



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Análisis del comportamiento funcional y estructural de la carretera Lamas –
Pamashto y Bellavista – Ledoy con tratamientos superficiales**

Tesis para optar el título profesional en Ingeniería Civil

AUTOR:

Roy Leandro Condezo Torres

ASESOR:

Ing. Máximo Alcibiades Vilca Cotrina

TOMO I

Tarapoto-Perú

2020

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL




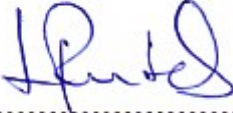
**Análisis del comportamiento funcional y estructural de la carretera Lamas –
Pamashto y Bellavista – Ledoy con tratamientos superficiales**

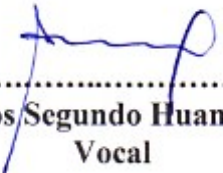
AUTOR:


Roy Leandro Condezo Torres

Sustentada y aprobada el 9 de setiembre del 2020, ante el honorable jurado:


.....
Ing. Vicente Juvenal Díaz Agip
Presidente


.....
Ing. Ivan Gustavo Reátegui Acedo
Secretario


.....
Ing. Carlos Segundo Huamán Torrejón
Vocal


.....
Ing. Maximo Alcibiades Vilca Cotrina
Asesor

Declaratoria de autenticidad

Roy Leandro Condezo Torres, con DNI N° 76699516, bachiller de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la tesis titulada: **Análisis del comportamiento funcional y estructural de la carretera Lamas – Pamashto y Bellavista – Ledoy con tratamientos superficiales.**

Declaro bajo juramento que:

- 1) La tesis presentada es de mi autoría.
- 2) La redacción fue realizada respetando las citas y referencias de las fuentes bibliográficas consultadas.
- 3) Toda la información que contiene la tesis no ha sido auto plagiado.
- 4) Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados, ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumimos bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de nuestro accionar, sometiéndonos a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 9 de Septiembre de 2020



.....
Roy Leandro Condezo Torres
DNI N° 76699516



Declaración Jurada

Roy Leandro Condezo Torres con DNI N° 76699516, domicilio legal Jr. Sargento Lorca 235 – 9 de Abril, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, **DECLARO BAJO JURAMENTO**, que todos los documentos, datos e información de la presente tesis y/o informe de ingeniería, son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual someto a lo dispuesto en las Normas Académicas de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 9 de Septiembre del 2020



.....
Roy Leandro Condezo Torres

DNI N° 76699516



Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	CONDEZO TORRES ROY LEANORO		
Código de alumno :	76697516	Teléfono:	936 909284
Correo electrónico :	condezotor@gmail.com	DNI:	76697516

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de:	Ingeniería Civil y Arquitectura.
Escuela Profesional de:	Ingeniería Civil

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	<input checked="" type="checkbox"/>	Trabajo de investigación	<input type="checkbox"/>
Trabajo de suficiencia profesional	<input type="checkbox"/>		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título :	Análisis del comportamiento funcional y estructural de la carretera Lamas - Pamashto y Bellausta Ledoy con tratamientos superficiales.
Año de publicación:	2020

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	<input checked="" type="checkbox"/>	Embargo	<input type="checkbox"/>
Acceso restringido **	<input type="checkbox"/>		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia **CREATIVE COMMONS**

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".



Firma y huella del Autor

8. Para ser llenado en el Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento.

06 / 01 / 2024



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - T.
Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e
Innovación de Acceso Abierto - UNSM-T.


Ing. M. Sc. Alfredo Ramos Perea
Responsable

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Dedicatoria

A mi tío; Nilton Torres por su gran apoyo que me ha brindado durante mi vida universitaria y por sus consejos

A mis padres; Ruperto Condezo y Araceli Torres por darme lo poco que tenían pero que siempre era necesario.

Agradecimiento

A mi asesor el Ing. Máximo Alcibiades Vilca Cotrina por brindarme sus conocimientos en esta etapa tan importante para mí.

A los docentes de la escuela de Ingeniería Civil por brindar sus grandes conocimientos durante toda mi vida universitaria ya que gracias a ellos me forjé como un buen profesional.

Índice General

Dedicatoria.....	vi
Agradecimientos.....	vii
Índice General.....	viii
Índice de Tablas.....	x
Índice de Figuras.....	xii
Resumen.....	xiii
Abstract.....	xiv
Introducción.....	1
CAPÍTULO I.....	2
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
1.1. Antecedentes de la investigación.....	3
1.1.1 Antecedentes Internacionales.....	3
1.1.2 Antecedentes nacionales.....	3
1.1.3 Antecedentes locales.....	7
1.2 Bases teóricas.....	7
1.2.1 Comportamiento funcional y estructural.....	7
1.2.2 Tratamientos superficiales.....	8
1.2.3 Definición de términos básicos.....	8
CAPITULO II.....	12
MATERIAL Y METODOS.....	12
2.1. Planteamiento del problema.....	12
2.1.2 Formulación del problema.....	12
2.3. Objetivos.....	13
2.3.1 Objetivo general.....	13
2.3.2 Objetivo Especifico.....	13
2.4 Justificación de la investigación.....	13
2.5. Hipótesis.....	13
2.6. Sistema de variables.....	14
2.7 Operacionalización de variables.....	15
2.8. Tipo y nivel de investigación.....	16
2.9. Diseño de investigación.....	16
2.10. Población y muestra.....	16

2.11 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	17
2.12 Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	19
2.13. Materiales y métodos.....	33
2.13.1 Materiales.....	33
2.13.2 Métodos.....	33
CAPITULO III.....	34
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
3.1 Resultados	34
3.2. Análisis de la carretera Lamas – Pamashto.....	34
3.2.1 Ubicación De La Zona De Estudio.....	34
3.2.2 Evaluacion Funcional.....	36
3.2.3Evaluacion estructural.....	43
3.3. Análisis de la carretera Bellavista – Ledoy.....	50
3.3.1 Ubicación De La Zona De Estudio.....	50
3.3.2 Evaluacion Funcional.....	52
3.3.3 Evaluacion estructural.....	56
3.4 Evaluación económica.....	58
3.5 Discusión de resultados.....	65
CONCLUSIONES.....	69
RECOMENDACIONES.....	70
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	71
ANEXOS	73
Anexo A: Panel fotográfico.....	75
Anexo B: Planos.....	78
Anexo C: Solicitud y documentos provistos de la entidad PEHCBM.....	104

Índice de tablas

Tabla 1: Operacionalización de variables.....	15
Tabla 2: Valores de IRI del tramo Lamas – Pamashto (2016) con Tratamiento Superficial Bicapa.....	36
Tabla 3: Valores de PSI con Tratamiento Superficial Bicapa (TSB) – 2016.....	37
Tabla 4: Resumen de parámetros funcionales del Tramo Lamas – Pamashto.....	38
Tabla 5: Valores del IRI del tramo Lamas – Pamashto (Noviembre 2017) con Tratamiento Superficial Bicapa.....	39
Tabla 6: Valores del IRI con Tratamiento Superficial Bicapa (TSB).....	40
Tabla 7: Valores del IRI del tramo Lamas – Pamashto (Agosto 2018) con Tratamiento Superficial Bicapa.....	41
Tabla 8: Valores del IRI con Tratamiento Superficial Bicapa (TSB) – Agosto 2018.....	42
Tabla 9: Valores del IRI del tramo Lamas – Pamashto (Septiembre 2018) con Slurry Seal.....	43
Tabla 10: Valores de PSI del tramo Lamas - Pamashto con Slurry Seal – Agosto 2018.....	44
Tabla 11: Valores del IRI del tramo Lamas – Pamashto con Slurry Seal- Noviembre 2018.....	45
Tabla 12: Valores de PSI con Slurry Seal – 2018.....	46
Tabla 13: Deflexiones por Tramo Homogéneo de Lamas – Pamashto.....	47
Tabla 14: Módulo Resiliente por Tramo Homogéneo	48
Tabla 15: Modulo Efectivo por Tramo Homogéneo.....	49
Tabla 16: Espesores del paquete estructural.....	50
Tabla 17: Numero Estructural por Tramo Homogéneo.....	51
Tabla 18: Cuadro resumen de parámetros funcionales y estructurales.....	52
Tabla 19: Valores de IRI con MERLIN del tramo Bellavista – Ledoy- Julio 2017.....	53
Tabla 20: Valores de IRI con MERLIN del tramo Bellavista – Ledoy- Enero 2018.....	54
Tabla 21: Valores de IRI con MERLIN.....	55
Tabla 22: Deflexiones por Tramo Homogéneo de Bellavista – Ledoy.....	56
Tabla 23: Modulo resiliente por tramo homogéneo.....	57
Tabla 24: Número Estructural por Tramo Homogéneo.....	58
Tabla 25: Partidas para la ejecución del tratamiento superficial bicapa.....	58
Tabla 26: Partidas para la ejecución de Slurry Seal.....	63

Tabla 27: Resumen de costos unitarios para cada partida de tratamiento superficial.....	63
Tabla 28: Costo de construcción con Tratamiento Superficial Bicapa por km.....	63
Tabla 29: Costo de construcción con Tratamiento Superficial Bicapa por km.....	64
Tabla 30: Comparación de costos de construcción para cada tipo de tratamiento superficial.....	64
Tabla 31: Cuadro resumen de valores de IRI de todas las mediciones hechas.....	68
Tabla 32: Cuadro resumen de valores de SN de todas las mediciones hechas.....	69

Índice de figuras

Figura 1: Formato para ensayo de rugosímetro MERLIN.....	18
Figura 2: Escala de rugosidad IRI (m/km).....	20
Figura 3: Índice de serviciabilidad.....	21
Figura 4: Índice de serviciabilidad Final (Pt) según rango de tráfico.....	22
Figura 5: Método de las diferencias acumuladas.....	24
Figura 6: Ejemplo de delimitación de secciones homogéneas.....	25
Figura 7: Distribución de diferencias acumuladas para el índice de rugosidad Lamas – Pamashto.....	26
Figura 8: Algoritmo del método de retroanálisis AASHTO 1993.....	28
Figura 9: Método de las diferencias acumuladas.....	31
Figura 10: Ejemplo de delimitación de secciones homogéneas.....	32
Figura 11: Imagen satelital de carretera Lamas – Pamashto.....	35
Figura 12: Sección típica del Pavimento.....	35
Figura 13: Valores del IRI con Tratamiento Superficial Bicapa (TSB) – 2017.....	37
Figura 14: Valores de PSI con Tratamiento Superficial Bicapa (TSB) – 2017.....	38
Figura 15: Distribución del módulo resiliente de la carretera Lamas – Pamashto.....	45
Figura 16: Valores del módulo equivalente de la carretera Lamas – Pamashto.....	46
Figura 17: Valores de Número estructural SN de Lamas – Pamashto.....	48
Figura 18: Imagen satelital de la carretera Bellavista – Ledoy.....	51
Figura 19: Sección de pavimento de carretera Bellavista – Ledoy.....	52
Figura 20: Distribución del IRI Tramo IV.....	53
Figura 21: Valores de serviciabilidad.....	55
Figura 22: Análisis de costo unitario de imprimación asfáltica	59
Figura 23: Análisis de costo unitario para el Tratamiento Superficial Bicapa – 1era capa.....	60
Figura 24: Análisis de costo unitario para el Tratamiento Superficial Bicapa – 2da capa.....	61
Figura 25: Análisis de costo unitario para mortero asfáltico (Slurry Seal E=10 mm).....	62
Figura 26: Valores de IRI de la carretera Lamas – Pamashto y Bellavista – Ledoy a 1 año de servicio.....	67
Figura 27: Evolución del IRI desde la primera medición hasta la última.....	68
Figura 28: Número estructural promedio de ambas carreteras.....	68

Resumen

El mantenimiento de las carreteras son claves para tener un grado de confort alto al manejar aunque es subjetivo y una forma de medir es mediante el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), con este índice calcularemos la serviciabilidad que nos dará en qué estado se encuentra la vía, otra forma sería viendo la capacidad estructural mediante la deflectometría. En el presente trabajo de investigación “Análisis del comportamiento funcional y estructural de la carretera Lamas – Pamashto y Bellavista – Ledoy con tratamientos superficiales, tiene como objetivo comparar a ambos tratamientos superficiales, siendo uno el tratamiento superficial bicapa y el otro tratamiento es el Slurry Seal; así mismo ver quien tiene mejor comportamiento funcional y estructural además de tener una análisis comparativo de costos de construcción de ambas carreteras. Para analizar el comportamiento funcional usaremos el Índice Internacional de Rugosidad (IRI), y para el comportamiento estructural mediante la deflectometría; gracias a esto podré realizar la comparación llegando a la conclusión de que el Slurry Seal tiene mejor comportamiento frente al tratamiento superficial bicapa(TSB).

Palabras clave: Comportamiento funcional. Comportamiento estructural, Índice Internacional de Rugosidad, Deflectometría, Tratamientos superficiales.

Abstract

Road maintenance is essential to have a high degree of comfort when driving, although it is subjective and one way to measure it is through the International Roughness Index (IRI), with this index the serviceability can be calculate that will give us in what state the road is; another way would be to look at the structural capacity through deflectometry. In the present research work "Analysis of the functional and structural behavior of the Lamas - Pamashto and Bellavista - Ledoy road with surface treatments," the objective is to compare both surface treatments, one being the two-layer surface treatment and the other being the Slurry Seal; likewise, to see which has better functional and structural behavior in addition to having a comparative analysis of construction costs of both roads. To analyze the functional behavior, the International Roughness Index (IRI) will be used, and for the structural behavior it will be through deflectometry; thanks to this it will be possible to compare reaching the conclusion that the Slurry Seal has better behavior against the two-layer surface treatment (TSB).

Keywords: Functional behavior. Structural behavior, International Roughness Index, Deflectometry, Surface treatments.



Introducción

Este proyecto de investigación, tiene como tema principal la comparación del comportamiento funcional y estructural de la carretera Lamas – Pamashto con tratamiento superficial bicapa (TSB) y de la carretera Bellavista – Ledoy con del mortero asfáltico Slurry Seal.

El lugar elegido para la siguiente investigación son las carreteras Lamas – Pamashto y Bellavista – Ledoy que cuentan con tratamientos superficiales distintos.

Para poder hacer posible este proyecto de tesis se contará con la utilización de materiales como estudios hechos posconstrucción además de la Norma AASHTO y los manuales de carreteras que publica el Ministerio de Transportes.

Esta investigación nos permitirá analizar cómo el tratamiento superficial se comporta frente a las cargas del tráfico diario, además de que se comparará el costo de construcción de ambos tratamientos para ver cuál es el más eficiente en costo y serviciabilidad.

CAPITULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Antecedentes de la investigación

1.1.1 Antecedentes Internacionales

(**AASHTO 93**), El American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), es un organismo que establece diversos tipos de normas que publica para luego ser utilizadas en el diseño y la construcción de autopistas en todo Estados Unidos y en el Mundo. A pesar de su nombre, la asociación representa no solo carreteras, sino también transporte aéreo, ferroviario, acuático y público. Ésta norma nos ayudará a ver los parámetros, fórmulas que existen para la ejecución de la presente investigación.

1.1.2 Antecedentes Nacionales

(**Comunicaciones, 2014**), el Ministerio de Transporte y Comunicaciones desarrolló un manual para que el diseñador Peruano pueda ver los criterios homogéneos que proporciona éste en materia de suelos y pavimentos que faciliten la aplicación en el diseño de las capas superiores y de la superficie de rodadura en carreteras no pavimentadas y pavimentadas, en ella encontraremos cuadros, parámetros, recomendaciones, fórmulas para el diseño y construcción de pavimentos en todo el Perú.

(**Instituto de la Construcción y Gerencia, 2006**), el Instituto de la Construcción y Gerencia es un instituto que recopila información de diversas fuentes, en este caso es el libro Gestión de Infraestructura Vial, donde nos habla de cómo gestionar, evaluar, analizar los pavimentos; además de software que sirven para la recolección de datos y tener un mejor desempeño.

(**Cóndor Alfaro, 2016**), en su tesis titulada “Tratamiento Superficial Bicapa Con Emulsión Asfáltica de La Carretera Valle Yacus Provincia de Jauja – Región Junín 2015” donde nos habla sobre la problemática: ¿De qué manera influye la aplicación de emulsión asfáltica como tratamiento superficial bicapa en la conservación de carreteras no pavimentadas, Valle Yacus, Provincia de Jauja – Región Junín?, siendo el objetivo general, determinar si la aplicación de emulsión asfáltica como tratamiento superficial bicapa influye

en la conservación de carreteras no pavimentadas, Valle Yacus, Provincia de Jauja – Región Junín, con la hipótesis que: la aplicación de emulsión asfáltica como tratamiento superficial bicapa, influye significativamente en la conservación de carreteras no pavimentadas, Valle Yacus, Provincia de Jauja – Región Junín. El propósito de la investigación es que en base a los resultados obtenidos se propondrá sugerencias para mejorar la problemática encontrada en la unidad de análisis.

Se seleccionó en forma aleatoria una población de 60 personas, con una muestra no probabilística intencional o criterial, con un grupo de 36 encuestados. El método de investigación es el cualitativo; con un diseño de investigación: Correlacional – Demostrativo - Aplicativo, se trabajará teniendo en cuenta la aplicación de una encuesta y la información recopilada de la carretera Valle Yacus, Provincia de Jauja – Región Junín. Las principales conclusiones aprioris son: la aplicación de emulsión asfáltica como tratamiento superficial bicapa, influye significativamente en un 75% en la conservación de carreteras no pavimentadas, Valle Yacus, Provincia de Jauja – Región Junín. La aplicación de una metodología y diseño adecuado de la emulsión asfáltica como tratamiento superficial bicapa, permite elevar en un 32% el nivel de serviciabilidad de las vías de la carretera Valle Yacus, Provincia de Jauja – Región Junín.

(Vergara Vicuña, 2015), realizó su tesis de pregrado “Evaluación del estado funcional y estructural del pavimento flexible mediante la metodología tramo Quichuay – Ingenio del Km 0+000 al Km 1+000 2014”, donde presenta la metodología de inspección visual de calificación de estado del pavimento. Esta es la metodología PCI (Índice de condición del Pavimento) quizás la más recomendada por su objetividad, un kilómetro de carretera ha sido estudiada a detalle con dicha metodología para calificar el estado de la vía. De acuerdo al análisis podemos determinar el estado real del pavimento, las fallas más perjudiciales para dicho estado y teniendo el valor del PCI es posible determinar el tipo de mantenimiento y rehabilitación (M&R) menos costoso y más eficiente, con eso el pavimento lograría un buen estado para brindar comodidad y seguridad a los usuarios que es su principal función. Como conclusión se tiene que el 36 % de las unidades de muestra inspeccionadas presentan un estado de pavimento malo (PCI entre 25 y 40); un 25% se encuentra en estado muy malo (PCI entre 10 y 25) y un 7% de unidades en buen estado (PCI entre 55 y 70). Tomando todas las unidades de muestra se calculó el PCI promedio del Km 0+000 al Km1+000, lo cual fue 35 y de acuerdo a su escala todo el kilómetro se encuentra en estado malo.

