloso se apodere de nuestra infraestructura vial

**Tabla 1**

*Las fallas por piel de cocodrilo pueden presentar diferentes niveles de severidad*

Gravedad de fallas	Descripción
L	<p>Se describen como fisuras longitudinales muy delgadas, de un grosor similar al de un cabello, que se extienden de manera paralela entre sí. Estas fisuras suelen presentar algunas conexiones entre sí, aunque en ocasiones pueden aparecer de forma aislada. No muestran signos de descascarado.</p>
M	<p>La severidad de las fisuras de piel de cocodrilo depende de la extensión de la red de grietas, la profundidad de las mismas y la presencia o ausencia de descamación. En los casos más leves, las grietas son pequeñas y poco profundas, mientras que en los casos más severos, la red de grietas cubre una superficie significativa del pavimento, las grietas son profundas y la descamación es generalizada.</p>
H	<p>Las fallas en pavimentos, como las grietas longitudinales, la falla de piel de cocodrilo y las fisuras de piel de cocodrilo, se caracterizan por una progresión gradual que comienza con grietas sutiles y va avanzando hacia patrones cada vez más complejos y severos. En el caso de las grietas longitudinales, estas se extienden gradualmente hacia la superficie en forma de líneas paralelas, mientras que en la falla de piel de cocodrilo, se observa la formación de ángulos agudos en el interior de las grietas, generando un patrón distintivo similar a la piel de un cocodrilo. Las fisuras de piel de cocodrilo, por su parte, se manifiestan como una red de grietas finas que se interconectan y pueden presentar descamación en algunas áreas, creando una apariencia similar a la piel rugosa y escamosa de un cocodrilo.</p>

**Figura 4***Falla de Pavimento por piel de cocodrilo***2.2.3.2. F. Por exudación**

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2019), el pavimento asfáltico, esa superficie que nos permite transitar con seguridad, no está exento de sufrir daños con el paso del tiempo. Entre los problemas más comunes y molestos se encuentra la exudación asfáltica, una falla que se manifiesta por la aparición de material asfáltico en la superficie del pavimento. Este material, que forma una capa superficial cristalina y pegajosa, afecta la estética, la funcionalidad y la seguridad de las carreteras.

La exudación asfáltica no se debe a una sola causa, sino a una combinación de factores que actúan en conjunto. Entre los desencadenantes más comunes se encuentran:

- Exceso de cemento asfáltico: La utilización de demasiado cemento asfáltico en la mezcla asfáltica puede generar una exudación prematura del material, especialmente en condiciones de alta temperatura.
- Sellante voluminoso: La aplicación de un sellante demasiado grueso o con propiedades inadecuadas puede impedir la correcta ventilación del pavimento, atrapando el calor y favoreciendo la exudación del material asfáltico.
- Contenido de vacíos insuficiente: Un contenido de vacíos inadecuado en la mezcla asfáltica, es decir, una cantidad insuficiente de espacios de aire entre los agregados, puede provocar que el material asfáltico no tenga suficiente espacio para acomodarse, generando su exudación a la superficie.
- Condiciones climáticas: Las altas temperaturas favorecen la fluidez del material asfáltico, haciéndolo más susceptible a salir a la superficie. Además, la

exposición prolongada al sol puede acelerar el proceso de exudación, especialmente en pavimentos con colores oscuros que absorben más calor.

La severidad de la exudación asfáltica varía en función de la extensión del área afectada, la profundidad de la capa de material exudado y el impacto en la estética, la adherencia y la resistencia al desgaste del pavimento. De acuerdo a su severidad, la exudación se clasifica en diferentes grados:

- Grado leve: La exudación se presenta como manchas aisladas o pequeñas áreas de material asfáltico sobre la superficie del pavimento.
- Grado moderado: La exudación cubre una extensión considerable del pavimento, afectando su apariencia y generando cierta incomodidad al conducir.
- Grado severo: La exudación puede cubrir grandes extensiones del pavimento, comprometiendo la adherencia entre los neumáticos y la superficie, aumentando el riesgo de accidentes y generando un desgaste prematuro de los neumáticos.

Más allá de afectar la estética de las carreteras, la exudación asfáltica tiene consecuencias negativas que impactan en la seguridad vial, la comodidad de los usuarios y los costos de mantenimiento:

- Disminución de la adherencia: La capa de material exudado puede reducir la adherencia entre los neumáticos y el pavimento, aumentando el riesgo de accidentes, especialmente en condiciones de lluvia o frenado brusco.
- Aumento del desgaste vehicular: La circulación sobre un pavimento con exudación asfáltica genera un mayor desgaste en los neumáticos, debido a la adherencia pegajosa y a la rugosidad de la superficie.
- Dificultad de limpieza: El material asfáltico pegajoso es difícil de limpiar, lo que requiere un mayor esfuerzo de mantenimiento y puede generar costos adicionales.
- Deterioro de la imagen de las vías: La presencia de exudación asfáltica en las carreteras da una imagen descuidada y poco profesional, afectando la percepción de los usuarios y las autoridades.

**Tabla 2***Niveles de Severidad - Fallas por exudación*

Niveles De Severidad	Descripción
L	<p>La exudación asfáltica leve se caracteriza por su manifestación poco significativa y su carácter temporal. A diferencia de casos más severos, donde la exudación cubre grandes superficies y afecta permanentemente la superficie del pavimento, la exudación leve se presenta como manchas o áreas aisladas de material asfáltico que solo se observan durante unos pocos días al año, generalmente durante los períodos de mayor calor. Esta exudación temporal no genera una adherencia deficiente del asfalto a los neumáticos de los vehículos, como sí ocurre en casos más severos. Sin embargo, a pesar de su naturaleza leve, la exudación asfáltica leve no debe ignorarse, ya que puede ser un indicador de problemas subyacentes en la mezcla asfáltica o en las condiciones de construcción del pavimento. La presencia de exudación asfáltica leve, incluso por un período corto de tiempo, puede afectar negativamente la estética del pavimento y generar molestias a los usuarios, especialmente durante los días calurosos. Además, si no se toman las medidas correctivas oportunas, la exudación leve puede evolucionar hacia un problema más severo con el paso del tiempo, comprometiendo la integridad estructural del pavimento y aumentando el riesgo de accidentes. Por lo tanto, es importante realizar un monitoreo constante de la superficie del pavimento para detectar la exudación asfáltica, incluso en su forma leve, y tomar las medidas necesarias para corregir los factores desencadenantes que la provocan. De esta manera, se puede garantizar la estética, el desempeño y la seguridad del pavimento a largo plazo.</p>

- 
- M Durante un período específico del año, generalmente coincidiendo con los meses más cálidos, se produce un fenómeno conocido como "adherencia del asfalto a los neumáticos de los vehículos". Este fenómeno, que se manifiesta durante solo algunas semanas, genera una serie de inconvenientes tanto para los usuarios del pavimento como para la integridad estructural del mismo. Al adherirse a los neumáticos, el asfalto genera una capa pegajosa que puede dificultar la conducción, aumentar el riesgo de accidentes y provocar desgaste prematuro en los neumáticos. Además, la adherencia del asfalto puede dejar residuos en la superficie de los vehículos, afectando su apariencia y dificultando su limpieza.
- H La exudación asfáltica generalizada se caracteriza por la presencia extendida de material asfáltico en la superficie del pavimento, generando una situación crítica que afecta negativamente la seguridad vial, la comodidad de los usuarios y la integridad estructural del pavimento. A diferencia de la exudación leve, que se manifiesta en áreas aisladas y por un período corto de tiempo, la exudación generalizada se presenta de manera extensa y durante varias semanas al año, al menos.

---

*Nota. Ministerio de transporte y comunicaciones.*

### **Figura 5**

*Falla de Pavimento por exudación*





### **2.2.3.3. F. Por agrietamiento en bloque**

Cuando el hormigón asfáltico se contrae y experimenta cambios de temperatura, forma grietas en bloques el pavimento se divide en secciones rectangulares para facilitar su análisis y evaluación. Estas deficiencias no están relacionadas con la carga vehicular. Las fracturas en bloque indican una considerable rigidez del asfalto y pueden presentarse en una amplia extensión del área del pavimento, incluso en zonas donde raramente transitan vehículos. Ministerio de transportes y comunicaciones (2019) Cada sección del pavimento se ve afectada por esta falla en un nivel de severidad específico.

El pavimento asfáltico, esa superficie que nos permite transitar con seguridad, no está exento de sufrir daños con el paso del tiempo. Entre los problemas más complejos y desafiantes se encuentra el agrietamiento en bloque, una falla silenciosa que afecta la integridad estructural del pavimento y compromete la seguridad vial.

El agrietamiento en bloque se origina por la contracción del hormigón asfáltico en respuesta a los cambios de temperatura. A medida que la temperatura disminuye, el asfalto se contrae y genera esfuerzos internos que, al superar la resistencia del material, se traducen en la formación de grietas. Estas grietas, que dividen el pavimento en secciones rectangulares, son el sello distintivo de esta falla.

A diferencia de otras fallas del pavimento, el agrietamiento en bloque no está directamente relacionado con la carga vehicular. Las grietas se forman incluso en zonas con bajo tránsito, lo que indica que la falla se debe a propiedades intrínsecas del material y no a la acción de los vehículos.

La severidad del agrietamiento en bloque varía en función de la magnitud de las grietas, la extensión del área afectada y el impacto en la seguridad vial y la comodidad de los usuarios. Cada sección del pavimento se ve afectada por esta falla en un nivel de severidad específico, como se muestra en la Figura 6.

El agrietamiento en bloque tiene consecuencias negativas en las carreteras:

- Compromiso de la integridad estructural: Las grietas debilitan la estructura del pavimento, haciéndolo más susceptible a baches, hundimientos y fracturas.
- Disminución de la seguridad vial: Las grietas irregulares y profundas pueden generar inestabilidad en la superficie del pavimento, aumentando el riesgo de accidentes, especialmente para motociclistas y ciclistas.
- Deterioro de la comodidad de los usuarios: La circulación sobre un pavimento con agrietamiento en bloque genera ruido excesivo, vibraciones en los vehículos y salpicaduras de material asfáltico, afectando la experiencia de los usuarios.

- Aumento de los costos de mantenimiento: La reparación del agrietamiento en bloque requiere técnicas especializadas y materiales costosos, lo que incrementa los gastos en mantenimiento vial.

Combatir el agrietamiento en bloque requiere un enfoque integral que incluya:

- Diseño adecuado del pavimento: Considerar las condiciones climáticas, tipo de suelo y las propiedades del material asfáltico para diseñar un pavimento con la resistencia adecuada a la contracción.
- Selección de materiales de alta calidad: Utilizar agregados y cemento asfáltico con propiedades que minimicen la contracción y la rigidez del material.
- Técnicas de construcción adecuadas: Implementar técnicas de compactación y pavimentación que aseguren la uniformidad y densidad del pavimento.
- Monitoreo y mantenimiento periódico: Inspeccionar el pavimento regularmente para detectar primeras señales de agrietamiento y tomar medidas correctivas oportunas.
- Implementación de sistemas de drenaje y eficientes: Evitar la acumulación de agua en el subsuelo, que puede debilitar la estructura del pavimento y acelerar la formación de grietas.

El agrietamiento en bloque es una falla compleja que exige atención inmediata para garantizar la seguridad vial, proteger la inversión en infraestructura y prolongar la vida útil de las carreteras. La implementación de estrategias preventivas, un diseño adecuado del pavimento, un mantenimiento periódico y la selección de materiales de alta calidad son claves para mantener nuestras carreteras libres de este enemigo silencioso. Solo así podremos proteger la integridad del asfalto y garantizar una experiencia de conducción segura y agradable para todos los usuarios.

### **Figura 6**

*Falla de tipo de Agrietamiento en bloque*



#### 2.2.3.4. F. Por abultamientos & hundimientos

El pavimento asfáltico, esa superficie que nos permite transitar con seguridad, no está exento de sufrir daños con el paso del tiempo. Entre los problemas más comunes y desafiantes se encuentran los abultamientos y hundimientos, dos fallas que afectan la integridad estructural del pavimento y comprometen la seguridad vial.

Los abultamientos se caracterizan por el desplazamiento ascendente del pavimento, como si el suelo debajo estuviera empujándolo hacia arriba. Esta falla puede ser provocada por dos enemigos sigilosos:

- **Lentes de hielo:** Durante el proceso de congelación, el agua presente en el subsuelo se expande al convertirse en hielo, generando presión que empuja hacia arriba el pavimento.
- **Infiltración de material:** Si el pavimento presenta grietas, estas pueden actuar como canales de entrada para materiales sueltos del subsuelo, como arena o grava. La infiltración de este material bajo la presión del tráfico vehicular puede provocar el levantamiento del pavimento.

La severidad de los abultamientos varía en función de la magnitud del levantamiento, la extensión del área afectada y el impacto en la seguridad vial y la comodidad de los usuarios. La tabla 3 detalla los diferentes niveles de severidad, mientras que la Figura 7 muestra ejemplos visuales de cada nivel.

En contraste con los abultamientos, los hundimientos se caracterizan por el desplazamiento descendente del pavimento, como si el suelo debajo estuviera cediendo. Esta falla puede ser causada por diversos enemigos:

- **Asentamientos de la subrasante:** Si el suelo que sustenta el pavimento se compacta con el tiempo o bajo la carga del tráfico, puede hundirse, arrastrando consigo el pavimento.
- **Tráfico intenso:** El paso constante de vehículos pesados puede comprimir el pavimento y el subsuelo, provocando su hundimiento.
- **Problemas de compactación:** Si las capas inferiores del pavimento o los rellenos de zanjas no se compactan adecuadamente, pueden asentarse con el tiempo, generando hundimientos localizados.
- **Deficiencias en el drenaje:** Si el agua se acumula en el subsuelo debido a un sistema de drenaje deficiente, puede debilitar el suelo y provocar su hundimiento, arrastrando consigo el pavimento.

Al igual que los abultamientos, la severidad de los hundimientos varía en función de la magnitud del hundimiento, la extensión del área afectada y el impacto en la seguridad vial y la comodidad de los usuarios. La tabla 3 detalla los diferentes niveles de severidad, mientras que la Figura 7 muestra ejemplos visuales de cada nivel.

Combatir los abultamientos y hundimientos requiere un enfoque integral que incluya:

- **Diseño adecuado del pavimento:** Considerar las características del subsuelo, el tipo de tráfico vehicular y las condiciones climáticas para diseñar un pavimento con la resistencia y el drenaje adecuados.
- **Selección de materiales de alta calidad:** Utilizar materiales resistentes a la compresión y a la infiltración de agua para el pavimento y la subrasante.
- **Técnicas de construcción adecuadas:** Implementar técnicas de compactación y pavimentación que aseguren la uniformidad y densidad del pavimento y del subsuelo.
- **Monitoreo y mantenimiento periódico:** Inspeccionar el pavimento regularmente para detectar las primeras señales de abultamientos o hundimientos y tomar medidas correctivas oportunas.
- **Implementación de sistemas de drenaje eficientes:** Evitar la acumulación de agua en el subsuelo mediante un sistema de drenaje adecuado que canalice el agua lejos del pavimento.

Los abultamientos y hundimientos son fallas que afectan la integridad del pavimento, comprometiendo la seguridad vial y la comodidad de los usuarios. La implementación de estrategias preventivas, un diseño adecuado del pavimento, un mantenimiento periódico y la selección de materiales de alta calidad son claves para mantener nuestras carreteras libres de estos enemigos. Solo así podremos garantizar una experiencia de conducción segura y agradable para todos los usuarios.

**Tabla 3**

*Niveles de severidad - F. Por abultamientos & hundimientos*

Niveles De Severidad	Descripción
L	Generan una calidad de tránsito con baja severidad.
M	Ocasionan una calidad de tránsito de severidad media.
H	Resultan en una calidad de tránsito altamente severa.

*Nota. Ministerio de transportes y comunicaciones.*

**Figura 7***Falla por hundimiento*

*Nota. (Grupo Técnico - Convenio 587 de 2003, 2003)*

**2.2.3.5. F. Por corrugaciones**

Ministerio de transportes y comunicaciones (2019), sumideros crean ondulaciones en el pavimento, formando crestas que discurren paralelas al sentido del tráfico.

El pavimento asfáltico, esa superficie que nos permite transitar con seguridad, no está exento de sufrir daños con el paso del tiempo. Entre los problemas más comunes y molestos se encuentran las corrugaciones, ondulaciones transversales que se forman en la superficie del pavimento y generan incomodidad e incluso riesgo para los usuarios.

Las corrugaciones se forman por la deformación plástica del pavimento bajo la carga repetitiva del tráfico vehicular. Esta deformación, similar a la que se produce al doblar una hoja de papel, genera crestas y valles en la superficie del asfalto que discurren paralelas al sentido del tráfico.

Diversos factores pueden contribuir a la formación de corrugaciones:

- Excesos de humedad en la superficie: La presencia de agua en la superficie del pavimento ablanda el material asfáltico, haciéndolo más susceptible a la deformación bajo la carga vehicular. Esto es especialmente cierto en climas húmedos o durante la temporada de lluvias.
- Defectos constructivos: Errores en la construcción del pavimento, como una compactación deficiente o un espesor inadecuado, pueden generar zonas

débiles que son más propensas a la deformación y la formación de corrugaciones.

- Características del tráfico: El tipo de tráfico vehicular también influye en la formación de corrugaciones. Vehículos pesados o con neumáticos con tacos agresivos pueden acelerar la deformación del pavimento, especialmente en zonas con curvas pronunciadas o frenajes bruscos.

La severidad de las corrugaciones se clasifica en diferentes niveles según la amplitud de las crestas y valles, la longitud de las ondas y el impacto en la seguridad vial y la comodidad de los usuarios. La Tabla 4 detalla los diferentes niveles de severidad, mientras que la Figura 8 muestra ejemplos visuales de cada nivel.

Las corrugaciones tienen consecuencias negativas en las carreteras:

- Disminución de la comodidad: La circulación sobre un pavimento con corrugaciones genera vibraciones en los vehículos, ruido excesivo y una sensación de incomodidad para los usuarios.
- Deterioro de la seguridad vial: Las ondulaciones pueden afectar el control del vehículo, especialmente a altas velocidades, aumentando el riesgo de accidentes. Además, la acumulación de agua en los valles puede generar aquaplaning, lo que reduce aún más la adherencia de los neumáticos al pavimento.
- Aumento del desgaste del pavimento: La deformación del pavimento por las corrugaciones acelera su desgaste y reduce su vida útil.

Combatir las corrugaciones requiere un enfoque integral que incluya:

- Diseño adecuado del pavimento: Considerar el tipo de tráfico vehicular, las condiciones climáticas y las características del subsuelo para diseñar un pavimento con la resistencia y el espesor adecuados.
- Selección de materiales de alta calidad: Utilizar materiales resistentes a la deformación y a la humedad para el pavimento y la subrasante.
- Técnicas de construcción adecuadas: Implementar técnicas de compactación y pavimentación que aseguren la uniformidad y densidad del pavimento.
- Monitoreo y mantenimiento periódico: Inspeccionar el pavimento regularmente para detectar las primeras señales de corrugaciones y tomar medidas correctivas oportunas.
- Implementación de sistemas de drenaje eficientes: Evitar la acumulación de agua en la superficie del pavimento mediante un sistema de drenaje adecuado.

- Aplicación de tratamientos superficiales: En algunos casos, puede ser necesario aplicar tratamientos superficiales al pavimento para nivelar las ondulaciones y mejorar la adherencia.

Las corrugaciones son una falla común en el pavimento asfáltico que afecta la comodidad, la seguridad y la vida útil de las carreteras. La implementación de estrategias preventivas, un diseño adecuado del pavimento, un mantenimiento periódico y la selección de materiales de alta calidad son claves para mantener nuestras carreteras libres de estas ondulaciones. Solo así podremos garantizar una experiencia de conducción segura, cómoda y agradable para todos los usuarios.

**Tabla 4**

*Niveles de Severidad - F. Por corrugaciones*

Niveles De Severidad	Descripción
L	Tránsito con baja intensidad de impacto.
M	Tránsito con moderada intensidad de impacto.
H	Tránsito con alta intensidad de impacto.

*Nota. Ministerio de transportes y comunicaciones*

**Figura 8**

*Falla de tipo de corrugación*



*Nota. Ministerio de transportes y comunicaciones*

### 2.2.3.6. F. Por depresiones

Estas depresiones del pavimento, a menudo invisibles a simple vista, se producen cuando los niveles de elevación de determinadas zonas son inferiores a los de su entorno.

Ministerio de transportes y comunicaciones (2019) Pueden atribuirse al asentamiento de la subrasante o a métodos de construcción inadecuados. No sólo contribuyen a los desniveles, sino que las depresiones más profundas también pueden suponer un riesgo de hidroplaneo.

El pavimento asfáltico, esa superficie que nos permite transitar con seguridad, no está exento de sufrir daños con el paso del tiempo. Entre los problemas más comunes y menos evidentes se encuentran las depresiones, hundimientos localizados en la superficie del pavimento que pasan desapercibidos a simple vista, pero que pueden tener consecuencias negativas para la seguridad vial y la comodidad de los usuarios.

Las depresiones se forman por la disminución del nivel de elevación de una zona específica del pavimento en relación con su entorno. Esta disminución puede tener dos causas principales:

- Asentamiento de la subrasante: El suelo que sustenta el pavimento puede compactarse con el tiempo o bajo la carga del tráfico vehicular, hundiendo la superficie del pavimento en la zona afectada.
- Métodos de construcción inadecuados: Errores en la construcción del pavimento, como una compactación deficiente o un espesor inadecuado, pueden generar zonas débiles que son más propensas a hundirse con el tiempo.

Si bien las depresiones pueden ser poco visibles, tienen consecuencias negativas en las carreteras:

- Desniveles y desequilibrios: Las depresiones generan desniveles en la superficie del pavimento, lo que puede desestabilizar los vehículos, especialmente a altas velocidades, aumentando el riesgo de accidentes.
- Acumulación de agua: Las depresiones actúan como pequeños estanques que acumulan agua durante la lluvia o el riego de las calles. Esta acumulación puede generar aquaplaning, lo que reduce aún más la adherencia de los neumáticos al pavimento y aumenta el riesgo de accidentes.



- **Desgaste prematuro del pavimento:** La circulación sobre un pavimento con depresiones genera un mayor desgaste en las zonas hundidas, acelerando la degradación del pavimento y reduciendo su vida útil.
- **Incomodidad para los usuarios:** La circulación sobre un pavimento con depresiones genera vibraciones en los vehículos, ruido excesivo y una sensación de incomodidad para los usuarios.

Combatir las depresiones requiere un enfoque preventivo y proactivo que incluya:

- **Diseño adecuado del pavimento:** Considerar las características del subsuelo, el tipo de tráfico vehicular y las condiciones climáticas para diseñar un pavimento con la resistencia y el espesor adecuados.
- **Selección de materiales de alta calidad:** Utilizar materiales resistentes a la compresión y a la deformación para el pavimento y la subrasante.
- **Técnicas de construcción adecuadas:** Implementar técnicas de compactación y pavimentación que aseguren la uniformidad y densidad del pavimento y del subsuelo.
- **Monitoreo y mantenimiento periódico:** Inspeccionar el pavimento regularmente para detectar las primeras señales de depresiones y tomar medidas correctivas oportunas.
- **Implementación de sistemas de drenaje eficientes:** Evitar la acumulación de agua en la superficie del pavimento mediante un sistema de drenaje adecuado.
- **Reparación rápida de las depresiones:** Al detectar una depresión, se debe reparar lo antes posible para evitar que se profundice y genere mayores riesgos.

Las depresiones en el pavimento son una falla que, a pesar de pasar desapercibida a simple vista, puede tener consecuencias negativas para la seguridad vial, la comodidad de los usuarios y la vida útil de las carreteras. La implementación de estrategias preventivas, un diseño adecuado del pavimento, un mantenimiento periódico y la selección de materiales de alta calidad son claves para mantener nuestras carreteras libres de estas huellas invisibles. Solo así podremos garantizar una experiencia de conducción segura, cómoda y agradable para todos los usuarios.

### Figura 9

*F. Por depresiones*



*Nota. Ministerio de transportes y comunicaciones*

#### 2.2.3.7. F. Por grieta de reflexión de juntas

Ministerio de transportes y comunicaciones (2019) Este daño solo ocurre en el pavimento asfáltico sobre losas de hormigón de cemento. Esa superficie que nos permite transitar con seguridad, no está exento de sufrir daños con el paso del tiempo. Entre los problemas más complejos y menos visibles se encuentran las grietas de reflexión de juntas, fisuras que se forman en el pavimento asfáltico sobre losas de hormigón de cemento. Estas grietas, que pueden pasar desapercibidas a simple vista, representan un enemigo silencioso que afecta la integridad estructural del pavimento y la seguridad vial.

Las grietas de reflexión de juntas se originan por la transferencia de esfuerzos desde las juntas de las losas de hormigón de cemento al pavimento asfáltico. Estas juntas, que separan las losas, se deforman bajo la carga del tráfico vehicular, generando esfuerzos de tracción en el pavimento asfáltico que superan su resistencia a la tensión y provocan la formación de grietas.

Diversos factores pueden contribuir a la formación de grietas de reflexión de juntas:

- Cargas de tráfico: El tipo y la intensidad del tráfico vehicular que circula sobre el pavimento pueden generar esfuerzos excesivos en las juntas de las losas de hormigón, aumentando el riesgo de formación de grietas.

- Desplazamiento de las losas de concreto Portland: Si las losas de hormigón de cemento se desplazan o asientan de manera diferencial, pueden generar desniveles en la superficie del pavimento que concentran los esfuerzos en las juntas y favorecen la formación de grietas.
- Características del pavimento asfáltico: El espesor, la rigidez y la calidad del material asfáltico también influyen en la susceptibilidad a la formación de grietas. Un pavimento asfáltico delgado, rígido o de baja calidad es más propenso a sufrir grietas por reflexión de juntas.

Las grietas de reflexión de juntas tienen consecuencias negativas en las carreteras:

- Compromiso de la integridad estructural: Las grietas debilitan el pavimento, haciéndolo más susceptible a baches, hundimientos y fracturas.
- Disminución de la seguridad vial: Las grietas irregulares y profundas pueden generar inestabilidad en la superficie del pavimento, aumentando el riesgo de accidentes, especialmente para motociclistas y ciclistas.
- Deterioro de la comodidad de los usuarios: La circulación sobre un pavimento con grietas de reflexión de juntas genera ruido excesivo, vibraciones en los vehículos y salpicaduras de material asfáltico, afectando la experiencia de los usuarios.
- Aumento de los costos de mantenimiento: La reparación de las grietas de reflexión de juntas requiere técnicas especializadas y materiales costosos, lo que incrementa los gastos en mantenimiento vial.

Combatir las grietas de reflexión de juntas requiere un enfoque integral que incluya:

- Diseño adecuado del pavimento: Considerar las características del subsuelo, el tipo de tráfico vehicular y las condiciones climáticas para diseñar un pavimento con el espesor, la rigidez y la calidad del material asfáltico adecuados.
- Selección de materiales de alta calidad: Utilizar materiales resistentes a la tracción y a la deformación para el pavimento y las juntas de las losas de hormigón.
- Técnicas de construcción adecuadas: Implementar técnicas de compactación y pavimentación que aseguren la uniformidad y densidad del pavimento y de las juntas.
- Monitoreo y mantenimiento periódico: Inspeccionar el pavimento regularmente para detectar las primeras señales de grietas de reflexión de juntas y tomar medidas correctivas oportunas.

- Implementación de sistemas de drenaje eficientes: Evitar la acumulación de agua en las juntas de las losas de hormigón, que puede debilitarlas y acelerar la formación de grietas.
- Sellado de juntas: Aplicar selladores adecuados a las juntas de las losas de hormigón para evitar la infiltración de agua y materiales sueltos.

Las grietas de reflexión de juntas son una falla compleja que exige atención inmediata para garantizar la seguridad vial, proteger la inversión en infraestructura y prolongar la vida útil de las carreteras. La implementación de estrategias preventivas, un diseño adecuado del pavimento, un mantenimiento periódico y la selección de materiales de alta calidad son claves para mantener nuestras carreteras libres de este enemigo silencioso. Solo así podremos garantizar una experiencia de conducción segura, cómoda y agradable para todos los usuarios.

#### **2.2.3.8. F. Por desniveles carriles – bermas**

Ministerio de transportes y comunicaciones (2019), el pavimento, esa superficie que nos permite transitar con seguridad, no está exento de sufrir daños con el paso del tiempo. Uno de los problemas menos visibles, pero no por ello menos importantes, es la presencia de desniveles entre los carriles y las bermas. Este fenómeno, aparentemente simple, puede tener consecuencias graves para la integridad del pavimento y la seguridad vial.

Los desniveles entre carriles y bermas se producen cuando la altura de la superficie del carril difiere de la altura de la berma. Esta diferencia puede ser causada por diversos factores, entre los que se destacan:

- Diferencias en los materiales del pavimento y la berma: La utilización de materiales con propiedades de compactación o resistencia distintas en el carril y la berma puede generar desniveles con el tiempo.
- Dificultades de estabilidad en los taludes circundantes: Si los taludes que bordean la carretera no son estables, pueden ceder o erosionarse, provocando que la berma se hunda o el carril se eleve, generando desniveles.

La presencia de desniveles entre carriles y bermas no solo afecta la estética del pavimento, sino que también tiene consecuencias negativas en su desempeño y seguridad:

- Filtración de agua: El agua de lluvia o de riego se acumula en el carril adyacente a la berma más baja, penetrando en las grietas y juntas del pavimento. Esta

infiltración de agua debilita la estructura del pavimento, acelerando su degradación y generando baches y hundimientos.

- Acumulación de sedimentos: La escorrentía superficial transporta sedimentos que se depositan en el carril adyacente a la berma más baja, obstruyendo los sistemas de drenaje y aumentando el riesgo de inundaciones.
- Disminución de la adherencia: La acumulación de agua o sedimentos en el carril puede reducir la adherencia entre los neumáticos y la superficie del pavimento, aumentando el riesgo de accidentes, especialmente en condiciones de lluvia o frenado brusco.
- Desgaste prematuro de los neumáticos: La circulación sobre un pavimento con desniveles genera un mayor desgaste en los neumáticos, especialmente en los vehículos que circulan por el carril adyacente a la berma más baja.

La severidad de los daños causados por los desniveles entre carriles y bermas se clasifica en diferentes niveles de gravedad, que se presentan en la Tabla 5 y se ilustran en la Figura 10. Estos niveles de gravedad se basan en la magnitud del desnivel, la extensión del área afectada y el impacto en la seguridad vial y la comodidad de los usuarios.

Combatir los desniveles entre carriles y bermas requiere un enfoque preventivo y proactivo que incluya:

- Diseño adecuado de la sección transversal del pavimento: Asegurar que la altura del carril y la berma sean uniformes y que los taludes circundantes sean estables.
- Selección de materiales adecuados: Utilizar materiales con propiedades de compactación y resistencia similares para el carril y la berma.
- Construcción de calidad: Implementar técnicas de construcción adecuadas para garantizar la uniformidad del pavimento y la estabilidad de los taludes.
- Mantenimiento periódico: Inspeccionar regularmente el pavimento para detectar y corregir desniveles en sus primeras etapas.
- Implementación de sistemas de drenaje eficientes: Evitar la acumulación de agua en el carril adyacente a la berma mediante sistemas de drenaje adecuados.

En conclusión, los desniveles entre carriles y bermas son un problema que no debe subestimarse. Su impacto en la integridad del pavimento, la seguridad vial y la comodidad de los usuarios exige un enfoque preventivo y proactivo que incluya un diseño adecuado, selección de materiales apropiados, construcción de calidad,

mantenimiento periódico y sistemas de drenaje eficientes. Solo así podremos garantizar que nuestras carreteras sean seguras, duraderas y estéticamente agradables.

**Tabla 5**

*Niveles de severidad - F. Por desniveles carriles – bermas*

Niveles De Severidad	Descripción
L	La disparidad entre las alturas del pavimento y la berma oscila entre más de 25 mm (1 pulgada) y menos de 50 mm (2 pulgadas).
M	La discrepancia entre las alturas del pavimento y la berma varía entre más de 50 mm (2 pulgadas) y menos de 100 mm (4 pulgadas).
H	La divergencia entre las alturas del pavimento y la berma supera los 100 mm (4 pulgadas).

*Nota. Ministerio de transportes y comunicaciones*

**Figura 10**

*F. Por desniveles carriles – bermas*



*Nota. (Grupo Técnico - Convenio 587 de 2003, 2003)*

#### **2.2.3.9. F. por grietas longitudinales y transversales**

Ministerio de transportes y comunicaciones (2019), esa superficie que nos permite transitar con seguridad, no está exento de sufrir daños con el paso del tiempo. Entre los problemas más comunes y complejos se encuentran las grietas longitudinales y transversales, fisuras que se forman en la superficie del pavimento como un laberinto que amenaza la integridad estructural y la seguridad vial.

Las grietas longitudinales se extienden paralelamente al eje de la calzada, mientras que las grietas transversales lo hacen en dirección perpendicular. Estas grietas pueden ubicarse en el canal de tránsito, cerca del borde del eje o abarcar el ancho total de la distribución de la mezcla asfáltica.

Diversos factores pueden desencadenar la formación de este laberinto de grietas:

- **Fatiga de la mezcla asfáltica:** El tránsito vehicular repetitivo genera esfuerzos en el pavimento que, con el tiempo, fatigan la mezcla asfáltica, haciéndola más susceptible a la formación de grietas.
- **Proceso constructivo deficiente:** Errores en la construcción del pavimento, como una compactación inadecuada o un espesor insuficiente, pueden generar zonas débiles que son más propensas a la formación de grietas.
- **Endurecimiento excesivo de la mezcla asfáltica:** La oxidación del material asfáltico puede provocar un endurecimiento excesivo, reduciendo su flexibilidad y haciéndolo más susceptible a la formación de grietas.

Las grietas longitudinales y transversales tienen consecuencias negativas en las carreteras:

- **Compromiso de la integridad estructural:** Las grietas debilitan el pavimento, haciéndolo más susceptible a baches, hundimientos y fracturas.
- **Disminución de la seguridad vial:** Las grietas irregulares y profundas pueden generar inestabilidad en la superficie del pavimento, aumentando el riesgo de accidentes, especialmente para motociclistas y ciclistas.
- **Deterioro de la comodidad de los usuarios:** La circulación sobre un pavimento con grietas longitudinales y transversales genera ruido excesivo, vibraciones en los vehículos y salpicaduras de material asfáltico, afectando la experiencia de los usuarios.
- **Aumento de los costos de mantenimiento:** La reparación de este tipo de grietas requiere técnicas especializadas y materiales costosos, lo que incrementa los gastos en mantenimiento vial.

Combatir el laberinto de grietas longitudinales y transversales requiere un enfoque integral que incluya:

- **Diseño adecuado del pavimento:** Considerar las características del subsuelo, el tipo de tráfico vehicular y las condiciones climáticas para diseñar un pavimento con el espesor, la rigidez y la calidad del material asfáltico adecuados.

- Selección de materiales de alta calidad: Utilizar materiales resistentes a la fatiga y al endurecimiento para la mezcla asfáltica.
- Técnicas de construcción adecuadas: Implementar técnicas de compactación y pavimentación que aseguren la uniformidad y densidad del pavimento.
- Monitoreo y mantenimiento periódico: Inspeccionar el pavimento regularmente para detectar las primeras señales de grietas y tomar medidas correctivas oportunas.
- Implementación de sistemas de drenaje eficientes: Evitar la acumulación de agua en el pavimento, que puede debilitar la mezcla asfáltica y acelerar la formación de grietas.
- Aplicación de tratamientos superficiales: En algunos casos, puede ser necesario aplicar tratamientos superficiales al pavimento para sellar las grietas y evitar su progresión.

Las grietas longitudinales y transversales son una falla compleja que exige atención inmediata para garantizar la seguridad vial, proteger la inversión en infraestructura y prolongar la vida útil de las carreteras. La implementación de estrategias preventivas, un diseño adecuado del pavimento, un mantenimiento periódico y la selección de materiales de alta calidad son claves para mantener nuestras carreteras libres de este laberinto de grietas. Solo así podremos garantizar una experiencia de conducción segura, cómoda y agradable para todos los usuarios.

### **Figura 11**

*Falla por grietas longitudinales y transversales*



*Nota. Grupo Técnico (2003)*

#### **2.2.3.10. F. por parcheos**

Ministerio de transportes y comunicaciones (2019) Se aprecian en zonas donde el pavimento originalmente fue reemplazado o removido por un material diferente o similar o ya sea por reparación de la estructura a nivel de concreto asfáltico, esa superficie que



nos permite transitar con seguridad, no está exento de sufrir daños con el paso del tiempo. Entre los problemas más comunes y desafiantes se encuentran las fallas por parcheo, áreas donde el pavimento original ha sido reemplazado o removido por un material diferente o similar, ya sea para reparar la estructura o por otras razones. Estas fallas, que pueden parecer inofensivas a simple vista, representan un enemigo del retazo que puede afectar la integridad estructural del pavimento y la seguridad vial.

