



Universidad Científica del Perú - UCP

Registrado en el Asiento N° A00010 de la Partida N° 11000318, Personas Jurídicas de Iquitos,
Superintendencia de los Registros Públicos - SUNARP

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
“EVALUACIÓN POR MÉTODOS NO DESTRUCTIVOS, DE LA ESTRUCTURA
DEL PAVIMENTO EN LA CARRETERA IQUITOS NAUTA KM. 20+ 500 – KM
22+500, DISTRITO SAN JUAN BAUTISTA, PROVINCIA MAYNAS, PERÚ,
2023”.**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR (es):

**BACH. CESAR ANDRÉS LAOS CUELLAR
BACH. CARLOS VICENTE MÉNDEZ CASTILLO.**

ASESOR (es):

M.Sc. IRIGOIN CABRERA, ULISES OCTAVIO

CO – ASESOR:

Ing. PRADO ESPINO, ROSSANA CAROL

IQUITOS, 2023

DEDICATORIA

A mis padres Luis Laos y Ena Cuellar por apoyarme de manera incondicional a lo largo de mi vida universitaria y brindarme su apoyo en todo momento. También por brindarme la oportunidad de poder estudiar una carrera universitaria y poder concluirla.

A mis hermanos Jhon, Yadira y Luis por aconsejarme en todo momento sobre las decisiones que debía tomar y estas me lleven por el mejor camino.

Bach. Cesar Andrés Laos Cuellar

A mis padres Angel Méndez y Angelica Castillo por ser el pilar incondicional por darme el apoyo para lograr mis metas en mi vida personal y profesional.

Bach. Carlos Vicente Méndez Castillo.

AGRADECIMIENTO

A Dios por guiarnos y habernos permitido cumplir nuestras metas y sueños propuestos, por darnos las fuerzas para poder levantarnos cuando más lo necesitábamos y poder seguir con nuestros sueños a como dé lugar.

A nuestros padres por su incansable apoyo, por habernos permitido culminar nuestra vida universitaria, por habernos acompañado en todo momento y, sobre todo, enseñarnos a no mirar atrás y que los sueños y metas están para cumplirlas.

A nuestras familias, hermanos y amigos que formaron parte de nuestro del largo camino hacia nuestras metas.

A la Universidad Científica del Perú y docentes por darnos los conocimientos, formándonos y moldeándonos para ser excelentes profesionales y personas.

A nuestro Asesor, el M.Sc. Ing. Ulises Octavio Irigoin Cabrera por guiarnos y aconsejarnos en todo el proceso para la realización de este estudio de investigación, también por la paciencia y sobre todo por brindarnos su tiempo en todo momento.

ANTIPLAGIO



"Año de la Unidad, la paz y el desarrollo"

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP

El presidente de Comité de Ética de la Universidad Científica del Perú - UCP

Hace constar que:

El Trabajo de Suficiencia Profesional titulado:

**"EVALUACIÓN POR MÉTODOS NO DESTRUCTIVOS, DE LA
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EN LA CARRETERA IQUITOS NAUTA
KM. 20 + 500 - KM 22+500, DISTRITO SAN JUAN BAUTISTA,
PROVINCIA MAYNAS, PERÚ, 2023"**

De los alumnos: **CESAR ANDRÉS LAOS CUELLAR Y CARLOS VICENTE
MÉNDEZ CASTILLO**, de la Facultad de Ciencias e Ingeniería,
pasó satisfactoriamente la revisión por el Software Antiplagio,
con un porcentaje de **16% de similitud**.

Se expide la presente, a solicitud de la parte interesada para los fines que
estime conveniente.

San Juan, 26 de Octubre del 2023.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jorge L. Tapullima Flores', is written over a light blue circular stamp. The signature is fluid and cursive.

Mgr. Arq. Jorge L. Tapullima Flores
Presidente del comité de Ética - UCP

CJRA/ri-a
352-2023

Resultados_INFORME FINAL_INGENIERIA CIVIL- MENDEZ_LAOS

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%	13%	1%	9%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
2	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	1%
3	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego Trabajo del estudiante	1%
5	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	www.slideshare.net Fuente de Internet	1%
7	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes Trabajo del estudiante	<1%



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Cesar Andres Laos Cuellar
Título del ejercicio: Quick Submit
Título de la entrega: Resultados_INFORME FINAL_INGENIERIA CIVIL-MENDEZ_LAOS
Nombre del archivo: INFORME_FINAL_INGENIERIA_CIVIL-MENDEZ_LAOS.pdf
Tamaño del archivo: 3.26M
Total páginas: 85
Total de palabras: 18,841
Total de caracteres: 93,120
Fecha de entrega: 26-oct.-2023 09:50a. m. (UTC-0400)
Identificador de la entrega... 2207953005

RESUMEN

Los muros del presente estudio consisten en edificios, mediante energía no destructiva, el estado del pavimento flexible en la Carretera Guaya - Nambá, km. 26+100 - km. 22+000, tomando como base para el establecimiento de los ensayos y el estado comparativo, criterios de Control. El tipo de la investigación es aplicada con enfoque cuantitativo, donde el diseño de la investigación es descriptiva porque tiene el propósito de describir la definición del pavimento, y el índice internacional de rugosidad aplicado al tipo de pavimento y al MDI/FA.

Como resultado de esta investigación, se concluye que la definición admisible en el muro que la definición convencional, teniendo como referencia 0.429 ± 0.177 y $1.8'$ para 0.429 ± 0.177 y $1.8'$ respectivamente. Asimismo, se indica que durante el estudio se tomaron como referencia que 80 m, por lo que se concluye que la mejor parte de la definición se produce en los casos superiores (pavimento). Al mismo tiempo, se le calculó el índice internacional de rugosidad promedio, siendo como resultado el valor de 4.16, lo que indica que el pavimento presenta altas superficies en la capa superior.

PALABRAS CLAVE: Pavimento flexible, definición admisible, índice internacional de rugosidad (IRI).

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Con Resolución Decanal N°757-2023-UCP-FCEI del 16 de Noviembre del 2023, la FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP designa como Jurado Evaluador de la sustentación del Trabajo de Suficiencia Profesional a los señores:

- | | |
|---|------------|
| • Ing. Carmen Patricia Cerdeña del Aguila, Dra. | Presidente |
| • Ing. Erlin Guillermo Cabanillas Oliva, Dr. | Miembro |
| • Ing. Félix Wong Ramírez, M.Sc. | Miembro |

Como Asesor: Ing. Ulises Octavio Irigoin Cabrera, M. Sc.

En la ciudad de Iquitos, siendo las 19:30 horas del día Miércoles 29 de Noviembre del 2023, de manera presencial supervisado por el Secretario Académico del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Universidad Científica del Perú., se constituyó el Jurado para escuchar la sustentación y defensa del Trabajo de Suficiencia Profesional: **“EVALUACIÓN POR MÉTODOS NO DESTRUCTIVOS, DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EN LA CARRETERA IQUITOS NAUTA KM. 20+ 500 – KM 22+500, DISTRITO SAN JUAN BAUTISTA, PROVINCIA MAYNAS, PERÚ, 2023”**.

Presentado por los sustentantes: **CÉSAR ANDRES LAOS CUELLAR Y
CARLOS VICENTE MÉNDEZ CASTILLO**

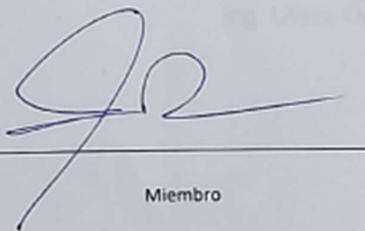
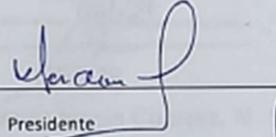
Como requisito para optar el título profesional de: **INGENIERO CIVIL**

Luego de escuchar la sustentación y formuladas las preguntas las que fueron: *Abuelto*

El Jurado después de la deliberación en privado llegó a la siguiente conclusión:

La sustentación es: *Aprobada por Unanimidad*

En fe de lo cual los miembros del Jurado firman el acta.

 Miembro	 Presidente	 Miembro
--	--	---

Contáctanos:

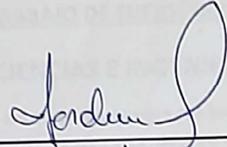
Iquitos – Perú
065 - 26 1088 / 065 - 26 2240
Av. Abelardo Quiñones Km. 2.5

Filial Tarapoto – Perú
42 - 58 5638 / 42 - 58 5640
Leoncio Prado 1070 / Martines de Compagñon 933

Universidad Científica del Perú
www.ucp.edu.pe

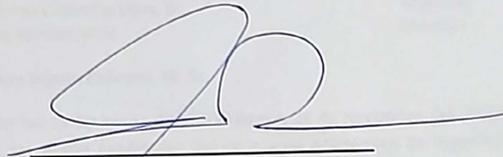
HOJA DE APROBACIÓN

Trabajo de suficiencia profesional sustentada en acto publico el día Miércoles 29 de Noviembre del 2023, a las 19:30 Horas, en las instalaciones de la UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ.



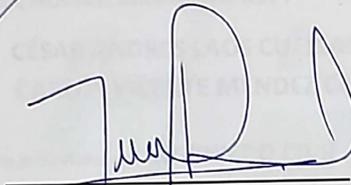
PRESIDENTE DEL JURADO

Ing. Carmen Patricia Cerdeña del Aguila. Dra.



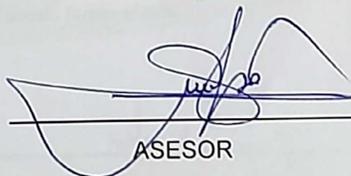
MIEMBRO DEL JURADO

Ing. Erlin Guillermo Cabanillas Oliva, Dr.



MIEMBRO DEL JURADO

Ing. Félix Wong Ramirez, M.Sc.



ASESOR

Ing. Ulises Octavio Irigoin Cabrera, M. Sc.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	9
ÍNDICE DE TABLAS	10
ÍNDICE DE IMÁGENES	11
RESUMEN.....	13
ABSTRACT	14
CAPITULO I: MARCO TEÓRICO	15
1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	15
1.1.3. ANTECEDENTES LOCALES.....	26
1.2. BASES TEÓRICAS.....	32
1.2.1. PAVIMENTO	32
1.2.2. METODOLOGÍA DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE	33
1.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	66
CAPITULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	69
2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	69
2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	70
2.2.1. PROBLEMA GENERAL	70
2.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	70
2.3. OBJETIVOS	71
2.3.1. OBJETIVO GENERAL	71
2.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	71
2.4. HIPÓTESIS	71
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	71
2.4.2. HIPÓTESIS GENERAL	71
2.5. VARIABLES:	72
2.5.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES.....	72
2.5.2. DEFINICIÓN CONCEPTUAL Y OPERACIONAL DE LAS VARIABLES.....	72
2.5.3. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	72
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	73

3.1.	TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	73
3.1.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	73
3.1.2.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	73
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA	74
3.2.1.	POBLACIÓN.....	74
3.2.2.	MUESTRA	74
3.3.	TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	74
3.3.1.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	74
3.3.3.	PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	75
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....		86
4.1.	ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN EL PAVIMENTO.....	86
4.1.1.	ENSAYO DE VIGA BENKELMAN	86
4.1.2.	IRI (ÍNDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD).....	89
4.2.	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	94
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		96
5.1.	CONCLUSIONES.....	96
5.2.	RECOMENDACIONES.....	97
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Operacionalización de las Variables.....	72
Tabla 2	Distancia del Punto de Ensayo.....	76
Tabla 3	Lecturas en campo, obtenidas mediante el ensayo de Viga Benkelman.	86
Tabla 4	Medición de las deflexiones y radio de curvatura	87
Tabla 5	Resumen Estadístico correspondiente al carril derecho.....	87
Tabla 6	Resumen Estadístico de las deflexiones correspondiente al carril derecho	88
Tabla 7	Resumen Estadístico de radios de curvatura	88
Tabla 8	Cálculo del IRI para el tramo km 20 + 500 – 20 + 900	89

Tabla 9 Cálculo del IRI para el tramo km 20 + 900 – 21 + 300	90
Tabla 10 Cálculo del IRI para el tramo km 21 + 300 – 21 + 700	91
Tabla 11 Cálculo del IRI para el tramo km 21 + 700 – 22 + 100	92
Tabla 12 Cálculo del IRI para el tramo km 22 + 100 – 22 + 500	93
Tabla 13 Cálculo del IRI promedio para el tramo de estudio km 20 + 500 – 22 + 500	94

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1 Rangos de Tráfico Pesado Expresado en Ejes Equivalentes.....	35
Imagen 2 Número de Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2t, en el Carril de Diseño.....	35
Imagen 3 Número de Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2t, en el Carril de Diseño (Tráfico Pesado)	36
Imagen 4 Categorías de Sub Rasante	36
Imagen 5 Ahuellamiento por falla en la subrasante o capa intermedia	43
Imagen 6 Ahuellamiento por falla en la mezcla asfáltica	43
Imagen 7 Grietas por Contracción (o de Bloque)	44
Imagen 8 Grietas por reflexión	44
Imagen 9 Falla tipo N° 01 Piel de cocodrilo.....	45
Imagen 10 Falla tipo N° 02 Mancha en pavimentos - Exudación	46
Imagen 11 Falla tipo N° 03 Grietas de contracción	47
Imagen 12 Falla tipo N° 04 Elevaciones y/o hundimientos.....	48
Imagen 13 Falla tipo N° 05 Corrugaciones.....	49
Imagen 14 Falla tipo N° 06 Depresiones	49
Imagen 15 Falla tipo N° 07 Grietas de borde	50
Imagen 16 Falla tipo N° 08 Grietas de reflexión de juntas de losas de concreto .	51
Imagen 17 Falla tipo N° 09 Desnivel de Calzada	52
Imagen 18 Falla tipo N° 10 Grietas longitudinales y transversales.....	53
Imagen 19 Falla tipo N° 11 Zanjas reparadas	53
Imagen 20 Falla tipo N° 12 Agregados Pulidos	54
Imagen 21 Falla tipo N° 13 Huecos.....	55

Imagen 22 Falla tipo N° 14 Cruce de Sumideros de Rejilla.....	55
Imagen 23 Falla tipo N° 15 Ahuellamientos	56
Imagen 24 Falla tipo N° 16 Deformaciones por empuje	57
Imagen 25 Falla tipo N° 17 Grietas por desplazamiento	57
Imagen 26 Falla tipo N° 18 Hinchamientos	58
Imagen 27 Falla tipo N° 19 Desprendimiento	59
Imagen 28 Escala Índice de Serviciabilidad	59
Imagen 29 Escala de Rugosidad IRI (m/km).....	60
Imagen 30 Rugosidad IRI (m/km), Según Tipo de Carretera Asfáltica en Caliente	61
Imagen 31 Definición de deflexión característica según tipo de carretera	64
Imagen 32 Análisis combinado de los resultados de la evaluación estructural	65
Imagen 33 Punto de ubicación del extremo de la Viga Benkelman.....	76
Imagen 34 Configuración Geométrica del sistema de carga – Ensayo de Viga Benkelman	77
Imagen 35 Procedimiento de medición de la deflexión	79
Imagen 36 Información para el cálculo de ejes equivalentes - diseño geométrico de la Carretera Iquitos - Nauta	82
Imagen 37 Cálculo de ejes equivalentes - diseño geométrico de la Carretera Iquitos – Nauta.....	83
Imagen 38 Calibración del equipo MERLIN	84
Imagen 39 Deflectograma del tramo de estudio (medición de deflexiones).....	88

RESUMEN

Los objetivos del presente estudio consisten en Identificar, mediante ensayos no destructivos, el estado del pavimento flexible en la carretera Iquitos – Nauta, km. 20+ 500 – km. 22+500, teniendo como guía para la elaboración de los ensayos y el análisis comparativo el Manual de Carretera. El tipo de la investigación es aplicada con enfoque cuantitativo, mientras que el diseño de la investigación es descriptivo porque tiene el propósito de describir la deflexión del pavimento y el índice internacional de rugosidad, utilizando la viga Benkelman y el MERLIN.

Como resultado de esta investigación, se mostró que, la deflexión admisible era menor que la deflexión característica, teniendo como valores $D_{adm} = 0.77 \times 10^{-2}$ mm y la $D_c = 0.93 \times 10^{-2}$ mm respectivamente, así mismo los radios de curvatura calculados tuvieron valores menores que 80 m, por lo que se concluye que la mayor parte de la deflexión se produce en las capas superiores (pavimento). Así mismo, se ha calculado el índice internacional de rugosidad promedio, tenido como resultado el valor de 4.16, lo que indica que el pavimento presenta fallas superficiales en la carpeta asfáltica.

PALABRAS CLAVE: Pavimentos flexibles, deflexión admisible, índice internacional de rugosidad (IRI).

ABSTRACT

The objectives of this study are to identify, through non-destructive testing, the state of the flexible pavement on the Iquitos – Nauta highway, km. 20+ 500 – km. 22+500, taking the Road Manual as a guide for the preparation of the tests and comparative analysis. The type of research is applied with a quantitative approach, while the research design is descriptive because it has the purpose of describing the deflection of the pavement and the immediate roughness index, using the Benkelman beam and the MERLIN.

As a result of this investigation, it was shown that the admissible deflection was less than the characteristic deflection, having values $D_{adm} = 0.77 \times 10^{-2}$ mm and $D_c = 0.93 \times 10^{-2}$ mm respectively, as well as the radii of curvature calculated had values less than 80 m, so it is concluded that most of the deflection occurs in the upper layers (pavement). Likewise, the average immediate roughness index has been calculated, resulting in a value of 4.16, which indicates that the pavement has superficial failures in the asphalt layer.

KEYWORDS: Flexible pavements, allowable deflection, International Roughness Index (IRI).

CAPITULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.1. Antecedentes Internacionales

Huilcapi Baldeón & Pucha Rojas (2015), en su trabajo de investigación “Análisis Comparativo de los Métodos de Evaluación Funcional de Pavimentos Flexibles en las Vías García Moreno y Panamericana Sur del Cantón Colta – Provincia de Chimborazo” efectuó un análisis comparativo, entre los métodos de evaluación Visual Vizir Y PCI (Paviment Condition Índex), en las vías urbanas García Moreno y Panamericana Sur de Villa la Unión – Cantón Colta – Provincia Chimborazo, a fin de poder comparar los resultados obtenidos de la evaluación superficial de ambas vías, determinar la más óptima en base a la realidad de las condiciones del pavimento y proponer las acciones a efectuarse como tratamiento en cada caso. (Huilcapi Baldeón & Pucha Rojas, 2015)

La información necesaria para identificar el estado de las vías que se estudiaron en esta investigación consistió básicamente en los tipos de daños de las vías urbanas que se pueden evaluar de manera visual, así mismo los autores determinaron las posibles causas de las fallas identificadas con el propósito de definir el tratamiento de reparación o rehabilitación más adecuado y económicamente viable para la conservación vial, llegando así a las siguientes conclusiones:

“El PCI de la calle García Moreno es de 6.27 lo que indica que su estado superficial se encuentra deteriorado siendo necesaria una intervención de reconstrucción para brindar confort y seguridad a los usuarios”. (Huilcapi Baldeón & Pucha Rojas, 2015) (Pág. 273)

“Las fallas más representativas presentes en la Calle García Moreno es la piel de cocodrilo originada por las cargas vehiculares repetitivas que soporta, espesor de carpeta asfáltica insuficiente para el alto fluido vehicular y agregado pulido ocasionado por la falta de adherencia de los materiales pétreos con el material ligante al momento de su construcción”. (Huilcapi Baldeón & Pucha Rojas, 2015) (Pág. 273)

“La vía Panamericana Sur –Acceso Principal de la Parroquia Cajabamba y Carril Izquierdo tiene un PCI de 58 lo que indica que su estado superficial es bueno siendo necesaria una Rehabilitación para cumplir con el periodo de vida útil en para una circulación en condiciones seguras y confiables”. (Huilcapi Baldeón & Pucha Rojas, 2015) (Pág. 273)

“El PCI de la vía Panamericana Sur – Carril Derecho es de 53 lo que indica que su estado superficial es bueno donde debe considerarse una Rehabilitación para cumplir con el periodo de vida útil brindando confort y seguridad al momento de la circulación vehicular de los usuarios”. (Huilcapi Baldeón & Pucha Rojas, 2015) (Pág. 273)

“En la vía Panamericana Sur – Carril Izquierdo y Carril Derecho de los dos carriles, las fallas más representativas es Agregado Pulido originada por una mala adherencia de los materiales pétreos con el ligante debido a presentar bajas temperaturas al momento distribución sobre la calzada y Exudación producida por exceso de ligante asfáltico en la dosificación y aplicación de sellante asfáltico sobre fisuras”. (Huilcapi Baldeón & Pucha Rojas, 2015) (Pág. 273)

“La vía Panamericana Sur – Acceso Principal a la Parroquia Cajabamba - Carril Derecho cuenta con un PCI de 43 debido a la presencia especialmente de sumideros erosionados, pozos de alcantarillas, indicando un estado superficial bueno donde debe considerarse una Rehabilitación para cumplir con el periodo de vida útil”. (Huilcapi Baldeón & Pucha Rojas, 2015) (Pág. 274)

“En la vía Panamericana Sur - Accesos Principales a la Parroquia Cajabamba – Carril Izquierdo, las fallas más representativas es Agregado Pulido originada por una mala adherencia de los materiales pétreos con el ligante debido a presentar bajas temperaturas al momento distribución sobre la calzada y fisuramiento en bloque provocados por los cambios bruscos de temperatura y por las cargas repetitivas de tráfico”. (Huilcapi Baldeón & Pucha Rojas, 2015) (Pág. 274)

“En la calle García Moreno debido a su deficiente PCI, realizar una intervención de reconstrucción total de la estructura de pavimento retirando la capa asfáltica totalmente”. (Huilocapi Baldeón & Pucha Rojas, 2015) (Pág. 274)

“Ejecutar una rehabilitación en la vía Panamericana Sur – Carril derecho e Izquierdo corrigiendo exudación mediante la aplicación de arena absorbente sobre el are afectada y el agregado pulido reparando mediante un recubrimiento de la superficie con material pétreo duro y angular”. (Huilocapi Baldeón & Pucha Rojas, 2015) (Pág. 274)

“En la vía Panamericana Sur –Acceso Principal a la Parroquia Cajabamba – Carril Derecho reparar los desniveles localizados tales como sumideros erosionado y pozos de alcantarilla dejando a un solo nivel la calzada”. (Huilocapi Baldeón & Pucha Rojas, 2015) (Pág. 274)

Hernández Cáceres (2018), en su trabajo de grado denominado “Determinar el Índice de Rugosidad IRI y desarrollar un manual para el Equipo Merlín”, ha señalado que muchas de las vías que se encuentran en las áreas urbanas de Colombia, generalmente en las zonas rezagadas, no son adecuadas para garantizar la seguridad de los usuarios, ya que presentan fallas superficiales de gran magnitud, convirtiéndose en un problema considerado grave.

En su investigación, el autor buscó determinar el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) del tramo considerado desde la entrada principal de la Universidad Pontificia Bolivariana hasta el edificio “K”, midiendo y calificando el estado del pavimento que corresponde a la mencionada institución; así mismo, el autor elaboró en base a la experiencia de campo, norma INVIAS-13 y recomendaciones hechas por el fabricante del equipo; las siguientes conclusiones y recomendaciones:

“Se deben tener en cuenta las singularidades en el momento de realizar la evaluación del IRI en cualquier pavimento, puesto que hay varios aspectos que no hacen parte de la vía como lo son en este caso, alcantarillas, tapas

de alcantarillas, reductores de velocidad, tramos en concreto”. (Hernández Cáceres, 2018) (Pág. 64)

“El cálculo del IRI permitido en pavimentos en servicio para que este cumpla debe estar en el intervalo $2.4 < IRI < 15.9$ ”. (Hernández Cáceres, 2018) (Pág. 64)

“Un aspecto que incide en la selección del equipo de campo es el tipo de vía y la longitud de evaluación. Así, en vías de menor importancia el IRI puede ser evaluado con equipos de bajo rendimiento como Topografía, Dipstick o Merlín, mientras que en vías de mayor importancia y longitud se pueden utilizar equipos de alto rendimiento como el perfilómetro inercial”. (Hernández Cáceres, 2018) (Pág. 64)

“El IRI como control receptivo en las vías principales, arterias y secundarias, con tráfico importante, se justifica que sea establecido contractualmente, para promover el mejoramiento de los procesos constructivos y el incremento de los estándares de calidad, mientras que para gestión vial, puede aportar información vital que le permitirá al administrador vial aplicar las acciones de conservación en el momento oportuno, complementando esta evaluación con otros ensayos y pruebas de carácter funcional y estructural”. (Hernández Cáceres, 2018) (Pág. 64)

“Cada empresa de diseño y construcción de vías debe desarrollar un plan de aseguramiento de calidad. El plan debe incluir registros sobre entrenamiento y la certificación del personal que realiza los ensayos de IRI, sobre la exactitud del equipo, sobre los procedimientos diarios de control de calidad como: calibración del equipo, secciones de verificación, chequeos de calidad”. (Hernández Cáceres, 2018) (Pág. 64)

“Una buena regularidad de la superficie de los pavimentos brinda condiciones de comodidad y seguridad para los usuarios de las vías. Una mala regularidad, además de afectar los aspectos anteriores, refleja daños y deterioros de carácter funcional y estructural de los pavimentos que influyen negativamente en su estado de condición y vida útil”. (Hernández Cáceres, 2018) (Pág. 65)

“Por las condiciones en las que se muestra la superficie de rodamiento de la carretera existente, se considera necesario realizar un mantenimiento a vía, teniendo en cuenta las fallas que se presenciaron en dicho tramo”. (Hernández Cáceres, 2018) (Pág. 64)

“Es posible reflejar que se presentaron problemas en las capas inferiores del pavimento debido a que se evidenciaron fallas de abultamiento y hundimiento”. (Hernández Cáceres, 2018) (Pág. 64)

“Es importante conocer el índice de rugosidad internacional de cada tramo de vía puesto que se deben tener en cuenta varios aspectos de esta, como los costos de mantenimiento los cuales se reducen considerablemente en pavimentos que cuentan con un IRI relativamente bajo”. (Hernández Cáceres, 2018) (Pág. 64)

“Los procesos constructivos para vías interurbanas difieren considerablemente de las vías urbanas, por cuanto limitantes como el manejo de tráfico, disponibilidad de grandes longitudes para construcción y restricciones en el uso de equipos adecuados, generan deficiencias en la calidad de la superficie y en los acabados de los pavimentos que se reflejan en el IRI”. (Hernández Cáceres, 2018, p. 64)

1.1.2. Antecedentes Nacionales

Silva (2019), en su tesis “Evaluación visual y estructural del pavimento flexible de la urbanización los jardines, Barranca-2017”, realizó la evaluación del pavimento de la Urbanización los Jardines (Av. Miramar, Jr. Manco Cápac, Jr. Libertadores y Jr. Independencia) con la finalidad de proponer medidas para minimizar su deterioro y brindar a los gobiernos locales, especialmente al del Distrito Barranca, el diseño de refuerzo estructural para rehabilitar los pavimentos de la distrito que se encuentren en situaciones similares y no se realicen trabajos innecesarios o deficientes.

La investigación de Silva consideró dos formas de determinar el estado del pavimento de las vías, en primer lugar, realizó una evaluación superficial

con el método del PCI, que consistió en registrar el tipo de falla, el grado de severidad de la falla y la densidad de la misma, mediante la observación directa y el registro de datos en una hoja de campo, de acuerdo al formato establecido por el manual de PCI, y efectuar el cálculo de la condición del pavimento. Los resultados obtenidos por el autor fueron que el índice de condición de los dos primeros tramos evaluados es bueno (estos tramos corresponden a la Av. Miramar y el Jr. Manco Cápac); sin embargo, el índice de condición de los dos últimos tramos (correspondiente al Jr. Los Libertadores y el Jr. Independencia) es malo. (Silva Lucero, 2019)

Así mismo, para determinar el comportamiento real del sistema pavimento - subrasante, la autora realizó la medición de las deflexiones utilizando la Viga Benkelman, y con el método Hogg realizó el cálculo del módulo de elasticidad y el CBR a nivel de subrasante de cada vía. Los resultados obtenidos de estos estudios y cálculos demostraron que las vías Av. Miramar y Jr. Manco Cápac, presentan un CBR de 8.062 de CBR; y las vías Jr. Los Libertadores y Jr. Independencia presentan un CBR de 7.355.

En cuanto al diseño de refuerzo estructural presentado por la autora, este consideró que para el mantenimiento del pavimento de la Urbanización los Jardines con una proyección a 20 años se requiere una capa adicional de 4.8 cm de asfalto. Así mismo, llegó a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

“El pavimento de la urbanización los Jardines se encuentra en un estado “Regular”, esto permite desechar la hipótesis planteada, ya que el pavimento no se encuentra en mal estado, pero se debe mencionar que la condición en que se encuentra está muy cercana a ser un pavimento malo”. (Silva Lucero, 2019) (pág. 167)

“En la evaluación visual no se encontraron muchas diversidades de fallas, las fallas más comunes fueron los de tipo desprendimiento de agregados de severidad baja, media y alta. En los dos primeros tramos el 62.5% de las muestras tiene más de la mitad del área desprendida y el 37.5% menos de la mitad del área desprendida, y en los dos últimos tramos el

76.5% de las muestras tiene toda el área desprendida y el 23.5% más de la mitad del área desprendida”. (Silva Lucero, 2019) (pág. 167)

“Para mayor entendimiento la red de pavimentación de la Urbanización los Jardines se dividió en 4 tramos o calles, las cuales se analizaron en 2 etapas, la primera etapa se analizaron los dos primeros tramos y la segunda etapa se analizó los dos últimos tramos, esto se hizo debido a que la red de pavimentación no es homogénea en su totalidad”. (Silva Lucero, 2019) (pág. 167)

“Aplicando el método del PCI en la red de pavimentación de la Urbanización los Jardines, que se divide en 4 tramos o calles las cuales son (Av. Miramar, Jr. Manco Cápac, Jr. Los Libertadores, Jr. Independencia) y sus valores de PCI son 56, 68, 9, 25 respectivamente. En conclusión, los dos primeros tramos nos indican que el pavimento se encuentra en un estado de conservación “bueno”, mientras que los dos últimos tramos por tener bajos valores de PCI nos indica que pavimento se encuentra en un estado “muy malo””. (Silva Lucero, 2019) (pág. 167)

“De acuerdo a la evaluación estructural del pavimento flexible de la Urbanización los Jardines, se halló que el CBR de los dos primeros tramos evaluados es de 8.06 y el CBR de los dos últimos tramos evaluados es de 7.35, cabe indicar que en el método del PCI se halló que los dos primeros tramos están en buen estado y los dos últimos tramos en muy mal estado, por lo tanto, se concluye que el pavimento de la urbanización los Jardines tiene una buena sub rasante pero un mal paquete estructural”. (pág. 167)
“Según los estudios realizados en la urbanización los Jardines hallamos un ESAL de 2.21×10^6 de ejes equivalentes, y los vehículos más pesados, pero no en gran cantidad fueron semi tráiler, camiones y buses, y los vehículos no tan pesados como lo autos y camionetas circularon en mayor cantidad”. (Silva Lucero, 2019) (pág. 168)

“Al obtener los resultados del PCI y la evaluación estructural del pavimento flexible de la urbanización los Jardines, se recomienda un refuerzo estructural de 4.8cm, para que nuestras vías tengan buena condición de servicio. Previamente se pide reparar los puntos donde hay presencia de baches y mejorar las zonas donde existen desplazamientos”. (Silva Lucero, 2019) (pág. 169)

“Se recomienda un monitoreo continuo de la condición del pavimento flexible, para establecer el ritmo de deterioro del pavimento, para identificar con la debida anticipación las necesidades de rehabilitación y mantenimiento de la vía”. (Silva Lucero, 2019) (pág. 169)

“La recolección de datos de campo para la realización del método del PCI se recomienda que midan con mayor precisión las densidades de las fallas encontradas, además que se identifiquen bien el grado de severidad de cada falla encontrada para un buen resultado del trabajo”. (Silva Lucero, 2019, pág. 169)

“La toma de lectura de campo debe realizarse correctamente, ya que estas son la base de la evaluación estructural y los resultados dependen de ella en su totalidad, así mismo se aconseja que para el desarrollo de la evaluación estructural se cumpla con los parámetros de carga y presión descritos en la teoría de la presente tesis”. (Silva Lucero, 2019) (pág. 169)

“Las autoridades locales deberían de usar este método para futuras obras publicas relacionadas a rehabilitaciones de pavimentos, de esta manera se estaría asegurando la durabilidad de los pavimentos y no estar rehabilitándolo muchas veces antes de que cumpla su vida útil, ese ahorro de dinero se destinaria a otras obras para el desarrollo de la comunidad”. (Silva Lucero, 2019) (pág. 169)

“Tener muy en cuenta en los estudios de tráfico, los flujos vehiculares inesperados ya que los pavimentos están diseñados para un ESAL determinado, por lo tanto, si el flujo vehicular aumenta de una manera abrumadora a lo que contemplaste en el diseño, el pavimento sufrirá daños y no llegará a su vida útil”. (Silva Lucero, 2019) (pág. 169)

Jinchuña (2020), en su tesis “Evaluación por Deflectometría y la Rugosidad del Pavimento Flexible para mejorar la transitabilidad vehicular en la Av. Billinghamurst, Tramo: Av. Bolognesi – Av. Tarapacá – Tacna, 2019”; consideró como objeto de la investigación el pavimento asfáltico en la avenida Billinghamurst, evaluando una longitud de 1.5 km de la vía que cuenta con 6.60 m de ancho de calzada; siendo considerado como muestras de la investigación el tramo Av. Bolognesi – Av. Tarapacá.

Al respecto, se realizó la evaluación por deflectometría del pavimento flexible en la Av. Billinghamurst, tramo: Av. Bolognesi – Av. Tarapacá, mediante la viga Benkelman obteniendo que la Deflexión Característica es mayor que la Deflexión Admisible, $D_c > D_{adm}$, con los siguientes valores $133.50 \times 10^{-2} \text{mm} > 72.30 \times 10^{-2} \text{mm}$., por lo que la estructura del pavimento tiene problemas o deficiencias en el diseño estructural; en este sentido, el autor califica el pavimento como “Deficiente”. Al evaluar la rugosidad del pavimento flexible en la Av. Billinghamurst, tramo: Av. Bolognesi – Av. Tarapacá, el autor obtuvo el índice de rugosidad internacional utilizando el MERLIN, siendo el $IRI = 6.0645 \text{ m/km}$, con lo que el autor valida el estado de la muestra como “Malo”; así mismo, para definir la transitabilidad el autor calculó el $PSI = 1.66$ en base al IRI promedio, por lo que calificó la transitabilidad de la vía como “Transitabilidad Mala”. (Jinchuña Alanoca, 2020)

Así mismo, dentro de las principales conclusiones de esta investigación se tiene:

“De la investigación realizada en la avenida Billinghamurst, se cumple con calcular la rugosidad y la evaluación estructural para mejorar la transitabilidad, cuyos datos nos permite calificar el estado del pavimento y la transitabilidad respectiva en la vía de investigación”. (Jinchuña Alanoca, 2020) (Pág. 78)

“Los resultados de la rugosidad de ambos carriles, considerando su promedio obtenido, un valor del IRI igual a 6.0645 m/km y un PSI igual a 1.66, con el cual calificamos el estado de pavimento y la transitabilidad,

finalmente, se indica, estado del pavimento malo y la transitabilidad malo”. (Jinchuña Alanoca, 2020) (Pág. 78)

“De acuerdo a la evaluación estructural por deflectometría utilizando la viga Benkelman, se logró determinar que las deflexiones en el pavimento son deficientes, donde la deflexión característica (D_c) y las deflexiones en general son mayores a la deflexión admisible (D_{adm}), $D_c = 133.50 \times 10^{-2} \text{mm} > D_{adm} = 72.30 \times 10^{-2} \text{mm}$, por lo que la estructura del pavimento tiene problemas o deficiencias en el diseño estructural”. (Jinchuña Alanoca, 2020) (Pág. 78)

“La presencia de fallas en la superficie del pavimento flexible de la avenida Billinghamurst está relacionada con la capacidad estructural del pavimento “Deformación – recuperación”, con cada aplicación de carga al pavimento en la superficie de rodadura, se ha ido deformando y se han generado una serie de fallas en todos los tramos evaluados, de ahí el resultado con el MERLIN y Viga Benkelman”. (Jinchuña Alanoca, 2020) (Pág. 78)

“Se recomienda a la Municipalidad Provincial de Tacna a tomar en cuenta los resultados de la evaluación superficial y estructural, referidos a la rugosidad y deflexiones del pavimento flexible, contenidos en la presente investigación, datos que se pueden utilizar para elaborar los planes de mantenimiento, con el único objetivo de garantizar un flujo libre vehicular, confort y comodidad para el usuario”. (Jinchuña Alanoca, 2020) (Pág. 79)

“De acuerdo a los resultados de la evaluación estructural con la viga Benkelman, en concordancia con el manual del MTC, se recomienda a las entidades responsables, realizar una reconstrucción parcial o total de la avenida Billinghamurst, a nivel de carpeta asfáltica”. (Jinchuña Alanoca, 2020) (Pág. 79)

“Se recomienda que para la evaluación de un pavimento flexible utilizando los métodos de rugosidad con MERLIN y la Viga Benkelman, deben realizarse con personal capacitado, especializado y responsable para

la fácil identificación y obtención de datos en campo”. (Jinchuñá Alanoca, 2020) (Pág. 79)

“Para los trabajos de reconstrucción se recomienda realizar reforzamiento en algunas zonas, la subrasante y para el resto de los tramos evaluados cambio de la carpeta asfáltica, para ello pueden utilizar los resultados obtenidos en la presente investigación”. (Jinchuñá Alanoca, 2020) (Pág. 79)