Las fallas superficiales o funcionales representan un 21% un valor bajo en comparación a

las fallas estructurales 79%, estas fallas que como ya vimos son las que abarcan mayor área, entonces podemos decir que los daños producidos por las fallas funcionales no lo determina un área considerable sino que para que produzca un daño importante debe ser una falla de nivel de severidad alta.

(Hirpahuanca Laura, 2016), realizó la tesis de pregrado “Determinación y comparación de la regularidad superficial del pavimento de la carretera Cusco-Urcos, usando teléfonos inteligentes y el rugosímetro de MERLIN-2016”, donde se ha investigado el porcentaje de similitud que existe, entre los resultados de la medición de la regularidad superficial del pavimento de la carretera Cusco – Urcos; usando la aplicación Roadroid con respecto al Rugosímetro MERLIN, la diferencia de los resultados obtenidos, las ventajas de usar la aplicación Roadroid con respecto al Rugosímetro MERLIN, la serviciabilidad del pavimento, y la comparación de la regularidad superficial de ambos carriles.

Ambos equipos miden la regularidad superficial de pavimentos, pero la aplicación Roadroid se presenta como una herramienta nueva e innovadora en el mercado y el Rugosímetro de MERLIN es un equipo ampliamente conocido y usado en nuestra Región y según el Banco Mundial se caracteriza por ser uno de los equipos más precisos y recomendado para calibrar otros equipos.

Para llevar a cabo esta investigación, se midió la regularidad superficial de la carretera Cusco - Urcos usando la aplicación Roadroid y el Rugosímetro de MERLIN, luego se realizó el procesamiento de datos para obtener los resultados y su posterior análisis.

Conclusión: Se llegó a la conclusión de que los resultados obtenidos con la aplicación Roadroid tiene una similitud del 89% con respecto al Rugosímetro de MERLIN. Por lo tanto, la aplicación Roadroid es una herramienta que puede ser usada para determinar la regularidad superficial de pavimentos debido a que proporciona datos de la regularidad superficial en forma eficiente, es decir que se pueden estudiar tramos más grandes en poco tiempo y con menos recursos y lo mejor que no necesita tiempo para el procesamiento de datos a comparación del Rugosímetro de MERLIN que es un equipo de bajo rendimiento tanto para la toma de datos como para su procesamiento.

(Apolinario Morales, 2012), en su tesis de pregrado “Innovación del método Vizir en estrategias de conservación y mantenimiento de carreteras con bajo volumen de tránsito”

presenta una propuesta para la evaluación de la condición superficial de pavimentos, en carreteras de bajo volumen de tránsito, basado en una modificación del método VIZIR que no es muy difundido en nuestro medio, como ocurre en otros países de Europa, África, América Central y del Sur, donde sirvió de base para el establecimiento de normas nacionales. Además que presenta una alternativa para la evaluación de la condición superficial de pavimentos en carreteras de bajo volumen de tránsito, denominado ESBVT, en donde no se excluye ningún tipo de manifestación de deterioro del pavimento, considerando que son indicadores que presenta el pavimento y que deben usarse para tomar decisiones.

Conclusión: El método VIZIR es un buen indicador de la condición superficial del pavimento; sin embargo aplicado a pavimentos básicos, califica con bajo índice de deterioro, lo que significa que el pavimento sería intervenido cuando ya está muy deteriorado, donde los costos de mantenimiento y rehabilitación son más elevados. Con la finalidad de definir oportunamente los límites a partir de los cuales se debe materializar alguna acción de conservación del pavimento básico, se propone el método denominado “Evaluación de la condición superficial del pavimento en carreteras de bajo volumen de tránsito” ESBVT.

(Pineda, 2015), en su tesis de pregrado “Análisis Superficial de Pavimentos para el Mantenimiento De Vías en la Región de Puno ” habla sobre el estudio que se realizó donde define un diagnóstico detallado de los daños sufridos por varios proyectos de pavimentos flexibles en la región de Puno, fue necesario realizar una inspección minuciosa de las vías a evaluar, en la que se evidencia deterioros en la superficie de rodadura de nivel de severidad baja, media y alta en algunos casos, lo que justifico elaborar la identificación, clasificación y monitoreo de las fallas superficiales encontradas.

La mayoría de las carreteras mantenidas y rehabilitadas, se han deteriorado prematuramente disminuyendo la condición y el nivel de serviciabilidad del pavimento, demandando trabajos correctivos y complementarios antes de lo previsto. Las causas están referidas al tráfico proyectado de forma inadecuada, mala valoración de la sub-rasante, condiciones de drenaje, condiciones ambientales no consideradas, entre otras.

La región Puno, cuenta con variedad de diseños en pavimentos flexibles, que en su mayoría no han cumplido con el ciclo de vida para el cual fueron diseñados. Por ello es importante la conservación a través de mantenimiento rutinario, periódico y/o rehabilitación de las vías, que permitirán brindar a los usuarios seguridad, comodidad y menor tiempo de

transporte. De esta manera se logrará mejorar notablemente el nivel de servicio de las vías.

(David, 2016), realizó una tesis “Medición y comparación de la rugosidad en pavimentos de la ciudad de Huánuco: mediante Smartphone y un método tradicional” donde nos habla el uso de la aplicación Roadroid para determinar la condición de las calzadas de las carreteras de la ciudad de Huánuco y sus alrededores, resaltando sus ventajas y comparando los resultados proporcionados con la condición observada en campo. Se determinó que las calzadas de Huánuco tienen un IRI promedio de 5.96; la carretera “la colectora”, un IRI de 6.6; y la carretera central tramo Huánuco – Tingo María, un IRI de 5.85. Mientras que las calzadas de las carreteras al aeropuerto y a la cueva de las lechuzas tienen un IRI promedio de 1.64 y 1.8 respectivamente. Asimismo, se determinó que el cIRI y el eIRI se asemejan y tienen una relación lineal a partir de velocidades mayores o iguales a 67 Km/h. Por último, se observó que el Roadroid proporciona valores de eIRI y cIRI parecidos al IRI obtenido utilizando mira y nivel, pero con un rendimiento superior, llegó a las siguientes conclusiones:

A partir de los resultados mostrados se puede concluir que en la ciudad de Huánuco, la mayor parte las calzadas presentan desgaste e irregularidades, por lo que su IRI es elevado (5.96). Esto se puede explicar debido a que el clima es más agresivo en comparación a otras ciudades del país. En temporadas de lluvias, estas suelen desgastar el pavimento e incrementar el IRI con el paso del tiempo.

Lo mismo sucede con sus alrededores, como en el caso de la carretera “la colectora” y la carretera central (tramo Huánuco-Tingo María). Ambas presentaron un IRI elevado (6.6 y 5.85 respectivamente), ocasionado por las lluvias y los Huaycos, que tienden a ser un problema que suele ocurrir cada año, ocasionando daños a la carreteras, por lo que encontrar desgastes e imperfecciones superficiales mientras se recorre estas calzadas suele ser común.

En el caso de la carretera al aeropuerto y la carretera a la cueva de las lechuzas, en ambas se realizaron trabajos de mantenimiento recientemente, por lo que encontrar un IRI bajo (1.64 y 1.8 respectivamente) era de esperarse. Cabe recalcar que en el caso de la carretera al aeropuerto se consideró el valor de 1.64, pues este valor se obtuvo despreciando los rompemuelleres y badenes, los cuales tienen una gran influencia en los resultados finales y no son factores a considerar para el cálculo del IRI, pues no son irregularidades ni imperfecciones superficiales de las calzadas.

Se demostró que el roadroid proporciona valores parecidos a los que se obtiene usando mira y nivel, pero de manera mucho menos compleja. También se puede aseverar que el roadroid no tiende a incrementar demasiado el IRI producto de las variaciones de pendiente ni al inicio de la recolección de datos, por lo que sería más ventajoso usarlo en carreteras con pendiente variable y en tramos largos. De igual manera, las horas hombre empleadas con el roadroid son mucho menores a las empleadas usando mira y nivel, por lo que el rendimiento de este programa es mejor. Además, se observó que el IRI obtenido a partir de datos recolectados con mira y nivel tiende a estabilizarse y se parecen a los valores obtenidos con roadroid.

(Bardales, 2001), en su tesis de pregrado sobre “Evaluación superficial del pavimentado de la carretera Lamas-Cacatachi”, hablo sobre cómo tratar de evaluar las condiciones de transitabilidad en la que se encuentra la carretera Lamas-Cacatachi, por considerar esta vía muy importante para la comunicación y transporte de la ciudad de Lamas. Se utilizó un método aplicable de bajo costo, denominado “Distress” la cual nos permitiría asignar valores de PCI (Índice de Condición de Pavimento), y con ello plantear las tareas de mantenimiento de acuerdo a los que asigne el método. La investigación se hizo en dos partes, un trabajo de campo y otro de gabinete para encontrar el valor de PCI del pavimento, la cual se hace en tablas que el método sugiere con lo que se llega a un valor (PCI), esto permitirá plantear los trabajos de mantenimiento.

1.2 Bases teóricas

1.2.1 Comportamiento funcional y estructural

El comportamiento funcional consiste en evaluar el grado de confort y seguridad que ofrece la vía al usuario.

El comportamiento o evaluación estructural consiste en determinar la capacidad de soporte del sistema Pavimento sub rasante en una determinada estructura vial existente, en cualquier momento de su vida útil. (Apolinario Morales, 2012)

1.2.2 Tratamientos superficiales

Es una técnica de pavimentación cuyo objetivo es dotar a las carreteras de ciertas características superficiales (textura, impermeabilidad, etc.) sin el aumento directo y apreciable de la capacidad resistente. Básicamente brinda una cubierta impermeable la superficie existente de la vía y resistencia a la acción abrasiva del tránsito. (Apolinario Morales, 2012)

Los tratamientos superficiales cumplen funciones como:

- Proveer una superficie económica y duradera para caminos con bases granulares que tienen tránsitos ligeros y de mediano volumen.
- Prevenir la penetración superficial de agua en bases granulares y pavimentos viejos que han comenzado a desintegrarse con el tiempo.
- Proporcionar una capa de rodadura de pequeño espesor, como alta resistencia al desgaste, evitando la emisión de polvo.
- Proporcionar un revestimiento antideslizante, evitando la pérdida de material grueso y formación de baches. (Apolinario Morales, 2012)

1.3 Definición de términos básicos.

Bache: Depresión que se forma en la superficie de rodadura producto del desgaste originado por el tránsito vehicular y la desintegración localizada.

Base Granular: Es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como principal función de sostener, distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito. Esta capa será de material granular ($CBR \geq 80\%$) o tratada con asfalto, cal o cemento. A su vez esta capa debe ser de mejor calidad y granulometría que la sub-base.

Carpeta asfáltica: Es la capa superior del pavimento flexible y es colocada sobre la base granular con la finalidad de sostener directamente el tránsito. Asimismo es la capa de mejor calidad debido a que debe ofrecer características como fricción, suavidad, control de ruido y drenaje.

Emulsión asfáltica: Son una mezcla de asfalto con agua y emulsificante.

Fisuras: Fractura fina, por lo general con un ancho igual o menor a 3mm.

Grietas: Fractura, de variados orígenes, con un ancho mayor a 3mm, pudiendo ser en forma transversal o longitudinal al eje de la vía.

Hinchamiento: Abultamiento o levantamiento localizado en la superficie del pavimento, generalmente en la forma de una onda que distorsiona el perfil de la carretera.

Hundimiento: Depresión o descenso de la superficie del pavimento en un área localizada.

IRI: Índice Internacional de Rugosidad.

Mantenimiento periódico: Son conjunto de actividades que son realizadas de manera planificadas cada cierto tiempo, ya sea mensuales, cada 6 meses o anuales para apreciar el estado en que se encuentra la vía y así programar soluciones si es que presentase alguna falla el pavimento.

Mantenimiento rutinario: El mantenimiento rutinario es el conjunto de actividades que se ejecutan permanentemente a lo largo del camino y que se realizan diariamente en los diferentes tramos de la vía. Tiene como finalidad principal la preservación de todos los elementos del camino con la mínima cantidad de alteraciones o de daños y, en lo posible conservando las condiciones que tenía después de la construcción o la rehabilitación. Debe ser de carácter preventivo y se incluyen en este mantenimiento las actividades de limpieza de las obras de drenaje, el corte de la vegetación y reparaciones de defectos que presente la plataforma de la vía.

Mezcla asfáltica en caliente: Son producidos por el calentamiento del aglutinante asfáltico, lo que disminuye su viscosidad, y permite mezclar el material con el agregado de áridos.

Módulo de resiliencia: Indica que tan rígido es un material bajo carga cíclica del tipo resiliente.

Periodo de diseño: Es el tiempo total para el cual se diseña un pavimento en función de la proyección del tránsito y el tiempo que se considere apropiado para que las condiciones del entorno se comiencen a alterar desproporcionadamente.

PSI: Índice de serviciabilidad que mide el grado de confort de una vía.

Rugosímetro Merlín: MERLIN(Machine for Evaluating Roughness using Low cost Instrumentation) es un equipo utilizado para la medición de la rugosidad de los pavimentos, desarrollado durante la década de los 80 y dado a conocer en 1990 por la unidad de ultramar del Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos (TRRL). El MERLIN es un equipo de tecnología intermedia que fue diseñado para ser difundido en los países en vías de desarrollo, por las ventajas de su bajo costo de fabricación y por la gran exactitud de los resultados que proporciona.

Serviciabilidad: Se define como la capacidad, que tiene el pavimento de una vía, de proporcionar un uso seguro y confortable al usuario. La AASHTO clasifica la serviciabilidad de un pavimento de 0 a 5, siendo 0 una calidad muy pobre y 5 una calidad excelente. A esta clasificación se denomina el índice de serviciabilidad actual (ISA) y tiene la gran desventaja de ser una medida subjetiva, pues varía de un usuario a otro.

Rugosidad: Se define como la irregularidad longitudinal que tiene un pavimento, la cual tiene un efecto directo en el deterioro y en los usuarios de las carreteras. El Banco Mundial propuso una medida de la rugosidad denominada el índice de rugosidad internacional (IRI), cuyo rango va de 0 (un pavimento ideal, sin ninguna imperfección) hasta 12 (una carretera completamente intransitable). Este parámetro, ampliamente usado permite medir la regularidad superficial de los pavimentos a partir de la sumatoria, en valor absoluto, de los desplazamientos verticales a lo largo de un tramo, dividido entre la longitud del mismo.

Singularidades: Singularidad es “Cualquier alteración del perfil Longitudinal del camino que no provenga de fallas constructivas y que incremente el valor del IRI en el tramo en que se encuentra. Entre ellas se pueden citar puentes, badenes, tapas de alcantarillas, cuñas, cruces de calles y otras, que por diseño geométrico alteren el perfil del camino”.

Slurry Seal: Es una aplicación de espesor delgado, de aproximadamente 1 a 1.5 veces el tamaño máximo de agregado utilizado. Estas lechadas pueden o no ser modificadas con polímeros. Si son modificadas, generalmente la modificación se realiza mediante un látex cuya función es ayudar a crear resistencia temprana a los esfuerzos y aumentar su flexibilidad. Incrementando el punto de ablandamiento de la carpeta. Las mezclas para este tipo de aplicación están basadas en agregados de pequeño tamaño y limitadas a un tamaño máximo aproximado de 8mm.

Sub rasante: Es la capa más profunda de toda la estructura que conforman al pavimento. Estos suelos pertenecientes a la sub rasante serán adecuados y estables con CBR igual o mayor a 6%. En el caso que sea menor (sub rasante pobre o inadecuada), corresponde estabilizar los suelos, para lo cual se tendrá que analizar alternativas de solución, como la estabilización mecánica, el reemplazo de suelo, estabilización química de suelo, estabilización con geo-sintéticos, entre otros, eligiendo la alternativa más conveniente en cuanto a lo técnico y económico. Se apoya sobre el terreno natural de fundación.

Sub base: Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse. Esta capa puede ser de material granular ($CBR \geq 40\%$) o tratada con asfalto, cal o cemento.

Tratamiento Superficial Bicapa: Su espesor aproximado es de 20 a 25 mm (Tamaño Máximo del agregado de la 1ª aplicación). Se utilizan principalmente en la construcción de calzadas, en obras de mejoramiento de estándar de caminos con volúmenes de tránsito medianos a ligeros. En algunos casos los DTS se emplean como revestimiento de bermas en carreteras de alto tránsito.

Vida útil: Es aquel tiempo que transcurre entre la construcción del mismo y el momento en que alcanza el mínimo de serviciabilidad.

CAPITULO II

MATERIALES Y METODOS

2.1. Planteamiento del problema

Existen diversos tratamientos superficiales, uno de ellos es el Tratamiento Superficial Bicapa (TSB) y otro el Slurry Seal, estos tratamientos se vienen usando en carreteras de bajo volumen de tránsito en la región de San Martín – Perú. Es aquí donde nos preguntamos porque las entidades que les compete la construcción de estos así como el mantenimiento rutinario y periódico usan distintos tipos de tratamientos superficiales siendo ésta región de un clima no tan variable.

Ésta investigación nos permitirá diferenciar los dos tratamientos superficiales, es decir se evaluará la capacidad estructural y funcional de la vía con ensayos no destructivos, además constatar de que tratamiento es más económico al construir. De ésta manera se sabrá si el Tratamiento Superficial Bicapa es mucho más viable que el Slurry Seal o viceversa.

El lugar donde se realizará la investigación será en las Carreteras Lamas – Pamashto y Bellavista – Ledoy; desde que se construyeron el tráfico aumentó de manera rápida, entonces las cargas que soportan los pavimentos son constantes esto sumado al cambio de temperatura y al periodos de lluvias, ocasionan desperfectos tempranamente generando así un grado de confort bajo para el usuario, es por ello que se necesita un mantenimiento constante para que de tal manera podamos mantener la vía en buen estado.

El comportamiento estructural y funcional de la carretera Lamas – Pamashto es totalmente distinta a la de la Carretera Bellavista – Ledoy porque ambas tienen distintos tratamientos superficiales, pero nuestro objetivo es elegir la mejor opción para que las entidades empiecen a brindar vías con buena serviciabilidad y duraderas con un gasto adecuado.

2.2. Formulación del problema

¿Cómo se comporta funcional y estructuralmente la carretera Lamas – Pamashto y Bellavista – Ledoy con tratamientos superficiales?

2.3 Objetivos

2.3.1 Objetivo General

- Analizar el comportamiento funcional y estructural de la carretera Lamas – Pamashto y Bellavista – Ledoy con tratamientos superficiales.

2.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar el comportamiento funcional y estructural de la carretera Lamas – Pamashto con Tratamiento Superficial Bicapa.
- Determinar el comportamiento funcional y estructural de la carretera Bellavista - Ledoy con mortero asfáltico Slurry Seal.
- Comparar el comportamiento funcional y estructural de la carretera Lamas – Pamashto y Bellavista – Ledoy.
- Comparar costos de mantenimiento de construcción de las carreteras Bellavista – Ledoy y Lamas – Pamashto con tratamientos superficiales.

