



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**EVALUACIÓN DE CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y ESTADO DE
TRANSITABILIDAD MEDIANTE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL
PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA JULI - SANTIAGO
MUCHO, JULI 2024**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. TONNY WILLIANS MAMANI NAVARRO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2024



TONNY WILLIAMS MAMANI NAVARRO

EVALUACIÓN DE CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y ESTADO DE TRANSITABILIDAD MEDIANTE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL

Universidad Nacional del Altiplano

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::8254:416560566

153 Páginas

Fecha de entrega

16 dic 2024, 10:41 a.m. GMT-5

27,912 Palabras

Fecha de descarga

16 dic 2024, 10:44 a.m. GMT-5

158,825 Caracteres

Nombre de archivo

TESIS MAMANI NAVARRO 1.pdf

Tamaño de archivo

3.7 MB

VoBo:

Ing. Jaime Medina Leiva
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 910545
SUBDIRECCIÓN UNV RIC

16 dic 2024

Ing. Emilio Castillo Aroni
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 920514





13% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 11% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 8% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

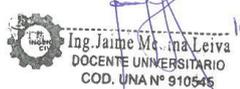
N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.


 Ing. Emilio Castillo Aroni
 DOCENTE UNIVERSITARIO
 COD. UNA Nº 920514

VOB: 

 Ing. Jaime María Leiva
 DOCENTE UNIVERSITARIO
 COD. UNA Nº 910546
 SUBDIRECTOR INVEST. UNA EPIC

16 dic 2024





DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios, por ser mi guía y mi refugio, por darme la fortaleza y sabiduría necesarias para superar cada desafío en este camino. A Él le agradezco por iluminar mis pasos y por rodearme de personas valiosas que me inspiran cada día.

A mi madre, Máxima Navarro Juli mi mayor inspiración y fortaleza, quien con su amor incondicional y entrega me ha apoyado incluso en las adversidades, cuando las circunstancias parecían insuperables. Gracias, mamá, por creer en mí y brindarme el impulso para llegar hasta aquí. Esta vida no me alcanzará para retribuir todo lo que me has dado, y cada logro mío lleva también tu nombre.

Dedico este proyecto con profunda gratitud, sabiendo que es solo una pequeña muestra del inmenso amor y respeto que siento por ustedes.

Tonny Willians Mamani Navarro



AGRADECIMIENTO

Deseo manifestar mi más sincero y profundo agradecimiento a las personas que, de diversas maneras, han colaborado en la elaboración de esta tesis.

En primer lugar, expreso mi gratitud a la Universidad Nacional del Altiplano, así como a la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura y a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por ofrecerme la formación académica y profesional que ha sido fundamental para lograr este objetivo.

Mi gratitud especial es para mí director y asesor de tesis, Emilio Castillo Aroni, quien, con su orientación, paciencia y apoyo constante, ha sido un pilar fundamental en cada etapa de esta investigación. Sus valiosas sugerencias y comentarios fueron cruciales para cumplir los objetivos planteados.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a los honorables miembros del jurado, Ing. Edgar Vidal Hurtado Chavez, Ing. César Guerra e Ing. Gleny De La Riva, por el tiempo, esfuerzo y dedicación que han invertido con la evaluación de mi proyecto de tesis. Sus valiosos comentarios y sugerencias han sido imprescindible para el desarrollo de mi proyecto, proporcionándome una perspectiva enriquecedora.

Tonny Willians Mamani Navarro



INDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
INDICE GENERAL	
INDICE DE TABLAS	
INDICE DE FIGURAS	
INDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	18
ABSTRACT	19
CAPITULO I	
INTRODUCCION	
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	23
1.2.1 Problema general	23
1.2.2 Problemas específicos.....	23
1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	23
1.3.1 Hipótesis General.....	23
1.3.2 Hipótesis Específicas	24
1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	24
1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	26
1.5.1 Objetivo general.....	26
1.5.2 Objetivos específicos	26
1.5.3 Operacionalización de las variables.....	26



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION	29
2.1.1	Antecedentes internacionales.....	29
2.1.2	Antecedentes nacionales.....	32
2.1.3	Antecedentes regionales	37
2.2	MARCO TEORICO.....	39
2.2.1	Pavimento	39
2.2.2	Tipos de pavimento.....	40
2.2.2.1	Pavimentos Flexibles	40
2.2.2.2	Pavimentos Rígidos	45
2.2.2.3	Pavimentos Semirrígidos	46
2.2.2.4	Pavimentos Articulados O Modulares	48
2.2.3	Estudio de tránsito	49
2.2.3.1	Volumen de transito.....	50
2.2.3.2	Índice Medio Diario (IMD)	51
2.2.3.3	Clasificación Vehicular	52
2.2.3.4	Periodo de diseño.....	53
2.2.3.5	Carril de diseño.....	54
2.2.3.6	Crecimiento del Transito	56
2.2.3.7	Estimación del ESAL	58
2.2.3.8	Factor de Equivalencia de Carga	59
2.2.3.9	Factor Camión	61
2.2.3.10	Determinación del número de Ejes Equivalentes	63
2.2.4	Evaluación de pavimentos	64



2.2.4.1 Evaluación Superficial de Pavimentos	65
2.2.4.2 Evaluación Estructural de Pavimentos	69
2.2.5 La viga benkelman.....	71
2.2.5.1 Partes de la viga venkelman	73
2.2.5.2 Equipo requerido	74
2.2.5.3 Procedimiento de Campo.....	75
2.2.5.4 Cómputo de las deflexiones.....	81
2.2.5.5 Radio de Curvatura	82
2.2.5.6 Deflexión Característica	83
2.2.5.7 Deflexión Admisible.....	84
2.2.5.8 Deflexión Critica	85
2.2.5.9 Análisis	85
CAPITULO III	
MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1 METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.....	89
3.1.1 Tipo de investigación.....	89
3.1.2 Alcance de la investigación	90
3.1.3 Método de investigación.....	90
3.1.4 Ubicación geográfica de estudio.....	90
3.1.5 Población	91
3.1.6 Muestra	92
3.1.7 Estadística	94
3.2 DESCRIPCION DEL TRAMO EN ESTUDIO	94
3.3 ESTUDIO DE TRANSITO.....	95
3.3.1 Cómputo del índice medio diario anual.....	95



3.3.2	Cómputo esal ejes equivalentes.....	97
3.4	CÓMPUTO DE LAS DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN.....	99
3.4.1	Equipos y materiales.....	100
3.4.2	Método para la medición de deflexiones en campo.....	105
3.4.3	Cómputo de las deflexiones corregidas	114
3.4.3.1	Mediciones efectuadas en el campo	114
3.4.3.2	Cómputo de las deflexiones corregidas	115
3.4.4	Cómputo del Radio de Curvatura	117
3.4.5	Cómputo de la deflexión Característica.....	119
3.4.6	Cómputo de la deflexión Admisible	121
3.4.7	Cómputo de la deflexión Critica.....	122
3.5	TIPO DE INTERVENCION	122
CAPITULO IV		
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		
4.1	RESULTADOS DE LA EVALUACION DE TRANSITO	124
4.2	RESULTADOS DE LA EVALUACION ESTRUCTURAL	125
4.3	CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS.....	128
4.4	ALTERNATIVAS DE SOLUCION	132
4.5	DISCUSION	133
V.	CONCLUSIONES	141
VI.	RECOMENDACIONES	143
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	144
ANEXOS	151



ÁREA: Transporte

TEMA: Evaluación estructural de pavimento

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Transportes y gestión vial

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 27 de diciembre del 2024



INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Operacionalización de la variable “capacidad estructural”	27
Tabla 2 Operacionalización de la variable “Estado de transitabilidad”	27
Tabla 3 Operacionalización de la variable “Cargas de tránsito”	28
Tabla 4 Factor carril y factor direccional para diversos tipos de calzada	55
Tabla 5 Relación entre el tipo de eje y la ecuación para determinar los ejes equivalentes..	61
Tabla 6 Parámetros para realizar ensayo de viga Benkelman en función al ancho de calzada	76
Tabla 7 Tipo de carretera y su ecuación de deflexión característica.	83
Tabla 8 Características del pavimento de acuerdo al tipo de deflexión y Radio de curvatura	86
Tabla 9 Coordenadas UTM tramo en estudio	92
Tabla 10 Puntos de muestra en el tramo	94
Tabla 11 Resumen del Índice Medio Diario Anual	96
Tabla 12 Distancia de ensayo para toma de muestras.....	106
Tabla 13 Mediciones en Campo – Margen Derecho	114
Tabla 14 Mediciones en Campo – Margen Izquierdo.....	115
Tabla 15 Cuadro resumen entre parámetros usados vs deflexión característica.....	121
Tabla 16 Comportamiento de la Subrasante y del pavimento	123
Tabla 17 ESAL calculado	124
Tabla 18 Resumen – Deflexión Característica y Radio de Curvatura	126
Tabla 19 Relación entre la D admisible y la D característica.	127
Tabla 20 Relación entre el valor mínimo y el R.C. radio de curvatura	127
Tabla 21 “Prueba t student para el Objetivo Especifico 1”	129



Tabla 22	“Prueba t student para el Objetivo Especifico 2”	130
Tabla 23	Medidas Correctivas Viga Benkelman	132



INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Estructura típica de Pavimentos Asfálticos.....	41
Figura 2 Estructura típica de Pavimentos Flexibles	45
Figura 3 Estructura típica de Pavimentos Flexibles	46
Figura 4 Estructura típica de Pavimentos Semirrígidos	48
Figura 5 Estructura típica de Pavimentos Articulados	49
Figura 6 Medidas y Cargas admisibles máximas	53
Figura 7 Factores de Equivalencia de Carga	60
Figura 8 Definición de parámetros para determinar el número de EE.....	64
Figura 9 Esquema de la Viga Benkelman	74
Figura 10 Configuración Geométrica de ensayos con la Viga Benkelman.....	79
Figura 11 Esquematación del proceso de medición con la Viga Benkelman.....	80
Figura 12 Formato de campo para recopilación de lecturas con Viga Benkelman	81
Figura 13 Deformada del Pavimento y Radio de Curvatura	82
Figura 14 Características del pavimento de acuerdo al cuenco de deflexiones	87
Figura 15 Análisis Combinado de los Resultados de Evaluación	88
Figura 16 Carretera Juli - Centro Poblado Santiago Mucho	91
Figura 17 Ruta Juli - Centro Poblado Santiago Mucho.....	92
Figura 18 Cómputo del IMDA	96
Figura 19 Cómputo de Ejes Equivalentes por vehículo	98
Figura 20 Cómputo de Ejes Equivalentes por vehículo	99
Figura 21 Cómputo de ESAL para pavimento flexible	99
Figura 22 Herramienta usada en campo Viga Benkelman	101



Figura 23	Herramienta usada en campo Viga Benkelman	101
Figura 24	Certificado de la herramienta Viga Benkelman Calibración	102
Figura 25	Camión de ensayo	103
Figura 26	Cinta métrica.....	104
Figura 27	Equipos de protección personal	105
Figura 28	Medición de todo ancho de calzada	106
Figura 29	Eje longitudinal y guía vertical alineado a la llanta.....	107
Figura 30	Posicionamiento de la Viga en el punto de ensayo alineado	108
Figura 31	Ajuste perpendicular de la Viga Benkelman.....	108
Figura 32	Lectura inicial inicio de tramo de estudio.....	109
Figura 33	Primera lectura (varilla coincide con 1° marca)	110
Figura 34	Lectura a 25 cm (D25)	110
Figura 35	Lectura Final	111
Figura 36	Lectura final del tramo de estudio.....	111
Figura 37	Posición inicial (D_0 = Deflexión máxima)	112
Figura 38	Posición a 25 cm (D25).....	113
Figura 39	Posición final ($D = 0$).....	113
Figura 40	Deflexiones Calculadas – Margen Derecho.....	116
Figura 41	Deflexiones Calculadas – Margen Izquierdo.....	117
Figura 42	Radio de Curvatura – Margen Derecho	118
Figura 43	Radio de Curvatura – Margen Izquierdo.....	118
Figura 44	Esquema del Índice Medio Diario Anual.....	124
Figura 45	Análisis Deflectometrico Margen Derecho.....	125
Figura 46	Análisis Deflectometrico Margen Izquierdo.....	126
Figura 47	Deflectograma – Margen Derecho.....	127



Figura 48 Deflectograma – Margen Izquierdo 128



INDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1 Matriz de Consistencia y operacionalización de las Variables.....	151
ANEXO 2 Estudio de Transito	151
ANEXO 3 Cómputo de las deflexiones con Viga Benkelman	151
ANEXO 4 Certificado de Calibración Viga Benkelman	151
ANEXO 5 Tratamiento Estadístico.....	151
ANEXO 6 Panel Fotográfico	151



ACRÓNIMOS

AASHTO:	American Association of State Highway Transportation
CBR:	California Bearing Ratio
CONREVIAl:	Consorcio de Rehabilitación Vial
EE:	Ejes Equivalentes
ESAL:	Equivalent Single Axle Load
FWD:	Falling Weight Deflectometer
IMDA:	Índice Medio Diario Anual
IMDM:	Índice Medio Diario Mensual
IMDS:	Índice Medio Diario Semanal
MTC:	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
PCI:	Pavement Condition Index
PSR:	Present Serviceability Rating
PSI:	Present Serviceability Index
TDPS:	Trafico Promedio Semanal Diario
CONREVIAl:	Control De Revestimientos Viales



RESUMEN

La red vial es un elemento clave para fomentar el desarrollo económico, social y cultural de una región, lo que exige garantizar la transitabilidad y mantener adecuadas condiciones superficiales y estructurales en las carreteras. La investigación se clasifica como aplicada, de enfoque cuantitativo. Se sitúa en el nivel descriptivo-explicativo y este se caracteriza por tener diseño no experimental y transversal. En la provincia de Chucuito-Juli, específicamente en el pavimento flexible de la Juli-Santiago Mucho, se han identificado diversas patologías, como baches y grietas, que afectan su funcionalidad. En este contexto, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar la capacidad estructural del pavimento flexible de dicha carretera, aplicando el análisis deflectométrica conforme a la normativa peruana (MTC E 1002). Para llevar a cabo este estudio, se realizó un conteo vehicular que permitió identificar las cargas de tránsito actuales, así como la recolección de mediciones de deflexión en el campo utilizando la viga Benkelman, lo que resultó en una deflexión característica de 26.80×10^{-2} mm, que se encuentra por debajo de la deflexión admisible el cual es 35.28×10^{-2} mm. Además, se obtuvo como radio de curvatura de 744.15 m, superior al mínimo requerido de 100 m según el método utilizado. Estos hallazgos indican que tanto el comportamiento de la subrasante como el del pavimento son adecuados, lo que sugiere que la capacidad estructural de este pavimento es "buena". No obstante, aunque no se encontró evidencia de insuficiencia estructural, se aconseja realizar intervenciones superficiales para corregir las patologías existentes en la superficie del pavimento y mejorar su estado general.

Palabras clave: Capacidad estructural, deflectometría, pavimento flexible, transitabilidad vial, viga Benkelman.



ABSTRACT

The road network is a key element in promoting the economic, social and cultural development of a region, which requires ensuring trafficability and maintaining adequate road surface and structural conditions. The research is classified as applied, with a quantitative approach. It is at the descriptive-explanatory level and is characterised by its non-experimental and cross-sectional design. In the province of Chucuito- Juli, specifically in the flexible pavement of the Juli-Santiago Mucho Road, various pathologies have been identified, such as potholes and cracks, which affect its functionality. In this context, the present research work aims to evaluate the structural capacity of the flexible pavement of this road, applying deflectometric analysis in accordance with Peruvian regulations (MTC E 1002). In order to carry out this study, a vehicle count was carried out to identify the current traffic loads, as well as the collection of deflection measurements in the field using the Benkelman beam, which resulted in a characteristic deflection of 26.80×10^{-2} mm, which is below the allowable deflection of 35.28×10^{-2} mm. Furthermore, a radius of curvature of 744.15 m was obtained, which is higher than the minimum required radius of 100 m according to the method used. These findings indicate that both the subgrade and pavement performance are adequate, suggesting that the structural capacity of this pavement is 'good'. However, although no evidence of structural inadequacy was found, it is advisable to carry out surface interventions to correct existing pavement surface pathologies and improve the overall condition of the pavement.

Keywords: Structural capacity, deflectometry, flexible pavement, road trafficability, Benkelman beam.



CAPITULO I

INTRODUCCION

La infraestructura vial desempeña un papel fundamental en el desarrollo socioeconómico de cualquier región, ya que facilita la conectividad, el transporte de bienes y servicios, y el acceso a oportunidades educativas y laborales (Barrios & González, 2018). En particular, las carreteras que conectan zonas rurales y centros poblados son cruciales para el desarrollo de comunidades aisladas y la integración regional (Ramírez & Silva, 2020).

En la provincia de Puno, la carretera Juli - Centro Poblado Santiago Mucho Juli constituye una vía vital para la comunicación y el intercambio comercial entre estas localidades. Sin embargo, como ocurre con muchas otras carreteras en el Perú, esta vía enfrenta desafíos significativos en función al mantenimiento que debería de presentar y también en relación a la conservación de esta vía (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2019). El deterioro progresivo del pavimento, evidenciado por la presencia de baches, fisuras y deformaciones, compromete la seguridad vial, aumenta los costos de transporte y dificulta el acceso a servicios básicos para la población local (García et al., 2021).

Este deterioro puede atribuirse a diversos factores, como el incremento del tráfico vehicular, la falta de mantenimiento adecuado y las condiciones climáticas adversas de la región (López & Fernández, 2017). Además, la ausencia de evaluaciones técnicas periódicas y una gestión deficiente de los pavimentos han agravado esta problemática (Vargas & Rodríguez, 2016).



La deflectometría, mediante el uso de la viga Benkelman, se ha consolidado como una herramienta eficaz para evaluar la capacidad estructural de los pavimentos flexibles de manera no destructiva (Pérez & Martínez, 2020). Esta técnica permite medir la respuesta elástica del pavimento bajo carga, proporcionando información valiosa sobre su capacidad para soportar el tráfico vehicular (MTC, 2019).

En este marco, la investigación actual tiene como principal objetivo que es evaluar tanto capacidad estructural y estado de transitabilidad del pavimento flexible en la carretera Juli - Centro Poblado Santiago Mucho. Para ello, se aplicará la metodología de deflectometría utilizando la viga Benkelman, junto con un análisis de las cargas de tránsito. Los hallazgos de este estudio facilitarán la identificación de las zonas críticas del pavimento, permitirán determinar si son necesarias intervenciones de mantenimiento o rehabilitación, para así de esta forma poder tomar acciones en base a un sustento técnico con lo cual se garantice la funcionalidad, serviciabilidad, confort y seguridad de la vía en estudio.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La red vial peruana, especialmente las carreteras que conectan zonas rurales y centros poblados, enfrentan serios desafíos en términos de mantenimiento y conservación. La insuficiencia de evaluaciones técnicas periódicas y la ausencia de una gestión adecuada de pavimentos han resultado en un deterioro progresivo de estas vías, comprometiendo la seguridad y eficiencia del transporte (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2019; García et al., 2021).

