



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
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



Determinación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y las propiedades físicas y mecánicas del Km 00 + 000 hasta el Km 09 + 000 de capa asfáltica de la ruta EMP.PE-5N (DV. Lamas), provincia Lamas, departamento San Martín

Tesis Para Optar El Título Profesional de Ingeniero Civil

AUTORES:

Marilyn María Flores Sangama

Grety Luz Upiachihua Ojanama

ASESOR:

Ing. Msc. Máximo Alcibiades Vilca Cotrina

Tarapoto – Perú

2021

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



Determinación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y las propiedades físicas y mecánicas del Km 00 + 000 hasta el Km 09 + 000 de capa asfáltica de la ruta EMP.PE-5N (DV. Lamas), provincia Lamas, departamento San Martín

AUTORES:

Marilyn María Flores Sangama

Grety Luz Upiachihua Ojanama

Sustentado y aprobado el 22 de setiembre de 2021, por los siguientes jurados

.....
Ing. M. Sc. Enrique Napoleón Martínez Quiroz
Presidente

.....
Ing. Juvenal Vicente Díaz Agip
Secretario

.....
Ing. M. Sc. Jose Evergisto Alarcón Zamora
Vocal

.....
Ing. M. Sc. Maximo Alcibiades Vilca Cotrina
Asesor

Declaratoria de autenticidad





Marilyn María Flores Sangama, con DNI N° 76761988 y **Grety Luz Upiachihua Ojanama**, con DNI N° 46788235, egresados de la Escuela profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, autores de la tesis titulada: Determinación Del Índice De Rugosidad Internacional (IRI) Y Las Propiedades Físicas Y Mecánicas Del Km 00 + 000 Hasta El Km 09 + 000 De Capa Asfáltica De La Ruta EMP.PE-5N (DV. Lamas), Provincia Lamas, Departamento San Martín.

Declaramos bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de nuestra 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 plagiada;
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, 22 de setiembre de 2021





 	 
Bach. Marilyn María Flores Sangama DNI 76761988	Bach. Grety Luz Upiachihua Ojanama DNI 46788235

Declaración Jurada

Marilyn María Flores Sangama, con DNI N° 76761988, domicilio legal Jr. Cusco 634 - Tarapoto y **Grety Luz Upiachihua Ojanama**, con DNI N° 46788235, domicilio legal Jr. Felipe Yap 292 - Morales, 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, DECLARAMOS 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 asumimos 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, 22 de setiembre de 2021

 Bach. Marilyn María Flores Sangama DNI 76761988		 Bach. Grety Luz Upiachihua Ojanama DNI 46788235	
---	---	--	---

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:	Flores Sangama Marilyn María		
Código de alumno :	76761988	Teléfono:	928093343
Correo electrónico :	marilyn fs 27.mf@gmail.com		DNI: 76761988

(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

Titulo :	Determinación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y las propiedades físicas y mecánicas del km 00+00 hasta el km 09+000 de capa asfáltica de la ruta EMP. PE-5N (DV. Lamas), provincia Lamas, departamento San Martín
Año de publicación:	2021

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 12º 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 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.

05 / 11 / 2021


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

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: Upiachihua Ojanama Greta Luz	
Código de alumno : 46788235	Teléfono: 932744330
Correo electrónico : upi.luz23@gmail.com	DNI: 46788235

(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 : "Determinación del índice de Rugosidad Internacional (IRI) y las propiedades físicas y mecánicas del Km 00+000 hasta el Km 09+000 de la capa asfáltica de la Ruta Emp. Pe. SA (Dv. Lamas), provincia de Lamas, Departamento de San Martín."
Año de publicación: 2021

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 12º 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 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.

05 / 11 / 2021



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

.....
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 mis padres que, con mucho esfuerzo y su apoyo incondicional brindado en todo momento, que me inspiraron confianza y perseverancia para el logro de mis metas trazadas.

A toda mi familia, por ser la razón de mi vida, y darme las fuerzas para seguir adelante.

Grety Luz Upiachihua Ojanama

A mi madre, la persona que me dio fuerzas y motivos para luchar y salir adelante, a quien admiro por su paciencia y amor incondicional.

Marilyn María Flores Sangama

Agradecimientos

Mi agradecimiento es ante todo a Dios por regalarme esta vida y darme fortaleza perfectamente mantenido a través del tiempo, a mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida y por su apoyo incondicional.

A mi asesor el Ing. Máximo Alcibiades Vilca Cotrina, agradezco por su consideración y por brindarme la oportunidad de impartir su conocimiento con respecto a nuestra tesis, y la paciencia mostrada durante todo el proceso del desarrollo de nuestro proyecto de investigación.

A los Docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de nuestra Universidad Nacional de San Martín, por sus enseñanzas y consejos que brindaron durante los años de estudio.

A todas las personas que de una u otra manera me apoyaron para la realización de esta tesis, pues por más pequeña o grande que haya sido su intervención ha sido muy valiosa y considerada, a todos muchas gracias.

Grety Luz Upiachihua Ojanama

A Dios, por la vida, la salud y por permitirme alcanzar mis logros profesionales, asimismo a mis familiares que me brindaron su apoyo moral y económico.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por todas sus enseñanzas y formarme como una buena profesional.

Al, Ing. M.Sc. Máximo Alcibiades Vilca Cotrina, por la orientación y ayuda que nos brindó para el desarrollo de nuestro proyecto de investigación.

Marilyn María Flores Sangama

Índice General

Dedicatoria.....	vi
Agradecimiento	vii
Índice General.....	viii
Índice de tablas	xii
Índice de figuras	xiii
Resumen	xv
Introducción.....	1
CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	6
1.1. Antecedentes de la Investigación	6
1.1.1. Antecedentes A Nivel local	6
1.1.2. Antecedentes a nivel nacional	6
1.1.3. Antecedentes A Nivel Internacional.....	7
1.2. Planteamiento del Problema.....	8
1.2.1. Formulación del Problema	9
1.3. Objetivos	9
1.3.1. Objetivo General	9
1.3.2. Objetivos Específicos	9
1.4. Justificación de la Investigación.....	10
1.4.1. Justificación Técnica.	10
1.4.2. Justificación Social.....	10
1.4.3. Justificación Económica.....	10
1.4.4. Justificación Conveniencia.....	10
1.5. Limitaciones	11
1.5.1. Limitaciones en el ámbito de material	11
1.5.2. Limitaciones en el ámbito de estudio	11
1.6. Marco teórico	11
1.6.1. Índice de Rugosidad Internacional (IRI).....	11

1.6.1.1.	El modelo de Cuarto de Carro	12
1.6.2.	Escala y Características del IRI.....	13
1.6.3.	Métodos de Medición del IRI.....	14
1.6.4.	ROADROID.....	17
1.6.5.	Propiedades físicas y mecánicas (Agregados).....	18
1.6.6.	Pavimentos Flexibles (Pavimento de concreto asfáltico en caliente).....	18
1.6.6.1.	Agregados Pétreos	19
1.6.6.2.	Agregados Finos.....	20
1.6.6.3.	Gradación para mezcla asfáltica en caliente (MAC).....	20
1.6.6.4.	Material Bituminoso.....	21
1.7.	Definición de Términos Básicos	21
CAPÍTULO II. MATERIAL Y METODOS		23
2.1.	MATERIALES.....	23
2.1.1.	Recursos Humanos	23
2.1.2.	Recursos Materiales	23
2.1.3.	Secundarios	23
2.2.	Metodología.....	23
2.2.1.	Hipótesis.....	25
2.3.	Sistema de Variable.....	25
2.4.	Tipo y Nivel de Investigación	29
2.5.	Diseño de la investigación.....	29
2.6.	Población y Muestra.....	30
2.6.1.	Población.....	30
2.6.2.	Muestra.....	30
2.7.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	30
2.7.1.	Técnicas de Recolección de Datos	30
2.7.2.	Instrumentos de Recolección de Datos	31
2.7.2.1.	Identificación de fallas y deterioros en el pavimento flexible.....	31

2.7.2.2. Evaluación del índice de rugosidad internacional con el Rugosímetro de Merlín	37
2.7.2.2.1. Metodología Para Determinación del IRI con Rugosímetro de Merlín	37
2.7.2.2.2. Índice de Serviciabilidad Presente	44
2.7.2.3. Procedimiento de cálculo de deflexiones con viga Benkelman	46
2.7.2.3.1. Equipos y Materiales.....	47
2.7.2.3.2. Procedimiento	49
2.7.2.3.3. Cálculos e Informe	51
2.7.2.4. Propiedades físicas y mecánicas de los materiales.....	52
2.7.2.4.1. Agregado grueso.	52
2.7.2.4.2. Arena natural.....	52
2.7.2.4.3. Arena triturada 3/16”	52
2.7.2.5. Especificaciones de los componentes:	53
2.7.2.5.1. Agregado mineral grueso	53
2.7.2.5.2. Agregado mineral finos.....	53
2.7.2.6. Gradación mezcla asfáltica normal MAC-2.....	54
2.7.2.7. Cemento asfáltico	55
2.7.2.8. Especificaciones de la mezcla asfáltica.....	56
2.7.2.9. Porcentajes del diseño de mezcla asfáltica colocada en pista	57
2.7.2.9.1. Agregados componentes	57
2.7.2.10. Combinación de agregados del diseño de mezcla	57
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	59
3.1. Resultados	59
3.1.1. Propiedades del agregado grueso	59
3.1.2. Propiedades del agregado fino	60
3.1.3. Propiedades del cemento asfáltico	61
3.1.4. Propiedades de la mezcla asfáltica	61
3.1.5. Resultados de la compactación (diamantina)	75
3.1.6. Mediciones estáticas – Viga benkelman	77

3.1.7. Resultados del índice de rugosidad (o regularidad) internacional (IRI)	79
3.2. Discusión de resultados	80
CONCLUSIONES	82
RECOMENDACIONES	83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
ANEXOS	87

Índice de tablas

Tabla 1: Especificaciones de los ensayos para los agregados pétreos (Sección 423:01-02 Pavimento flexible concreto asfáltico en caliente, EG-2013).....	19
Tabla 2: Requerimiento para los agregados finos.....	20
Tabla 3: Rangos de Gradación para Pavimento flexible concreto asfáltico en caliente (MTC, EG-2013, Sección 423: Pavimento flexible concreto asfáltico en caliente)	20
Tabla 4: Variables del trabajo de investigación.....	25
Tabla 5: Variable independiente.....	26
Tabla 6: Variable dependiente.....	27
Tabla 7: Variable dependiente.....	28
Tabla 8: Identificación de fallas en la vía.	31
Tabla 9: Rangos de Índice de servicialidad	45
Tabla 10: Valores de PSI y calificación de la serviciabilidad	45
Tabla 11: Distancias para ensayo con Viga Benkelman	50
Tabla 12: Requerimientos para los Agregados Gruesos	53
Tabla 13: Requerimientos para los Agregados Finos	53
Tabla 14: Husos granulométricos especificados.....	54
Tabla 15: Mezclas en Caliente tipo de Cemento Asfáltico Clasificado según Penetración	55
Tabla 16: Especificaciones del Cemento Asfáltico Clasificado por Penetración.....	55
Tabla 17: Especificaciones del Cemento Asfáltico Clasificado por Viscosidad.....	56
Tabla 18: Requisitos para Mezcla de Concreto Bituminoso	56
Tabla 19: Resumen de las Propiedades para los Agregados Gruesos	59
Tabla 20: Requerimientos para los Agregados Finos	60
Tabla 21: Resultado de ensayo Marshall del KM 00+000 hasta el KM 01+000.....	62
Tabla 22: Resultado de ensayo Marshall del KM 01+000 hasta el KM 02+000.....	64
Tabla 23: Resultados del KM 02+000 hasta el KM 03+000.....	65
Tabla 24: Resultados obtenidos de la capa asfáltica del KM 03+000 hasta el KM 04+000.....	67
Tabla 25: Resultados obtenidos de la capa asfáltica del KM 04+000 hasta el KM 05+000.....	68
Tabla 26: Resultados obtenidos de la capa asfáltica del KM 05+000 hasta el KM 06+00.....	69
Tabla 27: Resultados obtenidos de la capa asfáltica del KM 06+000 hasta el KM 07+000.....	71
Tabla 28: Resultados obtenidos de la capa asfáltica del KM 07+000 hasta el KM 08+000.....	72
Tabla 29: Resultados obtenidos de la capa asfáltica del KM 08+000 hasta el KM 09+000.....	74
Tabla 30: Requisitos para Mezcla de Concreto Bituminoso	74

Índice de figuras

Figura 1: Ubicación de la Región San Martín en el Perú	4
Figura 2: Ubicación de la Provincia de Lamas en la Región San Martín.....	4
Figura 3: Ubicación del área de influencia del proyecto	4
Figura 4: La respuesta de un cuarto de carro y el índice internacional de Rugosidad.	13
Figura 5: Rugosidad en diferentes pavimentos.....	13
Figura 6: Límites de velocidades según el tipo de pavimento.....	14
Figura 7: Sistema de adquisición de datos con nivel y mira en pavimentos	15
Figura 8: Perfilómetro estático	16
Figura 9: Perfilómetro dinámico.	16
Figura 10: Icono Roadroid y premios obtenidos.	17
Figura 11: Diseño de la investigación.	29
Figura 12: Se observa Desintegración por baches de severidad alta Km 08+196	33
Figura 13: Identificación de Fallas, carril derecho Km 00+395.	34
Figura 14: Desintegración de pavimento y fisuras km 02+044..	34
Figura 15: Extracción de muestras de pavimento para ensayos en laboratorio km 06+393.....	35
Figura 16: Desprendimiento de severidad alta en pavimento km 06+393..	35
Figura 17: Fisuras en bloques km 00+115- severidad alta.....	36
Figura 18: Fisuras de severidad alta km 01+086, se observa hundimiento de la carpeta fáltica.	36
Figura 19: Medición de rugosidad con el equipo Merlin – carril derecho.	39
Figura 20: Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones medidas en forma consecutiva.....	40
Figura 21: Ensayo con viga Benkelman en el Km 03+000.....	46
Figura 22: Viga Benkelman.	48
Figura 23: Ensayo de Adherencia del agregado grueso.....	59
Figura 24: Granulometría del agregado grueso.....	60
Figura 25: Ensayo de Límites de Atterberg.....	61
Figura 26: Resultados obtenidos de la capa asfáltica del KM 00+000 hasta el KM 01+000.	62
Figura 27: Resultados obtenidos de la capa asfáltica del KM 01+000 hasta el KM 02+000	63
Figura 28: Resultados obtenidos de la capa asfáltica del KM 02+000 hasta el KM 03+000.	65
Figura 29: Resultados obtenidos de la capa asfáltica del KM 03+000 hasta el KM 04+000.	66
Figura 30: Resultados obtenidos de la capa asfáltica del KM 04+000 hasta el KM 05+000.	67
Figura 31: Resultados obtenidos de la capa asfáltica del KM 05+000 hasta el KM 06+000.	69
Figura 32: Resultados obtenidos de la capa asfáltica del KM 06+000 hasta el KM 07+000	70
Figura 33: Resultados obtenidos de la capa asfáltica del KM 07+000 hasta el KM 08+000.....	72
Figura 34: Resultados obtenidos de la capa asfáltica del KM 08+000 hasta el KM 09+000.....	73

Figura 35: Ensayo Marshall.	75
Figura 36: Resultados de ensayos de compactación.	75
Figura 37: Deflectograma-carril izquierdo.	77
Figura 38: Resultados obtenido del ensayo con Viga Benkelman-carril izquierdo..	78
Figura 39: Deflectograma carril derecho.....	78
Figura 40: Resultados obtenido del ensayo con Viga Benkelman - carril derecho.....	78
Figura 41: Resultados obtenidos con el rugosímetro de merlín..	79
Figura 42: Ensayo con el Rugosímetro de Merlin..	80
Figura 43: Ensayo con el rugosímetro de Merlin..	80

Resumen

El presente proyecto de tesis: “Determinación Del Índice De Rugosidad Internacional (IRI) Y Las Propiedades Físicas Y Mecánicas Del Km 00 + 000 Hasta El Km 09 + 000 De Capa Asfáltica De La Ruta Emp.Pe-5n (Dv. Lamas), Provincia Lamas, Departamento San Martín”, es una investigación aplicada – explicativa. A lo largo del tramo de carretera se determinó zonas con fallas superficiales en la carpeta asfáltica, tales como: fisuras, asentamientos, ondulamientos, baches y otros que sean determinantes para impedir el tránsito de los vehículos. Para lograr los objetivos de la investigación, se tuvo en cuenta las Especificaciones Generales para construcción de Carreteras (EG-2013) Capítulo 4: Pavimentos flexibles, sección 423 de Pavimento de concreto asfáltico en caliente. Además, se utilizó la norma peruana que hace referencia a pavimentos urbanos en el Perú - CE.010 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). Para el cálculo del Índice de Rugosidad Internacional se utilizó el rugosímetro de Merlin, y con dichos resultados se obtuvo el Índice de Servicialidad (PSI). También, se realizó ensayos con Viga Benkelman para calcular la deflectometría del pavimento. Con los resultados obtenidos se evidenció las condiciones actuales de la vía, obteniendo un estado regular de acuerdo a la calificación de servicialidad. Asimismo, se planteó alternativas de solución a la problemática cumpliendo de este modo los objetivos del presente trabajo de investigación.

Palabras clave: Rugosidad, pavimento flexible, Capa asfáltica.

Abstract

The present thesis project: "Determination of the International Roughness Index (IRI) and the Physical and Mechanical Properties from Km 00 + 000 to Km 09 + 000 of the Asphalt Layer of the Route Emp.Pe-5n (Dv. Lamas), Lamas Province, Department of San Martín", is an applied - explanatory research. Along the stretch of road, areas with superficial faults in the asphalt were determined, such as: cracks, settlements, undulations, potholes and others that are determinant to impede the vehicle traffic. In order to achieve the research objectives, the General Specifications for Road Construction (EG-2013) Chapter 4: Flexible Pavements, section 423 hot asphalt concrete pavement, was taken into account. In addition, the Peruvian standard that refers to urban pavements in Peru - CE.010 of the National Building Regulations (RNE) - was used. For the calculation of the International Roughness Index, the Merlin roughmeter was used, and with these results the Serviceability Index (PSI) was obtained. Also, Benkelman Beam tests were performed to calculate the deflectometry of the pavement. The results obtained showed the current conditions of the road, obtaining a fair condition according to the serviceability rating. Likewise, alternative solutions to the problem were proposed, thus fulfilling the objectives of this research work.

Key words: Roughness, flexible pavement, asphalt layer.



Introducción

El desarrollo de los países, se basa primordialmente en sus vías de comunicación, a través de ellos se lleva a cabo las interrelaciones económicas, sociales, culturales, etc. entre los pueblos. Según la Oficina de Estadística del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020), miles de millones de dólares y horas - hombre se gasta cada año en la construcción, mantenimiento y rehabilitación de vías. Tiempo y dinero son irremediabilmente perdidos, los costos aumentan y nuestra comodidad, seguridad son puestas en juego por las condiciones inestables de los pavimentos.

En este orden de ideas, la estructura de pavimento como parte de la infraestructura vial, juega un papel preponderante, ya que su objetivo es ofrecer a los usuarios un rodaje cómodo, seguro y económico.

El comportamiento funcional de un pavimento se refiere a cuan bien sirve el pavimento al usuario, siendo el confort y la transitabilidad características predominantes. Pudiendo encontrarse en la superficie de rodadura fisuras, grietas, parchados, ahuellamientos, hundimientos, pérdida de agregados, entre otros.

En los pavimentos flexibles los factores que más inciden en los daños de la superficie de rodamiento son: tráfico, edad y medio ambiente.

Según la Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones - San Martín (2019), afirma lo siguiente:

En los últimos años, las condiciones sociales, la producción general y particularmente en las zonas rurales se han visto afectados por el deterioro de los accesos a las zonas productoras y poblaciones rurales, que dependen fundamentalmente de las carreteras departamentales; pues por efecto multiplicador va deteriorando la calidad de vida de estas, con el alza incontrolable de tarifas, fletes y pérdida considerable de la producción agropecuaria. (p. 1)

La vía de la Carretera Departamental del área de estudio, TRAMO: EMP. PE-5N (DV. LAMAS), tiene una longitud total de 9.00 km y se encuentra en la Región Selva del Departamento de San Martín, en la provincia de Lamas, distritos de Lamas, Rumisapa y Cacatachi. Esta importante vía es una de las carreteras de la provincia de Lamas que interconecta sus centros poblados con la ciudad de Tarapoto, Yurimaguas, Moyobamba y ciudades de la zona norte de país; las cuales intercambian sus productos para mejorar la calidad de vida de la población beneficiaria.

La Carretera Departamental SM-104, ha sido actualizada en el clasificador de Rutas del SINAC en el 27 de Julio del 2016, mediante Resolución Supremo N° 011-2016-MTC; que Clasifican y Reclasifican jerarquía de diversas Carreteras y de Rutas Vecinales o Rurales de la Región San Martín, quedando definida de la siguiente manera:

“Ruta N° SM-104: Trayectoria: Emp. PE-5N (Pte. Bolivia) - Lamas - Emp. PE-5N (Dv. Lamas)”. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

La mejora de las condiciones de transitabilidad de la Carretera Departamental SM-104, - Emp. PE-5N (Dv. Lamas), representa un eje económico el cual permite contribuir a la mejora de los ingresos de poblaciones rurales pobres de esta parte del país, que se consideran de vital importancia para posibilitar el acceso de la producción agropecuaria a los Mercados de Consumo como es la ciudad de Lamas, Tarapoto.