2.4 Justificación De La Investigación

La presente investigación se enfocará en la evaluación estructural y funcional del tratamiento superficial de las carreteras Lamas – Pamashto y Bellavista – Ledoy con la finalidad de determinar cuál de éstas es más eficiente en costo y serviciabilidad.

La información recopilada servirá como aporte a la entidad del gobierno regional que tiene como ejecutor a los proyectos especiales, para que éstas uniformicen el uso de tratamientos superficiales y así los fondos sean utilizados de la mejor manera; además gracias a éste estudio podremos saber si ésta brinda un grado de confort aceptable y para planificar si los tratamientos necesitan un mantenimiento rutinario.

2.5 Hipótesis

El comportamiento estructural y funcional de la carretera Lamas – Pamashto es más eficiente que la carretera Bellavista – Ledoy.

2.6. Variables

2.6.1 Independientes

Tratamientos Superficiales (T)

2.6.2 Dependiente

Comportamiento funcional y estructural (C)

2.7 Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

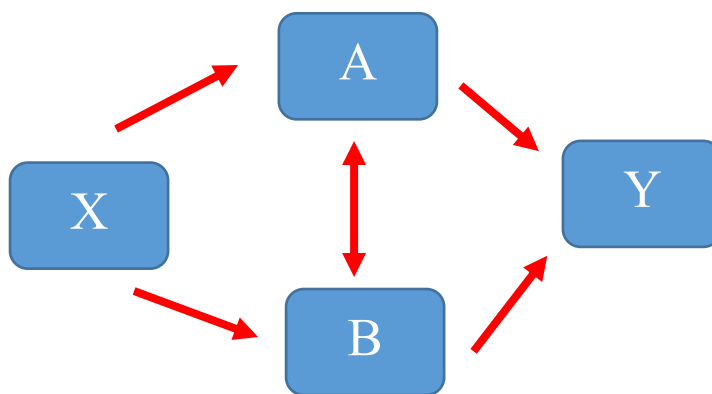
VARIABLE	DIMENSION	INDICADORES	INSTRUMENTO	ESCALA	CATEGORIA
Comportamiento funcional y estructural (C)	Rugosidad	Determinación del IRI usando método no destructivo.	Rugosímetro MERLIN, Perfilómetro láser, formato de registro de datos.	Nominal Dicotómica	Excelente Buena Regular Mala Intransitable
	Deflectometría	Determinación de la deflectometría usando método no destructivo.	Viga Benkelman y formato de registro de datos.	Nominal Dicotómica	Buena Regular Mala
Tratamientos superficiales (T)	Tratamiento Superficial Bicapa y Slurry Seal	Costo de construcción.	Investigación de precios y análisis de precios unitarios	Nominal Dicotómica	Buena Regular Malo

2.8 Tipo y nivel de investigación

Este proyecto de investigación es no experimental de tipo transversal, transversal porque en ella se determinarán parámetros de rugosidad y deflectometría para luego ser comparados para cada tratamiento superficial, no experimental porque realizaremos la manipulación de información de forma libre.

2.9 Diseño de investigación

Esta investigación es experimental y se realizará en campo y gabinete.



X: Rugosidad y deflectometría de cada carretera

A: Técnicas para el cálculo de la rugosidad

B: Técnicas para el cálculo de la deflectometría

Y: Grado de confort que brinda la vía al usuario

2.10 Población y muestra

2.10.1 Población

Las carreteras con tratamientos superficiales de la región San Martín.


4.3.2 Muestra

La carretera de Lamas – Pamashto con tratamiento superficial bicapa y la carretera Bellavista – Ledoy con Slurry Seal .


2.11 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En la presente investigación se realizó las siguientes instrumentos usados para la realización de la tesis:

- Ensayos: Se hizo el ensayo de rugosidad con el rugosímetro Merlin y el perfilómetro láser que cumplen la función de medir la rugosidad también se realizó el ensayo de deflectometría con el FWD y con datos del CBR.
- Se revisó información en libros, manuales, referencias y tesis teniendo en comun el tema elegido; además de hacer el uso del Internet ya que es una herramienta que brinda mucha ayuda e información.
- Se solicitó información a la entidad Proyecto Especial Huallaga Central y Bajo Mayo (PEHCBM) para que facilite la información de los estudios realizados anteriormente.
- Se usó plantillas para cada ensayo realizado además de un registro de fotografías entre otros.



**"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO FUNCIONAL Y ESTRUCTURAL DE LA
CARRETERA LAMAS - PAMASHTO Y BELLAVISTA - LEDOY CON
TRATAMIENTOS SUPERFICIALES"**



FORMATO DE ENSAYO RUGOSIMETRO MERLIN

Carretera:	Ensayo N° :
Sector:	Km:
Fecha:	Progresiva:
Hora:	

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tipo de Pavimento	
1											Afirmado	
2											Base granular	
3											Base Imprimada	
4											Tratamiento bicapa	
5											Carpeta en frio	
6											Carpeta en caliente	
7											Recapeo asfáltico	
8											Sello	
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												

Figura 1: Formato para ensayo de rugosímetro MERLIN. (Fuente: Elaboración propia)

2.12 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Se usó plantillas en lo cual se registró todas las lecturas dadas por los equipos para la realización de los ensayos, se empleó el uso del programa Microsoft Excel 2013 en él haremos formatos digitales para clasificar, registrar, procesar y analizar los distintos datos recopilados hechos en campo pero con ayuda de la teoría que se obtuvo de distintas fuentes.

Para el análisis de datos se hizo gráficos con la información recopilada para analizar la rugosidad que presentan ambas carreteras y también para la deflectometría.

2.12.1 Análisis funcional mediante el Índice Internacional De Rugosidad (IRI)

Este parámetro sirve para medir la rugosidad que presenta un pavimento. A diferencia del ISA el IRI no es subjetivo, pues se obtiene a partir de mediciones realizadas en campo con equipos y metodologías especialmente diseñados para medir los desplazamientos verticales (en milímetros, metros o pulgadas) de la masa superior con respecto a la masa inferior de un modelo de vehículo, cuando este viaja a 80 Km/h, en un tramo seleccionado. El cálculo matemático del IRI está basado en la acumulación de estos desplazamientos en valor absoluto, el cual se divide entre la distancia del tramo seleccionado (en metros, kilómetros o millas). (David, 2016)

EL IRI, en un punto de una carretera, se define como el cociente entre el desplazamiento relativo acumulado por la suspensión del vehículo tipo y la distancia recorrida por dicho vehículo. Se expresa en milímetro por metro o metro por kilómetro. Valores inferiores a 2mm/m representa una buena regularidad superficial incluso para carreteras de alta velocidad de circulación; por el contrario, para carreteras secundarias, con velocidad de proyecto en torno a los 60 km/h, puede bastar con que el IRI sea inferior a 5mm/m. (Kraemer, 2004)

A continuación se presenta un gráfico (traducido y adaptado de “Guidelines for conducting and calibrating road roughness measurements”, Sayers M.W., Gillespie T.D., Paterson W.D; World Bank Technical Paper Number No 46, 1986), donde se muestra escalas de rugosidad para distintos tipos de pavimento y condición.

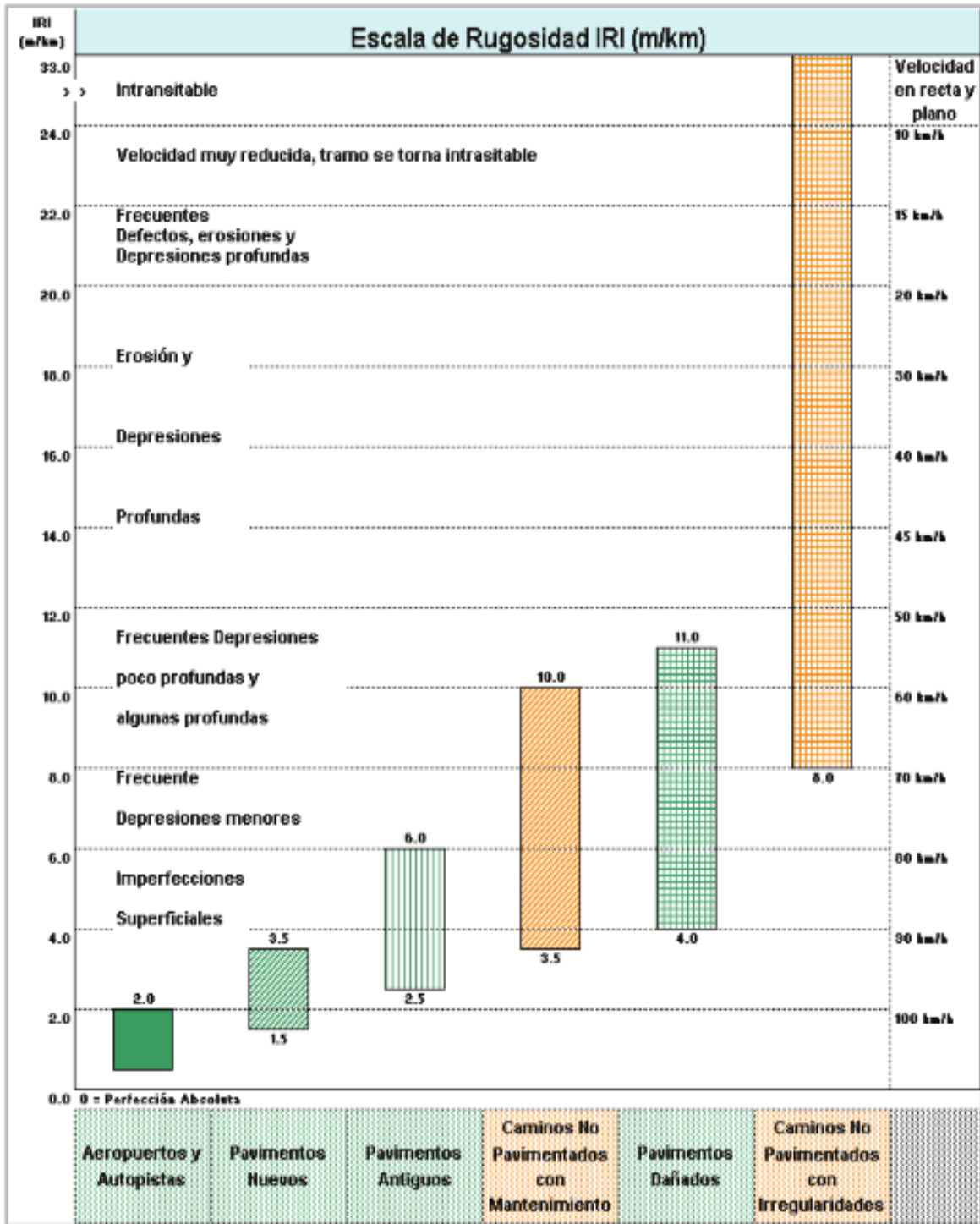


Figura 2: Escala de Rugosidad IRI (m/km). (Fuente: Manual de Carreteras (MTC – 2014))

2.12.2 Relación entre PSI e IRI

$$IRI = 5.5 \ln (5.0/PSI)$$

IRI: Rugosidad, IRI (International Roughness Index)

PSI: Índice de Serviciabilidad Presente

Índice de Serviciabilidad	Calidad
5	
4	Muy Buena
3	Buena
2	Regular
1	Mala
0	Pésima

Figura 3: Índice de serviciabilidad. (Fuente: Manual AASHTO 1993)

2.12.3 Serviciabilidad Final o Terminal (Pt)

La serviciabilidad final es la condición de una vía que ha alcanzado la necesidad de algún tipo de rehabilitación o reconstrucción.

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		INDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL (Pt)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T _{P1}	150,001	300,000	2.00
	T _{P2}	300,001	500,000	2.00
	T _{P3}	500,001	750,000	2.00
	T _{P4}	750,001	1,000,000	2.00
Resto de Caminos	T _{P5}	1,000,001	1,500,000	2.50
	T _{P6}	1,500,001	3,000,000	2.50
	T _{P7}	3,000,001	5,000,000	2.50
	T _{P8}	5,000,001	7,500,000	2.50
	T _{P9}	7,500,001	10'000,000	2.50
	T _{P10}	10'000,001	12'500,000	2.50
	T _{P11}	12'500,001	15'000,000	2.50
	T _{P12}	15'000,001	20'000,000	3.00
	T _{P13}	20'000,001	25'000,000	3.00
	T _{P14}	25'000,001	30'000,000	3.00
	T _{P15}		>30'000,000	3.00

Figura 4: Índice de Serviabilidad Final (Pt) Según Rango de Tráfico. (Fuente: Manual de Carreteras (MTC – 2014))

2.12.4 Procedimiento de cálculos del IRI usando el perfilómetro láser RSP

Las mediciones del IRI se llevaron a cabo de manera continua, en cada carril de circulación del tramo vial, con el fin de calcular valores de IRI promedio en secciones de 20 m por carril, eliminando los valores de rugosidad en pavimento rígido, badenes y en proximidades a puentes y/o singularidades.

Posteriormente se realizó el cálculo de la media deslizando cada 100m en un entorno de 1km, es decir, tomando los 10 valores que conforman el kilómetro. La técnica de la media

deslizante construye nuevas series a partir de la media de un número determinado de datos en la que se va añadiendo sucesivamente un dato nuevo y quitando, al mismo tiempo, el más antiguo de los datos incluidos en la media anterior; para el presente estudio, se realizó a partir de la media de 10 datos que conforman un kilómetro.

El IRI con la media deslizante se obtuvo por medio de la siguiente fórmula, aproximando su valor a un décimo de metro por kilómetro:

$$M_t = \frac{y_t + y_{t-1} + \dots + y_{t-s+1}}{s}$$

Para el procesamiento de información el perfilómetro láser recolecta en su formato original, para poder hacer el análisis respectivo debemos transformar a un formato excel.

Para poder hacer la medición del IRI se tuvo que sectorizar de acuerdo a sus características como espesores, material de fundación.

2.12.5 Singularidades

Las singularidades que se presenta durante todo el trayecto han sido: baches, badenes, puentes, pontones, pendientes fuertes. Estas singularidades provocan la variación del perfil por lo tanto en el proceso de información generaría diferentes resultados, estas singularidades no permite el estudio continuo de la recolección de datos.

2.12.6 Sectorización para La evaluación funcional

Los sectores de calzada homogéneos son aquellos que presentan un patrón similar en su comportamiento en términos de sus características ingenieriles tales como las propiedades de las capas del pavimento, espesores, niveles de deterioro, características del material de fundación, etc.

La sectorización del corredor se realizó mediante el procedimiento de diferencias finitas acumuladas, cuyo principio básico parte del hecho matemático que cuando la variable Zx (Diferencia entre el área bajo la curva de respuesta a cualquier distancia y el área total

desarrollada por la respuesta promedio de todo el proyecto hasta la misma distancia), se grafica como función de la distancia a lo largo del proyecto, los límites de los tramos homogéneos ocurren en los puntos donde cambia la pendiente de la línea que representa la variación de Z_x con la longitud. A partir de la metodología descrita, la Figura 3 presenta una sectorización sólo a nivel de ejemplo.

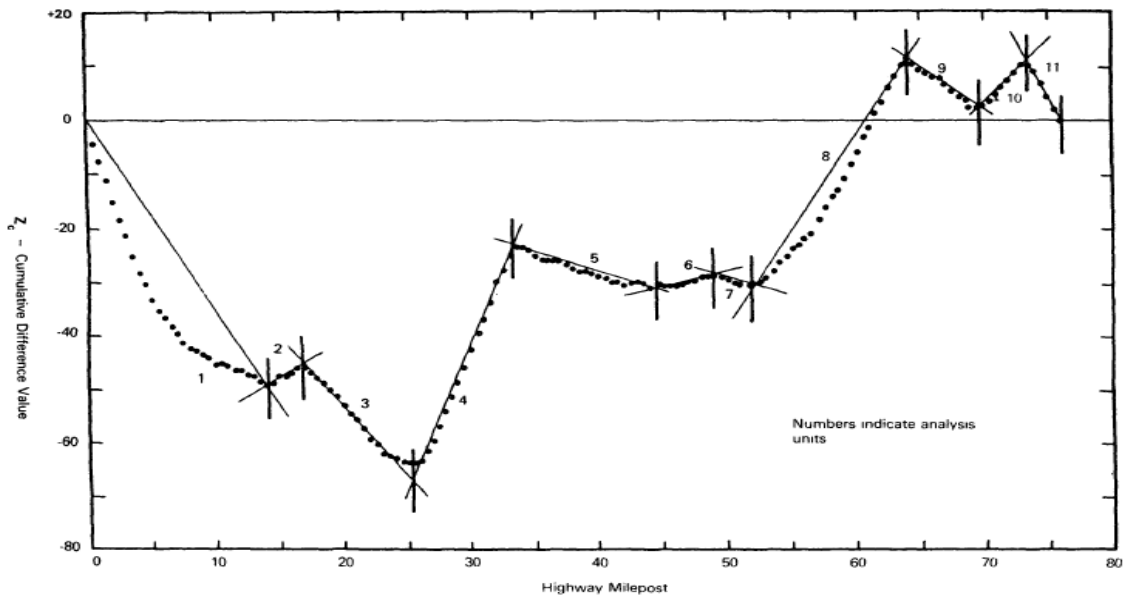


Figura 5: Método de las diferencias acumuladas. (Fuente: AASHTO guide of Pavement Structures 1993)

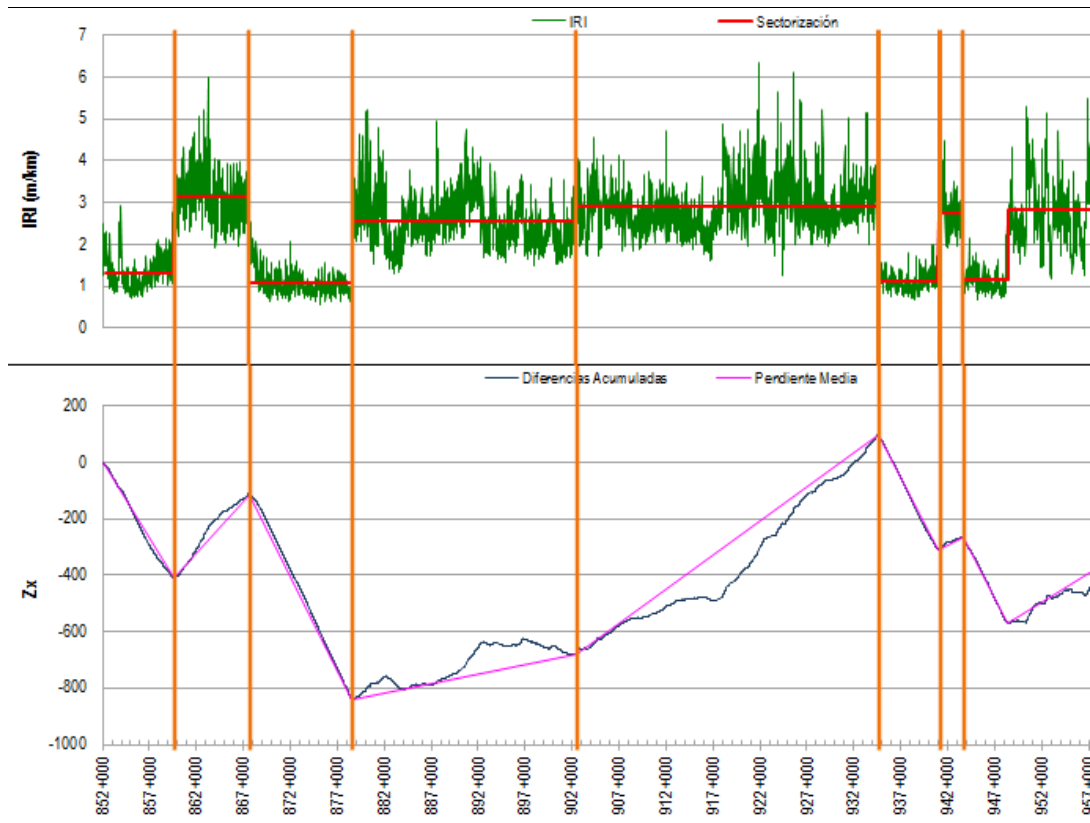


Figura 6: Ejemplo de delimitación de secciones homogéneas. (Fuente: Estudio de Desempeño del pavimento – PEHCBM)

Gráfico de Zx correspondiente a la variable IRI. Las líneas naranjas representan el límite de los sectores homogéneos.