Ríos (2017), en su tesis “Evaluación de fallas estructurales del pavimento flexible por métodos no destructivos en la carretera Puno – Llave, región puno”, consideró como objetivo principal de su investigación evaluar las fallas del pavimento flexible en el tramo 1388+000 - 1392+000 de la carretera Puno – Llave, mediante la determinación el índice de condición del pavimento, rugosidad Merlín y la viga Benkelman,

Durante la ejecución de esta investigación y para obtener el Índice de Condición del Pavimento, el autor realizó una relación de todos los tipos de falla que existía en la carretera en estudio, para esto determinó que la evaluación se efectúe cada 25.00 metros, logrando reconocer la situación en la que se encontraba la vía al momento de la investigación, mediante este método, el autor clasificó el estado de la carretera en Excelente, Muy Bueno, Bueno, Malo y Muy Malo, el resultado obtenido durante esta evaluación mostró que en los cuatro kilómetros de carretera evaluados la condición de la vía es “BUENO con un indicar de 67.87 de valor”. (Ríos Álvarez, 2017)

Al evaluar la rugosidad de la carretera mediante el MERLIN, el autor obtuvo como resultado que la circulación en la vía es cómoda, existiendo fallas incipientes como: “depresiones debidas a pequeñas deformaciones, defectos y/o agrietamientos de la superficie de rodadura”. (Ríos Álvarez, 2017)

Así mismo, al finalizar la investigación el autor llegó a las siguientes conclusiones:

“Realizada la evaluación a la carretera Puno – llave, 1388+000 al 1391+000, aplicando el método no destructivo (índice de condición del pavimento, rugosidad Merlín y deflexiones con la viga Benkelman), la solución más adecuada es el mantenimiento rutinario pero periódico correctivo”. (Ríos Álvarez, 2017) (pág. 97)

“En el pavimento flexible de la carretera Puno – llave, tramo 1388+000 al 1391+000, al presentar una condición BUENO y deflexiones MUY BAJOS es deducible que no tiene problemas estructurales”. (Ríos Álvarez, 2017) (pág. 97)

“Aplicando el método no destructivo del índice de condición del pavimento las fallas más significativas son: fisura longitudinal y transversal, piel de cocodrilo, parches, ahuellamiento, abultamiento y hundimiento con mayores porcentajes de incidencia y a niveles estructurales se encuentra con deflexiones muy bajas lo que indica que la carretera esta compacta”. (Ríos Álvarez, 2017) (pág. 97)

‘En la carretera Puno – Llave, tramo 1388+000 al 1391+000, se aplicó el método no destructivo con lo que se determinó un índice de condición de pavimento BUENO, circulación cómoda, con fallas incipientes como: depresiones debidas a pequeñas deformaciones, defectos y/o agrietamientos de la superficie de rodadura”. (Ríos Álvarez, 2017) (pág. 97)

1.1.3. Antecedentes Locales

Amasifuén y Méndez (2020) en su tesis titulada “Evaluación estructural de pavimento por el método no destructivo, realizada en el tramo Km. 16+300 al km. 17+800 de la Carretera Iquitos – Nauta” tenía como objetivo principal determinar la capacidad estructural del pavimento a partir de la medición de las deflexiones haciendo uso de la viga Benkelman, para esto los autores aplicaron el criterio establecido por el CONREVIAl. Como resultado de su investigación los autores indicaron que la deflexión característica fue menor a la deflexión admisible,

concluyendo que, para el tramo representativo de toda la vía, bajo las condiciones de tránsito, al momento de la ejecución de esta investigación, presentaban un comportamiento estructural aceptable.

Así mismo, a fin de establecer el comportamiento a tracción de las capas de pavimento, los autores analizaron las curvas de deflexión conjuntamente con los radios de curvatura, indicando que estos en promedio estos eran mayores a 300m y concluyendo consecuentemente, que existe una buena conformación de las capas del pavimento y que la deflexión se produce en la subrasante, siendo, la muestra estudiada, un terreno de fundación de buen comportamiento.

(Amasifuen Caro & Mendez García, 2020)

Como principales conclusiones de su investigación los autores indicaron:

“El empleo del método empírico, para la evaluación estructural del pavimento, permite establecer la respuesta de la estructura frente a solicitudes de cargas”. (Amasifuen Caro & Mendez García, 2020) (pag.108)

“Rosa Cubas en su tesis “Comportamiento Estructural Del Pavimento Flexible En La Vía De Evitamiento Sur – Cajamarca Utilizando Las Deflexiones Medidas Con La Viga Benkelman” (2017) obtiene como resultado que la deflexión característica es 125.426×10^{-2} mm y la deflexión admisible 77×10^{-2} mm. Mientras que, en el presente trabajo tales deflexiones son 59.72×10^{-2} mm y 137.58×10^{-2} mm respectivamente. En el caso de la Vía de Evitamiento, se concluye que la estructura del pavimento no presenta un adecuado comportamiento estructural; caso contrario a lo obtenido en el presente trabajo, en donde la deflexión característica es menor a la deflexión admisible, lo cual indica un adecuado comportamiento estructural. Tal como se observa en el Cuadro N° 03 de Análisis Combinado de los Resultados de Evaluación y los

resultados obtenidos en el Cuadro N°11 del Resumen Estadístico. Asimismo, Cabe indicar, que fue necesario realizar una inspección visual de la condición superficial del pavimento; por lo cual, los resultados corresponden al 5to Caso de lo establecido en el Cuadro N°03". (Amasifuen Caro & Mendez García, 2020) (Pág.108).

"Rosa Cubas en su tesis "Comportamiento Estructural Del Pavimento Flexible En La Vía De Evitamiento Sur – Cajamarca Utilizando Las Deflexiones Medidas Con La Viga Benkelman" (2017) obtiene como resultado que el radio de curvatura promedio es 589.93, mientras que en el presente trabajo es 600.60. En ambos casos los radios de curvatura son adecuados, ya que son mayores de 100. Lo cual, nos indica las deformaciones se dan en la subrasante y, por ende, que el pavimento está en buen estado". (Amasifuen Caro & Mendez García, 2020) (Pág.108)

"De los resultados obtenido en la tesis de Rosa Cubas (2017) podemos observar que como la deflexión característica es mayor que la deflexión admisible, se tiene como resultado un mal comportamiento de la subrasante y buen estado del pavimento. Caso contrario a lo obtenido en el presente trabajo, en donde la deflexión admisible es mayor a la característica, lo cual indica que existe un buen comportamiento del pavimento y subrasante en conjunto". (Amasifuen Caro & Mendez García, 2020) (Pág.109)

"Bajo esta condición las deflexiones Características se encuentran por debajo de la Deflexión Admisible, lo que induce un comportamiento actual aceptable para el tráfico que viene circulando. Entre las causas del buen comportamiento estructural del pavimento en este tramo es debido a que en este tramo existe un menor número esperado de repeticiones de ejes equivalentes con respecto al del periodo de diseño". (Amasifuen Caro & Mendez García, 2020) (Pág.109)

“El radio de curvatura es elevado (mayor a 350 metros) y las deflexiones características menores que las deflexiones admisibles, indican que se trata de un buen terreno de fundación y un pavimento con un comportamiento estructural adecuado a las exigencias de tráfico y condiciones ambientales”. (Amasifuen Caro & Mendez García, 2020) (Pág.109)

“Con la finalidad de establecer el comportamiento a tracción de las capas de pavimento, se ha efectuado el análisis de las curvas de deflexión conjuntamente con los radios de curvatura. Del análisis estadístico de los Radios de Curvatura se establece que el promedio es mayor a 300 m (Cuadro N°13: Resumen Estadístico Radio de Curvatura), lo cual es un indicativo de una buena conformación de las capas de pavimento”. (Amasifuen Caro & Mendez García, 2020) (pág. 109)

“La dispersión de las deflexiones es moderada que la califica como Construcción No Uniforme”. (Amasifuen Caro & Mendez García, 2020) (pág.109)

Peña y Sajamí (2019), en su proyecto de suficiencia profesional “Evaluación deflectometría del pavimento existente en la carretera Santa Clara entre los centros poblados de Rumococha y Santa Clara, distrito de San Juan Bautista – Maynas – Loreto, 2019”, señalan que el objetivo del proyecto consistió en evaluar la deflectometría del pavimento existente en la carretera Santa Clara entre los centros poblados de Rumococha y Santa Clara, del distrito de San Juan Bautista, utilizando la viga Benkelman, el cual corresponde a un ensayo no destructivo que permite obtener las mediciones de deflexiones del pavimento en la vía seleccionada; y saber el estado en que se encontraba el pavimento, en la fecha del estudio.

El pavimento evaluado por los autores, corresponde a una carretera que fue construida en el año 2014 y “estaba conformado por una carpeta

con concreto asfáltico en caliente de 7.50 cm, mejoramiento de la base con suelo estabilizado con emulsión asfáltica RC-250 de 10.00 cm, mejoramiento de la base con suelo – cemento de 20.00 cm, sub base con material A-3 (anticontaminante) de 40.00 cm.” (Peña Ruíz & Sajami Panaifo, 2019, pág. 11)

Los autores para la evaluación de la capacidad estructural del pavimento midieron las deflexiones cada 25 metros, de acuerdo con el procedimiento indicado por la norma MTC E102-2000m, “Medida de la deflexión y determinación del radio de curvatura de un pavimento flexible empleando la viga Benkelman”, ““para ello se utilizaron una viga Benkelman de doble brazo, un volquete cuyo eje posterior tuvo un peso de 8.2 toneladas, las llantas con una presión de inflado de 80 P.S.I. Con las deflexiones obtenidas se procedió a la evaluación del pavimento, obteniendo como resultado una deflexión característica de $12.96 \times 10^{-2}mm$, la cual era menor a la deflexión admisible de $137.586 \times 10^{-2}mm$ y un radio de curvatura promedio de 502.4 mm, mayor al mínimo establecido por el método (100mm)”, llegando a la conclusión de que el pavimento presenta o no presenta un adecuado comportamiento estructural, soportando así las solicitaciones de cargas para la cual fue diseñada, y también tiene un radio de curvatura amplio, lo que indica que es adecuado para el periodo de diseño.” (Peña Ruíz & Sajami Panaifo, 2019, pág. 11)

Así mismo, los autores, a partir de su investigación obtuvieron las siguientes conclusiones y recomendaciones:

“Se realizó el análisis estructural con el objetivo de conocer en la condición en la que se encuentra el pavimento flexible entre Rumococha y Santa Clara, para ello se empleó la metodología y ensayos de viga Benkelman”. (Peña Ruíz & Sajami Panaifo, 2019) (Pág. 61)

“Según los datos obtenidos se concluye que la estructura construida es adecuada para las solicitaciones de carga, y presenta deformaciones menores a las admisibles, además de presentar radios de curvatura amplios, lo que indica que esa es adecuada para el periodo de diseño”. (Peña Ruíz & Sajami Panaifo, 2019) (Pág. 61)

“Existe un sector ubicado en la progresivas 04+400 y 04+725, en la cual existe una disminución en el radio de curvatura, aunque esta es mayor al número permitido, es aconsejable realizar monitoreo para determinar las posibles causas”. (Peña Ruíz & Sajami Panaifo, 2019) (Pág. 61)

“Los gobiernos locales deberían priorizar la evaluación estructural de sus pavimentos utilizando ensayos no destructivos como el de la viga Benkelman para decidir oportunamente sobre su mantenimiento y refuerzo o cuando se cambie la función de la vía. Asimismo, es muy importante cumplir con lo normado por el Ministerio de transporte y Comunicaciones durante la construcción”. (Peña Ruíz & Sajami Panaifo, 2019) (Pág. 61)

“La viga Benkelman es una herramienta que en la actualidad sigue vigente y debemos aprovechar su uso para evaluar pavimentos con un bajo costo, además que es muy sencillo de operar y optimizar tiempo para lo requerido”. (Peña Ruíz & Sajami Panaifo, 2019) (Pág. 61)

“La evaluación estructural usando viga Benkelman permite entender cómo se comporta estructuralmente los pavimentos y las posibles causas de las fallas ahí se obtiene la importancia de esta metodología para aplicarle”. (Peña Ruíz & Sajami Panaifo, 2019) (Pág. 61)

“Se debe utilizar los dos métodos (numérico y nomogramas) en el procesamiento de datos (deflexiones), con la finalidad de corroborar

resultados y de tener un claro panorama del comportamiento del pavimento”. (Peña Ruíz & Sajami Panaifo, 2019) (Pág. 61)

1.2. Bases teóricas

1.2.1. Pavimento

Según el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimento, del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, MTC, se define pavimento como “una estructura de varias capas construida sobre la subrasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: base, sub base y capa de rodadura”. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013). (Pág. 29 y 30)

1.2.1.1. Tipos de Pavimento

Así mismo, el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimento, del MTC señala que hay 3 tipos de pavimentos:

- Pavimentos Flexibles
- Pavimentos Semirrígidos
- Pavimentos Rígidos

1.2.1.1.1. El pavimento flexible

Según el MTC “es una estructura compuesta por capas granulares (subbase, base) y como capa de rodadura una carpeta constituida con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivos. Principalmente se considera como capa de rodadura asfáltica sobre capas granulares: mortero asfáltico, tratamiento superficial bicapa, micro pavimentos, macadam asfáltico, mezclas asfálticas en frío y mezclas asfálticas en caliente.” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013).

1.2.1.1.2. El pavimento semirrígido

Es una estructura de pavimento compuesta básicamente por capas asfálticas con un espesor total bituminoso (carpeta asfáltica en caliente sobre base tratada con asfalto); también se considera como pavimento semirrígido la estructura compuesta por carpeta asfáltica sobre base tratada con cemento o sobre base tratada con cal. Dentro del tipo de pavimento semirrígido se ha incluido los pavimentos adoquinados.

1.2.1.1.3. El pavimento rígido

Es una estructura de pavimento compuesta específicamente por una capa de subbase granular, no obstante, esta capa puede ser de base granular, o puede ser estabilizada con cemento, asfalto o cal, y una capa de rodadura de losa de concreto de cemento hidráulico como aglomerante, agregados y de ser el caso aditivo. Dentro de los pavimentos rígidos existen tres categorías: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

- Pavimento de concreto simple con juntas
- Pavimento de concreto con juntas y refuerzo de acero en forma de fibras o mallas
- Pavimento de concreto con refuerzo continuo

1.2.2. Metodología de Diseño de Pavimento Flexible

En el Manual de diseño de carreteras, se considera que los procedimientos adoptados, más generalizados de uso actual en el país, para el dimensionamiento de las secciones del pavimento son:

- a) Método AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (1993)

- b) Análisis de la Performance o Comportamiento del Pavimento durante el periodo de diseño. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013) (pág.155)

Así mismo, se indica que “típicamente el diseño de los pavimentos es mayormente influenciado por dos parámetros básicos”

- Las cargas de tráfico vehicular impuestas al pavimento.
- Las características de la subrasante sobre la que se asienta el pavimento.

“La forma como se consideran estos dos parámetros dependerá de la metodología que se emplee para el diseño.” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

“Las cargas de tráfico vehicular impuestas al pavimento, están expresadas en ESALs, Equivalent Single Axle Loads 18-kip o 80-kN o 8.2 t, que en el presente Manual se denominan Ejes Equivalentes (EE). La sumatorias de ESALs durante el periodo de diseño es referida como (W18) o ESALD, en el presente Manual se denominan Número de Repeticiones de EE de 8.2 t.”

Para el caso del tráfico y del diseño de pavimentos flexibles, en este manual, se definen tres categorías:

- a) Caminos de bajo volumen de tránsito, de 150,001 hasta 1'000,000 EE, en el carril y periodo de diseño.

Imagen 1 Rangos de Tráfico Pesado Expresado en Ejes Equivalentes

TIPOS TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE
T _{P1}	> 150,000 EE ≤ 300,000 EE
T _{P2}	> 300,000 EE ≤ 500,000 EE
T _{P3}	> 500,000 EE ≤ 750,000 EE
T _{P4}	> 750,000 EE ≤ 1'000,000 EE

Fuente: Elaboración Propia

Nota: T_{PX}: T = Tráfico pesado expresado en EE en el carril de diseño

PX = Pavimentada, X = número de rango (1, 2, 3, 4)

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

- b) Caminos que tienen un tránsito, de 1'000,001 EE hasta 30'000,000 EE, en el carril y periodo de diseño.

Imagen 2 Número de Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2t, en el Carril de Diseño

TIPOS TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE
T _{P5}	> 1'000,000 EE ≤ 1'500,000 EE
T _{P6}	> 1'500,000 EE ≤ 3'000,000 EE
T _{P7}	> 3'000,000 EE ≤ 5'000,000 EE
T _{P8}	> 5'000,000 EE ≤ 7'500,000 EE
T _{P9}	> 7'500,000 EE ≤ 10'000,000 EE
T _{P10}	> 10'000,000 EE ≤ 12'500,000 EE
T _{P11}	> 12'500,000 EE ≤ 15'000,000 EE
T _{P12}	> 15'000,000 EE ≤ 20'000,000 EE
T _{P13}	> 20'000,000 EE ≤ 25'000,000 EE
T _{P14}	> 25'000,000 EE ≤ 30'000,000 EE

Fuente: Elaboración Propia

Nota: T_{PX}: T = Tráfico pesado expresado en EE en el carril de diseño

PX = Pavimentada, X = número de rango (5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13)

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

- c) Caminos que tienen un tránsito mayor a 30'000,000 EE, en el carril y periodo de diseño. Esta categoría de caminos, no está incluida en el presente manual, el diseño de pavimentos será materia de Estudio Especial por el Ingeniero Proyectista, analizando diversas alternativas de pavimento equivalentes y justificando la solución adoptada.

Imagen 3 Número de Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2t, en el Carril de Diseño (Tráfico Pesado)

TIPOS TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE
T _{P15}	> 30'000,000 EE

Fuente: Elaboración Propia

Nota: T_{PX}: T = Tráfico pesado expresado en EE en el carril de diseño

PX = Pavimentada, X = número de rango (14)

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

“Las características de la subrasante sobre la que se asienta el pavimento, están definidas en seis (06) categorías de subrasante, en base a su capacidad de soporte CBR.”