Según Porras Anco (2010), afirma lo siguiente:

El grado de irregularidad longitudinal del pavimento influye en el nivel de confort, seguridad y tiempos de transporte de los usuarios que transitan en la vía, así como en los costos de operación vehicular. La rugosidad es el parámetro que "cuantifica" el grado de irregularidad superficial de una carretera. Por lo anterior, es de suma importancia conocer el estado de la regularidad superficial del pavimento a través del tiempo, desde el inicio de su operación y en cualquier momento en que sea necesario, para definir las correspondientes acciones preventivas y/o correctivas. Uno de los parámetros utilizados para la evaluación de la regularidad de los pavimentos, es el

índice de Rugosidad Internacional (IRI), el cual refleja el nivel de confort y seguridad al transitar.

En el presente proyecto se plantea la “Determinación del índice de rugosidad internacional y de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales utilizados en el asfaltado de la carretera EMP.PE-5N (Dv.Lamas), provincia de Lamas, departamento de San Martín” y establecer alternativas de solución frente a la problemática presentada.

El presente proyecto de tesis contiene tres capítulos; Capítulo I: Revisión Bibliográfica; se argumenta el motivo de la investigación, Capítulo II Material y Métodos: se detalla los materiales y la metodología utilizada, Capítulo III Resultados y discusión; se presentan resultados de la investigación. Finalmente, se detallan las Conclusiones y Recomendaciones a las que se llegaron con el desarrollo del proyecto de investigación.

Aspectos generales del área de estudio

Ubicación Política

- ✓ Departamento: San Martín
- ✓ Provincia: Lamas
- ✓ Distrito: Lamas

Ubicación Geográfica

El área de influencia del proyecto se encuentra ubicado entre 310 y 814 msnm en el Departamento de San Martín, a 20 km de distancia de Tarapoto.

Límites Geográficos

- ✓ Por el Este: Provincia de San Martín,
- ✓ Por el Oeste: Provincia de El Dorado y la Provincia de Moyobamba
- ✓ Por el Norte: Departamento de Loreto
- ✓ Por el Sur: Provincia de Picota

Coordenadas Geográficas:

✓ Latitud Sur: 6° 25'00''

✓ Longitud Oeste: 76° 32'00''



Figura 1: Ubicación de la Región San Martín en el Perú.

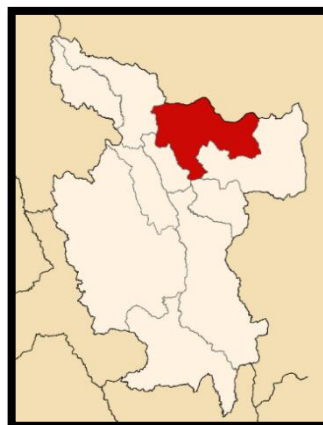


Figura 2: Ubicación de la Provincia de Lamas en la Región San Martín

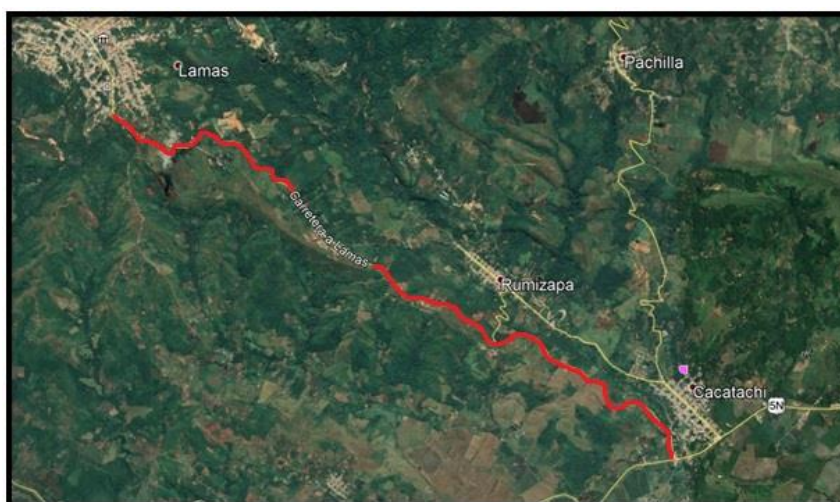


Figura 3: Ubicación del área de influencia del proyecto

Acceso al área del proyecto

Para llegar al área de influencia, partimos desde la ciudad de Tarapoto nos dirigimos por intermedio de la carretera Fernando Belaúnde Terry hasta llegar al cruce del empalme PE.-5N (DV LAMAS) llegando en un espacio de 10 minutos a la ciudad de Lamas, haciendo uso de moto, motokar y/o autos.

Clima

El Distrito de Lamas tiene un clima típico de la selva cálido con bastantes precipitaciones con variaciones de acuerdo al cambio de estaciones, la temperatura en verano asciende hasta los 32°C y en invierno desciende hasta los 22°C, teniendo una temperatura de 28°C.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Antecedentes de la Investigación

Se ha encontrado que existen diversos trabajos, tesis, estudios e informes relacionados con la problemática de los desgastes y deterioro de un pavimento flexible, que mayormente es producido por la calidad del material utilizado en el momento de la ejecución de la obra, por el aumento circular de los vehículos y por las malas decisiones de los encargados en la construcción. Algunos de ellos han sido presentados como proyecto de investigación o temas de estudio que tiene relación con este trabajo y que a continuación se presenta:

1.1.1. Antecedentes A Nivel local

Janett Beatriz de la Cruz (2016), de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, Perú, en su estudio de proyecto “*Cálculo del índice de condición aplicado al pavimento flexible, en el Jr. Jorge Chávez en la ciudad de Tarapoto – Barrio Huayco, Provincia de San Martín, Departamento de San Martín y propuesta de Solución*”, nos manifiesta que se realizó un total de 10 ensayos (Ensayo de Rugosidad con Rugosímetro Merlín) cada 400 metros, para determinar la rugosidad o IRI característico de la vía en estudio, obteniendo de esta manera un resultado para un $IRI_c = 10,36$ m/km, el cual pertenece a un pavimento completamente dañado, pues no cumple con los límites establecidos teóricamente y nos recomienda que debido a que el IRI característico de la vía, dio como resultado un valor lejos del estándar aceptable, correspondiente a un pavimento dañado, se recomienda la rehabilitación o reconstrucción del camino, tomando en cuenta, los años de vida útil que ésta vía posee, considerando necesaria esta decisión, ya que la vía en estudio es una vía principal, que conecta el aeropuerto y los distritos de Tarapoto con la Banda de Shilcayo.

1.1.2. Antecedentes a nivel nacional

Laura Hirpahuanca (2016), de la Universidad Andina del Cusco, Cusco, Perú, en su trabajo de investigación titulado, “*Determinación y Comparación de la Regularidad Superficial del pavimento de la carretera Cusco – Urcos, usando teléfonos inteligentes y el rugosímetro de Merlín*”, 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.

Carlos Almenara (2015), de la Pontificia Universidad Católica del Perú – Lima, Perú, con el proyecto de investigación “*Aplicación de teléfonos inteligentes para determinar la rugosidad de pavimentos urbanos en lima*”, indicándonos que Respecto a la norma peruana para pavimentos urbanos CE.010 podemos concluir que es totalmente flexible en cuanto al control de rugosidad. Solo estipula un límite máximo objetivo para vías expresas de 2.5 m/km, más allá de este caso particular no estipula ningún límite proponiendo que la rugosidad de un pavimento debe ser pactada entre el cliente y el constructor; además se cumple con la norma peruana de pavimentos urbanos CE.010 de rugosidad menor a 2.5 m/km en la vía expresa de Lima en un 95.24% de los tramos analizados, con una rugosidad promedio en IRI de 1.90 m/km. Solo 7 de los 147 segmentos analizados (4.76%) cuentan con IRI mayor a 2.5 m/km. Por los resultados obtenidos podemos comentar que, pese a la falta de mantenimiento en la vía durante muchos años, se conserva en buen estado por tratarse de un pavimento rígido y una demanda de cargas únicamente de automóviles.

Flormira Borja (2014), de la Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú, de su estudio “*Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados del pavimento flexible de la carretera Cañete – Lunahuana*”, con el objetivo de determinar las propiedades físicas y mecánicas que componen tanto la base como la carpeta asfáltica de dicha carretera, la cual concluyó con los ensayos que cumplen con los requisitos y parámetros establecidos en el manual de diseño de carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito.

1.1.3. Antecedentes A Nivel Internacional

Iván Montes de Oca y Julio Palacios (2013), de la Universidad Nacional Autónoma de México – México D.F, México, en su tesis de investigación “*La importancia de cumplir los niveles de servicio de la infraestructura carretera en México*”, concluyendo que los elementos que conforman una carretera (pavimentos, señalizaciones, obras de drenaje, etc.) tienen una gran importancia para la funcionalidad de la vía, sin embargo, se comprobó que el elemento de mayor trascendencia en una carretera es la superficie de rodamiento, de ella depende en gran medida el buen funcionamiento de una carretera como: el tiempo y calidad de recorrido de un lugar a otro, el desgaste de los vehículos, así como la seguridad de los pasajeros que transitan por la vía. México debe actualizarse continuamente e innovar en

procesos, materiales, herramientas tecnológicas que ayuden a mejorar la conservación de las carreteras y así aumentar su vida útil.

Mohammed Junaid Uddin (2015), de la Universidad de Osmania de la India, en su tesis de maestría: *“Pavement performance measures using Android based Smartphone application”* (“*Medidas de rendimiento del pavimento utilizando la aplicación para teléfonos inteligentes basada en Android*”), el objetivo fue medir la rugosidad del pavimento en la ciudad de Hyderabad, una ciudad de la India, utilizando la tecnología del teléfono inteligente basado en un Android, donde indica que la rugosidad es un importante indicador de la condición del pavimento, los cuales deben ser considerados cuidadosamente al evaluar pavimentos nuevos; puesto que al realizar ensayos con velocidades por debajo de los 20km/h los datos que proporciona el teléfono inteligente basado en un Android ya no son confiables. Llegando a la conclusión de que la longitud para hallar el IRI promedio debe ser cada 100m, además concluyó que manejar el vehículo a una velocidad constante de 50 km/h es adecuada para la obtención del IRI.

1.2. Planteamiento del Problema

El estado actual de los pavimentos flexibles en la Región de San Martín, cuenta con uno de los principales problemas de todas las obras de infraestructura vial, que son las diferentes fallas o deterioros que se presentan después de su construcción, es decir; a lo largo de la vida útil del proyecto y que la gestión de mantenimiento vial, no es suficiente para evitar estas fallas superficiales que se puedan presentar debido a varios factores.

En el asfaltado Emp.PE-5N (Dv. Lamas), la pavimentación de ésta, trajo consigo el aumento del tránsito Vehicular pesado, y que a lo largo del trayecto vial se ha observado la presencia de constantes desgastes de la capa asfáltica.

Pues, según la norma establecida por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones, el pavimento flexible en general tiene un periodo de vida entre 10 a 15 años, en el asfaltado Emp.PE-5N (Dv. Lamas) desde su construcción y de acuerdo con la situación actual en que se encuentra nos muestra que en la pavimentación existe una aceleración de desgaste en la capa asfáltica, ocasionando dificultad en el tránsito de los vehículos.

De acuerdo con esta situación del asfaltado Emp.PE-5N (Dv. Lamas) se decidió realizar un estudio de investigación, sobre la determinación del índice de rugosidad internacional y de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales utilizados en el asfaltado de la carretera Emp.PE-5N (Dv. Lamas), provincia de San Martín, departamento de San Martín, si es que cumplen con los parámetros establecidos en las normas peruanas; así como la aceleración del desgaste del pavimento y poder plantear alternativas de solución, mejorando la calidad de vida de la carretera para el bienestar de la población.

1.2.1. Formulación del Problema

El pavimento flexible con el pasar de los años, sufre fallas estructurales y superficiales, como el desgaste de la capa asfáltica en la carretera Tramo Emp.PE-5N (Dv. Lamas), debido a la falta de mantenimiento y las precipitaciones pluviales intensas, así como también al aumento considerable de los vehículos pesados que aceleran el tiempo de la vida útil de la carretera. Entonces debido a todo esto, nos hacemos la pregunta: ¿En qué medida la determinación del Índice de Rugosidad Internacional y el estudio de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados utilizados en la construcción del pavimento flexible de la carretera tramo Emp.PE-5N (Dv Lamas), región San Martín, nos permitirá comparar el estado actual del pavimento e indicar las medidas preventivas y correctivas que ayuden a la desaceleración del desgaste de la carpeta asfáltica y el mejoramiento de la vida útil de la carretera?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Determinar el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y las propiedades físicas y mecánicas del km 00 + 000 hasta el km 09 + 000 de capa asfáltica de la ruta Emp.PE-5N (Dv. Lamas), provincia Lamas, departamento San Martín y plantear alternativas de solución.

1.3.2. Objetivos Específicos

- ✓ Identificar las fallas y deterioros en el pavimento flexible de la carretera Emp.PE-5N (Dv. Lamas).
- ✓ Realizar el ensayo de Índice de Rugosidad Internacional, para calcular posteriormente el Índice de Servicialidad (PSI).

- ✓ Realizar los ensayos de los materiales de la capa asfáltica, para establecer sus propiedades actuales y verificar si cumplen con las especificaciones técnicas de acuerdo a la normativa.
- ✓ Plantear alternativas técnicas de solución para el buen desempeño de la vía.

1.4. Justificación de la Investigación

1.4.1. Justificación Técnica.

Los Datos obtenidos se justifican por haberse utilizado las Especificaciones Generales para construcción de Carreteras tal como lo indica el capítulo 4: Pavimentos flexibles y sección 423 de Pavimento de concreto asfáltico en caliente, para los ensayos de los materiales y el cálculo correspondiente con la obtención de resultados basados en la comparación del lavado del material con la norma establecida. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013).

1.4.2. Justificación Social.

El presente trabajo de investigación contribuye a la sociedad porque garantiza la vida útil del pavimento, permitiendo el confort de los usuarios sin percibir las vibraciones por los conductores y pasajeros, al igual que la disminución del nivel de ruido dentro y fuera de los vehículos, la disminución de los accidentes. Además de garantizar el nexo de pueblos, como el comercio de la población.

1.4.3. Justificación Económica.

El cálculo del índice de rugosidad internacional (IRI) es viable porque de acuerdo con el resultado permite reducir el costo de mantenimiento de una carretera ya que la rugosidad de un camino o carretera influye mucho en el costo de operación de vehículos, por consiguiente, tendríamos un bajo consumo de combustible.

1.4.4. Justificación Conveniencia.

El cálculo y la comparación de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales utilizados en la carretera, ayudará de manera cuantiosa las decisiones correctas que tomen los encargados del mantenimiento, para remediar las faltas y fallas que están presentes y por haber en la carretera.

1.5. Limitaciones

1.5.1. Limitaciones en el ámbito de material

La limitación en el ámbito material que se presenta para el desarrollo de dicho proyecto es principalmente las condiciones ambientales, ya que el proyecto se desarrollará en un tramo de carretera donde la lluvia no permite realizar el trabajo correctamente, lo que ocasionará un atraso en el objetivo que se quiere lograr.

1.5.2. Limitaciones en el ámbito de estudio

- ✓ Disponibilidad de los equipos a utilizar en el proyecto.
- ✓ El tránsito vehicular en el momento que se desarrolle el proyecto.

1.6. Marco teórico

1.6.1. Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

El índice internacional de Rugosidad, comúnmente llamado IRI por su sigla en inglés (International Roughness Index), es la unidad estandarizada utilizada por excelencia para la medición de la rugosidad. El cálculo matemático del IRI se define como la acumulación de desplazamientos verticales en valor absoluto, de la masa del vehículo con respecto a la masa asociada a la suspensión de un modelo de vehículo, entre la distancia recorrida sobre un camino que se produce por los movimientos al vehículo. Así, las unidades del IRI serán de longitud entre longitud, que debido a las magnitudes de estas se expresan mm/m, m/km, in/mi, etc. (Sayers, Gillespie, Queiroz, et al., 1986) y (Sayers, Gillespie, & Paterson, 1986)

El índice de Regularidad Internacional (IRI) presenta una escala única de valores para la medida de la regularidad superficial de los caminos, el cual simula la respuesta de un vehículo al circular por una carretera a 80 km/h y por lo tanto permite considerar factores de seguridad, confort y costo de uso de los vehículos. (Sanchez & de Solmniac T, 1989)

En los años sesenta el Banco Mundial invirtió en la investigación de diversas vías en países subdesarrollados, llegando a concluir que la poca inversión en infraestructura vial solo llevaba a gastos mayores de los usuarios al circular por estas. Se identificó así, que la rugosidad en la capa de rodadura era una de las variables principales en cuanto al gasto por

circular. Una gran dificultad encontrada en la investigación fue que los datos de diversas carreteras eran muy difíciles de comparar, dado que cada país contaba con diferentes métodos y unidades para medir la rugosidad. Es por ello por lo que se pensó en buscar una escala única que pudiera servir de parámetro de comparación y estandarización. (Sayers, Gillespie, Queiroz, et al., 1986) y (Sayers, Gillespie, & Paterson, 1986)

Fue así que, en 1982, el Banco Mundial comenzó a experimentar con diferentes métodos para lograr establecer correlaciones y un estándar único de calibración para la rugosidad en Brasil. Debido a que todos se basaban en deformaciones se logró llegar a correlacionar los diferentes métodos y una vez establecido este punto, se planteó como objetivo principal encontrar un índice de referencia conocido hoy en día como el Índice de Rugosidad Internacional (IRI). Sus primeras investigaciones tuvieron lugar en un programa Norteamericano llamado Nacional Cooperative Highway Research Program (NCHRP) y estuvo basado en un modelo llamado "Golden Car" descrito en el reporte 228 del NCHRP. Actualmente se basa en un modelo complejo de cuarto de carro que se describe en el siguiente acápite. (Sayers, Gillespie, Queiroz, et al., 1986) y (Sayers, Gillespie, & Paterson, 1986)

1.6.1.1. El modelo de Cuarto de Carro

Para el cálculo del IRI emplearon ecuaciones que se basaron simplemente en las deflexiones y que no dependieran de parámetros como el tiempo de muestreo. Se buscó un modelo que representase las vibraciones que podría tener un pasajero en un vehículo cualquiera, por lo que se eligió un modelo de cuarto de carro. El modelo de cuarto de carro (quarter car) se basa en una rueda representada por un resorte vertical, la masa del eje soportada por la llanta, un resorte de la suspensión, un amortiguador y la masa del vehículo soportada por la suspensión de la rueda (**Figura 4**). Las deflexiones a lo largo del camino son acumuladas y

divididas entre la distancia horizontal para calcular la rugosidad en IRI como dice su propia definición. (Sayers, Gillespie, Queiroz, et al., 1986) y (Sayers, Gillespie, & Paterson, 1986)

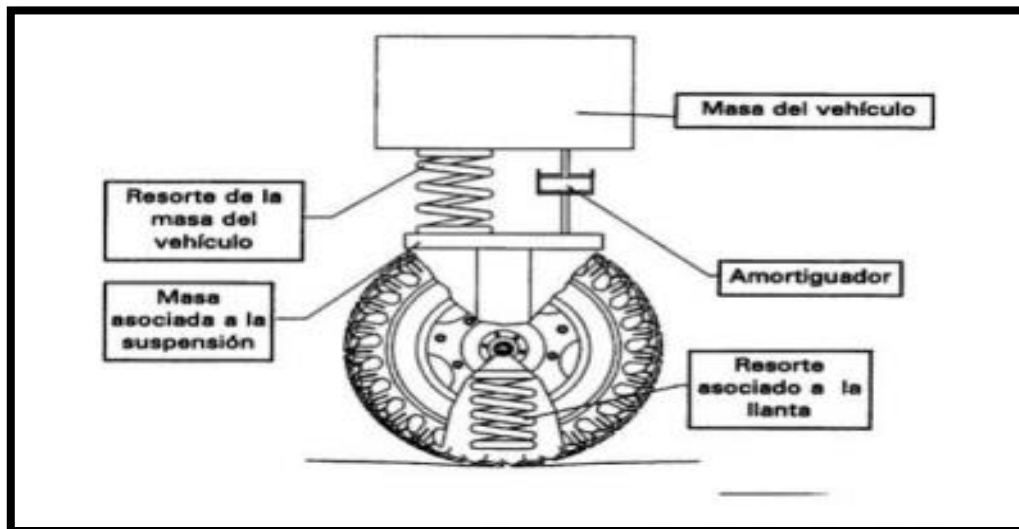


Figura 4: La respuesta de un cuarto de carro y el índice internacional de Rugosidad. (Fuente: IMT, 1995)

1.6.2. Escala y Características del IRI

El IRI tiene unidades de mm/m, m/km o in/mi. Varía de 0 a 20 m/km o 0 a 1260 in/mi (rugosidad 0 m/km es un camino uniforme perfecto y 20 m/km uno ya casi imposible de transitar). En la **Figura 5** se muestran las rugosidades para diferentes tipos de pavimentos.