Con base al índice de rugosidad internacional (IRI), se determina la sectorización respectiva y se realiza un procesamiento estadístico de la información, obteniéndose los valores promedio, desviación estándar y coeficiente de variación para cada uno de los sectores homogéneos determinados.

La Metodología para el cálculo de sectores homogéneos con los cuales se realizará la evaluación funcional, fue descrita anteriormente.

La figura 5 presenta gráficamente la distribución de diferencias acumuladas para la rugosidad medida en esta calzada.

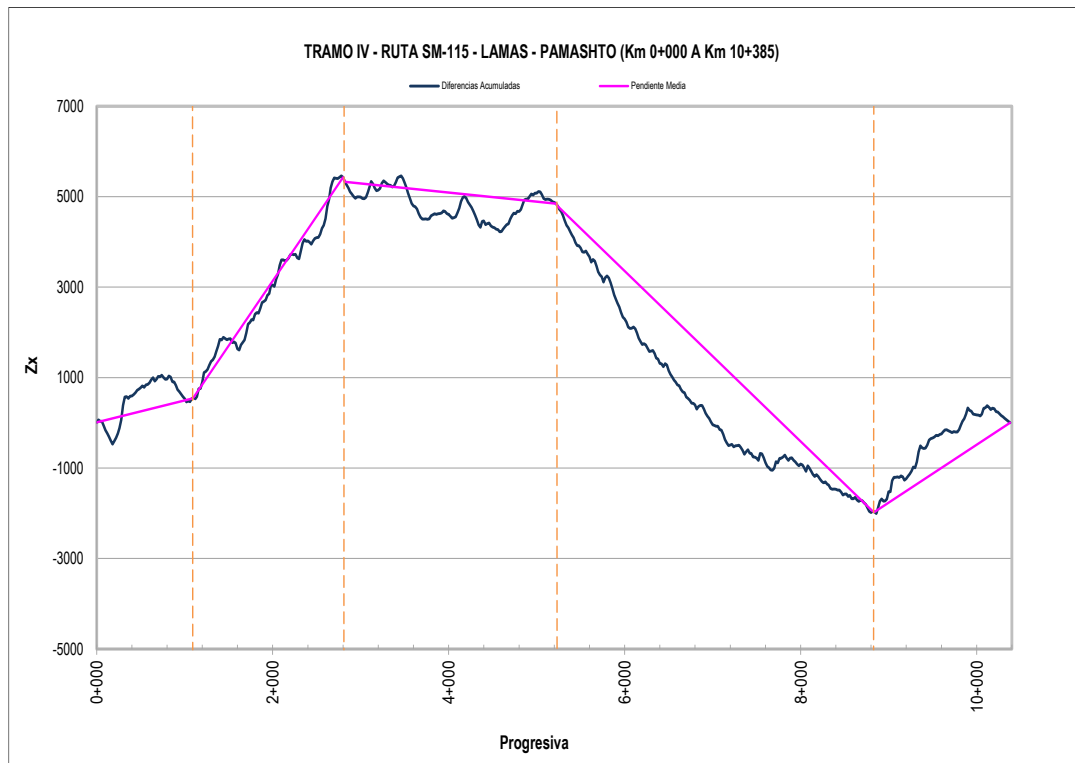


Figura 7: Distribución de diferencias acumuladas para el índice de rugosidad – Tramo IV. (Fuente: Estudio de Desempeño del pavimento – PEHCBM)

2.12.7 Evaluación estructural mediante la deflectometría

El comportamiento estructural consiste en determinar el estado en que se encuentra la subrasante del pavimento de cierta vialidad, gracias a esto se determinará el tiempo de vida que le queda al pavimento además de ver si éste necesita ser rehabilitado estructuralmente.

La evaluación estructural “no destructiva”, permite al Ingeniero Vial disponer de una herramienta racional con buena aproximación de forma rápida, a diferencia de ejecutar calicatas para tomar muestras y ensayarlas en el laboratorio, y posteriormente analizar cada uno de sus componentes (materiales) por separado, para incorporarlos luego en el sistema (pavimento) y deducir acerca de las características estructurales del mismo.

La deflexión es la medida de deformación elástica que experimenta un pavimento al paso de una carga y es función no solo del tipo y estado del pavimento, sino también del método y equipo de medida. En el ensayo no sólo se desplaza el punto bajo la carga, sino también un

sector alrededor de ella, causando un conjunto de deflexiones, el cual se denomina cuenco o deformada.

Los equipos para el cálculo de la deflectometría usados en ésta tesis es el FWD.

2.12.7.1 Cálculo del Módulo Resiliente de la Subrasante (Mr)

La guía de diseño de la AASHTO presenta la metodología para el cálculo del módulo resiliente de la subrasante (Mr) a partir de medidas de deflexión tomadas con el deflectómetro de impacto, por medio de la siguiente expresión:

$$Mr = \frac{0.24 * P}{d_r * r}$$

Donde:

Mr: Módulo resiliente de la subrasante retrocalculado, en psi.

P: Carga aplicada, en libras.

dr: Deflexión medida a una distancia “r” del centro de carga, en pulgadas.

r: Distancia desde el centro del de carga, a la cual se mide la deflexión, en pulgadas.

La anterior ecuación para retrocalcular el módulo resiliente está basada en la hipótesis de que en puntos suficientemente distantes del punto de aplicación de la carga, la deflexión medida se debe en su mayoría a la deformación de la subrasante, y es también independiente del efecto de alguna capa superior. Es importante resaltar que la deflexión usada debe ser tan cercana como sea posible al punto de aplicación de la carga para evitar que no sea demasiado pequeña para medir con precisión, pero al mismo tiempo debe estar lo suficientemente lejos para satisfacer la hipótesis mencionada. Para calcular la mínima distancia r, se emplea la siguiente relación:

$$r \geq 0.7 a_e$$

Donde:

$$a_e = \sqrt{\left[a^2 + \left(D \sqrt[3]{\frac{Ep}{Mr}} \right)^2 \right]}$$

- a_e : Radio del bulbo de presiones a nivel de subrasante, en pulgadas.
 a : Radio del plato de carga, en pulgadas
 D : Espesor total del pavimento sobre la subrasante, en pulgadas.
 E_p : Módulo efectivo del pavimento, en psi.
 M_r : Módulo resiliente de la subrasante retrocalculado, en psi.

Según la anterior ecuación, para verificar si la deflexión utilizada cumple con la distancia mínima se debe primero conocer el módulo equivalente del pavimento (E_p), y este a su vez depende del módulo resiliente, se implementó el proceso iterativo ilustrado en la **¡Error!**
No se encuentra el origen de la referencia..

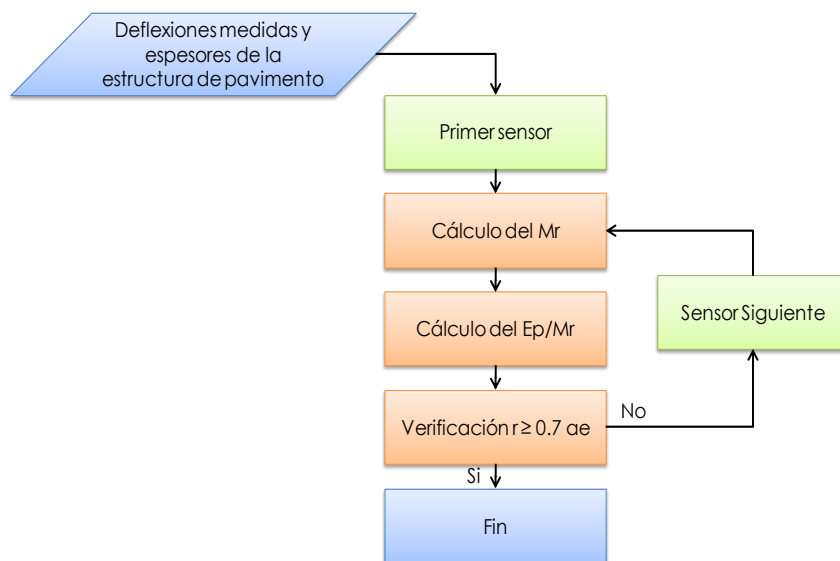


Figura 8: Algoritmo del método de retroanálisis AASHTO 1993.(Fuente: AAHSTO 93)

El procedimiento de retroanálisis de la AASHTO recomienda para la determinación del módulo resiliente de diseño a partir de las mediciones deflectométricas, la utilización de un factor de ajuste ($C=0.33$).

2.12.7.2 Cálculo del módulo efectivo del pavimento (E_p)

El módulo efectivo del pavimento (E_p), refleja la capacidad de soporte que presenta el pavimento existente, en este caso, referido al aporte del conjunto de la estructura del pavimento, más el aporte del espesor de granulares existentes.

Si el valor de módulo resiliente de la subrasante y el valor del espesor del pavimento son conocidos, el valor del módulo efectivo del pavimento, incluidas todas sus capas, puede ser determinado usando la deflexión medida en el centro de carga, empleado la siguiente fórmula:

$$d_0 = 1.5 * p * a * \left\{ \frac{1}{M_r \sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \sqrt[3]{\frac{E_p}{M_r}} \right)^2}} + \left[\frac{1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \right)^2}}}{E_p} \right] \right\}$$

Donde:

- d₀: Deflexión central.
- p: Presión del plato de carga, en psi. En este caso igual a 82.3 psi = 5.76 kg/cm.
- a: Radio del plato de carga, en pulgadas igual a 5.9 pulgadas = 15 cm.
- D: Espesor total de las capas del pavimento sobre la subrasante.
- M_r: Módulo resiliente de la subrasante, en psi.
- E_p: Módulo equivalente de todas las capas del pavimento, en psi.

2.12.7.3 Cálculo de la capacidad estructural (Número Estructural Efectivo-Snef)

El número estructural efectivo es una valoración de la capacidad estructural del pavimento en función del espesor total y del módulo efectivo, con el objeto de obtener el número estructural efectivo (SNef), se empleó la siguiente fórmula.

$$SN_{Efectivo} = 0.0045 * D * \sqrt[3]{E_P}$$

Donde:

- SN_{Efectivo}: Número estructural efectivo de la estructura existente.
- D: Espesor total de las capas del pavimento sobre la subrasante, en pulgadas.
- E_p: Módulo equivalente de la estructura del pavimento, en psi.

2.12.8 Sectorización Por Deflexiones Del Pavimento

Los sectores de calzada homogéneos son aquellos que presentan un patrón similar en su comportamiento en términos de sus características ingenieriles tales como las propiedades de las capas del pavimento, espesores, niveles de deterioro, características del material de fundación, etc.

La sectorización del corredor se realizó mediante el procedimiento de diferencias finitas acumuladas, cuyo principio básico parte del hecho matemático que cuando la variable Z_x (Diferencia entre el área bajo la curva de respuesta a cualquier distancia y el área total desarrollada por la respuesta promedio de todo el proyecto hasta la misma distancia), se grafica como función de la distancia a lo largo del proyecto, los límites de los tramos homogéneos ocurren en los puntos donde cambia la pendiente de la línea que representa la variación de Z_x con la longitud. A partir de la metodología descrita, la presenta una sectorización de ejemplo que está en la guía AASHTO.

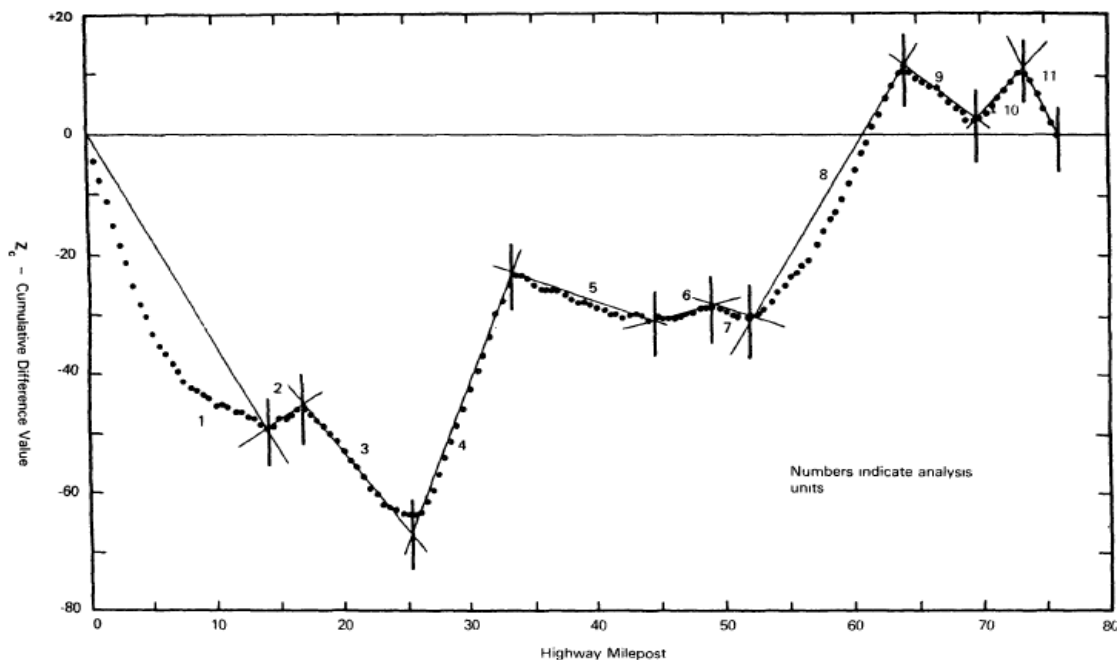


Figura 9: 1 Método de las diferencias acumuladas. (Fuente: Estudio de Desempeño del pavimento – PEHCBM)

Con base a la deflectometría y la rugosidad estructural se determinan las sectorizaciones en base a ambas mediciones respectivamente; y se realiza un procesamiento estadístico de la

información, obteniéndose los valores promedio, desviación estándar y coeficiente de variación para cada uno de los sectores homogéneos determinados.

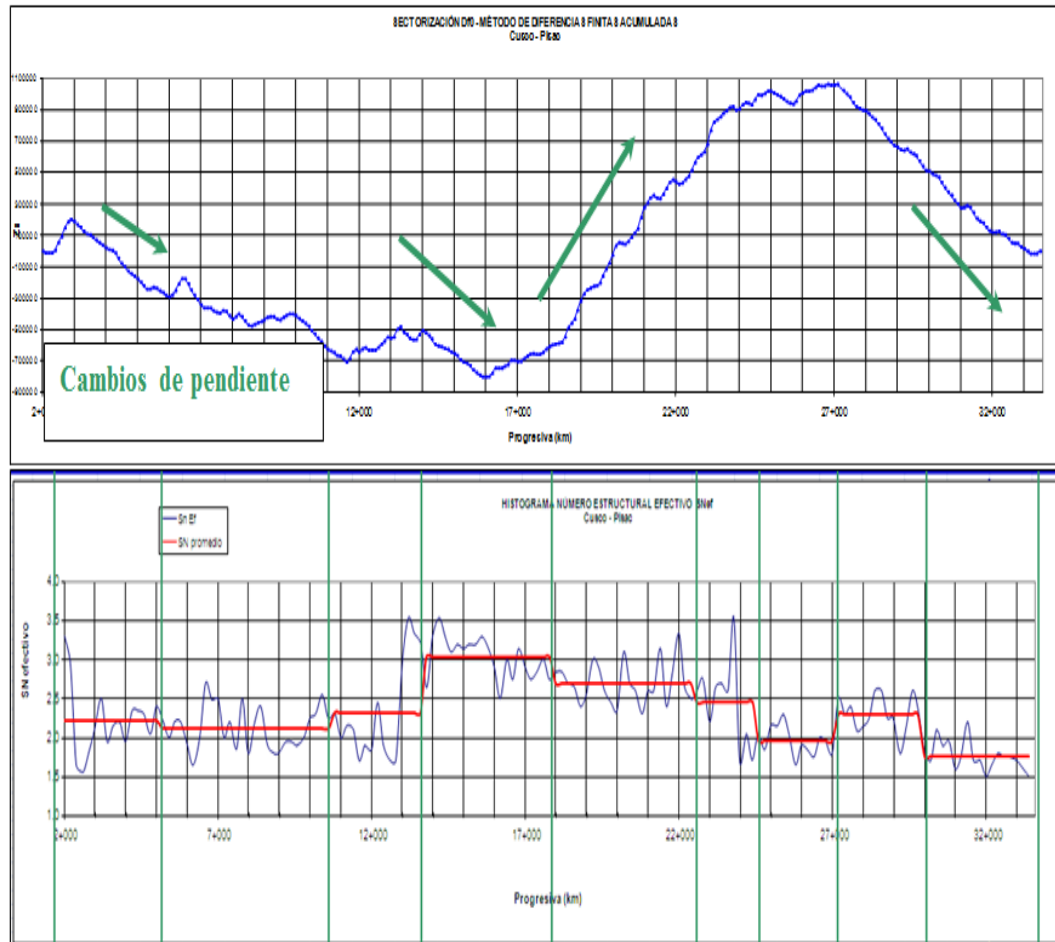


Figura 10: Ejemplo de delimitación de secciones homogéneas

2.12.9 Sectorización Definitiva

El método de Diferencias Acumuladas presentado en la metodología AASHTO-93, permite delimitar unidades homogéneas de un tramo vial, a partir de la superposición de variables medidas en campo, tales como tipo de pavimento, IRI, deflexión central, número estructural, ahuellamiento, índice de fallas, suelo de fundación, entre otros. La delimitación de los sectores homogéneos se realiza a partir de la gráfica de la función de Z_x (área acumulada de la variable) versus la distancia del intervalo (progresiva), cuando se presenta cambio de pendiente. Entre las ventajas de la aplicación de este método se tiene la

fácil visualización de las variables a evaluar y el corto tiempo para el análisis de gran cantidad de datos.