Imagen 4 Categorías de Sub Rasante

CATEGORÍAS DE SUBRASANTE	CBR
S ₀ : Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S ₁ : Subrasante Pobre	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S ₂ : Subrasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S ₃ : Subrasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S ₄ : Subrasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S ₅ : Subrasante Extraordinaria	CBR ≥ 30%

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

1.2.3. Refuerzo del Pavimento Flexible

1.2.3.1. Necesidad de Refuerzo del Pavimento

El MTC señala que “la necesidad de refuerzo de un pavimento flexible, puede determinarse por lo siguiente:”

- a. “Insuficiencia estructural del pavimento: definida en base a una evaluación superficial y estructural del pavimento. En este caso, el refuerzo resulta necesario por haberse cumplido o estar próximo a cumplir la vida útil del pavimento.”
- b. “Crecimiento del tráfico mayor al previsto: el tráfico es una de las variables del diseño de pavimentos, y un incremento mayor al previsto hace necesario el análisis para la aplicación de un refuerzo.”
- c. “Costos de Conservación excesivos: está relacionado con el planteamiento de una estrategia de conservación vial del pavimento, donde se han fijado las políticas o actividades de conservación y determinado las intervenciones y los costos de conservación rutinaria y periódica del pavimento para el periodo de su vida útil. La aplicación de las actividades de conservación en cantidades mayores a las previstas generará mayores costos de conservación y es un indicativo de que el comportamiento del pavimento no está de acuerdo al previsto; en tal sentido, es necesario el análisis para la aplicación de un refuerzo.”
(Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013) (Pag 198)

1.2.3.2. Factores Básicos para definir el Refuerzo del pavimento

Así mismo, en el MTC indica “que el refuerzo del pavimento debe permitir prolongar su vida útil para resistir la acción del tráfico proyectado, en condiciones de serviciabilidad adecuada y con los costos de conservación de acuerdo a lo previsto para el tipo de carretera y pavimento.” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

Los factores básicos para definir el refuerzo del pavimento son los siguientes:

- “Estado superficial del pavimento ·
- Capacidad estructural del pavimento existente, determinada mediante mediciones de deflexiones.
- Necesidad de regularización superficial del pavimento existente, transversal y/o longitudinal.
- Estructura del pavimento existente
- Naturaleza y estado de la plataforma del camino (cortes y rellenos) · Estado del sistema de drenaje de la carretera (superficial y subterráneo)
- Tráfico pesado acumulado previsible para el nuevo periodo de diseño. · Ensanche o ampliación del pavimento existente, que obligue reforzar la estructura existente.
- Desvío de tráfico sobre un pavimento donde no estaba previsto la circulación de tráfico pesado o es mayor al previsto.
- Tipos de materiales a emplear en el refuerzo.” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

1.2.3.3. Tráfico para el Refuerzo del pavimento

“La estructura del pavimento a reforzar o renovar superficialmente dependerá del número y características de los vehículos pesados que se prevea vayan a circular por el carril de diseño durante el periodo del proyecto. Este periodo será como mínimo de 5 años y como máximo de 10 años.”

- “Para la determinación del tráfico de diseño se seguirán los criterios correspondientes efectuando los estudios de tráfico, con conteos volumétricos clasificados por tipo de vehículos, carga por eje, proyección y definición del número de ejes equivalentes de 8.2 t sobre el carril de diseño en el periodo de diseño.” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013) (pág. 200)

1.2.4. Fallas en el Pavimento

El MTC indica que “las incidencias de factores de distinto origen determinan alteraciones de la superficie de rodadura de los pavimentos flexibles que perjudican la seguridad, comodidad y rapidez con que debe circular el tráfico presente y el futuro.”

Siendo el propósito fundamental de la renovación superficial y el refuerzo “corregir los defectos de la superficie de rodadura del pavimento existente, que perjudican la seguridad, comodidad y rapidez con que debe circular el tráfico presente y el futuro, para alcanzar un grado de serviciabilidad adecuado durante un periodo de tiempo suficientemente prolongado que justifique la inversión requerida.”

“Las causas de defectos o fallas en el pavimento son de distinto origen y naturaleza, de los cuales mencionamos los siguientes:”

- **“Exagerado incremento de las cargas circulantes:** ya sea en peso o en frecuencia, con respecto a las previstas en el diseño original, y que se traducen en un infra diseño.”
- **“Deficiencias en el proceso constructivo:** espesores menores que los previstos, elaboración inadecuada de las mezclas y estabilizaciones, deficiencias en el proceso de distribución, compactación o terminación, factores todos que traen como consecuencia una disminución de la calidad de los materiales y un debilitamiento estructural del pavimento.”
- **“Proyecto deficiente:** que da lugar a espesores menores de lo que realmente requiere la carretera.”
- **“Factores climáticos regionales:** excesivamente desfavorables o que no pudieron preverse en el proyecto y/o construcción, tales como la elevación de la napa freática, inundaciones, lluvias prolongadas, insuficiencias del drenaje superficial o subterráneo

proyectado, variaciones térmicas externas, fenómenos de congelamiento, presencia de sales nocivas, etc.”

- **“Deficiente conservación vial:** por escasez de equipos, de fondos o de personal capacitado; por empleo de materiales y/o técnicas inadecuadas; o bien, por falta total de conservación.”

“La identificación de la causa más probable de una determinada falla, es de fundamental importancia para la evaluación de la misma, aunque muchas veces resulte de difícil apreciación. Para tal fin, puede tenerse en cuenta primariamente la localización de la misma, su evolución en los distintos sectores del tramo, la consideración de los factores tráfico – clima - drenaje, etc. La comprobación definitiva podrá obtenerse una vez finalizados los estudios de evaluación estructural.”

“La apreciación de las causas de las fallas observadas debe conducir a la diferenciación de dos casos globales en los que debe identificarse la falla analizada:”

- **“Fallas superficiales:** comprende los defectos de la superficie de rodadura debido a fallas de la capa asfáltica superficial propiamente dicha y no guardan relación con la estructura del pavimento.”
- **“Fallas estructurales:** comprende los defectos de la superficie de rodadura cuyo origen es una falla en la estructura del pavimento, es decir afecta a una o más capas del pavimento.”

“Las fallas de tipo superficial se corrigen regularizando la superficie y confiriéndole la necesaria impermeabilidad y rugosidad. Ello se logra con capas asfálticas delgadas que poco aportan estructuralmente, fresados y capas nivel antes.

En cambio, cuando se trata de fallas estructurales, es necesario un refuerzo sobre el pavimento existente (previa reparación de las fallas detectadas y de ser necesario de fresados y capas nivel antes) o una

reconstrucción para que el conjunto responda a las exigencias del tráfico presente y futuro.” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013) (pág. 203).

1.2.4.1. Causas del Surgimiento de las Fallas

“Durante la vida de servicio de un pavimento, causas de diverso origen afectan la condición de la superficie de rodamiento, lo cual compromete su función de ofrecer a los usuarios la posibilidad de un rodaje seguro, cómodo y económico. Entre las causas de falla de un pavimento se pueden mencionar:

1. Fin del período de diseño original y ausencia de acciones de rehabilitación mayor durante el mismo. En este caso la falla es la prevista o esperada.
2. Incremento del tránsito con respecto a las estimaciones del diseño de pavimento original.
3. Deficiencias en el proceso constructivo, bien en procesos como tal como en la calidad de los materiales empleados.
4. Diseño deficiente (errores en la estimación del tránsito o en la valoración de las propiedades de los materiales empleados).
5. Factores climáticos imprevistos (lluvias extraordinarias).
6. Insuficiencia de estructuras de drenaje superficial y/o subterráneo.
7. Insuficiencia o ausencia de mantenimiento y/o rehabilitación de pavimentos.” (Corros B., Ernesto, & Gustavo, 2009) (pág. 47).

“Dependiendo de su origen, las fallas pueden ser clasificadas como fallas funcionales (superficiales) o fallas estructurales. En el primer caso, el defecto se presenta o circunscribe a la superficie de la capa asfáltica y las acciones de reparación se dirigen a la corrección de la fricción (seguridad), o al restablecimiento de la a rugosidad o regularidad (comodidad), lo cual se logra con la colocación de capas asfálticas de bajo espesor que no contribuyen desde el punto de vista estructural.”

“Por su parte las fallas estructurales tienen su origen en defectos en una o más de las capas que conforman la estructura del pavimento, las cuales están destinadas a resistir y compartir los esfuerzos impuestos por el tráfico, de manera que a nivel de subrasante o suelo de fundación de pavimento lleguen los menores esfuerzos y lo más distribuido posible. En estos casos la corrección de las fallas va dirigida al refuerzo de la estructura existente mediante la colocación de una capa cuyo espesor debe ser calculado en función de los requerimientos de las cargas de tráfico previstas en el período de tiempo previsto para la rehabilitación. La falla estructural se deriva de dos causas fundamentales:” (Corros B., Ernesto, & Gustavo, 2009)

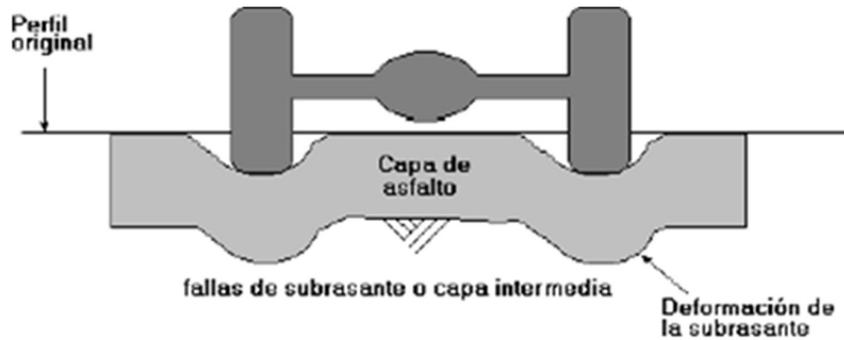
“Cuando la capacidad de deformación-recuperación de los materiales que conforman la estructura de pavimento es “excedida más allá del valor que determinan las deformaciones recuperables por elasticidad instantánea y retardada, desarrollándose deformaciones permanentes (ahuellamiento) en cada aplicación de las cargas, las que se acumulan modificando los perfiles de la calzada hasta valores que resultan intolerables para la comodidad, seguridad y rapidez del tránsito y aún pueden provocar el colapso de la estructura”.

Las deformaciones permanentes o ahuellamiento pueden ocurrir a nivel de:

- Suelos de subrasante, capas de base y/o subbase granulares.
- Capas asfálticas.

“En el caso de suelos, la falla ocurre por lo general por intrusión de humedad que conlleva a su debilitamiento, haciendo imposible la recuperación del suelo ante las cargas impuestas, originando deformaciones plásticas (no elásticas), es decir, sin posibilidad de recuperación.”

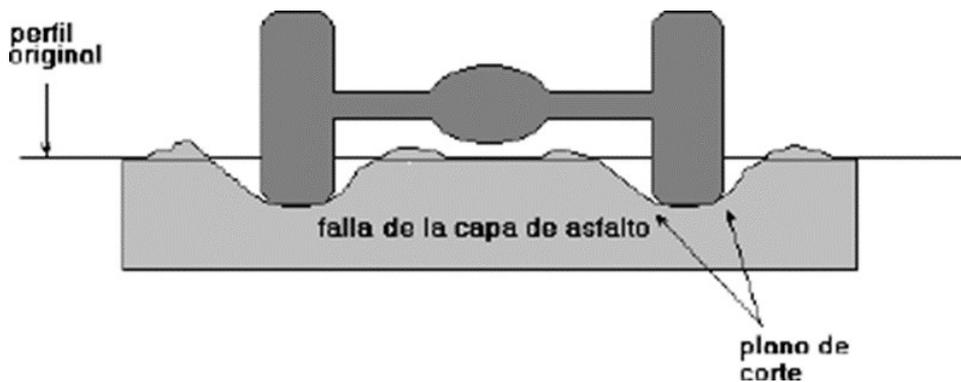
Imagen 5 Ahuellamiento por falla en la subrasante o capa intermedia



Fuente imagen: (Garnica Anguas, Gómez López, & Sesma Martínez, 2002)

“Cuando el ahuellamiento ocurre en las capas asfálticas, el mismo obedece a la presencia de mezclas que van acumulando deformaciones bajas en magnitud, pero permanentes en el tiempo debido al paso continuo del tránsito pesado (camiones). El ahuellamiento puede ocurrir directamente en la capa asfáltica superficial o en alguna otra capa asfáltica subyacente cuya deformación luego es reflejada por la capa superficial.” (Corros B., Ernesto, & Gustavo, 2009)

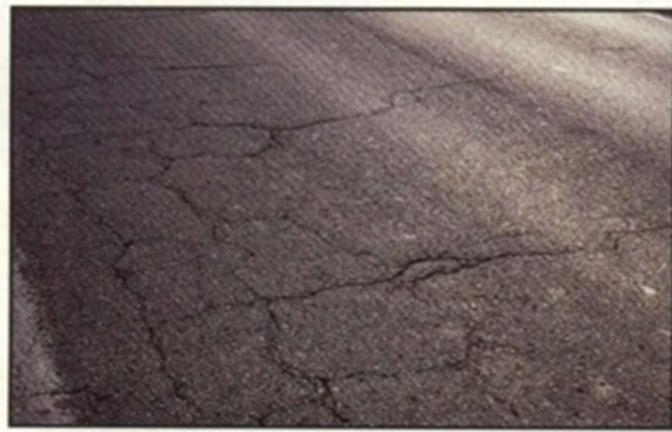
Imagen 6 Ahuellamiento por falla en la mezcla asfáltica



Fuente imagen: (Garnica Anguas, Gómez López, & Sesma Martínez, 2002)

“Existe otro tipo de agrietamiento ocasionado por la variación de temperatura que experimenta la mezcla asfáltica lo cual origina su contracción. Este tipo de fisuramiento es denominado “Grietas por Contracción (o de Bloque)” no está asociado con las cargas impuestas por el tráfico.” (Corros B., Ernesto, & Gustavo, 2009)

Imagen 7 Grietas por Contracción (o de Bloque)



“Así mismo, en los casos de refuerzo de pavimentos de concreto tipo Portland utilizando mezclas asfálticas, es posible “la aparición de grietas como reflejo de las juntas del pavimento rígido (grietas por reflexión). Este tipo de falla se conoce como “Grietas por Reflexión”. ” (Corros B., Ernesto, & Gustavo, 2009)

Imagen 8 Grietas por reflexión



1.2.4.2. Tipos, Descripción, Causas y Procedimientos de Reparación

Algunas de las fallas que se pueden identificar con el Método Pavement Condition Index – PCI - (USA) para la determinación de la condición del pavimento son: (Corros B., Ernesto, & Gustavo, 2009)

Falla Tipo 1: Piel de cocodrilo

“Las grietas de fatiga o piel de cocodrilo son una serie de grietas interconectadas cuyo origen es la falla por fatiga de la capa de rodamiento bajo acción repetida de las cargas de tránsito. El agrietamiento se inicia en el fondo de la capa asfáltica (o base estabilizada) donde los esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión son mayores bajo la carga de una rueda.

La piel de cocodrilo se considera como un daño estructural importante y usualmente se presenta acompañado por ahuellamiento.

Inicialmente, las grietas se propagan a la superficie como una serie de grietas longitudinales paralelas. Después de repetidas cargas de tránsito, las grietas se conectan formando polígonos con ángulos agudos que desarrollan un patrón que se asemeja a una malla de gallinero o a la piel de cocodrilo. Generalmente, el lado más grande de las piezas no supera los 0.60 m. El agrietamiento de piel de cocodrilo ocurre únicamente en áreas sujetas a cargas repetidas de tránsito tales como las huellas de las ruedas. Por lo tanto, no podría producirse sobre la totalidad de un área a menos que esté sujeta a cargas de tránsito en toda su extensión.” (Corros B., Ernesto, & Gustavo, 2009)

Imagen 9 Falla tipo N° 01 Piel de cocodrilo



Falla Tipo 2: Mancha en pavimentos (Exudación)

“La exudación es una película de material bituminoso en la superficie del pavimento, la cual forma una superficie brillante y reflectiva que usualmente llega a ser pegajosa.

La exudación puede ser originada por exceso de asfalto en la mezcla, exceso de aplicación de un sello asfáltico, bajo contenido de vacíos de aire en la mezcla.

La exudación ocurre cuando el asfalto llena los vacíos de la mezcla en medio de altas temperaturas ambientales, emerge y entonces se expande en la superficie del pavimento.” (Corros B., Ernesto, & Gustavo, 2009)

Imagen 10 Falla tipo no 02 Mancha en pavimentos - Exudación



Falla Tipo 3: Grietas de contracción (bloque)

“Las grietas en bloque son grietas interconectadas que dividen el pavimento en pedazos aproximadamente rectangulares.

Los bloques pueden variar en tamaño de 0.30 m x 0.30 m a 3.0 m x 3.0 m. Las grietas en bloque se originan principalmente por la contracción del concreto asfáltico y los ciclos de temperatura diarios.

Las grietas en bloque no están asociadas a cargas e indican que el asfalto se ha endurecido significativamente.

Normalmente ocurre sobre una gran porción del pavimento, pero algún caso puede aparecer en áreas sin tránsito.

Este tipo de daño difiere de la piel de cocodrilo en que este último forma pedazos más pequeños, de muchos lados y con ángulos agudos. También, a diferencia de los bloques, la piel de cocodrilo es originada por cargas repetidas de tránsito y, por lo tanto, se encuentra únicamente en áreas sometidas a cargas vehiculares (por lo menos en su primera etapa).” (Corros B., Ernesto, & Gustavo, 2009)

Imagen 11 Falla tipo N° 03 Grietas de contracción



Falla Tipo 4: Elevaciones y/o Hundimientos

“Los abultamientos son pequeños desplazamientos hacia arriba localizados en la superficie del pavimento. Se diferencian de los desplazamientos, pues éstos últimos son causados por pavimentos inestables.

Los abultamientos pueden ser causados por factores tales como:

- ✓ Levantamiento o combadura de losas de concreto de cemento tipo Portland con una sobre carpeta de concreto asfáltico.
- ✓ Expansión por congelación (crecimiento de lentes de hielo).
- ✓ Infiltración y elevación del material en una grieta en combinación con las cargas del tránsito. Los hundimientos son desplazamientos hacia abajo -pequeños y abruptos- de la superficie del pavimento.” (Corros B., Ernesto, & Gustavo, 2009)

Imagen 12 Falla tipo N° 04 Elevaciones y/o hundimientos



“Las distorsiones y desplazamientos que ocurren sobre grandes áreas del pavimento causando extensas o largas depresiones en el mismo, se llaman “ondulaciones” (hinchamiento: swelling). Si aparecen en un patrón perpendicular al flujo del tránsito y están espaciadas a menos de 3.0 m, el daño se llama corrugación (Falla 5).” (Corros B., Ernesto, & Gustavo, 2009)

Falla Tipo 5: Corrugaciones

“La corrugación (también llamada “sartenejas”) es una serie de cimas y depresiones muy próximas que ocurren a intervalos bastante regulares, usualmente a menos de 3.0 m.

Las cimas son perpendiculares a la dirección del tránsito. Este tipo de daño es usualmente causado por la acción del tránsito combinado con una

carpeta o una base inestable.” (Corros B., Ernesto, & Gustavo, 2009) (Corros B., Ernesto, & Gustavo, 2009)

Imagen 13 Falla tipo N° 05 Corrugaciones



Falla Tipo 6: Depresiones

“Son áreas localizadas de la superficie del pavimento con niveles ligeramente más bajos que el pavimento a su alrededor. En múltiples ocasiones, las depresiones suaves sólo son visibles después de la lluvia, cuando el agua almacenada forma empozamientos. En el pavimento seco las depresiones pueden ubicarse gracias a las manchas causadas por el agua almacenada.