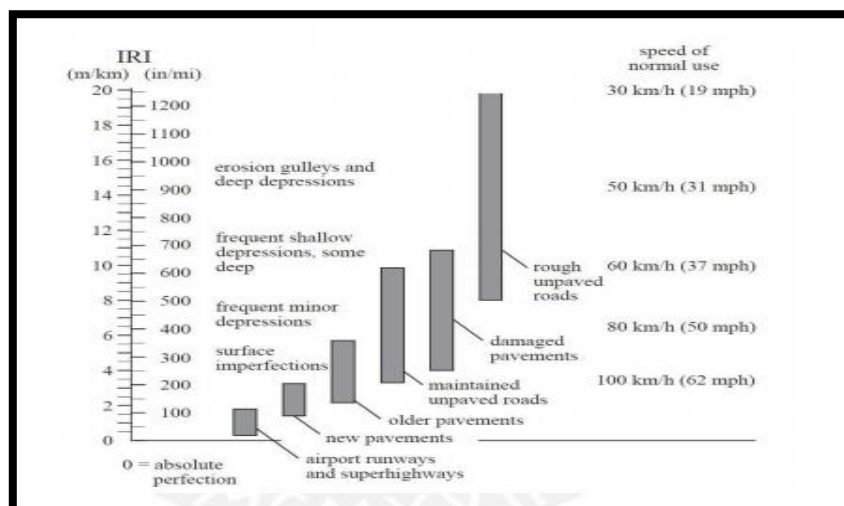


Figura 5: Rugosidad en diferentes pavimentos. (Fuente: IMT, 2002)

Luego de diversos muestreos en diferentes tipos de pavimentos con diferentes rugosidades, el departamento de transporte de la universidad de Michigan concluyó en 1998 en la **Figura 6** donde estipula la velocidad máxima que se puede desarrollar según la rugosidad de la vía. Es una tabla muy importante pues es con esta que se basan los márgenes de rugosidad para diferentes proyectos según la velocidad que se permitirá como límite superior, por ejemplo, el caso de la norma peruana que exige máximo 2.0 m/km de IRI para caminos con tratamiento superficial, tiene que ver con el límite de velocidad máxima con la que se diseñan estas vías de entre 80 y 100 km/h.

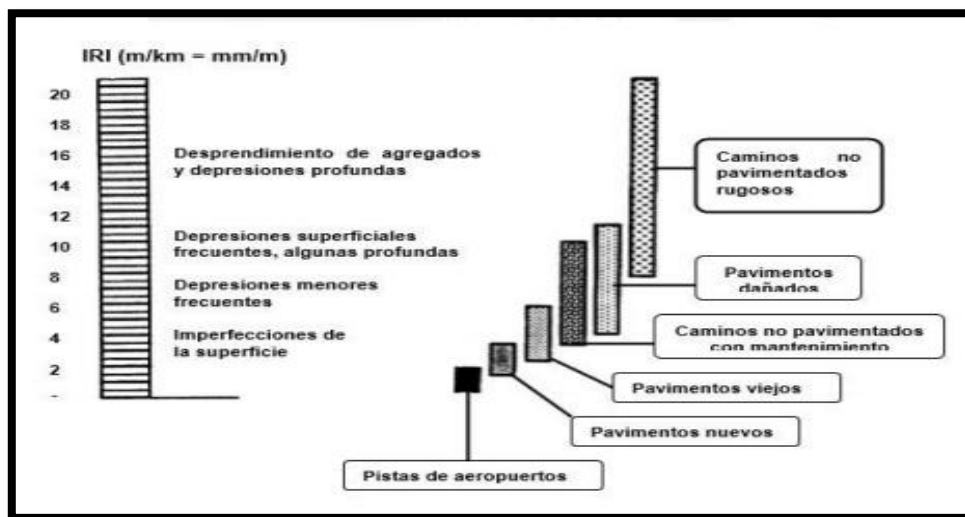


Figura 6: Límites de velocidades según el tipo de pavimento. (Fuente: Sayers y Karamihas, 1986)

1.6.3. Métodos de Medición del IRI

Como mencionamos con anterioridad, la clasificación IRI fue propuesta por el Banco Mundial para estandarizar la medición de la rugosidad y poder estipular la calidad y confort de los pavimentos a nivel mundial. Según el uso de la vía la rugosidad puede llegar a ser un factor determinante para la seguridad y funcionalidad de esta. Con el tiempo el Banco Mundial estipuló que los métodos para medir la rugosidad podían ser desde muy precisos hasta mera subjetividad por lo que decidió clasificarlos según la precisión. (Sayers, Gillespie, Queiroz, et al., 1986) y (Sayers, Gillespie, & Paterson, 1986).

Según Sánchez & de Solminihaç (1989) existen 4 clases Para medir la regularidad superficial y son:

Clase 1: Perfiles de alta precisión

Son los métodos más exactos pero considerados de bajo rendimiento, ya que la recolección de datos es lenta y requiere de mayor cantidad de horas en campo (hombre, máquina y herramienta), se basa en perfiles topográficos levantados cada 0.25 m con precisión de 0.5 mm (*Referencia*). Los métodos para esta clase son la Mira y Nivel y *TRRL Beam*. **Figura 7**



Figura 7: Sistema de adquisición de datos con nivel y mira en pavimentos.
(Fuente: Nava, 2007)

Clase 2: Obtención de IRI directo por ecuaciones

Agrupar a los demás métodos que no cumplen con los niveles de precisión para la Clase 1 pero también se basan en medir el perfil longitudinal directamente por medios digitalizados. Se usa generalmente en vías extensas y de importante confiabilidad, como vías expresas o alimentadoras dada la alta velocidad de medición. Los perfilómetros buscan correlacionar la variación de los niveles respecto a una horizontal que se mueve con ellos, por lo que hace que el proceso de medición sea mucho más rápido. Un ejemplo de perfilómetros de alta velocidad son el APL Trailer y GMR Type Inertial Profilometer (Del Aguila, 1999(b)), pero en esta clase se ubican

muchos otros métodos tanto dinámicos como estáticos. En la **Figura 8** se muestra un ejemplo de perfilómetro estático frente a la **Figura 9** que presenta uno dinámico.



Figura 8: Perfilómetro estático. (Fuente Nava, 2007)

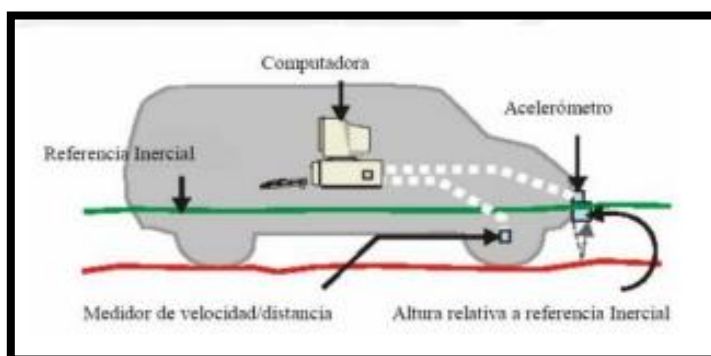


Figura 9: Perfilómetro dinámico. (Fuente: Nava, 2007)

Clase 3: Estimación de IRI con ecuaciones de correlación.

También llamados de tipo respuesta, se ubican todos los métodos basados en ecuaciones de correlación para estimar el IRI, sin mayores factores que afecten y corrijan los datos obtenidos en campo.

Clase 4: Métodos subjetivos y no calibrados.

Permiten obtener resultados meramente referenciales y se emplean cuando se requieren únicamente estimaciones gruesas de la rugosidad. A pesar de ello es deseable relacionar la medida de la regularidad superficial a la escala IRI. En estos casos se puede utilizar un aparato tipo respuesta sin calibrar se puede estimar el estado de la carretera o bien se puede valorar este mediante las sensaciones de confort y seguridad que experimenta una persona experta en la materia al circular por la carretera.

1.6.4. ROADROID

La aplicación para smartphones o teléfonos inteligentes Roadroid (Figura 10) debe su nombre a las palabras en inglés “road”, camino o vías traducido al español, y “droid” por Android, el sistema operativo en el cual esta aplicación esta codificada. Comenzó a desarrollarse en el 2010 buscando utilizar las herramientas preinstaladas en los dispositivos móviles con el objetivo de lograr una aplicación capaz de medir la rugosidad de manera precisa y que a comparación de los instrumentos para medir rugosidad existente en el mercado sea: portable, eficaz y sencilla de aplicar.



Figura 10: Icono Roadroid y premios obtenidos. (Fuente Roadroid, 2014)

La aplicación permite medir la rugosidad tomando como dato las vibraciones medidas por los acelerómetros con los que cuentan los teléfonos inteligentes y convirtiéndolas en unidades IRI a través de ecuaciones de correlación lineal, para un estimado, o mediante el modelo de cuarto de carro, para datos más precisos, esto quiere decir que realiza dos ensayos a la par para determinar la rugosidad de manera estimada y calculada. El IRI estimado se considera de precisión clase 3 según la clasificación del Banco Mundial dado que usa una ecuación lineal para la aproximación de resultados, mientras que el IRI calculado puede considerarse un método más preciso de clase 2. (Sayers, Gillespie, Queiroz, et al., 1986) y (Sayers, Gillespie, & Paterson, 1986)

Actualmente, viene siendo implementado en diversos proyectos a nivel mundial y siendo presentado en diferentes congresos relacionados a transporte como en el IV Congreso Regional IRF Latinoamericano de Carreteras, el presente año. Se ha hecho acreedor a

diferentes reconocimientos como el *European Satellite Navigation Competition*, *World Summit Award* y el *International Road Federation Award* en el 2012, 2013 y 2014 respectivamente. (Almenara, 2015)

1.6.5. Propiedades físicas y mecánicas (Agregados).

Se detalla dentro de una exposición sobre “Diseño y evaluación de pavimentos flexibles” lo siguiente; en el diseño de pavimentos los principales parámetros a considerarse como propiedades físico – mecánicas son el Análisis Granulométrico ASTM D-422, Constantes físicas ASTM D-4318, Clasificación de los suelos SUCS y AASHTO, y la capacidad de Soporte (CBR). Dichos parámetros forman parte de los ensayos requeridos para la aceptación del material o producto a usarse en la Base granular. (Melchor, 1998)

Definiremos las propiedades físico-mecánicas como aquellas propiedades físicas de los sólidos, manifestadas al aplicar una fuerza. Referido también a la capacidad de los mismo de resistir acciones de carga, entre estos tenemos: Cohesión, plasticidad, dureza, resistencia, ductilidad, maleabilidad, elasticidad, etc. (Yangali, 2015)

1.6.6. Pavimentos Flexibles (Pavimento de concreto asfáltico en caliente)

Ortega (2013) especifica lo siguiente sobre la carpeta asfáltica:

Es la parte superior del pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento, es elaborada con material pétreo seleccionado y un producto asfáltico dependiendo del tipo de camino que se va a construir, las principales características que debe cumplir el agregado pétreo son las siguientes:

- A) Un diámetro mayor de una pulgada y tener una granulometría adecuada
- B) Deberá tener cierta dureza para lo cual se le efectuarán los ensayos de desgaste de los ángulos, intemperismo acelerado, densidad y durabilidad.
- C) La forma de la partícula deberá ser lo más cúbica posible, recomendamos no usar material en forma de laja o aguja pues se rompen con facilidad alterando la

granulometría y pudiendo provocar fallas en la carpeta, se efectuarán pruebas de equivalente de arena ya que los materiales finos en determinados porcentajes no resultan adecuados.

1.6.6.1. Agregados Pétreos

Los agregados pétreos para la ejecución del pavimento flexible de concreto asfáltico en caliente deben cumplir con las exigencias de calidad en la **Tabla 1**, que se detallan a continuación:

Tabla 1

Especificaciones de los ensayos para los agregados pétreos (Sección 423:01-02 Pavimento flexible concreto asfáltico en caliente, EG-2013)

ENSAYOS	NORMA	REQUERIMIENTO	
		ALTITUD (msnm)	
		≤3.000	>3.000
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	ASTM C 88	18% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	ASTM C 535	40% máx.	35% máx.
Adherencia	ASTM D 1664	+95	+95
Índice de Durabilidad	ASTM D 3744	35% min.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras Fracturadas	ASTM D 5821	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción*	NTP 400.021	1,0% máx.	1.0 % máx.

*Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores sólo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

- La adherencia del agregado grueso para zonas mayores a 3000 msnm será evaluada mediante la performance de la mezcla según lo señalado en la subsección 430.02.
- La notación “85/50” indica que el 85% del agregado grueso tiene una cara fracturada y que el 50% tiene dos caras fracturadas.

(Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

El tipo de material y su respectiva gradación corresponderá a la establecida en los estudios del proyecto o será la que determine el Supervisor.

1.6.6.2. Agregados Finos

Se aplica en lo que corresponda, lo especificado en la Subsección de Agregados pétreos y filler o relleno mineral de las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción – EG 2013. Adicionalmente deberá cumplir con los requerimientos de la **Tabla N° 02**, tal como se detalla:

Tabla 2

Requerimiento para los agregados finos

ENSAYOS	NORMA	REQUERIMIENTO	
		ALTITUD (msnm)	
		≤3.000	>3.000
Equivalente de Arena	NTP 339.146:2000	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metileno	AASTHO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de plasticidad (malla N° 40)	NTP 339.129	NP	NP
Durabilidad (al sulfato de magnesio)	ASTM D- 3744	-	18% máx.
Índice de durabilidad	ASTM D 3744	35 mín.	35 mín.
Índice de Plasticidad (malla N° 200)	NTP 339.129	4 % máx.	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción**	NTP 400.021	0,5% máx.	0,5% máx.

*Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores sólo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

- La adherencia del agregado fino para zonas mayores a 3000 msnm será evaluada mediante la performance de la mezcla. Subsección 430.02.

(Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

1.6.6.3. Gradación para mezcla asfáltica en caliente (MAC)

La gradación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC) deberá responder a algunos de los husos granulométricos, especificados en la Tabla N° 03. Alternativamente pueden emplearse las gradaciones especificadas en la ASTM D 3515 e Instituto del Asfalto.

Tabla 3

Rangos de Gradación para Pavimento flexible concreto asfáltico en caliente (MTC, EG-2013, Sección 423: Pavimento flexible concreto asfáltico en caliente)

Tamiz	Porcentaje que pasa
-------	---------------------

	MAC-1	MAC-2	MAC-3
25,0 mm (1")	100		
19,0 mm (3/4")	80-100	100	
12,5 mm (1/2")	67-85	80-100	
9,5 mm(3/8")	60-77	70-88	100
4,75 mm (N° 4)	43-54	51-68	65-87
2,00 mm (N° 10)	29-45	38-52	43-61
425µm (N° 40)	14-25	17-28	16-29
180µm (N° 80)	8-17	8-17	9-19
75µm (N° 200)	4-8	4-8	5-10

(Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

1.6.6.4. Material Bituminoso

El material bituminoso a ser aplicado de acuerdo con lo indicado en los planos y documentos del proyecto, que pueden ser Cemento Asfáltico que cumpla con las características de las Normas, equivalentes al grado del comportamiento basados en el clima y temperatura de la zona, el cual deberá cumplir los requisitos de calidad establecidos por la Norma Peruana, y Filler polvo mineral o relleno, que sea necesario emplear como relleno de vacíos, espesante del asfalto o como mejorador de adherencia al par agregado-asfalto, podrá ser de preferencia cal hidratada, que deberá cumplir la norma AASHTO M-303, la cantidad a utilizar se definirá en la fase de diseños de mezcla según el método Marshall. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

1.7. Definición de Términos Básicos

Ahuellamiento: Surcos o huellas que se producen en la superficie de rodadura de una carretera pavimentada o no pavimentada y que son el resultado de la consolidación o movimiento lateral de los materiales por efectos del tránsito.

Análisis granulométrico o mecánico: Procedimiento para determinar la granulometría de un material o la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños.

Concreto asfáltico: Mezcla procesada, compuesta por agregados gruesos y finos, material bituminoso y de ser el caso se incorpora aditivos para mejorar sus propiedades de comportamiento. Es utilizada como capa de base o de rodadura y forma parte de la estructura del pavimento.

Durabilidad del concreto asfáltico: Propiedad de una mezcla asfáltica de pavimentación para resistir desintegración por efectos ambientales o de tráfico. Los efectos ambientales incluyen cambios en las características del asfalto, tales como oxidación y/o volatilización y en el agregado debido a la acción del agua, incluyendo congelamiento y deshielo.

Mantenimiento vial: Conjunto de actividades técnicas destinadas a preservar en forma continua y sostenida el buen estado de la infraestructura vial, de modo que se garantice un servicio óptimo al usuario; puede ser de naturaleza rutinaria o periódica.

Rugosidad (pavimento): Parámetro que permite evaluar las deformaciones verticales de la capa de superficie de rodadura de un pavimento. Se expresa mediante el Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

Transitabilidad: Nivel de servicio de la infraestructura vial que asegura un estado tal de la misma que permite un flujo vehicular regular durante un determinado periodo.

Bitumen: Un tipo de sustancia cementante de color negro u oscuro (sólida, semisólida, o viscosa), natural o fabricada, compuesta principalmente de hidrocarburos de alto peso molecular, siendo típicos los asfaltos, las breas (o alquitranes), los betunes y las asfáltitas.

Los betunes asfálticos o de destilación: son ligantes obtenidos como producto final en las refinerías de crudo asfáltico o como residuo en todas las refinerías de petróleo. Son productos bituminosos sólidos o viscosos, naturales o preparados a partir de los hidrocarburos naturales por destilación, oxidación o cracking, que contienen un pequeño porcentaje de productos volátiles, poseen características aglomerantes y son esencialmente solubles en sulfuro de carbono. Se clasifican por su mayor o menor consistencia en el ensayo de penetración (por lo que reciben el nombre de betunes de penetración). Los asfaltos propiamente dichos serían una mezcla de betunes con impurezas insolubles en sulfuro de carbono (sílice, arena, arcilla), en una proporción superior al 5%, y por tanto, a diferencia de los betunes, no son solubles en su totalidad en tolueno. Los betunes asfálticos se caracterizan mediante el ensayo de penetración y el de anillo y bola para medir el punto de reblandecimiento del betún en unas determinadas condiciones. El betún, con el tiempo, experimenta un envejecimiento, sin duda debido a una oxidación. Los rayos ultravioletas

del sol también le atacan, así como el prolongado contacto con el agua estancada y sobre todo, la saturada de cal a 50°C. Los betunes para pavimentación siguen la norma armonizada UNE-EN 12591 y el artículo 211 de la norma española PG-3.

CAPÍTULO II

MATERIAL Y METODOS

2.1. MATERIALES

2.1.1. Recursos Humanos

- ✓ Autores de esta investigación.
- ✓ Asesor del proyecto de tesis
- ✓ Técnico laboratorista

2.1.2. Recursos Materiales

- ✓ Rugosímetro de MERLIN
- ✓ Viga Benkelman
- ✓ Smartphone
- ✓ Automóvil.
- ✓ Manuel de Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013
- ✓ Materiales empleados para ensayos de laboratorio.

2.1.3. Secundarios

- ✓ Papel bond.
- ✓ Impresora.
- ✓ Laptop personal.
- ✓ Lapiceros.
- ✓ Folder manilla.

2.2. Metodología

2.2.1. Hipótesis

El Índice de Rugosidad Internacional y el estudio de las propiedades físicas y mecánicas del asfaltado, permitirá hallar la funcionalidad actual del pavimento de la carretera EMP.PE-5N (Dv. Lamas), provincia Lamas, Región San Martín.

2.3. Sistema de Variable

Tabla 4

Variables del trabajo de investigación

VARIABLE	INDICADOR
<u>Var. Independiente: (X)</u>	Muestreo de la capa asfáltica.
Propiedades físicas y mecánicas de los materiales de la capa asfáltica	Pérdida por disgregabilidad (sanidad) en sulfato sodio (ácidos) Índice de Durabilidad (agregado grueso) Caras fracturadas Índice de Durabilidad (agregado fino) Equivalente de arena Granulometría Grumos de arcilla y partículas friables Libre de materiales vegetales, basura, terrones de arcilla y sustancias deletéreas
<u>Var. Dependiente: (Y)</u>	Rugosímetro de Merlín
Índice de Rugosidad Internacional	

(Fuente: Propia)

Tabla 5
Variable independiente

VARIABLE	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de Medida	Escala	Valor Final		
Propiedades físicas y mecánicas de los materiales del asfalto (agregados).	Son aquellas propiedades físicas de los sólidos, manifestadas al aplicar una fuerza. Referido también a la capacidad de los mismo de resistir acciones de carga, entre estos tenemos: Cohesión, plasticidad, dureza, resistencia, ductilidad, maleabilidad, elasticidad, etc.	Son propiedades necesarias para realizar y comprobar que dichos materiales funcionen correctamente de acuerdo con rangos, límites y/o valores estándares para condiciones similares o equivalentes en el asfaltado de una carretera.	Agregados Gruesos	Abrasión de los ángulos.	%	----- -	Gradación <3.000 msnm: 40% máx		
				Adherencia	+		MTC E517: +95		
				Índice de Durabilidad.	%	-----	35% mín.		
				Caras fracturadas.	/		85/50		
				Sales Solubles.	Máx %		De acuerdo al Tamaño del agregado MTC E 219 (0.5% máx.).		
				Equivalente de Arena.	%	-----	60		
					%	-----	30		
				Angularidad	máx	-----	AASHTO TP 57: 8 máx		
				Azul de Metileno	mín	-----	35 mín.		
				Índice de Durabilidad		-----	0.5% max. MTC E 219		
				Sales Solubles totales		-----	0.5% max. MTC E 219		
					Agregados finos				

(Fuente: Propia)

Tabla 6*Variable dependiente*

VARIABLE	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de Medida	Escala	Valor Final
Desgaste Superficial asfáltica.	Corresponde al deterioro del pavimento ocasionado principalmente por acción del tránsito, agentes abrasivos o erosivos.	Se presenta como pérdida de ligante y mortero, suele encontrarse en las zonas por donde transitan los vehículos. Este daño provoca aceleración del deterioro del pavimento por acción del medio ambiente y del tránsito, generalmente es un deterioro natural del asfaltado.	Mezcla Asfáltica: Severidad Baja Severidad Media Severidad Alta	Caracterización de un pavimento concreto asfáltico en caliente. Graduación de agregados. Contenido de asfalto. Contenido de agua.	% Mín., Máx. % L/m ²	----- Categoría ----- - ----- -	Tipo de Material: de acuerdo a la altura > o < 3.000 msnm 1.0 – 2.0

(Fuente: Propia)

Tabla 7
Variable dependiente

VARIABLE	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de Medida	Escala	Valor Final
Índice de Rugosidad Internacional	Es la unidad estandarizada utilizada por excelencia para la medición de la rugosidad. El cálculo matemático del IRI se define como la acumulación de desplazamientos verticales en valor absoluto, de la masa del vehículo con respecto a la masa asociada a la suspensión de un modelo de vehículo, entre la distancia recorrida sobre un camino que se produce por los movimientos al vehículo.	La aplicación permite medir la rugosidad tomando como dato las vibraciones medidas por los acelerómetros con los que cuentan los teléfonos inteligentes y convirtiéndolas en unidades IRI a través de ecuaciones de correlación lineal	Bueno Regular Malo	Rugosímetro de Merlin	IRI (m/km)	Rango - Intervalos	Pavimentos asfálticos: < 2.5 m/km

(Fuente: Propia)

2.4. Tipo y Nivel de Investigación

Por el tipo de investigación, el presente estudio reunió las condiciones metodológicas de una investigación aplicada - explicativa, ya que nos centramos en encontrar mecanismos o estrategias que permitan lograr un objetivo concreto, el tipo de ámbito al que se aplica es muy específico y bien delimitado, ya que no se trató de explicar una amplia variedad de situaciones, sino que más bien se intentó abordar un problema específico, en este caso determinar el Índice de Rugosidad Internacional de un pavimentado.