2.13. Materiales y métodos

2.13.1 Materiales

Computadora

Impresora

Materiales de oficina

Rugosímetro MERLIN

Perfilómetro Láser

Deflectómetro de Impacto (FWD)

Información solicitada

Plantillas

Libros virtuales y físicos, tinta para impresora, lapicero, papel bond, etc.

2.13.2 Métodos

Hoja de cálculo de excell para el procesamiento de las unidades MERLIN luego se realizó el análisis estadístico para hacer la comparación respectiva.

Se recopila la información solicitada y se realiza gráficos para un mejor trabajo y análisis.

Se realizó las comparaciones respectivas para cada evaluación y además se hizo una comparación económica.

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados

En éste item se presentará todos los resultados obtenidos y solicitados, toda la información está organizada con tablas y gráficos para ser analizados posteriormente, luego será discutidos y finalmente se concluirá

3.2 Análisis de la carretera Lamas – Pamashto

3.2.1 Ubicación De La Zona De Estudio

Ubicación Política

Localidades : Lamas – Pamashto
Distrito : Lamas y San Roque de Cumbaza
Provincia : Lamas
Región : San Martín

El tramo de estudio se encuentra ubicado en la carretera departamental (clasificación por su función) de la red vial regional Bajo Mayo – San Martín Ruta SM – 115: Emp SM -104 – Km 0+000 al Km 10+376 que une a la Localidad de Lamas y Pamashto.

Ubicación geográfica:

Coordeandas Utm

Coordenada de Inicio : Este: 332273.501 Norte= 9290569.734
Coordenada de Fin : Este: 329353.099 Norte= 9296953.587



Figura 11: Imagen satelital de carretera Lamas – Pamashto. (Fuente: Google Earth)

CLASIFICACION DE LA CARRETERA

La carretera Lamas – Pamashto se clasifica:

- **Por su función:** Departamental
- **Por su Demanda:** Carretera de 3° clase
- **Por su orografía:** Carretera Tipo 3 – Accidentada

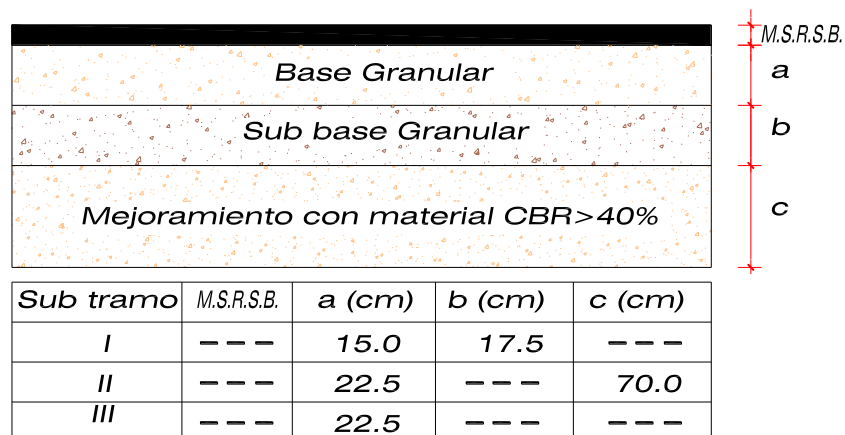


Figura 12: Sección Típica Del Pavimento. (Fuente: Elaboración Propia)

3.2.2 Evaluación Funcional

Para realizar una evaluación funcional previamente se tiene que sectorizar el tramo de estudio es decir buscar características homogéneas en un tramo de la vía. Para eso se tuvo que hacer un análisis respectivo.

- Estructura
- Por cambio de pendientes
- Tráfico
- Clima
- Suelo de subrasante

3.2.2.1 Análisis de resultados de la Evaluación Funcional

Se realizó varios estudios siendo el primero en el Año 2016 usando el perfilómetro láser RSP luego se realizó periódicamente el estudio usando el rugosímetro MERLIN.

3.2.2.1.1 Primera medición del IRI (2017)

En la figura 11, se presenta la primera medición lo cual se obtuvo del informe técnico de diseño del contratista usando el perfilómetro láser RSP, luego de la recolección de datos se procedió a procesarla para poder interpretarla analizando singularidades y luego presentar resultados del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) cada 100 m.

Tabla 2

Valores de IRI del tramo Lamas – Pamashto (2017) con Tratamiento Superficial Bicapa

Tramo	Sector	Progresiva Inicial (km)	Progresiva Final (km)	IRI Promedio (m/km)
Lamas - Pamashto	1	0+000	1+100	3.29
	2	1+100	2+800	3.76
	3	2+800	5+200	3.22
	4	5+200	8+800	2.89
	5	8+800	10+385	3.51

Fuente: Elaboración propia

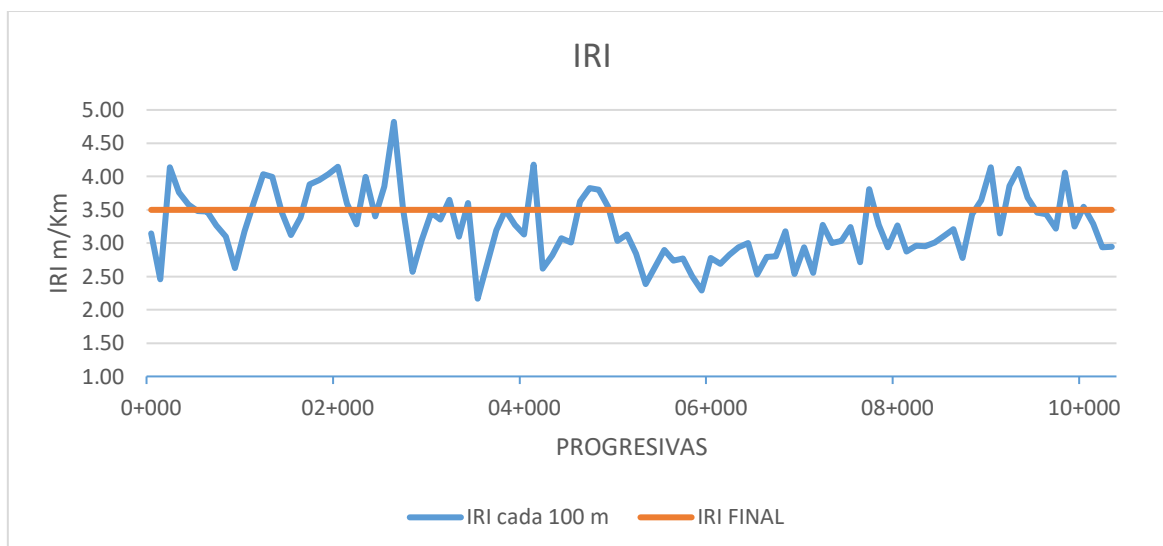


Figura 13: Valores del IRI con Tratamiento Superficial Bicapa (TSB) – 2017.

(Fuente: Elaboración propia)

Interpretación: Los resultados del ensayo realizado con el perfilómetro láser que se muestra en la Tabla 3 y Figura 11 fueron realizados en el año 2016 a 1 año de servicio cuyo IRI promedio es 3.33 m/km teniendo como valor mínimo de 2.17 m/km y un valor máximo de 4.82 m/km.

3.1.1.1.2 Serviciabilidad

Para el cálculo de la serviciabilidad se usó la siguiente fórmula

$$IRI = 5.5 \ln (5.0/PSI)$$

En la tabla 4 se muestran los resultados del PSI que han sido calculados para cada 100 m

Tabla 3

Valores de PSI con Tratamiento Superficial Bicapa (TSB) - 2016

Sector	Progresiva Inicial (km)	Progresiva Final (km)	IRI Promedio (m/km)	Promedio de PSI	Serviciabilidad
1	0+000	1+100	3.29	2.75	Regular
2	1+100	2+800	3.76	2.52	Regular
3	2+800	5+200	3.22	2.78	Regular
4	5+200	8+800	2.89	2.96	Regular
5	8+800	10+385	3.51	2.64	Regular

Fuente: Elaboración Propia

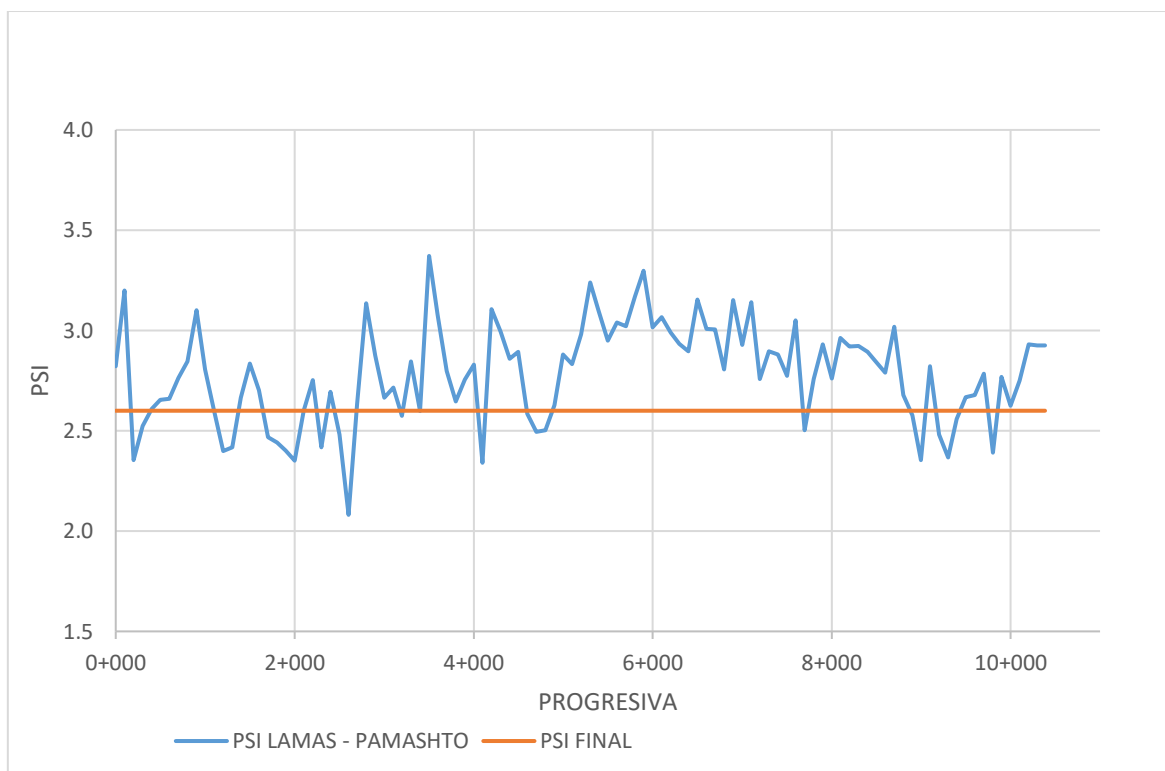


Figura 14: Valores de PSI con Tratamiento Superficial Bicapa (TSB) – 2017. (Fuente: Elaboración propia)

Interpretación: De acuerdo a la figura 12 y a la tabla 4 muestra que el sector 1 al sector 5 muestran una serviciabilidad regular, teniendo como valor mínimo 2.48 y un valor máximo de 2.96.

Tabla 4

Resumen de parámetros funcionales del Tramo Lamas – Pamashto con TSB 2017

TRAMO	IRI (m/km) promedio	IRI (m/Km) mínimo	IRI (m/km) máximo	PSI
Lamas - Pamashto	3.33	2.89	3.76	2.71

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.1.2 Segunda medición del IRI (2017)

La segunda medición del IRI se realizó en Noviembre del 2017 con el equipo Rugosímetro MERLIN, previo sorteo de toda la vía eligiendo así un tramo representativo.

Tabla 5

Valores del IRI del tramo Lamas – Pamashto (Noviembre 2017) con Tratamiento Superficial Bicapa

Tramo	Progresiva Inicial (km)	Progresiva Final (km)	IRI Promedio (m/km)
Lamas - Pamashto	2+000	2+400	3.53
	2+400	2+800	3.75
	2+800	3+200	3.34
TOTAL	0+000	10+385	3.54

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: Los resultados del ensayo realizado con el rugosímetro MERLIN que se muestra en la Tabla 6 se realizaron en el año 2017 a 2 año de servicio cuyo IRI promedio es 3.54 m/km teniendo como valor mínimo de 3.34 m/km y un valor máximo de 3.75 m/km

Serviciabilidad

Para el cálculo de la serviciabilidad se usó la siguiente fórmula

$$IRI = 5.5 \ln(5.0/PSI)$$

En la tabla 7 se muestran los resultados del PSI que han sido calculados con la fórmula del ítem 2.12.1

Tabla 6

Valores del IRI del tramo Lamas – Pamashto con Tratamiento Superficial Bicapa (TSB) - 2017

Sector	Progresiva Inicial (km)	Progresiva Final (km)	Promedio de PSI
Lamas - Pamashto	2+000	2+400	2.63
	2+400	2+800	2.53
	2+800	3+200	2.72
TOTAL	0+000	10+385	2.63

Interpretación: De acuerdo a la tabla 7 muestra que el sector del tramo elegido muestra una serviciabilidad regular, teniendo como valor mínimo 2.53 y un valor máximo de 2.72.

3.2.2.1.3 Tercera medición del IRI (Agosto - 2018)

La tercera medición del IRI se realizó en Julio del 2018 con el equipo Rugosímetro MERLIN, previo sorteo de toda la vía eligiendo así un tramo representativo.

Tabla 7

Valores del IRI del tramo Lamas – Pamashto (Agosto 2018) con Tratamiento Superficial Bicapa

Tramo	Progresiva Inicial (km)	Progresiva Final (km)	IRI Promedio (m/km)
Lamas - Pamashto	4+000	4+400	3.71
	4+400	4+800	3.76
	4+800	5+200	3.44
TOTAL	0+000	10+385	3.64

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: Los resultados del ensayo realizado con el rugosímetro MERLIN que se muestra en la tabla 8 fueron realizados en Agosto del año 2018 cuyo IRI promedio es 3.64 m/km teniendo como valor mínimo de 3.44 m/km y un valor máximo de 3.76 m/km.

Serviciabilidad

Para el cálculo de la serviciabilidad se usó la siguiente fórmula

$$\text{IRI} = 5.5 \ln (5.0/\text{PSI})$$

En la tabla se muestran los resultados del PSI que han sido calculados con la fórmula del ítem 2.12.1

Tabla 8:

Valores de PSI con Tratamiento Superficial Bicapa (TSB) – Agosto 2018

Sector	Progresiva Inicial (km)	Progresiva Final (km)	Promedio de PSI
Lamas - Pamashto	2+000	2+400	2.63
	2+400	2+800	2.53
	2+800	3+200	2.72
TOTAL	0+000	10+385	2.63

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: De acuerdo a la tabla 9 muestra que el sector del tramo elegido muestra una serviciabilidad regular, teniendo como valor mínimo 2.53 y un valor máximo de 2.72 y un promedio de 2.63 de serviciabilidad.

3.2.2.1.3 Cuarta medición del IRI (Septiembre - 2018)

La cuarta medición del IRI se realizó en Septiembre del 2018 con el equipo Rugosímetro MERLIN, en esta ocasión se realizó el estudio cuando la vía ha sido mejorada a nivel superficial con el tratamiento superficial Slurry Seal.

Tabla 9

Valores del IRI del tramo Lamas – Pamashto (Septiembre 2018) con Slurry Seal

Tramo	Progresiva Inicial	Progresiva Final	IRI Promedio (m/km)
	(km)	(km)	
Lamas - Pamashto	0+000	0+400	2.4
	0+400	0+800	2.4
	0+800	1+200	1.9
	1+000	1+400	2.5
	1+400	1+800	2.4
	1+800	2+200	3
	2+000	2+400	2.7
	2+400	2+800	2.6
	2+800	3+200	2.5
	3+000	3+400	2.5
	3+400	3+800	2.6
	3+800	4+200	2.5
	4+000	4+400	2.5
	4+400	4+800	1.8
	4+800	5+200	2.7
	5+000	5+400	2.5
	5+400	5+800	2.6
	5+800	6+200	1.8
	6+000	6+400	1.8
	6+400	6+800	2.6
6+800	7+200	1.8	
7+000	7+400	2.5	
7+400	7+800	2.5	
7+800	8+200	1.8	

	8+000	8+400	2.4
	8+400	8+800	2.6
	8+800	9+200	2.4
	9+000	9+400	2.6
	9+400	9+800	1.8
	9+800	10+200	2.5
TOTAL	0+000	10+200	2.37

Fuente: Elaboración propia

Serviciabilidad

Tabla 10

Valores de PSI del tramo Lamas - Pamashto con Slurry Seal - 2018

Sector	Progresiva Inicial (km)	Progresiva Final (km)	Promedio de PSI	Serviciabilidad
1	0+000	1+200	3.34	Buena
2	1+000	2+200	3.10	Buena
3	2+000	3+200	3.12	Buena
4	3+000	4+200	3.15	Buena
5	4+000	5+200	3.28	Buena
6	5+000	6+200	3.30	Buena
7	6+000	7+200	3.43	Buena
8	7+000	8+200	3.31	Buena
9	8+000	9+200	3.19	Buena
10	9+000	10+200	3.29	Buena
TOTAL	0+000	10+385	3.25	Buena

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación: De acuerdo a la tabla 11 muestra que el sector del tramo elegido muestra una serviciabilidad BUENA, teniendo como valor mínimo 3.10 y un valor máximo de 3.43 y una serviciabilidad promedio de 3.25.

3.2.2.1.3 Quinta medición del IRI (Noviembre - 2018)

La quinta medición del IRI se realizó en Septiembre del 2018 con el equipo Rugosímetro MERLIN, en esta ocasión se realizó el estudio cuando la vía ha sido mejorada a nivel superficial con el tratamiento superficial Slurry Seal.

Tabla 11

Valores del IRI del tramo Lamas – Pamashto (Agosto 2018) con Slurry Seal

Tramo	Progresiva Inicial (km)	Progresiva Final (km)	IRI Promedio (m/km)
Lamas - Pamashto	9+000	9+400	2.44
	9+400	9+800	2.40
	9+800	10+200	1.85
TOTAL	0+000	10+385	2.23

Fuente: Elaboración propia

Serviciabilidad

En la tabla 12 se muestran los resultados del PSI que han sido calculados

Tabla 12

Valores de PSI con Slurry Seal - 2018

Sector	Progresiva Inicial (km)	Progresiva Final (km)	Promedio de PSI	Serviciabilidad
1	0+000	1+200	3.34	Buena
2	1+000	2+200	3.10	Buena
3	2+000	3+200	3.12	Buena
TOTAL	0+000	10+385	3.25	Buena

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación: De acuerdo los datos tabulados en la tabla 12 muestra que el sector del tramo elegido muestra una serviciabilidad BUENA, teniendo como valor mínimo 3.10 y un valor máximo de 3.43 y un promedio de 3.25

3.2.3 Evaluación estructural

Para realizar una evaluación estructural previamente se tiene que sectorizar el tramo de estudio es decir buscar características homogéneas en un tramo de la vía. Para eso se tuvo que hacer un análisis respectivo.