Las depresiones son formadas por el asentamiento de la subrasante o por una construcción incorrecta. Originan alguna rugosidad y cuando son suficientemente profundas o están llenas de agua pueden causar hidro planeo.” (Corros B., Ernesto, & Gustavo, 2009)

Imagen 14 Falla tipo N° 06 Depresiones



Falla Tipo 7: Grietas de borde

“Las grietas de borde son paralelas y generalmente están a una distancia entre 0.30 y 0.60 m. del borde exterior del pavimento.

Este daño puede originarse por debilitamiento debido a condiciones climáticas de la base o de la subrasante en sectores próximos al borde del pavimento, por falta de soporte lateral o por terraplenes construidos con materiales expansivos. El deterioro de la falla de borde se acelera por el efecto de las cargas de tránsito. En algunos casos se puede llegar a producir pérdida del material por disgregación.” (Corros B., Ernesto, & Gustavo, 2009)

Imagen 15 Falla tipo N° 07 Grietas de borde



Falla Tipo 8: Grietas de Reflexión de Juntas de Losas de Concreto

“Daño ocurrido solamente en pavimentos asfálticos construidos sobre una losa de concreto de cemento tipo Portland. No incluye las grietas de reflexión de otros tipos de base (por ejemplo, estabilizadas con cemento o cal).

Estas grietas son causadas principalmente por el movimiento de la losa de concreto de cemento tipo Portland, inducido por temperatura o humedad.

Este daño no está relacionado con las cargas, sin embargo, las cargas del tránsito pueden causar la rotura del concreto asfáltico cerca de la grieta. Si el pavimento está fragmentado a lo largo de la grieta, se dice que aquella está “descascarada”.” (Corros B., Ernesto, & Gustavo, 2009)

Imagen 16 Falla tipo N° 08 Grietas de reflexión de juntas de losas de concreto



Falla Tipo 9: Desnivel Calzada - Hombrillo

“El desnivel calzada-hombrillo es una diferencia de niveles entre el borde del pavimento y el hombrillo. Este año se debe a la erosión o asentamiento del hombrillo o a la colocación de sobre carpetas en la calzada sin elevar el nivel del hombrillo.” (Corros B., Ernesto, & Gustavo, 2009)

Imagen 17 Falla tipo N° 09 Desnivel de Calzada



Falla Tipo 10: Grietas Longitudinales y Transversales

"Las grietas longitudinales son paralelas al eje del pavimento y pueden ser causadas por:

- ✓ Una junta de carril del pavimento pobremente construida.
- ✓ Contracción de la superficie de concreto asfáltico debido a bajas temperaturas o al envejecimiento del asfalto.
- ✓ Una grieta de reflexión causada por el agrietamiento bajo la capa de base, incluidas las grietas en losas de concreto de cemento Portland, pero no las juntas de pavimento de concreto.

Las grietas transversales se extienden a través del pavimento en ángulos aproximadamente rectos al eje del mismo.

Usualmente, este tipo de grietas no está asociado con carga." (Corros B., Ernesto, & Gustavo, 2009)

Imagen 18 Falla tipo N° 10 Grietas longitudinales y transversales



Falla Tipo 11: Bacheo y Zanjas Reparadas

“Un bache es un área de pavimento la cual ha sido reemplazada con material nuevo para reparar el pavimento existente.

Un bache se considera un defecto, no importa que tan bien se comporte (usualmente, un área bacheada o el área adyacente no se comportan tan bien como la sección original de pavimento).” (Corros B., Ernesto, & Gustavo, 2009)

Imagen 19 Falla tipo N° 11 Zanjas reparadas

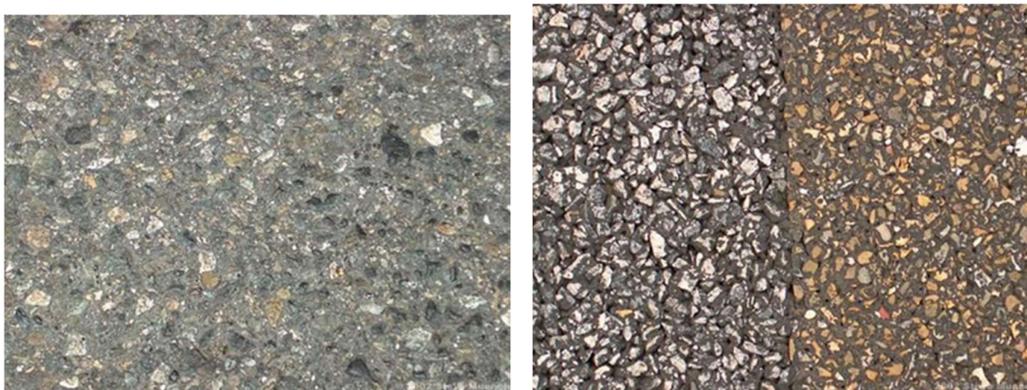


Falla Tipo 12: Agregados Pulidos

“Este daño es causado por la repetición de cargas de tránsito. Cuando el agregado en la superficie se vuelve suave al tacto, la adherencia con las llantas del vehículo se reduce considerablemente.

Este tipo de daño se registra cuando el valor de un ensayo de resistencia al deslizamiento es bajo o ha caído significativamente desde una evaluación previa.” (Corros B., Ernesto, & Gustavo, 2009)

Imagen 20 Falla tipo N° 12 Agregados Pulidos



Falla Tipo 13: Huecos

“Los huecos son depresiones pequeñas en la superficie del pavimento, usualmente con diámetros menores que 0,90 m. Por lo general presentan bordes aguzados y lados verticales en cercanías de la zona superior.

El crecimiento de los huecos se acelera por la acumulación de agua de lluvia dentro del mismo. Los huecos se producen cuando el tráfico arranca pequeños pedazos de la superficie del pavimento.

Con frecuencia los huecos son daños asociados a la condición de la estructura y no deben confundirse con desprendimiento.

Cuando los huecos son producidos por piel de cocodrilo de alta severidad deben registrarse como huecos.” (Corros B., Ernesto, & Gustavo, 2009)

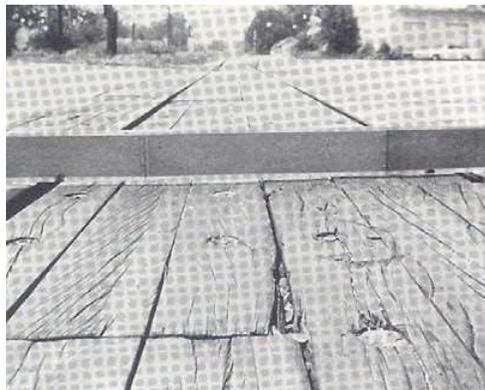
Imagen 21 Falla tipo N° 13 Huecos



Falla Tipo 14: Cruce de Sumideros de Rejilla (Cruce de Rieles)

“Los defectos asociados al cruce de sumideros de rejilla son depresiones o abultamientos en el plano de contacto entre el pavimento de la calzada y el sumidero, que afectan la calidad de rodaje.” (Corros B., Ernesto, & Gustavo, 2009)

Imagen 22 Falla tipo N° 14 Cruce de Sumideros de Rejilla



Falla Tipo 15: Ahuellamientos

“El ahuellamiento es una depresión en la superficie de las huellas de las ruedas. Puede presentarse el levantamiento del pavimento a lo largo de los lados del ahuellamiento, pero, en muchos casos, éste sólo es visible después de la lluvia cuando las huellas están llenas de agua.

El ahuellamiento se deriva de una deformación permanente en cualquiera de las capas del pavimento o la subrasante, usualmente producida por consolidación o movimiento lateral de los materiales debido a la carga del tránsito.

Un ahuellamiento importante puede conducir a una falla estructural considerable del pavimento.” (Corros B., Ernesto, & Gustavo, 2009)

Imagen 23 Falla tipo N° 15 Ahuellamientos



Falla Tipo 16: Deformaciones por Empuje

“El desplazamiento es un corrimiento permanente de un área localizada de la superficie del pavimento producido por las cargas del tránsito. Cuando el tránsito empuja contra el pavimento, produce una onda corta y abrupta en la superficie.

Normalmente, este daño sólo ocurre en pavimentos con mezclas de asfalto líquido inestables (cutback o emulsión).

Los desplazamientos también ocurren cuando pavimentos de concreto asfáltico confinan pavimentos de concreto de cemento tipo Portland. Los defectos asociados a las deformaciones por empuje están asociados con el grado de afectación de la calidad de rodaje:” (Corros B., Ernesto, & Gustavo, 2009)

Imagen 24 Falla tipo N° 16 Deformaciones por empuje



Falla Tipo 17: Grietas de Desplazamiento

“Las grietas parabólicas por deslizamiento son grietas en forma de media luna creciente, con sus puntas hacia el sentido del tránsito.

Usualmente, este daño ocurre en presencia de una mezcla asfáltica -entre la superficie y la capa siguiente en la estructura de pavimento- de baja resistencia, o de un riego de adherencia excesivo, y en algunas oportunidades pobre.

Este daño no tiene relación alguna con procesos de inestabilidad geotécnica de la calzada.” (Corros B., Ernesto, & Gustavo, 2009)

Imagen 25 Falla tipo N° 17 Grietas por desplazamiento



Falla Tipo 18: Hinchamientos

“El hinchamiento se caracteriza por un pandeo hacia arriba de la superficie del pavimento con una onda larga y gradual de longitud mayor de 3,0 m.

El hinchamiento puede estar acompañado de agrietamiento superficial. Usualmente, este daño es causado por suelos potencialmente expansivos.” (Corros B., Ernesto, & Gustavo, 2009)

Imagen 26 Falla tipo N° 18 Hinchamientos



Falla Tipo 19: Disgregación y Desintegración (Desprendimiento)

“La disgregación y desintegración son el desgaste de la superficie del pavimento debido a la pérdida del ligante asfáltico y de las partículas sueltas de agregado.

Este daño indica que bien el ligante asfáltico se ha endurecido de forma apreciable o que la mezcla es de pobre calidad.

Además, el desprendimiento puede ser causado por ciertos tipos de tránsito, por ejemplo, vehículos de orugas.” (Corros B., Ernesto, & Gustavo, 2009)

Imagen 27 Falla tipo N° 19 Desprendimiento



1.2.5. Serviciabilidad – Regularidad Superficial

En el manual de Carreteras (2013) del MTC, el Present Serviciability Index o la serviciabilidad se define como “la capacidad de un pavimento para servir al tránsito para el cual fue diseñado. Los pavimentos fueron calificados con notas cuyos valores extremos variaban desde 0, para un camino intransitable, hasta 5 para una superficie en perfectas condiciones (situación ideal).” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

Imagen 28 Escala Índice de Serviciabilidad

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

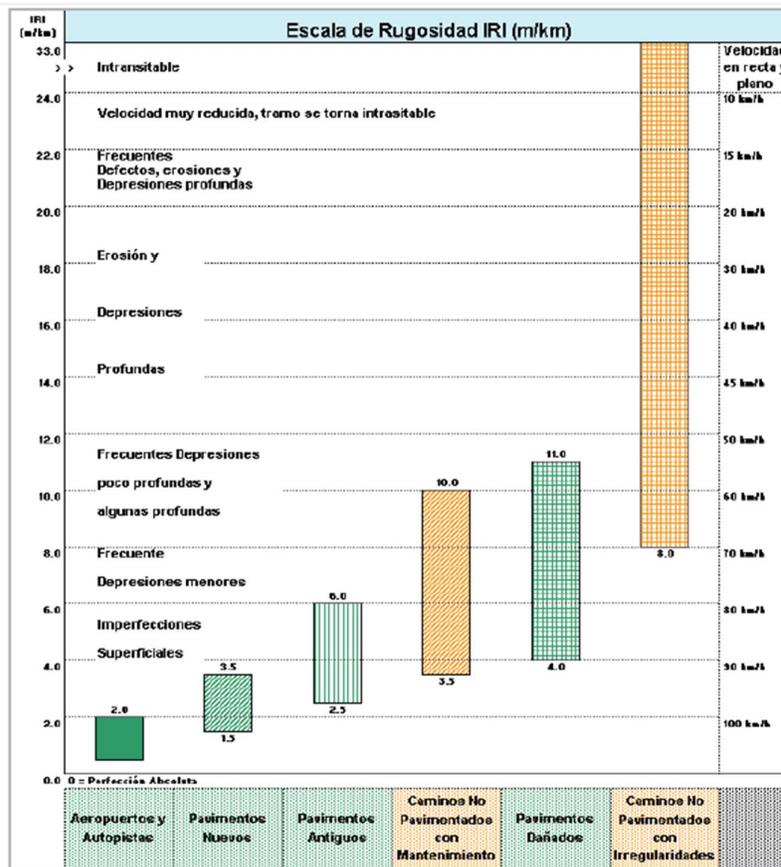
Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

Así mismo en el manual se indica que “a partir del estudio Brasil (GEIPOT, 1982; Paterson, 1987), se evaluaron y modelaron los efectos físicos de deterioro y mantenimiento del pavimento, definiéndose un nuevo indicador, que se denominó Índice Internacional de Rugosidad o IRI, que representa la regularidad superficial

de un pavimento y afecta la operación vehicular, en cuanto a seguridad, confort, velocidad de viaje y desgaste de partes del vehículo.”

Así mismo, incluye la siguiente tabla “(traducida y adaptada de “Guidelines for conducting and calibrating road roughness measurements”, Sayers M.W., Gillespie T.D., Paterson W.D; World Bank Technical Paper Number No 46, 1986), donde se muestra escalas de rugosidad para distintos tipos de pavimento y condición.” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

Imagen 29 Escala de Rugosidad IRI (m/km)



Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

Según el manual de carreteras del MTC la medición de rugosidades debe realizarse de acuerdo al Manual de Ensayo de Materiales del MTC.

Para la rugosidad inicial de un pavimento nuevo y de un pavimento existente reforzado y para la rugosidad durante el periodo de servicio, el manual de carreteras (2013) recomienda los siguientes valores:

Imagen 30 Rugosidad IRI (m/km), Según Tipo de Carretera Asfáltica en Caliente

Tipo de Carretera	Rugosidad Característica Inicial Pavimento Nuevo IRI (m/km)	Rugosidad Característica Inicial Pavimento Reforzado IRI (m/km)	Rugosidad Característica Durante el Periodo de Servicio IRI (m/km)	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	2.00	2.50	3.50	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	2.00	2.50	3.50	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	2.50	3.00	4.00	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	2.50	3.00	4.00	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	3.00	3.50	4.50	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA \leq 200 veh/día, de una calzada.	3.00	3.50	4.50	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 85%

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

Índice de Rugosidad Internacional (IRI)

“La irregularidad o rugosidad de la superficie de una vía es una medida de su serviciabilidad, es decir, refleja el grado de comodidad del usuario. Se han desarrollado una gran variedad de equipos para medir la regularidad superficial de los pavimentos y se ha adoptado mundialmente un índice único conocido como “Índice de Rugosidad Internacional” (IRI), desarrollado como medida estándar por el Banco Mundial entre finales de los años ochenta y comienzo de los años noventa, luego de un ensayo internacional realizado en Brasil, encaminado a su determinación.” (Corros B., Ernesto, & Gustavo, 2009, p. 152)

“Conceptualmente el IRI relaciona la acumulación de desplazamientos del sistema de suspensión de un vehículo modelo, divididos entre la distancia recorrida por el vehículo a una velocidad de 80 km/hr. Se expresa en mm/m o m/km. Para caminos pavimentados el rango de la escala del IRI es de 0 a 12 m/km, donde 0 representa una superficie perfectamente uniforme y 12 un camino intransitable; para vías no pavimentados la escala se puede extender hasta un valor de 20.” (Corros B., Ernesto, & Gustavo, 2009, p. 152)

Equipo MERLÍN

“Hoy en día existen numerosos equipos de alta tecnología y rendimiento para la adquisición de la información necesaria para definir el perfil longitudinal o rugosidad de una vía, no obstante, sus elevados costos representan una limitación para muchas agencias viales de países en desarrollo. Es por ello que aún se mantiene en uso el equipo de bajo rendimiento en el caso de evaluaciones de redes viales- diseñado en 1990 por el TRANSPORTATION ROAD RESEARCH LABORATORY (TRRL) de Inglaterra para la medición de la rugosidad en pavimentos asfálticos, de hormigón y de tierra conocido como Equipo MERLÍN (*MACHINE FOR EVALATING ROUGHNESS USING LOW COST INSTRUMENTATION).”*

“Dicho equipo guarda alta precisión y repetibilidad en los datos que suministra, lo cual se ha evidenciado luego de la comparación de valores IRI determinados en base a su uso y los obtenidos por la metodología estandarizada (ASTM: E 1364-90) basada en procedimientos de nivelación topográfica para la determinación del IRI. Esta circunstancia ha servido para que el Equipo MERLÍN sea utilizado como referencia en la calibración del resto de los equipos empleados para la medición de la rugosidad o regularidad superficial.” (Corros B., Ernesto, & Gustavo, 2009) (Pág. 153).

1.2.6. Evaluación Estructural por Deflectometría

Según el manual de carreteras (2013), “la evaluación superficial se complementa con la evaluación estructural mediante la medición de deflexiones con equipos. Asimismo, en muchos casos es necesario recurrir también a la realización de calicatas, sondeos, toma de muestras y ensayos de laboratorio para verificar las hipótesis deducidas de la evaluación superficial.”

El manual de carreteras (2013) define la deflectometría como “el estudio de las deformaciones verticales de la superficie de una calzada, a consecuencia de la acción de una determinada carga o sollicitación.” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

Así mismo indica que “la deflexión es una medida de la respuesta del conjunto “pavimento – subrasante” frente a una determinada sollicitación, indicando la adecuabilidad del pavimento desde el punto de vista estructural.”

“La medición deflexiones se efectuará según lo especificado en el Manual de Ensayos de Materiales del MTC. Una vez efectuadas las mediciones se elaborará un deflectograma, que permite analizar la variabilidad de la capacidad estructural del pavimento existente, para finalmente determinar los sectores de características o comportamiento homogéneo, definiendo para cada sector homogéneo la correspondiente deflexión característica, que es el valor que mejor representa un determinado sector.”