La carretera Juli - Centro Poblado Santiago Mucho Juli, ubicada en la provincia de Puno, no es ajena a esta problemática. A pesar de su importancia para la conectividad



y el desarrollo local, esta vía muestra un evidente estado de deterioro, con la presencia de baches, fisuras y deformaciones que afectan la transitabilidad y la seguridad de los usuarios (Vargas & Rodríguez, 2016).

El deterioro de esta carretera puede atribuirse a diversos factores, como el aumento del tráfico vehicular, la falta de un mantenimiento adecuado y las condiciones climáticas adversas propias de la región (López & Fernández, 2017). No obstante, la ausencia de evaluaciones técnicas que permitan determinar la capacidad estructural del pavimento y el estado de transitabilidad dificulta la planificación de intervenciones efectivas (Ramírez & Silva, 2020).

La falta de información confiable sobre la capacidad estructural y el estado de transitabilidad del pavimento flexible de la carretera Juli - Centro Poblado Santiago Mucho Juli representa un problema significativo. Esta carencia de datos técnicos adecuados obstaculiza la planificación de estrategias de mantenimiento y rehabilitación, lo que puede derivar en un deterioro acelerado del pavimento, mayores costos de reparación y un impacto negativo en la calidad de vida de los usuarios (Barrios & González, 2018).

En este contexto, para la investigación de Martínez se planteó como principal objetivo analizar el estado de transitabilidad del pavimento flexible, así como también la capacidad estructural del mismo en la carretera Juli - Centro Poblado Santiago Mucho. Para lograr esto, se implementará una metodología de deflectométría utilizando la viga Benkelman, complementada con un análisis de las cargas de tránsito. Los hallazgos de este estudio ofrecerán información crucial para facilitar decisiones fundamentadas en cuanto al mantenimiento y rehabilitación de esta carretera, contribuyendo así a mejorar



la seguridad vial, optimizar la eficiencia del transporte y fomentar el desarrollo socioeconómico de la región (Pérez & Martínez, 2020).

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema general

- ¿Cómo se evalúa la capacidad estructural y estado de transitabilidad mediante cargas de tránsito en el pavimento flexible de la carretera Juli - Santiago Mucho, Juli 2024?

1.2.2 Problemas específicos

- Problema Especifico 1: ¿Cómo se evalúa la capacidad estructural mediante cargas de tránsito en el pavimento flexible de la carretera Juli - Santiago Mucho, Juli 2024?
- Problema Especifico 2: ¿Cómo se evalúa el estado de transitabilidad mediante cargas de tránsito en el pavimento flexible de la carretera Juli - Santiago Mucho, Juli 2024?

1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Hipótesis General

- La capacidad estructural y estado de transitabilidad se evalúa eficientemente con las cargas de tránsito en el pavimento flexible de la carretera Juli - Santiago Mucho, Juli 2024



1.3.2 Hipótesis Específicas

- La capacidad estructural se evalúa eficientemente con las cargas de tránsito en el pavimento flexible de la carretera Juli - Santiago Mucho, Juli 2024
- El estado de transitabilidad se evalúa eficientemente con las cargas de tránsito en el pavimento flexible de la carretera Juli - Santiago Mucho, Juli 2024

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Justificación Social: El adecuado mantenimiento y evaluación de las carreteras influye directamente en la calidad de vida de las comunidades. La carretera Juli - Centro Poblado Santiago Mucho Juli es un eje principal debido a que sirve de interconexión entre pueblos aledaños, logrando así aumentar el movimiento de masas y con estas ayudar a actividades económicas y sociales. Su deterioro afecta tanto la seguridad vial como el desarrollo local, generando una necesidad urgente de implementar estrategias para garantizar su transitabilidad. Este trabajo busca contribuir a la mejora de las condiciones de vida de los habitantes mediante propuestas basadas en evidencia técnica. (Silva, et al., 2018)

Justificación Teórica: La aplicación de la viga Benkelman en el análisis de pavimentos flexibles es un método consolidado en la ingeniería civil, permitiendo evaluar la capacidad estructural y predecir el comportamiento ante cargas vehiculares. Este estudio contribuye al conocimiento existente al usar este método en un contexto puntual, generando datos que podrían ser utilizados como referencia en estudios similares.



Además, se enriquecerá la base teórica relacionada con la gestión y conservación de infraestructura vial en zonas rurales. (Garber & Hoel, 2020)

Justificación Práctica: Este trabajo generará información técnica que permitirá optimizar las intervenciones de mantenimiento y rehabilitación en la carretera evaluada. Al identificar los tramos críticos y proponer soluciones basadas en la capacidad estructural del pavimento, se favorecerá una asignación eficiente de recursos económicos y humanos, impactando positivamente en la durabilidad de la infraestructura. Los resultados tendrán un impacto directo en la mejora de la transitabilidad vehicular. (Bowles, 2017)

Justificación Tecnológica: La utilización de la viga Benkelman, un instrumento de alta precisión para medir deflexiones en pavimentos, representa un aporte significativo en la evaluación tecnológica de las carreteras. Este método no solo ofrece resultados fiables, sino que también es compatible con el análisis de pavimentos flexibles en diferentes contextos geográficos. El presente estudio busca fortalecer el uso de esta tecnología en la región, sentando las bases para su implementación sistemática. (AASHTO, 2020)

Justificación Ambiental: La conservación de carreteras reduce la necesidad de reconstrucciones frecuentes, disminuyendo así el impacto ambiental asociado a la extracción de materiales, generación de residuos y emisiones de carbono. Este estudio promueve prácticas sostenibles en la gestión vial al enfocarse en el mantenimiento preventivo y correctivo, alineándose con los principios de desarrollo sostenible y preservación ambiental en la región de Juli. (OECD, 2019)



1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 Objetivo general

- Evaluar la capacidad estructural y estado de transitabilidad mediante cargas de tránsito en el pavimento flexible de la carretera Juli - Santiago Mucho, Juli 2024

1.5.2 Objetivos específicos

- Evaluar la capacidad estructural mediante cargas de tránsito en el pavimento flexible de la carretera Juli - Santiago Mucho, Juli 2024
- Evaluar el estado de transitabilidad mediante cargas de tránsito en el pavimento flexible de la carretera Juli - Santiago Mucho, Juli 2024

1.5.3 Operacionalización de las variables

Al operacionalizar las variables de una hipótesis, es fundamental definir los parámetros de medición que permitirán establecer la relación entre ellas (Escobar & Bilbao, 2020).

- **Variables:**
 - Variable Independiente: Cargas de Tránsito
 - Variable Independiente: Capacidad Estructural
 - Variable Dependiente: Estado de Transitabilidad
- **Operacionalización:**

Se presentan a continuación las tablas que ilustran la variable dependiente junto con las variables independientes, logrando así obtener la operacionalización de estas. Posteriormente en el anexo A, se presenta una descripción detallada de

las variables de estudio, su operacionalización y demás indicadores que contempla la matriz de consistencia.

Tabla 1

Operacionalización de la variable “Capacidad estructural”

Variable	Dimensión	Indicador	Instrumento	Técnica de Recolección
Capacidad estructural	Resistencia estructural	- Deflexión característica del pavimento flexible	Viga Benkelman	Medición en campo
		- Radio de curvatura del pavimento	Viga Benkelman	Medición en campo
		- Espesor de capas estructurales	Ensayos de laboratorio y análisis técnico	Observación y análisis técnico
		- Módulo de elasticidad del material de subrasante	Ensayos de laboratorio	Análisis físico-mecánico

Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

Tabla 2

Operacionalización de la variable “Estado de transitabilidad”

Variable	Dimensión	Indicador	Instrumento	Técnica de Recolección
Estado de transitabilidad	Condiciones de rodadura	Índice de Rugosidad Internacional (IRI, m/km)	Perfilógrafo	Evaluación mecanizada
	Seguridad y funcionalidad	Presencia de fisuras, grietas y ahuellamiento	Inspección visual y registro fotográfico	Observación directa
	Capacidad estructural en relación con la transitabilidad	Deformaciones medidas con la Viga Benkelman y comparación con ESAL	Viga Benkelman y cálculo de ESAL	Medición y análisis integrado

Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas



Tabla 3

Operacionalización de la variable “Cargas de tránsito”

Variable	Dimensión	Indicador	Instrumento	Técnica de Recolección
Cargas de tránsito	Tránsito vehicular promedio	IMDA (vehículos/día)	Aforo vehicular manual	Observación directa
	Efecto acumulado de las cargas	ESAL (Ejes equivalentes)	Cálculo basado en datos de tránsito y fórmulas de ESAL	Modelación y análisis
	Distribución vehicular	Clasificación vehicular según tipo y peso (porcentajes y frecuencias)	Contadores automáticos y clasificadores de tránsito	Observación instrumentada

Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

Con el propósito de situar la investigación en su contexto adecuado, a continuación, se exponen los trabajos más destacados que abordan el deterioro de pavimentos flexibles. Estos trabajos tienen su relevancia en diferentes motivos; unos destacan por la novedad de su investigación, algunos por la extensión del proyecto, su importancia en sus hallazgos, las metodologías empleadas y sus resultados alcanzados.

2.1.1 Antecedentes internacionales

Escobar, K., García, A., y Guzmán, C. (2007). Título: Análisis comparativo de la evaluación de pavimentos por medio de la viga Benkelman y el deflectómetro de impacto, (falling weight deflectometer, FWD). Descripción: esta investigación inicia a través de las deflexiones que un pavimento puede presentar, planteando como objetivo principal determinar la correlación existente entre el deflectómetro de impacto FWD y las deflexiones producidas por la evaluación de viga benkelman. Asimismo, compararon la capacidad estructural del pavimento flexible utilizando ambas metodologías de evaluación. Conclusiones: Se obtuvo una ecuación de correlación definida como: $dFWD=1.21041 dVB=1.888 d$, para esta ecuación el valor de dVB representa las deflexiones medidas mediante la viga Benkelman, mientras que el valor de dFWD representas las deflexiones generadas por el deflectómetro de impacto. La capacidad estructural calculada con la fórmula del HDM-4 mostró valores promedio 36.6% mayores a los obtenidos con el FWD. Las mediciones, realizadas con un año de diferencia, pero bajo condiciones



climáticas similares, evidenciaron la utilidad de ambas metodologías para estudios estructurales.

Ortega, K. y Villafuerte, L. (2015). Título: Evaluación estructural de pavimento flexible para suelos de tipo limo arenoso. Descripción: La investigación evaluó el diseño estructural y financiero de pavimentos flexibles con una longitud aproximada de 15 km situados en la vía La Chimba-Cayambe, utilizando diferentes metodologías de determinación del CBR (in situ, DCP y laboratorio) y una correlación derivada. El suelo predominante es limo arenoso. Conclusiones: Un 81% de las muestras analizadas correspondieron a suelos limo arenosos, el 12% a arenosos y el 7% restante a arcillosos. Se desarrollaron diseños estructurales específicos para cada metodología de obtención del CBR y se comprobó la viabilidad financiera de las propuestas. El estudio destacó la importancia de correlacionar los resultados para optimizar diseños en suelos heterogéneos.

Carrasco, S. y Vizhñay, C. (2019). Título: Evaluación estructural vial para Azogues mediante el análisis de deflexiones aplicando la viga Benkelman. Descripción: La investigación evaluó estructuralmente pavimentos flexibles en la Avenida 16 de abril de Azogues utilizando la viga Benkelman. Además, se calibraron equipos para garantizar la confiabilidad de los resultados. Conclusiones: Se identificaron deficiencias estructurales en ambas calzadas de la vía, y se determinaron refuerzos necesarios mediante los métodos AASHTO y del Instituto de Asfalto. Las diferencias iniciales entre las vigas Benkelman de la Municipalidad de Azogues y la Prefectura del Azuay se ajustaron mediante factores de calibración, logrando parámetros estadísticamente equivalentes. La



viga Benkelman de la Municipalidad de Azogues resultó ser un equipo confiable para la evaluación estructural de pavimentos flexibles.

Pesantez, A. y Rodríguez, J. (2016). Título: Evaluación de la capacidad estructural de los pavimentos flexibles por el método de las deflexiones en la Avenida Abelardo J. Andrade del Cantón Cuenca. Descripción: esta investigación tuvo su evaluación en la avenida Abelardo J. Andrade esta avenida presenta un pavimento flexible y la investigación realizó la evaluación de la estructura del pavimento mediante análisis por deflexiones corregidas y curvas de radio de curvatura, identificando deficiencias en la capa de rodadura. Conclusiones: El 71% de las deflexiones corregidas no cumplieron con los rangos establecidos, indicando la necesidad de estudios más detallados en zonas críticas. El 99% de los valores de radio de curvatura no se encontraron dentro del rango permitido, reflejando fallas estructurales por deformación. La vía evaluada fue calificada con un nivel de "serviciabilidad regular" debido a la presencia de baches y grietas profundas que afectan su transitabilidad.

Espinoza, M. y Jintiach, R. (2022). Título: "Evaluación de la superficie del pavimento flexible en la vía de conexión entre la Panamericana Norte y la calle Julia Bernal, mediante el análisis de la viga Benkelman aplicando el método del retro Cómputo". Descripción: La investigación llevó a cabo un análisis del estado estructural de un pavimento flexible utilizando como herramienta viga Benkelman y el método de retro Cómputo, así determinar los módulos de elasticidad y el CBR, además de proponer alternativas de mantenimiento. En las conclusiones se destaca que la metodología de retro Cómputo resultó efectiva para evaluar las deflexiones máximas y su relación con las fallas observadas en el campo. Se identificó que el pavimento necesita mantenimiento debido al desgaste significativo en la capa de



rodadura. Además, se demostró que es viable aplicar el método de retro Cómputo para evaluar estructuras similares en carreteras cercanas al tramo estudiado, logrando así una identificación precisa del estado del paquete estructural del pavimento.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Casia, Juan (2015). En su investigación titulada: “Evaluación Estructural de pavimentos flexibles usando el deflectómetro de impacto en la carretera Tarma – La Merced. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo”. Descripción del problema: La investigación se centra realiza la evaluación de las capas estructurales del pavimento mediante el HWD, con énfasis en el retro Cómputo de las propiedades del pavimento mediante el método AASHTO 93 y el software ELMOD 6. En las conclusiones, se establece que el procedimiento de evaluación permite determinar con precisión la capacidad de carga del pavimento, subrayando la fiabilidad de los resultados obtenidos a través de la validación con datos obtenidos en el campo y herramientas informáticas. Asimismo, se evidenció que los valores teóricos y experimentales son consistentes, lo que resalta la relevancia de verificar los datos en campo para asegurar resultados confiables.

Flores, Luis (2012). En su investigación que lleva por título “Evaluación Estructural de pavimentos flexibles de carreteras de bajo volumen de tránsito. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima”. Descripción del problema: El estudio propone una metodología numérica para evaluar las condiciones estructurales de pavimentos mediante deflexiones medidas en campo utilizando la Viga Benkelman, complementado con simulaciones numéricas basadas en teorías de elasticidad. Conclusiones: Se sugiere el uso de modelos multicapa lineales para



considerar efectos no lineales en suelos y se destaca la necesidad de mediciones adicionales para mejorar la calibración en análisis con modelos FEM 3D. La metodología permite discriminar tramos homogéneos y ofrece resultados útiles para análisis estructurales a bajo costo.

Balarezo, J. (2017). Evaluación estructural usando viga Benkelman aplicada a un pavimento. Universidad de Piura, Piura. Descripción del problema: La tesis busca promover el empleo de la Viga Benkelman como herramienta económica al evaluar el estado de un tramo de pavimento y proyectar requerimientos de mantenimiento en gobiernos locales.

Conclusiones: La evaluación estructural con Viga Benkelman es eficiente para determinar necesidades de rehabilitación de pavimentos, especialmente en contextos de bajo costo. También permite calcular el número estructural efectivo (S_{Neff}) como parámetro clave para monitoreo y rediseño de pavimentos, resaltando su importancia en proyectos de mantenimiento.

Díaz, D. (2021). Logra determinar en su investigación “Evaluación del estado superficial y capacidad estructural de pavimentos flexibles mediante el índice de condición del pavimento y deflectometría en calles y avenidas del cercado del distrito de Pimentel. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo”. Descripción del problema: La investigación evalúa primeramente la condición estructural del pavimento mediante el PCI, a continuación, con el uso y aplicación del ensayo de viga Benkelman mide las deflexiones para de certeza del estado actual de la vía Conclusiones: Los resultados muestran que algunos tramos cumplen con las especificaciones técnicas de deflexión máxima, mientras que otros presentan deflexiones características mayores a las admisibles. Se resalta que la metodología con la Viga Benkelman



es particularmente útil en proyectos de rehabilitación y mantenimiento por su bajo costo y relevancia en trabajos de mejora de pavimentos.

Pérez, G. (2021). Modelos de ajuste de carga para evaluar estructuralmente capas de suelos de un pavimento flexible. Universidad Ricardo Palma, Lima. Descripción del problema: El estudio presenta un modelo de ajuste de carga para realizar una evaluación estructural de las capas de suelo de pavimentos flexibles, utilizando representaciones gráficas fundamentadas en datos de campo. Conclusiones: Los resultados tienen un índice de confiabilidad alto, debido a la precisión sobre las deflexiones que son admisibles para cada capa estructural del pavimento, este análisis que implica un modelo de análisis mecánico minimizando así las variaciones entre los resultados, adicional a esto los resultados generados por software especializado. Esto valida la efectividad del modelo en la evaluación estructural de pavimentos.

Fernández, M. (2020), que lleva por título: “Determinación del comportamiento estructural del pavimento flexible de la carretera Cajamarca Celendín Balsas, tramo Chaquilpampa-Santa Rosa de Chaquil, mediante el análisis deflectométrico”. Problema: Evaluar el comportamiento estructural de un tramo de pavimento flexible en la carretera Cajamarca-Celendín-Balsas mediante mediciones deflectométricas y análisis de sus resultados. Conclusiones: El comportamiento estructural del pavimento es bueno, ya debido a que presenta una deflexión característica de $(67 \times 10^{-2} \text{ mm})$ el cual es inferior a las deflexiones admisibles $(71 \times 10^{-2} \text{ mm})$ también a las críticas $(85 \times 10^{-2} \text{ mm})$. La deflexión promedio del pavimento es de $49.03 \times 10^{-2} \text{ mm}$. El 91.1 % de las pruebas tomadas presentan radios de curvatura superiores al mínimo permitido (100 m).



Meza, H. (2017), Título: “Evaluación deflectométrica obtenida con la viga Benkelman y diseño de estructuras de pavimentos por el método AASHTO 2008 en la avenida Hartley del distrito de José Luis Bustamante y Rivero – Arequipa”. Problema: Determinar la condición estructural del pavimento de la avenida Hartley mediante la evaluación deflectométrica usando la viga Benkelman y proponer alternativas de refuerzo asfáltico. Conclusiones: La deflexión característica de un tramo de pavimento (75×10^{-2} mm) es superior a la deflexión admisible (64×10^{-2} mm), evidenciando fallas estructurales. Se diseñaron alternativas de recapado que minimizan el espesor de materiales, optimizan costos y reducen el impacto ambiental. Las propuestas permiten facilitar el mantenimiento rutinario y prolongar la vida útil del pavimento.