2.5. Diseño de la investigación

El presente proyecto se realizó de forma experimental ya que se sometió a un determinado pavimento ciertas condiciones para observar los efectos que se producen.

El diseño de investigación es la siguiente:

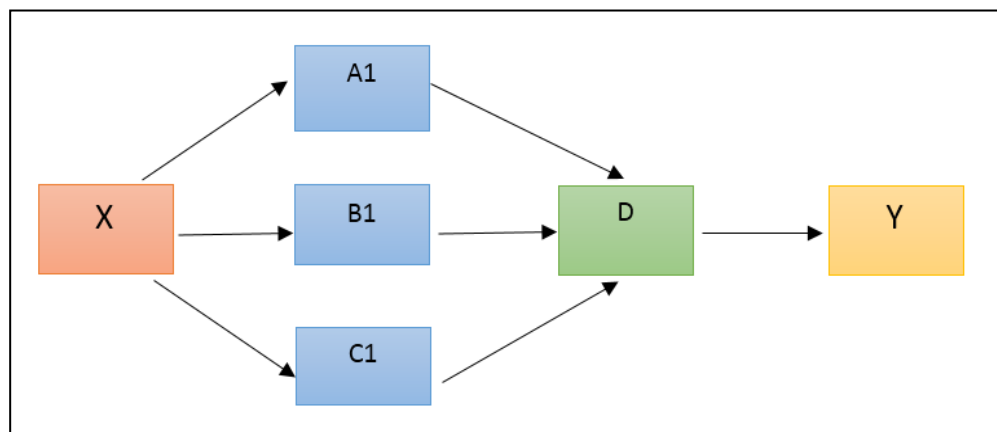


Figura 11: Diseño de la investigación. (Fuente Propia)

Descripción de las variables

X: Determinación del índice de rugosidad internacional y de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales utilizados en el asfaltado de la ruta Emp. PE-5N (Dv. Lamas), provincia Lamas, departamento San Martín”.

A1: Recopilación de información sobre el tema en estudio.

B1: Investigación In situ, para poder obtener los datos necesarios para el desarrollo del proyecto.

C1: Obtención y procesamiento de los datos para determinar el Índice de Rugosidad Internacional.

D: Análisis de los resultados que respaldan la toma de decisión para definir alguna alternativa de solución.

Y: Propuesta y conclusión de mejoramiento del pavimentado de la ruta Emp.PE-5N (Dv. Lamas), provincia Lamas, departamento San Martín”.

2.6. Población y Muestra

2.6.1. Población

El proyecto se llevó a cabo en la Provincia de Lamas que es una de las 14 provincias que conforman el Departamento San Martín - Tramo de la carretera empezando en el desvío de la Ex. Carretera Marginal de la Selva Norte, actual (carretera Fernando Belaunde Terry) hacia la ciudad de Lamas, y terminando en la progresiva 09+000 de la vía en mención.

2.6.2. Muestra

La muestra de la investigación la determinan los Tramos de la Carretera Emp.PE-5N (Dv. Lamas), así como las muestras que se realizaron de ella misma en la Provincia de Lamas, Departamento de San Martín.

2.7. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

2.7.1. Técnicas de Recolección de Datos

Para la investigación de campo y gabinete se utilizó las técnicas de observación y experimentación en el laboratorio siguiendo lo establecido por las Normas NTP, ASTM y AASHTO y guiados por el manual del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013, p.506) puesto que mediante este, se tuvo en cuenta las disposiciones generales correspondientes a trabajos en pavimentación flexible tal como es el caso de la presente investigación (carpeta asfáltica en caliente), las cuales se utilizaron como fundamento para el presente proyecto de tesis.

2.7.2. Instrumentos de Recolección de Datos

Se empleó fichas de registro de elaboración propia para la recolección de datos en campo y determinar resultados en el laboratorio, así como de proyectos de tesis relacionados al tema.

2.7.2.1. Identificación de fallas y deterioros en el pavimento flexible

Según Irigoyen & Simo (2016), afirman lo siguiente:

Los pavimentos, tanto flexibles como rígidos, no fallan o colapsan repentinamente, sino que lo hacen en forma gradual y progresiva. La continua acción fundamentalmente de las sollicitaciones del tránsito y clima siempre tienen una manifestación en la superficie del pavimento. Se entiende por “daño” o “falla” en un pavimento toda indicación de un desempeño insatisfactorio del pavimento, es decir, todo apartamiento de un comportamiento definido como “perfecto”.

A través de la observación del inicio y la evaluación de estos daños que se van produciendo es posible seleccionar las medidas correctivas más oportunas y adecuadas, que tiendan a neutralizar o al menos retardar este proceso de deterioro, preservando mediante su aplicación la estructura del pavimento y prolongando su vida útil.

A lo largo del tramo de carretera se determinó zonas con fallas superficiales de la plataforma de la carretera, tales como: fisuras, asentamientos, ondulamientos, baches y otros que sean determinantes para impedir el tránsito de los vehículos, tal como se describen a continuación:

Tabla 8

Identificación de fallas en la vía.

CARRIL	TRAMO	OBSERVACIÓN
Derecho	Km 00+117	Grieta 3cm ancho y largo de 10.62 cm.
Derecho	Km 00+155	Desprendimiento y fisura de 1.5 cm ancho y 13.60 m de largo.

Derecho	Km 00+395	Grieta y Asentamiento 300 m de grieta, hoyo en la mitad del carril de 0.45mx0.21m.
Derecho	Km 00+390	Fisura, Grietas, Piel de Cocodrilo, Asentamiento (medio carril) 200 m aproximadamente, se observa que también hay un mantenimiento nuevo, pero igual está fisurado.
Izquierdo	Km 00+405	Presenta carril con pequeñas fisuras.
Derecho	Km 00+520	Desprendimiento, asentamientos y ondulamientos
Derecho	Km 00+550	Hoyo en la mitad del Carril de 0.90x0.50m; también se observa pequeñas grietas
Derecho	Km 00+572	Grietas de 2 cm, 3cm y 4cm, asentamientos y hoyo cerca del eje de la vía de 0.33x0.48m
Derecho	Km 00+778	Asentamientos, fisuras y grietas; presencia de un hoyo de 0.11x0.30m
Derecho	Km 01+086	Asentamiento y grietas, hoyo en la mitad de carril de 0.20x0.10m y largo cerca de 50 m.
Derecho	Km 01+330	Asentamiento, desprendimiento de capa asfáltica.
Derecho	Km 02+044	Desprendimiento de carpeta asfáltica.
Derecho Izquierdo	e Km 02+113	Presenta fisuras leves.
Izquierdo	Km 02+169	Piel de cocodrilo, asentamientos y fisuras.
Izquierdo	Km 02+186	Grietas de 2cm de ancho por 20m de largo, grietas en el eje de la vía.

Izquierdo	Km 02+550	Grietas de 2cm ancho por 50 m de largo.
Izquierdo	Km 03+233	Presenta invasión de los arbustos y vegetación.
Derecho	Km 04+394	Asentamiento de 3m de largo.
Derecho	Km 06+393	Asentamiento, fisuras y piel de cocodrilo
Derecho	Km 07+769	Hoyos en ambos carriles, desprendimiento de la carpeta asfáltica, grieta de 5cm a 7cm ancho y 3m de largo.
Izquierdo	Km 08+171	Hoyos de 15x50cm
Izquierdo	Km 08+196	Hoyos de 45x80cm
Izquierdo	Km 08+288	Hoyos de 77x70cm

(Fuente: Propia)



Figura 12: Se observa Desintegración por baches de severidad alta Km 08+196 . (Fuente Propia)



Figura 13: Identificación de Fallas, carril derecho Km 00+395. (Fuente Propia)



Figura 14. Desintegración de pavimento y fisuras km 02+044. (Fuente Propia)



Figura 15: Extracción de muestras de pavimento para ensayos en laboratorio km 06+393. (Fuente Propia)



Figura 16: Desprendimiento de severidad alta en pavimento km 06+393. (Fuente Propia)



Figura 17. Fisuras en bloques km 00+115- severidad alta. (Fuente Propia)



Figura 18. Fisuras de severidad alta km 01+086, se observa hundimiento de la carpeta asfáltica. (Fuente Propia)

2.7.2.2. Evaluación del índice de rugosidad internacional con el Rugosímetro de Merlín

La Norma Técnica CE.010 del Reglamento Nacional de Edificaciones - RNE (2010), indica lo siguiente para la determinación de la rugosidad del pavimento:

En caso de vías expresas y donde lo indique el profesional responsable se medirá la regularidad superficial de la superficie de rodadura en unidades IRI. La rugosidad tendrá un valor de máximo de 2,5 m/km. En el caso de no satisfacer este requerimiento, deberá revisarse los equipos y procedimientos de esparcido y compactación, a fin de tomar las medidas correctivas que conduzcan a un mejoramiento del acabado de la superficie de rodadura. Para la determinación de la rugosidad podrá utilizarse cinta métrica y nivel, rugosímetros, perfilómetros o cualquier otro método técnicamente aceptable y aprobado por la supervisión. La medición de la rugosidad sobre la superficie de rodadura terminada, deberá efectuarse en toda su longitud y debe involucrar ambas huellas vehiculares, registrando mediciones parciales para cada kilómetro. La medición de la rugosidad sobre la carpeta asfáltica terminada, se efectuará al finalizar la obra como control final de calidad del pavimento terminado y para efectos de recepción de la obra.

La carretera presentó los alineamientos variables y también pendientes, lo cual determina que la sección transversal esté en corte o a media ladera. Por lo general la berma como la zona de derecho de vía se encontró cubierto por vegetación por lo que viene cubriendo las señales de tránsito y obstaculizando la visibilidad de estos elementos de seguridad. (Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones - San Martín, 2019)

2.7.2.2.1. Metodología Para Determinación del IRI con Rugosímetro de Merlín

La determinación de la rugosidad del tramo de carretera EMP.PE-5N (DV. LAMAS), se efectuó con el equipo Merlín; la medición se ejecutó en los carriles izquierdo y derecho respectivamente.

Para la determinación del IRI con el rugosímetro de Merlín se tuvo en cuenta las indicaciones de Águila R. (1999), tal como se indica a continuación:

Para la ejecución de los ensayos se requiere de dos personas que trabajen conjuntamente, un operador que conduce el equipo y realiza las lecturas y un auxiliar

que las anota. Asimismo, debe seleccionarse un trecho de aproximadamente 400 m de longitud, sobre un determinado carril de una vía. Las mediciones se efectúan siguiendo la huella exterior del tráfico.

Para determinar un valor de rugosidad se deben efectuar 200 observaciones de las “irregularidades que presenta el pavimento” (desviaciones relativas a la cuerda promedio), cada una de las cuáles son detectadas por el patín móvil del MERLIN, y que a su vez son indicadas por la posición que adopta el puntero sobre la escala graduada del tablero, generándose de esa manera las lecturas. Las observaciones deben realizarse estacionando el equipo a intervalos regulares, generalmente cada 2m de distancia; en la práctica esto se resuelve tomando como referencia la circunferencia de la rueda del MERLIN, que es aproximadamente esa dimensión, es decir, cada ensayo se realiza al cabo de una vuelta de la rueda.

En cada observación el instrumento debe descansar sobre el camino apoyado en tres puntos fijos e invariables: la rueda, el apoyo fijo trasero y el estabilizador para ensayo. La posición que adopta el puntero corresponderá a una lectura entre 1 y 50, la que se anotará en un formato de campo.

El formato consta de una cuadrícula compuesta por 20 filas y 10 columnas; empezando por el casillero (1,1), los datos se llenan de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha.

El proceso de medición es continuo y se realiza a una velocidad promedio de 2 km/h. La prueba empieza estacionando el equipo al inicio del trecho de ensayo, el operador espera que el puntero se estabilice y observa la posición que adopta respecto de la escala colocada sobre el tablero, realizando así la lectura que es anotada por el auxiliar. Paso seguido, el operador toma el instrumento por las manijas, elevándolo y desplazándolo la distancia constante seleccionada para usarse entre un ensayo y otro (una vuelta de la rueda). En la nueva ubicación se repite la operación explicada y así sucesivamente hasta completar las 200 lecturas. El espaciado entre los ensayos no es un factor crítico, pero es recomendable que las lecturas se realicen siempre estacionando la rueda en una misma posición, para lo cual se pone una señal o marca llamativa sobre la llanta (con gutapercha fosforescente, por ejemplo), la que debe

quedar siempre en contacto con el piso. Ello facilita la labor del operador quién, una vez hecha la lectura, levanta el equipo y controla que la llanta gire una vuelta haciendo coincidir nuevamente la marca sobre el piso.



Figura 19: Medición de rugosidad con el equipo Merlin – carril derecho. (Fuente Propia)

a) Método para el cálculo de la rugosidad

a.1 Cálculo del Rango “D”

Como se ha explicado, para la generación de los 200 datos que se requieren para determinar un valor de rugosidad, se emplea una escala arbitraria de 50 unidades colocada sobre el tablero del rugosímetro, la que sirve para registrar las doscientas posiciones que adopta el puntero del brazo móvil. La división N° 25 debe ser tal que corresponda a la posición central del puntero sobre el tablero cuando el perfil del terreno coincide con la línea o cuerda promedio. En la medida que las diversas posiciones que adopte el puntero coincidan con la división 25 o con alguna cercana (dispersión baja), el ensayo demostrará que el pavimento tiene un perfil igual o cercano a una línea recta (baja rugosidad). Por el contrario, si el puntero adopta repetitivamente posiciones alejadas a la

división N°25 (dispersión alta), se demostrará que el pavimento tiene un perfil con múltiples inflexiones (rugosidad elevada).

La dispersión de los datos obtenidos con el MERLIN se analiza calculando la distribución de frecuencias de las lecturas o posiciones adoptadas por el puntero, la cuál puede expresarse, para fines didácticos, en forma de histograma. Posteriormente se establece el Rango de los valores agrupados en intervalos de frecuencia (D), luego de descartarse el 10% de datos que correspondan a posiciones del puntero poco representativas o erráticas. En la práctica se elimina 5% (10 datos) del extremo inferior del histograma y 5% (10 datos) del extremo superior.

Efectuado el descarte de datos, se calcula el “ancho del histograma” en unidades de la escala, considerando las fracciones que pudiesen resultar como consecuencia de la eliminación de los datos. En la Figura N° 20, por ejemplo, en el extremo inferior del histograma, se tiene que por efecto del descarte de los 10 datos se eliminan los intervalos 1, 2 y 3, y un dato de los doce que pertenecen al intervalo 4, en consecuencia, resulta una unidad fraccionada igual a $11/12=0.92$. Caso similar sucede en el extremo superior del histograma, en donde resulta una unidad fraccionada igual a $3/7=0.43$. Se tiene en consecuencia un Rango igual a $0.92+6+0.43=7.35$ unidades.

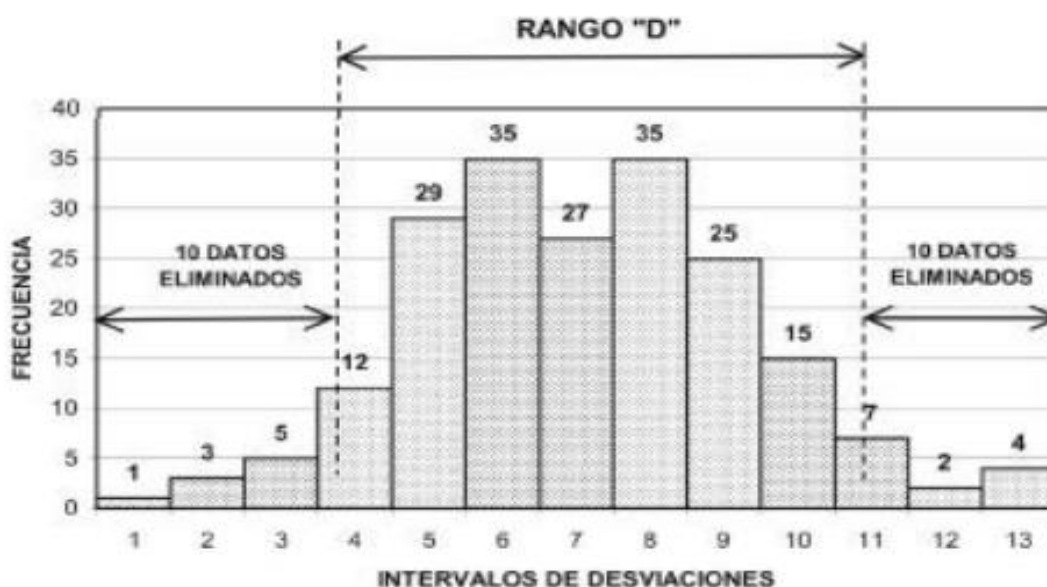


Figura 20: Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones medidas en forma consecutiva. (Fuente: Águila R. 1999).

El Rango D determinado se debe expresar en milímetros, para lo cual se multiplica el número de unidades calculado por el valor que tiene cada unidad en milímetros ($7.35 \times 5 \text{ mm} = 36.75 \text{ mm}$).

a.2. Factor de corrección para el ajuste de “D”

Las ecuaciones:

Cuando $2.4 < \text{IRI} < 15.9$, entonces $\text{IRI} = 0.593 + 0.0471 D$

Cuando $\text{IRI} < 2.4$, entonces $\text{IRI} = 0.0485 D$

representan correlaciones entre el valor D y la rugosidad en unidades IRI, las cuales han sido desarrolladas para una condición de relación de brazos del rugosímetro de 1 a 10. Esta relación en la práctica suele variar, y depende del desgaste que experimenta el patín del brazo móvil del instrumento. En consecuencia, para corregir los resultados se verifica la relación de brazos actual del instrumento, y, se determina un factor de corrección que permita llevar los valores a condiciones estándar.

Para determinar el factor de corrección se hace uso de un disco circular de bronce de aproximadamente 5 cm de diámetro y 6 mm de espesor, y se procede de la siguiente manera:

1. Se determina el espesor de la pastilla, en milímetros, utilizando un calibrador que permita una aproximación al décimo de mm. El espesor se calculará como el valor promedio considerando 4 medidas diametralmente opuestas. Por ejemplo: el espesor medido es 6.2mm.
2. Se coloca el rugosímetro sobre una superficie plana (un piso de terrazo, por ejemplo) y se efectúa la lectura que corresponde a la posición que adopta el puntero cuando el patín móvil se encuentra sobre el piso (por ejemplo, lectura=25). Se levanta el patín y se coloca la pastilla de calibración debajo de él, apoyándola sobre el piso. Esta acción hará que el puntero sobre el tablero se desplace, asumiendo una relación de brazos estándar de 1 a 10, una distancia igual al espesor de la pastilla multiplicado por 10 (es decir: $6.2 \times 10 = 62 \text{ mm}$), lo que significa, considerando que cada casillero mide 5 mm, que el puntero se

ubicará aproximadamente en el casillero 12, siempre y cuando la relación de brazos actual del equipo sea igual a la 9 asumida. Si no sucede eso, se deberá encontrar un factor de corrección (F.C.) usando la siguiente expresión:

$$F.C. = (EP \times 10) / [(LI - LF) \times 5] \quad (4)$$

donde,

EP : Espesor de la pastilla

LI : Posición inicial del puntero

LF : Posición final del puntero

Por ejemplo:

Si la posición inicial del puntero fue 25 y la final fue 10, entonces el Factor de Corrección será:

$$FC = (6.2 \times 10) / [(25-10) \times 5] = 0.82666$$

a.3. Variación de relación de brazos

Para facilidad del trabajo, el rugosímetro admite dos posiciones para el patín del brazo pivotante

- a. Una posición ubicada a 10 cm del punto de pivote, posición standard que se utiliza en el caso de pavimentos nuevos o superficies muy lisas (baja rugosidad). En ese caso la relación de brazos utilizada será 1 a 10.
- b. Una posición ubicada a 20 cm del punto de pivote, posición alterna que se utiliza en el caso de pavimentos afirmados muy deformados o pavimentos muy deteriorados. En ese caso la relación de brazos será 1 a 5. De usar esta posición, el valor D determinado deberá multiplicarse por un factor de 2.

a.4. Cálculo del Rango “D” corregido

El valor D calculado en la sección a.1, deberá modificarse considerando el Factor de Corrección (FC=0.82666) definido en la sección a.2 y la Relación de Brazos empleada en los ensayos (RB=1). El valor D corregido será $36.75\text{mm} \times 0.82666 \times 1 = 30.38\text{mm}$. Este valor llevado a condiciones estándar es la rugosidad en “unidades MERLIN”.

a.5. Determinación de la rugosidad en la escala del IRI

Para transformar la rugosidad de unidades MERLIN a la escala del IRI, se usa las expresiones

Cuando $2.4 < \text{IRI} < 15.9$, entonces $\text{IRI} = 0.593 + 0.0471 D$

Cuando $\text{IRI} < 2.4$, entonces $\text{IRI} = 0.0485 D$

Aplicando la expresión para el caso de $\text{IRI} < 2.5$, se obtiene finalmente, para el ejemplo seguido, una rugosidad igual a 1.47 m/km.

b. LIMITES DE LA RUGOSIDAD PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE PAVIMENTOS

Para el caso de pavimentos asfálticos nuevos o rehabilitados, la rugosidad o regularidad superficial se deberá controlar calculando el parámetro denominado IRI Característico, el cuál es definido por la siguiente expresión:

$$\text{IRIc} = \text{IRIp} + 1.645s$$

donde,

IRIc : IRI característico

IRIp : IRI promedio

s: Desviación estándar

De acuerdo al factor de correlación empleado ($K=1.645$), se cumplirá que el 95% del pavimento experimentará una rugosidad igual o menor al IRI característico.