Imagen 31 Definición de deflexión característica según tipo de carretera

Tipo de Carretera	Deflexión Característica Dc	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	$D_c = D_m + 1.645xds$	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	$D_c = D_m + 1.645xds$	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	$D_c = D_m + 1.645xds$	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	$D_c = D_m + 1.282xds$	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	$D_c = D_m + 1.282xds$	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA \leq 200 veh/día, de una calzada.	$D_c = D_m + 1.036xds$	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 85%

Nota: Dc = Deflexión característica, Dm = Deflexión media, ds = desviación estándar

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

Las deflexiones se comparan con el valor límite admisible, que es la deflexión tolerable que garantiza un comportamiento satisfactorio del pavimento en relación con el tráfico que debe soportar. Para el presente manual se ha adoptado la relación propuesta para el paquete estructural del pavimento, por CONREVIAl (Estudio de Rehabilitación de Carreteras del País. MTC-Perú):

$$D_{adm} = \left(\frac{1.15}{N}\right)^{0.25}$$

Donde:

Dadm = Deflexión admisible en mm (a comparar con deflexiones viga Benkelman)

N = Número de repeticiones de ejes equivalentes en millones

El Manual de Carreteras (2013), presenta una tabla para poder efectuar el análisis de la evaluación estructural, a partir de la comparación de la deflexión característica y la deflexión admisible:

Imagen 32 Análisis combinado de los resultados de la evaluación estructural

PRIMER PASO	SEGUNDO PASO	TERCER PASO	CUARTO PASO	CASOS
1° La deflexión característica resulta:	SUPERIOR 2° Hay fallas de origen estructural?	NO: Estructura infradiseñada para el tráfico previsto		PRIMER CASO Pavimento necesita con urgencia un refuerzo estructural para resistir el tráfico previsto
		SI: 3° Existe una capa débil inmediata debajo de las capas asfálticas?	NO: Las fallas se deben a otra causas	SEGUNDO CASO Este es el paso avanzado del primer caso, cuando no se han tomado a tiempo las medidas necesarias
			SI: Radio de curvatura pequeño (menor ó igual a 80m)	TERCER CASO Está caracterizado por la presencia de una capa débil subyacente a la asfáltica, que determina que la deformación de esta última bajo cargas no encuentra apoyo suficiente y sea mayor a la que le correspondería en ausencia del espesor débil.
	IGUAL O INFERIOR 2° Hay fallas de origen estructural?	NO: Corregir fallas de origen superficial		
		SI: 3° De que tipo?	Fallas por fatiga (piel de cocodrilo) Radio de curvatura pequeño (menor o igual a 80 m) Capa débil inmediatamente debajo de las asfálticas	TERCER CASO En este caso los radios de curvatura de la línea de deflexión son reducidos y el desarrollo del fisuramiento en forma de piel de cocodrilo es posible aún con deflexiones admisibles

			<p>Fallas por deformación permanente de la fundación que se traducen en depresiones, ahueamiento marcado (mayor a 12 mm), ondulaciones, etc</p> <p>CUARTO CASO</p> <p>Se caracteriza por el desarrollo de deformaciones permanentes, en particular ahueamiento en la zona de canalización del tráfico, no atribuibles a desplazamientos plásticos de las capas asfálticas por deficiente estabilidad o compactación, es decir que afectan a toda la estructura. Se trata por lo general de pavimentos antiguos que han sido reforzados con capas asfálticas de espesor suficiente para evitar las fallas por fatiga pero insuficientes para compensar la debilidad de la fundación original.</p> <p>En estos casos las medidas de deflexión pueden no ser significativas, aquí lo más importantes es apreciar el valor portante de la fundación y el aporte estructural que aún puede prestar el pavimento original y las capas asfálticas de refuerzo existentes.</p>
--	--	--	--

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

1.3. Definición de Términos Básicos

A continuación, se presentan algunos términos básicos, extraídos de los manuales de carreteras y la norma CE 010 Pavimentos urbanos (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2010)

- a) Afirmado: “capa de material selecto procesado de acuerdo a diseño, que se coloca sobre la subrasante o subbase de un pavimento. Funciona como capa de rodadura y de soporte al tráfico en vías no pavimentadas. Esta capa puede tener un tratamiento de estabilización.”
- b) Base: “capa generalmente granular, aunque también podría ser de suelo estabilizado, de concreto asfáltico, o de concreto hidráulico. Su función principal es servir como elemento estructural de los pavimentos, aunque en algunos casos puede servir también como capa drenante”. “es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como principal función de

sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa será de material granular drenante ($cbr \geq 80\%$) o será tratada con asfalto, cal o cemento.”

- c) Calzada o pista: “parte de una vía destinada al tránsito de vehículos”
- d) Camiones: “vehículos tipo c2 del reglamento nacional de vehículos, con configuraciones iguales a 2 ejes y 6 llantas. Incluyen ómnibuses y camiones de 4 llantas de base ancha. No incluyen automóviles camionetas, pick-ups, ni paneles.”
- e) Camiones pesados: “vehículos del reglamento nacional de vehículos, con configuraciones de ejes mayores a las de vehículos tipo c2.”
- f) Capa asfáltica de superficie: “es la capa superior de un pavimento asfáltico, llamada también capa de desgaste o capa de rodadura.”
- g) Capacidad de la vía: “es el máximo número de vehículos de todos los tipos para los que la vía deberá ser diseñada geoméricamente.”
- h) Capa de base asfáltica: “es una capa estructural de algunos pavimentos flexibles compuesta de agregados minerales unidos con productos asfálticos. También conocida como base negra.”
- i) Capa de rodadura: “es la parte superior de un pavimento, que puede ser de tipo bituminoso (flexible) o de concreto de cemento portland (rígido) o de adoquines, cuya función es sostener directamente el tránsito.”
- j) Capa de subrasante: “porción superior del terreno natural en corte o porción superior del relleno, de 20 cm de espesor compactado en vías locales y colectoras y de 30 cm de espesor compactado en vías arteriales y expresas.”
- k) Carretera: “camino para el tránsito de vehículos motorizados de por lo menos dos ejes, cuyas características geométricas, tales como: pendiente longitudinal, pendiente transversal, sección transversal, superficie de rodadura y demás elementos de la misma, deben cumplir las normas técnicas vigentes del ministerio de transportes y comunicaciones.”
- l) Estabilización de suelos: “proceso físico y/o químico por el que se mejoran las propiedades físico- mecánicas del suelo natural en corte o

de los materiales de préstamo en relleno, con el objeto de hacerlos estables.”

m) Estructura del pavimento asfáltico: “es una estructura de pavimento con todas sus capas de mezclas asfálticas, o de una combinación de capas asfálticas y base granulares, colocadas encima de la subrasante natural o estabilizada.”

n) Índice de serviciabilidad inicial (po): “se establece como la condición original del pavimento inmediatamente después de su construcción o rehabilitación. Aashto'93 estableció (si no se tiene información disponible para diseño) los siguientes valores:

- para pavimentos rígidos, un valor inicial deseable po de 4,5; y
- para pavimentos flexibles un valor inicial deseable po de 4,2.

o) Pavimento: “estructura compuesta por capas que apoya en toda su superficie sobre el terreno preparado para soportarla durante un lapso denominado período de diseño y dentro de un rango de serviciabilidad. Esta definición incluye pistas, estacionamientos, aceras o veredas, pasaje peatonales y ciclovías”

p) Pavimentos flexibles (pavimentos asfálticos): “clasificación por comportamiento de los pavimentos con superficie asfáltica en cualquiera de sus formas o modalidades (concreto asfáltica mezcla en caliente, concreto asfáltica mezcla en frío, mortero asfáltico, tratamiento asfáltico, micro pavimento, etc.), compuesto por una o más capas de mezclas asfálticas que pueden o no apoyarse sobre una base y una sub base granulares. El pavimento asfáltico de espesor total (full-depth®), es el nombre patentado por el instituto del asfalto, para referirse a los pavimentos de concreto asfáltico construidos directamente sobre la subrasante.”

q) Sección transversal general: “representación de una sección de la carretera en forma transversal al eje y a distancias específicas, que nómina y dimensiona los elementos que conforman la misma, dentro del derecho de vía. Está conformada por los elementos de la carretera, tales

- como: calzada o superficie de rodadura (constituida por carriles), bermas, taludes, sistema de drenaje (cunetas, alcantarillas, zanja de coronación, badenes y otros) y obras complementarias (muros, ductos y cámaras para fibra óptica, elementos del sistema de señalización, seguridad vial e infraestructura para dispositivos de control de tránsito inteligente y otros).”
- r) Serviciabilidad: “habilidad de un pavimento para servir a los tipos de solicitaciones (estáticas o dinámicas) para los que han sido diseñados.”
 - s) Subbase: “es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además, se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse. Esta capa puede ser de material granular ($cbr \geq 40\%$) o tratada con asfalto, cal o cemento.”
 - t) Subrasante: “es el nivel inferior del pavimento paralelo a la rasante.”

CAPITULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Descripción del Problema

La amazonia peruana presenta condiciones climáticas y geográficas únicas, las cuales, muchas veces pueden afectar la estabilidad de los pavimentos que interconectan a las diferentes ciudades, en la mayoría de los casos, los pavimentos de las carreteras en la amazonia corresponden a pavimentos flexibles, las cuales no reciben el mantenimiento adecuado, ni son sometidos a evaluaciones para determinar su estado, por lo que, al encontrarse en estado de deterioro, incrementan la probabilidad de accidentes de tránsito, en las zonas más críticas.

Investigar la deflexión de estas vías nos ayuda a comprender cómo estos factores influyen en la calidad de las carreteras, así mismo, permite

identificar áreas que requieren reparaciones o mantenimiento, el cual, de ejecutarse, podría garantizar la seguridad de los conductores y peatones, así como la durabilidad de las carreteras.

Así mismo, el IRI (Índice internacional de rugosidad), es una herramienta que permite evaluar la calidad del pavimento de las carreteras, midiendo la irregularidad de la superficie de las carreteras.

La presente investigación tiene como objetivo realizar la evaluación de las fallas estructurales por métodos no destructivos en el tramo de muestra Km 20.5 al km 22.5, a fin de determinar el estado de la carretera Iquitos – Nauta, e identificar si es necesario efectuar el refuerzo estructural.

2.2. Formulación del problema

2.2.1. Problema general

¿Cuál es el estado del pavimento flexible, determinado por métodos no destructivos, en la carretera Iquitos – Nauta, km. 20+ 500 – km. 22+500, distrito San Juan Bautista, provincia Maynas, departamento Loreto, 2023?

2.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuánta es la deflexión del pavimento flexible determinadas por métodos no destructivos en la carretera Iquitos – Nauta, km 20+ 500 – km 22+500?
- ¿Cómo es el radio de curvatura del pavimento flexible identificado por métodos no destructivos en la carretera Iquitos – Nauta, km 20+ 500 – km 22+500?
- ¿Cómo es el IRI (Índice internacional de Rugosidad) del pavimento flexible determinadas por métodos no destructivos en la carretera Iquitos – Nauta, km 20+ 500 – km 22+500?

2.3. Objetivos

2.3.1. Objetivo general

Describir el estado del pavimento flexible mediante métodos no destructivos en la carretera Iquitos – Nauta, km. 20+ 500 – km. 22+500, distrito San Juan Bautista, provincia Maynas, departamento Loreto, 2023

2.3.2. Objetivos específicos

- Determinar las deflexiones del pavimento flexible mediante métodos no destructivos en la carretera Iquitos – Nauta, km 20+ 500 – km 22+500
- Evaluar los radios de curvatura del pavimento flexible mediante métodos no destructivos en la carretera Iquitos – Nauta, km 20+ 500 – km 22+500.
- Evaluar el IRI (Índice internacional de Rugosidad) del pavimento flexible mediante métodos no destructivos en la carretera Iquitos – Nauta, km 20+ 500 – km 22+500.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

Los valores de deflexión y de radio de curvatura determinados por viga Benkelman en carretera Iquitos – Nauta, km 20+ 500 – km 22+500, distrito San Juan Bautista, prueban que la estructura del pavimento requiere reforzamiento en la carpeta asfáltica.

2.4.2. Hipótesis General

H1: Los valores de deflexión determinados por viga Benkelman en carretera Iquitos – Nauta, km 20+ 500 – km 22+500, distrito San Juan

Bautista, prueban que la estructura del pavimento requiere reforzamiento en la carpeta asfáltica.

H2: Los valores de radio de curvatura determinados por viga Benkelman en carretera Iquitos – Nauta, km 20+ 500 – km 22+500, distrito San Juan Bautista, prueban que la estructura del pavimento requiere reforzamiento en la carpeta asfáltica.

2.5. Variables:

2.5.1. Identificación de las variables.

Variable Independiente X:

X1: Evaluación estructural de los pavimentos flexibles

2.5.2. Definición conceptual y operacional de las variables.

Variable Independiente X1: Evaluación estructural de los pavimentos flexibles; según Balarezo (2017) “es una herramienta que permite conocer el estado del pavimento”, así mismo, el autor indica que “es la mejor evaluación que puede realizarse en los pavimentos flexibles ya que [...] informa sobre su estado real y de su capacidad estructural”

Así mismo, en el Manual de Carreteras (2013), se indica que, en base a la evaluación superficial y estructural del pavimento, se puede definir la insuficiencia estructural del pavimento, y determinar la necesidad de refuerzo del pavimento.

2.5.3. Operacionalización de las variables.

Tabla 1: Operacionalización de las Variables

Variable	Concepto	Indicadores
	Evaluación estructural de los pavimentos flexibles;	

<p>Evaluación estructural de los pavimentos flexibles</p>	<p>según Balarezo (2017) “es una herramienta que permite conocer el estado del pavimento”, así mismo, el autor indica que “es la mejor evaluación que puede realizarse en los pavimentos flexibles ya que [...] informa sobre su estado real y de su capacidad estructural”</p> <p>Así mismo, en el Manual de Carreteras (2013), se indica que, en base a la evaluación superficial y estructural del pavimento, se puede definir la insuficiencia estructural del pavimento, y determinar la necesidad de refuerzo del pavimento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Deflexión • Radio de curvatura • Índice Internacional de Rugosidad (IRI)
---	--	--

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación.

3.1.1. Tipo de investigación

La presente investigación es del tipo Aplicativo, con enfoque cuantitativo, porque tiene la finalidad de orientar a lograr un nuevo conocimiento de manera sistémica y metódica, con el objetivo de ampliar el conocimiento.

3.1.2. Diseño de investigación

El diseño corresponde a un modelo Descriptivo.

Descriptivo; porque tiene el propósito de describir la deflexión del pavimento y el índice internacional de rugosidad, mediante ensayos no destructivos realizados en campo.

Diseño:

a. **Descriptivo.** –



Donde:

M: Muestra con quien o en quien se va a realizar el estudio

O: Observación a la variable. Información relevante o de interés de la muestra

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población consistió en los 102 km de carretera pavimentada correspondientes a la Carretera Iquitos – Nauta.

3.2.2. Muestra

La muestra considerada para el presente estudio consistió en 2 km de carretera pavimentada, correspondiente al tramo de la carretera Iquitos - Nauta, ubicada entre los km 20+500 y 22+500.

3.3. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

3.3.1. Técnicas de recolección de Datos

La metodología y técnicas utilizadas es el uso del Rugosímetro de MERLIN, y el uso de la VIGA BENKELMAN, para obtener los datos de campo y el cálculo de la rugosidad internacional y las deflexiones en la carretera Iquitos Nauta km. 20+ 500 – km 22+500, distrito San Juan Bautista, provincia Maynas, departamento Loreto.

Para la elaboración de la investigación se procede con la búsqueda del lugar mencionado anteriormente, que cumpla con las condiciones necesarias para ser analizada, referidos al estado superficial y estructural mediante el conocimiento de las deflexiones y el índice de rugosidad internacional, para conocer el estado de conservación del pavimento flexible. Una vez realizado el trabajo de campo se pasa a gabinete a realizar los cálculos para determinar las deflexiones presentes y los valores del índice de rugosidad internacional, utilizando los equipos indicados.

3.3.2. Instrumentos

- Rugosímetro de MERLIN.
- Viga Benkelman.
- Ficha o formulario de campo para MERLIN
- Guías de observación y formatos de campo
- Celular con cámara fotográfica.
- Flexómetro de 100 m

3.3.3. Procedimientos de recolección de Datos

En base a los datos obtenidos de campo para la Viga Benkelman, lecturas de campo L0 y L25, para luego calcular las deflexiones del pavimento y para el rugosímetro de MERLIN, se determina en ambos márgenes en tramos de 400 m, para calcular el índice de rugosidad internacional (IRI).

Para el procesamiento de datos y cálculo respectivo se utilizó la Hoja Electrónica EXCEL, y se aplicaron las fórmulas en base al método establecido en el Manual de Carreteras, considerando:

a. Medición de la deflexión (Ensayo de Viga Benkelman)

Procedimiento de medición

Para iniciar las mediciones de las deflexiones se definió los puntos donde se iban a tomar las medidas, esto se hizo, teniendo en consideración la siguiente tabla:

Tabla 2 Distancia del Punto de Ensayo

Ancho del 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

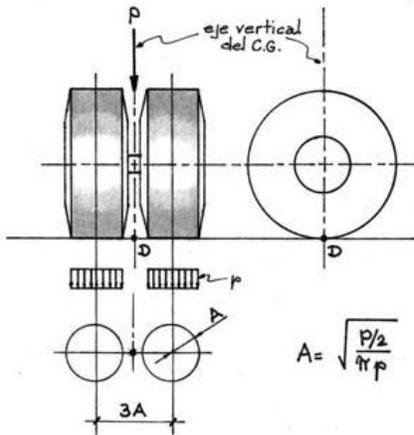
Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

Una vez definidos los puntos donde se realizarán las mediciones, la rueda dual del camión fue colocada en el punto seleccionado, estacionándose en el extremo de la viga Benkelman debajo del eje vertical del centro de gravedad de las llantas dobles, se tiene como tolerancia un rango de 3 pulgadas alrededor del punto.