Cubas, T. (2017) Título: “Comportamiento estructural del pavimento flexible en la vía de evitamiento sur – Cajamarca utilizando las deflexiones medidas con la viga Benkelman”. Problema: evaluar en un tramo de la vía mencionada, cual es la respuesta y comportamiento estructural con alta demanda vehicular (IMDS = 9465 veh/día) mediante la viga Benkelman. Conclusiones: El comportamiento estructural del pavimento es deficiente, ya que la deflexión característica (125.426×10^{-2} mm) supera la deflexión admisible (77×10^{-2} mm). El tráfico promedio diario es significativamente mayor al diseño inicial, lo que contribuye al deterioro. La deflexión crítica (83×10^{-2} mm) también es superada, evidenciando la necesidad de rehabilitación del pavimento.

Farfán, R. (2022), Título: “Deflectómetro de impacto liviano y viga Benkelman para el análisis de deflexiones en pavimentos básicos con slurry seal, carretera Pischa – Pacaycasa”. El objetivo principal de esta investigación se centró Determinar la correlación entre las deflexiones producidas por el ensayo de viga



Benkelman y las deflexiones que son generadas por el deflectometro de impacto liviano aplicado en pavimentos básicos tratados con slurry seal. Conclusiones: La ecuación de correlación entre las deflexiones medidas por ambos dispositivos es $DLWD = 0.01089 + 0.9870 DVB$. El coeficiente de correlación de Pearson es del 70.2 %, demostrando la precisión de la ecuación establecida. La correlación entre ambos métodos permite obtener valores confiables para el análisis de pavimentos básicos.

Escobedo, J. & Herrera, D. (2017), Título: “Evaluación de las deflexiones de la vía de evitamiento Panamericana Norte km 578 al km 583, utilizando la viga Benkelman”. Problema: Determinar el estado estructural del pavimento en un tramo de la Panamericana Norte a través de la medición de deflexiones que son implantadas por el uso del ensayo viga benkelman. Conclusiones: El 70.40 % en la superficie analizada presenta condiciones de rodadura y subrasante fuertes, mientras que el 29.60 % restante tiene condiciones débiles. Se detectó la necesidad de realizar mantenimiento o rehabilitación en los tramos más deteriorados.

Díaz, I. (2021), realizó la investigación que lleva por título “Evaluación de la deflexión de la estructura del pavimento de la carretera Fernando Belaunde Terry del km 267+500 al km 269+000 por el método de la viga Benkelman”. Problema: Analizar la deflexión de la estructura del pavimento y evaluar su estado mediante datos obtenidos con la viga Benkelman. Conclusiones: Las deflexiones promedio (35.3×10^{-2} mm) están dentro de los límites admisibles (100×10^{-2} mm), lo que indica un buen estado estructural. La subrasante y el pavimento presentan un comportamiento adecuado. El uso de tablas en Excel permitió optimizar el procesamiento de datos, mejorando la productividad del análisis.



2.1.3 Antecedentes regionales

Sacachipana, G. (2014). “Evaluación Estructural. Universidad Nacional del Altiplano, Puno. Descripción del problema: Se evaluó el estado estructural del pavimento flexible de la carretera Azángaro – Muñani” utilizando la viga Benkelman, encontrando fallas en la estructura del pavimento. Conclusiones: La evaluación demostró que las deformaciones en el pavimento están dentro de los parámetros establecidos según las deflexiones admisibles, asegurando un comportamiento satisfactorio respecto al tráfico soportado. Se determinaron las deflexiones características, críticas y admisibles, así como radios de curvatura. El análisis estadístico basado en una confiabilidad del 95% permitió concluir que la estructura pavimento-subrasante es funcional bajo las condiciones de tráfico actuales.

Flores, L. (2023). “Evaluación del comportamiento estructural de pavimentos flexibles según suelo de subrasante, carretera Juliaca - Caracoto, Puno 2021. Universidad Continental, Arequipa”. Descripción del problema: Se estudió la variación del comportamiento estructural de los pavimentos flexibles considerando diferentes tipos de suelos de subrasante (CL, ML) en la carretera Juliaca - Caracoto. Conclusiones: Las deflexiones promedio variaron según la clase de subrasante: en la primera etapa se obtuvo; $(0.58 \times 10^{-2}$ mm, suelo A-2), etapa II $(0.74 \times 10^{-2}$ mm, suelo A-4) y etapa III $(0.54 \times 10^{-2}$ mm, suelo A-2). El 98.33% de las deflexiones en esta capa estructural del pavimento son admisibles según CONREVIAl, lo que indica una adecuada funcionalidad estructural. Sin embargo, un pequeño porcentaje de puntos (1.66%) no cumple, señalando la necesidad de intervenciones localizadas.



Bonifacio, J. (2022). “Evaluación de la capacidad estructural del pavimento flexible de la carretera Atuncolla - Complejo Arqueológico Sillustani – 2020. Universidad Nacional del Altiplano, Puno”. Problema: el investigador realizó la evaluación de la capacidad estructural de las capas del pavimento sometidos a cargas de tránsito, y estimando así las cargas de tránsito que se presente en el futuro en un tramo de la carretera, cuyo nombre de tramo es Atuncolla – Complejo Arqueológico Sillustani (PU-1047). Conclusiones: La carretera tiene un IMDA de 273 vehículos por día, clasificándola como de tercera clase. Las deflexiones características calculadas mediante la viga Benkelman son menores a las admisibles, y el radio de curvatura supera los 80 metros, indicando un buen comportamiento estructural. Sin embargo, las patologías presentes en el tramo requieren correcciones superficiales para mantener su funcionalidad.

Ccallo, L. y Mamani, J. (2021). Evaluación de la serviciabilidad del pavimento flexible y alternativas de intervención de la carretera Juli – Desaguadero – 2021. Universidad César Vallejo. Descripción del problema: Se evaluó la condición de serviciabilidad del pavimento flexible de la carretera Juli – Desaguadero mediante diferentes métodos (deflectométría, PCI, rugosidad internacional, entre otros) y se propusieron alternativas de intervención. Conclusiones: El análisis de deflectométría indicó que la calidad de la subrasante es insatisfactoria, mostrando un comportamiento estructural poco favorable, ya que el valor promedio de la deflexión es inferior al esperado. Mediante la evaluación por la metodología propuesta por el PCI la carretera presenta en promedio un valor de 30.61, esto sugiere un estado "malo". Por lo tanto, se



concluye que es imprescindible realizar una intervención integral para mejorar tanto la calidad como la funcionalidad de la vía.

2.2 MARCO TEORICO

2.2.1 Pavimento

Son estructuras esenciales en la infraestructura vial peruana, diseñadas para soportar el tráfico vehicular y peatonal, dando seguridad, comodidad y confort a los que lo usan (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013). Su diseño, construcción y mantenimiento adecuados son cruciales para garantizar la durabilidad y eficiencia de las vías de comunicación, considerando factores como el tipo de tráfico, las condiciones climáticas, la disponibilidad de materiales y los costos (Benavente & García, 2015).

En Perú, se utilizan principalmente dos tipos de pavimentos: existe gran parte de vías que tienen pavimentos rígidos y otra parte de vías Inter localidades comprenden la aplicación de pavimentos flexibles, estos últimos en el proceso de conformación de capas estructurales utilizan materiales granulares y mezclas asfálticas, además son más económicos y se adaptan mejor a pequeños movimientos del terreno (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013). Por otro lado, los pavimentos rígidos, compuestos por losas de concreto hidráulico, ofrecen mayor capacidad de carga y durabilidad, pero son más costosos y requieren un control de calidad más riguroso durante su construcción (Benavente & García, 2015).

Además de estos dos tipos principales, existen otras alternativas como los pavimentos semirrígidos, que combinan características de los pavimentos flexibles y rígidos, y los pavimentos articulados, compuestos por bloques de



concreto o adoquines unidos entre sí (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013). El uso y determinación para que un pavimento sea rígido o flexible, comprende diversos factores y criterios técnicos.

2.2.2 Tipos de pavimento

Se pueden agrupar en cuatro categorías principales: pavimento flexible, rígido, semirígido y articulado. A continuación, describimos cada uno de ellos.

2.2.2.1 Pavimentos Flexibles

Pavimento flexible es un tipo de pavimento que se caracteriza por su capacidad de deformarse y recuperar su forma original ante cargas y esfuerzos externos (Huang, 2020). Está compuesto por capas de materiales diferentes, como agregados pétreos, suelos y materiales asfálticos (AASHTO, 2012).

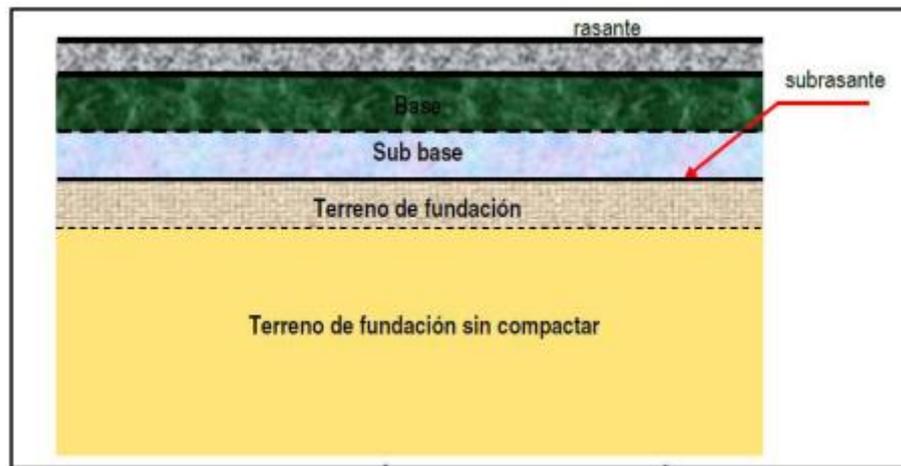
Los pavimentos flexibles, compuestos principalmente por capas de materiales granulares y mezclas asfálticas, son una solución ampliamente utilizada en la construcción de carreteras en Perú debido a su adaptabilidad a diferentes condiciones de tráfico y clima (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013).

Su estructura típica incluye una carpeta asfáltica superficial, una base granular, una subbase granular y la subrasante (Benavente & García, 2015). La carpeta asfáltica, compuesta por una mezcla de agregados pétreos y ligante asfáltico, proporciona una superficie de rodamiento suave, impermeable y resistente al desgaste (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013).

El diseño de pavimentos flexibles en Perú debe considerar factores como el tránsito esperado, las condiciones climáticas locales, las propiedades de los materiales disponibles y las características de la subrasante (Benavente & García, 2015).

Figura 1

Estructura típica de Pavimentos Asfálticos



Fuente: (Minaya & Ordoñez, 2006)

- Capas del Pavimento Flexible

- **La subrasante**

La subrasante, también conocida como terreno de fundación, es la capa de suelo natural o mejorado que se encuentra debajo de las capas estructurales del pavimento (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013). Esta capa juega un papel fundamental en el desempeño del pavimento, ya que soporta las cargas transmitidas por las capas superiores y distribuye las tensiones al terreno natural.

En Perú, las características de la subrasante varían considerablemente debido a la diversidad geográfica y geológica del país. Por lo tanto, es crucial realizar un estudio detallado de la subrasante antes



de diseñar y construir cualquier tipo de pavimento (Benavente & García, 2015). Este estudio debe incluir la evaluación de la capacidad de soporte, la granulometría, la plasticidad, la humedad y otras propiedades del suelo.

Un adecuado tratamiento de la subrasante, como la compactación, la estabilización con aditivos o la mejora con materiales granulares, puede aumentar su capacidad de soporte y reducir los asentamientos diferenciales del pavimento (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013). Esto contribuye a mejorar la durabilidad y el rendimiento del pavimento a largo plazo, reduciendo los costos de mantenimiento y asegurando la seguridad vial.

- **La subbase**

Es una capa de material granular o estabilizado este se conforma por encima del nivel de sub rasante y por debajo de la capa de base (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013). Su función principal es mejorar la capacidad de soporte de la subrasante, reducir las tensiones transmitidas a esta y proporcionar una plataforma uniforme para la construcción de las capas superiores del pavimento (Benavente & García, 2015).

En el contexto peruano, la selección del material de subbase depende de la disponibilidad local y las características de la subrasante. Los materiales comúnmente utilizados incluyen suelos granulares seleccionados, suelos estabilizados con cemento o cal, y materiales reciclados como agregados de concreto o asfalto (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013).



El diseño de la subbase debe considerar factores como el tipo y volumen de tráfico esperado, las condiciones climáticas, las propiedades de los materiales y las características de la subrasante (Benavente & García, 2015). Un diseño adecuado de la subbase contribuye significativamente a la durabilidad y el rendimiento de las capas superiores como son la base y la carpeta asfáltica, previniendo así futuras fallas en el pavimento como bacheos, ahuellamientos, piel de cocodrilo etc.

- **La base**

Es una capa fundamental en la estructura de un pavimento, situada entre las capas de subbase y la carpeta asfáltica en pavimentos flexibles, o directamente debajo de la losa de concreto en pavimentos rígidos (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013). Su función principal es distribuir las cargas del tráfico a las capas inferiores, reduciendo las tensiones sobre la subrasante y asegurando la estabilidad del pavimento (Benavente & García, 2015).

En Perú, la selección del material de base depende de la disponibilidad y accesibilidad a canteras, el tipo y clasificación de vía a pavimentar, condiciones climáticas y ambientales. Los materiales comúnmente utilizados para la base incluyen suelos granulares seleccionados y estabilizados con cemento, cal o asfalto, así como mezclas asfálticas (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013).

El diseño de la base debe considerar las propiedades mecánicas de los materiales, como la resistencia, la rigidez y la durabilidad, así como las condiciones de drenaje y la capacidad de soporte de la subrasante (Benavente & García, 2015).



- **La carpeta asfáltica**

Diversos autores también hacen mención como carpeta de rodadura, esta es la última capa estructural del pavimento y se sitúa por encima del imprimado asfáltico, esta se encarga de brindar una superficie de rodadura suave, segura y resistente al desgaste (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013). Está compuesta por una mezcla asfáltica, que es una combinación de agregados pétreos y un ligante asfáltico, diseñada para resistir las cargas del tráfico y los efectos del clima (Benavente & García, 2015).

En Perú, también es necesario conocer parámetros como la accesibilidad de canteras, el volumen de tráfico que transitara por esta vía para así poder realizar el diseño y conformación de capas estructurales del pavimento y cumplir con los requerimientos de durabilidad propuestos por el (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013). La selección adecuada de los agregados, el ligante asfáltico y el diseño de la mezcla son cruciales para garantizar el óptimo desempeño en la carpeta asfáltica en toda su vida útil.

El espesor de la carpeta asfáltica varía según el tipo de vía y las condiciones de tráfico. En carreteras de alto tránsito, se suelen utilizar carpetas asfálticas más gruesas y resistentes, mientras que en vías de menor tránsito se pueden emplear carpetas más delgadas (Benavente & García, 2015). El mantenimiento adecuado de la carpeta asfáltica, como la reparación de baches y fisuras, es indispensable para alargar la vida útil y brindar seguridad vial.

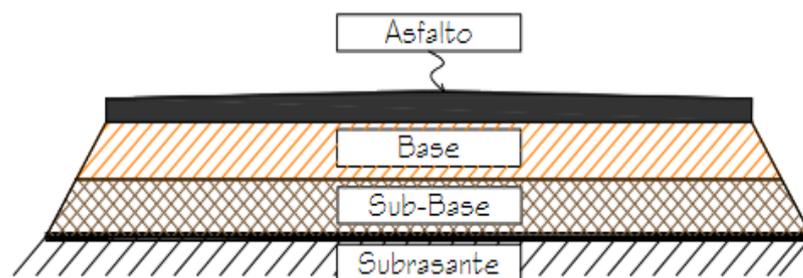
- Estudios de Caso en Perú

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú ha implementado programas de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos flexibles en carreteras nacionales (MTC, 2020).

La Universidad Nacional de Ingeniería del Perú ha desarrollado investigaciones sobre el uso de materiales locales y reciclados en la construcción de pavimentos flexibles (UNI, 2019).

Figura 2

Estructura típica de Pavimentos Flexibles



Fuente: (Armijos, 2009)

2.2.2.2 Pavimentos Rígidos

Los pavimentos rígidos, compuestos principalmente por losas de concreto hidráulico, son una solución ampliamente utilizada en Perú para la construcción de carreteras, aeropuertos y otras infraestructuras viales de alto tránsito debido a su capacidad para soportar cargas pesadas y ofrecer una larga vida útil (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013).

Según los investigadores Medina Palacios y De la Cruz Puma (2015), la capa de losa de concreto es la capa estructural principal del pavimento de tipo rígido, proporcionando una superficie de rodamiento resistente, durable y de bajo mantenimiento. El concreto utilizado en la

losa es una combinación que, en base a un diseño de mezclas, lograr determinar proporciones adecuadas de agregados, cemento, agua y de ser el caso incluir aditivos, los que le confieren propiedades mecánicas adecuadas para resistir las cargas del tráfico y las condiciones climáticas.

El diseño de pavimentos rígidos en Perú debe considerar factores como el tránsito esperado, las condiciones climáticas locales, las propiedades de los materiales y las características de la subrasante (Benavente & García, 2015). Un diseño apropiado, fundamentado en metodologías como el AASHTO 93, asegura un rendimiento óptimo del pavimento rígido en su vida útil, reduciendo los costos de mantenimiento, así garantizar la seguridad en las vías.

Figura 3

Estructura típica de Pavimentos Flexibles



Fuente: (Armijos, 2009)

2.2.2.3 Pavimentos Semirrígidos

Los pavimentos semirrígidos, también conocidos como pavimentos compuestos, son una solución constructiva que combina las características de los pavimentos rígidos y flexibles. En el contexto peruano, esta tipología ha sido utilizada en proyectos de rehabilitación y



construcción de carreteras, buscando aprovechar las ventajas de ambos sistemas (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013).

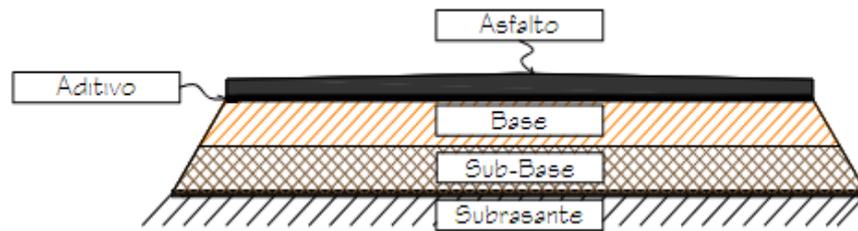
En términos generales, un pavimento semirrígido consta de una losa de concreto relativamente delgada (entre 15 y 25 cm) sobre una base asfáltica de espesor variable (Benavente & García, 2015). Esta combinación permite una mejor distribución de las cargas y reduce las tensiones internas en comparación con los pavimentos rígidos tradicionales, al tiempo que ofrece mayor capacidad de carga y resistencia a la fatiga que los pavimentos flexibles (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013).