Las fallas por parcheo se caracterizan por la presencia de áreas en el pavimento donde el material original ha sido sustituido por otro material, ya sea de la misma naturaleza o diferente. Estas áreas pueden tener formas y tamaños variados, dependiendo de la extensión del daño original y del método de reparación utilizado.

Diversos factores pueden desencadenar la aparición de este enemigo del retazo:

- Procedimientos constructivos deficientemente ejecutados: Errores en la construcción del pavimento original, como una compactación inadecuada o un espesor insuficiente, pueden generar zonas débiles que son más propensas a sufrir daños y requerir reparaciones.
- Evolución del deterioro inicial que condujo a la necesidad de aplicar parches: Si el daño original en el pavimento no se repara adecuadamente o si las condiciones de uso son severas, el deterioro puede progresar y requerir la aplicación de parches más extensos.

Las fallas por parcheo tienen consecuencias negativas en las carreteras:

- Compromiso de la integridad estructural: Si los parches no se ejecutan correctamente o si el material utilizado no es de alta calidad, pueden debilitar el pavimento, haciéndolo más susceptible a baches, hundimientos y fracturas.
- Disminución de la seguridad vial: Los parches mal realizados pueden generar desniveles en la superficie del pavimento, disminuir la adherencia de los neumáticos y aumentar el riesgo de accidentes.
- Deterioro de la comodidad de los usuarios: La circulación sobre un pavimento con fallas por parcheo genera ruido excesivo, vibraciones en los vehículos y salpicaduras de material, afectando la experiencia de los usuarios.
- Aumento de los costos de mantenimiento: La reparación de las fallas por parcheo puede ser costosa, especialmente si se requiere remover y reemplazar grandes áreas del pavimento original.

Combatir las fallas por parcheo requiere un enfoque integral que incluya:

- Diseño adecuado del pavimento: Considerar las características del subsuelo, el tipo de tráfico vehicular y las condiciones climáticas para diseñar un pavimento con la resistencia y el espesor adecuados.
- Selección de materiales de alta calidad: Utilizar materiales resistentes a la deformación y de alta adherencia para el pavimento original y para los parches.
- Técnicas de construcción adecuadas: Implementar técnicas de compactación y pavimentación que aseguren la uniformidad y densidad del pavimento original y de los parches.
- Monitoreo y mantenimiento periódico: Inspeccionar el pavimento regularmente para detectar las primeras señales de daño y tomar medidas correctivas oportunas.
- Aplicación de técnicas de reparación adecuadas: Utilizar técnicas de reparación adecuadas al tipo de daño y al material del pavimento, asegurando una buena adherencia entre el parche y el pavimento original.
- Implementación de sistemas de drenaje eficientes: Evitar la acumulación de agua en el pavimento, que puede debilitarlo y acelerar su deterioro.

Las fallas por parcheo son un enemigo del retazo que exige atención inmediata para garantizar la seguridad vial, proteger la inversión en infraestructura y prolongar la vida útil de las carreteras. La implementación de estrategias preventivas, un diseño adecuado del pavimento, un mantenimiento periódico, la selección de materiales de alta calidad y la aplicación de técnicas de reparación adecuadas son claves para mantener nuestras carreteras libres de este enemigo. Solo así podremos garantizar una experiencia de conducción segura, cómoda y agradable para todos los usuarios.

**Tabla 6**

*Niveles de severidad - F. Por parcheos*

Niveles De Severidad	Descripción
L	Si el parche está en óptimas condiciones, se considera que la calidad del tránsito es de baja severidad o mejor.
M	Si el estado del parche es deficiente, la calidad del tránsito se califica como de mediana severidad, o en ambas situaciones.
H	En caso de que el parche presente un deterioro significativo, o si la calidad del tránsito se evalúa como de alta severidad.

*Nota. Ministerio de transportes y comunicaciones.*

## Figura 12

*Falla por Parcheo*



*Nota. Grupo Técnico (2003)*

### 2.2.3.11. F. por pulimiento de agregados

Ministerio de transportes y comunicaciones (2019) La falta de áridos angulares o la presencia de áridos con caras planas, así como la ausencia de rugosidades o partículas de áridos angulares que contribuyan a la resistencia al deslizamiento, sirven como claros indicios de este fallo, esa superficie que nos permite transitar con seguridad, no está exento de sufrir daños con el paso del tiempo. Entre los problemas más silenciosos y peligrosos se encuentra el pulimiento de agregados, un fenómeno que reduce la rugosidad de la superficie del pavimento y compromete la adherencia de los neumáticos, poniendo en riesgo la seguridad vial.

El pulimiento de agregados se caracteriza por la pérdida de textura en la superficie del pavimento asfáltico. Esta pérdida de textura se produce por el desgaste de los agregados (piedras pequeñas) que componen la capa superficial del pavimento, debido al tránsito vehicular.

Diversos factores pueden contribuir al pulimiento de agregados:

- Falta de áridos angulares: Si los agregados utilizados en la mezcla asfáltica no tienen una forma angular, son más propensos a desgastarse y pulirse bajo el tráfico vehicular.
- Presencia de áridos con caras planas: Los agregados con caras planas son más propensos a desgastarse y pulirse más rápidamente que los agregados con formas irregulares.

- Ausencia de rugosidades: La superficie del pavimento asfáltico necesita tener una rugosidad adecuada para garantizar la adherencia de los neumáticos. Si la superficie se pule, la rugosidad disminuye y la adherencia se ve comprometida.
- Condiciones de tráfico: El tipo de tráfico vehicular, la intensidad del tráfico y las condiciones climáticas también influyen en el pulimiento de agregados. Un tráfico intenso, con vehículos pesados o en condiciones de lluvia, puede acelerar el pulimiento de la superficie.

El pulimiento de agregados tiene consecuencias negativas en las carreteras:

- Disminución de la adherencia: Una superficie pulida reduce la adherencia de los neumáticos al pavimento, lo que aumenta el riesgo de accidentes, especialmente en condiciones de lluvia o frenado brusco.
- Aumento de la distancia de frenado: Los vehículos que circulan sobre un pavimento pulido requieren una mayor distancia de frenado, lo que puede generar situaciones de riesgo en caso de frenado repentino.
- Acumulación de agua: La superficie pulida del pavimento no permite que el agua se disperse adecuadamente, lo que aumenta el riesgo de aquaplaning, un fenómeno que puede provocar la pérdida de control del vehículo.
- Deterioro de la comodidad de los usuarios: La circulación sobre un pavimento pulido genera ruido excesivo y vibraciones en los vehículos, afectando la experiencia de los usuarios.

Combatir el pulimiento de agregados requiere un enfoque integral que incluya:

- Selección de materiales de alta calidad: Utilizar agregados de alta resistencia al desgaste y con formas angulares para la mezcla asfáltica.
- Diseño adecuado de la mezcla asfáltica: Seleccionar una granulometría adecuada para los agregados y utilizar la cantidad correcta de asfalto para garantizar una superficie rugosa y resistente.
- Técnicas de construcción adecuadas: Implementar técnicas de compactación y pavimentación que aseguren la uniformidad y densidad del pavimento.
- Monitoreo y mantenimiento periódico: Inspeccionar el pavimento regularmente para detectar las primeras señales de pulimiento y tomar medidas correctivas oportunas.
- Aplicación de tratamientos superficiales: En algunos casos, puede ser necesario aplicar tratamientos superficiales al pavimento para restaurar la rugosidad y mejorar la adherencia.

El pulimiento de agregados es un enemigo silencioso que no debe subestimarse, ya que representa un riesgo significativo para la seguridad vial. La implementación de estrategias preventivas, la selección de materiales de alta calidad, un diseño adecuado del pavimento, un mantenimiento periódico y la aplicación de tratamientos superficiales son claves para mantener nuestras carreteras libres de este enemigo. Solo así podremos garantizar una experiencia de conducción segura, cómoda y agradable para todos los usuarios.

**Tabla 7**

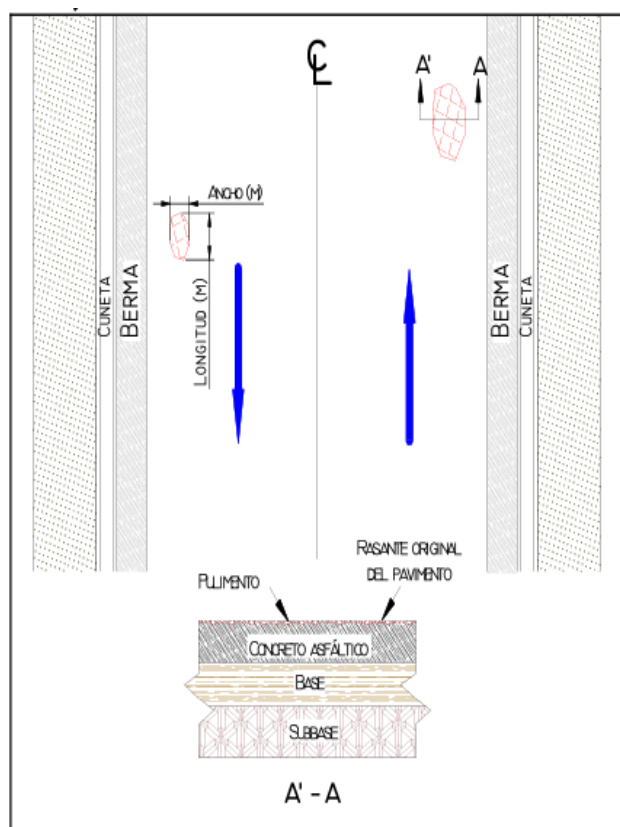
*Niveles de Severidad- F. por Pulimiento de agregados*

Niveles De Severidad	Descripción
	El grado de pulido debe ser fácilmente perceptible en la muestra seleccionada, y la textura superficial del agregado debe sentirse suave al tacto.

*Nota. Ministerio de transportes y comunicaciones*

**Figura 13**

*Pulimiento del Agregado*



*Nota. Grupo Técnico (2003)*

### 2.2.3.12. F. por huecos

El pavimento asfáltico, esa superficie que nos permite transitar con seguridad, no está exento de sufrir daños con el paso del tiempo. Entre los problemas más severos y peligrosos se encuentran los huecos, cavidades redondeadas con bordes definidos y lados verticales en su parte superior que representan un enemigo profundo para la seguridad vial y la integridad de las carreteras. Ministerio de transportes y comunicaciones (2019) Los huecos se caracterizan por la desaparición total de la superficie del pavimento en zonas localizadas, dejando al descubierto las capas inferiores del pavimento e incluso el subsuelo. Estas cavidades pueden tener diversos tamaños y profundidades, desde pequeños agujeros hasta cráteres considerables que pueden llegar a afectar toda la calzada.

Diversos factores pueden desencadenar la formación de huecos:

- Falta de mantenimiento adecuado: La ausencia de un mantenimiento periódico del pavimento, como el relleno de baches o la reparación de grietas, puede permitir que los daños menores se profundicen y se conviertan en huecos.
- Daños estructurales: El pavimento puede sufrir daños estructurales por diversas causas, como cargas excesivas de tráfico vehicular, movimientos del subsuelo o defectos de construcción. Estos daños estructurales pueden generar la formación de huecos.
- Condiciones climáticas adversas: Las condiciones climáticas extremas, como lluvias torrenciales o heladas y deshielos, pueden debilitar el pavimento y acelerar la formación de huecos.

Las fallas por huecos tienen consecuencias negativas en las carreteras:

- Compromiso de la seguridad vial: Los huecos representan un grave peligro para la seguridad vial, ya que pueden provocar accidentes, especialmente para motociclistas y ciclistas. Los vehículos que caen en un hueco pueden sufrir daños considerables y poner en riesgo la vida de sus ocupantes.
- Daños a los vehículos: La circulación sobre un pavimento con huecos puede generar daños en los neumáticos, suspensiones y otros componentes de los vehículos, aumentando los costos de mantenimiento para los usuarios.
- Incomodidad para los usuarios: La circulación sobre un pavimento con huecos genera vibraciones en los vehículos, ruido excesivo y salpicaduras de material, afectando la comodidad y la experiencia de los usuarios.

- Deterioro acelerado del pavimento: La presencia de huecos debilita aún más el pavimento y acelera su deterioro, requiriendo reparaciones más costosas en el futuro.

Combatir las fallas por huecos requiere un enfoque integral que incluya:

- Mantenimiento preventivo: Implementar un programa de mantenimiento preventivo del pavimento que incluya la inspección regular, el relleno de baches y la reparación de grietas para evitar que los daños menores se conviertan en huecos.
- Evaluación estructural del pavimento: Realizar evaluaciones periódicas del estado estructural del pavimento para identificar y corregir posibles debilidades que puedan generar la formación de huecos.
- Implementación de técnicas de construcción adecuadas: Asegurar que las técnicas de construcción del pavimento sean adecuadas para las condiciones del subsuelo, el tipo de tráfico vehicular y las condiciones climáticas de la zona.
- Reparación inmediata de los huecos: Reparar los huecos de manera inmediata y adecuada para evitar que se agranden y causen mayores daños.

Las fallas por huecos son un enemigo profundo que exige atención inmediata para garantizar la seguridad vial, proteger la inversión en infraestructura y prolongar la vida útil de las carreteras. La implementación de estrategias preventivas, un mantenimiento adecuado, la evaluación estructural del pavimento y la reparación inmediata de los huecos son claves para mantener nuestras carreteras libres de este enemigo. Solo así podremos garantizar una experiencia de conducción segura, cómoda y agradable para todos los usuarios.

#### **Figura 14**

*Falla de pavimentos por Huecos*



### **2.2.3.13. F. por cruce de vía férrea**

Ministerio de transportes y comunicaciones (2019), esa superficie que nos permite transitar con seguridad, no está exento de sufrir daños en zonas donde se intersecta con vías férreas. Entre los problemas más comunes y desafiantes se encuentran las fallas en cruces de vías férreas, depresiones o protuberancias en las proximidades o entre los rieles que representan un enemigo del cruce que puede afectar la seguridad vial, la comodidad de los usuarios y la vida útil del pavimento.

Las fallas en cruces de vías férreas se caracterizan por la presencia de irregularidades en la superficie del pavimento en las zonas donde se intersecta con los rieles. Estas irregularidades pueden tomar la forma de depresiones, protuberancias o desniveles, dependiendo de la interacción entre el pavimento y los rieles.

Diversos factores pueden desencadenar la formación de estas fallas:

- Diferencial de rigidez entre el pavimento y los rieles: Los rieles de acero son mucho más rígidos que el pavimento asfáltico, lo que puede generar esfuerzos en el pavimento al soportar el peso del tráfico vehicular. Estos esfuerzos pueden provocar la formación de depresiones o protuberancias en las zonas cercanas a los rieles.
- Asentamiento de los rieles: Con el tiempo, los rieles pueden hundirse en el suelo, lo que genera desniveles en la superficie del pavimento. Estos desniveles pueden ser peligrosos para los vehículos, especialmente para motocicletas y ciclistas.
- Mantenimiento deficiente: La falta de mantenimiento adecuado del cruce de vías férreas, como la reposición o reparación de los rieles dañados o la compactación del pavimento en las zonas adyacentes, puede acelerar la formación de fallas.

Las fallas en cruces de vías férreas tienen consecuencias negativas en las carreteras:

- Compromiso de la seguridad vial: Las irregularidades en la superficie del pavimento pueden provocar pérdida de control de los vehículos, especialmente en condiciones de lluvia o frenado brusco. Los desniveles también pueden generar impactos en los vehículos al cruzar los rieles, lo que puede dañar la suspensión y otros componentes.
- Daños a los vehículos: La circulación sobre un cruce de vías férreas con fallas puede generar daños en los neumáticos, suspensiones y otros componentes de los vehículos, aumentando los costos de mantenimiento para los usuarios.



- Incomodidad para los usuarios: La circulación sobre un cruce de vías férreas con irregularidades genera vibraciones en los vehículos, ruido excesivo y salpicaduras de material, afectando la comodidad y la experiencia de los usuarios.
- Deterioro acelerado del pavimento: La presencia de fallas en el cruce de vías férreas debilita aún más el pavimento y acelera su deterioro, requiriendo reparaciones más costosas en el futuro.

Combatir las fallas en cruces de vías férreas requiere un enfoque integral que incluya:

- Diseño adecuado del cruce: Considerar las características del subsuelo, el tipo de tráfico vehicular, las condiciones climáticas y las características de los rieles para diseñar un cruce que minimice la formación de fallas.
- Selección de materiales de alta calidad: Utilizar materiales resistentes a la deformación y con alta adherencia para el pavimento en las zonas adyacentes a los rieles.
- Técnicas de construcción adecuadas: Implementar técnicas de compactación y pavimentación que aseguren la uniformidad y densidad del pavimento en las zonas adyacentes a los rieles.
- Monitoreo y mantenimiento periódico: Inspeccionar el cruce de vías férreas regularmente para detectar las primeras señales de daño y tomar medidas correctivas oportunas.
- Coordinación con la empresa ferroviaria: Colaborar con la empresa ferroviaria para garantizar el mantenimiento adecuado de los rieles y la superficie del cruce.

Las fallas en cruces de vías férreas son un enemigo del cruce que exige atención inmediata para garantizar la seguridad vial, proteger la inversión en infraestructura y prolongar la vida útil de las carreteras. La implementación de estrategias preventivas, un diseño adecuado del cruce, la selección de materiales de alta calidad, un mantenimiento periódico y la coordinación con la empresa ferroviaria son claves para mantener nuestras carreteras libres de este enemigo. Solo así podremos garantizar una experiencia de conducción segura, cómoda y agradable para todos los usuarios.

En la Figura 15 se pueden observar las deficiencias causadas por el cruce de una vía férrea en el pavimento.

**Figura 15**

*Falla por cruce de vía férrea*



*Nota. Robles (2015)*

**2.2.3.14. F. por ahuellamientos**

Ministerio de transportes y comunicaciones (2019) Fallas que son sometidas a combinaciones de elevados niveles de tránsito, por lo general se producen en verano debido a las altas temperaturas ya que aumentan el componente plástico de deformación de asfalto, esa superficie que nos permite transitar con seguridad, no está exento de sufrir daños con el paso del tiempo y el aumento de las temperaturas. Entre los problemas más comunes y desafiantes se encuentran los ahuellamientos, deformaciones permanentes en la superficie del pavimento que se forman como un enemigo caloroso que amenaza la seguridad vial, la comodidad de los usuarios y la vida útil de las carreteras.

Los ahuellamientos se caracterizan por la formación de surcos en la superficie del pavimento, generalmente en los carriles de mayor circulación vehicular. Estos surcos pueden tener profundidades variables, desde unos pocos centímetros hasta varios decímetros, y pueden extenderse a lo largo de toda la longitud del carril.

Diversos factores pueden desencadenar la formación de ahuellamientos:

- Elevados niveles de tránsito: El tránsito vehicular pesado y repetitivo genera presión sobre el pavimento, especialmente en condiciones de altas temperaturas. Esta presión puede deformar el asfalto y generar surcos.
- Altas temperaturas: Las temperaturas elevadas, especialmente durante el verano, aumentan la plasticidad del asfalto, haciéndolo más susceptible a la deformación bajo el peso del tráfico vehicular.

- Características del asfalto: La composición del asfalto y la calidad de los materiales utilizados en la mezcla asfáltica también influyen en la susceptibilidad a la formación de ahuellamientos.
- Condiciones del pavimento: La edad del pavimento, el estado de mantenimiento y la presencia de baches o grietas también pueden contribuir a la formación de ahuellamientos.

Los ahuellamientos tienen consecuencias negativas en las carreteras:

- Compromiso de la seguridad vial: Los surcos en la superficie del pavimento pueden desestabilizar los vehículos, especialmente en condiciones de lluvia o frenado brusco. Esto puede aumentar el riesgo de accidentes.
- Acumulación de agua: Los surcos en el pavimento pueden acumular agua, lo que reduce la adherencia de los neumáticos y aumenta el riesgo de aquaplaning, un fenómeno que puede provocar la pérdida de control del vehículo.
- Daños a los neumáticos: La circulación sobre un pavimento con ahuellamientos puede generar desgaste prematuro de los neumáticos, aumentando los costos de mantenimiento para los usuarios.
- Incomodidad para los usuarios: La circulación sobre un pavimento con ahuellamientos genera vibraciones en los vehículos, ruido excesivo y salpicaduras de material, afectando la comodidad y la experiencia de los usuarios.
- Deterioro acelerado del pavimento: La presencia de ahuellamientos debilita aún más el pavimento y acelera su deterioro, requiriendo reparaciones más costosas en el futuro.

Combatir los ahuellamientos requiere un enfoque integral que incluya:

- Diseño adecuado del pavimento: Considerar las características del subsuelo, el tipo de tráfico vehicular, las condiciones climáticas y las propiedades del asfalto para diseñar un pavimento resistente a la deformación.
- Selección de materiales de alta calidad: Utilizar materiales resistentes a la deformación permanente y con alta adherencia para la mezcla asfáltica.
- Técnicas de construcción adecuadas: Implementar técnicas de compactación y pavimentación que aseguren la uniformidad y densidad del pavimento.
- Monitoreo y mantenimiento periódico: Inspeccionar el pavimento regularmente para detectar las primeras señales de ahuellamientos y tomar medidas correctivas oportunas.

- Aplicación de tratamientos superficiales: En algunos casos, puede ser necesario aplicar tratamientos superficiales al pavimento para sellar los surcos y mejorar la adherencia.
- Reducción del peso de los vehículos: Implementar medidas para reducir el peso de los vehículos pesados que circulan por las carreteras.

Los ahuellamientos son un enemigo caloroso que exige atención inmediata para garantizar la seguridad vial, proteger la inversión en infraestructura y prolongar la vida útil de las carreteras. La implementación de estrategias preventivas, un diseño adecuado del pavimento, la selección de materiales de alta calidad, un mantenimiento periódico, la aplicación de tratamientos superficiales y la reducción del peso de los vehículos son claves para mantener nuestras carreteras libres de este enemigo. Solo así podremos garantizar una experiencia de conducción segura, cómoda y agradable para todos los usuarios. Se puede observar en la Figura 16 las fallas por ahuellamientos de un pavimento.

**Figura 16**

*F. por ahuellamientos*



*Nota. Robles (2015)*

#### **2.2.3.15. F. por desplazamientos**

Ministerio de transportes y comunicaciones (2019), el pavimento asfáltico, esa superficie que nos permite transitar con seguridad, no está exento de sufrir daños con el paso del tiempo y el uso constante. Entre los problemas más complejos y menos evidentes se encuentran los desplazamientos, movimientos ondulantes del pavimento que representan un enemigo oculto que amenaza la integridad estructural de las carreteras y la comodidad de los usuarios.

Los desplazamientos se caracterizan por la formación de ondas o deformaciones en la superficie del pavimento, como si este se ondulara al paso de los vehículos. Estas ondas pueden tener profundidades variables, desde unos pocos milímetros hasta varios centímetros, y pueden extenderse a lo largo de toda la longitud del carril.

Diversos factores pueden desencadenar la formación de desplazamientos:

- Mezclas asfálticas inestables: La utilización de mezclas asfálticas con una composición o granulometría inadecuada puede generar un material susceptible a la deformación bajo el tráfico vehicular. Esto es especialmente común en mezclas con alto contenido de asfalto líquido.
- Confinamiento del concreto de cemento Portland: En algunos casos, los pavimentos de concreto de cemento Portland pueden estar recubiertos por capas de asfalto. Si el pavimento de concreto presenta algún tipo de movimiento o deformación, este movimiento puede transmitirse al asfalto superior, generando la formación de ondas.

Los desplazamientos tienen consecuencias negativas en las carreteras:

- Compromiso de la integridad estructural: Las ondas en el pavimento pueden debilitar la estructura del mismo, haciéndolo más susceptible a la formación de grietas, baches y otros tipos de daños.
- Deterioro acelerado del pavimento: La presencia de desplazamientos acelera el desgaste y deterioro del pavimento, requiriendo reparaciones más frecuentes y costosas en el futuro.
- Incomodidad para los usuarios: La circulación sobre un pavimento con desplazamientos genera vibraciones en los vehículos, ruido excesivo y salpicaduras de material, afectando la comodidad y la experiencia de los usuarios.

Combatir los desplazamientos requiere un enfoque preventivo y correctivo que incluya:

- Selección de mezclas asfálticas adecuadas: Utilizar mezclas asfálticas con una composición y granulometría que aseguren su estabilidad y resistencia a la deformación.
- Evaluación del pavimento de concreto subyacente: En caso de pavimentos de concreto con capas de asfalto, realizar evaluaciones periódicas del pavimento de concreto para detectar y corregir cualquier tipo de movimiento o deformación.

- Monitoreo y mantenimiento periódico: Inspeccionar el pavimento regularmente para detectar las primeras señales de desplazamientos y tomar medidas correctivas oportunas.
- Reparación de las ondas: En caso de que se presenten ondas en el pavimento, es necesario repararlas de manera adecuada para evitar que se agranden y causen mayores daños.

Los desplazamientos son un enemigo oculto que exige atención inmediata para garantizar la integridad estructural de las carreteras, proteger la inversión en infraestructura y prolongar la vida útil del pavimento. La selección de mezclas asfálticas adecuadas, la evaluación del pavimento de concreto subyacente, un monitoreo y mantenimiento periódico y la reparación de las ondas son claves para mantener nuestras carreteras libres de este enemigo. Solo así podremos garantizar una experiencia de conducción segura, cómoda y agradable para todos los usuarios.

#### **2.2.3.16. F. por grieta parabólica**

Ministerio de transportes y comunicaciones (2019), estas grietas se originan directamente debido al frenado o giro de las ruedas del vehículo, lo que ocasiona deslizamientos o deformaciones en la superficie del pavimento. Esto resulta en la formación de grietas con una apariencia semicircular, esa superficie que nos permite transitar con seguridad, no está exento de sufrir daños con el paso del tiempo y el uso constante. Entre los problemas más comunes y desafiantes se encuentran las grietas parabólicas, fracturas curvas en la superficie del pavimento que representan un enemigo curvo que amenaza la seguridad vial, la integridad estructural de las carreteras y la comodidad de los usuarios.

Las grietas parabólicas se caracterizan por su forma semicircular, similar a la parábola, que se extiende desde el borde del pavimento hacia el interior del carril. Estas grietas pueden tener profundidades variables, desde unos pocos milímetros hasta varios centímetros, y pueden afectar uno o ambos carriles de circulación.

Diversos factores pueden desencadenar la formación de grietas parabólicas:

- Deslizamiento y deformación: El frenado brusco o el giro repentino de los vehículos, especialmente de vehículos pesados, puede generar deslizamientos y deformaciones en la superficie del pavimento. Estas deformaciones pueden producir la formación de grietas parabólicas.
- Mezcla asfáltica de baja resistencia: Si la mezcla asfáltica utilizada en la construcción del pavimento no tiene la resistencia adecuada, puede ser más

susceptible a la formación de grietas parabólicas, especialmente bajo el estrés del tráfico vehicular.

- Condiciones climáticas adversas: Las temperaturas extremas, como el calor intenso o el frío intenso, pueden afectar la flexibilidad del asfalto y hacerlo más propenso a la formación de grietas.
- Edad del pavimento: Con el paso del tiempo, el pavimento se deteriora y se vuelve más frágil, lo que aumenta la probabilidad de que se formen grietas parabólicas.

Las grietas parabólicas tienen consecuencias negativas en las carreteras:

- Compromiso de la seguridad vial: Las grietas parabólicas pueden desestabilizar los vehículos, especialmente en condiciones de lluvia o frenado brusco. Esto puede aumentar el riesgo de accidentes.
- Acumulación de agua: Las grietas parabólicas pueden acumular agua, lo que reduce la adherencia de los neumáticos y aumenta el riesgo de aquaplaning, un fenómeno que puede provocar la pérdida de control del vehículo.
- Daños a los neumáticos: La circulación sobre un pavimento con grietas parabólicas puede generar desgaste prematuro de los neumáticos, aumentando los costos de mantenimiento para los usuarios.
- Incomodidad para los usuarios: La circulación sobre un pavimento con grietas parabólicas genera vibraciones en los vehículos, ruido excesivo y salpicaduras de material, afectando la comodidad y la experiencia de los usuarios.
- Deterioro acelerado del pavimento: La presencia de grietas parabólicas debilita aún más el pavimento y acelera su deterioro, requiriendo reparaciones más costosas en el futuro.

Combatir las grietas parabólicas requiere un enfoque preventivo y correctivo que incluya:

- Selección de mezclas asfálticas de alta resistencia: Utilizar mezclas asfálticas con una composición y granulometría que aseguren su resistencia a la deformación y la formación de grietas.
- Diseño adecuado del pavimento: Considerar las características del subsuelo, el tipo de tráfico vehicular y las condiciones climáticas para diseñar un pavimento que resista las cargas y deformaciones del tráfico.
- Monitoreo y mantenimiento periódico: Inspeccionar el pavimento regularmente para detectar las primeras señales de grietas parabólicas y tomar medidas correctivas oportunas.

- Sellado de las grietas: En caso de que se presenten grietas parabólicas, es necesario sellarlas de manera adecuada para evitar que se agranden y causen mayores daños.
- Renovación del pavimento: En casos severos, puede ser necesario renovar el pavimento completamente para eliminar las grietas parabólicas y garantizar la seguridad vial y la integridad estructural de la carretera.

Las grietas parabólicas son un enemigo curvo que exige atención inmediata para garantizar la seguridad vial, proteger la inversión en infraestructura y prolongar la vida útil del pavimento. La selección de mezclas asfálticas de alta resistencia, un diseño adecuado del pavimento, un monitoreo y mantenimiento periódico, el sellado de las grietas y la renovación del pavimento cuando sea necesario son claves para mantener nuestras carreteras libres de este enemigo. Solo así podremos garantizar una experiencia de conducción segura, cómoda y agradable para todos los usuarios.

#### **2.2.3.17. F. por hinchamiento**

Ministerio de transportes y comunicaciones (2019) Elevación gradual y prolongada de la superficie, acompañada de grietas superficiales.

Estas pueden ser causadas por:

- Congelamiento en la capa inferior del pavimento.
- Presencia de suelos con potencial de expansión.

#### **2.2.3.18. F. por peladuras por intermp. (Desprendimientos de los agregados)**

Ministerio de transportes y comunicaciones (2019), esa superficie que nos permite transitar con seguridad, no está exento de sufrir los efectos del paso del tiempo y las inclemencias del clima. Entre los problemas más silenciosos y peligrosos se encuentra el desprendimiento de agregados por intemperismo, la desintegración de la capa superficial del pavimento debido a la degradación del aglutinante asfáltico y la presencia de agregados sueltos. Este enemigo silencioso representa un riesgo para la seguridad vial, la integridad estructural de las carreteras y la comodidad de los usuarios.

El desprendimiento de agregados por intemperismo se caracteriza por la pérdida gradual de agregados (piedras pequeñas) de la superficie del pavimento. Estos agregados se desprenden debido a la degradación del aglutinante asfáltico, el material que los une y mantiene la cohesión del pavimento. La superficie del pavimento se vuelve rugosa y descascarada, con agregados sueltos que pueden ser arrastrados por el tráfico vehicular.



Diversos factores pueden desencadenar el desprendimiento de agregados por intemperismo:

- Endurecimiento del aglutinante asfáltico: Con el paso del tiempo y la exposición a las condiciones climáticas extremas, el asfalto se endurece y pierde su flexibilidad. Esto lo hace más susceptible al agrietamiento y al desprendimiento de agregados.
- Calidad deficiente del aglutinante asfáltico: Si el asfalto utilizado en la mezcla asfáltica no tiene la calidad adecuada, puede ser más propenso a la degradación y al desprendimiento de agregados.
- Condiciones climáticas adversas: Las temperaturas extremas, como el calor intenso o el frío intenso, pueden acelerar la degradación del asfalto y la formación de agregados sueltos.
- Humedad: La humedad y la lluvia pueden infiltrarse en el pavimento y debilitar la unión entre el asfalto y los agregados, lo que facilita su desprendimiento.
- Tráfico vehicular intenso: El tráfico vehicular pesado y repetitivo genera estrés en el pavimento, lo que puede contribuir al desprendimiento de agregados.

El desprendimiento de agregados por intemperismo tiene consecuencias negativas en las carreteras:

- Compromiso de la seguridad vial: La superficie rugosa y descascarada del pavimento puede desestabilizar los vehículos, especialmente en condiciones de lluvia o frenado brusco. Esto puede aumentar el riesgo de accidentes.
- Acumulación de agua: Los agregados sueltos en la superficie del pavimento pueden acumular agua, lo que reduce la adherencia de los neumáticos y aumenta el riesgo de aquaplaning, un fenómeno que puede provocar la pérdida de control del vehículo.
- Daños a los neumáticos: La circulación sobre un pavimento con agregados sueltos puede generar desgaste prematuro de los neumáticos, aumentando los costos de mantenimiento para los usuarios.
- Incomodidad para los usuarios: La circulación sobre un pavimento con agregados sueltos genera vibraciones en los vehículos, ruido excesivo y salpicaduras de material, afectando la comodidad y la experiencia de los usuarios.
- Deterioro acelerado del pavimento: La presencia de agregados sueltos debilita aún más el pavimento y acelera su deterioro, requiriendo reparaciones más costosas en el futuro.

Combatir el desprendimiento de agregados por intemperismo requiere un enfoque preventivo y correctivo que incluya:

- Selección de materiales de alta calidad: Utilizar ligante asfáltico de alta calidad y agregados con características adecuadas para la mezcla asfáltica.
- Diseño adecuado del pavimento: Considerar las características del subsuelo, el tipo de tráfico vehicular y las condiciones climáticas para diseñar un pavimento que resista las cargas y el desgaste del tiempo.
- Técnicas de construcción adecuadas: Implementar técnicas de compactación y pavimentación que aseguren la uniformidad y densidad del pavimento.
- Monitoreo y mantenimiento periódico: Inspeccionar el pavimento regularmente para detectar las primeras señales de desprendimiento de agregados y tomar medidas correctivas oportunas.
- Reparación de las áreas afectadas: En caso de que se presenten desprendimientos de agregados, es necesario reparar las áreas afectadas de manera adecuada para evitar que el problema se agrave.
- Aplicación de tratamientos superficiales: En algunos casos, puede ser necesario aplicar tratamientos superficiales al pavimento para sellar la superficie y evitar el desprendimiento de agregados.

El desprendimiento de agregados es un enemigo del tiempo que exige atención inmediata para garantizar la seguridad vial, proteger la inversión en infraestructura y prolongar la vida útil del pavimento. La selección de materiales de alta calidad, un diseño adecuado del pavimento, técnicas de construcción adecuadas, un monitoreo y mantenimiento periódico, la reparación de las áreas afectadas y la aplicación de tratamientos superficiales cuando sea necesario son claves para mantener nuestras carreteras libres de este enemigo. Solo así podremos garantizar una experiencia de conducción segura, cómoda para el usuario.

#### **2.2.4. Rugosidad del Pavimento**

El pavimento asfáltico, esa superficie que nos permite transitar con seguridad, no solo debe ser resistente y duradero, sino también ofrecer una experiencia de conducción cómoda y segura para los usuarios. La rugosidad del pavimento, definida como la textura o irregularidad de la superficie, juega un papel fundamental en este aspecto, determinando qué tan agradables o desagradables son las irregularidades para los conductores y pasajeros.

Para evaluar la rugosidad del pavimento, se utiliza el Índice Internacional de Rugosidad (IRI), una medida objetiva que cuantifica las irregularidades de la superficie. El IRI se determina mediante un proceso matemático que implica la medición de la diferencia de elevación entre la parte superior e inferior de un modelo de vehículo, comúnmente conocido como "cuarto de automóvil", en términos absolutos, como milímetros, metros o pulgadas.

Arriaga et al. (1998), las mediciones para determinar el IRI se realizan mientras el vehículo recorre una carretera a una velocidad constante de 80 km/h. A lo largo del recorrido, se registran las diferencias de elevación entre la superficie del pavimento y el vehículo. Posteriormente, estos valores se dividen por la distancia recorrida para obtener el IRI, que se expresa en unidades como mm/m, m/km, in/mi, etc.

El IRI no solo se utiliza para evaluar la comodidad de la conducción, sino que también es un indicador importante de la seguridad vial. Una superficie de pavimento con alta rugosidad puede generar vibraciones excesivas en los vehículos, afectar la adherencia de los neumáticos y dificultar el control del vehículo, especialmente en condiciones de lluvia o frenado brusco.