Calculado el IRI característico, el sector o tramo será aceptado si cumple con las siguientes condiciones:

- a. Para pavimentos asfálticos nuevos, el IRIc deberá ser menor o igual a 2.0 m/km.
- b. Para pavimentos con recapado asfáltico, el IRIc deberá ser menor o igual a 2.5 m/km.
- c. Para pavimentos con sellado asfáltico, el IRIc deberá ser menor o igual a 3.0 m/km.

En caso de no cumplirse con estos límites, el sector o tramo deberá subdividirse en secciones de rugosidad homogénea, y se calculará el IRI característico para cada una de ellas, los que deberán cumplir los límites indicados.

2.7.2.2. Índice de Serviciabilidad Presente

Es el valor que indica el grado de confort que tiene la superficie para el desplazamiento natural y normal de un vehículo; en otras palabras, un pavimento en perfecto estado se le asigna un valor de serviciabilidad inicial que depende del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción, de 5 (Perfecto); y un pavimento en franco deterioro o con un índice de serviciabilidad final que depende de la categoría del camino y se adopta en base a esto y al criterio del proyectista, con un valor de 0 (Pésimas Condiciones), (Coronado, 2002).

Se han desarrollado para la determinación del PSI, fórmulas matemáticas diversas que combinan distintos parámetros de deterioro. Una de las primeras expresiones empleadas para calcular el PSI es la propuesta por AASHTO en 1962, (Paterson 1987).

El índice de serviciabilidad de un pavimento, es un valor de apreciación con el cual se evalúan las condiciones de deterioro o confort de la superficie de rodadura de un pavimento; actualmente para medir este deterioro se utiliza el IRI, Índice Internacional de Rugosidad (International Roughness Index), para lo cual se utilizan un equipo sofisticado montado en un vehículo, el que al pasar sobre la superficie de una carretera, va midiendo los altibajos y los suma, por lo que al final se obtiene un valor acumulado en metros por kilómetro (m/km) o pulgada por milla (plg/milla). Coronado (2002)

Según Coronado (2002), para correlacionar el índice de Serviciabilidad y el IRI, se utiliza la siguiente fórmula desarrollada por el Departamento de Transportes de Illinois USA:

$$PSI = 5xe^{(-0.0041xIRI)}$$

En donde:

PSI = Índice de Serviciabilidad
 IRI = Índice Internacional de Rugosidad

$e = 2.71828183$ (basado de los logaritmos neperianos)

Es de tomar en cuenta, que en esta fórmula y con estos valores, lo que se obtiene es pulgadas por milla.

Las pruebas a caminos que realizó la AASHTO de 1,962 permitió la creación del Ratio de Serviciabilidad Presente, PSR por sus siglas en inglés, Present Serviceability Rating, siendo una percepción del confort al manejar sobre ciertas condiciones de un pavimento.

Tabla 9

Rangos de Índice de servicialidad

Condición	PSR	IRI	Calidad de Manejo NHS
Muy Bueno	≥ 4.0	< 0.95 m/km	Aceptable ≤ 2.68 m/km
Bueno	3.5 - 3.9	0.95 - 1.48 m/km	
Regular	3.1-3.4	1.50-1.88 m/km	
Pobre	2.6-3.0	1.89-2.68 m/km	
Muy Pobre	≤ 2.5	> 2.68 m/km	No aceptable > 2.68 m/km

(Fuente: Lavaut 2016)

Los Rangos del Índice de servicialidad de acuerdo a la Norma Técnica CE.010 del Reglamento Nacional de Edificaciones – RNE, se detallan a continuación:

Tabla 10

Valores de PSI y calificación de la serviciabilidad

PSI	Calificación
0,0	Intransitable
0,1-1,0	Muy Malo
1,1-2,0	Malo
2,1-3,0	Regular

3,1-4,0	Bueno
4,1-4,9	Muy Bueno
5,0	Excelente

(Fuente: Norma Técnica CE.010 del RNE)

2.7.2.3. Procedimiento de cálculo de deflexiones con viga Benkelman

La medida de deflexiones en la superficie de un pavimento, es de primordial importancia al evaluar la capacidad de transferencia de carga que un pavimento rígido o flexible posee.

El estudio de la deflexión de un pavimento es importante puesto que la forma y magnitud en que un pavimento deforma, es una función de del tráfico (tipo y volumen), sección (paquete) estructural del pavimento, temperatura y humedad.

La deflexión de la superficie es medida como el desplazamiento vertical de esta superficie, ocasionado por una carga (estática o dinámica) aplicada.

El procedimiento general consiste en aplicar una carga de magnitud conocida a la superficie del pavimento y analizar la forma y magnitud de la cuenca de deformación para evaluar la resistencia de la estructura del pavimento.



Figura 21: Ensayo con viga Benkelman en el Km 03+000. (Fuente Propia)

El Manual de Ensayos de Materiales del Ministerio de transporte y comunicaciones (2016), indica lo siguiente:

La viga Benkelman ha sido utilizada con más frecuencia que otros métodos de medidas de deflexiones recuperables de pavimentos, toda vez que cumple con lo establecido en la norma ASTM D 4695: “Standard Guide for General Pavement Deflection Measurements”.

El dispositivo mecánico utilizado es la Viga Benkelman de brazo simple o doble, equipo que mide los desplazamientos verticales de un punto de contacto situado entre las ruedas duales del eje de carga, para una presión de inflado en los neumáticos de 80 psi y una carga de 8.2 t en el eje posterior del camión.

La superficie de pavimento a medir mediante este método debe estar seca y libre de suciedad o material suelto que, bajo tránsito normal, será removido.

2.7.2.3.1. Equipos y Materiales

Se empleó los equipos y materiales de acuerdo a lo establecido por el Ministerio de transporte y comunicaciones (2016), según se detalla:

- Viga simple de un solo brazo con su correspondiente dial (al 0,01 mm y recorrido de 12 mm) y las siguientes características:

De acuerdo al esquema de la Figura 22, la viga consta esencialmente de dos partes:

1. Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos: dos delanteros fijos A y uno trasero regulable B.
2. Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote C, uno de cuyos extremos se apoya sobre el terreno - punto D; y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago del dial de movimiento vertical - punto E (DC = 2,44m, CE = 0,61 m). Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que, al ser accionado, durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas.

El extremo D o punta de la viga es de espesor tal que puede ser colocado entre una de las llantas dobles del eje trasero del camión cargado. Por el peso aplicado se produce

una deformación del pavimento, consecuencia de lo cual la punta baja una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado de la superficie. Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo C, con respecto al cuerpo AB, determinando que el extremo E produzca un movimiento vertical en el vástago, generando así una lectura en el dial. Si se retiran luego las llantas cargadas, el punto D se recupera en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial.

La operación expuesta representa el "principio de medición" con la Viga Benkelman. Lo que se hace después son sólo cálculos en base a los datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuánto deflectó el pavimento en el lugar subyacente al punto D de la viga, durante el procedimiento descrito. Es de anotar que en realidad lo que se mide es la recuperación del punto D al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar ésta. Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la viga, toda vez que los valores dados por el dial - EE' no están en escala real, sino que dependen de la relación de brazos existentes (Figura 22).

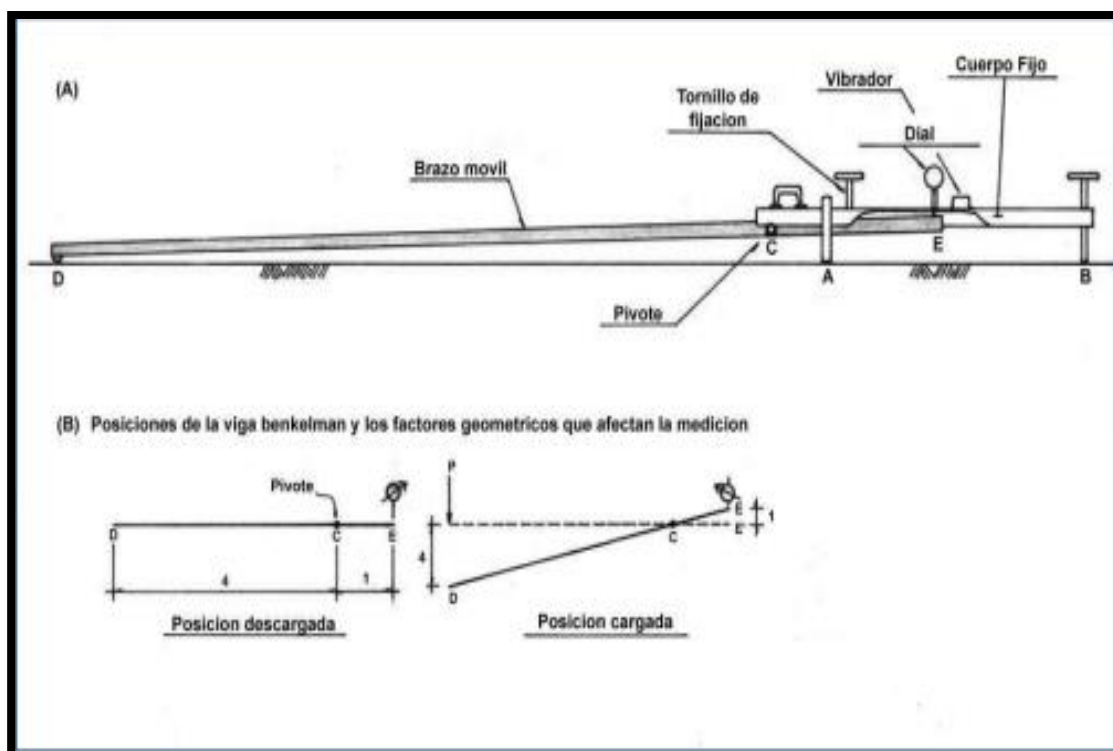


Figura 22: Viga Benkelman. (Fuente: Ministerio de transporte y comunicaciones 2016)

- Un camión para ensayo con las siguientes características, el eje trasero pesará en la balanza 8,2 toneladas, igualmente distribuidos en sus ruedas duales y estará equipado con llantas de caucho y cámaras neumáticas. Las llantas deberán ser 10" x 20"; 12 lonas e infladas a 5,6 kg/cm² (80 libras por pulgada cuadrada). La distancia entre los puntos medios de la banda de rodamiento de ambas llantas de cada rueda dual deber ser de 32 cm.
- Reloj convencional con indicador de segundos.
- Termómetro convencional o sistema de termopares con escala de -10 °C a 50 °C y precisión de 1 °C.
- Manómetro, que disponga de una boquilla adecuada para medir la presión de inflado.
- Cinta métrica, de 25 m de longitud. Puede sustituirse con ventaja por un cuentametros y una cinta métrica de bolsillo de 2 ó 3 m de longitud.
- Martillo y clavos de acero, o taladro, adecuados para practicar orificios en el pavimento hasta 5 cm de profundidad.
- Cuña o calzo de parada, de chapa metálica o de madera.
- Tizas y pintura para marcar el pavimento. Silbato y otro avisador acústico.
- Aceite o material de similar inercia térmica y viscosidad.

2.7.2.3.2. Procedimiento

El procedimiento se desarrolló de acuerdo a lo establecido por el Ministerio de transporte y comunicaciones (2016):

- El punto del pavimento a ser ensayado se marcó con una línea transversal al camino. Sobre dicha línea se localizó el punto de ensayo a una distancia prefijada del borde. Se utilizó las distancias indicadas en la Tabla 10, de acuerdo al MTC E 1002:

Tabla 11
Distancias para ensayo con Viga Benkelman

Ancho de Carril	Distancia del punto de ensayo desde el borde del pavimento
2,70 m	0.45 m
3,00 m	0,60 m
3,30 m	0,75 m
3,60 m o más	0,90 m

(Fuente: Ministerio de transporte y comunicaciones 2016)

- La rueda dual externa del camión deberá ser colocada sobre el punto seleccionado; para la correcta ubicación de la misma, deberá colocarse en la parte trasera extrema del camión una guía vertical en correspondencia con el eje de carga. Desplazando suavemente el camión, se hace coincidir la guía vertical con la línea transversal indicada líneas arriba de modo que simultáneamente el punto quede entre ambas llantas de la rueda dual.
- Una vez localizado el lugar donde se realizará el ensayo, se colocó la llanta a usarse sobre el punto de manera tal que éste coincida aproximadamente con el eje vertical del centro de gravedad del neumático (punto D).
- Para esta operación es aceptable una tolerancia en el rango de 3 pulgadas alrededor del punto. Estacionados los neumáticos se insertó entre ellos el extremo del brazo móvil de la viga colocándolo nuevamente sobre el punto de ensayo seleccionado. Dado que esto último se dificulta por la inaccesibilidad tanto visual como manual, se realizará previamente la siguiente operación: Se colocó la Viga en la posición como si estuviera entre las llantas, pero en la parte exterior de las mismas, haciendo coincidir, empleando una plomada, el extremo del brazo móvil con el eje vertical del centro de gravedad. Tomando como punto de referencia una varilla vertical adosada a la parte trasera del camión, se efectúa una marca en la

viga de manera tal que, en adelante, basta con hacerlas coincidir (la marca con la varilla vertical) para asegurarse que el extremo de la viga coincide con el centro de las llantas, en el momento de iniciar las mediciones.

- De igual forma con la finalidad de obtener el cuenco de deflexiones, se puede efectuar, a partir de la primera, sucesivas marcas a distancias elegidas a las cuales se desee medir deflexiones adicionales (puede ser a 30, 40 y 70 cm). Para la metodología de análisis se requiere de por lo menos tres lecturas, pero se pueden obtener más con fines de verificación, lo cual es recomendable, o si es que se desea tener una idea gráfica del tipo de curvas de deflexiones que se producen.
- Se realizó la primera marca adicional a una distancia tal que la deflexión que se obtenga en ese punto sea la mitad de la deflexión máxima (obtenida en la marca inicial). La segunda marca adicional se realizó al doble de la distancia de la primera marca adicional. Estas dos distancias se determinarán específicamente para cada proyecto de evaluación que se emprenda. Esto deberá hacerse por medio de tanteos previos, antes de comenzar la recolección masiva de datos. Es común que se observen variaciones durante la realización de los ensayos, pero no deberá hacerse modificaciones mientras que las deflexiones tomadas en la primera marca adicional estén en el rango entre 35% y 65% de la deflexión máxima.
- Una vez instalada la viga en el punto de medición haciendo coincidir con la varilla vertical y la marca inicial, se verificó que ésta se encuentre alineada longitudinalmente con la dirección del movimiento del camión. Se colocó el dial en cero, se activó el vibrador y mientras el camión se desplazó muy lentamente se procedió a tomar lecturas conforme la varilla vertical vaya coincidiendo con la primera y las marcas adicionales y una lectura final cuando el camión se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo que el indicador del dial ya no tenga movimiento, registro que corresponde al punto de referencia con deflexión cero.

2.7.2.3.3. Cálculos e Informe

El Ministerio de transporte y comunicaciones (2016), indica lo siguiente:

Para la viga simple se debe calcular la diferencia entre la lectura inicial y la lectura final. Para el caso de la deflexión a 25 cm, se debe encontrar la diferencia entre la

lectura a 25 cm y la lectura final, lo mismo se realiza para las deflexiones tomadas a cualquier distancia.

$$D = (LF - LR) \times RB$$

D : Deflexión a la distancia R, expresada en 0.01 mm.

LR : Lectura a la distancia R

LF : Lectura máxima

RB : Relación de brazos de la viga Benkelman (normalmente es 1:2 ó 1:4)

El radio de curvatura en el punto de ensayo se calcula con la expresión independientemente de la viga utilizada:

$$RC = 3125 / (D_0 - D_{25}) \text{ (Expresado en m)}$$

2.7.2.4. Propiedades físicas y mecánicas de los materiales

2.7.2.4.1. Agregado grueso.

Se define como agregado grueso o grava al material retenido en el tamiz (N° 4) de tamaño máximo de 3/4", es extraído del depósito aluvial y luego chancado y a su vez zarandeado en una zaranda vibratoria, procedente de la cantera Rio Huallaga, para su uso debieron cumplir con límites establecidos en las especificaciones técnicas y normas de este proyecto que a continuación se detalla en el presente proyecto.

2.7.2.4.2. Arena natural.

El agregado fino está constituido de partículas de forma sub redondeada siendo a emplearse la arena natural extraída del depósito aluvial denominado con el nombre cantera Rio Cumbaza para su uso deberá ser seleccionada y que cumpla con los límites establecidos en las normas de la obra.

2.7.2.4.3. Arena triturada 3/8".

Se define como agregado fino triturado al material procedente de la trituración de la grava extraído del depósito aluvial denominado como cantera Rio Huallaga.

2.7.2.5. Especificaciones de los componentes:

2.7.2.5.1. Agregado mineral grueso

Los agregados gruesos deben cumplir con los siguientes requerimientos:

Tabla 12
Requerimientos para los Agregados Gruesos

ENSAYOS	NORMA	REQUERIMIENTO	
		ALTITUD (msnm)	
		≤3.000	>3.000
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	ASTM C 88	18% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	ASTM C 535	40% máx.	35% máx.
Adherencia	ASTM D 1664	+95	+95
Índice de Durabilidad	ASTM D 3744	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras Fracturadas	ASTM D 5821	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción*	NTP 400.021	1,0% máx.	1.0 % máx.

*Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores sólo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

- La adherencia del agregado grueso para zonas mayores a 3000 msnm será evaluada mediante la performance de la mezcla según lo señalado en la subsección 430.02.
- La notación “85/50” indica que el 85% del agregado grueso tiene una cara fracturada y que el 50% tiene dos caras fracturadas.

(Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

2.7.2.5.2. Agregado mineral finos

Los agregados finos deberán cumplir con los requerimientos siguientes:

Tabla 13
Requerimientos para los Agregados Finos

ENSAYOS	NORMA	REQUERIMIENTO	
		ALTITUD (msnm)	
		≤3.000	>3.000
Equivalente de Arena	NTP 339.146:2000	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40

Azul de metileno	AASTHO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de plasticidad (malla N° 40)	NTP 339.129	NP	NP
Durabilidad (al sulfato de magnesio)	ASTM D- 3744	-	18% máx.
Índice de durabilidad	ASTM D 3744	35 mín.	35 mín.
Índice de Plasticidad (malla N° 200)	NTP 339.129	4 % máx.	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción**	NTP 400.021	0,5% máx.	0,5% máx.

*Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores sólo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

- La adherencia del agregado fino para zonas mayores a 3000 msnm será evaluada mediante la performance de la mezcla. Subsección 430.02.

(Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

Además de los requisitos de calidad que debe tener el agregado grueso y fino, el material de la mezcla de los agregados debe estar libre de terrones de arcilla y se aceptará como máximo el uno por ciento (1%) de partículas deleznable según ensayo MTC E 212. Tampoco deberá contener materia orgánica y otros materiales deletéreos.

2.7.2.6. Gradación mezcla asfáltica normal MAC-2

La gradación de la mezcla asfáltica normal (MAC) deberá responder a alguno de los siguientes husos granulométricos.

Tabla 14
Husos granulométricos especificados

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC -1	MAC-2	MAC-3
25,0 mm (1")	100	-	-
19,0 mm (3/4")	80 – 100	100	-
12,5 mm (1/2")	67 – 85	80 – 100	-
9,5 mm (3/8")	60 – 77	70 – 88	100
4,75 mm (N° 4)	43 – 54	51 – 68	65 – 87
2,00 mm (N° 10)	29 – 45	38 – 52	43 – 61
425 mm (N° 40)	14 – 25	17 – 28	16 – 29

180 mm (N° 80)	8 – 17	8 – 17	9 – 19
75 mm (N° 200)	4 – 8	4 – 8	5 – 10

Nota: Se utilizó para la capa asfáltica el huso granulométrico del MAC-2. (Fuente Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

2.7.2.7. Cemento asfáltico

El Cemento Asfáltico a emplearse en los riegos de liga y en las mezclas asfálticas elaboradas en caliente será clasificado por viscosidad absoluta y por penetración. Su empleo será según las características climáticas de la región, la correspondiente carta viscosidad del cemento asfáltico y tal como lo indica la tabla siguiente:

Tabla 15

Mezclas en Caliente tipo de Cemento Asfáltico Clasificado según Penetración

Temperatura Media Anual			
24°C o más	24°C – 15°C	15°C - 5°C	Menos de 5°C
40 – 50 ó	60-70	85 – 100	Asfalto Modificado
60 – 70 ó		120 – 150	
Modificado			

(Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

Tabla 16

Especificaciones del Cemento Asfáltico Clasificado por Penetración.