La interacción entre la losa de concreto y la base asfáltica es fundamental para el correcto funcionamiento del pavimento semirrígido. La losa de concreto absorbe las cargas principales y las distribuye a la base asfáltica, que a su vez las transmite a las capas inferiores. Esta colaboración entre capas reduce las deformaciones y tensiones en la losa de concreto, aumentando su durabilidad y resistencia a la fisuración (Benavente & García, 2015).

A pesar de sus ventajas, el uso de pavimentos semirrígidos en Perú aún es limitado debido a la falta de experiencia en su diseño y construcción, así como a la necesidad de un riguroso control de calidad durante la etapa de ejecución, (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013). No obstante, su potencial para mejorar en rendimiento y durabilidad de las carreteras, especialmente con condiciones de tráfico pesado, lo convierte en una opción a considerar en futuros proyectos de infraestructura vial en el país.

Figura 4

Estructura típica de Pavimentos Semirrígidos



Fuente: (Armijos, 2009)

2.2.2.4 Pavimentos Articulado O Modulares

Los pavimentos articulados, compuestos por bloques de concreto o adoquines unidos entre sí mediante juntas, representan una alternativa interesante en el contexto peruano debido a su versatilidad, durabilidad y adaptabilidad a diferentes condiciones de tráfico y clima (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013).

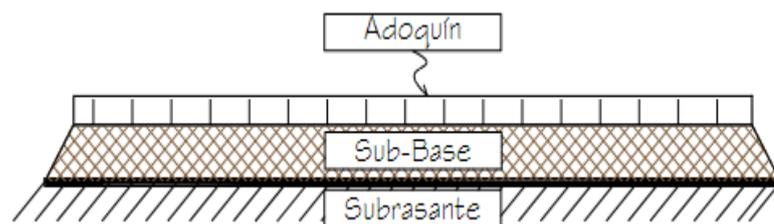
Una de las principales ventajas de los pavimentos articulados es su capacidad para adaptarse a movimientos diferenciales del terreno, gracias a la flexibilidad que proporcionan las juntas entre los bloques (Benavente & García, 2015). Esto los hace especialmente adecuados para zonas con suelos inestables o propensos a asentamientos.

Además, los pavimentos articulados ofrecen una buena resistencia al desgaste y a las cargas pesadas, lo que los hace aptos para su uso en vías urbanas, estacionamientos, áreas industriales e incluso carreteras de mínimo volumen de tráfico (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013).

En Perú, el uso de pavimentos articulados se ha aumentado en estos últimos años, principalmente en proyectos de renovación urbana y construcción de vías peatonales y ciclovías. Su facilidad de instalación, mantenimiento y reparación, así como su atractivo estético, los convierten en una opción viable y sostenible para diversas aplicaciones.

Figura 5

Estructura típica de Pavimentos Articulados



Fuente: (Armijos, 2009)

2.2.3 Estudio de tránsito

El estudio de tránsito es un componente fundamental en el diseño y planificación de carreteras en Perú, ya que permite conocer las características y el comportamiento del flujo vehicular, proporcionando información crucial para la toma de decisiones (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013). Este estudio incluye la recopilación y análisis de datos sobre el volumen de tráfico, la clasificación vehicular, las velocidades de operación y los patrones de movimiento (Benavente & García, 2015).

Los hallazgos del estudio de tránsito se emplean para múltiples propósitos, tales como evaluar la capacidad de la vía, en función a consideraciones que involucren el diseño geométrico de estas, y cumplir con los requerimientos



indicados sobre el uso de señalización vial. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2018).

2.2.3.1 Volumen de tránsito

Está definido mediante el conteo de vehículos que logran transcurrir en un determinado punto de estudio, por un periodo de aforo determinado, es un parámetro fundamental en el diseño y gestión de carreteras en Perú (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013). Este dato permite evaluar la demanda de transporte, determinar la capacidad de la vía y planificar intervenciones para mejorar la fluidez y seguridad del tráfico (Benavente & García, 2015).

En el contexto peruano, el volumen de tránsito se expresa generalmente en vehículos por día (veh/día) o vehículos por hora (veh/h), y se clasifica según el tipo de vehículo (ligeros, pesados, buses, etc.) (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013). La medición del volumen de tránsito se realiza mediante conteos manuales o automáticos, utilizando equipos como aforadores neumáticos, cámaras de video o sensores de infrarrojos (Benavente & García, 2015).

El volumen de tránsito varía a lo largo del día y del año, presentando patrones diarios, semanales y estacionales (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013). Estos patrones son influenciados por factores como la actividad económica, los horarios laborales, los días festivos y las condiciones climáticas. El conocimiento de estos patrones es esencial para la planificación de la operación y



mantenimiento de las carreteras, de esta manera poder plantear propuestas que optimicen la gestión del tráfico.

2.2.3.2 Índice Medio Diario (IMD)

El Índice Medio Diario Anual (IMDA) es un indicador fundamental para analizar la cantidad de tránsito en Perú. Se obtiene como el promedio de vehículos los cuales circulan por un punto específico de un tramo de carretera a lo largo de un año. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013). Este valor se obtiene al dividir el volumen total de tránsito anual entre el número de días del año y se expresa en vehículos por día (veh/día).

El IMDA es un parámetro fundamental en el diseño y planificación de carreteras, ya que permite estimar la demanda de transporte a largo plazo y evaluar la capacidad de la vía (Benavente & García, 2015). Además, el IMDA es utilizado para clasificar las carreteras según su nivel de servicio, determinar las necesidades de mantenimiento y planificar futuras ampliaciones o mejoras.

En el contexto peruano, el IMDA se calcula a partir de los datos de aforo vehicular recopilados a lo largo del año, utilizando métodos estadísticos para corregir posibles errores y obtener un valor representativo del flujo vehicular promedio (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013). El MTC establece criterios específicos para la clasificación de las carreteras según su IMDA, lo que facilita las decisiones en materiales de diseño, construcción y mantenimiento.



2.2.3.3 Clasificación Vehicular

La clasificación vehicular es un proceso fundamental en el estudio del tránsito y el diseño de carreteras en Perú, ya que permite agrupar los vehículos que circulan por una vía en categorías homogéneas según sus características físicas y operacionales (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013). Esta clasificación facilita el análisis del flujo vehicular, la estimación de la capacidad de la vía y la determinación de las necesidades de diseño geométrico y estructural (Benavente & García, 2015).

En el contexto peruano, la clasificación vehicular se basa en el Manual de Diseño de Carreteras (DG-2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), que establece seis categorías principales de vehículos: motocicletas, vehículos ligeros, buses, camiones que incluyen entre sus características el uso de dos, tres a más ejes. Cada categoría se subdivide a su vez en subcategorías según el tipo de servicio, la configuración de ejes y el peso bruto vehicular (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013).

La clasificación vehicular se utiliza para diversos fines, como la determinación del número equivalente de ejes (NES), que es un parámetro utilizado para evaluar el impacto de los diferentes tipos de vehículos sobre el pavimento, y la estimación de la capacidad de la vía, que se expresa en términos de vehículos equivalentes ligeros (VEL) (Benavente & García, 2015). Además, la clasificación vehicular es esencial para la planificación

de la señalización, la gestión del tráfico y la implementación de medidas de seguridad vial.

Figura 6

Medidas y Cargas admisibles máximas

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Eje Delant	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)
				Conjunto de ejes posteriores				
				1º	2º	3º	4º	
C2		12,30	7	11	---	---	---	18
C3		13,20	7	18	---	---	---	25
C4		13,20	7	23 ⁽¹⁾	---	---	---	30
8x4		13,20	7+7 ⁽²⁾	18	---	---	---	32
T2S1		20,50	7	11	11	---	---	29
T2S2		20,50	7	11	18	---	---	36
T2Se2		20,50	7	11	11	11	---	40

Fuente: D.S. N.º 058-2003-MTC titulado “Reglamento Nacional de Vehículos”

2.2.3.4 Periodo de diseño

Un periodo de diseño, también conocido como vida útil de diseño, es un concepto fundamental en la planificación y diseño de pavimentos en Perú. Se define como la cantidad de años donde se espera que un pavimento funcione adecuadamente, cumpliendo con los niveles de servicio establecidos, antes de requerir una rehabilitación mayor (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013).



La elección del periodo de diseño depende de varios factores, como el tipo de vía, el volumen y tipo de tráfico esperado, las condiciones climáticas, la disponibilidad de recursos para mantenimiento y el costo de las intervenciones futuras (Benavente & García, 2015). En Perú, el Manual de Diseño de Carreteras (DG-2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones establece periodos de diseño recomendados para diferentes tipos de vías, que varían entre 10 y 20 años.

La determinación del periodo de diseño es crucial para la selección de los materiales, el diseño estructural y la estimación de los costos del ciclo de vida del pavimento. Un periodo de diseño adecuado garantiza que el pavimento cumpla con los requerimientos de servicio durante su vida útil, minimizando las interrupciones del tráfico y los costos de mantenimiento a largo plazo.

2.2.3.5 Carril de diseño

El carril de diseño es un concepto esencial en la geometría de carreteras en Perú. Se define como el ancho de carril que sirve como referencia para establecer las dimensiones de la calzada, las bermas y otros componentes de la vía. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013). Este ancho se establece en función del tipo de vía, el volumen y tipo de tráfico esperado, las velocidades de diseño y las características topográficas del terreno (Benavente & García, 2015).

En el Manual de Diseño de Carreteras (DG-2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) se establecen los anchos de carril de diseño para diferentes tipos de vías, que varían entre 3.00 y 3.60 metros.

La elección del ancho de carril adecuado es crucial para garantizar principalmente la fluidez vehicular así como también el confort de los usuarios de esta vía.

Un ancho de carril insuficiente puede provocar congestión, accidentes y desgaste prematuro del pavimento, mientras que un ancho excesivo puede generar velocidades elevadas y aumentar el riesgo de accidentes (Benavente & García, 2015). Por lo tanto, el diseño del ancho de carril debe ser cuidadosamente evaluado, considerando todos los factores relevantes, para optimizar el desempeño de la vía y garantizar la seguridad de los usuarios.

Tabla 4

Factor carril y factor direccional para diversos tipos de calzada

NUMERO DE CELDAS	NUMERO DE SENTIDOS	NUMERO DE CARRILES POR SENTIDO	FACTOR DIRECCIONAL (Fd)	FACTOR CARRIL (Fc)	FACTOR PONDERADO Fd x Fc para carril de diseño
	1 sentido	1	1.00	1.00	1.00
	1 sentido	2	1.00	0.80	0.80
1 calzada (para IMDa total de calzada)	1 sentido	3	1.00	0.60	0.60
	1 sentido	4	1.00	0.50	0.50
	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
2 calzadas con separador central (para IMDa total de las)	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
	2 sentidos	3	0.50	0.60	0.30



dos calzadas)	2 sentidos	4	0.50	0.50	0.25
------------------	------------	---	------	------	------

Fuente: (MTC, 2014)

2.2.3.6 Crecimiento del Tránsito

El crecimiento de tránsito, entendido como el incremento del volumen vehicular a lo largo del tiempo, es un fenómeno relevante en el contexto peruano debido al desarrollo económico y social del país (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013). Este crecimiento puede ser atribuido a diversos factores, como el aumento de la población, la expansión urbana, la mejora de la infraestructura vial y el incremento de la actividad económica (Benavente & García, 2015).

El estudio del crecimiento de tránsito es esencial para la planificación y diseño de carreteras, ya que permite prever la demanda futura de transporte y garantizar que la infraestructura vial sea capaz de satisfacer las necesidades de los usuarios a largo plazo (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013). Para ello, se utilizan modelos de pronóstico que consideran variables como el crecimiento económico, el desarrollo urbano, los cambios en los patrones de viaje y las políticas de transporte (Benavente & García, 2015).

Un adecuado pronóstico del crecimiento de tránsito es fundamental para evitar la congestión vehicular, los accidentes de tránsito y el deterioro prematuro de las carreteras. Además, permite optimizar la inversión en infraestructura vial, asegurando que los recursos se destinen a proyectos que realmente satisfagan las necesidades de la población y promuevan el desarrollo sostenible del país.



La AASHTO sugiere la utilización de un factor total de crecimiento, el cual se define como el producto del factor de crecimiento y el período de diseño, y se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Factor de Crecimiento} = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

Donde:

“r : Tasa de crecimiento anual, %”.

“n : Período de diseño en años”.

Según el MTC (2014), "el crecimiento del tránsito puede calcularse utilizando una fórmula de progresión geométrica, aplicándola de manera independiente para los vehículos de pasajeros y para los vehículos de carga”.

$$T_n = T_o (1 + r)^{n-1}$$

Donde:

“T_n : Tránsito proyectado al año “n” en veh/día”

“T_o : Tránsito actual (año base) en veh/día”

“n : Número de años del período de diseño”

“r : Tasa anual de crecimiento de tránsito”

De acuerdo con el MTC (2014), "el criterio para seleccionar el Factor de Crecimiento Acumulado (Fca) durante el período de diseño debe considerar la tasa de crecimiento anual (r) y la duración del análisis en años"

$$\text{Factor Fca} = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

Donde:

“r : Tasa de crecimiento anual, %”.



“n : Periodo de diseño en años”.

2.2.3.7 Estimación del ESAL

La estimación del ESAL (Carga Equivalente de Eje Simple) es un aspecto crucial en el diseño de pavimentos en Perú, ya que permite medir el efecto acumulativo del tráfico sobre la estructura del pavimento a lo largo de su vida útil (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013). El ESAL representa la carga equivalente de un eje simple estándar de 8.2 toneladas, y se utiliza para calcular el número de repeticiones de carga que un pavimento puede soportar antes de fallar (Benavente & García, 2015).

En el contexto peruano, la estimación del ESAL se realiza siguiendo las metodologías establecidas en el Manual de Diseño de Carreteras (DG-2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Este manual proporciona factores de equivalencia de carga para diferentes tipos de vehículos y configuraciones de ejes, así como procedimientos para estimar el tráfico futuro y calcular el ESAL acumulado a lo largo del periodo de diseño (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013).

La estimación precisa del ESAL es crucial para seleccionar los materiales y espesores adecuados de las diferentes capas del pavimento, garantizando así su durabilidad y resistencia a las cargas del tráfico. Un diseño basado en una estimación incorrecta del ESAL puede resultar en fallas prematuras del pavimento, lo que implica mayores costos de



mantenimiento y rehabilitación, así como interrupciones del tráfico y riesgos para la seguridad vial.

2.2.3.8 Factor de Equivalencia de Carga

El factor de carga equivalente (FCE) es un concepto clave en el diseño de pavimentos en Perú, ya que facilita la conversión de las cargas generadas por distintos tipos de vehículos que circulan por una carretera en una carga equivalente a la de un eje estándar de 8.2 toneladas (ESAL) (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013). Este factor se utiliza para calcular el número de repeticiones de carga equivalente (ESAL) que un pavimento debe soportar durante su vida útil, lo que permite dimensionar adecuadamente las diferentes capas del pavimento y garantizar su durabilidad (Benavente & García, 2015).

En el contexto peruano, los factores equivalentes de carga se establecen en función del tipo de vehículo, la configuración de ejes, el peso bruto vehicular y el tipo de pavimento (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013). Estos factores se obtienen a partir de estudios experimentales y modelos de predicción, y se actualizan periódicamente para reflejar los cambios en la composición del parque vehicular y las condiciones de operación de las carreteras.

La aplicación correcta de los factores equivalentes de carga es esencial para garantizar un diseño adecuado del pavimento, que sea capaz de resistir las cargas del tráfico y evitar fallas prematuras. Un error en la estimación del FEC puede llevar a un sobredimensionamiento o

subdimensionamiento del pavimento, lo que implica un uso ineficiente de los recursos o un riesgo de fallas prematuras, respectivamente.

$$FEC = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^4$$

Donde:

“P0: Carga estándar”

“P1: Carga cuya equivalencia de daño se desea calcular”.

Figura 7

Factores de Equivalencia de Carga

Carga bruta por eje		Factores de equivalencia de Carga		
KN	lb	Ejes Simples	Ejes Tandem	Ejes Tridem
4.45	1,000	0.00002		
8.9	2,000	0.00018		
17.8	4,000	0.00209	0.0003	
26.7	6,000	0.01043	0.001	0.0003
35.6	8,000	0.0343	0.003	0.001
44.5	10,000	0.0877	0.007	0.002
53.4	12,000	0.189	0.014	0.003
62.3	14,000	0.360	0.027	0.006
71.2	16,000	0.623	0.047	0.011
80.0	18,000	1.000	0.077	0.017
89.0	20,000	1.51	0.121	0.027
97.9	22,000	2.18	0.180	0.040
106.8	24,000	3.03	0.260	0.057
115.6	26,000	4.09	0.364	0.080
124.5	28,000	5.39	0.495	0.109
133.4	30,000	6.97	0.658	0.145
142.3	32,000	8.88	0.857	0.191
151.2	34,000	11.18	1.095	0.246
160.1	36,000	13.93	1.38	0.313
169.0	38,000	17.20	1.70	0.393
178.0	40,000	21.08	2.08	0.487
187.0	42,000	25.64	2.51	0.597
195.7	44,000	31.00	3.00	0.723
204.5	46,000	37.24	3.55	0.868
213.5	48,000	44.50	4.17	1.033
222.4	50,000	52.88	4.86	1.22

Fuente: (MTC, 2014)

Los Ejes Equivalentes (EE) son valores que cuantifican el daño relativo que cada tipo de eje de un vehículo pesado causa a la estructura

del pavimento. Estos factores permiten comparar el impacto de diferentes cargas sobre el pavimento y son esenciales para el diseño y evaluación de su capacidad de carga. (MTC, 2014)

Para el Cómputo de los EE, se utilizarán las siguientes relaciones simplificadas, que resultaron de correlacionar los valores de las Tablas del apéndice D de la Guía AASHTO 93, para las diferentes configuraciones de ejes de vehículos pesados (buses y camiones) y tipo de pavimento:

Tabla 5

Relación entre el tipo de eje y la ecuación para determinar los ejes equivalentes.

Tipo de Eje	Eje Equivalente (EE _{8.2 ta})
Eje Simple de ruedas simples (EEs1)	$EE_{S1} = [P/6.6]^{4.0}$
Eje Simple de ruedas dobles (EEs2)	$EE_{S2} = [P/8.2]^{4.0}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje ruedas simple) (EETA1)	$EE_{TA1} = [P/14.8]^{4.0}$
Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EETA2)	$EE_{TA2} = [P/15.1]^{4.0}$
Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EETR1)	$EE_{TR1} = [P/20.7]^{3.9}$
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EETR2)	$EE_{TR2} = [P/21.8]^{3.9}$

P= peso real por eje de toneladas
Fuente: (MTC, 2014)

2.2.3.9 Factor Camión

El factor camión (FC) es un parámetro crucial en el diseño de pavimentos en Perú, ya que permite ajustar el tráfico total de vehículos a un tráfico equivalente de camiones, considerando el mayor impacto que estos tienen sobre la estructura del pavimento (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013). Este factor se obtiene a partir de



conteos vehiculares y factores de equivalencia de carga, y se utiliza para calcular el número de ejes equivalentes (ESAL) que un pavimento debe soportar durante su vida útil (Benavente & García, 2015).