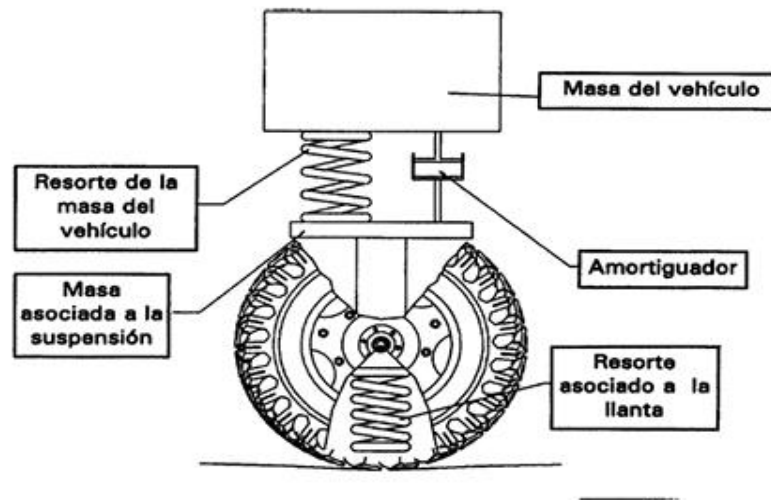
El IRI tiene diversas aplicaciones en el ámbito de la ingeniería vial, entre ellas:

- Diseño de pavimentos: El IRI se utiliza como parámetro de diseño para garantizar que la superficie del pavimento tenga la rugosidad adecuada para el tipo de tráfico vehicular que soportará.
- Evaluación del estado del pavimento: El IRI se utiliza para evaluar el estado del pavimento y determinar la necesidad de reparaciones o mantenimiento.
- Investigación de materiales: El IRI se utiliza para investigar el comportamiento de diferentes materiales de pavimentación y su impacto en la rugosidad de la superficie.

En resumen, la rugosidad del pavimento es un aspecto crucial para garantizar una experiencia de conducción segura y confortable. El Índice Internacional de Rugosidad (IRI) es una herramienta fundamental para medir y evaluar la rugosidad del pavimento, permitiendo a los ingenieros viales diseñar, construir y mantener carreteras que cumplan con los estándares de seguridad y comodidad.

**Figura 17**

*Representación gráfica del modelo "Cuarto de Carro"*



*Nota. Arriaga et al. (1998)*

## 2.2.5. Serviciabilidad del pavimento

### 2.2.5.1. Evaluación de la serviciabilidad

El estado de salud de una carretera va más allá de su apariencia superficial. Para garantizar la seguridad y el confort de los usuarios, es fundamental evaluar la serviciabilidad del pavimento, su capacidad para cumplir con su función de manera adecuada. En este sentido, el Índice de Serviciabilidad del Pavimento (PSI) se convierte en una herramienta invaluable para medir el pulso de la carretera.

Pomasonco (2010) Para evaluar la capacidad de servicio, el método más eficaz es utilizar el índice de capacidad de servicio actual (PSI), que oscila entre 0 (que representa una carretera intransitable) y 5 (que indica una carretera transitable).

- Deformaciones: Se evalúan las deformaciones permanentes del pavimento, como ahuellamientos, baches y grietas.
- Textura: Se analiza la textura superficial del pavimento, considerando su rugosidad y adherencia.
- Desgaste: Se mide el desgaste superficial del pavimento, incluyendo la pérdida de agregados y la exposición del ligante asfáltico.
- Fisuras: Se identifican y clasifican las fisuras y grietas presentes en el pavimento.

El principio fundamental del diseño gira en torno a los conceptos de desempeño y capacidad de servicio, lo que permite la creación de un pavimento que atiende a un volumen específico de tránsito total y al mismo tiempo mantiene un nivel deseado de capacidad de servicio durante todo el período de diseño.

La evaluación periódica de la serviciabilidad del pavimento es crucial por diversas razones:

- **Identificación de problemas:** Permite detectar daños y deterioros en el pavimento en sus primeras etapas, facilitando intervenciones oportunas y reduciendo costos de reparación.
- **Priorización de inversiones:** Ayuda a priorizar las inversiones en mantenimiento y rehabilitación de pavimentos, asegurando que los recursos se destinan a las áreas que más lo necesitan.
- **Toma de decisiones informadas:** Proporciona información valiosa para la toma de decisiones relacionadas con el diseño, la construcción y el mantenimiento de carreteras.
- **Monitoreo del desempeño:** Permite monitorear el desempeño del pavimento a lo largo del tiempo y evaluar la efectividad de las intervenciones realizadas.

En conclusión, el Índice de Serviciabilidad del Pavimento (PSI) es una herramienta esencial para evaluar la salud de las carreteras y garantizar su capacidad para cumplir con su función de manera segura y eficiente. La evaluación periódica de la serviciabilidad permite identificar problemas en sus primeras etapas, priorizar inversiones, tomar decisiones informadas y monitorear el desempeño del pavimento a lo largo del tiempo.

**Tabla 8**  
*Índice de serviciabilidad*

Índice se Serviciabilidad (PSI)	Calidad
4 - 5	Muy buena
3 - 4	Buena
2 - 3	Regular
1 - 2	Mala
0 - 1	Muy Mala

*Nota. AASHTO (1993)*

### **2.2.6. PCI**

En el mundo de la gestión de carreteras, donde la seguridad y la eficiencia son prioridades absolutas, el Índice de Condición del Pavimento (PCI) emerge como un faro que ilumina el camino hacia la evaluación precisa y objetiva de las condiciones del pavimento. Este índice, ampliamente reconocido y utilizado, ofrece una metodología sistemática y accesible para determinar el estado de salud de las carreteras, tanto flexibles como rígidas.

El PCI se distingue por su enfoque integral, abarcando una amplia gama de indicadores que reflejan la condición general del pavimento. Desde deformaciones y baches hasta grietas y desprendimiento de agregados, el PCI examina en detalle cada aspecto de la superficie de la carretera para proporcionar una imagen completa de su estado.

A pesar de su complejidad, la metodología del PCI es sorprendentemente sencilla de aplicar y comprender. Su estructura lógica y la claridad de sus criterios permiten que tanto profesionales experimentados como técnicos en formación puedan realizar evaluaciones precisas y confiables.

El PCI no solo enumera todos los daños posibles, sino que también identifica claramente aquellos que no deben considerarse debido a su origen o características que no están relacionadas con las condiciones locales. Esto permite a los usuarios enfocarse en las patologías verdaderamente relevantes para su contexto específico, evitando confusiones y ambigüedades.

Esta guía exhaustiva brinda a los lectores un conocimiento profundo del PCI, permitiéndoles comprender a cabalidad la metodología, los criterios y las limitaciones del índice. Con esta comprensión completa, los usuarios podrán realizar evaluaciones precisas y confiables del estado de sus carreteras, tomando decisiones informadas para su mantenimiento y rehabilitación.

En resumen, el Índice de Condición del Pavimento (PCI) se posiciona como una herramienta invaluable para la gestión efectiva de carreteras. Su enfoque completo, metodología eficiente, facilidad de aplicación y enfoque en patologías relevantes lo convierten en un pilar fundamental para garantizar la seguridad y la eficiencia de nuestras vías.

### 2.2.6.1. Índice de condición del pavimento (PCI – Pavement Condition Index)

Vásquez (2002), en el complejo mundo de las carreteras, donde la seguridad y la durabilidad son pilares fundamentales, el Índice de Condición del Pavimento (PCI) emerge como un termómetro preciso que permite evaluar el estado de salud de las vías, tanto flexibles como rígidas. Este índice, ampliamente reconocido y utilizado, ofrece una metodología sistemática para determinar la condición general del pavimento, proporcionando información valiosa para su gestión y mantenimiento.

La diversidad de daños que pueden afectar a un pavimento, desde grietas y baches hasta deformaciones y desprendimiento de agregados, presenta un desafío para su evaluación precisa. Para abordar esta complejidad, el PCI introduce el concepto de "valores deducidos" como un factor de ponderación que refleja el impacto de cada tipo de daño, su severidad y su extensión en la integridad estructural del pavimento.

El PCI se expresa como una medida numérica que oscila entre 0 y 100, donde 0 representa un pavimento completamente fallado y 100 un pavimento en óptimas condiciones. La Tabla 9 presenta los rangos de calificación del PCI, acompañados de una descripción cualitativa que indica la condición del pavimento para cada rango.

**Tabla 9**

*Rangos de calificación del PCI*

Rango	Clasificación
100-85	Excelente
85-70	Muy Bueno
70-55	Bueno
55-40	Regular
40-25	Malo
25-10	Muy Malo
10-0	Fallado

*Nota. Pavement Condition Index (PCI) Ed  
ampliada de Vásquez, Luis. Pag 2.*

El cálculo del PCI se basa en los hallazgos de un inventario visual detallado del estado del pavimento. Este inventario identifica y clasifica el tipo o clase de cada daño presente, su severidad y su extensión. La información recopilada permite obtener una imagen completa del estado del pavimento, tanto en términos de su integridad estructural como de su funcionalidad para el tránsito vehicular.

Al analizar los daños observados durante el inventario visual, el PCI no solo proporciona un indicador de la condición actual del pavimento, sino que también permite identificar las causas subyacentes de los deterioros. Esta comprensión profunda de los problemas que afectan a la carretera es fundamental para tomar decisiones informadas sobre su mantenimiento, rehabilitación y futuros proyectos de inversión.

En resumen, el Índice de Condición del Pavimento (PCI) se posiciona como una herramienta indispensable para la gestión efectiva de carreteras. Su enfoque integral, metodología sistemática y capacidad para evaluar tanto la integridad estructural como la funcionalidad del pavimento lo convierten en un aliado invaluable para garantizar la seguridad, la durabilidad y la eficiencia de nuestras vías.

#### **2.2.6.2. Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento**

En el universo de las carreteras, donde la seguridad y la durabilidad son imperativos, la evaluación del estado del pavimento se convierte en una tarea crucial. El procedimiento de evaluación de la condición del pavimento emerge como una autopsia metódica que permite diagnosticar los daños presentes en la superficie de la carretera, tanto de concreto como de asfalto.

La primera fase del procedimiento involucra un trabajo de campo meticuloso donde cada daño presente en el pavimento es examinado y clasificado. Esta clasificación se realiza en base a tres criterios fundamentales:

- Tipo o clase de daño: Se identifica el tipo específico de daño, como grietas, baches, deformaciones, desprendimiento de agregados, entre otros.
- Severidad del daño: Se evalúa la gravedad del daño, asignándole una categoría que va desde leve hasta severo.
- Extensión del daño: Se determina el área o longitud que ocupa el daño en la superficie del pavimento.

Para registrar la información recopilada durante el trabajo de campo, se utilizan formatos específicamente diseñados para la inspección de pavimentos. Estos formatos permiten capturar de manera organizada y sistemática todos los datos relevantes relacionados con los daños observados.

Las Figuras 18 y 19 presentan ejemplos de formatos de inspección para pavimentos de concreto y asfalto, respectivamente. Estas figuras sirven como referencia ilustrativa, y en la práctica, los formatos deben contar con el espacio adecuado para registrar toda la información pertinente.



Es importante destacar que el procedimiento de evaluación de la condición del pavimento debe adaptarse a las características específicas de cada carretera y a los objetivos de la evaluación. La selección de los criterios de clasificación de daños, la frecuencia de las inspecciones y el tipo de formatos utilizados pueden variar según las necesidades del proyecto.

En resumen, el procedimiento de evaluación de la condición del pavimento se convierte en una herramienta fundamental para comprender el estado de salud de nuestras carreteras. Mediante un trabajo de campo detallado, la clasificación precisa de los daños y el registro meticuloso en formatos especializados, podemos obtener un diagnóstico completo del pavimento, permitiendo tomar decisiones informadas para su mantenimiento, rehabilitación y futuros proyectos de inversión.

### Figura 18

*Formato de exploración de condición para carreteras con superficie asfálticas.*

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO					
PCI-01. CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFÁLTICA.					
EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO					ESQUEMA
ZONA	ABSCISA INICIAL		UNIDAD DE MUESTREO		
CÓDIGO VÍA	ABSCISA FINAL		ÁREA MUESTREO (m <sup>2</sup> )		
INSPECCIONADA POR			FECHA		
No.	Daño	No.	Daño		
1	Piel de cocodrilo.	11	Parqueo.		
2	Exudación.	12	Pulimento de agregados.		
3	Agrietamiento en bloque.	13	Huecos.		
4	Abultamientos y hundimientos.	14	Cruce de vía férrea.		
5	Corrugación.	15	Ahuellamiento.		
6	Depresión.	16	Desplazamiento.		
7	Grieta de borde.	17	Grieta parabólica (slippage)		
8	Grieta de reflexión de junta.	18	Hinchamiento.		
9	Desnivel carril / berma.	19	Desprendimiento de agregados.		
10	Grietas long y transversal.				
Daño	Severidad	Cantidades parciales		Total	Valor deducido

*Nota. Pavement Condition Index (PCI) Ed ampliada de Vásquez, Luis. Pag 3.*

#### 2.2.6.2.1. Unidades de Muestreo

En el fascinante mundo de la evaluación de pavimentos, las unidades de muestreo emergen como piezas claves del rompecabezas que nos permite comprender el estado de nuestras carreteras. Estas unidades, también conocidas como tramos, representan

segmentos específicos del pavimento que son seleccionados para su inspección y análisis.

1. Las dimensiones de las unidades de muestreo no son uniformes, sino que se adaptan a las características particulares de cada camino. En el caso de carreteras con capas superficiales de asfalto y anchos inferiores a 7,30 metros, el área de la unidad de muestreo debe situarse entre  $230,0 \pm 93,0 \text{ m}^2$ . Esta variabilidad asegura que la cantidad de pavimento inspeccionada sea proporcional al tamaño y complejidad de la carretera como afirmó Vásquez (2002), para garantizar un muestreo representativo, la relación entre la longitud y el ancho del camino pavimentado debe cumplir con ciertos criterios. La Tabla 10, propuesta por Vásquez (2002), proporciona una guía detallada sobre estas proporciones, considerando diferentes rangos de ancho de la carretera. La selección adecuada de las unidades de muestreo es fundamental para obtener una evaluación precisa y confiable del estado del pavimento. Al dividir el camino en tramos de dimensiones apropiadas, se asegura que la inspección abarque una porción representativa de la superficie, permitiendo identificar tanto los daños generalizados como aquellos que se presentan de manera localizada. En resumen, las unidades de muestreo juegan un papel crucial en la evaluación de pavimentos. Su tamaño y forma variables, adaptados a las características de cada carretera, permiten obtener una imagen precisa del estado del pavimento, facilitando la toma de decisiones informadas para su mantenimiento, rehabilitación y futuros proyectos de inversión.

**Tabla 10**

*Longitudes de unidades de muestreo asfálticas*

Ancho de calzada (m)	Longitud de la unidad de muestreo (m)
5,0	46,0
5,5	41,8
6,0	38,3
6,5	35,4
7,3 (máximo)	31,5

*Nota. Pavement Condition Index (PCI) Ed ampliada de Vásquez, Luis. Pag 3.*

En el universo de la evaluación de pavimentos, las unidades de muestreo adquieren una nueva dimensión cuando se trata de carreteras con capas superficiales de losas de concreto de cemento Portland. Al igual que en el caso de pavimentos asfálticos, la selección adecuada de estas unidades es crucial para obtener una evaluación precisa y representativa del estado del pavimento como afirma Vásquez (2002).

Para este tipo de pavimentos, donde las losas individuales tienen una longitud menor a 7,60 metros, el área de la unidad de muestreo debe abarcar aproximadamente  $20 \pm 8$  losas. Esta variabilidad asegura que la cantidad de pavimento inspeccionada sea proporcional al tamaño y complejidad de la carretera, considerando tanto las características de las losas como la extensión total del pavimento como afirma Vásquez (2002).

En lugar de definir unidades de muestreo que se ubiquen en los extremos del rango ( $20 \pm 8$  losas), se recomienda utilizar el valor medio de 24 losas como referencia. Esta aproximación evita confusiones y facilita la implementación del procedimiento de evaluación.

Para cada pavimento bajo inspección, se sugiere elaborar diagramas detallados que ilustren el tamaño y la ubicación de las unidades de muestreo. Estos diagramas servirán como una herramienta visual invaluable para facilitar la evaluación futura del pavimento, permitiendo identificar fácilmente las áreas que han sido inspeccionadas y los datos recolectados.

Los diagramas de las unidades de muestreo ofrecen diversos beneficios:

- Visualización clara: Permiten una comprensión rápida y precisa de la distribución y el tamaño de las unidades de muestreo.
- Facilidad de evaluación futura: Facilitan la identificación de las áreas inspeccionadas y los datos recolectados en evaluaciones anteriores.
- Comunicación efectiva: Sirven como herramienta de comunicación entre los diferentes equipos involucrados en la evaluación y el mantenimiento del pavimento.

En resumen, las unidades de muestreo para carreteras con losas de concreto de cemento Portland se adaptan a las dimensiones de las losas y a la extensión del pavimento. La selección del valor medio de 24 losas como referencia y la elaboración de diagramas detallados para cada pavimento bajo inspección contribuyen a una evaluación precisa, eficiente y comunicable del estado del pavimento.

**Figura 19**

Formato de inspección diseñado para evaluar carreteras que presentan una superficie construida en concreto hidráulico.

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO					
PCI-02. CARRETERAS CON SUPERFICIE EN CONCRETO HIDRÁULICO					
EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO					
ZONA	ABSCISA INICIAL		UNIDAD DE MUESTREO		
CÓDIGO VÍA	ABSCISA FINAL		NÚMERO DE LOSAS		
INSPECCIONADA POR			FECHA		
No.	Daño	No.	Daño	No.	Daño
21	Blow up / Buckling.	27	Desnivel Carril / Berma.	34	Punzonamiento.
22	Grieta de esquina.	28	Grieta lineal.	35	Cruce de vía férrea
23	Losa dividida.	29	Parcheo (grande).	36	Desconchamiento
24	Grieta de durabilidad "D".	30	Parcheo (pequeño)	37	Retracción
25	Escala.	31	Pulimento de agregados	38	Descascaramiento de esquina
26	Sello de junta.	32	Popouts	39	Descascaramiento de junta
		33	Bombeo		
Daño	Severidad	No. Losas	Densidad (%)	Valor deducido	ESQUEMA
					o o o o o
					10
					o o o o o
					9
					o o o o o
					8
					o o o o o
					...
					o o o o o
					1 2 3 4

Nota. Pavement Condition Index (PCI) Ed ampliada de Vásquez, Luis. Pag 4.

#### 2.2.6.2.2. Determinación de las Unidades de Muestreo para Evaluación

En el fascinante mundo de la evaluación de redes viales, la selección de las unidades de muestreo se convierte en una tarea crucial para navegar con eficiencia y precisión. Dado el gran número de unidades que potencialmente componen una red vial, un proceso de muestreo bien definido resulta indispensable para optimizar el tiempo y esfuerzo dedicados a las inspecciones.

En el caso de la evaluación de proyectos específicos, la exhaustividad toma la delantera. Se hace necesario inspeccionar todas las unidades de muestreo para obtener una imagen completa del estado del pavimento. Sin embargo, cuando esto no es factible, surge la Ecuación 1 como una guía valiosa para determinar el número mínimo de unidades que deben ser evaluadas. Esta ecuación nos permite estimar el Índice de Condición del Pavimento (PCI) con un margen de error de  $\pm 5$  y un nivel de confianza del 95%. Vásquez (2002)

$$n = \frac{N\chi\sigma^2}{\frac{e^2}{4}\chi(N-1) + \sigma^2} \text{ Ecuación 1.}$$

En la fase inicial de la inspección, se establecen valores iniciales para la desviación estándar del PCI:

- Pavimentos de asfalto: 10 (con un rango de PCI de 25)
- Pavimentos de hormigón: 15 (con un rango de PCI de 35)

Estos valores iniciales sirven como punto de partida para el cálculo del número mínimo de unidades a evaluar. En inspecciones posteriores, se utilizará la desviación estándar real obtenida en la inspección previa para refinar la estimación y garantizar la precisión del muestreo.

Si el número mínimo requerido de unidades de muestreo resulta ser menor a cinco ( $n < 5$ ), entonces se hace necesario inspeccionar todas las unidades. Esta decisión se basa en la necesidad de obtener una cantidad suficiente de datos para garantizar la confiabilidad de la evaluación.

En resumen, la selección de las unidades de muestreo en la evaluación de redes viales se convierte en un proceso estratégico que combina la eficiencia con la precisión. La Ecuación 1, junto con la estimación inicial de la desviación estándar del PCI y la consideración de inspecciones posteriores, permite determinar el número óptimo de unidades a evaluar, asegurando la obtención de datos confiables para una evaluación integral del estado de la red vial.

### **2.2.7. IRI**

En el mundo de las carreteras, donde la seguridad y la comodidad son prioridades absolutas, la rugosidad de la superficie se convierte en un factor determinante. Esta rugosidad, definida como las irregularidades presentes en el pavimento, puede afectar de manera adversa la calidad de conducción, la seguridad vial y los costos de mantenimiento.

La aspereza, característica que más influye en la comodidad y seguridad de los conductores al transitar por una carretera, depende de una compleja interacción entre la morfología de la carretera, las características mecánicas del pavimento y la velocidad del vehículo. Estas variables determinan la uniformidad de la superficie, influyendo directamente en la experiencia de conducción.

Para evaluar la rugosidad del pavimento y sus efectos, existen dos enfoques principales:

- Análisis del perfil longitudinal: Este enfoque se centra en medir las variaciones de la altura del pavimento a lo largo de una distancia determinada.

- Evaluación de la respuesta del vehículo: Este enfoque analiza la respuesta dinámica de un vehículo específico al transitar por una sección de la carretera, considerando factores como la vibración y el ruido.

La evaluación de la nivelación del pavimento se realiza mediante una gran variedad de dispositivos especializados, cada uno con sus propias características y metodologías. Esta diversidad de instrumentos, junto con la existencia de múltiples indicadores y escalas para establecer estándares de calidad, ha generado un debate sobre la viabilidad de adoptar un único "índice" consolidado para medir la rugosidad.

En 1982, el Banco Mundial, consciente de la necesidad de unificar los criterios de evaluación de la rugosidad, llevó a cabo un ensayo en Brasil. El objetivo era definir un patrón de correlación y calibración para la medición de la irregularidad del terreno. Fruto de este esfuerzo, surgió el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) como el primer estándar de evaluación de perfiles que se empleó a nivel global.

El IRI se basa en un enfoque analítico que simula la respuesta dinámica de un vehículo estándar al transitar por la superficie del pavimento. Este enfoque, adaptable a una amplia gama de instrumentos de medición de rugosidad, se ha convertido en una referencia esencial para caracterizar la superficie de las carreteras y evaluar su impacto en la conducción.

En resumen, el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) emerge como una herramienta fundamental para comprender y gestionar la rugosidad de las carreteras. Su enfoque estandarizado, adaptable y basado en la simulación de la respuesta del vehículo lo convierte en un referente indispensable para garantizar la seguridad, la comodidad y la eficiencia en nuestras vías.

Los valores correspondientes al estado del pavimento en función de su rugosidad se presentan en la tabla 11.

**Tabla 11**

*Valores para determinar el estado vial en el Perú según la rugosidad*

Estado	Pavimentadas	No pavimentadas
	Rugosidad	Rugosidad
Bueno	$0 < IRI \leq 2,8$	$IRI \leq 6$
Regular	$2,8 < IRI \leq 4,0$	$6 < IRI \leq 8$
Malo	$4,0 < IRI \leq 5,0$	$8 < IRI \leq 10$
Muy malo	$5 < IRI$	$10 \leq IRI$

## **2.2.8. Determinación de la rugosidad con aplicativos innovadores**

### **2.2.8.1. ABAKAL**

Use un GPS Android y un sensor de vibración de teléfono inteligente para calcular el IRI, graficar los resultados e informar los valores del IRI cada 100 metros. Es posible calibrar simultáneamente. Sin embargo, utiliza un modelo de cuarto de automóvil como vehículo principal.

En el fascinante mundo de la evaluación de pavimentos, ABAKAL emerge como una herramienta innovadora que transforma un teléfono inteligente en un laboratorio móvil para medir la rugosidad de las carreteras. Esta aplicación, desarrollada por Abakal, aprovecha la tecnología GPS y un sensor de vibración para convertir tu smartphone en un poderoso aliado para la evaluación del estado de las vías.

ABAKAL combina la precisión del GPS Android con la sensibilidad de un sensor de vibración integrado en el teléfono inteligente para calcular el Índice Internacional de Rugosidad (IRI). Este índice, considerado un referente global para evaluar la rugosidad del pavimento, refleja la uniformidad de la superficie de la carretera y su impacto en la comodidad y seguridad de la conducción (2020).

ABAKAL no solo calcula el IRI, sino que también lo presenta de manera visualmente atractiva mediante gráficos detallados. Estos gráficos permiten a los usuarios visualizar la rugosidad del pavimento a lo largo del recorrido, identificando fácilmente los puntos problemáticos y las áreas que requieren atención.

La aplicación proporciona valores del IRI cada 100 metros, ofreciendo una imagen precisa y granular de la rugosidad del pavimento. Esta información detallada es invaluable para la toma de decisiones informadas sobre el mantenimiento, la rehabilitación y la construcción de carreteras.

ABAKAL ofrece la posibilidad de realizar calibración simultánea, asegurando la confiabilidad de las mediciones. Además, la aplicación utiliza un modelo de cuarto de automóvil como vehículo principal para la simulación de la respuesta del vehículo a las irregularidades del pavimento.

El modelo de cuarto de automóvil está compuesto por masas, resortes y amortiguadores que representan las ruedas traseras del vehículo. Estos componentes se basan en coeficientes estándar que reflejan la masa total del automóvil, la masa de las ruedas, las características de los amortiguadores y la elasticidad de los neumáticos.

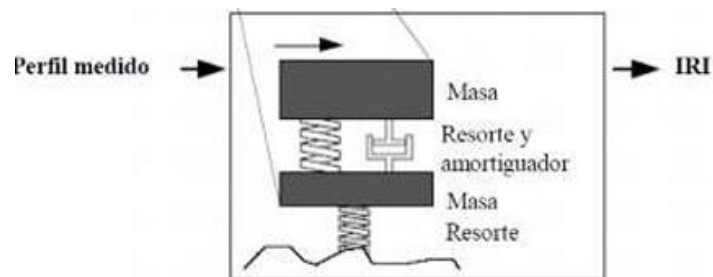
ABAKAL mide la amplitud del movimiento vertical inducido por las irregularidades en el perfil longitudinal del modelo. Esta información se utiliza para calcular el IRI y generar los gráficos de rugosidad.

La Figura 20 muestra una representación gráfica del modelo de cuarto de automóvil utilizado en la aplicación ABAKAL. Este modelo ilustra la simulación del comportamiento del vehículo al transitar por una superficie irregular.

En resumen, ABAKAL se posiciona como una herramienta innovadora y accesible para la evaluación de la rugosidad de las carreteras. Su capacidad para transformar un teléfono inteligente en un laboratorio móvil, la precisión de sus mediciones y la presentación gráfica de los resultados la convierten en una aliada invaluable para ingenieros, técnicos y responsables de la gestión de carreteras.

**Figura 20**

*Modelo de cuarto de carro*

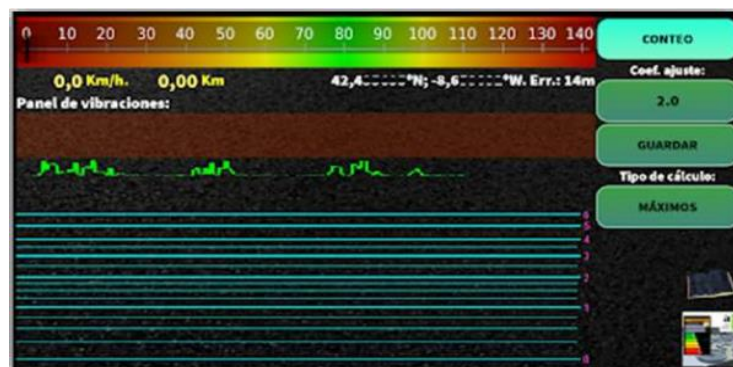


*Nota. Steven et al. (1998)*

Se visualiza en la Figura 21 como se muestra en un teléfono inteligente el aplicativo ABAKAL

**Figura 21**

*Aplicativo ABAKAL IRI*



*Nota. ABAKAL (2020)*



## **Velocidad de ensayo**

En Abakal, se requiere que la velocidad se mantenga constante y se sitúe en un rango entre 50 km/h y 80 km/h, este rango se ha determinado cuidadosamente considerando diversos factores que afectan la precisión de las mediciones, como la respuesta dinámica del vehículo, la sensibilidad del sensor de vibración y las características de la superficie del pavimento (2020).

En el universo de la evaluación de pavimentos con ABAKAL, la velocidad de ensayo juega un papel crucial para obtener mediciones precisas y confiables del Índice Internacional de Rugosidad (IRI). Para ello, la aplicación establece un rango óptimo de velocidad que debe mantenerse constante durante el proceso de evaluación.

Dentro de este rango óptimo, es fundamental mantener la velocidad constante durante todo el recorrido de evaluación. Cualquier variación significativa en la velocidad puede afectar la precisión de las mediciones, distorsionando los resultados del IRI y generando datos inconsistentes.

Razones detrás del rango óptimo:

- **Respuesta del vehículo:** En este rango de velocidad, la respuesta dinámica del vehículo a las irregularidades del pavimento se mantiene relativamente estable, permitiendo una medición precisa del IRI.
- **Sensibilidad del sensor:** El sensor de vibración integrado en el teléfono inteligente opera con mayor sensibilidad dentro de este rango, capturando con precisión las vibraciones inducidas por las irregularidades del pavimento.
- **Características del pavimento:** El rango de velocidad recomendado es compatible con las características típicas de las carreteras pavimentadas, permitiendo evaluar la rugosidad de una amplia variedad de superficies.

ABAKAL proporciona herramientas para monitorear y controlar la velocidad durante la evaluación. Esto facilita a los usuarios mantener la velocidad dentro del rango óptimo y garantizar la precisión de las mediciones.

En resumen, la velocidad de ensayo en ABAKAL se convierte en un factor clave para obtener resultados precisos y confiables del IRI. El rango óptimo de velocidad entre 50 km/h y 80 km/h, junto con la importancia de mantener una velocidad constante durante el recorrido, asegura una evaluación precisa del estado de la rugosidad del pavimento.

## Ubicación del teléfono inteligente

Para garantizar el correcto funcionamiento del ajuste, es posible colocar en el parabrisas un método estadístico o un valor máximo, tal como se ilustra en la Figura 22. Abakal (2020)

**Figura 22**

*Ubicación del teléfono en el vehículo*



## Cálculo de la rugosidad con el aplicativo ABAKAL IRI

En el fascinante mundo de la evaluación de pavimentos, ABAKAL IRI se presenta como una herramienta innovadora que no solo mide la rugosidad, sino que también la descifra utilizando dos enfoques de cálculo distintos: el método estadístico y el método del valor máximo.

La metodología empleada en ABAKAL IRI se basa en un principio fundamental: el equilibrio proporcional de las vibraciones primarias y secundarias del vehículo que se transmiten al equipo. Estas vibraciones, generadas por las irregularidades del pavimento, son claves para determinar el Índice Internacional de Rugosidad (IRI).

Un elemento crucial en este proceso es el factor de ajuste. Este factor actúa como un regulador, aumentando o reduciendo el peso de las vibraciones primarias y secundarias en el cálculo del IRI. De esta manera, ABAKAL IRI logra una mayor precisión y adaptabilidad a diferentes tipos de vehículos y condiciones de pavimento.

Dos enfoques para un mismo objetivo:

- **Método Estadístico:** Este enfoque se basa en un análisis estadístico de las vibraciones para determinar el factor de ajuste. Este análisis considera la distribución y la variabilidad de las vibraciones, permitiendo un ajuste fino y preciso.

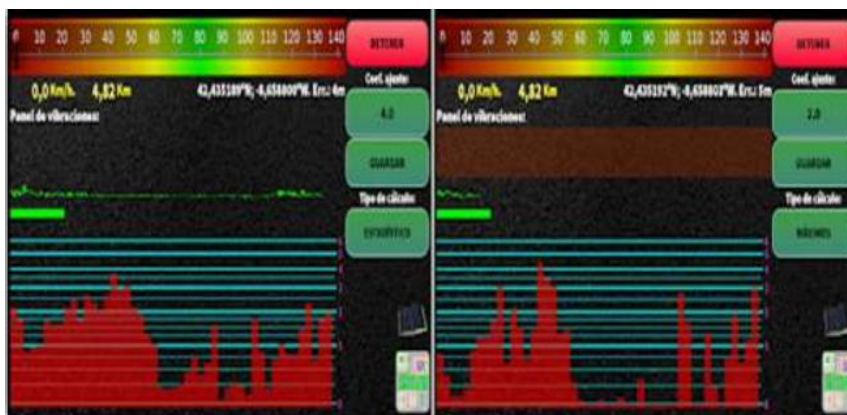
- Método del Valor Máximo: Este enfoque define valores umbral en función de los cuales se ponderan las pruebas. Al reducir el límite, se aumenta la ponderación de la prueba, lo que hace que el factor de corrección sea inversamente proporcional al peso de la prueba como se muestra en la Figura 23. Abakal (2020).

La elección del enfoque más adecuado depende de diversos factores, como las características del vehículo, el tipo de pavimento y las preferencias del usuario. ABAKAL IRI proporciona la flexibilidad de elegir entre ambos métodos, permitiendo a los usuarios seleccionar el que mejor se adapte a sus necesidades específicas.

En resumen, ABAKAL IRI se posiciona como una herramienta versátil y avanzada para el cálculo de la rugosidad del pavimento. Sus dos enfoques de cálculo, el método estadístico y el método del valor máximo, junto con el factor de ajuste, permiten obtener resultados precisos y confiables, adaptándose a diferentes condiciones y preferencias del usuario.

**Figura 23**

*Métodos de calculo*



*Nota. Abakal (2020)*

### Generación de informe

En el celular utilizado se genera la carpeta "/storage/0/Abakal/IRI" es donde la aplicación almacena los datos, así como se puede apreciar en la Figura 24. Abakal (2020)

**Figura 24***Resultados Informe IRI*

Latitud	Longitud	Altitud	Velocidad	desplazamiento	Valor IRI
42,453633	-8,677348	110	75,35	0	2,14
42,454028	-8,676213	108	75,82	100	1,75
42,454396	-8,675086	114	72	200	0,87
42,454814	-8,673987	119	73,3	300	0,95
42,455341	-8,672945	124	76,32	400	1
42,456012	-8,671988	129	80,24	500	1,69
42,456741	-8,671048	137	78,12	600	1,57
42,457411	-8,670161	142	71,78	700	1,59
42,458005	-8,66923	146	73,55	800	2,12

*Fuente. Abakal (2020)***2.2.8.2. Total Pave****Figura 25***Logo Total Pave**Nota. (Total Pave Inc., s.f.)*

En el universo de la ingeniería de pavimentos, TOTAL PAVE emerge como una empresa canadiense con sede en New Brunswick que revoluciona la gestión de recursos con un enfoque innovador: el desarrollo de aplicaciones rentables que aprovechan la tecnología móvil para optimizar la evaluación del estado de las carreteras.

La aplicación no es gratuita y funciona recopilando datos a través de sensores GPS y magnetómetros de dispositivos inteligentes que funcionan con sistemas operativos Android o IOS mientras el usuario viaja en un vehículo con una velocidad constante la cual se puede ajustar de 20 y 110 kilómetros por hora. Después de la

recopilación de datos, se transmite de manera inalámbrica a un servidor TotalPave que se basa en la nube. Luego, la información sin procesar se procesa para calcular el valor IRI de tramos de carretera específicos que se han predeterminado.

Como se observa en la Figura 25, el logotipo de TOTAL PAVE simboliza su compromiso con la innovación y la eficiencia. Sus líneas y colores representan la unión de la tecnología móvil con la infraestructura vial, plasmando su visión de transformar viajes en datos valiosos para la toma de decisiones.

TOTAL PAVE no se limita a ofrecer una única herramienta, sino que pone a disposición de sus usuarios un arsenal de aplicaciones móviles diseñadas para optimizar la gestión de pavimentos. Estas aplicaciones, compatibles con sistemas operativos Android e iOS, convierten dispositivos inteligentes en aliados esenciales para la evaluación del estado de las carreteras.

El funcionamiento de las aplicaciones TOTAL PAVE se basa en la recopilación de datos a través de sensores GPS y magnetómetros integrados en los dispositivos inteligentes. Estos sensores capturan información crucial sobre la superficie de la carretera mientras el usuario conduce a una velocidad constante, la cual puede ser ajustada entre 20 y 110 kilómetros por hora.