CARACTERISTICAS	ENSAYOS	GRADO DE PENETRACION							
		40 – 50		60 - 70		85 - 100		12 - 150	
		MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
Penetración 25 °C, 100,5s, 0.1 mm	ASTM D5	40	50	60	70	85	100	120	150
Punto de inflamación COC, °C	ASTM 3143	232	-	232	-	232	-	218	-
Ductilidad, 25 °C, 5cm/min, cm	ASTM D113	100	-	100	-	100	-	100	-
Solubilidad en tricloroetileno, % masa	ASTM D2042	99	-	99	-	99	-	99	-
Susceptibilidad térmica ensayo de película delgada en horno, 3.2 mm, 163 °C, 5 hrs	ASTM D2872-04								
Pérdida de masa		-	0.8	-	0.8	-	1	-	1.5
Penetración del residuo, % de la penetración origina	ASTM D5	55	-	52	-	47	-	42	-
Ductilidad del residuo, 25 °C, 5 cm/min, cm	ASTM D113-99	-	-	50	-	75	-	100	-

Índice de susceptibilidad térmica		-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
Ensayo de la mancha con solvente heptano – xileno 20 % (opcional)	AASHTO T 102	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

(Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

Tabla 17

Especificaciones del Cemento Asfáltico Clasificado por Viscosidad

CARACTERÍSTICAS	ENSAYOS	GRADO DE VISCOSIDAD			
		AC – 5	AC - 10	AC - 20	AC - 40
Viscosidad absoluta 60 °C, pa,s (poises)	ASTM D2171	50	100	200	400
Viscosidad cinemática 135 °C mm	ASTM D2170	100	150	210	300
penetración 25 °C, 100gr 5s mínimo	ASTM D5	120	70	40	20
Punto de inflamación COC, °C	ASTM D92	177	219	232	232
Solubilidad en tricloroetileno % masa, mínimo	ASTM D2042	99	99	99	99
Susceptibilidad termina ensayo de película delgada en horno	ASTM D2872-04	-	-	-	-
Viscosidad absoluta, 60 °C pa,s (poises) máximo	ASTM D5	200	400	800	1600
Ductibilidad, 25 °C,5 cm/min, mínimo		-2000	-4000	-8000	-16000
Ensayo de la mancha con solvente heptano - xileno	AASHTO T 102	-	-	-	-
		Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

(Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

2.7.2.8. Especificaciones de la mezcla asfáltica

Las características de calidad de la mezcla asfáltica deberán estar de acuerdo con las exigencias para mezclas de concreto bituminoso que se indican en las tablas siguientes:

Tabla 18

Requisitos para Mezcla de Concreto Bituminoso

PARAMETRO DEL DISEÑO	MEZCLA
Marshall (MTC E 504)	
1.- Estabilidad (min)	83 Km. (815 Kg.)
2.- Flujo (m m)	2 - 4
3.- Porcentaje de vacíos con aire (ASTM D3203)	3 - 5

4.- Vacíos en el agregado mineral	Min 14
5.- Compactación, numero del golpe en cada cara del testigo	75
6.- Cemento Asfaltico %	+0.3
7.- Relación polvo - asfalto	0.6 – 1.6
8.- Relación estabilidad / flujo	1700 - 4000

(Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

2.7.2.9. Porcentajes del diseño de mezcla asfáltica colocada en pista

2.7.2.9.1. Agregados componentes

Los agregados a usarse son los siguientes

- ✓ Grava Chancada $< 3/4'' - N^{\circ}4'' = 40 \%$, Este material es obtenido del rio Huallaga.
- ✓ Arena Chancada $3/8'' = 40 \%$ Este material es obtenido del rio Huallaga
- ✓ Arena natural $3/8'' = 20 \%$ Este material es obtenido del rio Cumbaza
- ✓ Cemento asfáltico PEN 60/70 = 5.78 %
- ✓ Aditivo mejorado de adherencia Radicote Z = 0.5 %

2.7.2.10. Combinación de agregados del diseño de mezcla

Para la obtención de la formula granulométrica, se realizó la combinación de los Agregados tanto teórico y físico, así como los demás ensayos se realizaron en laboratorio que son los siguientes:

Grafico granulométrico

- ✓ Límites de consistencia de la malla N°40 ----- ASTM D4318
- ✓ Límites de consistencia de la malla N°200 ----- ASTM D4318
- ✓ Una cara Fracturada ----- ASTM D5821
- ✓ Dos caras fracturadas a mas ----- ASTM D5821

✓ Chatas y Alargadas	-----	ASTM D4791
✓ Equivalente de Arena	-----	ASTM D2419
✓ Peso Específico A. Grueso	-----	NTP 400.021
✓ Peso Específico A. Fino	-----	NTP 400.022
✓ Abrasión del Agregado Grueso	-----	ASTM C535
✓ Absorción del A. Grueso	-----	ASTM C127
✓ Absorción del A. Fino	-----	ASTM C128
✓ Ensayo de Durabilidad	-----	NTP 400.016

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados

3.1.1. Propiedades del agregado grueso

Los resultados de las propiedades de la mezcla de agregados gruesos se resumen en la tabla siguiente:

Tabla 19

Resumen de las Propiedades para los Agregados Gruesos

Ensayos	Norma	Requerimiento	Resultado de combinación
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	ASTM C 88	18 % máx.	5.6%
Abrasión Los Ángeles	ASTM C 535	40% máx.	19.4%
Índice de Durabilidad	ASTM D 3744	35% mín.	67.81%
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	3.8%
Caras fracturadas	ASTM D 5821	85/50	90.3/61.4
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.28%
Absorción	NTP 400.021	1.00%	0.87%
Adherencia	ASTM D 1664	>95	<94

(Fuente Propia)

Según el resumen, se aprecia que el agregado grueso no cumple con todos los parámetros exigido en las Especificaciones técnicas del proyecto como es ensayo de Adherencia.



Figura 23: Ensayo de Adherencia del agregado grueso. (Fuente Propia)



Figura 24: Granulometría del agregado grueso. (Fuente Propia)

3.1.2. Propiedades del agregado fino

Los resultados obtenidos de las propiedades de los agregados finos son los siguientes:

Tabla 20

Requerimientos para los Agregados Finos

Ensayos	Norma	Requerimiento	Resultado de combinación
Equivalente de Arena	NTP 339.146:2000	50% mín.	66.0%
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30% mín.	51.01%
Adhesividad (Riedel Weber)	MTC E 220	4% mín.	<3.0
Índice de Plasticidad (malla N°40)	NTP 339.129	N.P.	N.P.
Índice de Durabilidad	ASTM D 3744	35 mín.	67.55%
Índice de Plasticidad (malla N°200)	NTP 339.129	Máx. 4	2.2%
Azul de Metileno	AASHTO TP- 57	8 MAX	6.92
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.07%
Absorción	NTP 400.021	Según diseño	0.81%

(Fuente: Propia)

Además de estos requisitos se comprobó que el material no contiene materia orgánica ni materiales contaminados, está libre de terrones de arcilla y partículas deleznable.

Según el resumen, se aprecia que el agregado fino no cumple con todos los parámetros exigido en las Especificaciones técnicas del proyecto como es ensayo de Adhesividad (Riedel Weber).



Figura 25: Ensayo de Límites de Atterberg. (Fuente Propia)

3.1.3. Propiedades del cemento asfáltico

Las propiedades del cemento asfáltico se realizaron para verificar el cumplimiento de lo especificado para el cemento asfáltico clasificado por penetración tipo PEN 60-70.

3.1.4. Propiedades de la mezcla asfáltica

Los resultados obtenidos de la capa de rodadura–ensayo de lavado asfáltico fueron los siguientes:

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACION MAC-2	DESCRIPCION DE LA MUESTRA 1ER LAVADO PLANTA
3"	76.200						Hora de Lavado : 7:36 a. m.
2 1/2"	63.500						Placa Volquete : D7W-894
2"	50.600						Temp. Mezcla : 155 °C
1 1/2"	38.100						P. Mat. Sin Lavar : 1099.0 gr
1"	25.400						P. Mat. Lavado : 1041.9 gr
3/4"	19.050				100.0	100	P. Asfalto : 57.1 gr
1/2"	12.700	104.5	10.0	10.0	90.0	80 100	% de Asfalto : 5.20
3/8"	9.525	96.0	9.2	19.2	80.8	70 88	
1/4"	6.350	30.0	2.9	22.1	77.9		P. Filtro Sin Lavar : 36.4 gr
No4	4.760	180.0	17.3	39.4	60.6	51 68	P. Filtro Lavado : 37.5 gr
No8	2.380	36.5	3.5	42.9	57.1		P. Mat. en Filtro : 1.1 gr
No10	2.000	150.0	14.4	57.3	42.7	38 52	
No16	1.190	53.9	5.2	62.5	37.5		Relac polvo/asf. : 0.91
No20	0.840	50.4	4.8	67.3	32.7		PROPORCIONES
No30	0.590	60.7	5.8	73.1	26.9		% Grava 3/4" : 0.0 %
No40	0.420	50.4	4.8	78.0	22.0	17 28	% Grava 1/2" : 30.0 %
No50	0.300	39.3	3.8	81.7	18.3		% Ar. chanc. : 39.0 %
No60	0.250	40.5	3.9	85.6	14.4		% Ar. zarand. : 29.0 %
No80	0.180	38.2	3.7	89.3	10.7	8 17	% Filler : 2.0 %
No100	0.149	35.0	3.4	92.7	7.3		TOTAL : 100.0 %
No200	0.074	27.0	2.6	95.2	4.8	4 8	
PAN		49.5	4.8	100.0			

Figura 26: Resultados obtenidos de la capa asfáltica del KM 00+000 hasta el KM 01+000. (Fuente Propia)

El resultado obtenido en laboratorio del lavado asfáltico fue de 5.20 % (Contenido de asfalto de la capa asfáltica encontrada in situ), el mismo no cumple con las especificaciones técnicas para contenido asfáltico MAC-02, en este tramo se observó fisuras de severidad alta, ondulamiento y ahuellamiento, lo cual afectan de diferente manera la condición y el comportamiento del pavimento.

Se realizaron también la elaboración de briquetas de las muestras extraídas de la capa asfáltica in situ, los resultados obtenidos en laboratorio del ensayo Marshall son los siguientes:

Tabla 21

Resultado de ensayo Marshall del KM 00+000 hasta el KM 01+000

Peso específico de la probeta	:	2.354 gr/cc
Vacíos de asfalto	:	4.0 %
Flujo	:	3.07 %
Estabilidad corregida	:	1123 kg
Estabilidad - Flujo	:	3671 kg/cm

(Fuente: Propia)

El resultado del ensayo de análisis granulométrico del lavado de la carpeta asfáltica (rodadura), cumple, según especificaciones técnicas (gradación), arena 60.6 % y 39.4 % de grava.

Del resultado de % de vacíos del diseño de la mezcla asfáltica fabricada y colocado en el proyecto, en este análisis se indica de regular, este parámetro, según Especificaciones Técnicas AASHTO T-245, para mezclas asfálticas MAC-02 del método Marshall.

Del resultado de % de flujo, se aprecia mayor desplazamiento a la compresión sometida a los especímenes, de regular según Especificaciones técnicas AASHTO T-245, para mezclas asfálticas MAC-02.

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACION MAC-2		DESCRIPCION DE LA MUESTRA 1ER LAVADO PLANTA	
3"	76.200							Hora de Lavado	: 9:52 a. m.
2 1/2"	63.500							Placa Volquete	: D8B-822
2"	50.600							Temp. Mezcla	: 155 °C
1 1/2"	38.100							P. Mat. Sin Lavar	: 1145.0 gr
1"	25.400							P. Mat. Lavado	: 1085.2 gr
3/4"	19.050				100.0	100		P. Asfalto	: 59.8 gr
1/2"	12.700	153.0	14.1	14.1	85.9	80	100	% de Asfalto	: 5.22
3/8"	9.525	97.5	9.0	23.1	76.9	70	88		
1/4"	6.350	60.5	5.6	28.7	71.3			P. Filtro Sin Lavar	: 37.0 gr
No4	4.760	139.0	12.8	41.5	58.5	51	68	P. Filtro Lavado	: 39.0 gr
No8	2.380	55.4	5.1	46.6	53.4			P. Mat. en Filtro	: 2.0 gr
No10	2.000	124.6	11.5	58.1	41.9	38	52		
No16	1.190	48.6	4.5	62.5	37.5			Relac polvo/asf.	: 0.82
No20	0.840	61.2	5.6	68.2	31.8			PROPORCIONES	
No30	0.590	53.7	4.9	73.1	26.9			% Grava 3/4"	: 0.0 %
No40	0.420	31.0	2.9	76.0	24.0	17	28	% Grava 1/2"	: 30.0 %
No50	0.300	56.4	5.2	81.2	18.8			% Ar. chanc.	: 39.0 %
No60	0.250	46.8	4.3	85.5	14.5			% Ar. zarand.	: 29.0 %
No80	0.180	64.8	6.0	91.5	8.5	8	17	% Filler	: 2.0 %
No100	0.149	23.5	2.2	93.6	6.4			TOTAL : 100.0 %	
No200	0.074	23.0	2.1	95.7	4.3	4	8		
PAN		46.2	4.3	100.0					

Figura 27: Resultados obtenidos de la capa asfáltica del KM 01+000 hasta el KM 02+000. (Fuente: Propia)

El resultado obtenido en laboratorio del lavado asfáltico fue de 5.22 % (Contenido de asfalto de la capa asfáltica encontrada in situ), el mismo no cumple con las especificaciones técnicas para contenido asfáltico MAC-02, en este tramo se observó fisuras de severidad alta, ondulamiento y ahuellamiento, lo cual afectan de diferente manera la condición y el comportamiento del pavimento.

Se realizaron también la elaboración de briquetas de las muestras extraídas de la capa asfáltica in situ, los resultados obtenidos en laboratorio del ensayo Marshall son los siguientes:

Tabla 22

Resultado de ensayo Marshall del KM 01+000 hasta el KM 02+000

Peso específico de la probeta	:	2.360 gr/cc
Vacíos de asfalto	:	4.0 %
Flujo	:	3.20 %
Estabilidad corregida	:	1235 kg
Estabilidad - Flujo	:	3868 kg/cm

(Fuente: Propia)

El resultado del ensayo de análisis granulométrico del lavado de la carpeta asfáltica (rodadura), cumple, según especificaciones técnicas (gradación), arena 58.5 % y 41.5 % de grava.

Del resultado de % de vacíos del diseño de la mezcla asfáltica fabricada y colocado en el proyecto, en este análisis se indica de regular, este parámetro, según Especificaciones Técnicas AASHTO T-245, para mezclas asfálticas MAC-02 del método Marshall.

Del resultado de flujo, se aprecia mayor desplazamiento a la compresión sometida a los especímenes, de regular según Especificaciones técnicas AASHTO T-245, para mezclas asfálticas MAC-02.

TAMICES	ABERTURA	PESO	%RETENIDO	%RETENIDO	% QUE	ESPECIFICACION		DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
ASTM	mm	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA	MAC-2		1ER LAVADO PLANTA	
3"	76.200								Hora de Lavado : 8:33 a. m.
2 1/2"	63.500								Placa Volquete : D7W-894
2"	50.600								Temp. Mezcla : 150 °C
1 1/2"	38.100								P. Mat. Sin Lavar : 922.5 gr
1"	25.400								P. Mat. Lavado : 875.0 gr
3/4"	19.050				100.0	100			P. Asfalto : 47.5 gr
1/2"	12.700	95.0	10.9	10.9	89.1	80	100		% de Asfalto : 5.15
3/8"	9.525	88.0	10.1	20.9	79.1	70	88		
1/4"	6.350	70.0	8.0	28.9	71.1				P. Filtro Sin Lavar : 36.5 gr
No4	4.760	82.0	9.4	38.3	61.7	51	68		P. Filtro Lavado : 38.8 gr
No8	2.380	80.0	9.1	47.4	52.6				P. Mat. en Filtro : 2.3 gr
No10	2.000	84.0	9.6	57.0	43.0	38	52		
No16	1.190	45.0	5.1	62.2	37.8				Relac polvo/asf. : 0.91
No20	0.840	40.1	4.6	66.8	33.2				PROPORCIONES
No30	0.590	38.7	4.4	71.2	28.8				% Grava 3/4" : 0.0 %
No40	0.420	56.2	6.4	77.6	22.4	17	28		% Grava 1/2" : 30.0 %
No50	0.300	33.7	3.9	81.5	18.5				% Ar. chanc. : 39.0 %
No60	0.250	20.5	2.3	83.8	16.2				% Ar. zarand. : 29.0 %
No80	0.180	46.8	5.3	89.1	10.9	8	17		% Filler : 2.0 %
No100	0.149	30.0	3.4	92.6	7.4				TOTAL : 100.0 %
No200	0.074	24.0	2.7	95.3	4.7	4	8		
PAN		41.0	4.7	100.0					

Figura 28: Resultados obtenidos de la capa asfáltica del KM 02+000 hasta el KM 03+000. (Fuente Propia)

El resultado obtenido en laboratorio del lavado asfáltico fue de 5.15 % (Contenido de asfalto de la capa asfáltica encontrada in situ), el mismo no cumple con las especificaciones técnicas para contenido asfáltico MAC-02, en este tramo se observó fisuras de severidad baja, lo cual afectan de diferente manera la condición y el comportamiento del pavimento.

Se realizaron también la elaboración de briquetas de las muestras extraídas de la capa asfáltica in situ, los resultados obtenidos en laboratorio del ensayo Marshall son los siguientes:

Tabla 23

Resultados del KM 02+000 hasta el KM 03+000

Peso específico de la probeta	:	2.352 gr/cc
Vacíos de asfalto	:	4.5 %
Flujo	:	3.33 %
Estabilidad corregida	:	1065 kg
Estabilidad - Flujo	:	3211 kg/cm

(Fuente: Propia)

El resultado del ensayo de análisis granulométrico del lavado de la carpeta asfáltica (rodadura), cumple, según especificaciones técnicas (gradación), arena 61.7 % y 38.3 % de grava.

Del resultado de % de vacíos del diseño de la mezcla asfáltica fabricada y colocado en el proyecto, en este análisis se indica de regular, este parámetro, según Especificaciones Técnicas AASHTO T-245, para mezclas asfálticas MAC-02 del método Marshall.

Del resultado de flujo, se aprecia mayor desplazamiento a la compresión sometida a los especímenes, de regular según Especificaciones técnicas AASHTO T-245, para mezclas asfálticas MAC-02.

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACION MAC-2		DESCRIPCION DE LA MUESTRA 1ER LAVADO PLANTA	
3"	76.200							Hora de Lavado	: 6:48 a. m.
2 1/2"	63.500							Placa Volquete	: D7Z-718
2"	50.600							Temp. Mezcla	: 155 °C
1 1/2"	38.100							P. Mat. Sin Lavar	: 1200.0 gr
1"	25.400							P. Mat. Lavado	: 1133.3 gr
3/4"	19.050				100.0	100		P. Asfalto	: 66.7 gr
1/2"	12.700	123.8	10.9	10.9	89.1	80	100	% de Asfalto	: 5.56
3/8"	9.525	136.4	12.0	23.0	77.0	70	88		
1/4"	6.350	90.5	8.0	30.9	69.1			P. Filtro Sin Lavar	: 36.8 gr
No4	4.760	102.5	9.0	40.0	60.0	51	68	P. Filtro Lavado	: 38.2 gr
No8	2.380	90.0	7.9	47.9	52.1			P. Mat. en Filtro	: 1.4 gr
No10	2.000	91.0	8.0	56.0	44.0	38	52		
No16	1.190	53.2	4.7	60.7	39.3			Relac polvo/asf.	: 0.80
No20	0.840	48.8	4.3	65.0	35.0			PROPORCIONES	
No30	0.590	45.1	4.0	68.9	31.1			% Grava 3/4"	: 0.0 %
No40	0.420	65.8	5.8	74.7	25.3	17	28	% Grava 1/2"	: 30.0 %
No50	0.300	52.5	4.6	79.4	20.6			% Ar. chanc.	: 39.0 %
No60	0.250	47.8	4.2	83.6	16.4			% Ar. zarand.	: 29.0 %
No80	0.180	57.3	5.1	88.7	11.3	8	17	% Filler	: 2.0 %
No100	0.149	38.8	3.4	92.1	7.9			TOTAL	: 100.0 %
No200	0.074	39.5	3.5	95.6	4.4	4	8		
PAN		50.3	4.4	100.0					

Figura 29: Resultados obtenidos de la capa asfáltica del KM 03+000 hasta el KM 04+000. (Fuente Propia)

El resultado obtenido en laboratorio del lavado asfáltico fue de 5.56 % (Contenido de asfalto de la capa asfáltica encontrada in situ), el mismo no cumple con las especificaciones técnicas para contenido asfáltico MAC-02, en este tramo se observó fisuras de severidad baja, lo cual afectan de diferente manera la condición y el comportamiento del pavimento.

Se realizaron también la elaboración de briquetas de las muestras extraídas de la capa asfáltica in situ, los resultados obtenidos en laboratorio del ensayo Marshall son los siguientes:

Tabla 24:

Resultados obtenidos de la capa asfáltica del KM 03+000 hasta el KM 04+000

Peso específico de la probeta	:	2.346 gr/cc
Vacíos de asfalto	:	4.4 %
Flujo	:	3.64 %
Estabilidad corregida	:	1109 kg
Estabilidad - Flujo	:	3046 kg/cm

(Fuente: Propia)

El resultado del ensayo de análisis granulométrico del lavado de la carpeta asfáltica (rodadura), cumple, según especificaciones técnicas (gradación), arena 60.0 % y 40.0 % de grava.

Del resultado de % de vacíos del diseño de la mezcla asfáltica fabricada y colocado en el proyecto, en este análisis se indica de regular, este parámetro, según Especificaciones Técnicas AASHTO T-245, para mezclas asfálticas MAC-02 del método Marshall.

Del resultado de flujo, se aprecia mayor desplazamiento a la compresión sometida a los especímenes, de regular según Especificaciones técnicas AASHTO T-245, para mezclas asfálticas MAC-02.