Así mismo, se siguen los siguientes pasos:

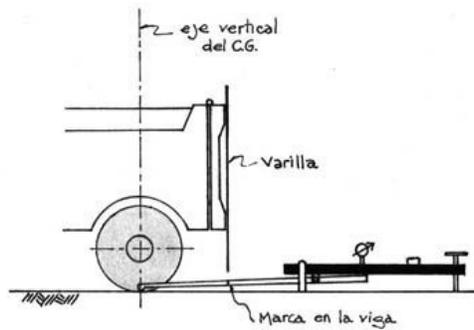
En el eje gravedad se coloca el extremo de la viga Benkelman al exterior de las llantas, la cual permitió marcar con una plomada adosando una varilla de madera en la parte trasera del camión. Así, en los siguientes puntos a tomar se hizo coincidir la parte trasera del camión la plomada con la marca. La viga Benkelman se alineó horizontalmente con la dirección de movimiento del camión tal y como se muestra en las siguientes figuras:

Imagen 33 Punto de ubicación del extremo de la Viga Benkelman



Fuente: (Hoffman & Del Águila, 1985) (Balarezo Zapata, 2017)

Imagen 34 Configuración Geométrica del sistema de carga – Ensayo de Viga Benkelman



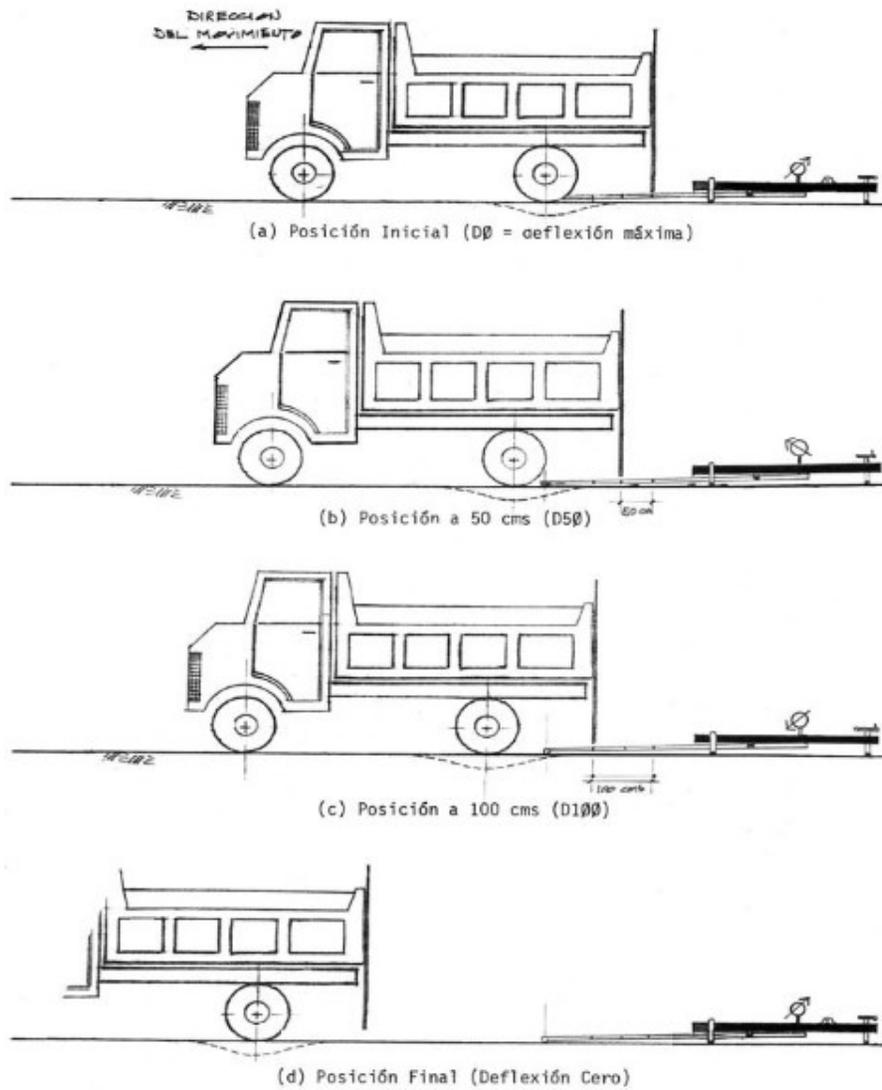
Fuente: (Hoffman & Del Águila, 1985) (Balarezo Zapata, 2017)

Según las recomendaciones de Balarezo Zapata “las mediciones en un punto, se realizarán a diferentes distancias, puede ser cada 25, 30, 40 o 50 cm, estas son llamadas deflexiones adicionales. La primera medición es la deflexión máxima y es tomada a una distancia igual a 0 cm, esta es la deflexión medida en el punto que coincide con el eje de gravedad de las llantas dobles.”

“Como norma se tendrá que la primera marca “adicional” se realizará a una distancia tal que la medida de su deflexión sea la mitad o esté en un rango de 35% al 65% de la deflexión máxima, la segunda marca adicional se tomará al doble de distancia de la primera marca adicional.” (Balarezo Zapata, 2017)

Una vez hechas las marcas adicionales, se activó el extensómetro, se colocó el dial en cero y, mientras el camión se desplazaba lentamente (aproximadamente a 1km/h), se tomaron las medidas conforme la varilla adosada en la parte trasera del camión vaya coincidiendo con las distancias de la primera y segunda marca adicional; en cada punto se tomaron las lecturas hasta que el camión se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo y que el indicador del dial ya no presentaba movimiento.

Imagen 35 Procedimiento de medición de la deflexión



Fuente: (Hoffman & Del Águila, 1985) (Balarezo Zapata, 2017)

Así mismo, para calcular el radio de curvatura se utilizó la siguiente fórmula:

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

RC = Radio de Curvatura en metros

D0 = Deflexión recuperable en el eje vertical de la carga, en centésimas de mm para la temperatura estándar de 20°C

D25 = Deflexión recuperable en el eje vertical de la carga, en centésimas de mm para la temperatura estándar de 25°C

Para efectuar el análisis estadístico de los resultados, se determinó la deflexión característica, para lo cual es necesario utilizar las siguientes fórmulas:

Deflexión media:

$$Dm = \frac{\sum D}{N}$$

Donde:

Dm = Media aritmética de los valores individuales.

D = Valor individual de un ensayo.

N = Número de ensayos individuales.

Desviación Estándar: el cual representa la dispersión de resultados en pavimentos que posean el mismo valor medio Dm.

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{\sum(D-Dm)^2}{N-1}\right)}$$

Coefficiente de Variación porcentual:

$$Cv = \frac{\sigma}{Dm} * 100$$

“La σ corresponde a la distorsión de resultados que posean el mismo valor medio Dm, de deflexión. El valor Cv, indica un mayor o

menor grado de dispersión, aún para un distinto valor medio.”
(Amasifuen Caro & Mendez García, 2020)

Deflexión Característica:

$$D_c = (D_m + t * \sigma)$$

“En la División de Carreteras de California se considera trabajar con el 80% percentil, mientras que el Instituto del Asfalto y Canadá recomiendan usar el 98% a lo cual le corresponde una D_c igual a $(D_m + 2 s)$. El método CONREVIAl adopta un valor de D_c igual a $(D_m + 1.645 s)$ que corresponde al 95% de probabilidad de diseño, superada sólo por el 5% de las determinaciones efectuadas.” (Amasifuen Caro & Mendez García, 2020)

Deflexión Admisible

$$D_{adm} = \left(\frac{1.15}{N} \right)^{1/4}$$

Donde:

N = Número de ejes estándar equivalentes de 8.2 toneladas acumulados en el período de diseño.

D_{adm} = Deflexión característica admisible en mm.

Como valor de N, se tomó en consideración el valor de diseño original, 3.21×10^5 , obtenido a partir de los antecedentes de la investigación, los cuales se muestran a continuación:

Imagen 36 Información para el cálculo de ejes equivalentes - diseño geométrico de la Carretera Iquitos - Nauta



MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES,
VIVIENDA Y CONSTRUCCION

MTC
D.G.C.-D.R. INFRAESTRUCTURA V.
CERTIFICADO: Que el presente documento
es copia fiel del original

0014

Eco. NANCY MONTUFRAN FLORES
FEDATARIO SUPLENTE
R.D. N° 859-2001-MTC/15.17
Reg. 20.200.7

Resultando en este caso por la condiciones señaladas poco relevante como parámetro para el diseño de Pavimentos, más aún cuando no existe registro sistemático de los datos de vehículos que transitan por la carretera.

Por las razones expuestas se ha visto conveniente la aplicación de Métodos Aproximados para el Análisis de Tráfico, empleándose el desarrollado por la T.R.B. para Carreteras de Bajo de Volumen de Tráfico en el manual "Synthesis 4. Structural Design of Low Volume Roads", donde el TPD es afectado por un factor (M) de tráfico mixto de acuerdo a tres categorías de porcentaje de camiones (bajo, medio y alto) y tres categorías de carga (ligero, medio y pesado).

Los valores del Factor de Tráfico Mixto, están tabulados en el siguiente cuadro:

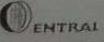
CUADRO N° 02

Distribución de Carga (N _{8.2} por Camión)	Porcentaje de Camiones		
	Bajo (Menos de 15%)	Medio (15% - 25%)	Alto (Más de 25%)
Ligero (menos de 0.75)	9	18	27
Medio (0.75 - 1.5)	23	46	69
Pesado (más de 1.5)	37	73	110

Una vez estimado el tráfico M, el cálculo del Número de Ejes Equivalentes a 8.2 Ton previsto durante el período de diseño, en función de la tasa de crecimiento, se realiza en forma convencional.

Para el cálculo del Número de Ejes Simple Equivalentes durante el período de diseño considerado se dispone de la siguiente información:

- Tráfico promedio diario (asumido) : 380 Veh /día
- Tasas de crecimiento : 4%
- Período de Diseño : 10 años



OFICINA CENTRAL

Av. Túpac Amaru N° 1590 - Rimac, Telf : 481 - 3707 Fax : 481-0677

Fuente: (Amasifuen Caro & Mendez García, 2020)

Imagen 37 Cálculo de ejes equivalentes - diseño geométrico de la Carretera Iquitos – Nauta

247

0015



MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES,
VIVIENDA Y CONSTRUCCION

MTC
D.G.C. INFRAESTRUCTURA Vial
CERTIFICA que el presente documento
es copia fiel del original

Eco. NANCY MONTUFAR PINTO
FEDATARIO SUPLENTE
R.D. N° 859-2001-MTC/15.17
Reg. 020 - 2002

Para entrar al Cuadro N°02 se deben definir las características del tráfico en función de los parámetros y rangos establecidos, considerándose en este caso:

- Porcentajes de Camiones : Alto (más de 25%)
- Distribución de Cargas : Medio

El Factor de Tráfico que corresponde será entonces $M = 69$.

El Número de Repeticiones Total Acumulado de Ejes Simples Equivalentes a 8.2 Ton ($EAL_{8.2}$) durante el periodo de diseño se calcula con la siguiente expresión:

$$EAL_{8.2} (n \text{ años}) = (TPD \times M) \times \frac{[(1+i)^n - 1]}{\ln(1+i)}$$

Donde:

- TPD : Tráfico Promedio Diario
- M : Factor de Composición de Tráfico
- i : Tasa de Crecimiento
- n : Periodo de diseño

Reemplazando la información disponible:

$$EAL_{8.2} (10 \text{ años}) = (380 \times 69) \times \frac{[(1+0.04)^{10} - 1]}{\ln(1+0.04)}$$

$$EAL_{8.2} (10 \text{ años}) = 3.21 \times 10^5 \text{ repeticiones}$$

$$EAL_{8.2} (10 \text{ años}) = 3.21 \times 10^5 \text{ repeticiones}$$

3.0 DISEÑO DEL PAVIMENTO

El pavimento es la capa o conjunto de capas de materiales apropiados, comprendidos entre la superficie de la Subrasante y la Superficie de Rodadura, cuyas principales funciones son las de proporcionar una superficie uniforme de textura apropiada, resistentes a la acción del tráfico, intemperismo y de otros agentes



LABORATORIO CENTRAL

Av. Tupac Amaru N° 1590 - Rimac, Telf : 481 - 3707 Fax : 481 0677

Fuente: (Amasifuen Caro & Mendez García, 2020)

b. Medición de la rugosidad (MERLIN)

Procedimiento de campo

Para la toma de datos, mediante el equipo MERLIN, se llevaron a cabo los siguientes pasos:

a) Calibración inicial del equipo MERLIN

Imagen 38 Calibración del equipo MERLIN



Fuente: (Corros B., Ernesto, & Gustavo, 2009)

b) Ejecución del ensayo

En primer lugar, se seleccionaron los tramos del estudio dividiendo la muestra en 5 sub tramos, de 400 m de longitud cada uno. Posteriormente se tomaron 200 mediciones estacionando el equipo a intervalos regulares cada 2 m. de separación, tomando como referencia la circunferencia de la rueda del MERLIN.

Interpretación de los Datos según MERLÍN (Criterio Ecuación Original)

El TRANSPORTATION ROAD RESEARCH LABORATORY (TRRL) de Inglaterra al desarrollar el Equipo MERLÍN indicó la siguiente ecuación:

$$IRI = 0.593 + 0.0471 * D \quad (2.4 < IRI < 15.9)$$

Donde:

D: "Representa la Dispersión de los datos obtenidos con el equipo MERLÍN (Valor Merlín), agrupados en intervalos de frecuencia y analizados en base a la distribución de frecuencias de las lecturas o posiciones adoptadas por el puntero. Dichos datos originalmente fueron representados en un histograma de frecuencia. A continuación, citamos algunas referencias que ilustran sobre la elaboración e interpretación del citado histograma."

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Ensayos no destructivos en el Pavimento

4.1.1. Ensayo de Viga Benkelman

Tabla 3 Lecturas en campo, obtenidas mediante el ensayo de Viga Benkelman

	Estacion	Lectura de Campo				TEMP °C
		L O		L25		
		L. Inicial	L. Final	L. Inicial	L. Final	
1	20+500	2.28	2.11	4.90	4.82	34.70
2	20+600	6.16	6.00	7.97	7.90	37.30
3	20+700	4.70	4.59	5.99	5.93	50.90
4	20+800	5.10	5.02	6.70	6.67	45.70
5	20+900	2.69	2.57	5.32	5.27	47.72
6	21+000	1.70	1.53	3.83	3.74	45.40
7	21+100	2.94	2.80	3.76	3.63	43.50
8	21+200	0.85	0.76	0.61	0.53	44.50
9	21+300	0.79	0.75	1.10	1.08	44.80
10	21+400	2.13	1.95	3.16	3.09	44.70
11	21+500	1.22	1.06	3.12	3.06	41.60
12	21+600	3.70	3.55	4.88	4.82	39.00
13	21+700	6.52	6.34	6.53	6.40	39.60
14	21+800	2.02	1.90	3.60	3.53	40.00
15	21+900	1.43	1.28	3.44	3.40	40.30
16	22+000	2.04	1.86	3.57	3.51	43.00
17	22+100	1.93	1.76	3.97	3.90	37.30
18	22+200	2.19	2.09	3.86	3.78	45.70
19	22+300	7.70	7.39	8.62	8.56	40.50
20	22+400	4.24	4.14	5.84	5.76	42.20
21	22+500	1.78	1.68	3.43	3.40	39.00

Tabla 4 Medición de las deflexiones y radio de curvatura

	Estacion	L0 (mm)	Deflexión bajo el eje de la carga		Deflexión a 25 cm del eje de la carga		Radio de curvatura RC (m)	TEMP °C
			D0 (mm)	L25 (mm)	D25 (mm)			
1	20+500	0.17	0.68	0.08	0.32	8.68	34.70	
2	20+600	0.16	0.64	0.07	0.28	8.68	37.30	
3	20+700	0.11	0.44	0.06	0.24	15.63	50.90	
4	20+800	0.08	0.32	0.03	0.12	15.63	45.70	
5	20+900	0.12	0.48	0.05	0.20	11.16	47.72	
6	21+000	0.17	0.68	0.09	0.36	9.77	45.40	
7	21+100	0.14	0.56	0.13	0.52	78.12	43.50	
8	21+200	0.09	0.36	0.08	0.32	78.12	44.50	
9	21+300	0.04	0.16	0.02	0.08	39.06	44.80	
10	21+400	0.18	0.72	0.07	0.28	7.10	44.70	
11	21+500	0.16	0.64	0.06	0.24	7.81	41.60	
12	21+600	0.15	0.60	0.06	0.24	8.68	39.00	
13	21+700	0.18	0.72	0.13	0.52	15.63	39.60	
14	21+800	0.12	0.48	0.07	0.28	15.63	40.00	
15	21+900	0.15	0.60	0.04	0.16	7.10	40.30	
16	22+000	0.18	0.72	0.06	0.24	6.51	43.00	
17	22+100	0.17	0.68	0.07	0.28	7.81	37.30	
18	22+200	0.10	0.40	0.08	0.32	39.06	45.70	
19	22+300	0.31	1.24	0.06	0.24	3.12	40.50	
20	22+400	0.10	0.40	0.08	0.32	39.06	42.20	
21	22+500	0.10	0.40	0.03	0.12	11.16	39.00	

Tabla 5 Resumen Estadístico correspondiente al carril derecho

RESUMEN ESTADÍSTICO CARRIL DERECHO					
PROGRESIVA (KM)		DESVIACIÓN ESTANDAR	DEFLEXIONES (10 ⁻²) mm		
			Promedio	Característica	Admisible
20+500	22+500	0.219	56.76	92.78	77.37

Imagen 39 Deflectograma del tramo de estudio (medición de deflexiones)

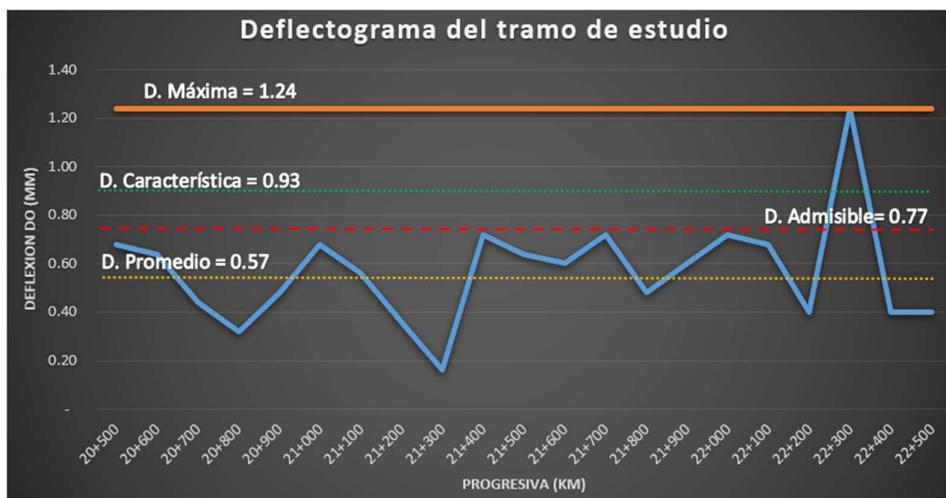


Tabla 6 Resumen Estadístico de las deflexiones correspondiente al carril derecho

CARPETA ASFÁLTICA							
PROGRESIVA (KM)		DESVIACIÓN ESTANDAR	DEFLEXIONES (10 ⁻²) mm				
			Promedio	Característica	Máximo	Mínimo	CV
20+500	22+500	0.2	56.8	92.8	124.00	16.00	0.39

Tabla 7 Resumen Estadístico de radios de curvatura

CARPETA ASFÁLTICA							
PROGRESIVA (KM)		DESVIACIÓN ESTANDAR	RADIO DE CURVATURA (m)				
			Promedio	Característica	Máximo	Mínimo	CV
20+500	22+500	21.97	20.64	56.79	78.12	3.12	106.44

4.1.2. IRI (Índice Internacional de Rugosidad)

Tabla 8 Cálculo del IRI para el tramo km 20 + 500 – 20 + 900

PROGRESIVA INICIAL:	20+500.00	PROGRESIVA FINAL:	20+900.00	LONGITUD:	400.00 metros	Certificado N°
CAPA:	CONCRETO ASFALTICO	CARRIL:	DERECHO	FECHA:	08-ago-23	Informe Mensual N°
TECNICO:	OBS:					

DETERMINACION DE RUGOSIDAD POR EL METODO MERLIN

LECTURAS CAMPO																			
38	28	4	33	50	45	50	31	50	1	21	19	23	25	24	24	23	24	22	21
32	34	15	13	37	25	25	28	23	22	24	20	24	23	23	24	25	19	22	
26	26	27	34	30	20	27	26	26	32	22	19	23	23	25	19	19	19	20	24
23	29	22	33	23	30	27	25	22	24	21	19	18	21	19	18	22	20	19	20
27	25	23	24	26	24	25	29	28	26	22	19	23	23	25	25	17	18	22	24
27	35	22	30	25	31	36	31	26	26	24	20	19	21	23	21	24	20	20	22
23	27	22	37	24	21	30	34	30	28	23	18	22	19	23	22	17	21	17	18
26	24	18	22	30	24	36	28	25	28	23	22	24	25	24	24	21	23	23	25
26	28	25	25	33	27	24	33	30	30	23	25	20	20	20	23	21	18	16	21
24	35	21	32	20	19	23	29	30	24	23	18	21	22	18	23	23	18	22	24