Una vez recopilados los datos, estos se transmiten de manera inalámbrica a un servidor TOTAL PAVE en la nube. Allí, la información sin procesar se transforma en conocimiento valioso, calculando el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) para tramos de carretera específicos previamente seleccionados por el usuario.

El IRI es un indicador fundamental para evaluar la rugosidad de la superficie de la carretera, un factor que afecta directamente la comodidad, la seguridad y los costos de mantenimiento de las vías. Al calcular el IRI para tramos específicos, TOTAL PAVE proporciona información precisa y granular sobre el estado del pavimento, permitiendo identificar áreas que requieren atención y priorizar las acciones de mantenimiento.

En resumen, TOTAL PAVE se posiciona como un aliado estratégico para la gestión eficiente de pavimentos. Sus aplicaciones móviles, su servidor en la nube y su enfoque en el cálculo del IRI transforman los viajes en datos valiosos, permitiendo a los responsables de la infraestructura vial tomar decisiones informadas para optimizar la inversión en mantenimiento y garantizar la seguridad y comodidad de los usuarios de las carreteras.

## **2.3. Definición de términos**

### **2.3.1. Condición de la calzada**

Es un espacio que debe estar correctamente pavimentado, señalizado según sus partes y las distintas normas que conllevan en un determinado espacio y acondicionado para que los vehículos puedan moverse de forma segura y eficiente. (Onroad).

En el fascinante mundo del transporte, la calzada se convierte en un escenario fundamental para la danza de la movilidad. Es un espacio que, cual lienzo en blanco, debe estar correctamente pavimentado para brindar una superficie segura y eficiente al tránsito vehicular.

Más allá de una simple extensión de terreno, la calzada se define como un espacio acondicionado, donde cada elemento cumple un rol específico en la armonía del movimiento. Desde la base hasta la superficie, cada capa de la calzada está cuidadosamente diseñada para soportar las cargas del tránsito y garantizar la fluidez del desplazamiento.

La calzada no solo se limita a ser una superficie de tránsito, sino que también se convierte en un lienzo para la comunicación. A través de la señalización, tanto horizontal como vertical, se establece un lenguaje visual que guía a los usuarios, informándoles sobre las normas, las direcciones y las posibles restricciones que imperan en este espacio compartido.

La calzada no es un territorio sin ley. Su diseño, construcción y uso se encuentran regidos por un conjunto de normas que buscan armonizar la convivencia entre los diferentes actores de la movilidad: peatones, ciclistas, motociclistas y vehículos automotores. Estas normas, establecidas por organismos competentes, definen las características físicas, la señalización y las reglas de circulación que deben ser respetadas por todos los usuarios.

Una calzada en óptimas condiciones, adecuadamente señalizada y enmarcada en un marco normativo claro, se convierte en un pilar fundamental para la seguridad y eficiencia de la movilidad. Al garantizar un tránsito fluido y seguro, la calzada contribuye a reducir accidentes, optimizar tiempos de viaje y, en última instancia, mejorar la calidad de vida de las personas que la utilizan.

En resumen, la calzada no es solo un espacio físico por donde circulan vehículos, sino un escenario cuidadosamente diseñado y regulado que juega un papel crucial en la movilidad segura y eficiente. Su correcta pavimentación, señalización y

cumplimiento de las normas por parte de todos los usuarios son elementos esenciales para garantizar una convivencia armónica en las vías.

### **2.3.2. Fallas del pavimento**

En el mundo de la ingeniería vial, el deterioro del pavimento se presenta como una batalla constante contra el tiempo, el uso y las fuerzas de la naturaleza. Este deterioro, que se traduce en una disminución de la capacidad portante del pavimento, es el resultado de una compleja interacción de diversas deficiencias, las cuales pueden manifestarse de manera inmediata o a largo plazo según Montiel (2010).

Las fallas del pavimento no son un fenómeno único, sino un espectro de deficiencias que se agrupan en distintas categorías:

- **Fatiga:** Este enemigo silencioso se manifiesta en forma de fisuras y grietas en la superficie del pavimento, producto de la flexión constante bajo el peso del tráfico vehicular.
- **Deformaciones:** El pavimento cede ante las cargas, generando hundimientos, ondulaciones y baches, alterando la uniformidad de la superficie y comprometiendo la seguridad vial.
- **Desgaste:** El paso del tiempo y el roce continuo de los neumáticos van desgastando la superficie del pavimento, reduciendo su espesor y exponiendo los agregados.
- **Desintegración:** La acción combinada del clima, la humedad y los ciclos de congelamiento y descongelamiento puede desintegrar los materiales del pavimento, provocando desprendimientos y pérdida de textura.
- **Erosión:** La fuerza del agua, tanto por lluvia como por escorrentía, erosiona los bordes y taludes del pavimento, afectando su estabilidad estructural.

Las causas de las fallas del pavimento pueden clasificarse en dos grupos principales:

- **Inmediatas:** Son aquellas que se originan por errores en el diseño, la construcción o los materiales utilizados en la pavimentación. Estas fallas suelen manifestarse poco tiempo después de la puesta en servicio del pavimento.
- **Eventuales:** Son aquellas que se desarrollan gradualmente a lo largo del tiempo, producto del uso, el clima y el envejecimiento de los materiales. La fatiga, el desgaste y la desintegración son ejemplos de este tipo de fallas.

Comprender las causas del deterioro del pavimento es fundamental para prevenir su aparición y mitigar sus efectos. La selección adecuada de materiales, un diseño eficiente, una construcción de calidad y un mantenimiento preventivo son claves

para extender la vida útil del pavimento y garantizar la seguridad y comodidad de los usuarios de las vías.

En resumen, las fallas del pavimento son el resultado de una compleja interacción de deficiencias que pueden tener orígenes inmediatos o eventuales. Identificar las causas de estas fallas es esencial para tomar medidas preventivas y correctivas que prolonguen la vida útil del pavimento y garanticen la seguridad y eficiencia del transporte vial.

### **2.3.3. Abakal**

En el fascinante mundo de la evaluación de pavimentos, ABAKAL emerge como una herramienta innovadora que transforma tu smartphone en un laboratorio móvil para calcular el Índice Internacional de Rugosidad (IRI). Esta aplicación, desarrollada por Abakal (2020), aprovecha los sensores de vibración y GPS de tu dispositivo móvil para convertirlo en un aliado esencial para evaluar el estado de las carreteras.

ABAKAL funciona de manera sencilla pero eficaz. Al aprovechar los sensores de vibración y GPS integrados en tu smartphone, la aplicación captura información crucial sobre las irregularidades de la superficie del pavimento mientras conduces. Esta información se traduce en una estimación precisa del IRI, un indicador clave para evaluar la rugosidad de la carretera y su impacto en la comodidad y seguridad de la conducción.

ABAKAL no solo calcula el IRI, sino que también lo presenta de manera visualmente atractiva mediante gráficos detallados. Estos gráficos te permiten visualizar la rugosidad del pavimento a lo largo del recorrido, identificando fácilmente los puntos problemáticos y las áreas que requieren atención. Además, la aplicación genera informes completos que resumen los resultados de la evaluación, brindándote información valiosa para tomar decisiones informadas sobre el mantenimiento y la rehabilitación de las carreteras.

ABAKAL reconoce que el cálculo del IRI a partir de sensores móviles es una estimación. Por ello, la aplicación te permite calibrar el coeficiente de ajuste comparando los resultados con pruebas realizadas en situaciones reales. Esta función te garantiza mayor precisión y confiabilidad en las mediciones, adaptándose a las características específicas de cada vehículo y tipo de pavimento.

Desarrollada por la empresa ABAKAL, esta aplicación se posiciona como una excelente opción para evaluar el estado de las carreteras de manera accesible y eficiente. Su carácter gratuito la convierte en una herramienta ideal para estudiantes,



investigadores, técnicos de pavimentos y cualquier persona interesada en mejorar la calidad de las vías.

En resumen, ABAKAL se convierte en una herramienta invaluable para la evaluación de pavimentos, transformando tu smartphone en un laboratorio móvil que te permite calcular el IRI, visualizar la rugosidad del pavimento, generar informes completos y calibrar los resultados para mayor precisión. Su carácter gratuito la convierte en una opción accesible y eficaz para todos aquellos que buscan mejorar la seguridad y comodidad de las carreteras.

#### **2.3.4. Total Pave**

En el dinámico mundo de la ingeniería de pavimentos, TOTAL PAVE emerge como una herramienta innovadora que transforma tu teléfono móvil en un centinela vigilante del estado de las carreteras. Esta aplicación, desarrollada, aprovecha el acelerómetro integrado en tu dispositivo para convertirlo en un aliado esencial para el monitoreo de las condiciones del pavimento. Ríos et al. (2022).

TOTAL PAVE funciona de forma sencilla pero eficaz. Al aprovechar el acelerómetro de tu teléfono móvil, la aplicación captura las vibraciones que experimenta el vehículo mientras recorres la carretera. Estas vibraciones, generadas por las irregularidades del pavimento, se traducen en unidades del Índice Internacional de Rugosidad (IRI), un indicador clave para evaluar la rugosidad de la superficie y su impacto en la comodidad y seguridad de la conducción.

La magia de TOTAL PAVE radica en su capacidad para transformar las vibraciones capturadas por el acelerómetro en datos valiosos sobre la condición del pavimento. Esta traducción se logra mediante el uso de una ecuación o modelo de cuarto de automóvil, cuidadosamente calibrado para considerar las características del vehículo, el tipo de pavimento y las condiciones de conducción.

TOTAL PAVE no solo te brinda un valor IRI general, sino que te presenta un mapa detallado de la rugosidad a lo largo del recorrido. Este mapa, visualmente atractivo y fácil de interpretar, te permite identificar fácilmente los puntos problemáticos y las áreas que requieren atención. De esta manera, puedes enfocar tus esfuerzos de mantenimiento y rehabilitación en las zonas más críticas, optimizando recursos y mejorando la calidad general de la carretera.

TOTAL PAVE se posiciona como una herramienta invaluable para una amplia gama de usuarios, desde estudiantes e investigadores que buscan profundizar en el estudio de la rugosidad del pavimento, hasta técnicos de pavimentos que requieren

información precisa para la toma de decisiones en el mantenimiento de las carreteras. Su carácter gratis y de fácil uso la convierte en una opción accesible para cualquier persona interesada en mejorar la seguridad y comodidad de las vías.

En resumen, TOTAL PAVE se convierte en un centinela esencial para el monitoreo de las condiciones de la carretera, transformando tu teléfono móvil en un aliado para la evaluación del pavimento. Su capacidad para traducir vibraciones en unidades IRI, generar mapas detallados de la rugosidad y su carácter gratuito la convierten en una herramienta invaluable para diversos sectores interesados en la mejora de las carreteras.

### **2.3.5. Serviciabilidad**

La aptitud de una carretera para acomodar el tráfico en ella, incluidos automóviles y camiones, se evalúa y cuantifica en una escala de 0 a 5. Este sistema de calificación varía de 0, que indica un pavimento intransitable, a 5, que indica un pavimento de calidad excepcional. Martinez et al. (2020)

La serviciabilidad se evalúa y cuantifica en una escala de 0 a 5, donde cada valor representa un nivel distinto de calidad del pavimento. En este sistema de calificación:

- 0: Representa un pavimento intransitable, completamente deteriorado y con graves riesgos para la seguridad vial.
- 1-2: Indica un pavimento con daños significativos, que requiere reparaciones urgentes para garantizar la circulación segura de vehículos.
- 3: Se refiere a un pavimento con deficiencias moderadas, que necesita mantenimiento preventivo para evitar un mayor deterioro.
- 4: Representa un pavimento en buenas condiciones, pero que requiere un monitoreo constante para mantener su calidad.
- 5: Indica un pavimento de calidad excepcional, capaz de soportar el tráfico vehicular sin presentar problemas significativos.

Diversos factores pueden afectar la serviciabilidad de una carretera, entre ellos:

- El tipo de pavimento: Asfalto, concreto, adoquines, etc.
- El diseño estructural: Espesor, materiales, capas, etc.
- El volumen y tipo de tráfico: Cantidad de vehículos, peso, velocidad, etc.
- Las condiciones climáticas: Temperatura, humedad, lluvia, etc.
- El mantenimiento: Frecuencia, calidad, tipo de intervenciones, etc.

Una carretera con alta serviciabilidad ofrece múltiples beneficios, como:

- Mayor seguridad vial: Disminuye la probabilidad de accidentes y daños a los vehículos.
- Menor desgaste de los vehículos: Reduce los costos de mantenimiento y reparación de los vehículos.
- Mayor confort en la conducción: Proporciona una experiencia de viaje más agradable para los usuarios.
- Reducción de costos de mantenimiento: Se requieren menos intervenciones y reparaciones en el pavimento.
- Mayor vida útil del pavimento: Extiende el tiempo de servicio de la carretera.

En resumen, la serviciabilidad se convierte en un indicador esencial para evaluar la salud de las carreteras. Su medición y análisis permiten tomar decisiones informadas sobre el mantenimiento, la rehabilitación y la inversión en infraestructura vial, con el objetivo de garantizar la seguridad, el confort y la eficiencia del transporte.

### **2.3.6. Transitabilidad**

En el dinámico mundo de la ingeniería de transporte, la transitabilidad se convierte en un concepto crucial para evaluar la capacidad de una infraestructura vial de mantener un flujo constante de tráfico vehicular durante un período específico. Este concepto, definido por Zeballos et al. (2020), refleja la salud de las arterias viales y su capacidad para garantizar la movilidad eficiente de personas.

La transitabilidad no se limita a la simple ausencia de congestiones vehiculares, sino que implica un flujo dinámico y armónico del tráfico. Es como el pulso de una carretera, que refleja su capacidad para respirar y mantener la circulación sin ahogarse en el caos.

La transitabilidad se evalúa como un indicador del nivel de servicio de la infraestructura vial. Este nivel de servicio se mide en diferentes niveles, desde A (excelente) hasta F (intransitable), y representa la calidad de la experiencia de viaje para los usuarios.

Diversos factores pueden afectar la transitabilidad de una carretera, entre ellos:

- La capacidad de la vía: Número de carriles, ancho de los carriles, presencia de intersecciones, etc.
- El volumen de tráfico: Cantidad de vehículos que circulan por la vía en un período determinado.

- La distribución del tráfico: Tipo de vehículos (automóviles, camiones, motocicletas), horas pico, etc.
- Las condiciones del pavimento: Estado de la superficie, presencia de baches, grietas o deformaciones.
- La señalización y el control de tráfico: Adecuada señalización horizontal y vertical, presencia de semáforos, etc.
- La cultura vial: Respeto a las normas de tránsito, comportamiento de los conductores y peatones.

Una alta transitabilidad ofrece múltiples beneficios, como:

- Mayor fluidez del tráfico: Disminuye los tiempos de viaje y las congestiones vehiculares.
- Menor consumo de combustible: Reduce las emisiones contaminantes y los costos de transporte.
- Mayor seguridad vial: Disminuye la probabilidad de accidentes y mejora la calidad de vida de los usuarios.
- Mayor dinamismo económico: Facilita el comercio y la actividad económica en las zonas aledañas a la vía.
- Mayor desarrollo social: Permite una mejor conexión entre las comunidades y el acceso a servicios esenciales.

En resumen, la transitabilidad se convierte en un indicador vital para evaluar la salud de las carreteras y su capacidad para garantizar la movilidad eficiente. Su medición y análisis permiten tomar decisiones informadas sobre el diseño, la construcción, el mantenimiento y la gestión de la infraestructura vial, con el objetivo de crear ciudades y regiones más sostenibles, conectadas y prósperas.

### **2.3.7. Rugosidad**

Las dimensiones de una superficie tienen un impacto considerable en la dinámica del vehículo, incluyendo aspectos como la dirección, la rugosidad se convierte en un actor fundamental en la danza del vehículo sobre la superficie de la carretera. Esta propiedad, definida por Laboratorio Vial (2020), refleja las desviaciones de una superficie teóricamente plana, tanto en su perfil longitudinal como transversal, y tiene un impacto considerable en la dinámica del vehículo, influenciando aspectos como la dirección, las cargas dinámicas y el drenaje.

La rugosidad no es solo una cuestión estética, sino que juega un papel crucial en la seguridad, el confort y la eficiencia del transporte. Una superficie con baja

rugosidad, cercana a una planeidad ideal, permite un baile armónico entre el vehículo y la carretera, minimizando las vibraciones, el desgaste de los neumáticos y el consumo de combustible. Por el contrario, una superficie con alta rugosidad, caracterizada por baches, grietas y ondulaciones, se convierte en un escenario caótico para el vehículo, generando incomodidad, pérdida de control, mayor desgaste y un aumento en el riesgo de accidentes.

Para evaluar la rugosidad, se han desarrollado diversos índices y parámetros, como el Índice Internacional de Rugosidad (IRI), que cuantifican las irregularidades de la superficie de manera estandarizada. Estos indicadores permiten clasificar las carreteras en diferentes niveles de rugosidad, desde aquellas con una superficie lisa y uniforme hasta las que presentan un deterioro significativo.

La rugosidad no solo afecta la experiencia de conducción, sino que también tiene un impacto en otros aspectos importantes, como:

- **Desgaste de los neumáticos:** Una superficie rugosa aumenta el desgaste de los neumáticos, lo que se traduce en un mayor costo de mantenimiento para los usuarios y un impacto ambiental negativo.
- **Deterioro del vehículo:** Las vibraciones y cargas dinámicas generadas por una superficie rugosa pueden acelerar el deterioro de los componentes del vehículo, como la suspensión y la carrocería.
- **Seguridad vial:** Una superficie con alta rugosidad puede dificultar la maniobrabilidad del vehículo, especialmente en condiciones de lluvia o poca visibilidad, aumentando el riesgo de accidentes.
- **Confort de los usuarios:** Las vibraciones y el ruido generados por una superficie rugosa pueden afectar negativamente el confort de los usuarios, especialmente en viajes largos.

En resumen, la rugosidad se convierte en un elemento clave para comprender la interacción entre el vehículo y la carretera. Su medición y análisis permiten tomar decisiones informadas sobre el diseño, la construcción, el mantenimiento y la rehabilitación de las carreteras, con el objetivo de garantizar la seguridad, el confort, la eficiencia y la sostenibilidad del transporte terrestre.

## CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

### 3.1. Diseño de la investigación

El tipo de investigación es aplicada, teniendo en cuenta los siguientes objetivos son solucionar una problemática específica, focalizando en el descubrimiento y la consolidación del conocimiento con el fin de su utilización.

### 3.2. Acciones y actividades

#### 3.2.1. Desarrollo del PCI

##### Trabajo de Campo

- Como parte del proceso inicial, se llevó a cabo una evaluación detallada de la carretera en el tramo comprendido entre el kilómetro 52+00 y el kilómetro 62+00 en el Distrito de Arequipa, conocido como Yura. Durante este análisis, se identificaron los diversos tipos de fallas superficiales presentes en el pavimento.
- Durante la fase inicial de inspección en el terreno, pudimos constatar la magnitud del deterioro y destacar su extensión, nivel y gravedad.
- Para llevar a cabo el cálculo del Índice de Condición del Pavimento (PCI), fue necesario determinar el área afectada por las fallas superficiales del pavimento.
- Se procedió a tomar las medidas correspondientes para evaluar la mencionada carretera en el tramo de Yura, comprendido entre los kilómetros 52+00 y 62+00, durante el año 2023. Durante esta evaluación, se detectaron diversas patologías en el pavimento.
- Las actividades de recolección de datos se llevaron a cabo principalmente durante las primeras horas de la mañana y en la madrugada, debido al alto flujo vehicular que caracteriza a esta carretera.

Entre las fallas superficiales del pavimento identificadas se incluyen: la formación de piel de cocodrilo, exudaciones, agrietamiento en bloque, abultamientos y hundimientos, grietas en los bordes, grietas de reflexión en las juntas, grietas longitudinales y transversales, áreas parcheadas, presencia de baches y desprendimiento de agregados.

**Figura 26**

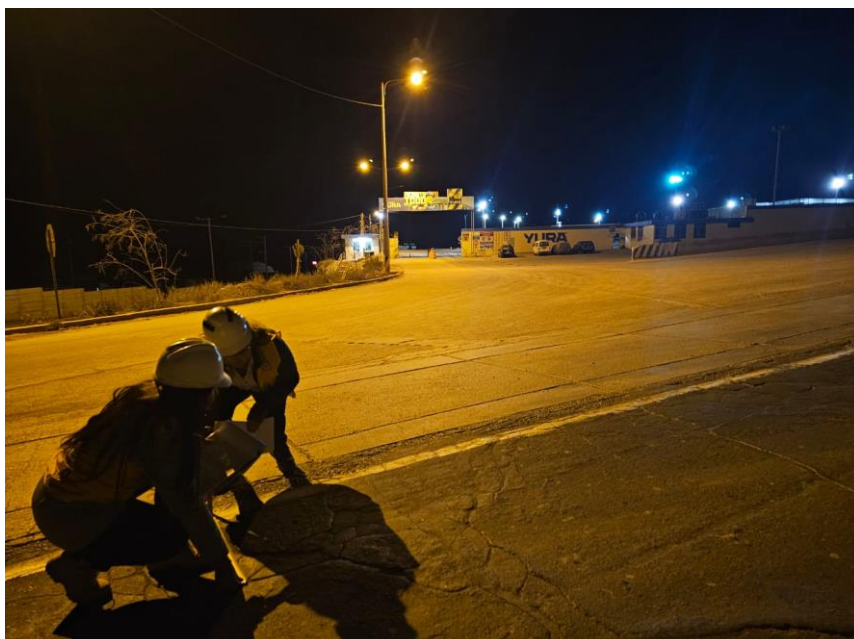
*Tramo Km 00+052 inicio de tramo de recolección de datos y Tramo Km 00+062 final de recolección de datos*



Como se ilustra en la Figura 26, se evidencian el momento de la primera visita al sitio de estudio. Esta etapa crucial comenzó con una minuciosa inspección visual de los pavimentos, recorriendo cada palmo del tramo de Yura, ubicado entre los kilómetros 52+00 y 62+00 en el Distrito de Arequipa. El objetivo principal de esta inspección era familiarizarse con el estado actual de la carretera, identificando posibles puntos críticos, zonas con mayor deterioro y características generales del pavimento.

**Figura 27**

*Falla de pavimento por grieta de bordes y piel de cocodrilo.*

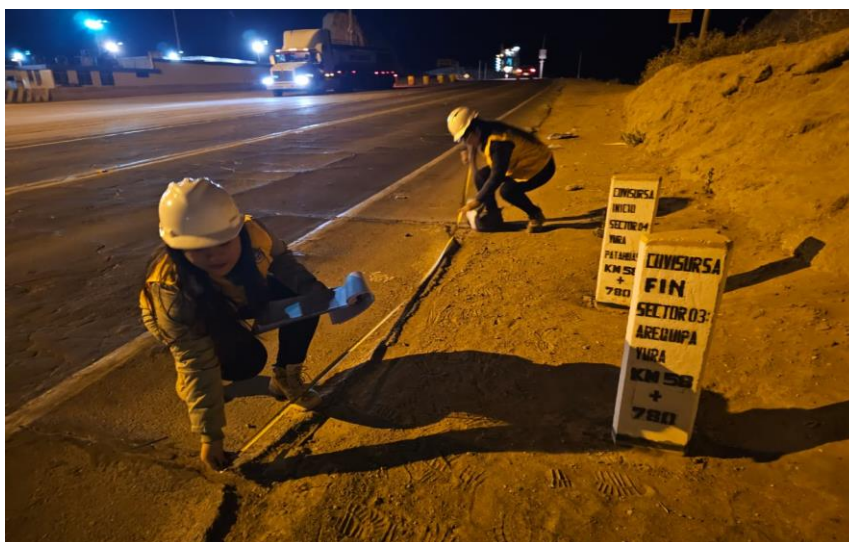


El 29 de julio del presente año, se realizó con éxito la recolección de datos durante una visita matutina al sitio, aprovechando el menor flujo vehicular en esas horas. Además, se tomaron medidas de seguridad, como la colocación de conos reflectantes.

Como se ilustra en la Figura 27, se evidencian fallas en el pavimento, destacándose especialmente las grietas en los bordes y la formación de piel de cocodrilo, las cuales fueron las más recurrentes en los tramos evaluados de la carretera hacia Yura.

### Figura 28

*Falla de pavimento por grieta de bordes, piel de cocodrilo, hundimientos.*



En la figura 28 se observa la progresiva 58+780, donde se tomaron los datos correspondientes de las fallas encontradas.

### Figura 29

*Falla de pavimento por agrietamiento en bloque*





Se puede visualizar en la Figura 29 la falla por agrietamiento en bloque, estas han sido calificadas con un nivel de severidad medio.

### **Figura 30**

*Falla de pavimento por grieta en bloque*



Con el objetivo de aprovechar al máximo las horas de luz natural y optimizar el progreso del trabajo, las visitas al sitio de estudio se planificaron para las primeras horas de la mañana. Esta estrategia permitió a los investigadores capturar con mayor detalle las características del pavimento bajo la luz directa del sol naciente, facilitando la identificación y clasificación de posibles defectos. Como se ilustra en la Figura 30 se presenta una imagen que revela la presencia de grietas en bloque en el pavimento. Estas grietas, caracterizadas por su forma rectangular o cuadrada, son un tipo común de defecto que puede afectar la integridad estructural de la carretera. En la imagen, las grietas han sido clasificadas con un nivel de severidad medio, lo que indica que requieren atención y seguimiento para evitar su progresión y deterioro futuro.

### **Figura 31**

*Falla de pavimento por piel de cocodrilo, parcheo.*



Se puede visualizar en la Figura 31 la falla del pavimento de parcheo, debido a eso es que la medida de ha tomado de un lado a otro de la pista, esto porque era de una extensa longitud. Así mismo, también se evidenció fallas por piel de cocodrilo.

### **Figura 32**

*Falla de pavimento por abultamientos y hundimientos, huecos*



Como se ilustra en la Figura 32, se presenta una imagen que revela la presencia de una falla por hundimiento en el pavimento. Este tipo de falla, caracterizada por una depresión localizada en la superficie de la carretera, puede ser causada por diversos factores como la erosión del suelo, la existencia de cavidades subterráneas o la deficiente compactación del material durante la construcción. En la imagen, el hundimiento ha sido calificado con un nivel de severidad medio, lo que indica que requiere atención y seguimiento para evitar su progresión y deterioro futuro.

### **Figura 33**

*Falla de pavimento por Huecos*



Como se ilustra en la Figura 33, se presenta una imagen que revela la presencia de una falla por huecos en el pavimento. Este tipo de falla, caracterizada por una abertura o depresión localizada en la superficie de la carretera, puede ser causada por diversos factores como el desgaste por el tráfico vehicular, la acción del agua o la deficiente calidad del material del pavimento. En la imagen, el hueco ha sido calificado con un nivel de severidad medio, lo que indica que requiere atención y seguimiento para evitar su progresión y deterioro futuro.

### **Figura 34**

*Falla de pavimento por piel de cocodrilo*



Como se ilustra en la Figura 34, se presenta una imagen que revela la aparición predominante de fisuras en forma de piel de cocodrilo en el pavimento. Este tipo de fisuración, caracterizada por su patrón irregular y similar a la piel de este reptil, se ha convertido en la falla más común en los tramos analizados de la carretera en Yura, abarcando desde el kilómetro 52+00 hasta el kilómetro 62+00, en el Distrito de Arequipa, durante el año 2023. Las fisuras en forma de piel de cocodrilo no solo afectan la estética del pavimento, sino que también representan un indicador de deterioro estructural de la carretera. Este tipo de fisuración puede debilitar la superficie, haciéndola más susceptible a baches, hundimientos y otros daños más severos. Si no se atiende oportunamente, la progresión de estas fisuras puede llevar a la pérdida total de la capa superficial del pavimento.

**Figura 35**

*Falla de pavimento por grieta de bordes*



Como se ilustra en la Figura 35, existen grietas en los bordes del pavimento. Este tipo de defecto, caracterizado por hendiduras longitudinales que se extienden desde la superficie hacia el interior del pavimento, ha sido catalogado con un nivel de severidad elevado. La gravedad de estas grietas radica en su impacto significativo en la carretera de Yura, especialmente en el tramo que abarca desde el kilómetro 52+00 hasta el kilómetro 62+00, en el Distrito de Arequipa, durante el año 2023. Las grietas en los bordes del pavimento no solo afectan la estética de la carretera, sino que también representan un serio peligro para la seguridad vial. Estas hendiduras pueden generar inestabilidad en la estructura del pavimento, aumentando el riesgo de desprendimientos, hundimientos y colapsos. Además, pueden afectar la adherencia de los neumáticos, especialmente en condiciones de lluvia o poca visibilidad, lo que incrementa la probabilidad de accidentes.

**Figura 36**

*Falla de pavimento por piel de cocodrilo y grieta de bloques*



Como se ilustra en la Figura 36, se presenta una imagen que revela la coexistencia de dos tipos de fallas preocupantes en el pavimento: las fallas por piel de cocodrilo y las grietas de bloques. Esta combinación de defectos representa un panorama desafiante para la integridad estructural de la carretera, especialmente en el tramo que abarca desde el kilómetro 52+00 hasta el kilómetro 62+00, en el Distrito de Arequipa, durante el año 2023.

### **Figura 37**

*Falla de pavimento por grieta de bordes y piel de cocodrilo*



Como se ilustra en la Figura 37, se revela las consecuencias del crecimiento urbano descontrolado y acelerado en el Distrito de Yura. La planificación deficiente de este proceso ha dado como resultado un panorama de desorden y desorganización, afectando negativamente la calidad de vida de los residentes y el desarrollo sostenible de la zona. El crecimiento urbano desmedido en Yura ha generado una caótica distribución espacial, con una mezcla desordenada de viviendas, comercios, industrias y espacios públicos. Esta falta de planificación ha dado lugar a una serie de problemas como la congestión vehicular, la escasez de áreas verdes, la deficiente infraestructura de servicios básicos y la degradación ambiental.

### **3.3. Materiales y/o instrumentos**

El desarrollo del trabajo de campo en el marco del Índice de Condición del Pavimento (PCI) exige contar con un conjunto de instrumentos y materiales esenciales, los cuales servirán como herramientas indispensables para llevar a cabo la evaluación de manera precisa y eficiente. A continuación, se detalla el arsenal necesario para esta tarea:

- Registro de datos para documentar la información recolectada.
- Una cinta métrica para medir distancias con precisión.
- Una regla o un hilo de nivel para realizar mediciones de elevación.
- Una regla de medición para evaluar dimensiones específicas.
- Software y/o aplicaciones especializadas para el análisis de datos.
- Chalecos reflectantes de seguridad para garantizar la visibilidad del equipo en el sitio.
- Conos de seguridad para señalar áreas de trabajo y advertir a los conductores sobre la presencia de trabajadores en la carretera.

Para el trabajo en campo con aplicativos innovadores para la determinación del IRI, se utilizará algunos instrumentos y materiales:

- Teléfono inteligente (Samsung Galaxy S23 ultra y Samsung Galaxy S30A).
- Aplicativo TOTAL PAVE (Samsung Galaxy S23 ultra).
- Aplicativo ABAKAL (Samsung Galaxy S30A).
- Camioneta 4X4 (TOYOTA Hilux 3.0D-4D).
- Formatos de campo y guías de observación.

### **3.4. Población y muestra de estudio**

#### **3.4.1. Población**

La Carretera A. Yura Tramo KM 52+00 al KM 62+00, Distrito de Arequipa.

#### **3.4.2. Muestra**

La muestra seleccionada para este estudio corresponde a la carretera A, específicamente el tramo comprendido entre los kilómetros 52+00 y 62+00, en el Distrito de Arequipa, conocido como Yura. Este tramo se compone de dos calzadas, cada una con un ancho de 6,90 metros, lo que da un área total de 69,000.00 metros cuadrados. El pavimento de esta carretera presenta daños y desgaste que afectan su capa de rodadura.

### **3.5. Operacionalización de variables**

Luego de diferenciar las variables en nuestro tema de investigación, se identificaron las variables independientes y dependientes como se muestra en la Tabla 12.

**Tabla 12***Operacionalización de variables*

Tipo de variable	Denominación de la variable	Definición operacional	Dimensión	Indicadores
Variable independiente	Fallas superficiales del pavimento	Daño causado por diversas sustancias mecánicas en la superficie de la carretera.	Tipos de fallas de pavimento	Clasificación de las fallas de la calzada asfáltica.
		Clima, proceso de construcción, diseño estructural, entre otros factores.	Evaluación del estado del pavimento	Indicador de evaluación de daños de la calzada.
Variable dependiente	Rugosidad	Desviaciones de la superficie del pavimento que afectan la transitabilidad del vehículo	Nivel de Serviciabilidad del Pavimento	Serviciabilidad
				Cálculo del índice de rugosidad.
				Índice internacional de rugosidad.
				Clasificación y parámetros del IRI.

### 3.6. Técnica de procesamiento y análisis estadístico

#### 3.6.1. Método de índice de condición del pavimento (PCI)

**Tabla 13***Longitud de unidad de muestreo*

Ancho de calzada (m)	Longitud de la unidad de muestreo (m)
5,0	46,0
5,5	41,8
6,0	38,3
6,5	35,4
7,3 (máximo)	31,5

- Las vías serán subdivididas en tramos o unidades de muestreo, cada uno con un ancho de 6,90 metros. De acuerdo con la Tabla 13, la longitud de cada muestra será de 33,50 metros.

- La longitud total de las vías evaluadas abarca 10,00 kilómetros, lo que equivale a una superficie de 69,000,00 metros cuadrados.
- Las unidades de muestra utilizadas tienen un área de 231,15 metros cuadrados, dentro del rango permitido, con una longitud de 33,5 metros.
- Según la fórmula de muestreo, se obtendrá un total de 298 muestras.
- El intervalo de muestreo, de acuerdo con la segunda fórmula, resulta en analizar cada veinte unidades de muestra.

#### **3.6.1.1. Trabajo de Campo y Gabinete**

- Cálculo del Índice de Condición del Pavimento (PCI) para una sección específica de la carretera.  
En esta sección específica de la carretera, se han instalado diversas unidades de prueba. Si se mantienen todos los elementos seleccionados, el PCI general del área se calculará mediante el promedio de los PCI de dichas unidades.
- Trabajo de análisis de datos para el PCI  
La información obtenida durante las pruebas se empleará en los cálculos del PCI para prever los resultados. Se recomienda el uso de hojas de cálculo de Microsoft Excel para una mayor precisión y efectividad en los resultados.

La Tabla 14 presenta el formato utilizado para recopilar datos en el estudio, detallando las fallas identificadas, su nivel de gravedad y las acciones adoptadas para corregirlas. Este formato resalta las deficiencias encontradas durante el proceso de investigación.



**Tabla 14***Formato de recopilación de datos usados*

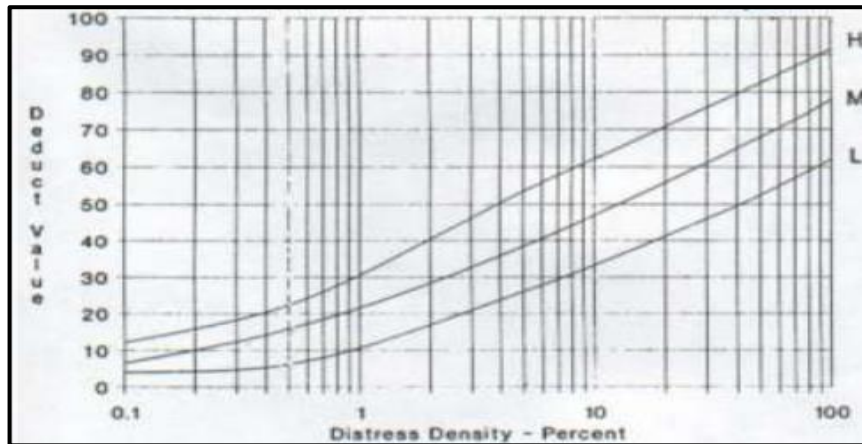
"TIPOS DE FALLAS SUPERFICIALES DEL PAVIMENTO"										
		L		M		H				
01.	"PIEL DE COCODRILO" (m2)									
02.	"EXUDACIONES" (m2)									
03.	"AGRIETAMIENTO EN BLOQUE" (m2)									
04.	"ABULTAMIENTOS Y HUNDIMIENTOS" (m2)									
05.	"CORRUGACIONES" (m2)									
06.	"DEPRESIONES" (m2)									
07.	"GRIETA DE BORDES" (m)									
08.	"GRIETA DE REFLEXIÓN DE JUNTAS" (m)									
09.	"DESNIVELES CARRILES – BERMAS" (m)									
10.	"GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES" (m)									
11.	"PARCHEOS" (m2)									
12.	"PULIMIENTO DE AGREGADOS" (m2)									
13.	"HUECOS" (und)									
14.	"CRUCE DE VIA FERREA" (m2)									
15.	"AHUELLAMIENTOS" (m2)									
16.	"DESPLAZAMIENTOS" (m2)									
17.	"GRIETA PARABÓLICA" (m2)									
18.	"HINCHAMIENTO" (m2)									
19.	"DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS" (m2)									
"FALLA SUPERFICIAL"	"CANTIDADES"							"TOTALES"	"DENSIDADES"	"VALORES DEDUCIDOS"
03 H	1,46	2,74	0,66	0,69	2,6	2,53	10,68	4,62	20	
04 M	1,56	1,48	1,53	1,4	1,75	1,62	9,34	4,04	28	
11 M	3,2	0,8	1,5	2,3	2,8	1,75	12,35	5,34	22	
07 H	0,6	0,9	1,8	0,74	1,5	1,3	6,84	2,96	11	
01 M	1,4	0,35	1,86	0,6	1,5	1,2	6,91	2,99	35	

Se calculó la densidad dividiendo el número total de muestras de patología por el área de estudio y expresándolo como porcentaje. Para determinar el valor deducido, se aplicó la curva conocida como "Valor deducido de los daños".