- Estructura del pavimento
- Por cambio de pendientes
- Tráfico
- Clima

- Suelo de subrasante

3.2.3.1 Resultados de la deflectometría

Solo se realizó un estudio de evaluación estructural mediante el ensayo de deflectometría con el equipo Deflectómetro de Impacto (FWD) en el año 2016 arrojando los siguientes resultados.

Se presenta la primera medición y única lo cual se obtuvo del informe técnico de diseño del contratista usando el equipo deflectómetro de impacto (FWD), luego de la recolección de datos se procedió a procesarla para poder interpretarla analizando singularidades y luego presentar resultados.

A continuación en las siguientes figuras se presentan los deflectogramas de los tramos que conforman el corredor vial en estudio en micrones, dicho deflectograma está en función de la deflexión central y en la gráficas se muestran los promedios por tramo homogéneo.

La tabla 14 muestra el resumen los parámetros estructurales de los tramos homogéneos y las deflexiones tanto como mínimas, máximas y promedios corregidas por temperaturas y normalizadas a 40 kN.

Tabla 13
Deflexiones por Tramo Homogéneo

Sector	Inicio	Fin	Deflexión Minima (1/1000mm)	Deflexión Máxima (1/1000mm)	Deflexión Promedio (1/1000mm)
1	0+000	2+000	167	560	351
2	2+000	8+600	242	984	563
3	8+600	10+385	113	860	535

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: De acuerdo a la Tabla 13 se puede observar que la distribución de las deflexiones centrales obtenidas con el FWD, se encuentran entre 113 (1/1000mm) y 984 (1/1000mm). Asimismo se observa que el promedio de las deflexiones por sector homogéneo se encuentra entre 351 (1/1000mm) y 563 (1/1000mm) y el promedio para

todo el tramo es de 518 (1/1000mm). Según la tabla del MTC nos dice que en ese momento la carretera está tiene un comportamiento estructural aceptable.

3.2.3.2 Resultados de módulo resiliente (Mr)

La figura 13 muestra los valores calculados obtenidos del módulo resiliente de la subrasante (Mr).

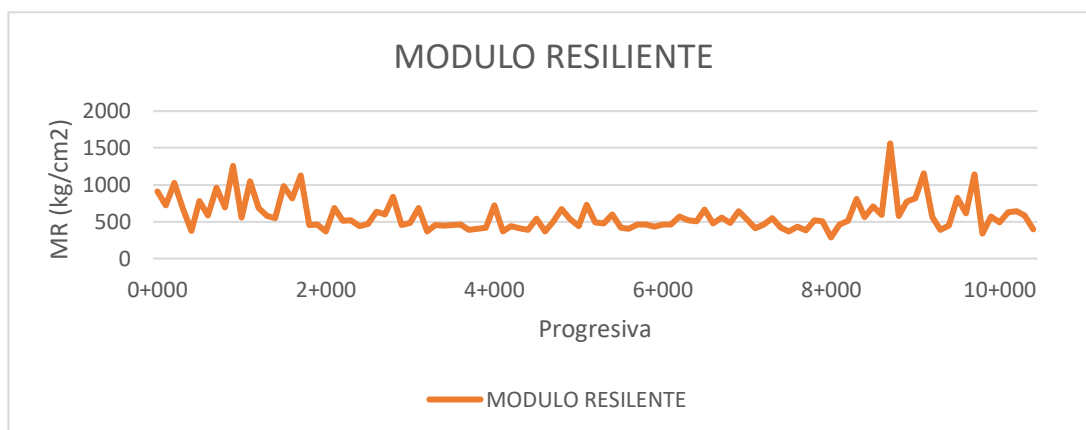


Figura 15: Distribución del módulo resiliente de la carretera Lamas – Pamashto.

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 14

Modulo Resiliente por Tramo Homogéneo

Sector	Inicio	Fin	Módulo Resiliente Mínimo (kg/cm ²)	Módulo Resiliente Máximo (kg/cm ²)	Módulo Resiliente Promedio (kg/cm ²)
1	0+000	2+000	378	1260	763
2	2+000	8+600	286	841	503
3	8+600	10+385	336	1562	689

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: Al evaluar la condición de la capacidad de soporte del material de la subrasante a partir de la estimación del módulo Resiliente de la Subrasante con base en las deflexiones, cuyo valor mínimo es 286 kg/cm² y el valor máximo es 1562 kg/cm² siendo 586 kg/cm² el promedio. Se puede apreciar que en el sector 3 se tienen módulos resiliente elevados.

3.2.1.3 Resultados del Módulo equivalente (Ep)

La figura 14 muestra los valores calculados obtenidos del módulo equivalente de la subrasante (Ep).

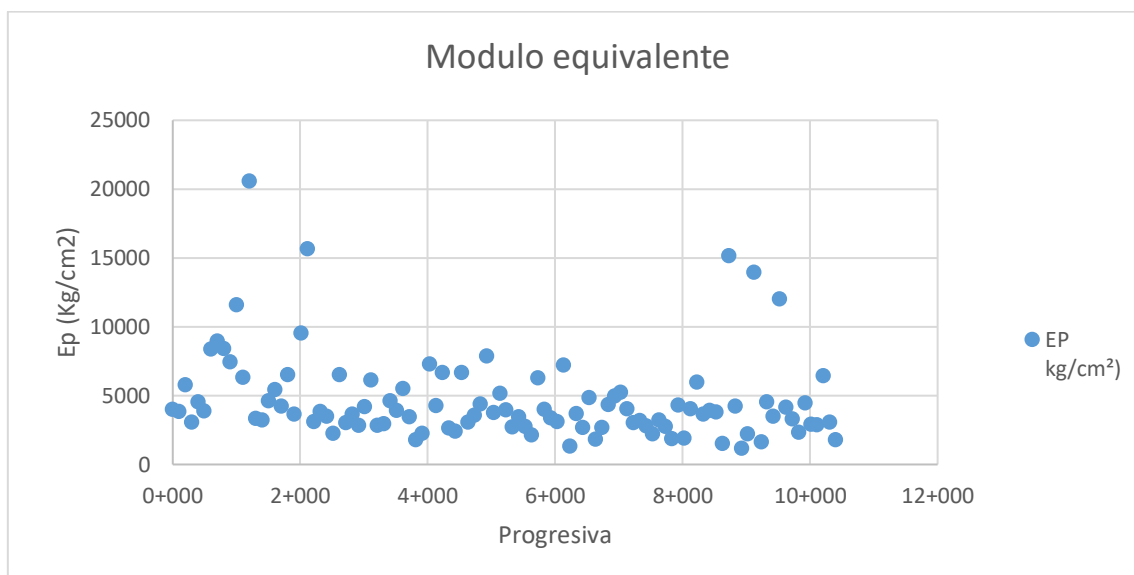


Figura 16: Valores del módulo equivalente de la carretera Lamas – Pamashto.
(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 15

Módulo Efectivo por Tramo Homogéneo

Sector	Inicio	Fin	Modulo Efectivo Mínimo (kg/cm ²)	Modulo Efectivo Máximo (kg/cm ²)	Modulo Efectivo Promedio (kg/cm ²)
1	0+000	2+000	3,066	20,554	6,387
2	2+000	8+600	1,330	15,641	4,095
3	8+600	10+385	1,166	15,130	4,791

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: De acuerdo a la tabla 15 los valores de Modulo efectivo están entre 1 166 kg/cm² y 20554 kg/cm² con un valor promedio de 4567 kg/cm². La figura 14 muestra algunos valores que están sobre los 10000 kg/cm² esto quiere decir que hay sectores que presentan mayor capacidad estructural por lo tanto también que tiene mayor rigidez y que la capa asfáltica estaría cerca a la fatiga.

3.2.1.4 Resultados del Numero estructural SN

En la tabla 16 se presenta los valores de los espesores del pavimento por sectores.

Tabla 16

Espesores del paquete estructural

Tramo	Km Inicial	Km Inicial	T.SB. (cm)	Espeso de Base (cm)	Espesor de Sub Base (cm)
I	0+000	1+750	2.54	15	17.5
I	1+750	5+850	2.54	22.5	0
III	5+850	10+385	2.54	22.5	0

Fuente: Elaboración propia

Con los valores obtenidos del módulo efectivo y los espesores se procedió a calcular los números estructurales del pavimento. El procedimiento de cálculo fue descrito en el numeral 2.12.7.3

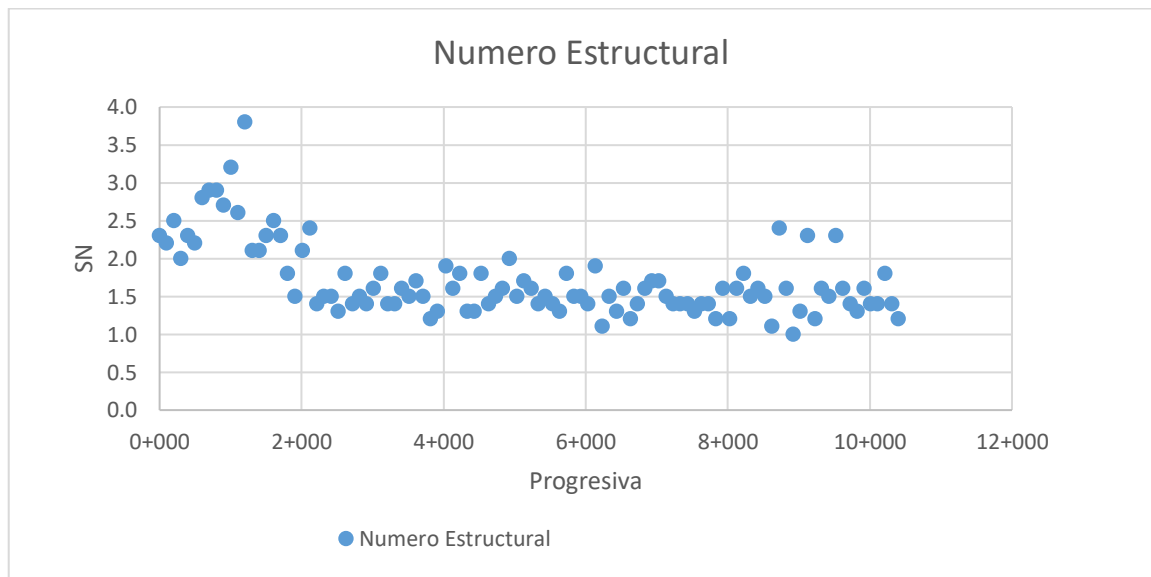


Figura 17: Valores de Número estructural SN de Lamas – Pamashto. (Fuente: Elaboración Propia)

Tabla 17
Numero Estructural por Tramo Homogéneo

Sector	Inicio	Fin	Numero Estructural Mínimo	Numero Estructural Máximo	Numero Estructural Promedio
1	0+000	2+000	1.5	3.8	2.5
2	2+000	8+600	1.1	2.4	1.75
3	8+600	10+385	1.0	2.4	1.5

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: El número estructural ayuda a identificar que tramos presentan disminución de la capacidad estructural. Según la figura 15 y la tabla 18, el valor mínimo es 1 y el máximo es 3.8 lo cual es óptimo. Los sectores 2 y 3 presentan los valores de SN cercanos a 2.0, esto indica que estos tramos presentan las menores capacidades estructurales en términos de SN.

Tabla 18*Cuadro resumen de parámetros funcionales y estructurales*

Descripción	Inicio (Km)	Fin (Km)	Sector Homogeneo	Inicio	Fin	Deflexión Promedio	Módulo resiliente Promedio (Kg/cm2)	Módulo equivalente Promedio (Kg/cm2)	SN	IRI (m/km)	PSI
Lamas - Pamashto	0+000	10+375	1	0+000	1+300	313	791	7440	2.6	3.5	2.7
			2	1+300	2+700	454	614	5380	1.9	3.9	2.5
			3	2+700	5+000	556	496	4169	1.5	3.2	2.8
			4	5+000	7+300	566	506	3760	1.5	2.8	3
			5	7+300	8+800	590	578	4013	1.5	3.1	2.9
			6	8+800	10+375	524	644	4375	1.5	3.5	2.7

Fuente: Elaboración propia

3.3 Análisis de la carretera Bellavista – Ledoy

3.3.1 Ubicación De La Zona De Estudio

Ubicación Política

Región	:	San Martín
Departamento	:	San Martín
Provincia	:	Bellavista y Mariscal Cáceres
Distritos	:	Bellavista y Ledoy
Localidades	:	Ledoy, Pajarillo.

El tramo en estudio pertenece a la Red Vial Regional Huallaga Central – San Martín y se encuentra ubicada en los distritos de Bellavista y Ledoy, de las provincias de Bellavista y Mariscal Cáceres respectivamente, Departamento de San Martín. Esta vía ha sido reclasificada en el sistema vial de la Región San Martín como ruta departamental con el código: SM 119: Emp (Dv. Bellavista) - Cerro Blanco – Ledoy con altitudes variables entre 261 msnm y 512 msnm.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA:

COORDENADAS UTM

Coordenada de Inicio	:	Este: 325349.00	Norte= 9218171.00
Coordenada de Fin	:	Este: 317826.00	Norte= 9211773.00

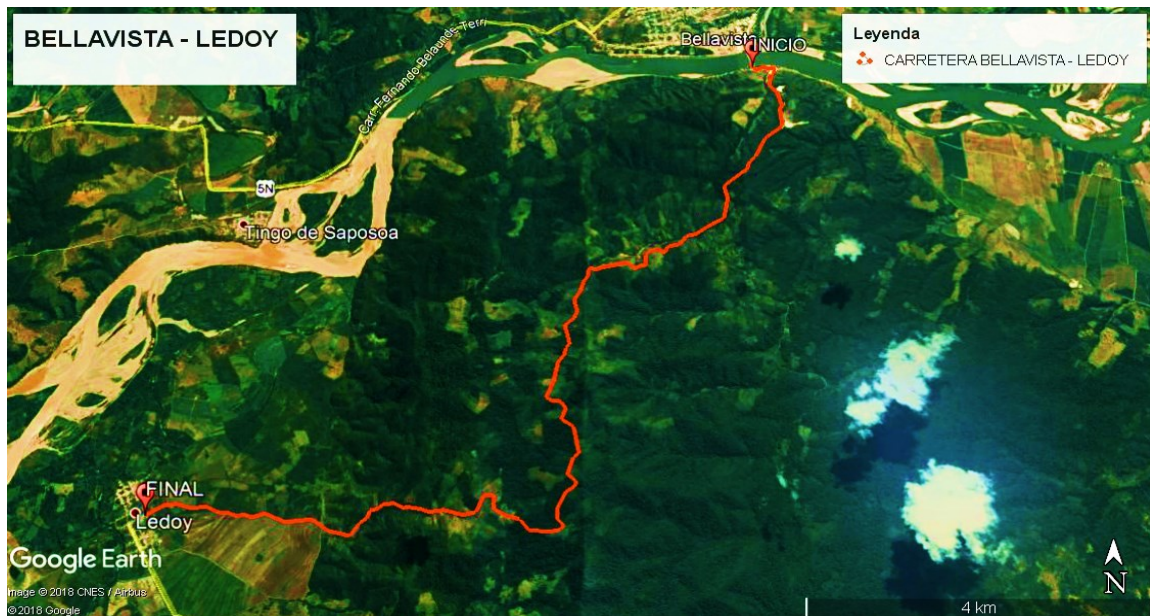


Figura 18: Imagen satelital de la carretera Bellavista - Ledoy

Fuente: Google Earth

CLASIFICACION DE LA CARRETERA

La carretera Lamas – Pamashto se clasifica:

- **Por su función:** Departamental
- **Por su Demanda:** Carretera de 3° clase
- **Por su orografía:** Carretera Tipo 2 – Ondulada

ANCHO DE LA VIA

Ancho de Plataforma : 5.00 – 6.00 m.

Ancho de superficie de rodadura : 4.00 - 5.00 m.

SECCION TIPICA DEL PAVIMENTO

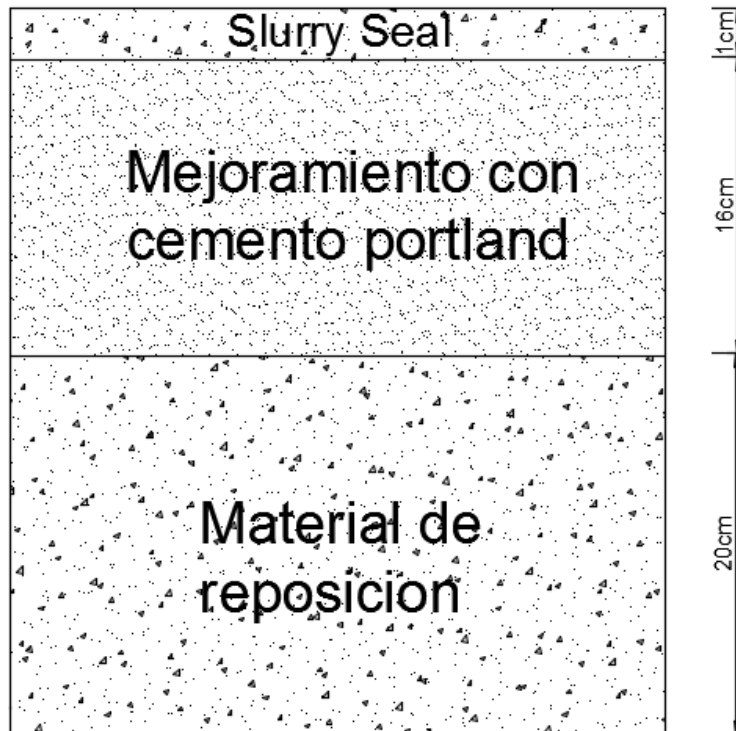


Figura 19: Sección de pavimento de carretera Bellavista – Ledoy. (Fuente: Elaboración propia)

3.3.2 Evaluación Funcional

3.3.2.1 Análisis de resultados de la Evaluación Funcional

Se realizó varios estudios siendo el primero en el Año 2016 usando el perfilómetro láser RSP luego se realizó periódicamente el estudio usando el rugosímetro MERLIN.

3.3.2.1.1 Primera medición del IRI (2016)

En la figura 18, se presenta la primera medición lo cual se obtuvo del informe técnico de diseño del contratista usando el perfilómetro láser CHASQUI, luego de la recolección de datos se procedió a procesarla para poder interpretarla analizando singularidades y luego presentar resultados del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) cada 100 m.

En el año 2016 se realizó la medición del IRI usando el Perfilómetro Láser – CHASQUI, éste equipo de alta calidad permitió calcular de manera rápida y directa el Índice Internacional de Rugosidad (IRI).