FACTOR DE CORRECCION	F.C. =	1.0000
----------------------	--------	---------------

CALCULO DE "D"	
$D = (CI + CE + CD) \times 5$	
DESCARTANDO 10 VALORES CADA COLA DEL HISTOGRAMA	
HISTOGRAMA: CI = COLA IZQUIERDA CE = CENTRO CD = COLA DERECHA	

CALCULO DEL "IRI"	
D >= 38.37 mm	D < 38.37 mm
IRI = 0.593 + 0.0471 x D	IRI = 0.0485 x D

	COLA IZQUIERDA (CI)	CENTRO (CE)	COLA DERECHA (CD)
FRACCIONES RESULTANTES	0.80	16	0.50
SUMA FRACCIONES (CI + CE + CD)	17.30		
D	86.50		
IRI	4.67		

COMENTARIOS	
Para el cálculo del IRI se está utilizando la fórmula:	
$IRI = 0.593 + 0.0471 \times D$	

LECTURAS CON RUGOSIMETRO MERLIN	
HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS	
FRECUENCIAS	
LECTURAS	
1 1	X
0 2	
0 3	
1 4	X
0 5	
0 6	
0 7	
0 8	
0 9	
0 10	
0 11	
0 12	
1 13	X
0 14	
1 15	X
1 16	X
3 17	XXX
10 18	XXXXXXXXXX
13 19	XXXXXXXXXXXX
12 20	XXXXXXXXXXXX
13 21	XXXXXXXXXXXX
18 22	XXXXXXXXXXXXXXXXXX
25 23	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
23 24	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
18 25	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
10 26	XXXXXXXXXXXX
7 27	XXXXXXX
7 28	XXXXXXX
3 29	XXX
9 30	XXXXXXXXXX
3 31	XXX
3 32	XXX
4 33	XXXXX
3 34	XXX
2 35	XX
2 36	XX
2 37	XX
1 38	X
0 39	
0 40	
0 41	
0 42	
0 43	
0 44	
1 45	X
0 46	
0 47	
0 48	
0 49	
3 50	XXX

Tabla 12 Cálculo del IRI para el tramo km 22 + 100 – 22 + 500

PROGRESIVA INICIAL:	22+100.00	PROGRESIVA FINAL:	22+500.00	LONGITUD:	400.00 metros	Certificado N°
CAPA:	CONCRETO ASFALTICO	CARRIL:	DERECHO	FECHA:	08-ago-23	Informe Mensual N°
TECNICO:		OBS:				

DETERMINACION DE RUGOSIDAD POR EL METODO MERLIN

LECTURAS CAMPO																			
25	31	23	26	29	26	27	22	26	24	23	20	23	22	19	20	25	19	23	18
27	30	29	27	19	23	27	26	22	28	22	24	20	22	22	20	18	25	23	24
25	18	24	25	23	24	26	25	32	33	23	22	20	21	23	25	22	22	19	
35	18	26	29	26	27	25	26	30	30	22	23	20	18	21	24	20	20	24	18
37	19	16	23	23	24	23	18	20	35	23	22	21	22	25	21	19	24	22	20
20	30	25	24	18	27	28	34	28	28	21	24	20	20	24	21	22	22	21	17
30	30	36	24	17	21	32	24	21	27	25	24	18	20	25	23	18	21	18	23
27	29	24	27	27	22	31	25	24	32	20	18	25	20	21	24	19	22	25	23
16	26	31	12	19	30	22	46	3	35	20	22	18	22	25	23	19	20	24	17
50	50	20	42	20	29	32	18	20	27	23	24	21	22	19	19	24	22	24	20

FACTOR DE CORRECCION	F.C. =	1.00000
----------------------	--------	----------------

CALCULO DE "D"	
$D = (CI + CE + CD) \times 5$	
DESCARTANDO 10 VALORES CADA COLA DEL HISTOGRAMA	
HISTOGRAMA: CI = COLA IZQUIERDA CE = CENTRO CD = COLA DERECHA	

CALCULO DEL "IRI"	
$D \geq 38.37 \text{ mm}$	$D < 38.37 \text{ mm}$
$IRI = 0.593 + 0.0471 \times D$	$IRI = 0.0485 \times D$

	COLA IZQUIERDA (CI)	CENTRO (CE)	COLA DERECHA (CD)
FRACCIONES RESULTANTES	0.79	15	0.00
SUMA FRACCIONES (CI + CE + CD)	15.79		
D	78.93		
IRI	4.31		

COMENTARIOS	
Para el cálculo del IRI se está utilizando la fórmula:	
$IRI = 0.593 + 0.0471 \times D$	

LECTURAS		LECTURAS CON RUGOSIMETRO MERLIN	
FRECUENCIAS	LECTURAS	HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS	
0	1		
0	2		
1	3	X	
0	4		
0	5		
0	6		
0	7		
0	8		
0	9		
0	10		
0	11		
1	12	X	
0	13		
0	14		
0	15		
2	16	XX	
3	17	XXX	
14	18	XXXXXXXXXXXXXXXXXX	
11	19	XXXXXXXXXXXXXXXXXX	
22	20	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	
12	21	XXXXXXXXXXXXXXXXXX	
22	22	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	
20	23	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	
22	24	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	
16	25	XXXXXXXXXXXXXXXXXX	
9	26	XXXXXXXXXX	
11	27	XXXXXXXXXXXX	
4	28	XXXX	
5	29	XXXXX	
7	30	XXXXXXXXXX	
3	31	XXX	
4	32	XXXX	
1	33	X	
1	34	X	
3	35	XXX	
1	36	X	
1	37	X	
0	38		
0	39		
0	40		
0	41		
1	42	X	
0	43		
0	44		
0	45		
1	46	X	
0	47		
0	48		
0	49		
2	50	XX	

Tabla 13 Cálculo del IRI promedio para el tramo de estudio km 20 + 500 – 22 + 500

RESUMEN CÁLCULO DE IRI			
N°	TRAMO		IRI
1	20+500.00 - 20+900.00		4.67
2	20+900.00 - 21+300.00		3.57
3	21+300.00 - 21+700.00		4.74
4	21+700.00 - 22+100.00		3.54
5	22+100.00 - 22+500.00		4.31
IRI promedio			4.16

4.2. Discusión de los Resultados

En base a los parámetros establecidos en el Manual de Carreteras: sección Suelos y pavimentos, se analizaron los resultados obtenidos a partir de los ensayos realizados en la carretera Iquitos – Nauta, tramo km 20.5 al km 22.5.

Respecto a los resultados obtenidos en las tablas 4, 5, 6 y 7, donde se muestra que la $D_{adm} = 77.37 \times 10^{-2}$ mm y la $D_c = 92.78 \times 10^{-2}$ mm, se puede indicar que la deflexión admisible es menor que la deflexión característica en el tramo de estudio; por lo que, en base a lo indicado en la imagen 32 Análisis combinado de los resultados de la evaluación estructural, el pavimento puede o no presentar fallas de origen estructural, y se sitúa entre 3 posibles casos.

En el primer caso, bajo el supuesto que no existan fallas de origen estructural, se puede concluir que la estructura ha sido infra diseñada para el tráfico previsto; por lo cual necesita refuerzo estructural con urgencia para resistir el tráfico previsto.

En el segundo caso, de existir falla estructural, y no presentar una capa débil inmediata debajo de las capas asfálticas, se indica que las fallas corresponden a otras causas, tales como la falta de reforzamiento estructural oportuno.

En el tercer caso, de existir fallas estructurales y un radio de curvatura menor o igual a 80 m, el pavimento presenta una capa débil subyacente a la asfáltica, la cual determina que la deformación de esta última bajo cargas no encuentra apoyo suficiente y sea mayor a la que correspondería en ausencia del espesor débil.

Al tener como radio de curvatura valores menores a 80 m, siendo el radio de curvatura promedio 20.64 m, se concluye que el tramo evaluado corresponde al tercer caso de análisis, lo que implica que las deformaciones existentes son mayores y es necesario efectuar el refuerzo estructural en la carpeta asfáltica, quedando así demostradas las hipótesis del presente estudio.

Al comparar los resultados obtenidos en la presente investigación con otros similares, se puede indicar que los valores obtenidos por Amasifuén y Méndez, en su tesis “Evaluación estructural de pavimento por el método no destructivo, realizada en el tramo Km. 16+300 al km. 17+800 de la Carretera Iquitos – Nauta”, respecto al estudio de las deflexiones, son 59.72×10^{-2} mm para la deflexión característica y 137.58×10^{-2} mm para la deflexión admisible, clasificando el estado del tramo del pavimento estudiado en el quinto caso del análisis combinado de los resultados de la evaluación estructural (imagen 32).

Así mismo, respecto a la ubicación de las deformaciones, ellos indican que al tener diámetros mayores a 100, se puede señalar que las deformaciones se dan en la subrasante, y el pavimento se encuentra en buen estado, así mismo, en los resultados que presentan indican que “los radios de curvatura son pequeños cuando la mayor parte de la deflexión se produce en las capas superiores (pavimento)”, por lo que se puede

concluir que el estado del pavimento en la investigación efectuada no es “satisfactorio” y presenta deformaciones.

Así mismo, el estudio realizado por Peña y Sajamí en el año 2019, titulado “Evaluación deflectométría del pavimento existente en la carretera Santa Clara entre los centros poblados de Rumococha y Santa Clara, distrito de San Juan Bautista – Maynas – Loreto, 2019” muestra resultados similares a los de Amasifuén y Méndez, teniendo como valores para la deflexión admisible 137.586×10^{-2} mm y para la deflexión característica 12.96×10^{-2} , llegando a la conclusión de que “el pavimento presenta o no presenta un adecuado comportamiento estructural, soportando así las solicitaciones de cargas para la cual fue diseñada, y también tiene un radio de curvatura amplio, lo que indica que es adecuado para el periodo de diseño.”

Respecto a los resultados obtenidos con el MERLIN, se puede indicar que el índice de rugosidad promedio (IRI Promedio) es 4.16, lo cual dentro de la escala de Rugosidad IRI (imagen 29), indica que el pavimento presenta imperfecciones superficiales, así mismo, este valor se encuentra ligeramente por encima del valor de Rugosidad Característica Durante el período de servicio indicado por el Manual de carreteras (2013), y que se puede visualizar en la imagen 30 del presente estudio; por lo que se concluye que las fallas identificadas con este ensayo muestran que el estado del pavimento es aceptable.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- De las lecturas obtenidas, usando la viga Benkelman, se ha calculado los valores para las deflexiones admisibles y característica, siendo estos $D_{adm} = 77.37 \times 10^{-2}$ mm, y la $D_c = 92.78 \times 10^{-2}$ mm respectivamente. Así mismo, se determinó los valores para la deflexión mínima, máxima y

promedio, las cuales tienen como valores 16×10^{-2} mm, 124×10^{-2} mm y 56.76×10^{-2} mm respectivamente.

- Los valores del radio de curvatura, calculados a partir de la información obtenida usando la viga Benkelman son 20.64 m y 56.79 m, respectivamente para el radio de curvatura promedio y el radio de curvatura característico. Así mismo, el radio de curvatura máximo calculado es 78.12 m, mientras que el radio de curvatura mínimo obtenido es 3.12 m.
- Los valores obtenidos como IRI, para los 5 tramos de 400 m cada uno, son 4.67, 3.57, 4.74, 3.54 y 4.31. Así mismo, el IRI promedio calculado es 4.16, este valor indica que el pavimento del tramo de la carretera Iquitos - Nauta estudiado presenta imperfecciones superficiales.
- En base a los valores obtenidos y al análisis efectuado, cuando el radio de curvatura es menor que 100 m, se concluye que el estado del pavimento en la investigación efectuada no es “satisfactorio” y presenta deformaciones en las capas superiores (pavimento), al tener valores de radio de curvatura entre 3.12 y 78.12m, se concluye que el pavimento requiere refuerzo estructural en la carpeta asfáltica, quedando demostrada las hipótesis planteadas en la presente investigación.
- A partir del análisis combinado de los resultados de la evaluación estructural se concluye que el tramo estudiado se encuentra dentro del caso N°03, por lo que el pavimento presenta una capa débil subyacente a la asfáltica, la cual determina que la deformación de esta última bajo cargas no encuentra apoyo suficiente y sea mayor a la que correspondería en ausencia del espesor débil.

5.2. Recomendaciones

- Es recomendable efectuar una evaluación periódica en los diferentes tramos de la carretera Iquitos - Nauta, a fin de poder determinar las causas de la variación en la deflexión admisible calculada en los estudios comparados.

- Así mismo, se recomienda realizar la evaluación estructural del pavimento en la Carretera Iquitos – Nauta, en los tramos que presenten fallas superficiales, a fin de descartar la presencia de fallas estructurales y se efectúe el mantenimiento preventivo correspondiente.
- Se recomienda realizar nuevos trabajos de investigación sobre la evaluación estructural del pavimento y/o evaluación funcional, en el tramo de estudio y en otros tramos de la carretera Iquitos – Nauta, a fin de determinar la serviciabilidad del pavimento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amasifuen Caro, J. C., & Mendez García, S. (2020). "EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO DE LA CARRETERA IQUITOS - NAUTA CON VIGA BENKELMAN, TRAMO KM 16+300 - KM 17+800". Iquitos, Perú.
- Balarezo Zapata, J. I. (2017). *Evaluación Estructural usando Viga Benkelman aplicada a un pavimento*. Piura: Universidad de Piura.
- Corros B., M., Ernesto, U. P., & Gustavo, C. M. (2009). *Manual de evaluación de pavimentos, Maestría en vías terrestres - módulo III (Diseño de pavimentos I - Evaluación de Pavimentos)*. Venezuela: Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Tecnología de la Construcción.
- Garnica Anguas, P., Gómez López, J., & Sesma Martínez, J. (2002). *Mécanica de materiales para pavimentos* (Vol. 197). Sanfandila, Qro: Instituto Mexicano del Transporte.
- Hernández Cáceres, J. C. (2018). "DETERMINAR EL ÍNDICE DE RUGOSIDAD IRI Y DESARROLLAR UN MANUAL PARA EL EQUIPO MERLÍN". Bolivia.
- Hoffman, M. S., & Del Águila, P. M. (1985). *Estudios de Evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones (ensayos no destructivos)*.
- Huilcapi Baldeón, V. L., & Pucha Rojas, K. M. (2015). "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS DE EVALUACIÓN FUNCIONAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LAS VÍAS GARCIA MORENO Y PANAMERICANA SUR DEL CANTÓN COLTA - PROVINCIA DE CHIMBORAZO". Riobamba, Ecuador.

- Jinchuñá Alanoca, M. S. (2020). "EVALUACIÓN POR DEFLECTOMETRÍA Y LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN LA AV. BILLINGHURST, TRAMO: AV. BOLOGNESI - AV. TARAPACA - TACNA, 2019". Tacna, Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Carreteras: Ensayos de Materiales*. MTC.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, I.-I. d. (2013). *MANUAL DE CARRETERAS: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos*. Lima, Peru.
- Peña Ruíz, J. E., & Sajami Panaifo, A. G. (2019). "EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA DEL PAVIMENTO EXISTENTE EN LA CARRETERA SANTA CLARA ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE RUMOCOCHA Y SANTA CLARA, DISTRITO DE SAN JUAN BAUTISTA - MAYNAS - LORETO, 2019". Loreto, Perú.
- Reglamento Nacional de Edificaciones. (2010). *Norma CE. 010 Pavimentos Urbanos*.
- Ríos Álvarez, E. H. (2017). "EVALUACIÓN DE FALLAS ESTRUCTURALES DEL PAVIMENTO FLEXIBLE POR MÉTODOS NO DESTRUCTIVOS EN LA CARRETERA PUNO - ILAVE, REGIÓN PUNO". Juliaca, Perú.
- Silva Lucero, J. J. (2019). "EVALUACIÓN VISUAL Y ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA URBANIZACIÓN LOS JARDINES, BARRANCA -2017". Huaráz, Perú.

ANEXO N° 01

Anexo 01: PANEL FOTOGRÁFICO DE LOS ENSAYOS REALIZADOS.

A. ENSAYO DE DEFLECTOMETRÍA CON VIGA BENKELMAN



Fotografía 1: Pesaje de Ejes Posteriores



Fotografía 2 Medición y Trazado de Línea Transversal para cada Punto de Ensayo



Fotografía 3 Colocación de la Viga en el Punto de Ensayo



Fotografía 4 Ajustes de Tornillos para la toma de datos



Fotografía 5 Verificación de los Diales antes de iniciar la Marcha del Camión



Fotografía 6 Marcha del Camión y Toma de lecturas



Fotografía 7 Toma de Temperatura del pavimento en cada punto de ensayo



Fotografía 8 Medición de la distancia entre un punto a otro utilizando un flexómetro



Fotografía 9 Medición de Presión de las llantas

B. ENSAYO DE RUGOSIMETRO MERLIN



Fotografía 10 Ajuste de las pastillas para la calibración del Rugosímetro



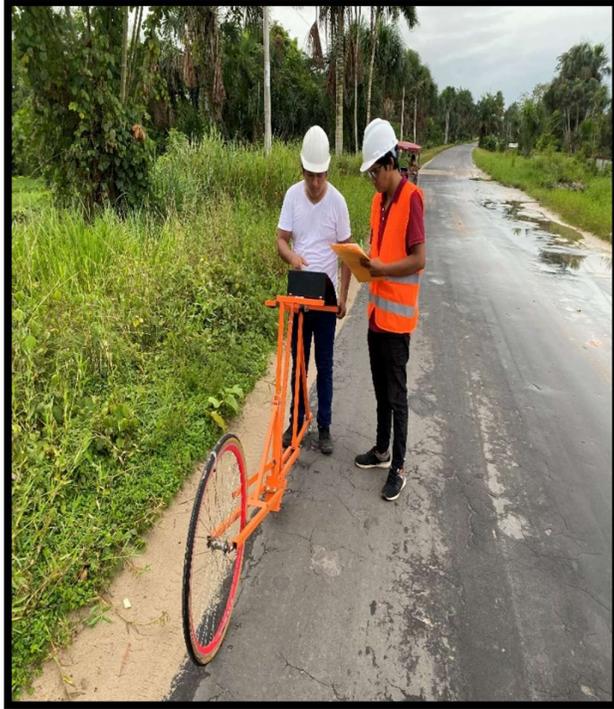
Fotografía 11 Toma de Datos por cada vuelta de la rueda



Fotografía 12 Toma de Datos por cada vuelta de la rueda



Fotografía 13 Toma de Datos en el tramo de estudio Carretera Iquitos Nauta Km 20.5 – 22.5



Fotografía 14 Toma de Datos en el tramo de estudio Carretera Iquitos Nauta Km 20.5 – 22.5



Fotografía 15 Toma de Datos en el tramo de estudio Carretera Iquitos Nauta Km 20.5 – 22.5