La Figura 38 ilustra el diagrama utilizado en el procesamiento de datos del valor deducido de la piel de cocodrilo, donde el valor deducido se representa en el eje vertical y el porcentaje de densidad de daño en el eje horizontal.

**Figura 38**

Diagrama utilizado para procesar los datos del valor deducido asociado a la presencia de piel de cocodrilo



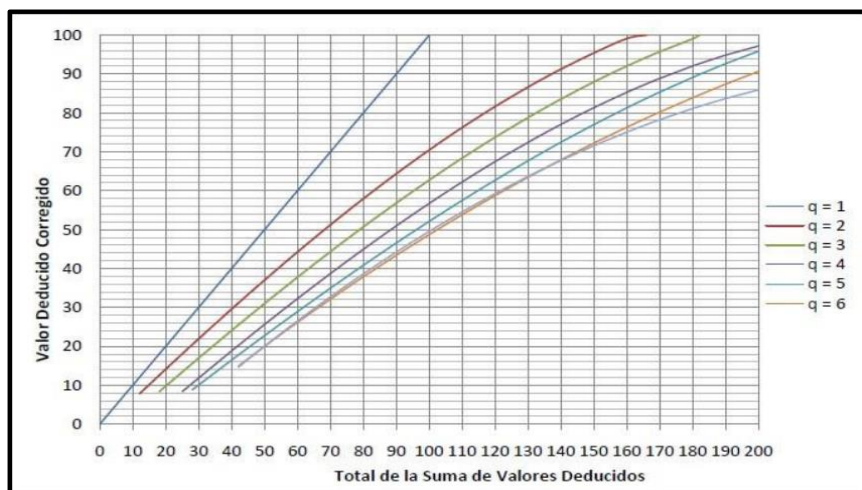
Nota. Pavement Condition Index (PCI) Ed ampliada de Vásquez, Luis. Pag 4.

A modo de ejemplo, consideremos el "Valor Deducido" para una falla de pavimento de severidad Media debido a la presencia de piel de cocodrilo, con una densidad de 4,77 el cual sería de 39.

Para alcanzar el Índice de Condición del Pavimento (PCI), es necesario llevar a cabo un paso preliminar que consiste en calcular el "Valor de Deducción Máximo" específico para el tipo de carretera asfaltada (conocido como CDV máximo). La determinación del PCI para el dispositivo se detalla en la Figura 39, que exhibe la curva de corrección.

**Figura 39**

Valor de deducción máximo



La cantidad de resultados disminuye hasta alcanzar el valor máximo permitido "m", incluyendo los decimales. Por ejemplo, para valores como 41, 37, 32, 22 y 16.

### 3.6.2. Determinación de la rugosidad con aplicativos innovadores (PCI)

Tomaremos datos de campo usando nuestras aplicaciones adquiridas, que luego procesaremos en la oficina usando una hoja electrónica en EXCEL.

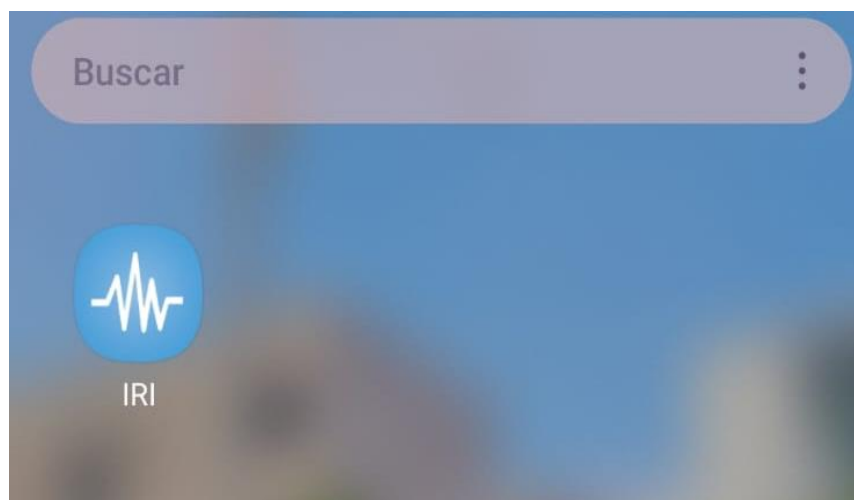
#### 3.6.2.1. Procedimiento del ensayo TOTAL PAVE

Total Pave se diferencia de otros sistemas en que se asignan datos IRI a líneas centrales estáticas de carreteras que existen en su cuenta. La ventaja de hacer esto es que puede recopilar fácilmente el IRI en la misma sección a lo largo del tiempo, el sistema evalúa dónde ha conducido y asigna el IRI a las líneas estáticas.

- Descargar e instalar la aplicación ABAKAL IRI en el dispositivo Samsung Galaxy S23 Ultra, como se muestra en la Figura 40, para su uso en el presente ensayo, asegurándose de tener activadas las funciones de GPS.

#### Figura 40

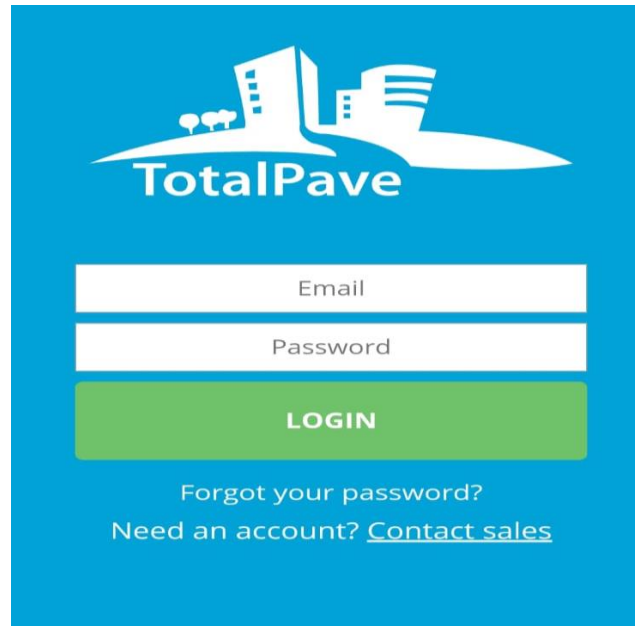
*Aplicativo móvil TOTAL PAVE*



- Como se muestra en la Figura 41, al acceder a la aplicación, será necesario iniciar sesión utilizando su correo electrónico y contraseña correspondiente. Si no dispone de un correo electrónico y contraseña, deberá contactar al administrador del sistema para solicitar el servicio, el cual tiene un costo de \$30.
- Iniciar sesión al aplicativo para la recopilación de datos.

**Figura 41**

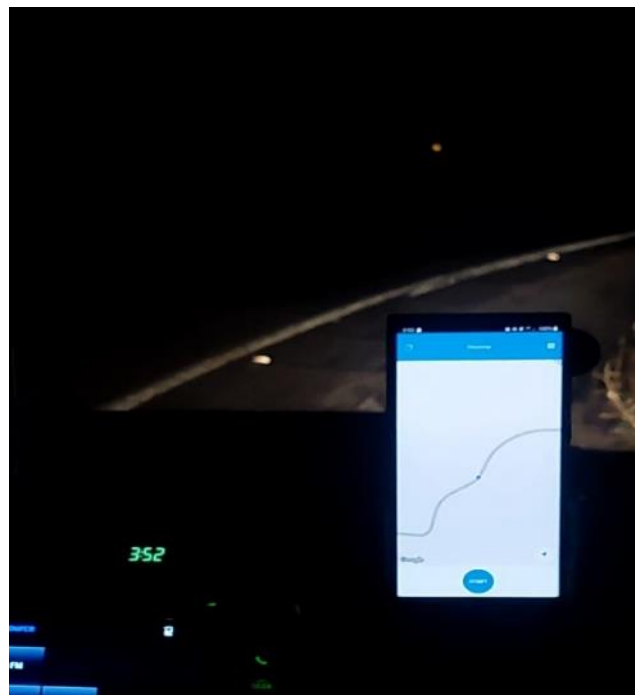
*Iniciar sesión TOTAL PAVE*



- Una vez que haya iniciado sesión en la aplicación, coloque el celular Samsung Galaxy S23 Ultra de manera segura en el vehículo, utilizando un soporte rígido diseñado para el parabrisas, como se muestra en la Figura 42.

**Figura 42**

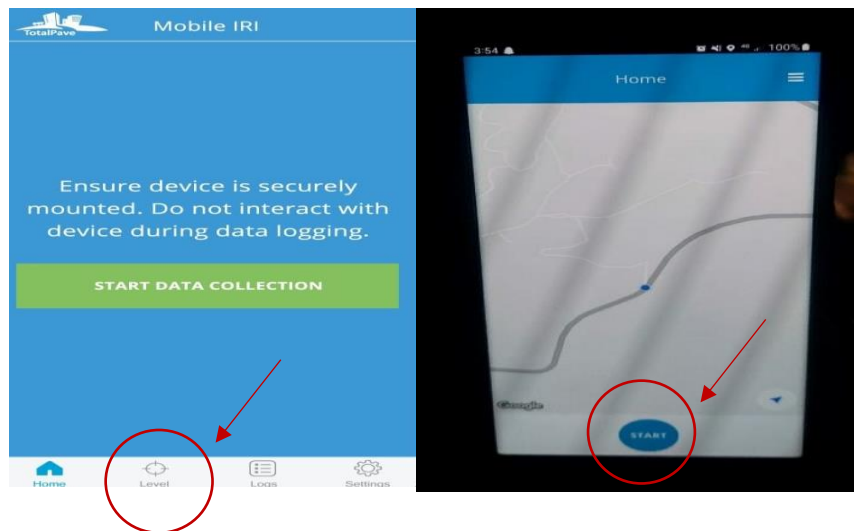
*Ubicación del teléfono en el móvil*



- Verifique que el celular Samsung Galaxy S23 Ultra esté montado verticalmente, como se muestra en la Figura 43. Utilice la función "Nivel" en la aplicación para confirmar esta orientación.

**Figura 43**

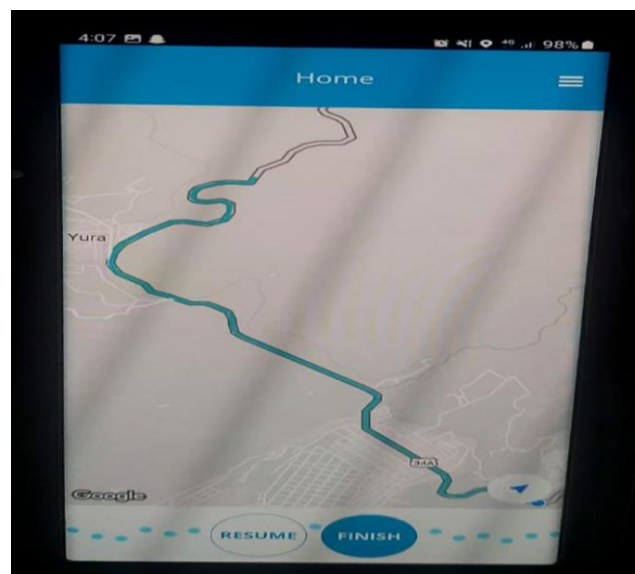
*Nivelar TOTAL PAVE*



- Ya nivelado se puede dar inicio al recorrido y recopilación de datos, haciendo click en START revisar figura 44, en este caso del km 52+00 al km 62+00 de la carretera A yura. El recorrido se realizará en camioneta 4X4 TOYOTA Hilux 3.0D-4D.

**Figura 44**

*Iniciamos con la recopilación de datos*



- Una vez concluida la recopilación de datos en el dispositivo móvil, estos se transfieren automáticamente a la cuenta de Total Pave, tal como se ilustra en la Figura 45. Este proceso de sincronización garantiza que la información recolectada se mantenga segura y accesible para su posterior análisis y gestión. Para acceder a los datos sincronizados en Total Pave, es necesario iniciar sesión en su cuenta a través del sitio web. La opción para iniciar sesión se encuentra ubicada en la esquina superior derecha de la página, claramente visible para facilitar el acceso. Al iniciar sesión, se le presentará un panel de control que le permitirá visualizar, gestionar y analizar los datos recolectados en el campo.

**Figura 45**

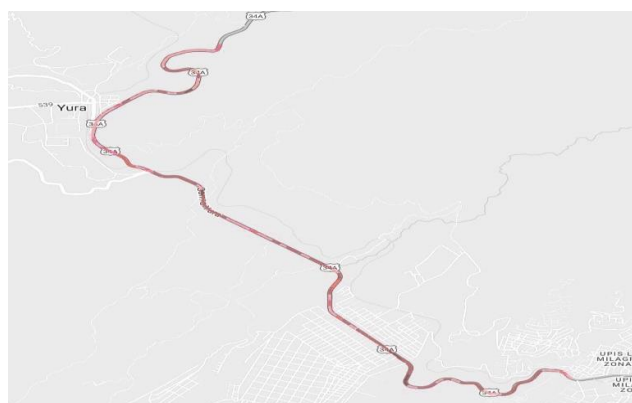
*Recopilación de datos TOTAL PAVE*

ID	PCI 2023	Survey Date 2023	Street Name	Cvk Start	Cvk End	Length	Width	Area	Road Direction	From	To
1654240	-	-	Jul 30 Line 1	-	-	100m	-	-	NB / SB	START	0+100
1654241	-	-	Jul 30 Line 1	-	-	100m	-	-	WB / EB	0+100	0+200
1654242	-	-	Jul 30 Line 1	-	-	100m	-	-	WB / EB	0+200	0+300
1654243	-	-	Jul 30 Line 1	-	-	100m	-	-	WB / EB	0+300	0+400
1654244	-	-	Jul 30 Line 1	-	-	100m	-	-	WB / EB	0+400	0+500
1654245	-	-	Jul 30 Line 1	-	-	100m	-	-	WB / EB	0+500	0+600
1654246	-	-	Jul 30 Line 1	-	-	100m	-	-	NB / SB	0+600	0+700
1654247	-	-	Jul 30 Line 1	-	-	100m	-	-	NB / SB	0+700	0+800
1654248	-	-	Jul 30 Line 1	-	-	100m	-	-	NB / SB	0+800	0+900
1654249	-	-	Jul 30 Line 1	-	-	100m	-	-	WB / EB	0+900	1+000
1654250	-	-	Jul 30 Line 1	-	-	100m	-	-	WB / EB	1+000	1+100
1654251	-	-	Jul 30 Line 1	-	-	100m	-	-	WB / EB	1+100	1+200
1654252	-	-	Jul 30 Line 1	-	-	100m	-	-	NB / SB	1+200	1+300
1654253	-	-	Jul 30 Line 1	-	-	100m	-	-	NB / SB	1+300	1+400
1654254	-	-	Jul 30 Line 1	-	-	100m	-	-	NB / SB	1+400	1+500

- Después de cargar los datos en el sitio web de Total Pave, la aplicación genera un mapa temático que representa la ruta y el nivel de la carretera, como se ilustra en la Figura 46.

**Figura 46**

*Mapa temático del recorrido*



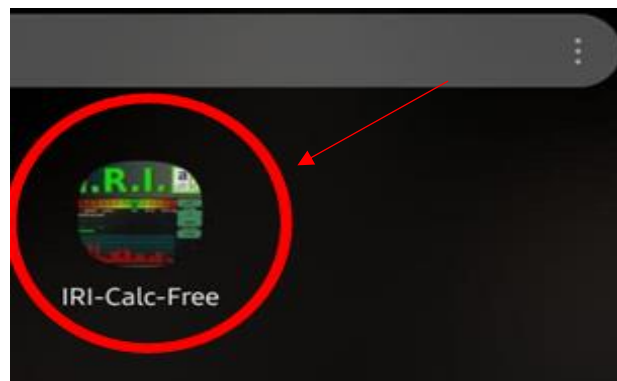
### 3.6.3. Procedimiento del ensayo ABAKAL IRI

Este software determina el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante la utilización de sensores de vibración y el sistema GPS del teléfono móvil Android.

- Para instalar la aplicación ABAKAL IRI en el celular Samsung Galaxy A30S, utilizado en este estudio como se muestra en la Figura 47, es necesario asegurarse de tener las funciones de GPS activadas.

**Figura 47**

*Aplicativo móvil ABAKAL IRI*



- La aplicación es de acceso gratuito, lo que significa que no es necesario iniciar sesión para utilizarla, tal como se ilustra en la Figura 48. Posteriormente, procedemos a instalar el soporte del celular en la ventana delantera (parabrisas) de la camioneta 4X4 Toyota Hilux 3.0D-4D. Esta instalación garantiza que el dispositivo esté firmemente sujeto, estable y de fácil alcance para su manipulación con las manos.

**Figura 48**

*Instalación del celular*

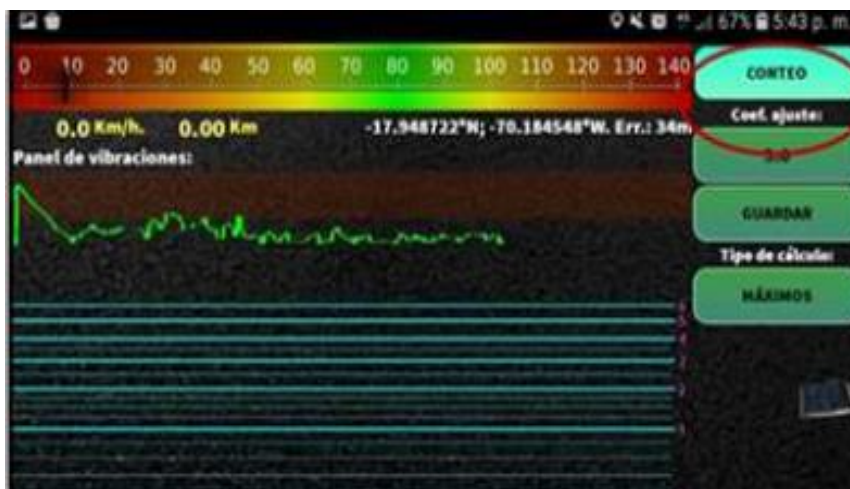


*Nota. (ABAKAL, 2020)*

- Para comenzar a utilizar la aplicación ABAKAL IRI, lo primero que hacemos es abrir el software. Antes de avanzar, es importante familiarizarse con las dos metodologías de trabajo que ofrece la aplicación. Estas incluyen el cálculo de los máximos utilizando un coeficiente de ajuste de valor de 4, así como el cálculo de estadísticas utilizando un coeficiente de ajuste de 2.
- Luego, procedemos a seleccionar la opción de "INICIAR", la cual está etiquetada como "CONTEO", tal como se muestra en las Figuras 49, 50 y 51. En este punto, el programa comienza a recopilar datos de vibración.

**Figura 49**

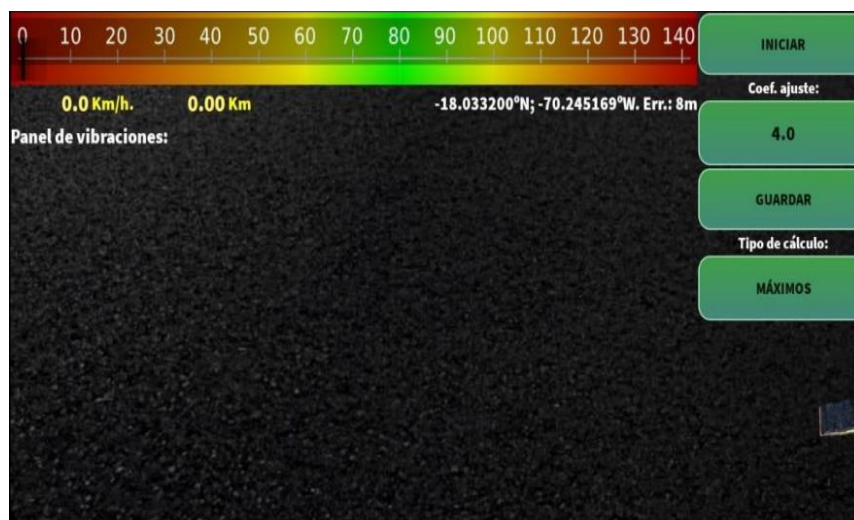
*Ícono para iniciar la recopilación de datos*



*Nota. (ABAKAL, 2020)*

**Figura 50**

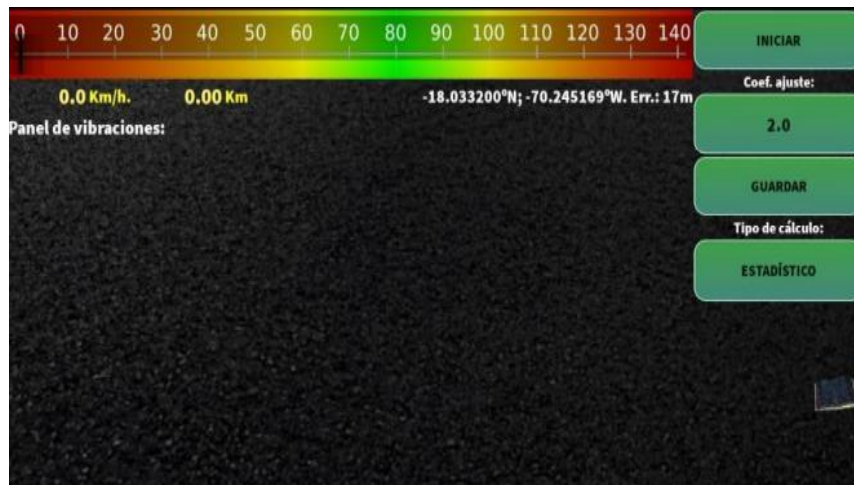
*La pantalla de inicio se configura automáticamente con el tipo de cálculo de valores máximos seleccionado*





**Figura 51**

La pantalla de inicio está ajustada para mostrar el tipo de cálculo estadístico seleccionado.

**Figura 52.**

Ubicación del smartphone



En la Figura 52, se puede observar la ubicación del celular Samsung Galaxy A30S, indicado con claridad. Celular utilizado en el presente ensayo con aplicativo ABAKAL. En la figura también se puede observar el celular Samsung Galaxy S23 ultra, utilizado en el ensayo con aplicativo TOTAL PAVE. Como se visualiza los ensayos fueron realizados al mismo tiempo. En la misma posición de parabrisas visualizar también para tener más claridad figura 52.

- Al finalizar las pruebas, los archivos de datos se cargan en el almacenamiento del celular Samsung Galaxy A30S utilizado para el ensayo.

- La información obtenida de los informes generados por la aplicación ABAKAL, en relación con el Índice Internacional de Rugosidad (IRI), se analiza utilizando el software de plantilla automatizada de Excel.
- Para obtener los valores de IRI de la Carretera a Yura, desde el kilómetro 52+00 hasta el kilómetro 62+00, en el Distrito de Arequipa, se realizan mediciones cada 100 metros utilizando el mismo método. Este método implica realizar cálculos ponderados o procesamiento de datos en la plantilla automatizada de Excel.
- Al emplear los datos del IRI, seremos capaces de evaluar con precisión las condiciones del tráfico en la Carretera a Yura, desde el kilómetro 52+00 hasta el kilómetro 62+00, en el Distrito de Arequipa.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

### 4.1. Análisis de las fallas utilizando el "Método del Índice de Condición del Pavimento" (PCI)

Seguidamente, se describen los datos obtenidos durante la inspección en terreno de las fallas identificadas en el área de estudio a través de la observación visual.

El método "Índice de condición del pavimento" (PCI) examina 10000 metros de carretera, identificando 299 pruebas individuales. Cada unidad de prueba o muestra está compuesta por 33,5 metros, lo que supone un ancho de vía de 6,9 metros. El estudio se centra en 15 ensayos a lo largo del área de estudio, que brindan información sobre la categorización de la PCI y sus resultados.

La Tabla 15 proporciona un desglose completo del proceso involucrado en el muestreo con fines de prueba. La tabla describe los detalles específicos de la unidad de muestra que se utiliza, el área que se está probando, la progresión de las muestras tomadas, así como el PCI y la clasificación asociados con cada muestra.

**Tabla 15**

*Resultados del PCI por cada Unidad de Muestra*

U.M	Área (m <sup>2</sup> )	Progresivas		PCI	Clasificación
UM-1	231,15	0+0,00	0+20,00	39	Malo
UM-2	231,15	0+21,00	0+41,00	34	Malo
UM-3	231,15	0+41,00	0+61,00	28	Malo
UM-4	231,15	0+61,00	0+81,00	25	Muy Malo
UM-5	231,15	0+81,00	0+101,00	23	Muy Malo
UM-6	231,15	0+101,00	0+121,00	27	Malo
UM-7	231,15	0+121,00	0+141,00	25	Muy Malo
UM-8	231,15	0+141,00	0+161,00	23	Muy Malo
UM-9	231,15	0+161,00	0+181,00	26	Malo
UM-10	231,15	0+181,00	0+201,00	29	Malo
UM-11	231,15	0+201,00	0+221,00	24	Muy Malo
UM-12	231,15	0+221,00	0+241,00	28	Malo
UM-13	231,15	0+241,00	0+261,00	25	Muy Malo
UM-14	231,15	0+261,00	0+281,00	27	Malo
UM-15	231,15	0+281,00	0+301,00	23	Muy Malo
UM-16	231,15	0+301,00	0+321,00	29	Malo
UM-17	231,15	0+321,00	0+341,00	32	Malo
UM-18	231,15	0+341,00	0+361,00	25	Muy Malo
UM-19	231,15	0+361,00	0+381,00	28	Malo
UM-20	231,15	0+381,00	0+401,00	22	Muy Malo
UM-21	231,15	0+401,00	0+421,00	24	Muy Malo

Continuación de la Tabla 15.

U.M	Área(m <sup>2</sup> )	Progresivas		PCI	Clasificación
UM-22	231,15	0+421,00	0+441,00	27	Malo
UM-23	231,15	0+441,00	0+461,00	28	Malo
UM-24	231,15	0+461,00	0+481,00	25	Muy Malo
UM-25	231,15	0+481,00	0+501,00	25	Muy Malo
UM-26	231,15	0+501,00	0+521,00	29	Malo
UM-27	231,15	0+521,00	0+541,00	32	Malo
UM-28	231,15	0+541,00	0+561,00	25	Muy Malo
UM-29	231,15	0+561,00	0+581,00	23	Muy Malo
UM-30	231,15	0+581,00	0+601,00	22	Muy Malo
UM-31	231,15	0+601,00	0+621,00	18	Muy Malo
UM-32	231,15	0+621,00	0+641,00	28	Malo
UM-33	231,15	0+641,00	0+661,00	31	Malo
UM-34	231,15	0+661,00	0+681,00	25	Muy Malo
UM-35	231,15	0+681,00	0+701,00	22	Muy Malo
UM-36	231,15	0+701,00	0+721,00	26	Malo
UM-37	231,15	0+721,00	0+741,00	24	Muy Malo
UM-38	231,15	0+741,00	0+761,00	25	Malo
UM-39	231,15	0+761,00	0+781,00	27	Malo
UM-40	231,15	0+781,00	0+801,00	25	Muy Malo
UM-41	231,15	0+801,00	0+821,00	30	Malo
UM-42	231,15	0+821,00	0+841,00	28	Malo
UM-43	231,15	0+841,00	0+861,00	25	Muy Malo
UM-44	231,15	0+861,00	0+881,00	23	Muy Malo
UM-45	231,15	0+881,00	0+901,00	24	Muy Malo
UM-46	231,15	0+901,00	0+921,00	26	Malo
UM-47	231,15	0+921,00	0+941,00	29	Malo
UM-48	231,15	0+941,00	0+961,00	25	Muy Malo
UM-49	231,15	0+961,00	0+981,00	27	Malo
UM-50	231,15	0+981,00	0+1001,00	23	Muy Malo
UM-51	231,15	0+1001,00	0+1021,00	19	Muy Malo
UM-52	231,15	0+1021,00	0+1041,00	26	Malo
UM-53	231,15	0+1041,00	0+1061,00	24	Muy Malo
UM-54	231,15	0+1061,00	0+1081,00	22	Muy Malo
UM-55	231,15	0+1081,00	0+1101,00	19	Muy Malo
UM-56	231,15	0+1101,00	0+1121,00	26	Malo
UM-57	231,15	0+1121,00	0+1141,00	22	Muy Malo
UM-58	231,15	0+1141,00	0+1161,00	23	Muy Malo
UM-59	231,15	0+1161,00	0+1181,00	25	Muy Malo
UM-60	231,15	0+1181,00	0+1201,00	30	Malo
UM-61	231,15	0+1201,00	0+1221,00	36	Malo
UM-62	231,15	0+1221,00	0+1241,00	34	Malo
UM-63	231,15	0+1241,00	0+1261,00	28	Malo
UM-64	231,15	0+1261,00	0+1281,00	25	Muy Malo
UM-65	231,15	0+1281,00	0+1301,00	23	Muy Malo
UM-66	231,15	0+1301,00	0+1321,00	27	Malo

Continuación de la Tabla 15.

U.M	Área(m <sup>2</sup> )	Progresivas		PCI	Clasificación
UM-67	231,15	0+1321,00	0+1341,00	29	Malo
UM-68	231,15	0+1341,00	0+1361,00	23	Muy Malo
UM-69	231,15	0+1361,00	0+1381,00	24	Muy Malo
UM-70	231,15	0+1381,00	0+1401,00	22	Muy Malo
UM-71	231,15	0+1401,00	0+1421,00	27	Malo
UM-72	231,15	0+1421,00	0+1441,00	29	Malo
UM-73	231,15	0+1441,00	0+1461,00	31	Malo
UM-74	231,15	0+1461,00	0+1481,00	25	Muy Malo
UM-75	231,15	0+1481,00	0+1501,00	23	Muy Malo
UM-76	231,15	0+1501,00	0+1521,00	27	Malo
UM-77	231,15	0+1521,00	0+1541,00	29	Malo
UM-78	231,15	0+1541,00	0+1561,00	26	Malo
UM-79	231,15	0+1561,00	0+1581,00	22	Muy Malo
UM-80	231,15	0+1581,00	0+1601,00	23	Muy Malo
UM-81	231,15	0+1601,00	0+1621,00	21	Muy Malo
UM-82	231,15	0+1621,00	0+1641,00	26	Malo
UM-83	231,15	0+1641,00	0+1661,00	28	Malo
UM-84	231,15	0+1661,00	0+1681,00	25	Muy Malo
UM-85	231,15	0+1681,00	0+1701,00	23	Muy Malo
UM-86	231,15	0+1701,00	0+1721,00	27	Malo
UM-87	231,15	0+1721,00	0+1741,00	28	Malo
UM-88	231,15	0+1741,00	0+1761,00	24	Muy Malo
UM-89	231,15	0+1761,00	0+1781,00	23	Muy Malo
UM-90	231,15	0+1781,00	0+1801,00	26	Malo
UM-91	231,15	0+1801,00	0+1821,00	26	Malo
UM-92	231,15	0+1821,00	0+1841,00	25	Muy Malo
UM-93	231,15	0+1841,00	0+1861,00	23	Muy Malo
UM-94	231,15	0+1861,00	0+1881,00	22	Muy Malo
UM-95	231,15	0+1881,00	0+1901,00	26	Malo
UM-96	231,15	0+1901,00	0+1921,00	28	Malo
UM-97	231,15	0+1921,00	0+1941,00	27	Malo
UM-98	231,15	0+1941,00	0+1961,00	26	Malo
UM-99	231,15	0+1961,00	0+1981,00	25	Muy Malo
UM-100	231,15	0+1981,00	0+2001,00	21	Muy Malo
UM-101	231,15	0+2001,00	0+2021,00	17	Muy Malo
UM-102	231,15	0+2021,00	0+2041,00	26	Malo
UM-103	231,15	0+2041,00	0+2061,00	27	Malo
UM-104	231,15	0+2061,00	0+2081,00	25	Muy Malo
UM-105	231,15	0+2081,00	0+2101,00	23	Muy Malo
UM-106	231,15	0+2101,00	0+2121,00	20	Muy Malo
UM-107	231,15	0+2121,00	0+2141,00	19	Muy Malo
UM-108	231,15	0+2141,00	0+2161,00	26	Malo
UM-109	231,15	0+2161,00	0+2181,00	27	Malo
UM-110	231,15	0+2181,00	0+2201,00	26	Malo
UM-111	231,15	0+2201,00	0+2221,00	25	Muy Malo

Continuación de la Tabla 15.

U.M	Área(m <sup>2</sup> )	Progresivas		PCI	Clasificación
UM-112	231,15	0+2221,00	0+2241,00	22	Muy Malo
UM-113	231,15	0+2241,00	0+2261,00	26	Malo
UM-114	231,15	0+2261,00	0+2281,00	25	Muy Malo
UM-115	231,15	0+2281,00	0+2301,00	22	Muy Malo
UM-116	231,15	0+2301,00	0+2321,00	18	Muy Malo
UM-117	231,15	0+2321,00	0+2341,00	26	Malo
UM-118	231,15	0+2341,00	0+2361,00	26	Malo
UM-119	231,15	0+2361,00	0+2381,00	25	Muy Malo
UM-120	231,15	0+2381,00	0+2401,00	23	Muy Malo
UM-121	231,15	0+2401,00	0+2421,00	21	Muy Malo
UM-122	231,15	0+2421,00	0+2441,00	26	Malo
UM-123	231,15	0+2441,00	0+2461,00	27	Malo
UM-124	231,15	0+2461,00	0+2481,00	25	Muy Malo
UM-125	231,15	0+2481,00	0+2501,00	21	Muy Malo
UM-126	231,15	0+2501,00	0+2521,00	19	Muy Malo
UM-127	231,15	0+2521,00	0+2541,00	15	Muy Malo
UM-128	231,15	0+2541,00	0+2561,00	26	Malo
UM-129	231,15	0+2561,00	0+2581,00	29	Malo
UM-130	231,15	0+2581,00	0+2601,00	25	Muy Malo
UM-131	231,15	0+2601,00	0+2621,00	22	Muy Malo
UM-132	231,15	0+2621,00	0+2641,00	18	Muy Malo
UM-133	231,15	0+2641,00	0+2661,00	26	Malo
UM-134	231,15	0+2661,00	0+2681,00	28	Malo
UM-135	231,15	0+2681,00	0+2701,00	24	Muy Malo
UM-136	231,15	0+2701,00	0+2721,00	21	Muy Malo
UM-137	231,15	0+2721,00	0+2741,00	18	Muy Malo
UM-138	231,15	0+2741,00	0+2761,00	19	Muy Malo
UM-139	231,15	0+2761,00	0+2781,00	26	Malo
UM-140	231,15	0+2781,00	0+2801,00	30	Malo
UM-141	231,15	0+2801,00	0+2821,00	33	Malo
UM-142	231,15	0+2821,00	0+2841,00	24	Muy Malo
UM-143	231,15	0+2841,00	0+2861,00	25	Muy Malo
UM-144	231,15	0+2861,00	0+2881,00	18	Muy Malo
UM-145	231,15	0+2881,00	0+2901,00	20	Muy Malo
UM-146	231,15	0+2901,00	0+2921,00	23	Muy Malo
UM-147	231,15	0+2921,00	0+2941,00	22	Muy Malo
UM-148	231,15	0+2941,00	0+2961,00	26	Malo
UM-149	231,15	0+2961,00	0+2981,00	20	Muy Malo
UM-150	231,15	0+2981,00	0+3001,00	25	Malo
UM-151	231,15	0+3001,00	0+3021,00	15	Muy Malo
UM-152	231,15	0+3021,00	0+3041,00	20	Muy Malo
UM-153	231,15	0+3041,00	0+3061,00	27	Malo
UM-154	231,15	0+3061,00	0+3081,00	23	Muy Malo
UM-155	231,15	0+3081,00	0+3101,00	21	Muy Malo
UM-156	231,15	0+3101,00	0+3121,00	18	Muy Malo

Continuación de la Tabla 15.