El FC varía según el tipo de vía, la composición del tráfico y las características de los vehículos pesados que circulan por ella. En general, el FC es mayor en carreteras con un alto porcentaje de camiones y vehículos pesados, y en vías con pendientes pronunciadas o curvas cerradas, donde las cargas dinámicas son más intensas (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013).

La correcta determinación del FC es esencial para garantizar un diseño adecuado del pavimento, que sea capaz de resistir las cargas del tráfico y evitar fallas prematuras. Un error en la estimación del FC puede llevar a un sobredimensionamiento o subdimensionamiento del pavimento, lo que implica un uso ineficiente de los recursos o un riesgo de fallas prematuras, respectivamente.

El factor camión representa la cantidad de veces que un eje estándar de 80 kN, equivalente a un camión promedio, transita por un punto de la carretera (Minaya & Ordoñez, 2006). Aunque el pesaje es el método más preciso para determinarlo, puede resultar costoso en proyectos pequeños. En ausencia de datos de pesaje, se puede optar por utilizar el factor camión de una vía similar o estimarlo mediante un método empírico (Minaya & Ordoñez, 2006).



2.2.3.10 Determinación del número de Ejes Equivalentes

Es un procedimiento crucial cuando se diseña pavimentos en Perú, ya que permite medir el efecto acumulativo del tráfico sobre la estructura del pavimento en su vida útil. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013). El ESAL representa la carga equivalente de un eje simple estándar de 8.2 toneladas, y se utiliza para calcular el número de repeticiones de carga que un pavimento puede soportar antes de fallar (Benavente & García, 2015).

El Cómputo del ESAL se basa en el volumen de tránsito, la clasificación vehicular y factores de equivalencia de carga (FEC) para cada diferente vehículo y eje (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013). El FEC representa la relación del daño causado por un eje de un vehículo específico con el daño causado por un eje estándar de 8.2 toneladas. Al multiplicar el número de ejes de cada tipo de vehículo por su respectivo FEC y sumar los resultados, se obtiene el número total de ESAL para un período determinado.

Es importante destacar que la determinación del ESAL es un proceso complejo que requiere datos precisos y actualizados sobre el tráfico y los factores de equivalencia de carga. En Perú, el Manual de Diseño de Carreteras (DG-2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones proporciona las directrices y metodologías para realizar este Cómputo, garantizando así un diseño adecuado del pavimento que sea capaz de resistir las cargas del tráfico y evitar fallas prematuras (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013).

Figura 8

Definición de parámetros para determinar el número de EE

Parámetros	Descripción
Nrep de EE 8.2t	Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 tn
EE_{dia-carril}	<p>EE_{dia-carril} = Ejes Equivalentes por cada tipo de vehículo pesado, por día para el carril de diseño. Resulta del IMD por cada tipo de vehículo pesado, por el Factor Direccional, por el Factor Carril de diseño, por el Factor Vehículo Pesado del tipo seleccionado y por el Factor de Presión de neumáticos. Para cada tipo de vehículo pesado, se aplica la siguiente relación:</p> $EE_{dia-carril} = IMD_{pi} \times Fd \times Fc \times Fvp_i \times Fp_i$ <p>donde:</p> <p>IMD_{pi}: corresponde al Índice Medio Diario según tipo de vehículo pesado seleccionado (i)</p> <p>Fd: Factor Direccional, según Cuadro N°6.1.</p> <p>Fc: Factor Carril de diseño, según Cuadro N°6.1.</p> <p>Fvp_i: Factor vehículo pesado del tipo seleccionado (i) calculado según su composición de ejes. Representa el número de ejes equivalentes promedio por tipo de vehículo pesado (bus o camión), y el promedio se obtiene dividiendo el total de ejes equivalentes (EE) de un determinado tipo de vehículo pesado entre el número total del tipo de vehículo pesado seleccionado.</p> <p>Fp_i: Factor de Presión de neumáticos, según Cuadro N° 6.13.</p>
Fca	Factor de crecimiento acumulado por tipo de vehículo pesado (según cuadro 6.2)
365	Número de días del año
Σ	Sumatoria de Ejes Equivalentes de todos los tipos de vehículo pesado, por día para el carril de diseño por Factor de crecimiento acumulado por 365 días del año.

Fuente: (MTC, 2014)

2.2.4 Evaluación de pavimentos

La evaluación de pavimentos es un proceso fundamental para garantizar la seguridad y eficiencia de la infraestructura vial en Perú. Consiste en recopilar y analizar datos sobre el estado actual del pavimento, identificar sus deficiencias y determinar las necesidades de mantenimiento o rehabilitación (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013).



En el contexto peruano, la evaluación de pavimentos se realiza siguiendo las metodologías establecidas en el Manual de Diseño de Carreteras (DG-2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Este manual establece los procedimientos y criterios para evaluar diferentes aspectos del pavimento, como la condición superficial, la capacidad estructural, la seguridad vial y el nivel de servicio (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013).

Para evaluar la condición superficial, se utilizan métodos visuales y mediciones instrumentales, como el índice de condición del pavimento (PCI) y el índice de rugosidad internacional (IRI) (Benavente & García, 2015). La capacidad estructural se evalúa mediante ensayos no destructivos, como el deflectómetro de impacto (FWD) y el georradar (GPR), que permiten medir la respuesta del pavimento a las cargas dinámicas y estimar su capacidad de soporte (Benavente & García, 2015).

La evaluación de pavimentos es fundamental para identificar las zonas que necesitan mantenimiento o rehabilitación, priorizando así las intervenciones y optimizando el uso de los recursos disponibles. Además, esta evaluación contribuye a mejorar la seguridad en las vías, a disminuir los costos de operación y mantenimiento, y a extender la vida útil de los pavimentos.

2.2.4.1 Evaluación Superficial de Pavimentos

Es un componente crucial en el mantenimiento y gestión de la infraestructura vial en Perú. Este proceso implica la identificación y cuantificación de las diferentes fallas y deterioros presentes en la superficie del pavimento, como grietas, baches, ahuellamientos,



desprendimientos y pérdida de agregados (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013).

En el contexto peruano, la evaluación superficial de pavimentos se realiza siguiendo las metodologías establecidas en el Manual de Diseño de Carreteras (DG-2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Este manual establece los procedimientos y criterios para la inspección visual, la medición de las dimensiones de las fallas y la clasificación de los deterioros según su severidad (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013).

La evaluación superficial de pavimentos es esencial para identificar las áreas que requieren atención inmediata, planificar las acciones de mantenimiento y optimizar el uso de los recursos disponibles. Un adecuado mantenimiento del pavimento contribuye a mejorar la seguridad vial, reducir los costos de operación y prolongar la vida útil de la infraestructura.

- **Rugosidad:**

La rugosidad, en el contexto de pavimentos, se refiere a las irregularidades superficiales que afectan la calidad de rodadura y la seguridad vial (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013). En Perú, la medición de la rugosidad se realiza utilizando el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), que cuantifica las irregularidades longitudinales del pavimento en términos de pendiente acumulada por unidad de longitud (m/km) (Benavente & García, 2015).

El IRI es un parámetro ampliamente utilizado en la evaluación de pavimentos, ya que se correlaciona con la comodidad de los usuarios, el



consumo de combustible de los vehículos, el desgaste de los neumáticos y el ruido generado por el tráfico (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013). Además, el IRI es un indicador de la seguridad vial, ya que una mayor rugosidad puede reducir la adherencia de los neumáticos y aumentar el riesgo de accidentes.

En el Perú, el Manual de Diseño de Carreteras (DG-2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones establece los valores máximos permitidos de IRI para diferentes tipos de vías y niveles de servicio (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013). La medición regular del IRI permite identificar tramos de carretera con problemas de rugosidad y planificar las acciones de mantenimiento necesarias para brindar seguridad y comodidad.

- **Fallas Superficiales:**

Las fallas superficiales en pavimentos son deterioros que afectan la capa superior de rodadura, comprometiendo su funcionalidad y seguridad (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013). Estas fallas pueden manifestarse de diversas formas, como grietas, baches, ahuellamientos, desprendimientos y pérdida de agregados (Benavente & García, 2015).

En el contexto peruano, la identificación y clasificación de las fallas superficiales se rige por el Manual de Diseño de Carreteras (DG-2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Este manual establece criterios para evaluar la severidad de las fallas y determinar las acciones de mantenimiento necesarias (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013).



Las fallas superficiales pueden ser causadas por diversos factores, como el envejecimiento del pavimento, la sobrecarga del tráfico, la falta de mantenimiento, las condiciones climáticas adversas y la calidad de los materiales utilizados en la construcción (Benavente & García, 2015). La detección temprana y la reparación oportuna de estas fallas son cruciales para prevenir su propagación y evitar daños mayores en la estructura del pavimento.

- **Perdida de fricción:**

La pérdida de fricción en pavimentos es un problema crítico en la seguridad vial en Perú, ya que reduce la adherencia de los neumáticos y aumenta el riesgo de accidentes, especialmente en condiciones de lluvia o humedad (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013). Esta pérdida de fricción puede ser causada por diversos factores, como el desgaste de la superficie del pavimento, la acumulación de agua, aceite o polvo, y la presencia de materiales pulidos o lisos (Benavente & García, 2015).

La medición de la fricción en pavimentos se realiza utilizando el coeficiente de fricción superficial (CFS), el cual se representa como relación entre la fuerza de fricción y la fuerza normal entre el neumático y la superficie del pavimento (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013). El CFS se mide mediante equipos especializados, como el péndulo británico o el mu-meter, y se expresa en valores entre 0 y 1, donde un valor más alto indica una mayor fricción y, por lo tanto, una mejor adherencia.



En Perú, el Manual de Diseño de Carreteras (DG-2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones establece los valores mínimos permitidos de CFS para diferentes tipos de vías y velocidades de diseño (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013). La medición periódica del CFS permite identificar tramos de carretera con problemas de pérdida de fricción y planificar las acciones de mantenimiento necesarias para garantizar la seguridad vial, como la limpieza de la superficie, la aplicación de tratamientos superficiales antideslizantes o la rehabilitación del pavimento.

2.2.4.2 Evaluación Estructural de Pavimentos

La evaluación estructural de pavimentos es un proceso fundamental para determinar la capacidad de carga y la integridad estructural de las diferentes capas que componen un pavimento (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013). Esta evaluación permite identificar áreas débiles o dañadas, estimar la vida útil restante del pavimento y planificar las acciones de mantenimiento o rehabilitación necesarias para garantizar su adecuado desempeño (Benavente & García, 2015).

En Perú, la evaluación estructural de pavimentos se realiza siguiendo las metodologías establecidas en el Manual de Diseño de Carreteras (DG-2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Este manual establece los procedimientos y criterios para la realización de ensayos no destructivos, como el deflectómetro de impacto (FWD) y el georradar (GPR), que permiten medir la respuesta del



pavimento a las cargas dinámicas y estimar su capacidad de soporte (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013).

Los resultados de la evaluación estructural se utilizan para calcular el módulo de elasticidad de las diferentes capas del pavimento, que es un parámetro clave para determinar su capacidad de carga y resistencia a las deformaciones (Benavente & García, 2015). Esta información es fundamental para tomar decisiones sobre el tipo y la magnitud de las intervenciones de mantenimiento o rehabilitación necesarias para asegurar la funcionalidad y seguridad del pavimento a largo plazo.

La evaluación estructural de pavimentos busca determinar su capacidad de carga restante (Thenoux & Gaete, 2019). Un pavimento con capacidad estructural insuficiente se deteriora progresivamente, presentando grietas y deformaciones que no pueden solucionarse con mantenimiento preventivo (Thenoux & Gaete, 2019).

Esta evaluación permite conocer la resistencia del sistema de una carretera existente en cualquier momento de su vida útil (Fernandez, 2020). Esto es crucial para determinar si necesita rehabilitación, ya sea porque está llegando al final de su vida útil o porque cambiarán las condiciones de tráfico (Fernandez, 2020).

Existen dos tipos de métodos para evaluar la estructura de un pavimento: destructivos y no destructivos (Alfaro, 2018). Las calicatas son un ejemplo de ensayo destructivo, que permite observar las capas del pavimento y realizar pruebas de densidad en el lugar (Alfaro, 2018). Estos ensayos brindan información sobre las propiedades reales de los materiales que componen el pavimento (Leguía & Pacheco, 2016).



Los ensayos no destructivos, como la medición de deflexiones, son herramientas clave para analizar pavimentos sin causarles daño (Alfaro, 2018). La magnitud de la deflexión provocada por una carga permite evaluar las propiedades del pavimento en su ubicación real.

La viga Benkelman es el método más común para medir deflexiones, tanto en áreas con fallas visibles como en aquellas sin daño aparente (Leguía & Pacheco, 2016). Esto ayuda a determinar las condiciones actuales del pavimento y a interpretar los resultados de manera integral.

El deflectómetro de impacto (FWD) es otra herramienta no destructiva que evalúa la estructura del pavimento de manera rápida y precisa, sin interrumpir el tráfico (Alfaro, 2018). Este método proporciona información detallada sobre el estado del pavimento, lo cual es útil al tomar decisiones con respecto al mantenimiento y rehabilitación.

2.2.5 La viga benkelman

La viga Benkelman se ha consolidado como una herramienta esencial en la evaluación estructural de pavimentos en Perú, siendo ampliamente utilizada en proyectos de investigación y en la práctica profesional de la ingeniería vial. Su relevancia radica en su capacidad para medir la deflexión del pavimento bajo carga, proporcionando información valiosa sobre su capacidad estructural y comportamiento bajo condiciones de tráfico (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013).

En el ámbito académico, diversos estudios han empleado la viga Benkelman para analizar el desempeño de pavimentos en diferentes regiones del



Perú. Por ejemplo, Benavente y García (2015) utilizaron este instrumento para evaluar el comportamiento de pavimentos asfálticos en carreteras de la sierra peruana, identificando factores que influyen en su deterioro y proponiendo estrategias de mantenimiento.

Asimismo, investigaciones como la de Huamán y Quispe (2018) han demostrado la utilidad de la viga Benkelman para evaluar la capacidad estructural de pavimentos flexibles en zonas urbanas, contribuyendo a la toma de decisiones sobre la rehabilitación y conservación de vías locales.

En la práctica profesional, la viga Benkelman es una herramienta indispensable para consultores y empresas constructoras en Perú. Su uso permite evaluar la calidad de la construcción de nuevos pavimentos, así como monitorear el estado de pavimentos existentes y planificar intervenciones de mantenimiento de manera eficiente y oportuna.

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (2013) reconoce la importancia de la viga Benkelman en el Manual de Diseño de Carreteras (DG-2013), donde se detallan los procedimientos y criterios para su uso en la evaluación de pavimentos. Esto demuestra la relevancia de esta herramienta en el contexto de la ingeniería vial peruana y su contribución a la mejora de la infraestructura vial del país.

La viga Benkelman, instrumento clave en la evaluación de pavimentos en Perú, se compone de diversas partes que trabajan en conjunto para medir la deflexión del pavimento bajo carga. El conocimiento de estas partes es fundamental para comprender el funcionamiento del equipo y garantizar la precisión de las mediciones.



2.2.5.1 Partes de la viga benkelman

Viga principal: Es el elemento estructural central de la viga Benkelman, generalmente fabricado en acero de alta resistencia. Su longitud y rigidez están diseñadas para minimizar la influencia de la propia viga en las mediciones de deflexión (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013).

Apoyos: La viga principal se apoya sobre el pavimento mediante dos apoyos delanteros fijos y un apoyo trasero ajustable. Estos apoyos permiten nivelar la viga y asegurar su estabilidad durante el ensayo (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013).

Brazo de medición: Es un brazo articulado que se extiende desde la viga principal y se apoya sobre el pavimento en el punto donde se desea medir la deflexión. El extremo libre del brazo está conectado a un dial indicador que registra el desplazamiento vertical del pavimento bajo la carga (Benavente & García, 2015).

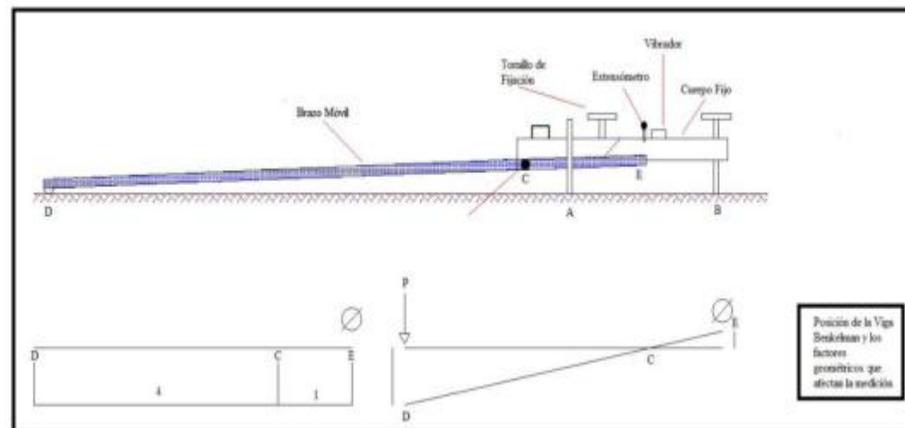
Dial indicador: Es un instrumento de precisión que mide la deflexión del pavimento en milésimas de pulgada o milímetros. El dial indicador está conectado al brazo de medición y registra el desplazamiento vertical del pavimento cuando se aplica la carga (Benavente & García, 2015).

Dispositivo de carga: Es un camión de carga que se utiliza para aplicar una carga controlada sobre el pavimento. El peso y la configuración de ejes del camión son seleccionados de acuerdo con las especificaciones

del ensayo y las características del pavimento a evaluar (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013).

Figura 9

Esquema de la Viga Benkelman



Fuente: (Vilca & Cuba, 2020)

2.2.5.2 Equipo requerido

La realización del ensayo de viga Benkelman en Perú requiere de un conjunto de equipos específicos, detallados en el Manual de Diseño de Carreteras (DG-2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Estos equipos garantizan la precisión y confiabilidad de las mediciones, permitiendo una evaluación adecuada de la capacidad estructural del pavimento.

Viga Benkelman: Es el instrumento principal del ensayo, compuesto por una viga metálica, apoyos, brazo de medición y dial indicador (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013). La viga debe cumplir con las especificaciones técnicas establecidas en el DG-2013, asegurando su rigidez y precisión en la medición de deflexiones.



Camión de carga: Es el vehículo utilizado para aplicar la carga sobre el pavimento. El camión debe tener un peso y una configuración de ejes conocidos, y cumplir con los requisitos de carga establecidos en el DG-2013 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013).

Dispositivos de medición: Además del dial indicador de la viga Benkelman, se pueden utilizar otros dispositivos de medición complementarios, como sensores de temperatura y humedad, para registrar las condiciones ambientales durante el ensayo (Benavente & García, 2015).