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACION MAC-2	DESCRIPCION DE LA MUESTRA 1ER LAVADO PLANTA
3"	76.200						Hora de Lavado : 6:49 a. m.
2 1/2"	63.500						Placa Volquete : D7V-802
2"	50.600						Temp. Mezcla : 155 °C
1 1/2"	38.100						P. Mat. Sin Lavar : 944.0 gr
1"	25.400						P. Mat. Lavado : 891.8 gr
3/4"	19.050				100.0	100	P. Asfalto : 52.2 gr
1/2"	12.700	112.8	12.6	12.6	87.4	80 100	% de Asfalto : 5.53
3/8"	9.525	80.9	9.1	21.7	78.3	70 88	
1/4"	6.350	90.2	10.1	31.8	68.2		P. Filtro Sin Lavar : 34.7 gr
No4	4.760	82.2	9.2	41.1	58.9	51 68	P. Filtro Lavado : 36.7 gr
No8	2.380	79.6	8.9	50.0	50.0		P. Mat. en Filtro : 2.0 gr
No10	2.000	77.7	8.7	58.7	41.3	38 52	
No16	1.190	41.6	4.7	63.4	36.6		Relac polvo/asf. : 0.84
No20	0.840	36.7	4.1	67.5	32.5		PROPORCIONES
No30	0.590	20.1	2.3	69.7	30.3		% Grava 3/4" : 0.0%
No40	0.420	68.1	7.6	77.4	22.6	17 28	% Grava 1/2" : 30.0%
No50	0.300	36.8	4.1	81.5	18.5		% Ar. chanc. : 39.0%
No60	0.250	33.7	3.8	85.3	14.7		% Ar. zarand. : 29.0%
No80	0.180	40.0	4.5	89.8	10.2	8 17	% Filler : 2.0%
No100	0.149	25.8	2.9	92.6	7.4		TOTAL : 100.0%
No200	0.074	24.4	2.7	95.4	4.6	4 8	
PAN		41.2	4.6	100.0			

Figura 30: Resultados obtenidos de la capa asfáltica del KM 04+000 hasta el KM 05+000.
(Fuente propia.)

El resultado obtenido en laboratorio del lavado asfáltico fue de 5.53 % (Contenido de asfalto de la capa asfáltica encontrada in situ), el mismo no cumple con las especificaciones técnicas para contenido asfáltico MAC-02, en este tramo se observó fisuras de severidad baja, lo cual afectan de diferente manera la condición y el comportamiento del pavimento.

Se realizaron también la elaboración de briquetas de las muestras extraídas de la capa asfáltica in situ, los resultados obtenidos en laboratorio del ensayo Marshall son los siguientes:

Tabla 25

Resultados obtenidos de la capa asfáltica del KM 04+000 hasta el KM 05+000

Peso específico de la probeta	:	2.340 gr/cc
Vacíos de asfalto	:	4.0 %
Flujo	:	3.17 %
Estabilidad corregida	:	1216 kg
Estabilidad - Flujo	:	3841 kg/cm

(Fuente: Propia)

El resultado del ensayo de análisis granulométrico del lavado de la carpeta asfáltica (rodadura), cumple, según especificaciones técnicas (gradación), arena 58.9 % y 41.4 % de grava.

Del resultado de % de vacíos del diseño de la mezcla asfáltica fabricada y colocado en el proyecto, en este análisis se indica de regular, este parámetro, según Especificaciones Técnicas AASHTO T-245, para mezclas asfálticas MAC-02 del método Marshall.

Del resultado de flujo, se aprecia mayor desplazamiento a la compresión sometida a los especímenes, de regular según Especificaciones técnicas AASHTO T-245, para mezclas asfálticas MAC-02.

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACION MAC-2		DESCRIPCION DE LA MUESTRA 1ER LAVADO PLANTA	
3"	76.200							Hora de Lavado	: 2:59 p. m.
2 1/2"	63.500							Placa Volquete	: D7Y-831
2"	50.600							Temp. Mezcla	: 155 °C
1 1/2"	38.100							P. Mat. Sin Lavar	: 1184.8 gr
1"	25.400							P. Mat. Lavado	: 1119.9 gr
3/4"	19.050				100.0	100		P. Asfalto	: 64.9 gr
1/2"	12.700	130.1	11.6	11.6	88.4	80	100	% de Asfalto	: 5.48
3/8"	9.525	119.5	10.7	22.3	77.7	70	88		
1/4"	6.350	85.6	7.6	29.9	70.1			P. Filtro Sin Lavar	: 34.9 gr
No4	4.760	93.6	8.4	38.3	61.7	51	68	P. Filtro Lavado	: 37.7 gr
No8	2.380	75.5	6.7	45.0	55.0			P. Mat. en Filtro	: 2.8 gr
No10	2.000	85.4	7.6	52.7	47.3	38	52		
No16	1.190	60.2	5.4	58.0	42.0			Relac polvo/asf.	: 0.90
No20	0.840	62.1	5.5	63.6	36.4			PROPORCIONES	
No30	0.590	75.4	6.7	70.3	29.7			% Grava 3/4"	: 0.0 %
No40	0.420	71.1	6.3	76.7	23.3	17	28	% Grava 1/2"	: 30.0 %
No50	0.300	40.8	3.6	80.3	19.7			% Ar. chanc.	: 39.0 %
No60	0.250	35.4	3.2	83.5	16.5			% Ar. zarand.	: 29.0 %
No80	0.180	49.3	4.4	87.9	12.1	8	17	% Filler	: 2.0 %
No100	0.149	39.3	3.5	91.4	8.6			TOTAL	: 100.0 %
No200	0.074	41.2	3.7	95.1	4.9	4	8		
PAN		55.4	4.9	100.0					

Figura 31: Resultados obtenidos de la capa asfáltica del KM 05+000 hasta el KM 06+000.
(Fuente Propia)

El resultado obtenido en laboratorio del lavado asfáltico fue de 5.48 % (Contenido de asfalto de la capa asfáltica encontrada in situ), el mismo no cumple con las especificaciones técnicas para contenido asfáltico MAC-02, en este tramo se observó fisuras de severidad alta, agrietamiento por piel de cocodrilo y desprendimiento, lo cual afectan de diferente manera la condición y el comportamiento del pavimento.

Se realizaron también la elaboración de briquetas de las muestras extraídas de la capa asfáltica in situ, los resultados obtenidos en laboratorio del ensayo Marshall son los siguientes:

Tabla 26

Resultados obtenidos de la capa asfáltica del KM 05+000 hasta el KM 06+00

Peso específico de la probeta	:	2.362 gr/cc
Vacíos de asfalto	:	4.0 %
Flujo	:	3.27 %
Estabilidad corregida	:	1255 kg
Estabilidad - Flujo	:	3839 kg/cm

(Fuente: Propia)

El resultado del ensayo de análisis granulométrico del lavado de la carpeta asfáltica (rodadura), cumple, según especificaciones técnicas (gradación), arena 61.7 % y 38.3 % de grava.

Del resultado de % de vacíos del diseño de la mezcla asfáltica fabricada y colocado en el proyecto, en este análisis se indica de regular, este parámetro, según Especificaciones Técnicas AASHTO T-245, para mezclas asfálticas MAC-02 del método Marshall.

Del resultado de flujo, se aprecia mayor desplazamiento a la compresión sometida a los especímenes, de regular según Especificaciones técnicas AASHTO T-245, para mezclas asfálticas MAC-02.

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACION MAC-2		DESCRIPCION DE LA MUESTRA 1ER LAVADO PLANTA	
3"	76.200								Hora de Lavado : 8:50 a. m.
2 1/2"	63.500								Placa Volquete : D7Y-775
2"	50.600								Temp. Mezcla : 155 °C
1 1/2"	38.100								P. Mat. Sin Lavar : 1185.0 gr
1"	25.400								P. Mat. Lavado : 1123.2 gr
3/4"	19.050				100.0	100			P. Asfalto : 61.8 gr
1/2"	12.700	143.6	12.8	12.8	87.2	80	100		% de Asfalto : 5.22
3/8"	9.525	95.8	8.5	21.3	78.7	70	88		
1/4"	6.350	105.2	9.4	30.7	69.3				P. Filtro Sin Lavar : 36.1 gr
No4	4.760	109.1	9.7	40.4	59.6	51	68		P. Filtro Lavado : 38.5 gr
No8	2.380	90.5	8.1	48.5	51.5				P. Mat. en Filtro : 2.4 gr
No10	2.000	102.5	9.1	57.6	42.4	38	52		
No16	1.190	46.7	4.2	61.7	38.3				Relac polvo/asf. : 0.95
No20	0.840	40.5	3.6	65.3	34.7				PROPORCIONES
No30	0.590	43.3	3.9	69.2	30.8				% Grava 3/4" : 0.0 %
No40	0.420	56.1	5.0	74.2	25.8	17	28		% Grava 1/2" : 30.0 %
No50	0.300	59.8	5.3	79.5	20.5				% Ar. chanc. : 39.0 %
No60	0.250	50.7	4.5	84.0	16.0				% Ar. zarand. : 29.0 %
No80	0.180	72.7	6.5	90.5	9.5	8	17		% Filler : 2.0 %
No100	0.149	20.6	1.8	92.3	7.7				TOTAL : 100.0 %
No200	0.074	30.6	2.7	95.1	4.9	4	8		
PAN		55.5	4.9	100.0					

Figura 32: Resultados obtenidos de la capa asfáltica del KM 06+000 hasta el KM 07+000.
(Fuente: Propia)

El resultado obtenido en laboratorio del lavado asfáltico fue de 5.22 % (Contenido de asfalto de la capa asfáltica encontrada in situ), el mismo no cumple con las especificaciones técnicas para contenido asfáltico MAC-02, en este tramo se observó fisuras de severidad alta, desintegración por peladuras y baches de severidad baja, lo cual afectan de diferente manera la condición y el comportamiento del pavimento.

Se realizaron también la elaboración de briquetas de las muestras extraídas de la capa asfáltica in situ, los resultados obtenidos en laboratorio del ensayo Marshall son los siguientes:

Tabla 27

Resultados obtenidos de la capa asfáltica del KM 06+000 hasta el KM 07+000

Peso específico de la probeta	:	2.364 gr/cc
Vacíos de asfalto	:	3.9 %
Flujo	:	3.23 %
Estabilidad corregida	:	1203 kg
Estabilidad - Flujo	:	3721 kg/cm

(Fuente: Propia)

El resultado del ensayo de análisis granulométrico del lavado de la carpeta asfáltica (rodadura), cumple, según especificaciones técnicas (gradación), arena 59.6 % y 40.4 % de grava.

Del resultado de % de vacíos del diseño de la mezcla asfáltica fabricada y colocado en el proyecto, en este análisis se indica de regular, este parámetro, según Especificaciones Técnicas AASHTO T-245, para mezclas asfálticas MAC-02 del método Marshall.

Del resultado de flujo, se aprecia mayor desplazamiento a la compresión sometida a los especímenes, de regular según Especificaciones técnicas AASHTO T-245, para mezclas asfálticas MAC-02.

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACION MAC-2		DESCRIPCION DE LA MUESTRA 1ER LAVADO PLANTA	
3"	76.200							Hora de Lavado	: 1:43 p. m.
2 1/2"	63.500							Placa Volquete	: D7Y-773
2"	50.600							Temp. Mezcla	: 155 °C
1 1/2"	38.100							P. Mat. Sin Lavar	: 1171.5 gr
1"	25.400							P. Mat. Lavado	: 1110.9 gr
3/4"	19.050				100.0	100		P. Asfalto	: 60.6 gr
1/2"	12.700	98.8	8.9	8.9	91.1	80	100	% de Asfalto	: 5.17
3/8"	9.525	109.9	9.9	18.8	81.2	70	88		
1/4"	6.350	100.4	9.0	27.8	72.2			P. Filtro Sin Lavar	: 35.1 gr
No4	4.760	122.1	11.0	38.8	61.2	51	68	P. Filtro Lavado	: 37.3 gr
No8	2.380	90.4	8.1	47.0	53.0			P. Mat. en Filtro	: 2.2 gr
No10	2.000	108.1	9.7	56.7	43.3	38	52		
No16	1.190	45.8	4.1	60.8	39.2			Relac polvo/asf.	: 0.88
No20	0.840	53.1	4.8	65.6	34.4			PROPORCIONES	
No30	0.590	42.7	3.8	69.4	30.6			% Grava 3/4"	: 0.0 %
No40	0.420	62.2	5.6	75.0	25.0	17	28	% Grava 1/2"	: 30.0 %
No50	0.300	57.3	5.2	80.2	19.8			% Ar. chanc.	: 39.0 %
No60	0.250	60.4	5.4	85.6	14.4			% Ar. zarand.	: 29.0 %
No80	0.180	54.3	4.9	90.5	9.5	8	17	% Filler	: 2.0 %
No100	0.149	23.0	2.1	92.6	7.4			TOTAL	: 100.0 %
No200	0.074	32.0	2.9	95.5	4.5	4	8		
PAN	50.4	4.5	100.0						

Figura 33: Resultados obtenidos de la capa asfáltica del KM 07+000 hasta el KM 08+000.
(Fuente Propia)

El resultado obtenido en laboratorio del lavado asfáltico fue de 5.17 % (Contenido de asfalto de la capa asfáltica encontrada in situ), el mismo no cumple con las especificaciones técnicas para contenido asfáltico MAC-02, en este tramo se observó fisuras de severidad alta, desintegración por peladuras y baches de severidad baja, lo cual afectan de diferente manera la condición y el comportamiento del pavimento.

Se realizaron también la elaboración de briquetas de las muestras extraídas de la capa asfáltica in situ, los resultados obtenidos en laboratorio del ensayo Marshall son los siguientes:

Tabla 28

Resultados obtenidos de la capa asfáltica del KM 07+000 hasta el KM 08+000

Peso específico de la probeta	:	2.336 gr/cc
Vacíos de asfalto	:	4.4 %
Flujo	:	3.17 %
Estabilidad corregida	:	1050 kg
Estabilidad - Flujo	:	3314 kg/cm

(Fuente: Propia)

El resultado del ensayo de análisis granulométrico del lavado de la carpeta asfáltica (rodadura), cumple, según especificaciones técnicas (gradación), arena 61.2 % y 38.8 % de grava. Del resultado de % de vacíos del diseño de la mezcla asfáltica fabricada y colocado

en el proyecto, en este análisis se indica de regular, este parámetro, según Especificaciones Técnicas AASHTO T-245, para mezclas asfálticas MAC-02 del método Marshall.

Del resultado de flujo, se aprecia mayor desplazamiento a la compresión sometida a los especímenes, de regular según Especificaciones técnicas AASHTO T-245, para mezclas asfálticas MAC-02.

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES MAC-2	DESCRIPCION DE LA MUESTRA 1ER LAVADO PLANTA
3"	76.200						Hora de Lavado : 07:03:00 a.m.
2 1/2"	63.500						Placa Volquete : D7X- 941
2"	50.600						Temp. Mezcla : 155 °C
1 1/2"	38.100						P. Mat. Sin Lavar : 1182.2 gr
1"	25.400						P. Mat. Lavado : 1120.7 gr
3/4"	19.050				100.0	100	P. Asfalto : 61.5 gr
1/2"	12.700	132.1	11.8	11.8	88.2	80 100	% de Asfalto : 5.20
3/8"	9.525	82.6	7.4	19.2	80.8	70 88	
1/4"	6.350	100.1	8.9	28.1	71.9		P. Filtro Sin Lavar : 35.2 gr
No4	4.760	110.0	9.8	37.9	62.1	51 68	P. Filtro Lavado : 38.2 gr
No8	2.380	105.0	9.4	47.3	52.7		P. Mat. en Filtro : 3.0 gr
No10	2.000	105.2	9.4	56.7	43.3	38 52	
No16	1.190	51.3	4.6	61.2	38.8		Relac polvo/asf. : 0.88
No20	0.840	49.4	4.4	65.6	34.4		PROPORCIONES
No30	0.590	52.5	4.7	70.3	29.7		% Grava 3/4" : 0.0 %
No40	0.420	51.7	4.6	74.9	25.1	17 28	% Grava 1/2" : 30.0 %
No50	0.300	54.8	4.9	79.8	20.2		% Ar. chanc. : 39.0 %
No60	0.250	60.6	5.4	85.2	14.8		% Ar. zarand. : 29.0 %
No80	0.180	59.6	5.3	90.6	9.4	8 17	% Filler : 2.0 %
No100	0.149	30.6	2.7	93.3	6.7		TOTAL : 100.0 %
No200	0.074	24.0	2.1	95.4	4.6	4 8	
PAN		51.2	4.6	100.0			

Figura 34: Resultados obtenidos de la capa asfáltica del KM 08+000 hasta el KM 09+000.
(Fuente Propia)

El resultado obtenido en laboratorio del lavado asfáltico fue de 5.20 % (Contenido de asfalto de la capa asfáltica encontrada in situ), el mismo no cumple con las especificaciones técnicas para contenido asfáltico MAC-02, en este tramo se observó fisuras de severidad media, desprendimiento de severidad media y baches de severidad baja, lo cual afectan de diferente manera la condición y el comportamiento del pavimento.

Se realizaron también la elaboración de briquetas de las muestras extraídas de la capa asfáltica in situ, los resultados obtenidos en laboratorio del ensayo Marshall son los siguientes:

Tabla 29*Resultados obtenidos de la capa asfáltica del KM 08+000 hasta el KM 09+000*

Peso específico de la probeta	:	2.351 gr/cc
Vacíos de asfalto	:	4.3 %
Flujo	:	3.10 %
Estabilidad corregida	:	1033 kg
Estabilidad - Flujo	:	3334 kg/cm

(Fuente: Propia)

El resultado del ensayo de análisis granulométrico del lavado de la carpeta asfáltica (rodadura), cumple, según especificaciones técnicas (gradación), arena 62.1 % y 37.9 % de grava.

Del resultado de % de vacíos del diseño de la mezcla asfáltica fabricada y colocado en el proyecto, en este análisis se indica de regular, este parámetro, según Especificaciones Técnicas AASHTO T-245, para mezclas asfálticas MAC-02 del método Marshall.

Del resultado de flujo, se aprecia mayor desplazamiento a la compresión sometida a los especímenes, de regular según Especificaciones técnicas AASHTO T-245, para mezclas asfálticas MAC-02.

Los resultados obtenidos de la capa de rodadura – ensayos Marshall se resume de la siguiente manera:

Tabla 30*Requisitos para Mezcla de Concreto Bituminoso*

PARAMETRO DEL DISEÑO	MEZCLA Requerimiento	Resultado de mezcla asfáltica
Marshall (MTC E 504)		
1.- Estabilidad (min)	83 Km. (815 Kg.)	
2.- Flujo (m m)	2 - 4	3.24
3.- Porcentaje de vacíos con aire (MTC E 505)	3 - 5	4.20
4.- Vacíos en el agregado mineral	Min 14	15.97
5.- Compactación, numero del golpe en cada cara del testigo	75	75
6.- Cemento Asfáltico %	+ -0.3	5.30
7.- Relación polvo - asfalto	0.6 – 1.6	0.875
8.- Relación estabilidad / flujo	1700 - 4000	3538.3

(Fuente: Propia)



Figura 35: Ensayo Marshall. (Fuente Propia)

3.1.5. Resultados de la compactación (diamantina)

Siendo la muestra diamantina un ensayo de demolición, se realizó la selección de muestra bajo un criterio de toma solo en las partes más críticas del pavimento, contándose con 09 muestras totales, utilizándose con fines investigativos.

DETERMINACIÓN DEL ESPESOR Y GRADO DE COMPACTACIÓN DE UNA MEZCLA BITUMINOSA AASHTO T 230														
PROYECTO	"DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) Y LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL KM 00 + 000 HASTA EL KM 09 + 000 DE CAPA ASFÁLTICA DE LA RUTA EMP.PE-5N (DV. LAMAS), PROVINCIA LAMAS, DEPARTAMENTO SAN MARTÍN"													
TRAMO	Tarapoto-Lamas													
MATERIAL	Capa de Mezcla Asfáltica en Caliente < 3/4"													
PROCEDENC.	Pista													
NIVEL	Carpeta Asfáltica													
	ING° RES													
	TÉCNICO													
	FECHA	May-21												
	AL MES	MAYO												
Fecha de Muestreo	PROGRESIVA		Diam. (cm)	Altura de briqueta (cm)	Peso de la briqueta al aire (gr)	Peso de briqueta saturado S.S.S. (gr)	Peso de briqueta al agua (gr)	Volumen de briqueta por despla (gr/cc)	Densidad de Campo (gr/cc)	Densidad de Laboratorio (Marshall)	Compactación en campo (%)	Vacíos de Campo según ASTM D-	% de Asfalto de Laboratorio	Máxima Densidad Teórica RICE (gr/cc)
	km.	Carril												
Jun-21	0+000 - 1+000	Der	10.10	8.50	1577.8	1579.9	895.5	684.4	2.305	2.345	98.3	5.6	5.20	2.441
Jun-21	1+000 - 2+000	Eje	10.05	8.30	1425.5	1426.5	810.6	615.9	2.314	2.345	98.7	5.2	5.22	2.441
Jun-21	2+000 - 3+000	Izq	10.00	7.50	1390.9	1391.9	788.9	603.0	2.307	2.345	98.4	5.5	5.15	2.441
Jun-21	3+000 - 4+000	Eje	10.00	7.55	1425.6	1427.5	810.2	617.3	2.309	2.345	98.5	5.4	5.56	2.441
Jun-21	4+000 - 5+000	Der	10.10	9.30	1733.0	1740.0	990.6	749.4	2.313	2.345	98.6	5.3	5.53	2.441
Jun-21	5+000 - 6+000	Eje	10.05	9.25	1635.5	1636.6	925.6	711.0	2.300	2.345	98.1	5.8	5.48	2.441
Jun-21	6+000 - 7+000	Izq	10.00	8.40	1553.0	1562.3	888.9	673.4	2.306	2.345	98.3	5.5	5.22	2.441
Jun-21	7+000 - 8+000	Eje	10.00	8.25	1378.8	1380.9	784.2	596.7	2.311	2.345	98.5	5.3	5.17	2.441
Jun-21	8+000 - 9+000	Der	10.00	7.80	1496.0	1497.0	846.6	650.4	2.300	2.345	98.1	5.8	5.20	2.441
RESUMEN ESTADÍSTICO DE CAPA ASFÁLTICA														
SUMA	90.30	74.85	13616.10	13642.60	7741.10	5901.50	20.77	21.11	885.53	49.29	47.72	21.97		
MINIMO	10.00	7.50	1378.80	1380.90	784.20	596.70	2.30	2.35	98.09	5.18	5.15	2.44		
MAXIMO	10.10	9.30	1733.00	1740.00	990.60	749.40	2.31	2.35	98.70	5.77	5.56	2.44		
PROMEDIO	10.03	8.32	1512.90	1515.84	860.12	655.72	2.31	2.35	98.39	5.48	5.30	2.44		
DESV.EST.	0.04	0.65	121.30	122.88	70.14	52.82	0.01	0.00	0.21	0.21	0.17	0.00		

Figura 36: Resultados de ensayos de compactación. (Fuente Propia)

a) Compactación

Según los estudios realizados por Consorcio Quillabamba-Provias nacional (2006), señalan lo siguiente:

Las determinaciones de densidad de la capa compactada se realizarán en una proporción de cuando menos una (1) por cada doscientos cincuenta metros cuadrados (250 m²) y los tramos por aprobar se definen sobre la base de un mínimo de seis (6) determinaciones de densidad.