U.M	Área(m <sup>2</sup> )	Progresivas		PCI	Clasificación
UM-157	231,15	0+3121,00	0+3141,00	20	Muy Malo
UM-158	231,15	0+3141,00	0+3161,00	14	Muy Malo
UM-159	231,15	0+3161,00	0+3181,00	16	Muy Malo
UM-160	231,15	0+3181,00	0+3201,00	25	Malo
UM-161	231,15	0+3201,00	0+3221,00	20	Muy Malo
UM-162	231,15	0+3221,00	0+3241,00	40	Muy Malo
UM-163	231,15	0+3241,00	0+3261,00	11	Muy Malo
UM-164	231,15	0+3261,00	0+3281,00	23	Muy Malo
UM-165	231,15	0+3281,00	0+3301,00	15	Muy Malo
UM-166	231,15	0+3301,00	0+3321,00	24	Muy Malo
UM-167	231,15	0+3321,00	0+3341,00	16	Muy Malo
UM-168	231,15	0+3341,00	0+3361,00	15	Muy Malo
UM-169	231,15	0+3361,00	0+3381,00	20	Muy Malo
UM-170	231,15	0+3381,00	0+3401,00	28	Malo
UM-171	231,15	0+3401,00	0+3421,00	25	Malo
UM-172	231,15	0+3421,00	0+3441,00	15	Muy Malo
UM-173	231,15	0+3441,00	0+3461,00	20	Muy Malo
UM-174	231,15	0+3461,00	0+3481,00	21	Muy Malo
UM-175	231,15	0+3481,00	0+3501,00	17	Muy Malo
UM-176	231,15	0+3501,00	0+3521,00	23	Muy Malo
UM-177	231,15	0+3521,00	0+3541,00	18	Muy Malo
UM-178	231,15	0+3541,00	0+3561,00	30	Malo
UM-179	231,15	0+3561,00	0+3581,00	19	Muy Malo
UM-180	231,15	0+3581,00	0+3601,00	20	Muy Malo
UM-181	231,15	0+3601,00	0+3621,00	23	Muy Malo
UM-182	231,15	0+3621,00	0+3641,00	39	Malo
UM-183	231,15	0+3641,00	0+3661,00	24	Muy Malo
UM-184	231,15	0+3661,00	0+3681,00	19	Muy Malo
UM-185	231,15	0+3681,00	0+3701,00	14	Muy Malo
UM-186	231,15	0+3701,00	0+3721,00	20	Muy Malo
UM-187	231,15	0+3721,00	0+3741,00	26	Malo
UM-188	231,15	0+3741,00	0+3761,00	25	Malo
UM-189	231,15	0+3761,00	0+3781,00	11	Muy Malo
UM-190	231,15	0+3781,00	0+3801,00	15	Muy Malo
UM-191	231,15	0+3801,00	0+3821,00	20	Muy Malo
UM-192	231,15	0+3821,00	0+3841,00	14	Muy Malo
UM-193	231,15	0+3841,00	0+3861,00	17	Muy Malo
UM-194	231,15	0+3861,00	0+3881,00	24	Muy Malo
UM-195	231,15	0+3881,00	0+3901,00	28	Malo
UM-196	231,15	0+3901,00	0+3921,00	20	Muy Malo
UM-197	231,15	0+3921,00	0+3941,00	23	Muy Malo
UM-198	231,15	0+3941,00	0+3961,00	19	Muy Malo
UM-199	231,15	0+3961,00	0+3981,00	24	Muy Malo
UM-200	231,15	0+3981,00	0+4001,00	16	Muy Malo
UM-201	231,15	0+4001,00	0+4021,00	13	Muy Malo

Continuación de la Tabla 15.

U.M	Área(m <sup>2</sup> )	Progresivas		PCI	Clasificación
UM-202	231,15	0+4021,00	0+4041,00	11	Malo
UM-203	231,15	0+4041,00	0+4061,00	15	Muy Malo
UM-204	231,15	0+4061,00	0+4081,00	19	Muy Malo
UM-205	231,15	0+4081,00	0+4101,00	21	Muy Malo
UM-206	231,15	0+4101,00	0+4121,00	24	Muy Malo
UM-207	231,15	0+4121,00	0+4141,00	30	Malo
UM-208	231,15	0+4141,00	0+4161,00	37	Malo
UM-209	231,15	0+4161,00	0+4181,00	23	Muy Malo
UM-210	231,15	0+4181,00	0+4201,00	21	Muy Malo
UM-211	231,15	0+4201,00	0+4221,00	33	Malo
UM-212	231,15	0+4221,00	0+4241,00	19	Muy Malo
UM-213	231,15	0+4241,00	0+4261,00	17	Muy Malo
UM-214	231,15	0+4261,00	0+4281,00	16	Muy Malo
UM-215	231,15	0+4281,00	0+4301,00	20	Muy Malo
UM-216	231,15	0+4301,00	0+4321,00	22	Muy Malo
UM-217	231,15	0+4321,00	0+4341,00	23	Muy Malo
UM-218	231,15	0+4341,00	0+4361,00	36	Malo
UM-219	231,15	0+4361,00	0+4381,00	24	Muy Malo
UM-220	231,15	0+4381,00	0+4401,00	21	Muy Malo
UM-221	231,15	0+4401,00	0+4421,00	20	Muy Malo
UM-222	231,15	0+4421,00	0+4441,00	15	Muy Malo
UM-223	231,15	0+4441,00	0+4461,00	24	Muy Malo
UM-224	231,15	0+4461,00	0+4481,00	19	Muy Malo
UM-225	231,15	0+4481,00	0+4501,00	18	Muy Malo
UM-226	231,15	0+4501,00	0+4521,00	20	Muy Malo
UM-227	231,15	0+4521,00	0+4541,00	15	Muy Malo
UM-228	231,15	0+4541,00	0+4561,00	23	Muy Malo
UM-229	231,15	0+4561,00	0+4581,00	21	Muy Malo
UM-230	231,15	0+4581,00	0+4601,00	22	Muy Malo
UM-231	231,15	0+4601,00	0+4621,00	37	Malo
UM-232	231,15	0+4621,00	0+4641,00	33	Malo
UM-233	231,15	0+4641,00	0+4661,00	20	Muy Malo
UM-234	231,15	0+4661,00	0+4681,00	24	Muy Malo
UM-235	231,15	0+4681,00	0+4701,00	18	Muy Malo
UM-236	231,15	0+4701,00	0+4721,00	26	Malo
UM-237	231,15	0+4721,00	0+4741,00	22	Muy Malo
UM-238	231,15	0+4741,00	0+4761,00	16	Muy Malo
UM-239	231,15	0+4761,00	0+4781,00	24	Muy Malo
UM-240	231,15	0+4781,00	0+4801,00	19	Muy Malo
UM-241	231,15	0+4801,00	0+4821,00	21	Muy Malo
UM-242	231,15	0+4821,00	0+4841,00	11	Muy Malo
UM-243	231,15	0+4841,00	0+4861,00	22	Muy Malo
UM-244	231,15	0+4861,00	0+4881,00	24	Muy Malo
UM-245	231,15	0+4881,00	0+4901,00	19	Muy Malo
UM-246	231,15	0+4901,00	0+4921,00	17	Muy Malo



Continuación de la Tabla 15.

U.M	Área(m <sup>2</sup> )	Progresivas		PCI	Clasificación
UM-247	231,15	0+4921,00	0+4941,00	28	Malo
UM-248	231,15	0+4941,00	0+4961,00	30	Malo
UM-249	231,15	0+4961,00	0+4981,00	20	Muy Malo
UM-250	231,15	0+4981,00	0+5001,00	24	Muy Malo
UM-251	231,15	0+5001,00	0+5021,00	19	Muy Malo
UM-252	231,15	0+5021,00	0+5041,00	16	Muy Malo
UM-253	231,15	0+5041,00	0+5061,00	13	Muy Malo
UM-254	231,15	0+5061,00	0+5081,00	24	Muy Malo
UM-255	231,15	0+5081,00	0+5101,00	27	Malo
UM-256	231,15	0+5101,00	0+5121,00	24	Muy Malo
UM-257	231,15	0+5121,00	0+5141,00	19	Muy Malo
UM-258	231,15	0+5141,00	0+5161,00	20	Muy Malo
UM-259	231,15	0+5161,00	0+5181,00	23	Muy Malo
UM-260	231,15	0+5181,00	0+5201,00	14	Muy Malo
UM-261	231,15	0+5201,00	0+5221,00	19	Muy Malo
UM-262	231,15	0+5221,00	0+5241,00	24	Muy Malo
UM-263	231,15	0+5241,00	0+5261,00	23	Muy Malo
UM-264	231,15	0+5261,00	0+5281,00	15	Muy Malo
UM-265	231,15	0+5281,00	0+5301,00	17	Muy Malo
UM-266	231,15	0+5301,00	0+5321,00	20	Muy Malo
UM-267	231,15	0+5321,00	0+5341,00	15	Muy Malo
UM-268	231,15	0+5341,00	0+5361,00	11	Muy Malo
UM-269	231,15	0+5361,00	0+5381,00	21	Muy Malo
UM-270	231,15	0+5381,00	0+5401,00	16	Muy Malo
UM-271	231,15	0+5401,00	0+5421,00	26	Malo
UM-272	231,15	0+5421,00	0+5441,00	21	Muy Malo
UM-273	231,15	0+5441,00	0+5461,00	24	Muy Malo
UM-274	231,15	0+5461,00	0+5481,00	15	Muy Malo
UM-275	231,15	0+5481,00	0+5501,00	24	Muy Malo
UM-276	231,15	0+5501,00	0+5521,00	11	Muy Malo
UM-277	231,15	0+5521,00	0+5541,00	15	Muy Malo
UM-278	231,15	0+5541,00	0+5561,00	26	Malo
UM-279	231,15	0+5561,00	0+5581,00	14	Muy Malo
UM-280	231,15	0+5581,00	0+5601,00	21	Muy Malo
UM-281	231,15	0+5601,00	0+5621,00	19	Muy Malo
UM-282	231,15	0+5621,00	0+5641,00	11	Muy Malo
UM-283	231,15	0+5641,00	0+5661,00	15	Muy Malo
UM-284	231,15	0+5661,00	0+5681,00	22	Muy Malo
UM-285	231,15	0+5681,00	0+5701,00	37	Malo
UM-286	231,15	0+5701,00	0+5721,00	33	Malo
UM-287	231,15	0+5721,00	0+5741,00	26	Malo
UM-288	231,15	0+5741,00	0+5761,00	25	Malo
UM-289	231,15	0+5761,00	0+5781,00	11	Muy Malo
UM-290	231,15	0+5781,00	0+5801,00	15	Muy Malo
UM-291	231,15	0+5801,00	0+5821,00	16	Muy Malo

Continuación de la Tabla 15.

U.M	Área(m <sup>2</sup> )	Progresivas		PCI	Clasificación
UM-292	231,15	0+5821,00	0+5841,00	24	Muy Malo
UM-293	231,15	0+5841,00	0+5861,00	19	Muy Malo
UM-294	231,15	0+5861,00	0+5881,00	21	Muy Malo
UM-295	231,15	0+5881,00	0+5901,00	11	Muy Malo
UM-296	231,15	0+5901,00	0+5921,00	18	Muy Malo
UM-297	231,15	0+5921,00	0+5941,00	26	Malo
UM-298	231,15	0+5941,00	0+5961,00	28	Malo
UM-299	231,15	0+5961,00	0+5981,00	30	Malo

#### 4.1.1. Resultado del PCI 1 “Muestra 1”

El formato de la hoja de registro para la Muestra 1, corresponde al daño sufrido por la falla superficial del asfalto con su grado de severidad y las cantidades correspondientes, se muestran en la Tabla 16.

**Tabla 16**

*Hoja de registro “Densidad” y “Valor Deducido” de la Muestra 1*

“Tipos de Fallas Superficiales del Pavimento”			
	L	M	H
01. “Piel de cocodrilo” (m <sup>2</sup> )			
02. “Exudaciones” (m <sup>2</sup> )			
03. “Agrietamiento en bloque” (m <sup>2</sup> )			
04. “Abultamientos y hundimientos” (m <sup>2</sup> )			
05. “Corrugaciones” (m <sup>2</sup> )			
06. “Depresiones” (m <sup>2</sup> )			
07. “Grieta de bordes” (m)			
08. “Grieta de reflexión de juntas” (m)			
09. “Desniveles carriles – bermas” (m)			
10. “Grietas longitudinales y transversales” (m)			
11. “Parcheos” (m <sup>2</sup> )			
12. “Pulimiento de agregados” (m <sup>2</sup> )			
13. “Huecos” (und)			
14. “Cruce de via ferrea” (m <sup>2</sup> )			
15. “Ahuellamientos” (m <sup>2</sup> )			
16. “Desplazamientos” (m <sup>2</sup> )			
17. “Grieta parabólica” (m <sup>2</sup> )			

18. "Hinchamiento" (m <sup>2</sup> )										
19. "Desprendimiento de agregados" (m <sup>2</sup> )										
"Falla Superficial"	"Cantidades"						"Totales"	"Densidades"	"Valores Deducidos"	
03 H	1,46	2,74	0,66	0,69	2,6	2,53	10,68	4,62	20	
04 M	1,56	1,48	1,53	1,4	1,75	1,62	9,34	4,04	28	
11 M	3,2	0,8	1,5	2,3	2,8	1,75	12,35	5,34	22	
07 H	0,6	0,9	1,8	0,74	1,5	1,3	6,84	2,96	11	
01 M	1,4	0,35	1,86	0,6	1,5	1,2	6,91	2,99	35	

Con base en los datos proporcionados en la Tabla 17, se presenta el valor deducido corregido máximo para la Muestra 1, siguiendo un orden específico de valores deducidos y su total. A partir de esta información se calculó el Índice de Condición del Pavimento (PCI), el cual arrojó una calificación clasificada como "Malo".

**Tabla 17**

*Resultados de los "Valor Deducido" máximo corregido para la Muestra 1*

"Orden"	"Valores Deducidos"					"Totales"	"q"	"C.D.V."
1	35	28	22	20	11	116	5	61
2	35	28	22	20	2	107	4	60
3	35	28	22	2	2	89	3	50
4	35	28	2	2	2	69	2	51
5	35	2	2	2	2	43	1	42

$$Max\ CDV = 61$$

$$PCI = 100 - 61$$

$$PCI = 39$$

Rating = "**Malo**"

#### 4.1.2. Resultado del PCI 21 "Muestra 21"

La Tabla 18 presenta el formato de la hoja de registro para la Muestra 21, detallando el tipo de daño experimentado por la falla superficial del asfalto, su nivel de severidad y las cantidades asociadas.

**Tabla 18***Hoja de registro “Densidad” y “Valor Deducido” de la Muestra 21*

“Tipos de Fallas Superficiales del Pavimento”										
		L			M			H		
1.	“Piel de cocodrilo” (m <sup>2</sup> )									
2.	“Exudaciones” (m <sup>2</sup> )									
3.	“Agrietamiento en bloque” (m <sup>2</sup> )									
4.	“Abultamientos y hundimientos” (m <sup>2</sup> )									
5.	“Corrugaciones” (m <sup>2</sup> )									
6.	“Depresiones” (m <sup>2</sup> )									
7.	“Grieta de bordes” (m)									
8.	“Grieta de reflexión de juntas” (m)									
9.	“Desniveles carriles – bermas” (m)									
10.	“Grietas longitudinales y transversales” (m)									
11.	“Parcheos” (m <sup>2</sup> )									
12.	“Pulimiento de agregados” (m <sup>2</sup> )									
13.	“Huecos” (und)									
14.	“Cruce de vía férrea” (m <sup>2</sup> )									
15.	“Ahuellamientos” (m <sup>2</sup> )									
16.	“Desplazamientos” (m <sup>2</sup> )									
17.	“Grieta parabólica” (m <sup>2</sup> )									
18.	“Hinchamiento” (m <sup>2</sup> )									
19.	“Desprendimiento de agregados” (m <sup>2</sup> )									
“Falla Superficial”	“Cantidades”						“Totales”	“Densidades”	“Valores Deducidos”	
04 M	2,3	3,48	2,82	2,75	2,84	3,64	17,83	7,71	38	
11 M	0,45	3,31	3,25	3,66	3,48	2,82	16,76	7,25	28	
07 H	2,4	1,8	1,86	2,38	1,73	2,65	12,82	5,55	19	
10 M	7,4	6,5	6,75	6,9	7,38	6,2	41,13	17,79	22	
08 H	3,25	3,98	4,68	3,86	4,28	4,2	24,25	10,49	40	

De acuerdo con la información presentada en la Tabla 19, se muestra el Valor Deducido corregido más alto posible para la Muestra 21 de acuerdo con el orden, los valores deducidos y el total. Es a partir de estos datos que se derivó el PCI, dando como resultado una calificación que ha sido clasificada como "Muy Malo".

**Tabla 19**

Resultados de “Valor Deducido” máximo corregido de la Muestra 21

“Orden”	“Valores Deducidos”					“Totales”	“q”	“C.D.V.”
1	40	38	28	22	19	147	5	76
2	40	38	28	22	2	130	4	71
3	40	38	28	2	2	110	3	69
4	40	38	2	2	2	84	2	60
5	40	2	2	2	2	48	1	48

$$Max\ CDV = 76$$

$$PCI = 100 - 76$$

$$PCI = 24$$

Rating = “**Muy Malo**”

#### 4.1.3. Resultado del PCI 41 “Muestra 41”

En la Tabla 20 se presenta el formato de la hoja de registro para la Muestra 41, detallando el tipo de daño experimentado por la falla superficial del asfalto, su nivel de severidad y las cantidades asociadas.

**Tabla 20**

Hoja de registro “Densidad” y “Valor Deducido” de la Muestra 41

	“Tipos de Fallas Superficiales del Pavimento”		
	L	M	H
1. “Piel de cocodrilo” (m <sup>2</sup> )			
2. “Exudaciones” (m <sup>2</sup> )			
3. “Agrietamiento en bloque” (m <sup>2</sup> )			
4. “Abultamientos y hundimientos” (m <sup>2</sup> )			
5. “Corrugaciones” (m <sup>2</sup> )			
6. “Depresiones” (m <sup>2</sup> )			
7. “Grieta de bordes” (m)			
8. “Grieta de reflexión de juntas” (m)			
9. “Desniveles carriles – bermas” (m)			
10. “Grietas longitudinales y transversales” (m)			
11. “Parcheos” (m <sup>2</sup> )			
12. “Pulimiento de agregados” (m <sup>2</sup> )			
13. “Huecos” (und)			
14. “Cruce de vía férrea” (m <sup>2</sup> )			
15. “Ahuellamientos” (m <sup>2</sup> )			

16. "Desplazamientos" (m<sup>2</sup>)  
 17. "Grieta parabólica" (m<sup>2</sup>)  
 18. "Hinchamiento" (m<sup>2</sup>)  
 19. "Desprendimiento de agregados" (m<sup>2</sup>)

"Falla Superficial"	"Cantidades"						"Totales"	"Densidades"	"Valores Deducidos"
11 M	7,4	1,2	5,4	6,8	5,9	6,4	33,1	14,32	38
01 M	1,5	1,48	0,85	2,43	1,86	2,75	10,87	4,70	39
04 M	1,74	1,5	1,32	2,3	1,89	2,67	11,42	4,94	29
07 M	0,86	0,58	1,2	0,74	1,53	1,8	6,71	2,90	18
03 M	1,53	2,74	0,66	1,82	2,47	2,6	11,82	5,11	12

De acuerdo con la información presentada en la Tabla 21, se muestra el Valor Deducido corregido más alto posible para la Muestra 41 de acuerdo con el orden, los valores deducidos y el total. Es a partir de estos datos que se derivó el PCI, dando como resultado una calificación que ha sido clasificada como "**Malo**".

**Tabla 21**

*Resultados de "Valor Deducido" máximo corregido de la Muestra 41*

"Orden"	"Valores Deducidos"					"Totales"	"q"	"C.D.V."
1	39	38	29	18	12	136	5	70
2	39	38	29	18	2	126	4	70
3	39	38	29	2	2	110	3	68
4	39	38	2	2	2	83	2	60
5	39	2	2	2	2	47	1	48

$$Max\ CDV = 70$$

$$PCI = 100 - 70$$

$$PCI = 30$$

$$Rating = \text{"Malo"}$$

#### 4.1.4. Resultado del PCI 61 "Muestra 61"

El formato de la hoja de registro para la Muestra 61, corresponde al daño sufrido por la falla superficial del asfalto con su grado de severidad y las cantidades correspondientes, se muestran en la Tabla 22.

**Tabla 22***Hoja de registro "Densidad" y "Valor Deducido" de la Muestra 61*

"Tipos de Fallas Superficiales del Pavimento"										
		L			M			H		
1.	"Piel de cocodrilo" (m <sup>2</sup> )									
2.	"Exudaciones" (m <sup>2</sup> )									
3.	"Agrietamiento en bloque" (m <sup>2</sup> )									
4.	"Abultamientos y hundimientos" (m <sup>2</sup> )									
5.	"Corrugaciones" (m <sup>2</sup> )									
6.	"Depresiones" (m <sup>2</sup> )									
7.	"Grieta de bordes" (m)									
8.	"Grieta de reflexión de juntas" (m)									
9.	"Desniveles carriles – bermas" (m)									
10.	"Grietas longitudinales y transversales" (m)									
11.	"Parcheos" (m <sup>2</sup> )									
12.	"Pulimiento de agregados" (m <sup>2</sup> )									
13.	"Huecos" (und)									
14.	"Cruce de vía férrea" (m <sup>2</sup> )									
15.	"Ahuellamientos" (m <sup>2</sup> )									
16.	"Desplazamientos" (m <sup>2</sup> )									
17.	"Grieta parabólica" (m <sup>2</sup> )									
18.	"Hinchamiento" (m <sup>2</sup> )									
19.	"Desprendimiento de agregados" (m <sup>2</sup> )									
"Falla Superficial"	"Cantidades"					"Totales"			"Densidades"	"Valores Deducidos"
01 M	1,41	1,43	0,34	2	0,32	0,18	5,68	2,46	31	
11 M	0,72	3,12	2,54	1,6	3,4	2,86	14,24	6,16	25	
07 M	0,8	0,64	1,3	0,89	1,42	1,28	6,33	2,74	8	
07 H	0,27	3,1	2,8	3,15	2,93	2,64	14,89	6,44	19	
13 M	0,21	0,42	0,61	0,37	0,84	0,54	2,99	1,29	36	

Con base en los datos presentados en la Tabla 23, se presenta el valor deducido corregido más alto posible para la Muestra 61, ordenado según los valores deducidos y su total. Estos datos sirvieron de base para calcular el Índice de Condición del Pavimento (PCI), resultando en una calificación clasificada como "Malo".

**Tabla 23**

Resultados de “Valor Deducido” máximo corregido de la Muestra 61

“Orden”	“Valores Deducidos”					“Totales”	“q”	“C.D.V.”
1	36	31	25	19	8	119	5	61
2	36	31	25	19	2	113	4	64
3	36	31	25	2	2	96	3	60
4	36	31	2	2	2	73	2	52
5	36	2	2	2	2	44	1	43

$$Max\ CDV = 64$$

$$PCI = 100 - 64$$

$$PCI = 36$$

Rating = “**Malo**”

#### 4.1.5. Resultado del PCI 81 “Muestra 81”

En la Tabla 24 se detalla el formato de la hoja de registro para la Muestra 81, mostrando el tipo de daño sufrido por la falla superficial del asfalto, su grado de severidad y las cantidades correspondientes.

**Tabla 24**

Hoja de registro “Densidad” y “Valor Deducido” de la Muestra 81

	“Tipos de Fallas Superficiales del Pavimento”		
	L	M	H
1. “Piel de cocodrilo” (m <sup>2</sup> )			
2. “Exudaciones” (m <sup>2</sup> )			
3. “Agrietamiento en bloque” (m <sup>2</sup> )			
4. “Abultamientos y hundimientos” (m <sup>2</sup> )			
5. “Corrugaciones” (m <sup>2</sup> )			
6. “Depresiones” (m <sup>2</sup> )			
7. “Grieta de bordes” (m)			
8. “Grieta de reflexión de juntas” (m)			
9. “Desniveles carriles – bermas” (m)			
10. “Grietas longitudinales y transversales” (m)			
11. “Parcheos” (m <sup>2</sup> )			
12. “Pulimiento de agregados” (m <sup>2</sup> )			
13. “Huecos” (und)			
14. “Cruce de vía férrea” (m <sup>2</sup> )			



15. "Ahuellamientos" (m <sup>2</sup> )										
16. "Desplazamientos" (m <sup>2</sup> )										
17. "Grieta parabólica" (m <sup>2</sup> )										
18. "Hinchamiento" (m <sup>2</sup> )										
19. "Desprendimiento de agregados" (m <sup>2</sup> )										
"Falla Superficial"		"Cantidades"					"Totales"		"Densidades"	"Valores Deducidos"
19 H	0,25	2,77	1,54	2,86	1,93	2,91	12,26	5,30	31	
08 H	2,86	4,62	3,25	3,98	4,3	4,5	23,51	10,17	32	
07 M	0,8	0,64	0,72	0,9	0,67	0,82	4,55	1,97	8	
04 M	2,3	3,48	2,82	2,75	2,84	3,64	17,83	7,71	38	
01 M	1,6	1,64	0,85	2,58	1,43	2,93	11,03	4,77	39	

Según los datos proporcionados en la Tabla 25, se presenta el valor deducido corregido más alto posible para la Muestra 81, organizado en función del orden, los valores deducidos y el total. Estos datos sirvieron como base para calcular el Índice de Condición del Pavimento (PCI), resultando en una calificación clasificada como "Muy Malo".

**Tabla 25**

*Resultados de "Valor Deducido" máximo corregido de la Muestra 81*

"Orden"	"Valores Deducidos"					"Totales"	"q"	"C.D.V."
1	39	38	32	31	8	148	5	75
2	39	38	32	31	2	142	4	79
3	39	38	32	2	2	113	3	70
4	39	38	2	2	2	83	2	60
5	39	2	2	2	2	47	1	48

$$Max\ CDV = 79$$

$$PCI = 100 - 79$$

$$PCI = 21$$

Rating = "**Muy Malo**"

#### 4.1.6. Resultado del PCI 101 "Muestra 101"

El formato de la hoja de registro para la Muestra 101, corresponde al daño sufrido por la falla superficial del asfalto con su grado de severidad y las cantidades correspondientes, se muestran en la Tabla 26.

**Tabla 26***Hoja de registro "Densidad" y "Valor Deducido" de la Muestra 101*

"Tipos de Fallas Superficiales del Pavimento"										
		L			M			H		
1.	"Piel de cocodrilo" (m <sup>2</sup> )									
2.	"Exudaciones" (m <sup>2</sup> )									
3.	"Agrietamiento en bloque" (m <sup>2</sup> )									
4.	"Abultamientos y hundimientos" (m <sup>2</sup> )									
5.	"Corrugaciones" (m <sup>2</sup> )									
6.	"Depresiones" (m <sup>2</sup> )									
7.	"Grieta de bordes" (m)									
8.	"Grieta de reflexión de juntas" (m)									
9.	"Desniveles carriles – bermas" (m)									
10.	"Grietas longitudinales y transversales" (m)									
11.	"Parcheos" (m <sup>2</sup> )									
12.	"Pulimiento de agregados" (m <sup>2</sup> )									
13.	"Huecos" (und)									
14.	"Cruce de vía férrea" (m <sup>2</sup> )									
15.	"Ahuellamientos" (m <sup>2</sup> )									
16.	"Desplazamientos" (m <sup>2</sup> )									
17.	"Grieta parabólica" (m <sup>2</sup> )									
18.	"Hinchamiento" (m <sup>2</sup> )									
19.	"Desprendimiento de agregados" (m <sup>2</sup> )									
"Falla Superficial"	"Cantidades"						"Totales"	"Densidades"	"Valores Deducidos"	
01 M	1,3	0,32	1,95	0,81	1,62	1,4	7,4	3,20	34	
08 H	3,28	4,15	4,72	3,92	4,24	4,35	24,66	10,67	41	
11 M	7,62	1,34	5,48	6,84	5,86	6,58	33,72	14,59	35	
13 M	0,43	0,68	0,74	0,39	0,96	0,84	4,04	1,75	40	
07 M	0,91	0,89	1,62	0,93	1,64	1,83	7,82	3,38	9	

Con base en los datos proporcionados en la Tabla 27, se exhibe el valor deducido corregido más alto posible para la Muestra 101, ordenado según el orden, los valores deducidos y el total. Estos datos fueron fundamentales para calcular el Índice de Condición del Pavimento (PCI), lo que resultó en una calificación clasificada como "Muy Malo".

**Tabla 27**

Resultados de “Valor Deducido” máximo corregido de la Muestra 101

“Orden”	“Valores Deducidos”					“Totales”	“q”	“C.D.V.”
1	41	40	35	34	9	159	5	81
2	41	40	35	34	2	152	4	83
3	41	40	35	2	2	120	3	74
4	41	40	2	2	2	87	2	62
5	41	2	2	2	2	49	1	59

$$Max\ CDV = 83$$

$$PCI = 100 - 83$$

$$PCI = 17$$

Rating = “**Muy Malo**”**4.1.7. Resultado del PCI 121 “Muestra 121”**

La Tabla 28 presenta el diseño de la hoja de registro para la Muestra 121, detallando el tipo de daño experimentado por la falla superficial del asfalto, su grado de severidad y las cantidades correspondientes.

**Tabla 28**

Hoja de registro “Densidad” y “Valor Deducido” de la Muestra 121

	“Tipos de Fallas Superficiales del Pavimento”		
	L	M	H
1. “Piel de cocodrilo” (m <sup>2</sup> )			
2. “Exudaciones” (m <sup>2</sup> )			
3. “Agrietamiento en bloque” (m <sup>2</sup> )			
4. “Abultamientos y hundimientos” (m <sup>2</sup> )			
5. “Corrugaciones” (m <sup>2</sup> )			
6. “Depresiones” (m <sup>2</sup> )			
7. “Grieta de bordes” (m)			
8. “Grieta de reflexión de juntas” (m)			
9. “Desniveles carriles – bermas” (m)			
10. “Grietas longitudinales y transversales” (m)			
11. “Parcheos” (m <sup>2</sup> )			
12. “Pulimiento de agregados” (m <sup>2</sup> )			
13. “Huecos” (und)			
14. “Cruce de vía férrea” (m <sup>2</sup> )			
15. “Ahuellamientos” (m <sup>2</sup> )			

16. "Desplazamientos" (m<sup>2</sup>)  
 17. "Grieta parabólica" (m<sup>2</sup>)  
 18. "Hinchamiento" (m<sup>2</sup>)  
 19. "Desprendimiento de agregados" (m<sup>2</sup>)

"Falla Superficial"	"Cantidades"						"Totales"	"Densidades"	"Valores Deducidos"
13 M	0,32	0,38	0,7	0,59	0,87	0,62	3,48	1,51	39
04 M	2,28	3,67	2,9	2,81	2,93	3,81	18,4	7,96	38
07 H	0,8	1,3	1,84	0,92	1,68	1,42	7,96	3,44	12
01 M	1,43	1,78	0,9	2,79	1,54	3,2	11,64	5,04	40
11 M	3,45	0,79	1,47	2,48	2,9	1,8	12,89	5,58	22

Conforme a los datos presentados en la Tabla 29, se exhibe el valor deducido corregido máximo para la Muestra 121, organizado por orden, valores deducidos y total. Estos datos fueron fundamentales para el cálculo del Índice de Condición del Pavimento (PCI), lo que resultó en una calificación clasificada como "Muy Malo".

**Tabla 29**

*Resultados de "Valor Deducido" máximo corregido de la Muestra 121*

"Orden"	"Valores Deducidos"					"Totales"	"q"	"C.D.V."
1	40	39	38	22	12	151	5	79
2	40	39	38	22	2	141	4	78
3	40	39	38	2	2	121	3	75
4	40	39	2	2	2	85	2	61
5	40	2	2	2	2	48	1	47

$$Max\ CDV = 79$$

$$PCI = 100 - 79$$

$$PCI = 21$$

Rating = "**Muy Malo**"

#### 4.1.8. Resultado del PCI 141 "Muestra 141"

El diseño de la hoja de registro para la Muestra 141 refleja el tipo de deterioro experimentado por la falla superficial del asfalto, incluyendo su nivel de gravedad y las cantidades respectivas. Estos detalles se encuentran presentados en la Tabla 30.

**Tabla 30***Hoja de registro “Densidad” y “Valor Deducido” de la Muestra 141*

“Tipos de Fallas Superficiales del Pavimento”										
		L			M			H		
1.	“Piel de cocodrilo” (m <sup>2</sup> )									
2.	“Exudaciones” (m <sup>2</sup> )									
3.	“Agrietamiento en bloque” (m <sup>2</sup> )									
4.	“Abultamientos y hundimientos” (m <sup>2</sup> )									
5.	“Corrugaciones” (m <sup>2</sup> )									
6.	“Depresiones” (m <sup>2</sup> )									
7.	“Grieta de bordes” (m)									
8.	“Grieta de reflexión de juntas” (m)									
9.	“Desniveles carriles – bermas” (m)									
10.	“Grietas longitudinales y transversales” (m)									
11.	“Parcheos” (m <sup>2</sup> )									
12.	“Pulimiento de agregados” (m <sup>2</sup> )									
13.	“Huecos” (und)									
14.	“Cruce de vía férrea” (m <sup>2</sup> )									
15.	“Ahuellamientos” (m <sup>2</sup> )									
16.	“Desplazamientos” (m <sup>2</sup> )									
17.	“Grieta parabólica” (m <sup>2</sup> )									
18.	“Hinchamiento” (m <sup>2</sup> )									
19.	“Desprendimiento de agregados” (m <sup>2</sup> )									
“Falla Superficial”	“Cantidades”						“Totales”	“Densidades”	“Valores Deducidos”	
07 M	0,76	0,94	0,87	1,1	0,75	1,2	5,62	2,43	9	
10 M	7,25	6,4	6,92	7,13	7,69	7,28	42,67	18,46	23	
04 M	2,86	3,64	2,91	2,84	2,9	3,8	18,95	8,20	38	
13 M	0,32	0,51	0,84	0,68	0,85	0,54	3,74	1,62	41	
03 M	1,78	2,89	2,36	1,97	2,64	2,83	14,47	6,26	12	

Basándonos en los datos presentados en la Tabla 31, se exhibe el valor deducido corregido máximo para la Muestra 141, organizado según el orden, los valores deducidos y el total. Estos datos fueron fundamentales para calcular el Índice de Condición del Pavimento (PCI), resultando en una calificación clasificada como "Malo".

**Tabla 31**

Resultados de “Valor Deducido” máximo corregido de la Muestra 141

“Orden”	“Valores Deducidos”					“Totales”	“q”	“C.D.V.”
1	41	38	23	12	9	123	5	63
2	41	38	23	12	2	116	4	66
3	41	38	23	2	2	106	3	67
4	41	38	2	2	2	85	2	62
5	41	2	2	2	2	49	1	49

$$Max\ CDV = 67$$

$$PCI = 100 - 67$$

$$PCI = 33$$

Rating = “**Malo**”

#### 4.1.9. Resultado del PCI 161 “Muestra 161”

El diseño de la hoja de registro para la Muestra 161 describe el daño sufrido por la falla superficial del asfalto, incluyendo su grado de severidad y las cantidades correspondientes. Estos detalles se presentan en la Tabla 32.