Herramientas auxiliares: Se requieren herramientas básicas como cintas métricas, niveles, martillos y estacas para la preparación del sitio y la correcta colocación de la viga Benkelman (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013).

Equipo de seguridad: El personal encargado de realizar el ensayo debe contar con equipo de seguridad personal, como cascos, chalecos reflectivos y botas de seguridad, para garantizar su integridad durante el proceso (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013).

Es fundamental que todos los equipos utilizados en el ensayo de viga Benkelman cumplan con las especificaciones técnicas y estén calibrados adecuadamente para asegurar la precisión y confiabilidad de los resultados.

2.2.5.3 Procedimiento de Campo

El procedimiento de campo para el ensayo de viga Benkelman en Perú, detallado en el Manual de Diseño de Carreteras (DG-2013) del

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), consta de varios pasos cruciales para garantizar la precisión y confiabilidad de los resultados.

Selección y preparación del sitio: Se eligen tramos representativos del pavimento a evaluar, considerando su condición, tipo de tránsito y características geográficas. Se marcan los puntos de medición a intervalos regulares, asegurándose de que la superficie esté limpia, seca y libre de obstáculos (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013).

Preparación y marcación: Se marca el punto a ensayar en el pavimento con una línea transversal, considerando una distancia específica desde el borde según el ancho del carril.

Tabla 6

Parámetros para realizar ensayo de viga Benkelman en función al ancho de calzada

Ancho calzada	Distancia 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: Desarrollado por tesista y laboratoristas

Posicionamiento del camión: Se debe colocar la rueda dual externa del camión sobre el punto de prueba, utilizando una guía vertical ubicada en la parte trasera del camión para asegurar su alineación con la línea transversal.

Colocación de la viga Benkelman: La viga se coloca sobre la superficie del pavimento, asegurando que esté nivelada y perpendicular al



eje de la carretera. Se ajusta el brazo de medición y se comprueba el funcionamiento del indicador de dial. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013).

Arreglo de la viga: Se desbloquean el perno que asegura los brazos y se regula la parte de la base de viga usando el tornillo que se encuentra en la parte posterior, asegurando así que los brazos hagan contacto adecuado con los diales.

Arreglo de los diales: Se configuran los diales para que tengan un trayecto libre entre 4 y 6 mm, y luego calibra la aguja a cero.

Aplicación de la carga: Se utiliza un camión de carga con peso y configuración de ejes conocidos, siguiendo las especificaciones del DG-2013. El camión se posiciona sobre el pavimento a una distancia determinada de la viga, y se aplica la carga de manera gradual y controlada (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013).

Medición de la recuperación: Se inicia el cronómetro y se activa el vibrador; luego, el camión avanza lentamente. Se registran las lecturas de los diales cada 60 segundos hasta que se obtienen dos lecturas consecutivas de cada uno que no presenten una diferencia mayor a 0.01 mm.

Verificación de deformación plástica: Se hace retroceder el camión hasta que la rueda se sitúe nuevamente sobre el punto de ensayo, observando si la aguja del medidor indica la presencia de deformación plástica.

Marcas adicionales (opcional): Se pueden hacer marcas adicionales a distancias elegidas para medir más deflexiones, siendo necesarias al menos tres lecturas para el análisis (Hoffman y Del Aguila, 1985).



Distancia de la primera marca adicional: La primera marca adicional se coloca a una distancia donde la deflexión sea la mitad de la máxima (Silva, 2020).

Distancia de la segunda marca adicional: La segunda marca se coloca al doble de la distancia de la primera (Vilca y Cuba, 2020). Estas distancias se determinan para cada proyecto y pueden ajustarse si las deflexiones en la primera marca están entre el 35% y el 65% de la deflexión máxima.

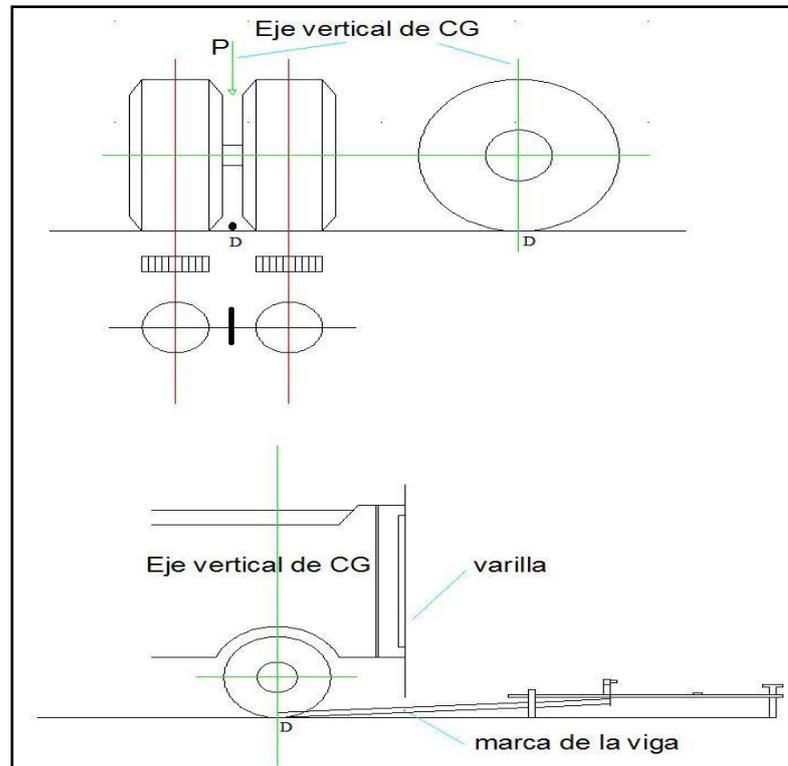
Medición de la deflexión: Se registra la deflexión máxima del pavimento bajo la carga del camión, utilizando el dial indicador de la viga Benkelman. Se toman varias lecturas en diferentes puntos alrededor del área de contacto del neumático, y se calcula el promedio de las lecturas (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013).

Registro de datos: Se anotan las lecturas de deflexión, junto con la información del camión de carga, las condiciones ambientales y la ubicación del punto de medición. Estos datos son fundamentales para el análisis posterior y la interpretación de los resultados (Benavente & García, 2015).

Análisis e interpretación de resultados: Se analizan las lecturas de deflexión para determinar la capacidad estructural del pavimento y evaluar su estado. Los resultados se comparan con los valores de referencia establecidos en el DG-2013 para determinar si el pavimento requiere mantenimiento o rehabilitación (Benavente & García, 2015).

Figura 10

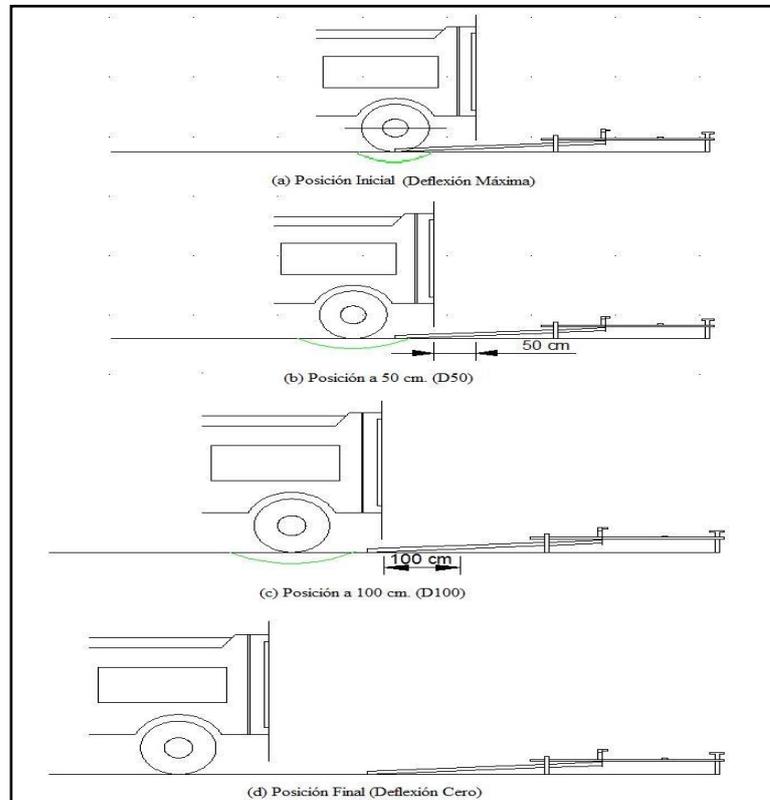
Configuración Geométrica de ensayos con la Viga Benkelman



Fuente: (Hoffman & Del Aguila, 1985)

Figura 11

Esquematzación del proceso de medición con la Viga Benkelman



Fuente: (Hoffman & Del Aguila, 1985)

Un ingeniero de campo debe supervisar continuamente el ensayo, verificando los valores obtenidos y registrando cualquier factor relevante que pueda influir en los resultados, como cortes, rellenos, tipo de material, alcantarillas, nivel freático y estado del pavimento (Ramos, 2017).

Figura 12

Formato de campo para recopilación de lecturas con Viga Benkelman

EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA (VIGA BENKELMAN)														
PROYECTO			PESO EJE POST.					FECHA						
CARRIL			PRESION DE INFLADO					REALIZADO POR						
ESTRUC. PAVIMENTO														
N°	PROG. (Km)	LADO	LECTURAS DE CAMPO						DEFLEXIONES				OBSERVACIONES	
			L0	L25	L50	L75	L100	LMAX	D0	D25	D50	D100		
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														

Fuente: (Ramos, 2017)

2.2.5.4 Cómputo de las deflexiones

Para determinar las deflexiones máximas, se resta la lectura final de cada una de las otras lecturas obtenidas durante el ensayo. Luego, estas diferencias se multiplican por la relación de brazos de la Viga Benkelman utilizada, que en este caso es 1:4 (Fernandez, 2020).

$$Dn = (Lf - Ln) \times 4$$

Donde:

“Dn : Deflexión en la medida n”.

“Lf : Lectura en la medida final”.

“Ln : Lectura en la medida n”.

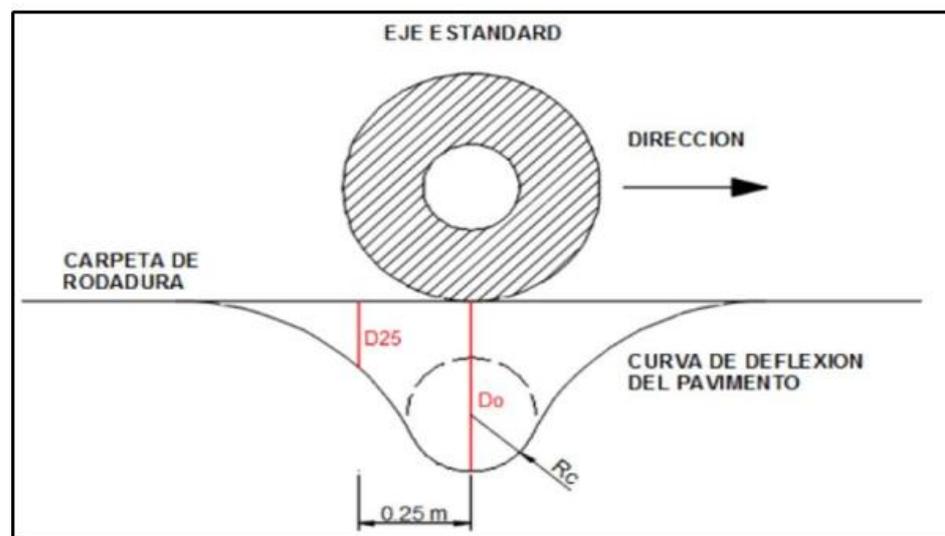
2.2.5.5 Radio de Curvatura

La curvatura de la línea elástica de deflexión es un factor crucial que determina la magnitud de la deformación por tracción en las capas asfálticas del pavimento cuando se flexionan bajo el peso del tráfico (Cubas, 2017).

El método para determinar el radio de curvatura, se basa en la hipótesis de que la línea de deflexiones de la distancia hasta el eje de la carga, se aproxima a una parábola hasta una distancia superior a 25 cm, sufriendo luego una inflexión para atender asintóticamente hacia la horizontal (Bonifacio, 2022). (Ver Figura 13).

Figura 13

Deformada del Pavimento y Radio de Curvatura



Fuente: (Cubas, 2017)

Según el MTC (2017) el radio de curvatura se calcula con la siguiente expresión:

$$RC = \frac{3125}{D_0 - D_{25}}$$

Donde:

Rc = Radio de Curvatura (m)”

D0 = Deflexión recuperable en el eje vertical de carga.

D25 = Deflexión recuperable a 25 centímetros del eje vertical.

2.2.5.6 Deflexión Característica

Según el MTC (2014) “La deflexión característica es el valor de deflexión que mejor representa a un determinado sector homogéneo”. Como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7

Tipo de carretera y su ecuación de deflexión característica.

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”	$DC = Dm + 1.645 \cdot \sigma$	“Deflexión característica, para una confiabilidad de 95%”
“Carreteras cuales o multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles”	$DC = Dm + 1.645 \cdot \sigma$	“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”	$DC = Dm + 1.645 \cdot \sigma$	“Deflexión característica, para una confiabilidad de 95%”
“Carreteras de segunda clase: carreteras con un IMDA entre	$DC = Dm + 1.282 \cdot \sigma$	“Deflexión característica, para una

2000- 401 veh/día, de una calzada de dos carriles”		confiabilidad de 90%”
“Carreteras de tercera clase: carreteras con un IMDA entre 400- 201 veh/día, de una calzada de dos carriles”	$DC=Dm+1.282\cdot\sigma$	“Deflexión característica, para una confiabilidad de 90%”
“Carreteras de bajo volumen de tránsito: carreteras con un IMDA ≤ 200 veh/día, de una calzada”	$DC=Dm+1.036\cdot\sigma$	“Deflexión característica, para una confiabilidad de 85%”
“Nota: DC= Deflexión característica, Dm=Deflexión media, σ =Desviación estándar”		

Fuente: (MTC, 2014)

Las deflexiones medidas en el pavimento se equipará con un valor límite permisible, esta es la deflexión máxima que el pavimento puede tolerar para asegurar un buen desempeño bajo el tráfico esperado (MTC, 2014). Este manual utiliza la relación propuesta por CONREVIAl para determinar este valor límite, garantizando así un comportamiento satisfactorio del pavimento (MTC, 2014).

2.2.5.7 Deflexión Admisible

La deflexión admisible es un valor límite establecido en función del tráfico esperado, que indica la máxima deflexión que un pavimento puede experimentar para asegurar un rendimiento adecuado durante su vida útil (Cubas, 2017). Si la deflexión característica supera este valor, el comportamiento del pavimento podría no ser satisfactorio.

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

Donde:

D_{adm} = Deflexión admisible en mm



N = Numero de repeticiones de ejes equivalentes en millones

2.2.5.8 Deflexión Crítica

La deflexión crítica es un valor límite establecido en función del tráfico esperado, que indica la máxima deflexión que un pavimento puede alcanzar al final de su vida útil para mantener un rendimiento aceptable (Cubas, 2017). Si la deflexión supera este valor, el pavimento podría no cumplir con los requisitos de servicio y requerir intervenciones de rehabilitación.

$$DCR = \left(\frac{1.90}{N18} \right)^{\frac{1}{5.3}}$$

Donde:

DCR = Deflexión crítica en mm.

N18 = Numero de repeticiones de ejes equivalentes en millones

No es necesario ajustar por temperatura las estructuras de pavimentos que consisten en un tratamiento superficial o mezclas asfálticas delgadas sobre bases cuyos módulos de rigidez no se vean afectados por los cambios de temperatura (Yarango, 2014).

2.2.5.9 Análisis

La interpretación conjunta de los valores de deflexión y radio de curvatura es crucial para evaluar la calidad de las capas que componen un pavimento (Madruga Ferreira, 2007). Aunque las deflexiones elevadas pueden indicar problemas en las capas inferiores, como la subrasante, la evaluación conjunta con el radio de curvatura permite obtener un diagnóstico más preciso (Madruga Ferreira, 2007).

Vilca y Cuba (2020) proponen cuatro escenarios posibles al analizar las deflexiones y radios de curvatura en pavimentos:

Baja deflexión y grandes radios de curvatura: Indica un suelo y capas del pavimento en buen estado, cumpliendo con los requisitos de calidad si la deflexión superficial no supera el límite máximo admisible.

Baja deflexión y pequeños radios de curvatura: Indica una posible deficiencia en la calidad de la capa superior (como granulometría, compactación, CBR, entre otros), aunque esto no implica necesariamente problemas en las capas inferiores. Este escenario se debe hacer investigaciones más exhaustivas.

Altas deflexiones y grandes radios de curvatura: Señala un problema en las capas inferiores, probablemente debido a materiales deficientes o exceso de humedad, independientemente de la calidad de las capas superiores.

Altas deflexiones y pequeños radios de curvatura: Se observa que el suelo presenta un estado completamente deficiente, con problemas de calidad en todas sus capas, utilización de materiales inapropiados, una compactación inadecuada y/o un drenaje insatisfactorio.

Las cuatro posibles situaciones detalladas se resumen en la Tabla 8 y Figura 14:

Tabla 8

Características del pavimento de acuerdo al tipo de deflexión y Radio de curvatura

“Tipo de Deflexión”	“Comportamiento de la subrasante”	“Comportamiento del pavimento”
---------------------	-----------------------------------	--------------------------------

“Tipo I”	“Bueno” “Dc < Da”	“Bueno” “Rc > 100”
“Tipo II”	“Malo” “Dc > Da”	“Bueno” “Rc > 100”
“Tipo III”	“Bueno” “Dc < Da”	“Malo” “Rc < 100”
“Tipo IV”	“Malo” “Dc > Da”	“Malo” “Rc < 100”

Fuente: (Cubas, 2017)

Figura 14

Características del pavimento de acuerdo al cuenco de deflexiones

Tipo	Cuenco de deflexiones	Curva medida	Pavimento evaluado
I		Curva extensa Poco Profunda	Buen Pavimento Buena Subrasante
II		Curva extensa Profunda	Buen Pavimento Mala Subrasante
III		Curva corta Poco Profunda	Mal Pavimento Buena Subrasante
IV		Curva corta Profunda	Mal Pavimento Mala Subrasante

Fuente: (Cubas, 2017)

El análisis combinado de las deflexiones características y admisibles permite determinar la capacidad estructural del pavimento en relación al tráfico y cargas que soporta (MTC, 2014). Este análisis revela si el pavimento es adecuado y solo necesita mantenimiento superficial, si está deteriorado y requiere refuerzo estructural, o si es deficiente y necesita una reconstrucción (MTC, 2014).