La densidad media del tramo (Dm) deberá ser, cuando menos, el noventa y ocho por ciento (98%) de la media obtenida al compactar en el laboratorio con la técnica Marshall, las cuatro (4) probetas por jornada de trabajo (De), que se indicaron en esta especificación en lo referente a Calidad del Producto Terminado.

$$D_m > 0,98 D_e$$

Además, la densidad de cada testigo individual (Di) deberá ser mayor o igual al noventa y siete por ciento (97%) de la densidad media de los testigos del tramo (Dm).

$$D_i > 0,97 D_m$$

El incumplimiento de alguno de estos dos requisitos implica el rechazo del tramo por parte del Supervisor.

La toma de muestras testigo se hará de acuerdo con norma MTC E 509 y las densidades se determinarán por alguno de los métodos indicados en las normas MTC E 506, MTC E 508 Y MTC E 510.

b) Espesor

Altamirano Pacheco (2009), hace referencia lo siguiente:

Sobre la base de los tramos escogidos para el control de la compactación, el Supervisor determinará el espesor medio de la capa compactada (e_m), el cual no podrá ser inferior al de diseño (e_d).

$$e_m > e_d$$

Además, el espesor obtenido en cada determinación individual (e_i), deberá ser, cuando menos, igual al noventa y cinco por ciento (95%) del espesor de diseño.

$$e_i > 0.95 e_d$$

El incumplimiento de alguno de estos requisitos implica el rechazo del tramo.

3.1.6. Mediciones estáticas – Viga benkelman

A continuación mostramos los resultados obtenidos:

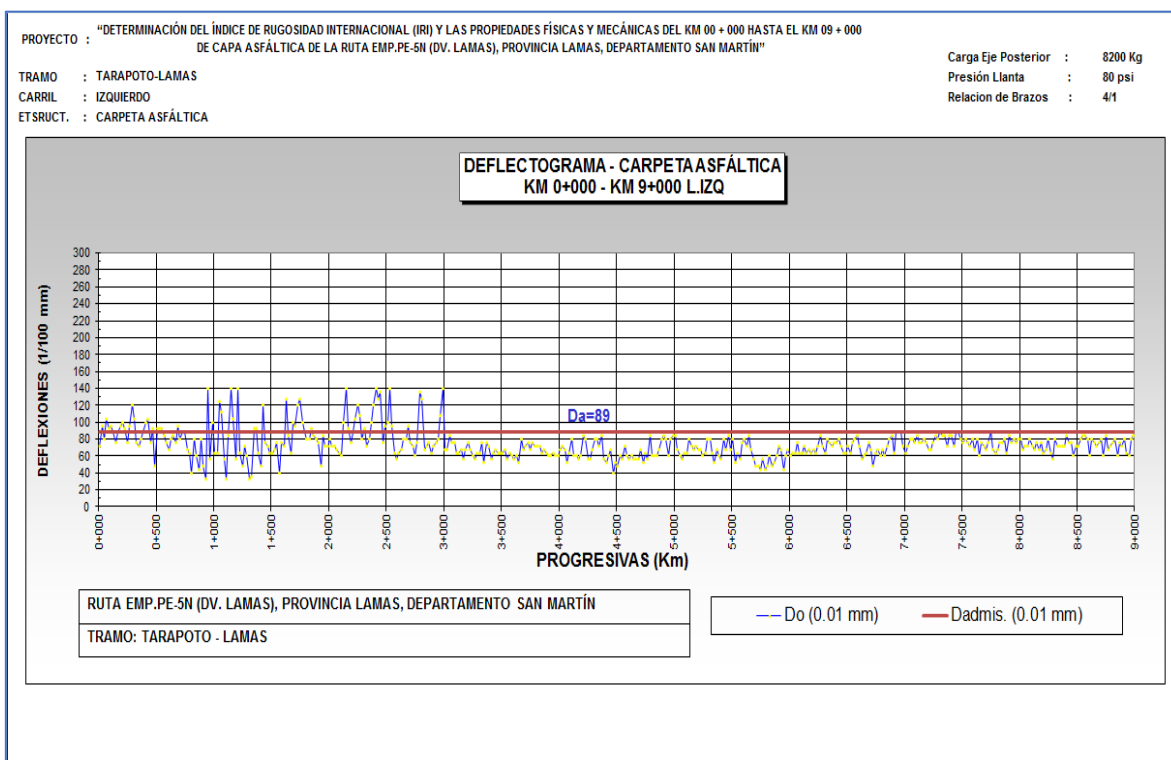


Figura 37: Deflectograma-carril izquierdo. (Fuente Propia)

Los resultados de las mediciones de campo se resumen a continuación:

N	451	451	451	451	451
Suma	3150	10647	42588	29988	69969
Promedio	7.0	23.6	94.4	66.5	155.1
Màx	2	11	44	32	39
Min.	20	60	240	160	391
Desv. Estándar	4.3	8.7	34.9	19.8	79.4
Varianza	18.1	76.1	1218.3	390.3	6305.4
Coefficiente de variación	61.4	36.9	37.0	29.8	51.2
Valor Característico	14.1	37.9	151.8	99.1	285.7

Figura 38: Resultados obtenido del ensayo con Viga Benkelman-carril izquierdo. (Fuente Propia)

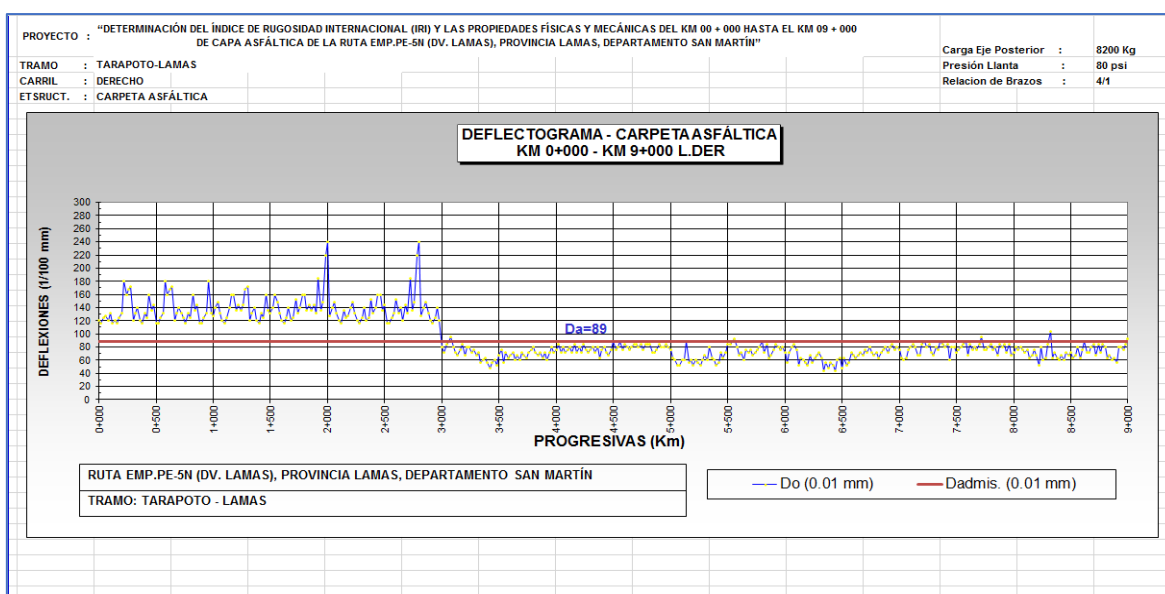


Figura 39: Deflectograma carril derecho. (Fuente Propia)

Los resultados de las mediciones de campo se resumen a continuación:

N	450	450	450	450	450
Suma	1971	8350	33400	25516	88496
Promedio	4.4	18.6	74.2	56.7	196.7
Màx	2	8	32	20	39
Min.	20	35	140	120	391
Desv. Estándar	1.6	4.4	17.7	15.0	60.3
Varianza	2.6	19.6	313.8	224.8	3638.8
Coefficiente de variación	36.4	23.7	23.9	26.5	30.7
Valor Característico	7.0	25.8	103.3	81.4	295.9

Figura 40: Resultados obtenido del ensayo con Viga Benkelman - carril derecho. (Fuente Propia)

3.1.7. Resultados del índice de rugosidad (o regularidad) internacional (IRI)

Luego de realizar el reconocimiento del tramo en estudio (KM 00+000 al KM 09+000). Se empezó con los ensayos con el Rugosímetro de Merlin. Las medidas se efectuaron en el sentido empezando desde el desvío de la Ex. Carretera Marginal de la Selva Norte, actual (carretera Fernando Belaunde Terry) hacia la ciudad de Lamas, y terminando en la progresiva 09+000 de la vía en mención.

Los resultados obtenidos se resumen en el siguiente cuadro:

"DETERMINACION DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) Y LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL KM 00 + 000 HASTA EL KM 09 + 000 DE CAPA ASFÁLTICA DE LA RUTA EMP.PE-5N (DV. LAMAS), PROVINCIA LAMAS, DEPARTAMENTO SAN MARTÍN"						
OBRA :						CERTIFICADO :
TRAMO :	TARAPOTO - LAMAS					HECHO POR :
NIVEL :	CARPETA ASFÁLTICA					FECHA : 30-jun-21
<u>CUADRO RESUMEN : CONTROL DE IRREGULARIDAD SUPERFICIAL : RUGOSIDAD</u>						
<u>Estructura : Capa de Rodadura</u>						
TRAMO (Km)		CARRIL	RUGOSIDAD (IRI)	CARRIL	RUGOSIDAD (IRI)	OBSERVACIONES
0+000	01+200	izq	2.80	der	4.00	Mezcla Asfáltica
01+200	02+400	izq	3.56	der	3.97	Mezcla Asfáltica
02+400	03+600	izq	3.70	der	3.89	Mezcla Asfáltica
03+600	04+800	izq	3.66	der	3.70	Mezcla Asfáltica
04+800	06+000	izq	3.60	der	3.90	Mezcla Asfáltica
06+000	07+200	izq	3.70	der	3.90	Mezcla Asfáltica
07+200	08+400	izq	3.43	der	4.00	Mezcla Asfáltica
08+400	09+000	izq	3.10	der	3.45	Mezcla Asfáltica
<i>Promedio =</i>			3.44		3.85	
<i>Desv.Estandar =</i>			0.33		0.19	
<i>IRI (caract.)=</i>			3.98		4.16	(95 % Percentil)
<i>IRI (max) =</i> m/km			2.00		2.00	(Especificacion)
			<i>Corregir</i>		<i>Corregir</i>	
<i>PSI (tramo) =</i>			2.42		2.35	(Serviciabilidad presente)
<i>TRANSITABILIDAD =</i>			BUENA	<4, 5>		

Figura 41: Resultados obtenidos con el rugosímetro de merlín. (Fuente Propia)



Figura 42: Ensayo con el Rugosímetro de Merlin. (Fuente Propia)



Figura 43: Ensayo con el rugosímetro de Merlin. (Fuente Propia)

3.2. Discusión de resultados

En la presente investigación se logró la determinación del IRI con el rugosímetro de Merlin del km 00 + 000 hasta el km 09 + 000 de capa asfáltica de la ruta EMP.PE-5N (DV. LAMAS), provincia Lamas, departamento San Martín, de los cuales se tuvo como resultado

en el carril derecho un Índice de Servicialidad (PSI) promedio en el carril derecho de 2.42 y en el carril izquierdo de 2.35. Vale mencionar que el valor del PSI varía de 0 a 5. Un valor de 5 refleja la mejor comodidad teórica (difícil de alcanzar) y por el contrario un valor de 0 refleja el peor. Cuando la condición de la vía con el pasar del tiempo, decrece por deterioro, el PSI también decrece. El tramo de la vía en estudio se encuentra en estado regular con altas probabilidades de deterioro, puesto que es un pavimento con más de diez 10 años en funcionamiento.

Los daños normalmente aumentan con el tiempo, afectando de manera creciente la funcionalidad del pavimento. La vía mencionada en el proyecto presenta fallas por sectores, encontrándose los puntos más críticos del KM 00+000 hasta el KM 03+500, del KM 06+000 hasta el KM 07+500 y en el KM 08+330; los mismos presentan deficiencias tales como fisuras, grietas, ondulamientos, baches y hundimientos.

El presente estudio muestra que el Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente con los agregados de las siguientes canteras son los siguientes: Grava triturada $<3/4''$ – N°4 – Rio Huallaga (cantera) 40%+ Arena triturada $<3/8''$ – Rio Huallaga (cantera) 40%+ Arena natural $<3/8''$ – Rio Cumbaza (cantera) 20%.

Del resultado de la Verificación, se determinó que el óptimo contenido del cemento Asfáltico fue de 5.30 % teniendo una mezcla seca, por lo consecuente el parámetro de relación estabilidad / Flujo, no cumple con los parámetros establecidos en las especificaciones técnicas.

El pavimento de la Carretera en estudio se encuentra sobre una subrasante inestable, por lo cual necesita un refuerzo estructural. Esto se debe a que parte de la estructura granular se ha ido deteriorando con el tiempo y el paquete estructural que posee es básico.

CONCLUSIONES

- ✓ Mediante el uso del rugosímetro de MERLIN que establece el ASTM E950, se puede calcular el índice de rugosidad internacional (IRI), por consiguiente, el índice de serviciabilidad presente (PSI), al aplicar este procedimiento a nuestras muestras de estudio del pavimento flexible e la ruta EMP.PE-5N (DV. LAMAS), se obtuvo un resultado que determina que la vía en estudio tiene un nivel de servicio **regular**, ya que tiene un Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) en el carril derecho de 2.42 y en el carril izquierdo de 2.35 y un Índice de Rugosidad Internacional (IRI) de 3.98 para el carril izquierdo y 4.16 para el carril derecho.

- ✓ Como resultado de la Verificación de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, se determinó que el óptimo contenido del cemento Asfáltico fue de 5.30 % teniendo una mezcla seca, por lo consecuente el parámetro de relación estabilidad / Flujo, no cumple con los parámetros establecidos en las especificaciones técnicas.

- ✓ El equipo Merlin es un instrumento para la evaluación de la rugosidad, cómodo de manejar, práctico, económico y sencillo de usar, salvo que no se tiene los resultados rápidamente por tener rendimientos de 0.8 km/hora.

- ✓ Del proyecto en estudio se pudo comprobar la existencia de fallas superficiales y estructurales los cuales afectan directamente a la transitabilidad, todo lo contrario, a la funcionalidad del pavimento, el cual tiene por objetivo proporcionar una superficie de rodamiento que permita el tráfico seguro y confortable de vehículos, a velocidades operacionales deseadas y bajo cualquier condición climática.

RECOMENDACIONES

- ✓ Para su mantenimiento con proyección a 20 años, se recomienda reemplazar el paquete estructural con un espesor de 1.20 m del Km:0+500 – 3+500. también se debe reparar los puntos donde hay presencia de baches y mejorar las zonas donde existen desplazamientos. Si se quiere optar por otra alternativa de reemplazo, se recomienda utilizar geomallas y geomembranas, porque existe bastante presencia de humedad y esto afecta al pavimento causando asentamientos y deformaciones; del KM:5+000 – 9+000 se necesita hacer un recapeo de un espesor de 3 cm porque se evidencia desprendimiento de los agregados de capa asfáltica.
- ✓ La toma de lecturas de campo se debe de realizar con responsabilidad ya que de ellas dependen que los ensayo realizados sean evaluados correctamente. De la misma forma se recomienda cumplir con lo establecido en la normativa correspondiente a cada ensayo.
- ✓ Se debe de tener como primera opción de evaluación, la evaluación estructural usando viga Benkelman ya que ayuda a establecer y cuantificar una necesidad de rehabilitación cuando un pavimento está deteriorado, cuando el pavimento está llegando a su tiempo final de vida útil o cuando se va a cambiar su función, asimismo es una herramienta que sigue vigente y su uso es importante para evaluar pavimentos con un bajo costo.
- ✓ Los índices de servicio se podrán mantener más altos y los índices de regularidad más bajos si construimos pavimentos asfálticos sobre superficies planas con equipos y procedimientos que permitan colocar los pavimentos a una temperatura uniforme y dentro de los parámetros de diseño, para que éstos perduren y no presenten ahuellamiento y agrietamiento prematuros, cuya causa será el aumento del IRI y la caída de serviciabilidad, aumentando los costos de mantenimiento de los automóviles y mayor consumo de combustible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Águila R., P. (1999). *MANUAL DEL USUARIO MERLINER-MERLÍN EQUIPO PARA RUGOSIDAD-METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE RUGOSIDAD DE LOS PAVIMENTOS*.
- Almenara Cueto, C. I. (2015). *Aplicación de teléfonos inteligentes para determinar la rugosidad de pavimentos urbano en Lima*.
<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6087>
- Altamirano Pacheco, J. O. (2009). “*Mejoramiento y Rehabilitación de Camino Vecinal Uchpapampa - Marías - Maynas - Gorgor*”, distrito de Marías, provincia de Dos de Mayo, departamento Huánuco”.
- Consocio Quillabamba-Provias nacional. (2006). *ESTUDIO DEFINITIVO PARA LA CONSTRUCCIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CUSCO - QUILLABAMABA; TRAMO: ALFAMAYO – CHAULLAY – QUILLABAMBA*. 2006.
- Coronado, J. (2002). *MANUAL CENTROAMERICANO PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS* - Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional – Secretaría de Integración Económica Centroamericana.
- Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones - San Martín. (2019). *Ficha técnica para el mantenimiento periodico de la carretera departamental ruta sm - 104, tramo: emp. pe-5n (pte. bolivia) - lamas - emp. pe-5n (dv. lamas), l = 23.51 km, provincia de lamas - region san martin*.
- Irigoyen, J. L., & Simo, L. F. (2016). Identificación de fallas en pavimentos y técnicas de reparación. *Mopc*, 212. <https://www.mopc.gob.do/media/2335/sistema-identificación-fallas.pdf>
- Lavaut, P. (2016). *IMPORTANCIA DE LA REGULARIDAD SUPERFICIAL (IRI) EN LA CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS ASFALTICOS EN CALIENTE* (pp. 1–44).
www.roadtec.com
- Melchor, J. (1998). *Diseño y evaluación de pavimentos flexibles*. <https://toaz.info/doc->

viewer

- Ministerio de transporte y comunicaciones. (2016). *Manual de ensayo de materiales R.D. N° 18-2016-MTC/14.*
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *MANUAL DE CARRETERAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES PARA CONSTRUCCIÓN EG-2013.*
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). Decreto Supremo N° 011-2016-Mtc. *El Peruano*, 242.
- Ministerio de Vivienda, C. y S. (2010). Norma Técnica CE.010 del Reglamento Nacional de Edificaciones - RNE. In *Portal Institucional del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento* (pp. 3–73).
- Oficina de Estadística del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2020). *Anuario Estadístico 2020.*
- Ortega Maldonado, A. (2013). *Trabajo 7 - Pavimentos Flexibles - Compuestos carpeta asfáltica - Pruebas - Procedimiento constructivo.* Construaprende.Com.
<https://www.construaprende.com/docs/trabajos/310-pavimentos-flexibles>
- Porras Anco, D. F. (2010). *ENSAYO DE RUGOSIDAD CON EL EQUIPO MERLIN MONITOREO DE CONSERVACIÓN CARRETERA CAÑETE - HUANCAYO Km. 112+000 AL Km. 114+000, Lima Perú.*
- Sánchez, I., & de Solminihac, H. (1989). EL IRI: Un indicador de la regularidad superficial. *Revista Ingeniería de Construcción*, 6, 33–44.
- Sanchez, I., & de Solminihac T, H. (1989). “El IRI : un indicador de la regularidad superficial.” *Revista de Ingenieria de Construcion*, 6, 1–16.
- Sayers, M., Gillespie, T., & Paterson, W. (1986). Guidelines for conducting and calibrating road roughness measurements. World Bank technical paper number 46. In *World Bank technical paper* (Issue 46).
- Sayers, M., Gillespie, T., Queiroz, C., & World Bank. (1986). *The International Road Roughness Experiment* (Issue 45).

Yangali Limaco, G. O. (2015). *Influencia del uso de la carpeta asfáltica reciclada en las propiedades físico- mecánicas de diseño, para rehabilitación de pavimento flexible*. Univiersidad Nacional del Centro del Perú.

ANEXOS