**Tabla 32**

Hoja de registro “Densidad” y “Valor Deducido” de la Muestra 161

	“Tipos de Fallas Superficiales del Pavimento”		
	L	M	H
1. “Piel de cocodrilo” (m <sup>2</sup> )			
2. “Exudaciones” (m <sup>2</sup> )			
3. “Agrietamiento en bloque” (m <sup>2</sup> )			
4. “Abultamientos y hundimientos” (m <sup>2</sup> )			
5. “Corrugaciones” (m <sup>2</sup> )			
6. “Depresiones” (m <sup>2</sup> )			
7. “Grieta de bordes” (m)			
8. “Grieta de reflexión de juntas” (m)			
9. “Desniveles carriles – bermas” (m)			
10. “Grietas longitudinales y transversales” (m)			
11. “Parcheos” (m <sup>2</sup> )			
12. “Pulimiento de agregados” (m <sup>2</sup> )			
13. “Huecos” (und)			

14. "Cruce de vía férrea" (m <sup>2</sup> )									
15. "Ahuellamientos" (m <sup>2</sup> )									
16. "Desplazamientos" (m <sup>2</sup> )									
17. "Grieta parabólica" (m <sup>2</sup> )									
18. "Hinchamiento" (m <sup>2</sup> )									
19. "Desprendimiento de agregados" (m <sup>2</sup> )									
"Falla Superficial"	"Cantidades"						"Totales"	"Densidades"	"Valores Deducidos"
04 M	1,76	1,51	1,23	2,53	1,42	2,32	10,77	4,66	29
07 H	2,42	4,23	2,31	1,51	1,65	1,87	13,99	6,05	18
19 H	1,3	1,6	1,45	1,2	2,03	2,5	10,08	4,36	30
11 M	2,43	3,25	1,94	0,98	1,87	0,74	11,21	4,85	35
01 M	4,54	1,62	2,59	1,76	1,74	0,87	13,12	5,68	38

Según los datos proporcionados en la Tabla 33, se presenta el valor deducido corregido más alto posible para la Muestra 161, ordenado según el orden, los valores deducidos y el total. Estos datos fueron fundamentales para calcular el Índice de Condición del Pavimento (PCI), resultando en una calificación clasificada como "Muy Malo".

**Tabla 33**

*Resultados de "Valor Deducido" máximo corregido de la Muestra 161*

"Orden"	"Valores Deducidos"					"Totales"	"q"	"C.D.V."
1	38	35	30	29	18	150	5	76
2	38	35	30	29	2	134	4	74
3	38	35	30	2	2	107	3	67
4	38	35	2	2	2	79	2	56
5	38	2	2	2	2	46	1	20

$$Max\ CDV = 76$$

$$PCI = 100 - 76$$

$$PCI = 24$$

Rating = "**Muy Malo**"

#### 4.1.10. Resultado del PCI 181 "Muestra 181"

El diseño de la hoja de registro para la Muestra 181 describe el daño sufrido por la falla superficial del asfalto, detallando su grado de severidad y las cantidades asociadas. Estos datos están presentados en la Tabla 34.

**Tabla 34***Hoja de registro "Densidad" y "Valor Deducido" de la Muestra 181*

"Tipos de Fallas Superficiales del Pavimento"										
		L			M			H		
1.	"Piel de cocodrilo" (m <sup>2</sup> )									
2.	"Exudaciones" (m <sup>2</sup> )									
3.	"Agrietamiento en bloque" (m <sup>2</sup> )									
4.	"Abultamientos y hundimientos" (m <sup>2</sup> )									
5.	"Corrugaciones" (m <sup>2</sup> )									
6.	"Depresiones" (m <sup>2</sup> )									
7.	"Grieta de bordes" (m)									
8.	"Grieta de reflexión de juntas" (m)									
9.	"Desniveles carriles – bermas" (m)									
10.	"Grietas longitudinales y transversales" (m)									
11.	"Parcheos" (m <sup>2</sup> )									
12.	"Pulimiento de agregados" (m <sup>2</sup> )									
13.	"Huecos" (und)									
14.	"Cruce de vía férrea" (m <sup>2</sup> )									
15.	"Ahuellamientos" (m <sup>2</sup> )									
16.	"Desplazamientos" (m <sup>2</sup> )									
17.	"Grieta parabólica" (m <sup>2</sup> )									
18.	"Hinchamiento" (m <sup>2</sup> )									
19.	"Desprendimiento de agregados" (m <sup>2</sup> )									
"Falla Superficial"	"Cantidades"						"Totales"	"Densidades"	"Valores Deducidos"	
03 H	0,76	2,08	1,23	1,45	1,07	2,5	9,09	3,93	18	
11 M	2,42	4,23	2,31	1,65	2,26	1,10	13,97	6,04	25	
08 H	1,45	3,23	1,65	1,87	1,75	3,14	13,09	5,66	20	
07 H	2,10	0,94	1,15	3,04	1,66	2,98	11,87	5,14	18	
13 M	1,36	0,80	1,64	1,48	1,16	2,34	8,78	3,80	38	

Según los datos presentados en la Tabla 35, se exhibe el valor deducido corregido máximo para la Muestra 181, organizado según el orden, los valores deducidos y el total. Estos datos fueron fundamentales para calcular el Índice de Condición del Pavimento (PCI), resultando en una calificación clasificada como "Malo".



**Tabla 35**

Resultados de “Valor Deducido” máximo corregido de la Muestra 181

“Orden”	“Valores Deducidos”					“Totales”	“q”	“C.D.V.”
1	38	25	20	18	18	119	5	60
2	38	25	20	18	2	103	4	51
3	38	25	20	2	2	87	3	55
4	38	25	2	2	2	69	2	49
5	38	2	2	2	2	46	1	20

$$Max\ CDV = 60$$

$$PCI = 100 - 60$$

$$PCI = 40$$

Rating = “**Malo**”

#### 4.1.11. Resultado del PCI 201 “Muestra 201”

El diseño de la hoja de registro para la Muestra 201 describe el daño experimentado por la falla superficial del asfalto, incluyendo su grado de severidad y las cantidades respectivas. Estos detalles están presentados en la Tabla 36.

**Tabla 36**

Hoja de registro “Densidad” y “Valor Deducido” de la Muestra 201

	“Tipos de Fallas Superficiales del Pavimento”		
	L	M	H
1. “Piel de cocodrilo” (m <sup>2</sup> )			
2. “Exudaciones” (m <sup>2</sup> )			
3. “Agrietamiento en bloque” (m <sup>2</sup> )			
4. “Abultamientos y hundimientos” (m <sup>2</sup> )			
5. “Corrugaciones” (m <sup>2</sup> )			
6. “Depresiones” (m <sup>2</sup> )			
7. “Grieta de bordes” (m)			
8. “Grieta de reflexión de juntas” (m)			
9. “Desniveles carriles – bermas” (m)			
10. “Grietas longitudinales y transversales” (m)			
11. “Parcheos” (m <sup>2</sup> )			
12. “Pulimiento de agregados” (m <sup>2</sup> )			
13. “Huecos” (und)			

14. "Cruce de vía férrea" (m <sup>2</sup> )									
15. "Ahuellamientos" (m <sup>2</sup> )									
16. "Desplazamientos" (m <sup>2</sup> )									
17. "Grieta parabólica" (m <sup>2</sup> )									
18. "Hinchamiento" (m <sup>2</sup> )									
19. "Desprendimiento de agregados" (m <sup>2</sup> )									
"Falla Superficial"	"Cantidades"						"Totales"	"Densidades"	"Valores Deducidos"
19 H	1,59	2,51	1,23	2,61	1,94	2,94	12,82	5,55	32
08 H	2,42	4,23	2,31	1,28	2,47	0,85	13,56	5,87	22
07 M	1,69	0,98	0,16	2,41	1,98	2,54	9,76	4,22	10
10 M	3,21	2,36	0,95	1,64	2,64	1,87	12,67	5,48	12
01 M	2,12	1,51	2,94	3,56	1,97	0,87	12,97	5,61	40

Basándonos en los datos presentados en la Tabla 37, se exhibe el valor deducido corregido máximo para la Muestra 201, organizado según el orden, los valores deducidos y el total. Estos datos fueron fundamentales para calcular el Índice de Condición del Pavimento (PCI), lo que resultó en una calificación clasificada como "Malo".

**Tabla 37**

*Resultados de "Valor Deducido" máximo corregido de la Muestra 201*

"Orden"	"Valores Deducidos"					"Totales"	"q"	"C.D.V."
1	40	32	22	12	10	116	5	46
2	40	32	22	12	2	108	4	60
3	40	32	22	2	2	98	3	61
4	40	32	2	2	2	78	2	56
5	40	2	2	2	2	48	1	20

$$Max CDV = 61$$

$$PCI = 100 - 61$$

$$PCI = 39$$

Rating = **"Malo"**

#### 4.1.12. Resultado del PCI 221 “Muestra 221”

La disposición del registro para la Muestra 221 describe minuciosamente los daños ocasionados por la falla superficial del asfalto, especificando su nivel de severidad y las cantidades respectivas. Estos aspectos se encuentran detallados en la Tabla 38.

**Tabla 38**

*Hoja de registro “Densidad” y “Valor Deducido” de la Muestra 221*

“Tipos de Fallas Superficiales del Pavimento”										
		L			M			H		
1.	“Piel de cocodrilo” (m <sup>2</sup> )									
2.	“Exudaciones” (m <sup>2</sup> )									
3.	“Agrietamiento en bloque” (m <sup>2</sup> )									
4.	“Abultamientos y hundimientos” (m <sup>2</sup> )									
5.	“Corrugaciones” (m <sup>2</sup> )									
6.	“Depresiones” (m <sup>2</sup> )									
7.	“Grieta de bordes” (m)									
8.	“Grieta de reflexión de juntas” (m)									
9.	“Desniveles carriles – bermas” (m)									
10.	“Grietas longitudinales y transversales” (m)									
11.	“Parcheos” (m <sup>2</sup> )									
12.	“Pulimiento de agregados” (m <sup>2</sup> )									
13.	“Huecos” (und)									
14.	“Cruce de vía férrea” (m <sup>2</sup> )									
15.	“Ahuellamientos” (m <sup>2</sup> )									
16.	“Desplazamientos” (m <sup>2</sup> )									
17.	“Grieta parabólica” (m <sup>2</sup> )									
18.	“Hinchamiento” (m <sup>2</sup> )									
19.	“Desprendimiento de agregados” (m <sup>2</sup> )									
“Falla Superficial”	“Cantidades”						“Totales”	“Densidades”	“Valores Deducidos”	
13 M	0,76	1,69	1,23	2,04	1,64	0,87	8,23	3,56	42	
04 M	2,42	2,78	2,31	2,9	2,86	2,93	2,93	7,01	35	
07 H	2,87	1,65	1,56	1,84	0,8	1,68	1,68	4,50	15	
01 M	3,08	2,47	2,32	0,9	2,3	1,54	1,54	5,46	40	
11 M	2,00	1,94	0,87	1,47	1,6	2,9	2,9	4,66	40	

Basándonos en los datos proporcionados en la Tabla 39, se presenta el valor deducido corregido máximo para la Muestra 221, organizado según el orden, los valores deducidos y el total. Estos datos fueron cruciales para calcular el Índice de Condición del Pavimento (PCI), resultando en una calificación clasificada como "Muy Malo".

**Tabla 39**

*Resultados de "Valor Deducido" máximo corregido de la Muestra 221*

"Orden"	"Valores Deducidos"					"Totales"	"q"	"C.D.V."
1	42	40	40	35	15	172	5	89
2	42	40	40	35	2	159	4	80
3	42	40	40	2	2	126	3	75
4	42	40	2	2	2	88	2	60
5	42	2	2	2	2	50	1	21

$$Max\ CDV = 89$$

$$PCI = 100 - 89$$

$$PCI = 11$$

Rating = "**Muy Malo**"

#### 4.1.13. Resultado del PCI 241 "Muestra 241"

El diseño del formulario de registro para la Muestra 241 detalla los daños sufridos por la falla superficial del asfalto, incluyendo su nivel de severidad y las cantidades correspondientes. Estos detalles están presentados en la Tabla 40.

**Tabla 40**

*Hoja de registro "Densidad" y "Valor Deducido" de la Muestra 241*

"Tipos de Fallas Superficiales del Pavimento"			
	L	M	H
1. "Piel de cocodrilo" (m <sup>2</sup> )			
2. "Exudaciones" (m <sup>2</sup> )			
3. "Agrietamiento en bloque" (m <sup>2</sup> )			
4. "Abultamientos y hundimientos" (m <sup>2</sup> )			
5. "Corrugaciones" (m <sup>2</sup> )			
6. "Depresiones" (m <sup>2</sup> )			
7. "Grieta de bordes" (m)			
8. "Grieta de reflexión de juntas" (m)			

9. "Desniveles carriles – bermas" (m)				
10. "Grietas longitudinales y transversales" (m)				
11. "Parcheos" (m <sup>2</sup> )				
12. "Pulimiento de agregados" (m <sup>2</sup> )				
13. "Huecos" (und)				
14. "Cruce de vía férrea" (m <sup>2</sup> )				
15. "Ahuellamientos" (m <sup>2</sup> )				
16. "Desplazamientos" (m <sup>2</sup> )				
17. "Grieta parabólica" (m <sup>2</sup> )				
18. "Hinchamiento" (m <sup>2</sup> )				
19. "Desprendimiento de agregados" (m <sup>2</sup> )				
"Falla Superficial"	"Cantidades"	"Totales"	"Densidades"	"Valores Deducidos"
07 M	0,76 1,50 1,23 0,76 1,98 2,93	9,16	3,96	20
10 M	2,42 4,23 2,31 2,48 0,49 1,68	13,61	5,89	25
04 M	2,69 1,89 2,78 2,86 1,02 1,54	12,78	5,53	38
13 M	1,36 2,98 2,48 0,32 0,60 2,9	10,64	4,60	50
03 M	2,65 1,65 1,98 1,78 2,98 0,78	11,82	5,11	42

Según los datos proporcionados en la Tabla 41, se presenta el Valor Deducido corregido más alto posible para la Muestra 241, organizado por orden, valores deducidos y total. Estos datos fueron fundamentales para calcular el Índice de Condición del Pavimento (PCI), lo que resultó en una calificación clasificada como "Muy Malo".

**Tabla 41**

*Resultados de "Valor Deducido" máximo corregido de la Muestra 241*

"Orden"	"Valores Deducidos"					"Totales"	"q"	"C.D.V."
1	50	42	38	25	20	175	5	85
2	50	42	38	25	2	157	4	83
3	50	42	38	2	2	134	3	72
4	50	42	2	2	2	98	2	69
5	50	2	2	2	2	58	1	30

$$Max\ CDV = 85$$

$$PCI = 100 - 85$$

$$PCI = 15$$

Rating = "**Muy Malo**"

#### 4.1.14. Resultado del PCI 261 “Muestra 261”

La disposición del formulario de registro para la Muestra 261 detalla los daños sufridos por la falla superficial del asfalto, incluyendo su nivel de severidad y las cantidades correspondientes. Estos detalles se exhiben en la Tabla 42.

**Tabla 42**

*Hoja de registro “Densidad” y “Valor Deducido” de la Muestra 261*

“Tipos de Fallas Superficiales del Pavimento”										
		L			M			H		
1.	“Piel de cocodrilo” (m <sup>2</sup> )									
2.	“Exudaciones” (m <sup>2</sup> )									
3.	“Agrietamiento en bloque” (m <sup>2</sup> )									
4.	“Abultamientos y hundimientos” (m <sup>2</sup> )									
5.	“Corrugaciones” (m <sup>2</sup> )									
6.	“Depresiones” (m <sup>2</sup> )									
7.	“Grieta de bordes” (m)									
8.	“Grieta de reflexión de juntas” (m)									
9.	“Desniveles carriles – bermas” (m)									
10.	“Grietas longitudinales y transversales” (m)									
11.	“Parcheos” (m <sup>2</sup> )									
12.	“Pulimiento de agregados” (m <sup>2</sup> )									
13.	“Huecos” (und)									
14.	“Cruce de vía férrea” (m <sup>2</sup> )									
15.	“Ahuellamientos” (m <sup>2</sup> )									
16.	“Desplazamientos” (m <sup>2</sup> )									
17.	“Grieta parabólica” (m <sup>2</sup> )									
18.	“Hinchamiento” (m <sup>2</sup> )									
19.	“Desprendimiento de agregados” (m <sup>2</sup> )									
“Falla Superficial”	“Cantidades”						“Totales”	“Densidades”	“Valores Deducidos”	
04 M	0,76	0,51	1,23	1,84	1,85	2,15	8,34	3,61	22	
07 M	2,42	4,23	2,31	1,23	0,87	0,65	11,71	5,07	10	
03 M	1,32	2,79	0,56	1,65	0,98	2,14	9,44	4,08	20	
08 H	1,22	1,89	2,79	0,94	1,74	1,57	10,15	4,39	19	
11 M	3,78	2,74	1,78	0,78	1,56	0,48	11,12	4,81	20	

Según los datos proporcionados en la Tabla 43, se presenta el Valor Deducido corregido más alto posible para la Muestra 261, organizado por orden, valores deducidos y total. Estos datos fueron fundamentales para calcular el Índice de Condición del Pavimento (PCI), lo que resultó en una calificación clasificada como "Muy Malo".

**Tabla 43**

*Resultados de "Valor Deducido" máximo corregido de la Muestra 261*

"Orden"	"Valores Deducidos"					"Totales"	"q"	"C.D.V."
1	22	20	20	19	10	91	5	89
2	22	20	20	19	2	83	4	49
3	22	20	20	2	2	66	3	41
4	22	20	2	2	2	48	2	35
5	22	2	2	2	2	30	1	11

$$Max\ CDV = 89$$

$$PCI = 100 - 89$$

$$PCI = 11$$

Rating = "**Muy Malo**"

#### 4.1.15. Resultado del PCI 281 "Muestra 281"

Los detalles del registro para la Muestra 281 muestran los daños sufridos por la falla superficial del asfalto, junto con su nivel de severidad y las cantidades respectivas. Estos datos están presentados en la Tabla 44.

**Tabla 44**

*Hoja de registro "Densidad" y "Valor Deducido" de la Muestra 281*

"Tipos de Fallas Superficiales del Pavimento"			
	L	M	H
1. "Piel de cocodrilo" (m <sup>2</sup> )			
2. "Exudaciones" (m <sup>2</sup> )			
3. "Agrietamiento en bloque" (m <sup>2</sup> )			
4. "Abultamientos y hundimientos" (m <sup>2</sup> )			
5. "Corrugaciones" (m <sup>2</sup> )			
6. "Depresiones" (m <sup>2</sup> )			
7. "Grieta de bordes" (m)			
8. "Grieta de reflexión de juntas" (m)			

9. "Desniveles carriles – bermas" (m)
10. "Grietas longitudinales y transversales" (m)
11. "Parcheos" (m<sup>2</sup>)
12. "Pulimiento de agregados" (m<sup>2</sup>)
13. "Huecos" (und)
14. "Cruce de vía férrea" (m<sup>2</sup>)
15. "Ahuellamientos" (m<sup>2</sup>)
16. "Desplazamientos" (m<sup>2</sup>)
17. "Grieta parabólica" (m<sup>2</sup>)
18. "Hinchamiento" (m<sup>2</sup>)
19. "Desprendimiento de agregados" (m<sup>2</sup>)



"Falla Superficial"	"Cantidades"						"Totales"	"Densidades"	"Valores Deducidos"
04 M	2,3	3,48	2,82	2,75	2,84	3,67	17,86	7,73	38
11 M	0,45	3,1	3,25	3,66	3,48	2,82	16,76	7,25	28
07 H	2,4	1,8	1,86	2,38	1,73	2,65	12,82	5,55	19
10 M	7,2	5,9	6,48	6,5	7,38	6,2	39,66	17,16	22
08 H	3,25	3,48	4,68	3,85	4,28	4,3	23,84	10,31	40

La Tabla 45 exhibe el Valor Deducido corregido más alto posible para la Muestra 281, detallando su orden, los valores deducidos y la suma total. Estos datos fueron esenciales para calcular el Índice de Condición del Pavimento (PCI), resultando en una calificación clasificada como "Muy Malo".

**Tabla 45**

*Resultados de "Valor Deducido" máximo corregido de la Muestra 281*

"Orden"	"Valores Deducidos"					"Totales"	"q"	"C.D.V."
1	40	38	28	22	19	147	5	76
2	40	38	28	22	2	130	4	71
3	40	38	28	2	2	110	3	69
4	40	38	2	2	2	84	2	60
5	40	2	2	2	2	48	1	48

$$Max\ CDV = 76$$

$$PCI = 100 - 76$$

$$PCI = 24$$

Rating = "**Muy Malo**"



#### **4.2. Evaluación de las fallas con el aplicativo “TOTAL PAVE”**

De acuerdo con los datos recopilados por la aplicación TOTAL PAVE en el campo, el cálculo del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) se realizó dentro de un rango de velocidad de 50 a 80 km/h.

Sin embargo, dado que la carretera en cuestión se encuentra en una zona urbana y es transitada frecuentemente, con la presencia de badenes e intersecciones, nos encontramos con limitaciones impuestas por las restricciones de velocidad. Estas limitaciones se derivan de la reciente revisión del Reglamento Nacional de Tránsito, especificada en la modificación DS N°025-2021 -MTC, que establece un límite de velocidad máxima de 50 km/h para las vías. Este límite de velocidad resulta insuficiente para cumplir con los requerimientos operativos del aplicativo TOTAL PAVE, el cual requiere una velocidad máxima de 80 km/h para un adecuado funcionamiento. Por consiguiente, nos basamos en investigaciones previas como punto de referencia para abordar esta situación.

Junaid (2015) La investigación "Evaluación del Desempeño del Pavimento mediante Aplicaciones para Teléfonos Inteligentes basadas en Android", llevo a cabo varias pruebas utilizando la aplicación mencionada anteriormente, se concluyó que el software calcula con precisión el IRI promedio incluso a altas velocidades de hasta 50 km/h.

Cuando se hace referencia a velocidades inferiores a 20 kilómetros por hora, es importante tener en cuenta que se trata de una velocidad relativamente baja.

Se llevó a cabo el análisis en un tramo de la carretera A Yura - Arequipa, desde la progresiva 52+000 hasta la progresiva 62+000, a velocidades comprendidas entre 50 y 80 km/h. Los resultados del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) obtenidos con la aplicación TOTAL PAVE se presentan en la Tabla 46:

**Tabla 46***Datos Obtenidos por el aplicativo TOTAL PAVE KM 52+00 al KM 62+00*

Latitud	Longitud	Altitud	Velocidad	Desplazamiento	Progresiva Inicial	Progresiva Final	IRI
-16,2430	-71,6708	2,730,00	51,7	0,00	52 + 000,000	52 + 100,000	4,86
-16,2429	-71,6719	2,722,00	60,98	100,00	52 + 100,000	52 + 200,000	5,43
-16,2431	-71,6729	2,717,00	67,46	200,00	52 + 200,000	52 + 300,000	5,20
-16,2435	-71,6738	2,712,00	60,12	300,00	52 + 300,000	52 + 400,000	4,20
-16,2440	-71,6747	2,708,00	55,98	400,00	52 + 400,000	52 + 500,000	6,32
-16,2449	-71,6751	2,706,00	53,6	500,00	52 + 500,000	52 + 600,000	5,20
-16,2458	-71,6750	2,705,00	53,17	600,00	52 + 600,000	52 + 700,000	4,80
-16,2463	-71,6742	2,706,00	53,14	700,00	52 + 700,000	52 + 800,000	6,10
-16,2460	-71,6732	2,699,00	54,97	800,00	52 + 800,000	52 + 900,000	5,20
-16,2461	-71,6723	2,693,00	57,17	900,00	52 + 900,000	53 + 000,000	6,20
-16,2468	-71,6718	2,688,00	61,7	1000,00	53 + 000,000	53 + 100,000	4,60
-16,2478	-71,6719	2,682,00	62,89	1100,00	53 + 100,000	53 + 200,000	6,10
-16,2487	-71,6721	2,676,00	61,24	1200,00	53 + 200,000	53 + 300,000	5,20
-16,2494	-71,6728	2,670,00	57,46	1300,00	53 + 300,000	53 + 400,000	5,10
-16,2498	-71,6738	2,666,00	56,84	1400,00	53 + 400,000	53 + 500,000	5,23
-16,2497	-71,6748	2,660,00	59,9	1500,00	53 + 500,000	53 + 600,000	4,78
-16,2494	-71,6759	2,654,00	62,24	1600,00	53 + 600,000	53 + 700,000	5,70
-16,2496	-71,6768	2,652,00	54,29	1700,00	53 + 700,000	53 + 800,000	5,20
-16,2502	-71,6776	2,646,00	60,55	1800,00	53 + 800,000	53 + 900,000	4,70
-16,2509	-71,6784	2,642,00	62,03	1900,00	53 + 900,000	54 + 000,000	5,20
-16,2515	-71,6790	2,639,00	59,51	2000,00	54 + 000,000	54 + 100,000	5,29
-16,2521	-71,6797	2,637,00	60,19	2100,00	54 + 100,000	54 + 200,000	4,65
-16,2527	-71,6804	2,634,00	62,53	2200,00	54 + 200,000	54 + 300,000	5,48
-16,2535	-71,6810	2,632,00	64,19	2300,00	54 + 300,000	54 + 400,000	4,82
-16,2544	-71,6814	2,630,00	65,12	2400,00	54 + 400,000	54 + 500,000	5,04
-16,2554	-71,6816	2,628,00	63,61	2500,00	54 + 500,000	54 + 600,000	5,84
-16,2564	-71,6817	2,628,00	56,66	2600,00	54 + 600,000	54 + 700,000	4,70
-16,2574	-71,6815	2,632,00	56,27	2700,00	54 + 700,000	54 + 800,000	5,11
-16,2582	-71,6810	2,639,00	56,99	2800,00	54 + 800,000	54 + 900,000	5,99
-16,2589	-71,6802	2,638,00	57,67	2900,00	54 + 900,000	55 + 000,000	4,24
-16,2596	-71,6794	2,642,00	57,89	3000,00	55 + 000,000	55 + 100,000	7,10
-16,2603	-71,6787	2,650,00	56,77	3100,00	55 + 100,000	55 + 200,000	4,02
-16,2612	-71,6783	2,658,00	51,88	3200,00	55 + 200,000	55 + 300,000	3,75
-16,2616	-71,6775	2,661,00	59,4	3300,00	55 + 300,000	55 + 400,000	6,26
-16,2621	-71,6766	2,659,00	77,65	3400,00	55 + 400,000	55 + 500,000	4,95
-16,2626	-71,6757	2,658,00	73,98	3500,00	55 + 500,000	55 + 600,000	6,78
-16,2631	-71,6749	2,659,00	64,55	3600,00	55 + 600,000	55 + 700,000	5,90
-16,2631	-71,6738	2,662,00	61,88	3700,00	55 + 700,000	55 + 800,000	5,64
-16,2636	-71,6730	2,661,00	65,23	3800,00	55 + 800,000	55 + 900,000	3,53
-16,2641	-71,6723	2,660,00	62,28	3900,00	55 + 900,000	56 + 000,000	4,31
-16,2649	-71,6717	2,656,00	68,69	4000,00	56 + 000,000	56 + 100,000	5,12
-16,2659	-71,6715	2,651,00	81,9	4100,00	56 + 100,000	56 + 200,000	4,88
-16,2669	-71,6714	2,648,00	70,88	4200,00	56 + 200,000	56 + 300,000	5,60

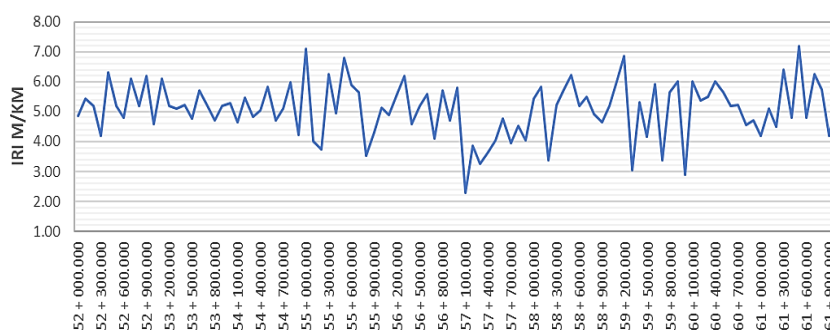
-16,2679	-71,6712	2,647,00	73,22	4300,00	56 + 300,000	56 + 400,000	6,20
-16,2686	-71,6706	2,646,00	78,19	4400,00	56 + 400,000	56 + 500,000	4,60
-16,2693	-71,6698	2,645,00	80,46	4500,00	56 + 500,000	56 + 600,000	5,20
-16,2699	-71,6690	2,647,00	74,52	4600,00	56 + 600,000	56 + 700,000	5,60
-16,2705	-71,6683	2,647,00	74,63	4700,00	56 + 700,000	56 + 800,000	4,10
-16,2712	-71,6674	2,650,00	70,42	4800,00	56 + 800,000	56 + 900,000	5,70
-16,2719	-71,6666	2,655,00	70,16	4900,00	56 + 900,000	57 + 000,000	4,70
-16,2725	-71,6658	2,660,00	65,38	5000,00	57 + 000,000	57 + 100,000	5,81
-16,2732	-71,6650	2,663,00	71,89	5100,00	57 + 100,000	57 + 200,000	2,30
-16,2738	-71,6642	2,668,00	77,76	5200,00	57 + 200,000	57 + 300,000	3,86
-16,2744	-71,6634	2,668,00	77,65	5300,00	57 + 300,000	57 + 400,000	3,26
-16,2750	-71,6627	2,666,00	70,88	5400,00	57 + 400,000	57 + 500,000	3,64
-16,2757	-71,6619	2,664,00	74,52	5500,00	57 + 500,000	57 + 600,000	4,05
-16,2764	-71,6610	2,664,00	70,42	5600,00	57 + 600,000	57 + 700,000	4,76
-16,2770	-71,6603	2,659,00	73,04	5700,00	57 + 700,000	57 + 800,000	3,95
-16,2777	-71,6595	2,657,00	65,3	5800,00	57 + 800,000	57 + 900,000	4,54
-16,2785	-71,6588	2,659,00	54,5	5900,00	57 + 900,000	58 + 000,000	4,05
-16,2794	-71,6588	2,663,00	51,48	6000,00	58 + 000,000	58 + 100,000	5,42
-16,2802	-71,6591	2,666,00	72,22	6100,00	58 + 100,000	58 + 200,000	5,83
-16,2811	-71,6596	2,673,00	64,73	6200,00	58 + 200,000	58 + 300,000	3,37
-16,2821	-71,6597	2,682,00	65,48	6300,00	58 + 300,000	58 + 400,000	5,23
-16,2831	-71,6597	2,691,00	62,78	6400,00	58 + 400,000	58 + 500,000	5,75
-16,2840	-71,6597	2,696,00	60,73	6500,00	58 + 500,000	58 + 600,000	6,23
-16,2849	-71,6593	2,700,00	63,04	6600,00	58 + 600,000	58 + 700,000	5,20
-16,2857	-71,6586	2,703,00	70,56	6700,00	58 + 700,000	58 + 800,000	5,51
-16,2865	-71,6579	2,705,00	72,68	6800,00	58 + 800,000	58 + 900,000	4,91
-16,2872	-71,6573	2,705,00	78,8	6900,00	58 + 900,000	59 + 000,000	4,66
-16,2880	-71,6566	2,702,00	80,93	7000,00	59 + 000,000	59 + 100,000	5,20
-16,2888	-71,6559	2,699,00	85,9	7100,00	59 + 100,000	59 + 200,000	6,00
-16,2896	-71,6552	2,696,00	83,52	7200,00	59 + 200,000	59 + 300,000	6,86
-16,2904	-71,6545	2,691,00	81,22	7300,00	59 + 300,000	59 + 400,000	3,05
-16,2912	-71,6538	2,685,00	78,52	7400,00	59 + 400,000	59 + 500,000	5,30
-16,2919	-71,6532	2,682,00	73,51	7500,00	59 + 500,000	59 + 600,000	4,17
-16,2926	-71,6525	2,678,00	63,04	7600,00	59 + 600,000	59 + 700,000	5,93
-16,2935	-71,6521	2,673,00	68	7700,00	59 + 700,000	59 + 800,000	3,38
-16,2945	-71,6524	2,670,00	74,41	7800,00	59 + 800,000	59 + 900,000	5,66
-16,2954	-71,6526	2,666,00	59,18	7900,00	59 + 900,000	60 + 000,000	6,00
-16,2963	-71,6524	2,663,00	64,73	8000,00	60 + 000,000	60 + 100,000	2,90
-16,2966	-71,6514	2,662,00	60,01	8100,00	60 + 100,000	60 + 200,000	6,00
-16,2964	-71,6504	2,659,00	56,77	8200,00	60 + 200,000	60 + 300,000	5,39
-16,2958	-71,6497	2,656,00	59,51	8300,00	60 + 300,000	60 + 400,000	5,48
-16,2952	-71,6489	2,654,00	55,26	8400,00	60 + 400,000	60 + 500,000	6,00
-16,2954	-71,6480	2,653,00	56,99	8500,00	60 + 500,000	60 + 600,000	5,65
-16,2959	-71,6471	2,656,00	55,15	8600,00	60 + 600,000	60 + 700,000	5,20
-16,2964	-71,6461	2,659,00	48,28	8700,00	60 + 700,000	60 + 800,000	5,21
-16,2972	-71,6470	2,648,00	63,61	8800,00	60 + 800,000	60 + 900,000	4,55
-16,2975	-71,6476	2,647,00	56,66	8900,00	60 + 900,000	61 + 000,000	4,70
-16,2979	-71,6485	2,646,00	56,27	9000,00	61 + 000,000	61 + 100,000	4,20

-16,2986	-71,6494	2,645,00	56,99	9100,00	61 + 100,000	61 + 200,000	5,10
-16,2990	-71,6499	2,647,00	57,67	9200,00	61 + 200,000	61 + 300,000	4,50
-16,2994	-71,6508	2,647,00	57,89	9300,00	61 + 300,000	61 + 400,000	6,40
-16,2998	-71,6512	2,650,00	56,77	9400,00	61 + 400,000	61 + 500,000	4,80
-16,3007	-71,6521	2,655,00	51,88	9500,00	61 + 500,000	61 + 600,000	7,20
-16,3011	-71,6530	2,660,00	59,4	9600,00	61 + 600,000	61 + 700,000	4,80
-16,3018	-71,6534	2,663,00	77,65	9700,00	61 + 700,000	61 + 800,000	6,25
-16,3022	-71,6543	2,699,00	53,6	9800,00	61 + 800,000	61 + 900,000	5,75
-16,3027	-71,6552	2,696,00	56,66	9900,00	61 + 900,000	62 + 000,000	4,20
-16,3036	-71,6555	2,673,00	56,27	10000,00	62 + 000,000		5,46
IRI PROMEDIO KM 52 + 00 - KM 62 + 00							5,09

En la Figura 53 del aplicativo TOTAL PAVE se muestran las progresivas recorridas.

**Figura 53**

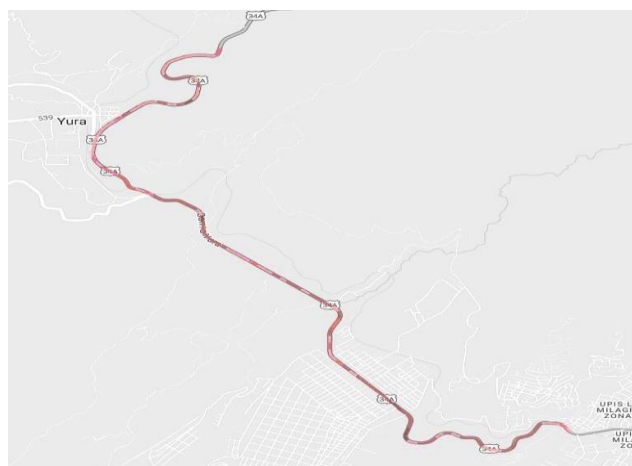
*Valores IRI obtenidas según las progresivas recorridas*



En la Figura 54 del aplicativo se muestra el recorrido por la carretera a Yura.

**Figura 54**

*Recorrido TOTALPAVE*



#### 4.3. Evaluación de las fallas con el aplicativo “ABAKAL”

Según la información obtenida en campo por el aplicativo TOTAL PAVE, el valor del IRI se obtuvo a una velocidad de 50 a 80 km/h.