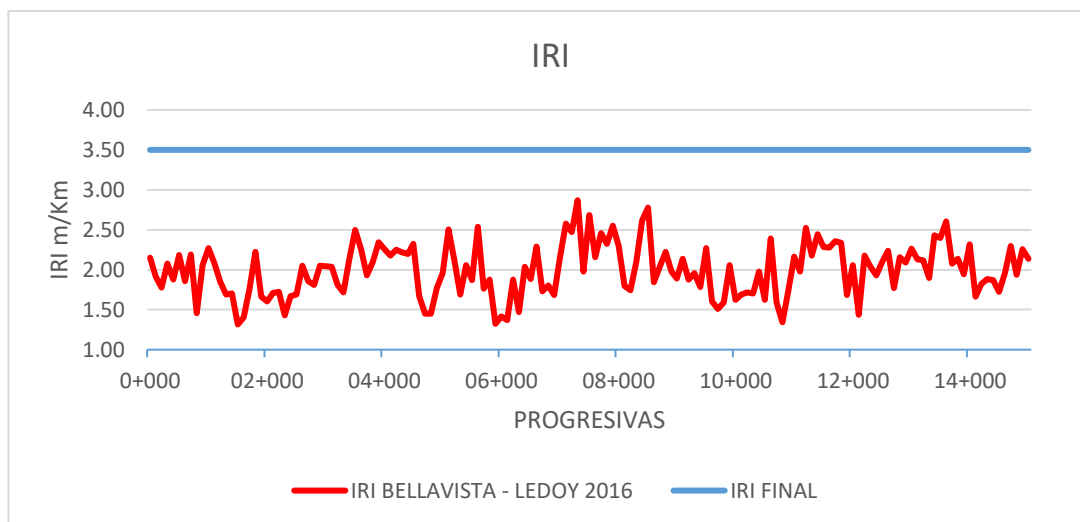


Figura 20: Distribución del IRI Tramo IV. (Fuente: Elaboración Propia)

3.1.2.2 Segunda medición del IRI (Julio - 2017)

El estudio se realizó en 2 sectores; en el Km 2+000 hasta el Km 3+200 y en el Km 13+000 y 14+200. En la tabla 20 se muestra los resultados que se obtuvo con el Equipo Rugosímetro MERLIN.

Tabla 19

Valores de IRI con MERLIN y Perfilómetro Láser

Tramo	Sector		Fecha	IRI(HD) MERLIN
Bellavista- Ledoy	02+000	02+400	14/07/2017	1
Bellavista- Ledoy	02+400	02+800	14/07/2017	1.33
Bellavista- Ledoy	02+800	03+200	14/07/2017	1.41
Bellavista- Ledoy	13+000	13+400	14/07/2017	1.79
Bellavista- Ledoy	13+400	01+800	14/07/2017	2.84
Bellavista- Ledoy	13+800	14+200	14/07/2017	3.2

Fuente: Elaboración Propia

Según la tabla 19 del IRI calculado mediante el Rugosímetro MERLIN en Julio de 2017 y el perfilómetro láser realizado en el año 2016, para la progresiva 2+000 a 3+200 muestra

valores por debajo a los del perfilómetro esto es probablemente a que solo se realizó en la Huella derecha para el rugosímetro MERLIN además de que el equipo no es tan preciso como el perfilómetro láser, para la progresiva 13+000 a 14+200 muestra que la rugosidad ha aumentado; aun así los valores obtenidos muestra que la carretera Bellavista – Ledoy tiene un comportamiento funcional Bueno.

3.1.2.3 Tercera medición del IRI (Enero - 2018)

El estudio se realizó en 2 sectores; en el Km 1+000 al Km 2+200 y del Km 10+000 al Km 11+200. En la tabla 20 se muestra los resultados que se obtuvo con el Equipo Rugosímetro MERLIN y con el perfilómetro Láser (2016).

Tabla 20

Valores de IRI con MERLIN y Perfilómetro Láser

TRAMO	SECTOR		FECHA	IRI MERLIN
Bellavista- Ledoy	01+000	01+400	31/01/2018	1.58
Bellavista- Ledoy	01+400	01+800	31/01/2018	1.37
Bellavista- Ledoy	01+800	02+200	31/01/2018	1.50
Bellavista- Ledoy	13+000	13+400	31/01/2018	2.6
Bellavista- Ledoy	13+400	13+800	31/01/2018	2.6
Bellavista- Ledoy	13+800	14+200	31/01/2018	3.1

Fuente: Elaboración Propia

3.1.2.4 Cuarta medición del IRI (Junio - 2018)

El estudio se realizó en 2 sectores; en el Km 2+000 al Km 3+200 y del Km 10+000 al Km 11+200. En la tabla 21 se muestra los resultados que se obtuvo con el Equipo Rugosímetro MERLIN.

Tabla 21*Valores de IRI con MERLIN*

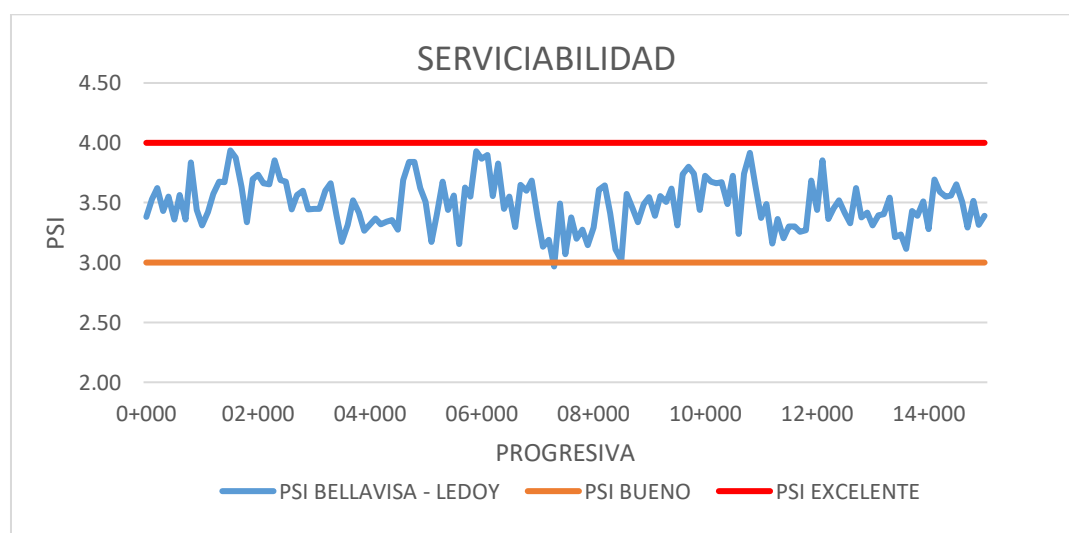
TRAMO	SECTOR	FECHA	IRI(HD) MERLIN
Bellavista- Ledoy	02+000 02+400	21/06/2018	1.3
Bellavista- Ledoy	02+400 02+800	21/06/2018	1.3
Bellavista- Ledoy	02+800 03+200	21/06/2018	1.7
Bellavista- Ledoy	10+000 10+400	21/06/2018	2.7
Bellavista- Ledoy	10+400 10+800	21/06/2018	3
Bellavista- Ledoy	10+800 11+200	21/06/2018	1.6

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: Según la tabla 22 del IRI calculado mediante el Rugosímetro MERLIN en Junio de 2018 y el perfilómetro láser realizado en el año 2016, para la progresiva 2+000 a 3+200 muestra valores por debajo a los del perfilómetro esto es probablemente a que solo se realizó en la Huella derecha para el rugosímetro MERLIN y la precisión es mucho menor que la del perfilómetro, para la progresiva 10+000 a 11+200 los valores del IRI han aumentado; aun así los valores obtenidos muestra que la carretera Bellavista – Ledoy tiene un comportamiento funcional regular.

3.1.3.6 Índice De Serviciabilidad

En la figura 21 se presenta la serviciabilidad del estudio realizado en el año 2016 de la carretera Bellavista – Ledoy cada 100 m calculados.

**Figura 21:** Valores de serviciabilidad

Interpretación: De acuerdo a la figura 19 la serviciabilidad calculada está en el rango de bueno a excelente, es decir que la vía ofrece un grado de confort bueno para el usuario además de seguridad al manejar.

3.3.3 Evaluación estructural

Para realizar una evaluación estructural previamente se tiene que sectorizar el tramo de estudio es decir buscar características homogéneas en un tramo de la vía. Para eso se tuvo que hacer un análisis respectivo.

3.2.3.1 Resultados de la deflectometría

Solo se realizó un estudio de evaluación estructural mediante el ensayo de deflectometría con el equipo Deflectómetro de Impacto (FWD) en el año 2018.

Se presenta la primera medición y única lo cual se obtuvo del informe técnico de diseño del contratista usando el equipo deflectómetro de impacto (FWD), luego de la recolección de datos se procedió a procesarla para poder interpretarla y luego presentar resultados.

La tabla 14 muestra el resumen los parámetros estructurales de los tramos homogéneos y las deflexiones tanto como mínimas, máximas y promedios corregidas por temperaturas y normalizadas a 40 kN.

Tabla 22

Deflexiones por Tramo Homogéneo de Bellavista - Ledoy

Sector	Inicio	Fin	Deflexión Minina (1/1000mm)	Deflexión Máxima (1/1000mm)	Deflexión Promedio (1/1000mm)
1	0+000	15+000	246.70	1239.70	629.60

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: De acuerdo a la Tabla 22 se puede observar que la distribución de las deflexiones centrales obtenidas con el FWD, se encuentran entre 246.70 (1/1000mm) y 1239.70 (1/1000mm). Asimismo el promedio para todo el tramo es de 629.60 (1/1000mm). Según la tabla del MTC nos dice que en ese momento la carretera está tiene un comportamiento estructural aceptable.

3.2.3.2 Resultados de módulo resiliente (Mr)

La figura 13 muestra los valores calculados obtenidos del módulo resiliente de la subrasante (Mr).

Tabla 23

Módulo Resiliente por Tramo Homogéneo

Sector	Inicio	Fin	Módulo Resiliente Mínimo (kg/cm ²)	Módulo Resiliente Máximo (kg/cm ²)	Módulo Resiliente Promedio (kg/cm ²)
Bellavista - Ledoy	0+000	14+000	659.00	6743.70	1888.07

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: Al evaluar la condición de la capacidad de soporte del material de la subrasante a partir de la estimación del módulo Resiliente de la Subrasante con base en las deflexiones, cuyo valor mínimo es 659.00 kg/cm² y el valor máximo es 6743.70 kg/cm² siendo 1888.07 kg/cm² el promedio.

3.2.1.4 Resultados del Numero estructural SN

Con los valores obtenidos del módulo efectivo y los espesores se procedió a calcular los números estructurales del pavimento. El procedimiento de cálculo fue descrito en el numeral 2.12.7.3

Tabla 24

Numero Estructural por Tramo Homogéneo

Sector	Inicio	Fin	Numero Estructural Efectivo	Numero Estructural Requerido	Condición estructural de Pavimento
1	0+000	1+600	4.22	1.76	Suficiencia Estructural
2	1+600	7+800	5.55	1.76	Suficiencia Estructural
3	7+800	10+000	3.30	1.76	Suficiencia Estructural
4	10+000	12+800	2.62	1.76	Suficiencia Estructural
5	12+800	15+800	2.62	1.76	Suficiencia Estructural

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: El número estructural ayuda a identificar que tramos presentan disminución de la capacidad estructural. Según la tabla 24, el valor mínimo es 2.62 y el máximo es 5.55, teniendo un Número estructural promedio de 3.66.

3.3 Evaluación económica

Para el análisis económico se hizo una comparación de los costos que resulta de construir con Tratamiento Superficial Bicapa y con Slurry Seal a nivel superficial, los costos de transporte, base y subbase no están incluidos en el cálculo realizado. Los precios son referenciales.

3.3.1 Partidas de construcción de Tratamiento Superficial Bicapa

Tabla 25

Partidas para la ejecución del tratamiento superficial bicapa

PAVIMENTOS	
IMPRIMACION ASFALTICA	m2
TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA – 1ERA CAPA	m2
TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA – 2DA CAPA	m2

Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Análisis de costos unitarios de construcción de Tratamiento Superficial Bicapa

IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA

ANÁLISIS DE COSTO UNITARIO						
PARTIDA	: Imprimación asfáltica					
Rendimiento	: 5000 m2/día					
Unidad	: m2					
Fecha	: Noviembre 2019					
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio Unitario	Parcial	Total
MANO DE OBRA						
Capataz	hh	1.000	0.002	26.300	0.04	
Peón	hh	6.000	0.010	15.820	0.15	
Costo Mano de Obra						0.19
MATERIALES						
Asfalto Líquido MC - 30	L		1.500	2.700	4.05	
Arena Zarandeada	m3		0.008	26.080	0.21	
Costo Materiales						4.26
EQUIPO Y HERRAMIENTAS						
Camión imprimador de 2000gl	hm	1.000	0.002	140.420	0.22	
Compresora Neumática 87 HP 250-330 PCM	Und	1.000	0.0016	40.000	0.06	
Minicargador 70 HP	hm	1.000	0.0016	68.640	0.11	
Herramientas manuales (5% M.O.)	% M.O.		0.050	0.194	0.01	
Costo Equipo y Herramientas						0.41
COSTO DIRECTO TOTAL						4.86

Figura 22: Análisis de costo unitario de imprimación asfáltica. (Fuente: Elaboración propia)

TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA - 1ERA CAPA

ANALISIS DE COSTO UNITARIO						
PARTIDA		: Tratamiento superficial Bicapa - 1era Capa				
Rendimiento		: 4000 m2/día				
Unidad		: m2				
Fecha		: Noviembre 2019				
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio Unitario	Parcial	Total
MANO DE OBRA						
Capataz	hh	0.500	0.0010	26.300	0.03	
Oficial	hh	1.000	0.002	17.550	0.04	
Peón	hh	3.000	0.006	15.820	0.09	
Costo Mano de Obra						0.16
MATERIALES						
Emulsión asfáltica CRS-1	L		2.000	2.700	5.40	
Agregado grueso chancado 3/8"	m3		0.014	65.120	0.91	
Costo Materiales						6.31
EQUIPO Y HERRAMIENTAS						
Compresora Neumática 87 HP 250-330 PCM	hm	1.000	0.002	40.000	0.08	
Minicargador 70 HP	hm	1.000	0.002	68.640	0.11	
Retroexcavadora 62 HP	Und	1.000	0.002	70.000	0.14	
Rodillo Neumático Autopropulsado 135 HP 9.26 ton	hm	1.000	0.002	136.840	0.27	
Camión imprimador de 200 gl	hm	1.000	0.002	140.420	0.28	
Esparcidora de agregados	hm	1.000	0.002	109.070	0.22	
Herramientas manuales (5% M.O.)	% M.O.		0.050	0.156	0.01	
Costo Equipo y Herramientas						1.11
COSTO DIRECTO TOTAL						7.58

Figura 23: Análisis de costo unitario para el Tratamiento Superficial Bicapa – 1era capa. (Fuente: Elaboración propia)

TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA - 2DA CAPA

ANALISIS DE COSTO UNITARIO						
PARTIDA		: Tratamiento superficial Bicapa - 2da Capa				
Rendimiento		: 4000 m2/día				
Unidad		: m2				
Fecha		: Noviembre 2019				
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio Unitario	Parcial	Total
MANO DE OBRA						
Capataz	hh	0.500	0.0010	26.300	0.03	
Oficial	hh	1.000	0.002	17.550	0.04	
Peón	hh	3.000	0.006	15.820	0.09	
Costo Mano de Obra						0.16
MATERIALES						
Emulsión asfáltica CRS-1	L		1.200	2.700	3.24	
Agregado grueso chancado 3/8"	m3		0.014	65.120	0.91	
Costo Materiales						4.15
EQUIPO Y HERRAMIENTAS						
Compresora Neumática 87 HP 250-330 PCM	hm	1.000	0.002	40.000	0.08	
Minicargador 70 HP	hm	1.000	0.002	68.640	0.11	
Retroexcavadora 62 HP	Und	1.000	0.002	70.000	0.14	
Rodillo Neumático Autopropulsado 135 HP 9.26 ton	hm	1.000	0.002	136.840	0.27	
Camión imprimador de 200 gl	hm	1.000	0.002	140.420	0.28	
Esparcidora de agregados	hm	1.000	0.002	109.070	0.22	
Herramientas manuales (5% M.O.)	% M.O.		0.050	0.156	0.01	
Costo Equipo y Herramientas						1.11
COSTO DIRECTO TOTAL						5.42

Figura 24: Análisis de costo unitario para el Tratamiento Superficial Bicapa – 2da capa. (Fuente: Elaboración propia)

3.3.3 Partidas de construcción de Slurry Seal

MORTERO ASFÁLTICO (SLURRY SEAL E=10 MM)

ANÁLISIS DE COSTO UNITARIO						
PARTIDA		: Mortero asfáltico (Slurry Seal E=10 mm)				
Rendimiento		:10000 m2/día				
Unidad		: m2				
Fecha		:Noviembre 2019				
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio Unitario	Parcial	Total
MANO DE OBRA						
Capataz	hh	0.500	0.0004	26.300	0.01	
Operario	hh	3.000	0.0024	21.910	0.05	
Oficial	hh	2.000	0.0016	17.550	0.03	
Peón	hh	5.000	0.0040	15.820	0.06	
Costo Mano de Obra						0.15
MATERIALES						
Emulsión asfáltica CSS-1hp	L		0.699	8.510	5.95	
Cemento Portland Tipo I (42.5kg)	BOL		0.008	25.470	0.20	
Agua para la obra	m3		0.002	2.690	0.01	
Agregados (arena)	m3		0.009	59.680	0.52	
Costo Materiales						6.67
EQUIPO Y HERRAMIENTAS						
Micropavimentadora	hm	1.000	0.001	730.000	0.58	
Cisterna para emulsión	Und	1.000	0.001	160.000	0.13	
Camión cisterna de 5000 gal	hm	1.000	0.001	66.960	0.05	
Cargadors s/llantas 100-115 HP 2-2.25 YD3	hm	1.000	0.001	220.000	0.18	
Herramientas manuales (5% M.O.)	% M.O.		0.050	0.154	0.01	
Costo Equipo y Herramientas						0.95
COSTO DIRECTO TOTAL						7.78

Figura 25: Análisis de costo unitario para mortero asfáltico (Slurry Seal E=10 mm).
(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 26*Partidas para la ejecución de Slurry Seal*

PAVIMENTOS	
Imprimacion Asfaltica	m2
Mortero asfáltico Slurry Seal (E=10mm)	m2

Fuente: Elaboración propia

3.3.4 Todo esto se resume a la siguiente tabla**Tabla 27***Resumen de costos unitarios para cada partida de tratamiento superficial*

ITEM	PAVIMENTOS	UNIDAD	P.U (S/)
1.00	Imprimacion Asfaltica	m2	4.86
2.00	Tratamiento Superficial Bicapa – 1era capa	m2	7.58
3.00	Tratamiento Superficial Bicapa – 2da capa	m2	5.42
4.00	Mortero asfáltico Slurry Seal (E=10mm)	m2	7.78

Fuente: Elaboración propia

3.3.5 Costo de un km de Carretera para Tratamiento Superficial Bicapa

Tabla 28

Costo de construcción con Tratamiento Superficial Bicapa por km

ITEM	PAVIMENTOS	UNIDAD	METRADO	P.U (S/)	P. Parcial(S/)
1.00	Imprimacion Asfáltica	m2	5000	4.86	24300.00
2.00	Tratamiento Superficial Bicapa-1era capa	m2	5000	7.58	37900.00
3.00	Tratamiento Superficial Bicapa-2da capa	m2	5000	5.42	27100.00
COSTO TOTAL POR KM				S/	89300.00

Fuente: Elaboración propia

Nota: El valor del metrado se realizó de acuerdo al ancho de vía según el MTC que es 5.00m

3.3.6 Costo para un km de carretera para Slurry Seal

Tabla 29

Costo de construcción con Tratamiento Superficial Bicapa por km

ITEM	PAVIMENTOS	UNIDAD	METRADO	P.U (S/)	P. Parcial(S/)
1.00	Imprimacion Asfáltica	m2	5000	4.86	24300.00
2.00	Mortero asfáltico Slurry Seal (E=10mm)	m2	5000	7.78	38900.00
COSTO TOTAL POR KM				S/	63200.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30*Comparación de costos de construcción para cada tipo de tratamiento superficial*

Item	Pavimentos	Costo de construcción
1.00	Tratamiento Superficial Bicapa	S/ 89300.00
2.00	Slurry Seal	S/ 63200.00

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: Según la tabla 30 el costo de construcción inicial para un pavimento con Tratamiento Superficial Bicapa(TSB) es más costoso que el Mortero asfáltico Slurry Seal habiendo una diferencia de S/ 26100.00, siendo el TSB 29.23% más costoso en cuanto a costo de construcción inicial.