El análisis se llevó a cabo en el tramo de la carretera A Yura - Arequipa, desde la progresiva 52+000 hasta la progresiva 62+000, con velocidades que oscilaron entre 50 y 80 km/h. Los resultados del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) obtenidos mediante la aplicación TOTAL PAVE se presentan en la Tabla 47:

**Tabla 47**

*Datos Obtenidos por el aplicativo ABAKAL KM 52+00 al KM 62+00*

Latitud	Longitud	Altitud	Velocidad	Desplazamiento	Progresiva	Valor IRI
-16,2430	-71,6708	2,730,00	51,7	0,00	52 + 000,000	3,93
-16,2429	-71,6719	2,722,00	60,98	100,00	52 + 100,000	4,15
-16,2431	-71,6729	2,717,00	67,46	200,00	52 + 200,000	6,00
-16,2435	-71,6738	2,712,00	60,12	300,00	52 + 300,000	6,00
-16,2440	-71,6747	2,708,00	55,98	400,00	52 + 400,000	6,00
-16,2449	-71,6751	2,706,00	53,6	500,00	52 + 500,000	5,17
-16,2458	-71,6750	2,705,00	53,17	600,00	52 + 600,000	3,81
-16,2463	-71,6742	2,706,00	53,14	700,00	52 + 700,000	5,64
-16,2460	-71,6732	2,699,00	54,97	800,00	52 + 800,000	6,00
-16,2461	-71,6723	2,693,00	57,17	900,00	52 + 900,000	5,82
-16,2468	-71,6718	2,688,00	61,7	1000,00	53 + 000,000	5,58
-16,2478	-71,6719	2,682,00	62,89	1100,00	53 + 100,000	2,75
-16,2487	-71,6721	2,676,00	61,24	1200,00	53 + 200,000	6,00
-16,2494	-71,6728	2,670,00	57,46	1300,00	53 + 300,000	3,93
-16,2498	-71,6738	2,666,00	56,84	1400,00	53 + 400,000	4,38
-16,2497	-71,6748	2,660,00	59,9	1500,00	53 + 500,000	5,64
-16,2494	-71,6759	2,654,00	62,24	1600,00	53 + 600,000	6,00
-16,2496	-71,6768	2,652,00	54,29	1700,00	53 + 700,000	6,00
-16,2502	-71,6776	2,646,00	60,55	1800,00	53 + 800,000	5,39
-16,2509	-71,6784	2,642,00	62,03	1900,00	53 + 900,000	6,00
-16,2515	-71,6790	2,639,00	59,51	2000,00	54 + 000,000	5,96
-16,2521	-71,6797	2,637,00	60,19	2100,00	54 + 100,000	6,00
-16,2527	-71,6804	2,634,00	62,53	2200,00	54 + 200,000	6,00
-16,2535	-71,6810	2,632,00	64,19	2300,00	54 + 300,000	6,00
-16,2544	-71,6814	2,630,00	65,12	2400,00	54 + 400,000	6,00
-16,2554	-71,6816	2,628,00	63,61	2500,00	54 + 500,000	6,00
-16,2564	-71,6817	2,628,00	56,66	2600,00	54 + 600,000	6,00
-16,2574	-71,6815	2,632,00	56,27	2700,00	54 + 700,000	6,00
-16,2582	-71,6810	2,639,00	56,99	2800,00	54 + 800,000	6,00
-16,2589	-71,6802	2,638,00	57,67	2900,00	54 + 900,000	6,00
-16,2596	-71,6794	2,642,00	57,89	3000,00	55 + 000,000	6,20
-16,2603	-71,6787	2,650,00	56,77	3100,00	55 + 100,000	6,00
-16,2612	-71,6783	2,658,00	51,88	3200,00	55 + 200,000	6,00

Continuación de la Tabla 47.

-16,2616	-71,6775	2,661,00	59,4	3300,00	55 + 300,000	6,00
-16,2621	-71,6766	2,659,00	77,65	3400,00	55 + 400,000	6,00
-16,2626	-71,6757	2,658,00	73,98	3500,00	55 + 500,000	5,44
-16,2631	-71,6749	2,659,00	64,55	3600,00	55 + 600,000	5,60
-16,2631	-71,6738	2,662,00	61,88	3700,00	55 + 700,000	4,80
-16,2636	-71,6730	2,661,00	65,23	3800,00	55 + 800,000	6,30
-16,2641	-71,6723	2,660,00	62,28	3900,00	55 + 900,000	4,17
-16,2649	-71,6717	2,656,00	68,69	4000,00	56 + 000,000	5,67
-16,2659	-71,6715	2,651,00	81,9	4100,00	56 + 100,000	7,00
-16,2669	-71,6714	2,648,00	70,88	4200,00	56 + 200,000	5,70
-16,2679	-71,6712	2,647,00	73,22	4300,00	56 + 300,000	5,00
-16,2686	-71,6706	2,646,00	78,19	4400,00	56 + 400,000	6,00
-16,2693	-71,6698	2,645,00	80,46	4500,00	56 + 500,000	4,87
-16,2699	-71,6690	2,647,00	74,52	4600,00	56 + 600,000	6,00
-16,2705	-71,6683	2,647,00	74,63	4700,00	56 + 700,000	5,00
-16,2712	-71,6674	2,650,00	70,42	4800,00	56 + 800,000	6,20
-16,2719	-71,6666	2,655,00	70,16	4900,00	56 + 900,000	6,00
-16,2725	-71,6658	2,660,00	65,38	5000,00	57 + 000,000	4,43
-16,2732	-71,6650	2,663,00	71,89	5100,00	57 + 100,000	5,85
-16,2738	-71,6642	2,668,00	77,76	5200,00	57 + 200,000	6,00
-16,2744	-71,6634	2,668,00	77,65	5300,00	57 + 300,000	5,72
-16,2750	-71,6627	2,666,00	70,88	5400,00	57 + 400,000	4,50
-16,2757	-71,6619	2,664,00	74,52	5500,00	57 + 500,000	3,50
-16,2764	-71,6610	2,664,00	70,42	5600,00	57 + 600,000	5,38
-16,2770	-71,6603	2,659,00	73,04	5700,00	57 + 700,000	4,32
-16,2777	-71,6595	2,657,00	65,3	5800,00	57 + 800,000	2,59
-16,2785	-71,6588	2,659,00	54,5	5900,00	57 + 900,000	5,10
-16,2794	-71,6588	2,663,00	51,48	6000,00	58 + 000,000	4,80
-16,2802	-71,6591	2,666,00	72,22	6100,00	58 + 100,000	4,60
-16,2811	-71,6596	2,673,00	64,73	6200,00	58 + 200,000	5,17
-16,2821	-71,6597	2,682,00	65,48	6300,00	58 + 300,000	3,18
-16,2831	-71,6597	2,691,00	62,78	6400,00	58 + 400,000	4,00
-16,2840	-71,6597	2,696,00	60,73	6500,00	58 + 500,000	4,28
-16,2849	-71,6593	2,700,00	63,04	6600,00	58 + 600,000	3,67
-16,2857	-71,6586	2,703,00	70,56	6700,00	58 + 700,000	4,93
-16,2865	-71,6579	2,705,00	72,68	6800,00	58 + 800,000	6,30
-16,2872	-71,6573	2,705,00	78,8	6900,00	58 + 900,000	6,00
-16,2880	-71,6566	2,702,00	80,93	7000,00	59 + 000,000	4,60
-16,2888	-71,6559	2,699,00	85,9	7100,00	59 + 100,000	5,37
-16,2896	-71,6552	2,696,00	83,52	7200,00	59 + 200,000	6,36
-16,2904	-71,6545	2,691,00	81,22	7300,00	59 + 300,000	4,00
-16,2912	-71,6538	2,685,00	78,52	7400,00	59 + 400,000	5,00
-16,2919	-71,6532	2,682,00	73,51	7500,00	59 + 500,000	4,50
-16,2926	-71,6525	2,678,00	63,04	7600,00	59 + 600,000	4,20
-16,2935	-71,6521	2,673,00	68	7700,00	59 + 700,000	3,50
-16,2945	-71,6524	2,670,00	74,41	7800,00	59 + 800,000	6,20

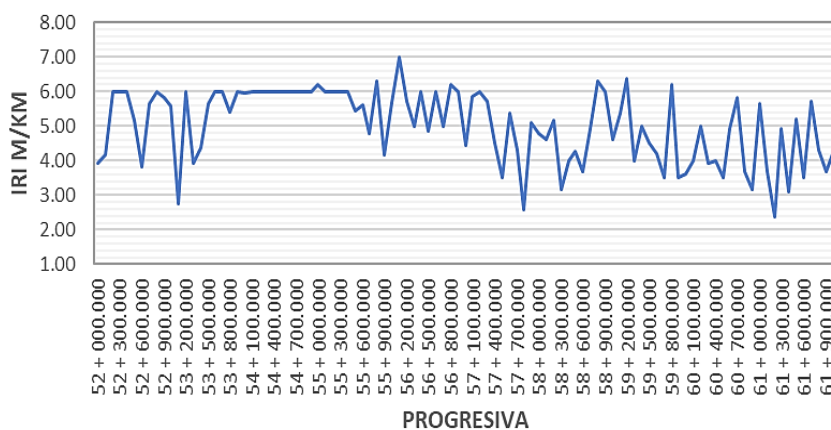
Continuación de la Tabla 47.

-16,2954	-71,6526	2,666,00	59,18	7900,00	59 + 900,000	3,50
-16,2963	-71,6524	2,663,00	64,73	8000,00	60 + 000,000	3,60
-16,2966	-71,6514	2,662,00	60,01	8100,00	60 + 100,000	4,00
-16,2964	-71,6504	2,659,00	56,77	8200,00	60 + 200,000	5,00
-16,2958	-71,6497	2,656,00	59,51	8300,00	60 + 300,000	3,93
-16,2952	-71,6489	2,654,00	55,26	8400,00	60 + 400,000	4,00
-16,2954	-71,6480	2,653,00	56,99	8500,00	60 + 500,000	3,50
-16,2959	-71,6471	2,656,00	55,15	8600,00	60 + 600,000	4,94
-16,2964	-71,6461	2,659,00	48,28	8700,00	60 + 700,000	5,82
-16,2972	-71,6470	2,648,00	63,61	8800,00	60 + 800,000	3,70
-16,2975	-71,6476	2,647,00	56,66	8900,00	60 + 900,000	3,15
-16,2979	-71,6485	2,646,00	56,27	9000,00	61 + 000,000	5,63
-16,2986	-71,6494	2,645,00	56,99	9100,00	61 + 100,000	3,70
-16,2990	-71,6499	2,647,00	57,67	9200,00	61 + 200,000	2,36
-16,2994	-71,6508	2,647,00	57,89	9300,00	61 + 300,000	4,94
-16,2998	-71,6512	2,650,00	56,77	9400,00	61 + 400,000	3,09
-16,3007	-71,6521	2,655,00	51,88	9500,00	61 + 500,000	5,20
-16,3011	-71,6530	2,660,00	59,4	9600,00	61 + 600,000	3,50
-16,3018	-71,6534	2,663,00	77,65	9700,00	61 + 700,000	5,70
-16,3022	-71,6543	2,699,00	53,6	9800,00	61 + 800,000	4,32
-16,3027	-71,6552	2,696,00	56,66	9900,00	61 + 900,000	3,70
-16,3036	-71,6555	2,673,00	56,27	10000,00	62 + 000,000	4,20
IRI PROMEDIO KM 52 + 00 - KM 62 + 00						5,03

En la Figura 55 del aplicativo ABAKAL se muestran las progresivas recorridas.

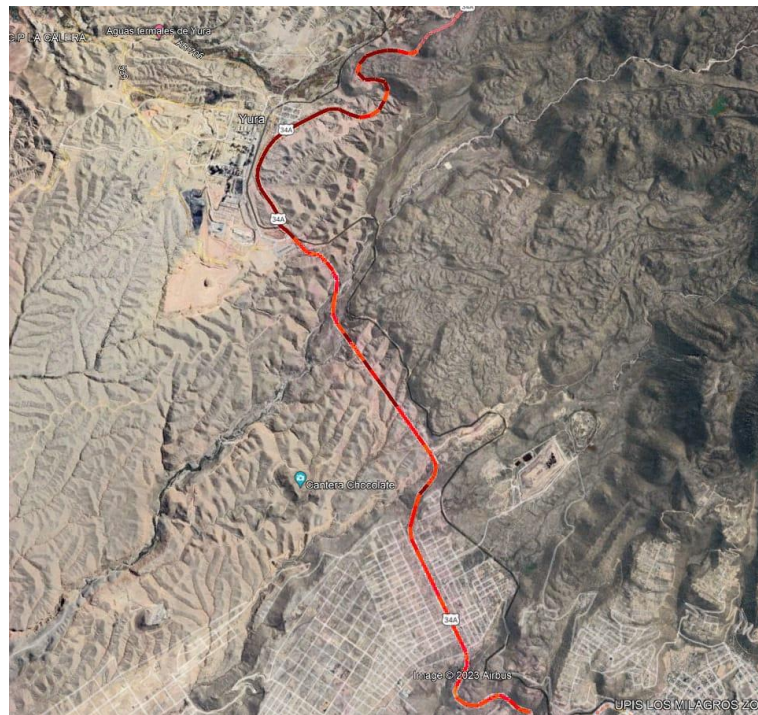
**Figura 55**

Valores IRI obtenidas según las progresivas recorridas



En la Figura 56 del aplicativo se muestra el recorrido por la carretera a Yura.

**Figura 56**  
*Recorrido ABAKAL*





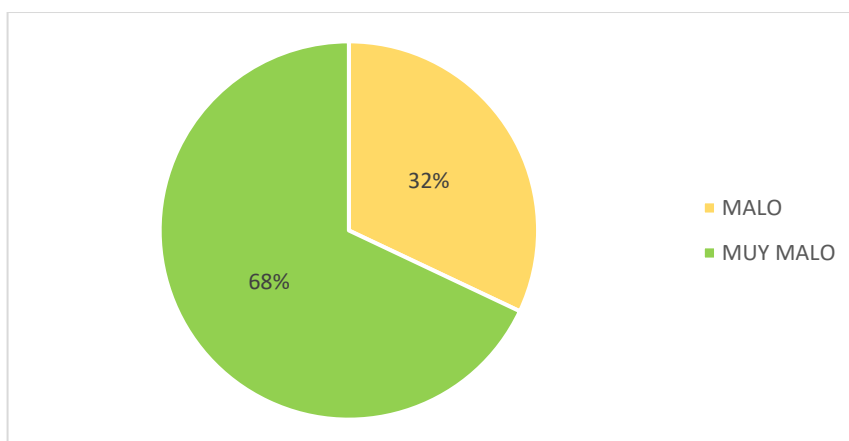
## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

### 5.1. Índice de condición de pavimento (PCI)

Después de examinar los datos recopilados de 299 muestras, se identificaron varias clases de defectos en la capa asfáltica de la Carretera a Yura-Arequipa en el área bajo estudio. Se empleó el método del Índice de Condición del Pavimento (PCI) para evaluar la condición del asfalto, lo que permitió realizar una evaluación exhaustiva del estado de conservación de la carretera. En la Figura 57, se elaboró una tabla de resumen para mostrar de manera concisa todos los resultados obtenidos en el terreno.

**Figura 57**

*Índice de condición del pavimento (PCI)*



De acuerdo con los hallazgos de la investigación, las muestras recolectadas del UM-1 al UM-299, cada una con su propio Índice de Condición del Pavimento (PCI), revelaron que, del total de especímenes analizados, el 68 % presentaba una calificación de "Muy Malo" y el 32 % restante una calificación de "Malo". Esto resultó en un PCI ponderado promedio de 23,01 lo que indica que el estado general del pavimento se clasifica como "Muy Malo". Las principales causas de las fallas observadas incluyen parches, exudaciones, grietas en bloques, abultamientos, hundimientos, grietas en los bordes, piel de cocodrilo, grietas de reflexión en las juntas, presencia de huecos y desprendimiento de agregados. Estos daños requieren una atención y mantenimiento exhaustivos para garantizar la seguridad y la funcionalidad de la carretera.

## 5.2. Análisis de los resultados de la rugosidad obtenidos con el aplicativo ABAKAL

Durante la investigación, se utilizaron los resultados obtenidos del aplicativo ABAKAL, empleando el dispositivo Samsung Galaxy A30S. Este dispositivo proporcionó resultados del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) para la calzada de subida, los cuales se registraron en 5,03 m/km, como se detalla en la Tabla 48.

**Tabla 48**

*Resultados de la rugosidad obtenido del aplicativo ABAKAL*

<b>Calzada</b>	<b>IRI</b>
Calzada de subida carretera A Yura	5,03 m/km

Debido al valor del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) registrado de 5,03 m/km utilizando la aplicación ABAKAL, el estado del pavimento en el tramo de la carretera a Yura, comprendido entre el KM 52+00 y el KM 62+00, ha sido calificado como "Muy Malo".

Para evaluar el estado del pavimento en el tramo de la carretera a Yura, desde el KM 52+00 hasta el KM 62+00, se llevó a cabo una evaluación basada en la rugosidad, como se muestra en la Tabla 49. A partir de estos datos, se determinó el valor del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en toda la extensión de la carretera investigada:

**Tabla 49**

*Clasificación del estado del pavimento*

Estado	Pavimentadas	No pavimentadas
	Rugosidad	Rugosidad
Bueno	$0 < IRI \leq 2,8$	$IRI \leq 6$
Regular	$2,8 < IRI \leq 4,0$	$6 < IRI \leq 8$
Malo	$4,0 < IRI \leq 5,0$	$8 < IRI \leq 10$
Muy malo	$5 < IRI$	$10 \leq IRI$

**Tabla 50***Clasificación de la transitabilidad en función del IRI*

<b>IRI</b>	5,03 m/km
<b>Conversión a PSI en función del IRI</b>	1,99
<b>Clasificación del PSI</b>	Transitabilidad Mala

Tras analizar el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) promedio, se observa en la Tabla 50 que se aplicaron las fórmulas de Williams Paterson y Dujisin y Arroyo para determinar la transitabilidad. Como resultado, se obtuvo un valor de 1,99. Según esta medición, la transitabilidad se clasifica como "Mala", conforme se indica en la Tabla 51.

**Tabla 51***Clasificación de la transitabilidad*

<b>PSI</b>	<b>Transitabilidad</b>
0 – 1	Muy mala
1 – 2	Mala
2 – 3	Regular
3 – 4	Buena
4 - 5	Muy buena

Nota: Escala de Clasificación de la Serviciabilidad – AASHO (1962)

### **5.3. Análisis de los resultados de la rugosidad obtenidos con el aplicativo TOTAL PAVE**

Para llevar a cabo la evaluación utilizando la aplicación TOTAL PAVE, se utilizó un teléfono de última generación. En nuestro estudio, se empleó un Samsung Galaxy S23 Ultra, cuyo resultado arrojó un valor IRI de 5,09 m/km.

Debido a la alta congestión vehicular, las velocidades utilizadas para obtener el IRI no fueron uniformes. Por lo tanto, se consideró que el IRI proporcionaba la representación más precisa de la condición de la carretera a Yura, tramo KM 52+00 al KM 62+00. Las mediciones del IRI para la investigación se realizaron a diferentes velocidades, específicamente entre 50 y 80 km/h.

**Tabla 52***Resultados de la rugosidad obtenido del aplicativo TOTAL PAVE*

<b>Calzada</b>	<b>IRI</b>
Calzada de subida carretera A Yura	5,09 m/km

Al emplear la aplicación TOTAL PAVE para examinar la carretera a Yura, en el tramo comprendido entre el KM 52+00 y el KM 62+00, se obtuvo un IRI de 5,09 m/km, tal como se detalla en la Tabla 52. Esta cifra sugiere que la condición del pavimento es "Muy Mala", según lo categoriza el IRI derivado del análisis realizado con TOTAL PAVE.

**Tabla 53***Clasificación de la transitabilidad en función del IRI TOTAL PAVE*

<b>IRI</b>	5,09 m/km
<b>Conversión a PSI en función del IRI</b>	1,98
<b>Clasificación del PSI</b>	Transitabilidad Mala

Por otro lado, en la Tabla 53 con el resultado del IRI se logró calcular la transitabilidad empleando la fórmula de Williams Paterson y D, Dujisin y Arroyo. Este cálculo arrojó un valor de 1,98; lo que permite clasificar la transitabilidad como "**Mala**".

#### **5.4. Discusión comparativa de la rugosidad y la transitabilidad obtenidos con el aplicativo ABAKAL y el aplicativo TOTAL PAVE.**

Después de obtener los valores IRI mediante la utilización de las aplicaciones ABAKAL y TOTAL PAVE, podemos proceder a realizar un examen comparativo entre las dos aplicaciones antes mencionadas. Cabe señalar que los datos fueron recopilados con un dispositivo móvil Samsung Galaxy A30S (ABAKAL) y Samsung Galaxy S23 Ultra (TOTAL PAVE).

**Tabla 54**

*Comparativo de la clasificación del Estado del Pavimento de ambos aplicativos*

<b>Rugosidad IRI</b>		
<b>Aplicativo</b>	<b>ABAKAL</b>	<b>TOTAL PAVE</b>
Calzada de subida carretera A Yura	1,99	1,98
Clasificación Estado del Pavimento	Malo	Malo

La Tabla 54 contrasta los resultados de la evaluación del estado del pavimento utilizando las aplicaciones ABAKAL y TOTAL PAVE, señalando la similitud de los resultados. Este cuadro demuestra que ambas aplicaciones ofrecen evaluaciones comparables cuando se trata de una calidad de pavimento calificada como "Mala", lo que garantiza la confiabilidad de las mediciones de rugosidad obtenidas.

**Tabla 55**

*Comparativo de la transitabilidad de ambos aplicativos utilizados*

<b>TRANSITABILIDAD</b>		
<b>APLICATIVO</b>	<b>ABAKAL</b>	<b>TOTAL PAVE</b>
Transitabilidad carretera A Yura	5,03	5,09
Clasificación de la Transitabilidad	Muy Malo	Muy Malo

El cuadro comparativo de la Tabla 55 presenta los resultados obtenidos al analizar la transitabilidad de la carretera a Yura Tramo KM 52+00 al KM 62+00, Distrito de Arequipa, utilizando las aplicaciones ABAKAL y TOTAL PAVE. Este cuadro demuestra que ambas aplicaciones proporcionan resultados similares. Como resultado, la discrepancia en la medición de la transitabilidad es mínima, con solo 0,06 de diferencia en el PSI, lo que lleva a una calificación equivalente de "Muy Malo". Estos hallazgos respaldan la alta confiabilidad de los valores de rugosidad determinados.

Con base en los resultados obtenidos, se puede concluir que la evaluación de la rugosidad mediante el uso de teléfonos inteligentes no afecta significativamente la determinación de la transitabilidad de la carretera a Yura Tramo KM 52+00 al KM 62+00, Distrito de Arequipa. Los valores de IRI obtenidos con ABAKAL (5,03 m/km) y con

TOTAL PAVE (5,09 m/km) fueron similares, lo que permitió una evaluación precisa del estado y la transitabilidad del pavimento.

La evidencia actual muestra que la carretera se encuentra en un estado extremadamente deficiente, catalogado como "Muy malo". Esto resalta la urgencia de llevar a cabo un mantenimiento exhaustivo de la capa asfáltica. No solo se trata de mejorar la calidad de la vía, sino también de garantizar la seguridad de todos los vehículos que transitan por ella.

Las aplicaciones ABAKAL y TOTAL PAVE son una herramienta útil para evaluar la uniformidad de las carreteras. Permite una recopilación de datos eficiente, lo que permite estudiar tramos de carretera más grandes en menos tiempo y con menos recursos. Además, la aplicación elimina la necesidad de un procesamiento extenso de datos, lo que ahorra aún más tiempo y recursos.

## CONCLUSIONES

El pavimento en la Carretera a Yura del KM 52+00 al KM 62+00, Distrito de Arequipa, ha sido evaluada, en donde se ha encontrado en campo las diferentes fallas superficiales, a la vez utilizando los aplicativos TOTAL PAVE y ABAKAL se logró calcular satisfactoriamente la rugosidad del pavimento.

Se determinaron las fallas superficiales detectadas en el pavimento de la Carretera a Yura, desde el KM 52+00 hasta el KM 62+00, comprometen seriamente la transitabilidad de la vía, lo que representa un riesgo para el tráfico. Durante la inspección en campo, se identificaron diversas irregularidades en el pavimento, como la presencia de piel de cocodrilo, exudaciones, agrietamiento en bloque, abultamientos, hundimientos, grietas en bordes, grietas de reflexión de juntas, grietas longitudinales y transversales, parcheos, huecos y desprendimiento de agregados. Estas imperfecciones, al evaluarse según su clasificación, confirman el mal estado general de la vía.

Se calculó la rugosidad mediante el aplicativo ABAKAL en un teléfono inteligente Samsung Galaxy A30S, con una velocidad de 50 a 80 km/h, donde se ha obtenido el valor de la calzada que es 5,03 m/km, se clasifica a la Carretera a Yura Tramo KM 52+00 al KM 62+00 como un pavimento "*Muy malo*" y se concluye que ningún tramo de la vía se encontraba en buenas condiciones de circulación, lo que representa un riesgo para el tráfico, los vehículos y los peatones. La evaluación afirma que la vía evaluada se encuentra en condiciones deficientes de acuerdo con su clasificación.

Se calculó la rugosidad mediante el aplicativo TOTAL PAVE en un teléfono inteligente Samsung Galaxy S23 Ultra, con una velocidad de 50 a 80 km/h, donde se ha obtenido el valor de la calzada que es 5,09 m/km, la Carretera a Yura, en el tramo comprendido entre el KM 52+00 y el KM 62+00, ha sido calificada como un pavimento de calidad "Muy malo". Esta evaluación revela que ningún segmento de la vía presenta condiciones adecuadas para la circulación, lo cual representa un peligro tanto para los vehículos como para los peatones. En resumen, la evaluación confirma que la vía en cuestión se encuentra en un estado deficiente según su clasificación.

Después de obtener el análisis de los resultados, podemos diferenciar los valores obtenidos del IRI en las dos aplicativos distintos, se puede observar la similitud promedio del TOTAL PAVE que es de 5,09 m/km y en el ABAKAL es de 5,03 m/km, ambos resultados se aproximan bastante y solo tienden a diferir mínimamente, esto sucede porque cada aplicativo tiene una técnica de toma de datos diferente y también por los teléfonos móviles utilizados.



## RECOMENDACIONES

Se recomienda un estudio de PCI ya que se han evaluado diferentes fallas superficiales en estado severo. Este descubrimiento ha llevado a nuevas recomendaciones para la construcción de pavimentos, incluida la selección de materiales de construcción apropiados y la implementación de sellado de grietas en casos de falla inducida por ahuellamientos.

Se recomienda para priorizar la seguridad y comodidad de los residentes, prestar la máxima atención al mejoramiento de la Carretera a Yura Tramo KM 52+00 al KM 62+00, Según la clasificación del Método del Índice de Condición del Pavimento, esta sección en particular ha sido designada como "*Muy mala*". Asimismo, esta carretera experimenta un volumen de tráfico extremadamente alto. Proporcionando así un punto de acceso seguro y cómodo para todos los vehículos de la zona.

Se recomienda el uso del ABAKAL en un teléfono inteligente moderno, para datos más precisos y poder emplear esta aplicación de manera efectiva. Así mismo, que el vehículo a utilizar para el ensayo, esté en condiciones óptimas en lo que respecta a factores como la amortiguación, el equilibrio y la presión de los neumáticos,

Se recomienda asegurarse de que el aplicativo TOTAL PAVE, haya sido nivelado. Además, para obtener datos más precisos, desarrollarlo durante las primeras horas de la mañana o en horarios de mínimo tráfico, ya que debe mantener una velocidad constante durante la conducción de la ruta.

Se recomienda para obtener resultados óptimos en el campo de los cálculos de rugosidad, especialmente en una carretera transitable a una velocidad constante de 50 a 80 km/h, utilizar la aplicación TOTAL PAVE y ABAKAL en los teléfonos inteligentes. Esto se debe a la abundancia de funciones actualizadas periódicamente que ayudan a producir resultados confiables y de alta calidad, que en última instancia beneficiarán futuras investigaciones.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*.
- Abakal. (2020). *IRI. Regularidad. Carreteras*.
- ABAKAL. (2020). *Manual IRI*.
- Alvarez, G. A. (2021). *Evaluación funcional del pavimento de la vía a Noboa en el acceso oriental de la ciudad Jipijapa-Provincia de Manabí, desde la abscisa 0+000 hasta 1+000*. Universidad Estatal del Sur de Manabí.
- Aplicacion de telefonos inteligentes y el rugosímetro de MERLIN para la determinación de la rugosidad del pavimento flexible en la carretera TA-615, tramo: Puente El Peligro - Emp. PE-40, Tacna. (s.f.)*.
- Arriaga Patiño, M., Garnica Anguas, P., & Rico Rodríguez, A. (1998). *Índice internacional de rugosidad en la red carretera de México*.
- Arriaga Patiño, M., Garnica Anguas, P., & Rico Rodriguez, A. (s.f.). *Indice internacional de rugosidad* .
- Arteaga, V. (2019). *Análisis de la Variación del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en función de variables constructivas y geométricas en vías menores*. Universidad Ricardo Palma.
- Díaz, P. N., & Ramírez, D. F. (2021). *Estudio de la correlación del Índice de estado "IRI" Índice de rugosidad internacional, respecto de la capacidad estructural del pavimento, específicamente con los cuencos de deflexión para concesiones de cuarta generación "4G"*. Universidad Santo Tomas.
- Espinoza, D. S. (2020). *Clasificación de los pavimentos*.
- Gonzalo, J. Y., & Beingolea, H. J. (Abril de 2021). *Aplicación del smartphone y el rugosímetro de merlin para la medición de la rugosidad del pavimento flexible en la av. Internacional, tacna - 2021*. Universidad Privada de Tacna.
- Grupo Técnico - Convenio 587 de 2003. (2003). Fuente: Ministerio de transportes y comunicaciones. En *Fuente: Ministerio de transportes y comunicaciones* (pág. 56).
- Junaid, M. (2015). *Pavement Performance Measures using Android based Smart Phone Application*.

- Laboratorio Vial. (2020). *Medición de rugosidad*.
- Lozano, J. L., & Mamani, D. E. (Diciembre de 2021). *Evaluación de la rugosidad en el pavimento utilizando teléfonos inteligentes para mejorar la transitabilidad vehicular en la av. Antúnez de mayolo, distrito gregorio albarracín lanchipa, tacna -2021*. Universidad privada de tacna.
- Martinez Ospino, L., & Noguera Nuñez, R. (2020). *Modelos de serviciabilidad de pavimentos a partir del índice de condición del pavimento (pci) con relacion a las velocidades de operacion*.
- Ministerio de transportes y comunicaciones. (2019). *Estudio de mantenimiento periódico de la carretera panamericana Norte*.
- Montiel Mancilla, A. (2010). *Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos*.
- Mozo, W. V., & Quispe, A. J. (20 de Diciembre de 2019). *Evaluación superficial de la condición y serviciabilidad del pavimento flexible por el método pavement condition index (pci) y roadroid en el circuito humedal lucre-huacarpay*. Universidad Andina del Cusco.
- Onroad. (s.f.). *Calzada*.
- Pomasonco de la Cadena, R. (2010). *Evaluación de la transitabilidad utilizando el rugosímetro de MERLIN monitoreo de conservación carretera CañeteHuancayo Km. 110+000 al Km. 112+000. Lima-Perú: Universidad Nacional de ingeniería*.
- Reyes, B. A. (2020). *Determinación del índice de rugosidad internacional en la av. La prensa, usando aparatos inteligentes y el rugosímetro de merlín*. Universidad estatal del sur de Manabí.
- Rios T., J. E., & Torres C., L. J. (2022). *Índice de regularidad internacional usando aplicativos móviles para establecer el nivel de servicio de la superficie de rodadura*. Universidad Ricardo Palma.
- Robles , R. (2015). *Cálculo del índice de condición del pavimento (pci) barranco-surco- lima*. Lima.
- Steven W., K., & Michael W., S. (1998). *The Little Book of Profiling*. Michigan USA. .
- Sub Direccion de Seguridad Vial. (2018). *Plan regional de Seguridad Regional 2018 - Gerencia Regional de transporte y comunicaciones*. Arequipa.
- Vásquez Varela, L. R. (2002). *PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI)*.

Zeballos G., & Vizcarra C. (2020). *Aplicacion de telefonos inteligentes y el rugosimetro de MERLIN para la determinación de la rugosidad del pavimento flexible en la carretera TA-615, tramo: Puente El Peligro - Emp. PE-40, Tacna.*

Zeballos, G. G., & Vizcarra, C. A. (Junio de 2021). *Aplicación de teléfonos inteligentes y el rugosimetro de merlin para la determinación de la rugosidad del pavimento flexible en la carretera TA-615, tramo: puente el peligro – Emp. PE-40, TACNA - 2020.* Universidad Privada de Tacna.

**ANEXOS**

## Anexo 1. Matriz de Consistencia

<b>"EVALUACIÓN DE LAS FALLAS SUPERFICIALES DEL PAVIMENTO, EMPLEANDO APLICATIVOS INNOVADORES PARA DETERMINAR LA RUGOSIDAD EN LA CARRETERA A YURA TRAMO KM 52+00 AL KM 62+00, DISTRITO DE AREQUIPA, 2023"</b>					
<b>Problema</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>Variables</b>	<b>Indicador</b>	<b>Metodología</b>
<b>Problema General</b> ¿Evaluando las fallas superficiales del pavimento, se podrá determinar la rugosidad empleando aplicativos innovadores en la carretera a Yura Tramo KM 52+00 al KM 62+00, Distrito de Arequipa, 2023?	<b>Objetivo General</b> Evaluar las fallas superficiales del pavimento, para determinar la rugosidad empleando aplicativos innovadores en la carretera a Yura tramo km 52+00 al km 62+00 – distrito de Arequipa, 2023.	<b>Hipótesis General</b> Evaluando las fallas superficiales del pavimento se determinará la rugosidad empleando aplicativos innovadores en la carretera a Yura tramo km 52+00 al km 62+00 – distrito de Arequipa, 2023.	<b>Variable Independiente:</b> Fallas superficiales del pavimento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Clasificación de las fallas de la calzada asfáltica.</li> <li>Indicador de evaluación de daños de la calzada.</li> </ul>	<b>Tipo de investigación:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Investigación aplicada.</li> </ul> <b>Diseño de investigación:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Descriptivo.</li> </ul> <b>Población:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Carretera a Yura Tramo Km 52+00 al Km 62+00, Distrito de Arequipa.</li> </ul> <b>Técnica de recolección de datos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Resultado del PCI</li> <li>Resultado del Abakal</li> <li>Resultado del Total Pave IRI</li> </ul> <b>Instrumentos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aplicativo Total Pave.</li> <li>Aplicativo Abakal</li> <li>Método del PCI</li> <li>Método del IRI</li> <li>Hoja de cálculo Excel.</li> <li>Material de señalización y medición.</li> <li>Camioneta 4x4</li> <li>Formato de fallas superficiales del pavimento.</li> </ul>
<b>Problemas Específicos</b> ¿De qué manera las fallas superficiales del pavimento afectan a la carretera a Yura Tramo KM 52+00 al KM 62+00, Distrito de Arequipa, 2023?	<b>Objetivos Específicos</b> Determinar las fallas superficiales del pavimento que afectan a la carretera a Yura Tramo KM 52+00 al KM 62+00, Distrito de Arequipa, 2023.	<b>Hipótesis Específicas</b> Las fallas superficiales del pavimento afectan negativamente a la Carretera a Yura Tramo KM 52+00 al KM 62+00, Distrito de Arequipa, 2023.	<b>Variable Dependiente:</b> Rugosidad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Serviciabilidad</li> <li>Cálculo del índice de rugosidad.</li> <li>Índice internacional de rugosidad.</li> <li>Clasificación y parámetros del IRI.</li> </ul>	
¿Cuál es el valor de la rugosidad calculada de la calzada utilizando la aplicación ABAKAL de la carretera a Yura Tramo KM 52+00 al KM 62+00, Distrito de Arequipa, 2023?	Determinar el valor de la rugosidad calculada de la calzada utilizando la aplicación ABAKAL de la carretera a Yura Tramo KM 52+00 al KM 62+00, Distrito de Arequipa, 2023.	El valor de la rugosidad calculada de la calzada utilizando la aplicación ABAKAL de la carretera a Yura del KM 52+00 al KM 62+00, es deficiente.			
¿Cuál es el valor de la rugosidad calculada de la calzada utilizando la aplicación TOTAL PAVE de la carretera a Yura del KM 52+00 al KM 62+00, distrito de Arequipa, 2023?	Determinar el valor de la rugosidad calculada de la calzada utilizando la aplicación TOTAL PAVE de la carretera a Yura del KM 52+00 al KM 62+00, distrito de Arequipa, 2023.	El valor de la rugosidad calculada de la calzada utilizando la aplicación TOTAL PAVE de la carretera a Yura del KM 52+00 al KM 62+00, es deficiente.			
¿Cuáles son las diferencias de los valores de la rugosidad calculada de la calzada utilizando aplicativos innovadores de la carretera a Yura del KM 52 al KM 62, distrito de Arequipa, 2023?	Identificar las diferencias de los valores de la rugosidad calculada de la calzada utilizando aplicativos innovadores de la carretera a Yura del KM 52+00 al KM 62+00, distrito de Arequipa, 2023.	Las diferencias de los valores de la rugosidad de la calzada utilizando aplicativos innovadores es similar para la carretera a Yura del KM 52+00 al KM 62+00, distrito de Arequipa, 2023.			

Anexo 2. Plano de ubicación de la carretera a Yura Tramo KM 52+00 al KM 62+00, Distrito de Arequipa, 2023