3.5 Discusión de Resultados

3.5.1 Evolución del IRI con tratamiento superficial bicapa TSB de la carretera

Lamas -Pamashto

La primera medición realizada a 1 año de servicio en el estudio realizado el año 2017 el valor del IRI promedio de la Carretera Lamas – Pamashto con Tratamiento Superficial Bicapa es 3.24 m/Km, cuyo valor mínimo es 2.89 m/km y un valor máximo de 3.76 m/km. La serviciabilidad es igual a 2.71 esto indica que el pavimento tiene un comportamiento funcional regular. La segunda medición realizada en Noviembre de 2017 con TSB muestra un IRI promedio de 3.54 es decir notamos un aumento de IRI. Así mismo presenta un serviciabilidad promedio de 2.63 según la tabla 7 concluyendo que tiene un comportamiento funcional regular. La tercera medición realizada en Agosto de 2018 con TSB muestra un IRI promedio de 3.64 y una serviciabilidad promedio de 2.63 concluyendo un comportamiento funcional regular acercándose a malo; éste estudio sirve para poder programar el mantenimiento de la vía ya que está sobrepasando el IRI máximo que es 3.50.

3.5.2 Evolución del IRI con Slurry Seal de la carretera Lamas -Pamashto

Luego de realizar los estudios de rugosidad para verificar el estado de la vía en Agosto de 2018 se programó para septiembre el recapeo asfáltico usando Slurry Seal obteniendo

resultados favorables tanto en su comportamiento funcional. Según la tabla 9 la vía muestra un IRI promedio de 2.37 y una serviciabilidad de 3.25 mejorando notablemente el grado de confort que ofrece la vía. Luego en noviembre se realizó otro estudio donde el IRI promedio fue de 2.23 y la serviciabilidad promedio de 3.25 concluyendo un comportamiento funcional bueno.

3.5.3 Evolución del IRI con Slurry Seal de la carretera Bellavista - Ledoy

Los datos obtenidos a 1 año de servicio del estudio de la carretera Bellavista – Ledoy con Slurry Seal muestra un IRI promedio de 2.16 m/km, cuyo valor mínimo es 1.27 m/km y el valor máximo es 2.88 m/km. La serviciabilidad promedio es de 3.49 lo cual tiene un comportamiento funcional bueno. La segunda medición realizada en julio de 2017 presenta un IRI promedio de 1.93 esto es menor a la que se realizó anteriormente es probable que como solo es un tramo representativo el IRI sale mucho menor a lo que era inicialmente. La tercera medición arrojó un IRI promedio de 2.08; ocurre lo mismo ya que solo es un tramo representativo. La última medición en Junio de 2018 arrojó un IRI promedio de 1.93. Concluyendo que el Slurry Seal tiene mejor comportamiento a lo largo de su vida útil.

3.5.4 Comportamiento estructural de la carretera Lamas - Pamashto

De acuerdo a los resultados obtenidos del estudio de deflectometría usando el FWD a 1 año de servicio presenta un comportamiento estructural aceptable del pavimento, ya que tiene un promedio de 581 (1/1000mm). Con esta información se procedió a calcular el módulo equivalente, el módulo resiliente y el número estructural. Según los datos obtenidos del modulo resiliente que estudia la capacidad que tiene la subrasante frente a cargas cíclicas arrojó un valor promedio de 652 kg/cm² lo cual presenta un comportamiento regular. Los resultados obtenidos del módulo equivalente promedio son 5091 kg/cm², esto quiere decir que a mayor módulo, mayor capacidad estructural del sector, sin embargo, también puede entenderse que a mayor módulo, mayor rigidez y por ende se estaría en cercanía de la condición de fatiga de las capas asfálticas, el módulo efectivo refleja la capacidad estructural de todo el paquete estructural. El número estructural calculado nos ayuda a determinar el estado de la vía ya que gracias a éste se puede programar la rehabilitación.

3.5.5 Comportamiento estructural de la carretera Bellavista – Ledoy

Se realizó ensayos con el deflectómetro de impacto (FWD), se procedió a calcular el número estructural con la información mediante la deflectometría obteniendo resultados favorables en cuanto a la capacidad estructural.

3.5.6 Comparación de la evaluación funcional

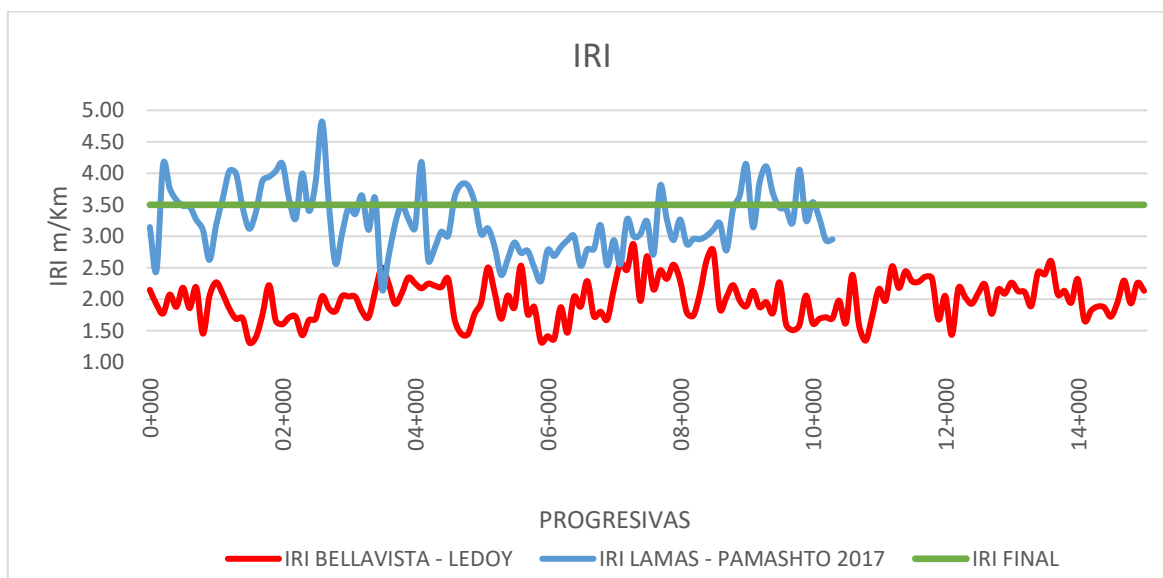


Figura 26: Valores de IRI de la carretera Lamas – Pamashto y Bellavista – Ledoy a 1 año de servicio. (Fuente: Elaboración Propia)

Si visualizamos la figura 26 notaremos el comportamiento funcional de la carretera Lamas – Pamashto con tratamiento superficial bicapa y el de la carretera Bellavista – Ledoy con Slurry Seal, claramente el Slurry Seal presenta una mejor transitabilidad ya que tiene un IRI promedio de 2.16 m/km teniendo una serviciabilidad de 2.71 lo cual es mucho menor de la carretera Lamas – Pamashto que tiene un IRI promedio de 3.24 m/Km; ambos estudios se realizaron a 1 año de servicio que contaba ambas carreteras.

Tabla 31

Cuadro resumen de valores de IRI de todas las mediciones hechas

IRI	LAMAS – PAMASHTO	BELLAVISTA – LEDOY
Primera medición	3.33 m/km	2.16 m/km
Segunda medición	3.54 m/km	1.98 m/km
Tercera medición	3.64 m/km	1.95 m/km
Cuarta medición	2.37 m/km	1.85 m/km
Quinta medición	2.23 m/km	S/D

Fuente: Elaboración propia

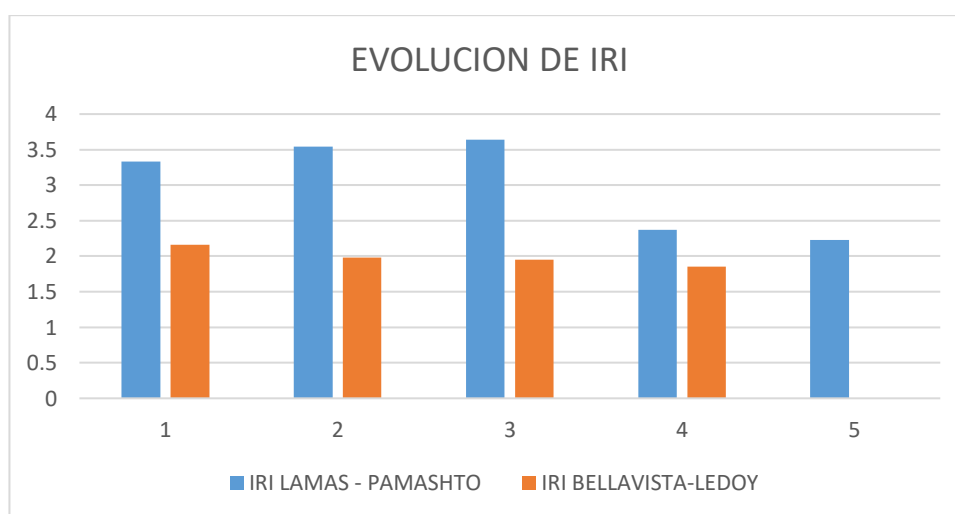


Figura 27: Evolución del IRI desde la primera medición hasta la última. (Fuente: Elaboración propia)

3.5.6 Comparación de la evaluación estructural

Se realizó la comparación estructural mediante el uso del Número Estructural (SN) para ambas carreteras, el equipo usado para el ensayo es el deflectómetro de impacto.

Tabla 32

Cuadro resumen de valores de SN de todas las mediciones hechas

Numero Estructural	Lamas – Pamashto	Bellavista – Ledoy
SN	1.92	3.66

Fuente: Elaboración propia

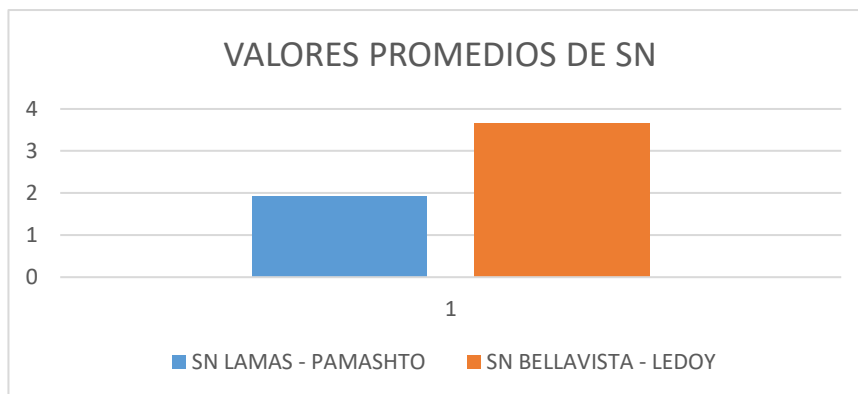


Figura 28: Número estructural promedio de ambas carreteras. (Fuente: Elaboración propia)

CONCLUSIONES

En cuanto a serviciabilidad que ofrece la vía al usuario, se apreció que el Slurry Seal tiene mejor comportamiento funcional frente al Tratamiento Superficial Bicapa (TSB) asegurando una mejor vida útil del pavimento, mejor grado de confort al manejar, esto puede explicarse que el Slurry Seal presenta pocos vacíos ya que su granulometría le proporciona un bajo índice de vacío lo cual le da una mejor permeabilidad a lo que no es el tratamiento superficial bicapa.

Comparando los resultados del número estructural de la carretera Lamas – Pamashto y Bellavista – Ledoy para el comportamiento estructural, se llegó a la conclusión el tramo de Bellavista – Ledoy que ésta carretera presenta un mejor comportamiento estructural. Esto sería a que la carretera presentó mayor flujo de tráfico para el que fue diseñado, ya que según estudios el Tratamiento superficial Bicapa tiene mejor comportamiento estructural con respecto al Slurry Seal.

El comportamiento funcional de la carretera Lamas – Pamashto en su tercera medición presentó un IRI mayor a 3.5 m/km por encima de lo reglamentario presentando un déficit de serviciabilidad, luego de éste estudio se procedió a hacer la programación para el antenimiento necesario de tal manera mejorar el IRI para mejorar la serviciabilidad que ofrece la vía. En cuanto al comportamiento estructural la vía presentó una condición aceptable.

El comportamiento funcional de la carretera Bellavista – Ledoy presentó niveles de IRI que están entre 1.7 a 2.5, esto quiere decir que la vía ofrece una serviciabilidad BUENA para el usuario. En cuanto al comportamiento estructural presento un número estructural bajo lo cual indica que la subrasante tiene baja capacidad estructural.

Según la tesis Evaluación del desempeño de tratamientos superficiales en carreteras de bajo volumen de tránsito – tramo Zuñiga- Dv. Yauyos realizó un estudio de costo de construcción inicial donde el Slurry es ligeramente más costoso pero esto sería debido a que el otro tratamiento superficial fue monocapa. Concluyo que el tratamiento superficial bicapa es más costoso que el Mortero asfáltico Slurry Seal habiendo una diferencia de S/ 26100.00, siendo el TSB 29.23% más costoso en cuanto a costo de construcción inicial. Los costos de mantenimiento rutinarios no se realizaron.

RECOMENDACIONES

Se recomienda a las autoridades darle mayor importancia al estudio funcional y estructural de las carreteras, realizando estudios cada 3 meses para así tener una mejor programación de mantenimientos a lo largo de su vida útil de la carretera.

El Proyecto Especial Huallaga Central y Bajo Mayo (PEHCBM) debería hacer convenio con la Universidad Nacional de San Martín para que los egresados puedan realizar sus tesis con los proyectos que ésta entidad ejecuta.

Se recomienda a la entidad encargada de supervisar las obras viales, tener equipos de alta precisión para así obtener mejores resultados y rápidos en los estudios que se realizan.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angélica, V. A. (2014). *Evaluacion y Diseño De Pavimentos Por El Metodo No Destructivo - Georadar(Gpr) Y Deflectómetro De La Antigua Vía A Conocoto*. Quito-Ecuador.
- Apolinario Morales, E. W. (2012). *Innovacion del Metodo Vizir en estrategias de conservacion y mantenimiento de carreteras con bajo volumen de tránsito*. LIMA.
- Armando Medina Palacios, M. d. (2015). *Evaluación superficial del pavimento flexible del Jr. José Gálvez del distrito de Lince aplicando el método del PCI*. Lima - Perú.
- Asencios, D. V. (2016). *Medicion y comparación de la rugosidad en pavimentos de la ciudad de Huánuco: Mediante Smartphone y un metodo tradicional*. Lima.
- Bardales, M. A. (2001). *Evaluacion superficial del pavimentado de la carretera Lamas - Cacatachi*. Tarapoto. Peru.
- Bustios, R. R. (2015). *Cálculo del Índice de condición del pavimento (PCI) Barranco - Surco- Lima*. Lima. Perú.
- Comunicaciones, M. d. (2014). *"Manual de Carreteras (Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos)*
- Cóndor Alfaro, J. J. (2016). *Tratamiento superficial bicapa con emulsion asfaltica de la carretera Valle Yacus provincia de Jauja - region junin 2015*. Huancayo. Perú.
- Cueto, C. I. (2015). *Aplicación de Teléfonos inteligentes para determinar la rugosidad de pavimentos urbanos en Lima*. Lima. Peru.
- Gerencia, I. d. (2006). *Gestion de Infraestructura Vial* .

- Hirpahuanca Laura, D. (2016). *Determinación y Comparación de la regularidad Superficial del pavimento de la carretera Cusco-Urcos, usando teléfonos inteligentes y el rugosímetro de Merlin-2016*. Cusco. Peru.
- Hugo Alexander Rondón Quintana, F. A. (2015). *Pavimentos (Materiales, Construcción y Diseño)*. Editorial: MACRO.
- Idrogo, O. T. (2014). *Evaluación Funcional y Estructural de Los Pavimentos*. Obtenido de: <https://es.scribd.com/doc/197123870/Evaluacion-Funcional-y-Estructural-de-Los-Pavimentos>
- Iturbide, I. J. (2002). *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos*. Guatemala.
- Maria Fernanda Benavides, N. V. (2013). *Patología de los pavimentos flexibles. Officials, A. A. (93). AASHTO 93*.
- Pineda, K. H. (2015). *Análisis superficial de pavimentos flexibles para el mantenimiento de vías en la región Puno*. Juliaca. Peru.
- Rebolledo, R. J. (2010). *Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos*. Valdivia. Chile.
- Rodríguez, P. d. (1999). *Desarrollo de la ecuación de correlación para la determinación del IRI en pavimentos asfálticos nuevos utilizando el rugosímetro Merlin*. Perú
- Vásquez, J. A. (2015). *Análisis y evaluación patológico de la superficie del pavimento intertrabado en la Av. Sanchez Cerro Cuadras 11 y 12, desde la Av. Sullana Norte hasta la Av. Country, vía auxiliar izquierda, Piura 2015*. Piura. Peru.
- Viscarra, J. M. (s.f.). *Instituto de la Construcción y Gerencia*. Obtenido de: <http://dev2.construccion.org/biblioteca/articulo/tratamiento-fisuras-carpetas-asfalticas-306>

ANEXOS

Anexo A: Panel fotográfico



Figura 29: Equipo MERLIN calibrado y listo para la medición de la rugosidad a lo largo de la carretera.



Figura 30: Valores de depresiones y elevaciones para el cálculo del IRI del equipo rugosímetro MERLIN



Figura 31: Se observa en la figura la calibración que se le está realizando al rugosímetro MERLIN para luego proceder a la medición del IRI.



Figura 32: Se observa la medición del IRI usando el rugosímetro MERLIN.

Anexo B: Documentación

Anexo C: Planos