En la Tabla 12 se presenta el análisis combinado que propone el Ministerio de Transportes y Comunicaciones:

Figura 15

Análisis Combinado de los Resultados de Evaluación

PRIMER PASO	SEGUNDO PASO	TERCER PASO	CUARTO PASO	CASOS
1° La deflexión característica resulta:	SUPERIOR 2° ¿Hay fallas de origen estructural?	NO: Estructura infra diseñada 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 otras causas SI: Radio de curvatura pequeño (menor o igual a 80m.)	SEGUNDO CASO Este es el paso avanzado del primer caso, cuando no se han tomado a tiempo las medidas necesarias. TERCER CASO Esta 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 ¿De qué tipo?	<ul style="list-style-type: none"> Fallas por fatiga (piel de cocodrilo) Radio de curvatura pequeño (menor o igual a 80m.) 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 aun con deflexiones admisibles.
			Fallas por deformación permanente de la fundación que se traducen en depresiones, ahuecamiento marcado (mayor a 12 mm), ondulaciones, etc.	CUARTO CASO <ul style="list-style-type: none"> 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 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. En estos casos las medidas de deflexión pueden no ser significativas, aquí lo más importante 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.

Fuente: (MTC, 2014)



CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

3.1.1 Tipo de investigación

La investigación adopta enfoque mixto, combinando elementos cualitativos y cuantitativos. Se considera cualitativa al recopilar datos basados en mediciones cualitativas, lo que permite obtener resultados descriptivos. Al mismo tiempo, es cuantitativa al recopilar datos basados en mediciones numéricas (Hernández et al., 2014).

En la historia, surgieron diversas perspectivas y escuelas de formas de pensar que incentivaron múltiples caminos en la búsqueda del conocimiento. No obstante, debido a las diferentes premisas que las sustentan, desde el siglo pasado estas corrientes se han dividido en dos enfoques principales de investigación: el cuantitativo y el cualitativo (Hernández et al., 2014).

En esta tesis, la investigación se clasifica como aplicada, de enfoque cuantitativo. Se sitúa en el nivel descriptivo-explicativo ya que se ocupa de detallar las características del objeto de estudio y analizar los factores que influyen en su comportamiento y este se caracteriza por tener diseño no experimental y transversal, dado que no se manipulan las variables y los datos se recogen en un momento específico.



3.1.2 Alcance de la investigación

El alcance de la investigación es descriptivo, ya que su objetivo es detallar las propiedades y características relevantes del fenómeno en estudio (Hernández Sampieri et al., 2014).

La investigación descriptiva se enfoca en detallar las características y propiedades de un fenómeno, población o situación específica. Su objetivo principal es responder preguntas sobre el "qué", "cómo", "cuándo" y "dónde", proporcionando una imagen precisa y detallada del objeto de estudio (Hernández Sampieri et al., 2014).

En este trabajo se realizará un análisis estructural de un pavimento flexible utilizando la metodología "MTC 1002 – Medición de deflexión de un pavimento flexible con la Viga Benkelman".

3.1.3 Método de investigación

El estudio se basó en el método descriptivo, el cual busca obtener un conocimiento inicial de la realidad a través de la observación directa del investigador y de la información adquirida mediante la lectura (Abreu, 2014).

Dado que esta investigación se enmarca en un enfoque cuantitativo, se empleará el método inductivo. Este método emplea el razonamiento para llegar a conclusiones generales a partir de estudios considerados válidos.

3.1.4 Ubicación geográfica de estudio

El tramo bajo evaluación, se ubica en el tramo de provincia de Juli - Centro Poblado Santiago Mucho, iniciando (PU-1428) en el centro arqueológico Willca Uta (Aramu Muru) y finaliza en (PU-1429) el centro poblado Santiago Mucho

ubicado en la meseta del Collao, al sureste del Perú, con altitud promedio de 3,820 metros sobre el nivel del mar, en el distrito de Juli, perteneciente a la provincia de Chucuito en el departamento de Puno.

Figura 16

Carretera Juli - Centro Poblado Santiago Mucho



Fuente: CLASIFICADOR DE RUTAS (D.S. N° 011-2016-MTC)

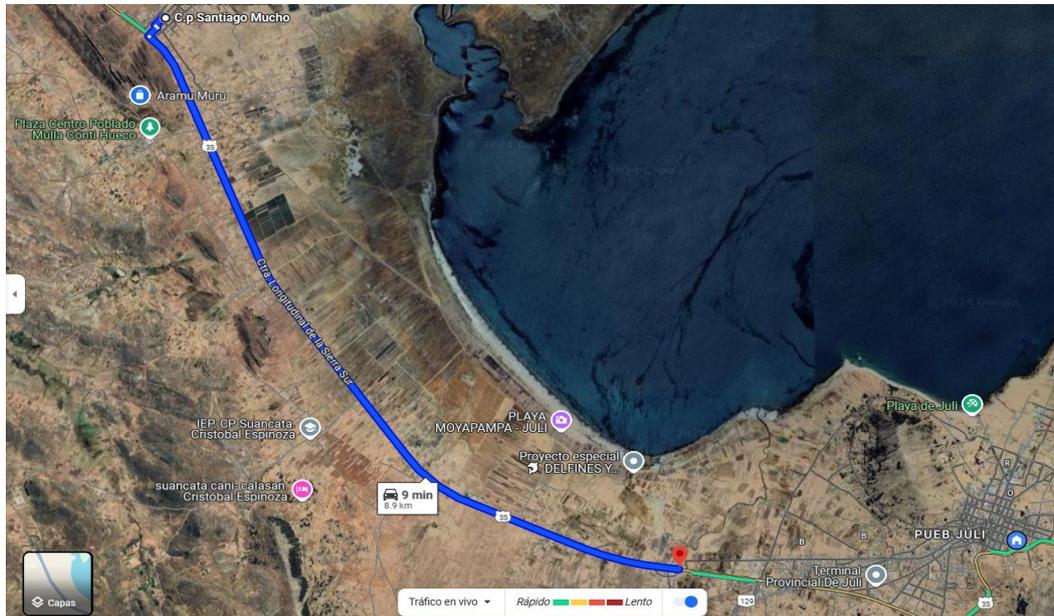
3.1.5 Población

Según Arias (2012), la población en una investigación de un grupo delimitado por características comunes, al cual se generalizarán los resultados del estudio. Esta población está definida por los objetivos y la problemática que aborda la investigación.

Según López (2014), la población en una investigación se refiere al conjunto de individuos u objetos sobre los cuales se busca obtener información. En este estudio, la población fue finita y consistió en la totalidad de calles o avenidas con pavimento flexible en la ciudad de Puno.

Figura 17

Ruta Juli - Centro Poblado Santiago Mucho



Fuente: Google Maps

Tabla 9

Coordenadas UTM tramo en estudio

COORDENADA UTM	ESTE	NORTE
COMIENZO	442660.76 m	8212026.27 m
FINAL	442297.67 m	8212698.29 m

Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

3.1.6 Muestra

Arias (2012) define la muestra como una porción reducida y cuidadosamente seleccionada de una población más grande. Esta muestra debe ser representativa, es decir, compartir características clave con la población total, lo que permite extrapolar los resultados obtenidos de la muestra al resto de la población con un grado de confianza.



Behar Rivero (2008) explica que la muestra es un grupo más pequeño y representativo de una población más grande. Este subconjunto comparte las características esenciales de la población a la que pertenece.

En este estudio, se empleó un método de muestreo no probabilístico, como lo describen Hernández Sampieri et al. (2014). Esto significa que la selección de los participantes no se basó en el azar, sino en criterios específicos relevantes para la investigación.

Para calcular la muestra finita, se llevó a cabo el siguiente procedimiento. Se determinó el tamaño de la muestra para una población cuantitativa finita:

$$A = \frac{NZ^2S^2}{(N-1)d^2 + Z^2S^2}$$

Donde:

n = Tamaño de muestra buscado

N = Tamaño de la Población o Universo

Z" = Parámetro estadístico que depende el Nivel de Confianza (NC)"

e = Erro de estimación máximo aceptado

σ = varianza de variable de interés

Los valores utilizados fueron:

N=8,900m

Z=1.960

P=50.00%

Q=50.00%

E=0.05

σ =0.5

Para este estudio el tamaño de la muestra obtenida es de 368.30m

En este estudio, se eligió una muestra de 1 km (1000 m) que comprende 48 puntos, distribuidos cada 50 metros, para realizar la evaluación estructural con la Viga Benkelman. Esta muestra se considera representativa del total que se pretende analizar.

Tabla 10

Puntos de muestra en el tramo

ENSAYO	TRAMO N° PU 1428 – PU 1429				
	Long. Del tramo en estudio (m)	Distancia entre puntos de muestreo (m)	N° de puntos de muestreo	N° de puntos de muestreo – margen derecho	N° de puntos de muestreo – margen izquierdo
DEFLECTOMETRIA (VIGA BENKELMAN)	1000	50	44	22	22

Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

3.1.7 Estadística

Para comprobar la hipótesis formulada, se utilizó la prueba estadística "t" de Student, estableciendo un nivel de confianza superior al 90%. Esta metodología se ajusta a los lineamientos establecidos en el Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos.

3.2 DESCRIPCION DEL TRAMO EN ESTUDIO

El tramo (PU-1428), comienza en el centro arqueológico Willca Uta (Aramu Muru) y finaliza en (PU-1429) el centro poblado Santiago Mucho, describe una ruta que conecta un sitio de interés histórico y cultural con un área poblada. Es una vía de doble sentido, con un carril por sentido, cada sentido cuenta con un ancho de vía de 3.60 m. a 3.85 m., una longitud de 1000 m. (1 km).



Centro arqueológico Willca Uta (Aramu Muru): Este lugar es conocido por su importancia arqueológica y su enigmática "Puerta de Hayu Marca" o "Puerta de los Dioses", una formación rocosa que ha generado diversas interpretaciones y leyendas. Es un destino turístico popular para aquellos interesados en la historia y el misticismo.

Centro poblado Santiago Mucho: Este es un asentamiento humano donde reside una comunidad local. Es probable que cuente con viviendas, servicios básicos y actividades económicas propias de la zona.

3.3 ESTUDIO DE TRANSITO

Montejo (2002) indica que, para determinar el volumen de tráfico en una vía, es necesario recopilar dos datos clave: el Tránsito Promedio Diario Semanal (TDPS), que representa la cantidad promedio de vehículos que circulan diariamente durante una semana, y el número, peso y tipo de los ejes de los vehículos pesados, lo cual permite evaluar el impacto del tráfico pesado en la vía.

3.3.1 Cómputo del índice medio diario anual

En esta investigación, se determinó el índice medio diario semanal, se calcula dividiendo el número total de vehículos que transitan por la vía en una semana entre siete días.

El análisis del tráfico vehicular en las estaciones N.º 01 de la carretera Juli – Centro poblado Santiago Mucho revela un predominio de vehículos ligeros, como autos, camionetas, combis y microbuses. Esto se debe principalmente al flujo de turistas nacionales y extranjeros que visitan la provincia de Chucuito Juili y uno de los complejos más visitados el Complejo Arqueológico de Willca Uta (Aramu Muru). También se observa la presencia de vehículos pesados como B2

y B3-1, y ocasionalmente camiones de tipo de vehículo C2 y C3, especialmente durante los días que son feria en Juli. Se presentará un cuadro resumen que contiene los números de vehículos por tipo en una semana (TDPS).

Figura 18

Cómputo del IMDA

DIA	AUTO			MICRO	BUS		CAMION			SEMITRAYLER				TRAYLERS				TOTAL	PORC. %	
	PICK UP	COMBI RURAL			2E	>=3E	2E	3E	4E	25W252	253	35W352	>=353	2T2	2T3	3T2	>=3T3			
LUNES	765	396	429	15	15	2	10	8	0	3	4	0	1	0	0	0	0	1648	13.73	
MARTES	730	390	426	16	12	3	14	6	0	4	4	0	0	0	0	0	0	1605	13.37	
MIERCOLES	993	420	495	14	13	7	14	8	0	6	4	4	0	0	0	0	0	1978	16.47	
JUEVES	741	372	482	12	16	4	10	6	0	3	3	2	0	0	0	0	0	1661	13.83	
VIERNES	726	384	429	14	14	2	9	7	3	4	2	1	1	0	0	0	0	1596	13.29	
SABADO	813	402	447	17	11	4	10	6	3	3	5	4	1	0	0	0	0	1726	14.37	
DOMINGO	831	426	468	15	15	4	11	7	0	6	5	3	2	0	0	0	0	1793	14.93	
TOTAL	5599	2790	3186	103	96	26	78	48	6	29	27	14	5	0	0	0	0	12007	100.00	
IMD	800	399	455	15	14	4	11	7	1	4	4	2	1	0	0	0	0	1717		
%	46.59	23.24	26.50	0.87	0.82	0.23	0.64	0.41	0.06	0.23	0.23	0.12	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
	VEHICULOS LIGEROS				VEHICULOS PESADOS															

Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

La tabla indicada presenta la cantidad de vehículos que circulan a diario, así como el Índice Medio Diario Semanal (IMDS) y el Índice Medio Diario Anual (IMDA). Este último se obtiene aplicando un factor de corrección estacional proporcionado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), con el fin de ajustar los datos y obtener una estimación más exacta del tráfico anual. El resumen en la siguiente Tabla 11:

Tabla 11

Resumen del Índice Medio Diario Anual

DIAS DE LA SEMANA	“VEHICULOS EN EL DIA”
LUNES	1648
MARTES	1605
MIERCOLES	1978



JUEVES	1661
VIERNES	1596
SABADO	1726
DOMINGO	1793
TOTAL	12007
IMDS	1717
FC	0.95
IMDA	1630

Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

3.3.2 Cómputo esal ejes equivalentes.

Luego de calculado el (IMDS) y el (IMDA), calculamos el número de ejes equivalentes para cada tipo de vehículo. Con esta información, se procedió a calcular la Carga Equivalente por Eje Simple (ESAL) siguiendo las pautas delineadas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) en 2014.

Los resultados se presentan en la Figura 19, Figura 20 y Figura 21:

Figura 19

Cómputo de Ejes Equivalentes por vehículo

Tasa de crecimiento poblacional (%)	1.07%	(Fuente INEI)
Tasa de crecimiento PBI departamental	4.71%	(Fuente INEI)
Periodo de diseño (años)	20 años	

TIPO DE VEHICULOS	PROMEDIO DIARIO		TASA DE CRECIMIENTO	IMD PROYECTADO	
	IMD	DISTRIB (%)			
Autos	759.9	46.63	1.07%	930	
Camionetas	Camionetas Pick Up	378.6	23.24	1.07%	464
	Camioneta Rural	432.4	26.53	1.07%	529
	Micro	14.0	0.86	1.07%	17
Bus	Omnibus 2E	13.0	0.80	1.07%	16
	Omnibus 3E	3.5	0.22	1.07%	4
Camión	Camion 2 E	10.6	0.65	4.71%	25
	Camion 3 E	6.5	0.40	4.71%	16
	Camion 4 E	0.8	0.05	4.71%	2
Semi Trayler	2S12S2	4	0.24	4.71%	9
	2S3	4	0.22	4.71%	9
	3S13S2	2	0.12	4.71%	5
	>=3S3	1	0.04	4.71%	2
Trayler	2T2			4.71%	
	2T3			4.71%	
	3T2			4.71%	
	3T3			4.71%	
TOTAL		1630	100.00		2003

Para la proyección de tráfico se ha empleado la siguiente fórmula:

$$Tr = T (1 + Rt)^{(n-1)}$$

Donde:

- Tr = Proyección de tráfico en años "n"
- T = IMD promedio del periodo de analisis
- Rt = Tasa de crecimiento poblacional aplicada
- n = Periodo de diseño

IMD proy.: 2003

Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

Figura 20

Cómputo de Ejes Equivalentes por vehículo

Tasa de Trafico desviado (%)	25.00%	(Fuente MTC- Peaje ILAVE)
Tasa de Trafico Generado (%)	30.00%	(Fuente INEI)

TIPO DE VEHICULOS		TRAFICO PROYECTADO NORMAL	TRAFICO DESVIADO	TRAFICO GENERADO	TRAFICO TOTAL
Camionetas	Autos	930.16	232.54	279.05	1441.75
	Camionetas Pick Up	463.50	115.88	139.05	718.43
	Camioneta Rural	529.29	132.32	158.79	820.40
Bus	Micro	17.11	4.28	5.13	26.52
	Omnibus 2E	15.95	3.99	4.78	24.72
	Omnibus 3E	4.32	1.08	1.30	6.70
Camión	Camion 2 E	25.38	6.35	7.61	39.34
	Camion 3 E	15.62	3.90	4.69	24.21
	Camion 4 E	1.95	0.49	0.59	3.03
Semi Trayler	2S12S2	9.44	2.36	2.83	14.63
	2S3	8.79	2.20	2.64	13.62
	3S13S2	4.56	1.14	1.37	7.06
	>=3S3	1.63	0.41	0.49	2.52
Trayler	2T2				0.00
	2T3				0.00
	3T2				0.00
	3T3				0.00
TOTAL		2028	507	608	3142.92

Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

Figura 21

Cómputo de ESAL para pavimento flexible

TIPO DE VEHICULOS	CALCULO DEL ESAL POR AÑO																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Camionetas	Autos	5.55E+02	8.63E+02	8.78E+02	8.89E+02	8.97E+02	9.07E+02	9.16E+02	9.26E+02	9.36E+02	9.46E+02	9.56E+02	9.67E+02	9.77E+02	9.87E+02	9.98E+02	1.01E+03	1.02E+03	1.03E+03	1.04E+03	1.05E+03
	Camionetas Pick Up	1.38E+02	2.17E+02	2.19E+02	2.21E+02	2.24E+02	2.26E+02	2.28E+02	2.31E+02	2.33E+02	2.36E+02	2.38E+02	2.41E+02	2.43E+02	2.46E+02	2.49E+02	2.51E+02	2.54E+02	2.57E+02	2.59E+02	2.62E+02
	Camioneta Rural	1.40E+02	2.20E+02	2.22E+02	2.25E+02	2.27E+02	2.30E+02	2.32E+02	2.35E+02	2.37E+02	2.40E+02	2.42E+02	2.45E+02	2.47E+02	2.50E+02	2.53E+02	2.55E+02	2.58E+02	2.61E+02	2.64E+02	2.67E+02
Bus	Micro	6.38E+00	9.99E+00	1.01E+01	1.02E+01	1.03E+01	1.04E+01	1.05E+01	1.07E+01	1.08E+01	1.09E+01	1.10E+01	1.11E+01	1.12E+01	1.14E+01	1.15E+01	1.16E+01	1.17E+01	1.18E+01	1.20E+01	1.21E+01
	Omnibus 2E	4.10E+03	6.42E+03	6.49E+03	6.56E+03	6.63E+03	6.70E+03	6.77E+03	6.84E+03	6.92E+03	6.99E+03	7.07E+03	7.14E+03	7.22E+03	7.30E+03	7.37E+03	7.45E+03	7.53E+03	7.61E+03	7.69E+03	7.78E+03
	Omnibus 3E	1.85E+03	2.59E+03	2.61E+03	2.64E+03	2.67E+03	2.70E+03	2.72E+03	2.75E+03	2.78E+03	2.81E+03	2.84E+03	2.87E+03	2.90E+03	2.93E+03	2.97E+03	3.00E+03	3.03E+03	3.06E+03	3.10E+03	3.13E+03
Camión	Camion 2 E	7.14E+03	1.16E+04	1.21E+04	1.27E+04	1.33E+04	1.38E+04	1.44E+04	1.50E+04	1.56E+04	1.62E+04	1.67E+04	1.73E+04	1.79E+04	1.84E+04	1.90E+04	2.00E+04	2.1E+04	2.21E+04	2.31E+04	2.42E+04
	Camion 3 E	3.04E+03	4.94E+03	5.17E+03	5.42E+03	5.67E+03	5.94E+03	6.22E+03	6.51E+03	6.82E+03	7.14E+03	7.48E+03	7.83E+03	8.20E+03	8.58E+03	8.99E+03	9.41E+03	9.85E+03	1.03E+04	1.08E+04	1.13E+04
	Camion 4 E	3.80E+02	6.18E+02	6.47E+02	6.77E+02	7.09E+02	7.42E+02	7.77E+02	8.14E+02	8.52E+02	8.92E+02	9.34E+02	9.78E+02	1.02E+03	1.07E+03	1.12E+03	1.18E+03	1.23E+03	1.28E+03	1.35E+03	1.41E+03
Semi Trayler	2S12S2	2.87E+00	4.50E+00	4.59E+00	4.69E+00	4.79E+00	4.75E+00	4.80E+00	4.85E+00	4.90E+00	4.95E+00	5.01E+00	5.06E+00	5.11E+00	5.17E+00	5.22E+00	5.28E+00	5.34E+00	5.39E+00	5.45E+00	5.49E+00
	2S3	2.67E+00	4.19E+00	4.24E+00	4.29E+00	4.33E+00	4.37E+00	4.42E+00	4.47E+00	4.51E+00	4.56E+00	4.61E+00	4.66E+00	4.71E+00	4.76E+00	4.81E+00	4.86E+00	4.92E+00	4.97E+00	5.02E+00	5.08E+00
	3S13S2	1.38E+00	2.17E+00	2.20E+00	2.24E+00	2.27E+00	2.29E+00	2.32E+00	2.34E+00	2.37E+00	2.39E+00	2.42E+00	2.44E+00	2.47E+00	2.50E+00	2.52E+00	2.55E+00	2.58E+00	2.60E+00	2.63E+00	2.66E+00
Trayler	>=3S3	4.99E-01	7.78E-01	7.84E-01	7.93E-01	8.01E-01	8.10E-01	8.18E-01	8.27E-01	8.36E-01	8.45E-01	8.54E-01	8.63E-01	8.72E-01	8.82E-01	8.91E-01	9.01E-01	9.10E-01	9.20E-01	9.30E-01	9.40E-01
	2T2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2T3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3T2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3T3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
ESAL POR AÑO		1759.56	27477.99	28236.15	29353.53	30351.94	31393.27	32479.49	33612.67	34794.97	36028.68	37316.15	38659.90	40062.49	41526.68	43055.31	44651.96	46317.96	48058.39	49876.08	51774.61
ESAL DE DISEÑO		7.42E+05																			
		742347.20																			

Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

3.4 CÓMPUTO DE LAS DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN

Las mediciones de deformación en pavimentos tienen diversas aplicaciones, como determinar la vida útil restante, evaluar su estado para mantenimiento o rehabilitación,



analizar métodos de diseño y ejecución de obras, y monitorear el deterioro causado por el tráfico para asegurar su resistencia y evitar la fatiga estructural (MTC, 2017).

El método de medición consiste en aplicar una carga estándar y registrar la deformación resultante en la superficie del pavimento. Para ello, se utiliza la Viga Benkelman, un dispositivo mecánico que mide los desplazamientos verticales en un punto específico entre las ruedas duales del eje de carga, con una presión de inflado de 80 psi y una carga de 8.2 toneladas en el eje trasero del camión (Encalada y Galecio, 2021).

3.4.1 Equipos y materiales

Viga Benkelman: Se utilizó una Viga Benkelman con doble brazo y diales de precisión de 0,01 mm y 12 mm de recorrido. Las dimensiones de la viga son:

- Brazo largo:
 - Longitud iniciando en el pivote hasta el punto de prueba: 2,44 m.
 - Longitud iniciando en el pivote hasta el punto de apoyo del vástago del dial: 0,61 m.
- Brazo corto:
 - Longitud iniciando en el pivote hasta el punto de prueba: 2,19 m.
 - Longitud iniciando en el pivote hasta el punto de apoyo del vástago del dial: 0,5475 m.

La principal distinción entre la viga Benkelman simple y la de doble brazo radica en la inclusión de un brazo corto adicional, cuyo punto de apoyo en el terreno se sitúa a 25 cm del punto de apoyo del brazo largo.

Figura 22

Herramienta usada en campo Viga Benkelman



Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

Figura 23

Herramienta usada en campo Viga Benkelman



Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

Figura 24

Certificado de la herramienta Viga Benkelman Calibración



Pág. 1 de 5

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LBA-017-2023

VIGA BENKELMAN

CLIENTE : INGEOPLESCA CONSULTORA Y CONSTRUCTORA
EMPRESA INDIVIDUAL DE RESPONSABILIDAD LIMITADA

DIRECCIÓN : JR. VELA VELA NRO. 420 URB. VILLA ZUBIGA PUNO -
PUNO - PUNO

DATOS DEL EQUIPO

Marca : PINZUAR LTDA.

Modelo : PA - 74

Serie : 148

Relación de Pivote : 4:1

Tipo : Doble Brazo

Procedencia : COLOMBIA

Brazo Nº 1 Largo

Dial : BAKER

Nº Serie : 45554

Aprox. : 0,01 mm

Rango : 25 mm

Brazo Nº 2 Corto

Dial : NO INDICA

Nº Serie : 45521

Aprox. : 0,01 mm

Rango : 25 mm

Fecha de omisión:

Lima, 28 de NOVIEMBRE del 2023



ARSOU GROUP S.A.C.
Asoc. Vía Las Flores de San Diego Mo C/ Lote 51, San Martín de Flores, Lima, Perú
Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
ventas@arsougroup.com
www.arsougroup.com

Fuente: Arsou Group S.A.C.

El camión que se empleará en el ensayo debe cumplir con las siguientes especificaciones: debe contar con un eje trasero que soporte un peso de 8.2 toneladas, distribuido de manera uniforme en sus ruedas duales. Las llantas deben ser de caucho con cámara de aire, con dimensiones de 10" x 20" y 12 lonas, infladas a una presión de 5.6 kg/cm² (80 psi). Además, la distancia entre los centros de las bandas de rodadura de cada par de llantas duales debe ser de 32 cm.

Figura 25

Camión de ensayo



Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

Reloj: Un reloj convencional que muestre los segundos.

Termómetro: Un termómetro convencional o un sistema de termopares con un rango de medición del $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ y precisión de $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Manómetro: Este es un equipo que cumple con la finalidad de determinar la presión a la cual están inflados los neumáticos del camión.

Cinta métrica: La aplicación de esta herramienta es medir las distancias de un punto a otro, para el ensayo de viga benkelman se pueden emplear cintas métricas que van desde los 3 metros hasta los 25 metros.

Figura 26

Cinta métrica



Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

Martillo y clavos o taladro: Para hacer agujeros de hasta 5 cm de profundidad en el pavimento.

Cuña o calzo de parada: De metal o madera.

Tiza y pintura: Para marcar el pavimento.

Silbato y otro avisador acústico: Para comunicarse durante el ensayo.

Aceite o material similar: Con inercia térmica y viscosidad similar al aceite.

- Casco de Seguridad: protección de la cabeza.
- Chaleco de Seguridad: Para la visibilidad del personal que ejecuta el ensayo que los conductores vean y prevean sus maniobras
- Zapatos de Seguridad: Para la protección de los pies.
- Conos de Seguridad: Para advertir a los conductores que se están realizando prueba en campo.

Figura 27

Equipos de protección personal



Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

3.4.2 Método para la medición de deflexiones en campo

La medición de las deflexiones se realizó de acuerdo con el ensayo "MTC E 1002 - Medición de la deflexión de un pavimento utilizando la viga Benkelman", que está establecido en el Manual de Ensayo de Materiales.

Antes de iniciar las mediciones, se verificó el peso del camión de ensayo, que fue de 8,200 kg (18,000 lb), y se confirmó que la presión en el inflado de las llantas era de 80 psi (5.6 kg/cm²).

Luego, se identificó los puntos a ensayar en el pavimento cada 50 metros con una línea transversal al camino. Además, se añadió una línea longitudinal a una distancia de 0.90 metros del borde del carril, siguiendo las indicaciones del manual de ensayo, ya que el ancho del carril es de 3.60 metros.

Tabla 12

Distancia de ensayo para toma de muestras

Ancho del calzada	“Distancia 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: Desarrollado por tesista y laboratoristas

Figura 28

Medición de todo ancho de calzada



Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

Mediante el uso de un silbato para coordinar el movimiento, el camión se desplazó de manera lenta hasta que una guía vertical situada en la parte trasera, sobre el eje de la rueda dual, se alineó con una línea longitudinal marcada a 45 cm del borde del pavimento. Es de esta manera, que se tomó como punto de ensayo el situado entre las dos llantas de la rueda dual externa.

Figura 29

Eje longitudinal y guía vertical alineado a la llanta



Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

Una vez que el camión fue ubicado en el punto de prueba, se posicionó la viga Benkelman sobre el pavimento, asegurándose de que estuviera perpendicular al eje de carga y que la punta del palpador coincidiera exactamente con el punto de ensayo, sin hacer contacto con los neumáticos de la rueda dual.

Figura 30

Posicionamiento de la Viga en el punto de ensayo alineado



Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

Se soltaron los seguros en ambos brazos de la viga Benkelman y se ajustó la parte de la base utilizando el tornillo posterior, asegurando que ambos brazos de medición hagan toque con los diales.

Figura 31

Ajuste perpendicular de la Viga Benkelman



Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

Se instaló la viga en el punto de medición y con el dial ajustado a cero, se activó el vibrador para comenzar la toma de lecturas. Se indicó al conductor que avanzara lentamente a una velocidad inferior a 3 km/h. Durante el desplazamiento del camión a esta velocidad, se registraron las lecturas conforme la varilla vertical coincidía con la primera marca y las demás marcas. Finalmente, se obtuvo la lectura cuando el camión se había desplazado lo suficiente del punto de ensayo, lo que permitió establecer la referencia de deflexión cero.

Figura 32

Lectura inicial inicio de tramo de estudio



Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

Figura 33

Primera lectura (varilla coincide con 1° marca)



Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

Figura 34

Lectura a 25 cm (D25)



Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

Figura 35

Lectura Final



Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

Figura 36

Lectura final del tramo de estudio

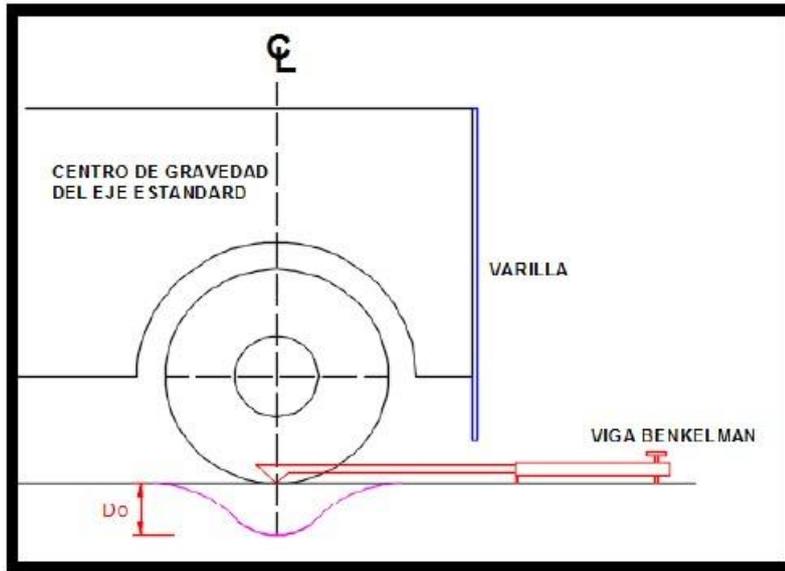


Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

Se considera que la recuperación ha finalizado cuando dos lecturas consecutivas de cada dial no muestran una diferencia mayor a 0.01 mm. En ese momento, se registran las últimas lecturas observadas (L_0 y L_{25}).

Figura 37

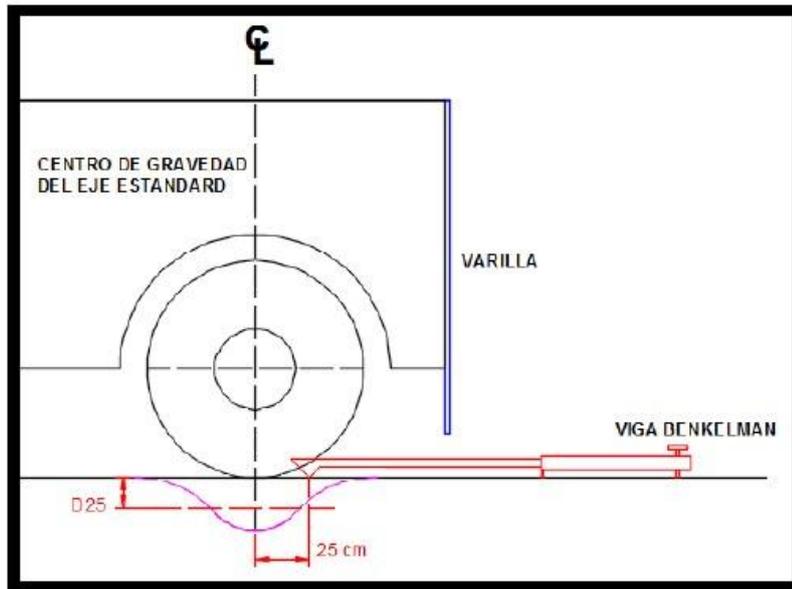
Posición inicial ($D_0 =$ Deflexión máxima)



Fuente: (Fernandez, 2020)

Figura 38

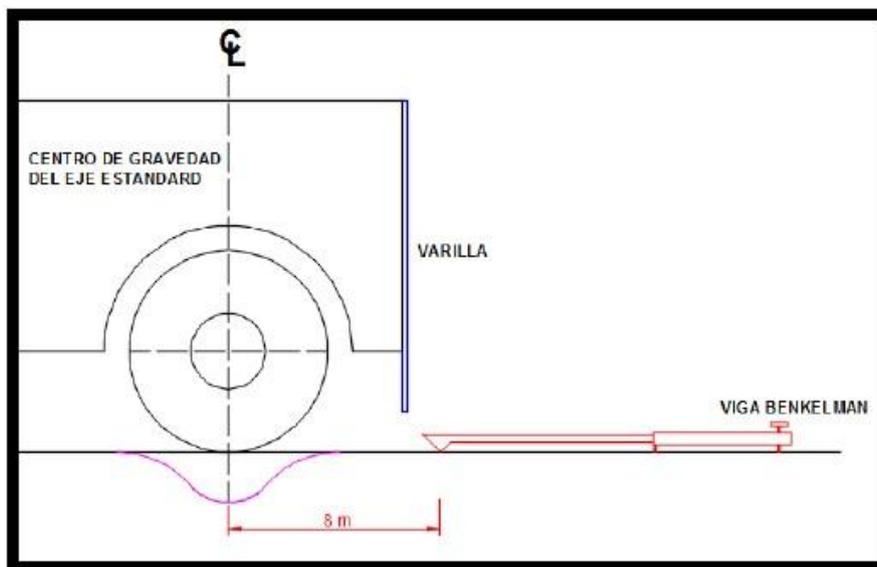
Posición a 25 cm (D25)



Fuente: (Fernandez, 2020)

Figura 39

Posición final (D = 0)



Fuente: (Fernandez, 2020)

Para finalizar, las últimas lecturas obtenidas en el dial se anotaron en el "Formato para la recopilación de mediciones utilizado en campo"

3.4.3 Cómputo de las deflexiones corregidas

3.4.3.1 Mediciones efectuadas en el campo

Las mediciones en campo se realizaron siguiendo el procedimiento descrito en el acápite 3.4.2 (los detalles se pueden encontrar en el Anexo C). Los resultados a estas mediciones se presentan en las tablas 16 y 17.

Tabla 13

Mediciones en Campo – Margen Derecho

N°	PROGRESIVA KM	LECTURA DE VIGA EN DIALES				TEMP. AMBIENTE ° C
		Lectura Inicial Lo (0 cm)	L (25 cm)	L (75 cm)	Lf (Dmáx)	
1	1429+050	0.00	3	5	6	14
2	1429+000	0.00	2	5	5	14
3	1428+950	0.00	3	4	5	14
4	1428+900	0.00	2	5	6	14
5	1428+850	0.00	3	4	6	14
6	1428+800	0.00	2	3	5	14
7	1428+750	0.00	2	3	4	14
8	1428+700	0.00	2	5	6	14
9	1428+650	0.00	1	3	5	14
10	1428+600	0.00	2	3	4	14
11	1428+550	0.00	2	4	5	14
12	1428+500	0.00	1	2	4	14
13	1428+450	0.00	2	3	4	14
14	1428+400	0.00	1	2	4	14
15	1428+350	0.00	2	4	5	14
16	1428+300	0.00	2	4	4	14
17	1428+250	0.00	2	5	6	14
18	1428+200	0.00	1	3	4	14
19	1428+150	0.00	2	3	5	14
20	1428+100	0.00	2	5	6	14
21	1428+050	0.00	2	3	5	14
22	1428+000	0.00	2	4	5	14

Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

Tabla 14*Mediciones en Campo – Margen Izquierdo*

N°	PROGRESIVA KM	LECTURA DE VIGA EN DIALES				TEMP. AMBIENTE ° C
		Lectura Inicial Lo (0 cm)	L (25 cm)	L (75 cm)	Lf (Dmáx)	
1	1428+000	0.00	1	3	4	14
2	1428+050	0.00	2	3	5	14
3	1428+100	0.00	2	4	4	14
4	1428+150	0.00	2	4	5	14
5	1428+200	0.00	2	3	4	14
6	1428+250	0.00	2	3	5	14
7	1428+300	0.00	2	3	4	14
8	1428+350	0.00	1	3	5	14
9	1428+400	0.00	1	3	5	14
10	1428+450	0.00	2	4	4	14
11	1428+500	0.00	2	4	5	14
12	1428+550	0.00	2	2	4	14
13	1428+600	0.00	2	3	4	14
14	1428+650	0.00	2	3	5	14
15	1428+700	0.00	2	3	5	14
16	1428+750	0.00	1	3	4	14
17	1428+800	0.00	2	4	5	14
18	1428+850	0.00	1	3	4	14
19	1429+900	0.00	2	3	4	14
20	1429+950	0.00	2	4	5	14
21	1429+000	0.00	2	2	4	14
22	1429+050	0.00	2	4	5	14

Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

3.4.3.2 Cómputo de las deflexiones corregidas

Tras registrar las mediciones en el terreno, se determinarán las deflexiones corregidas, expresadas en milímetros. Este Cómputo se detalla en el Anexo C y sigue la siguiente fórmula:

$$D0 = (Lf - L0) \times K \times C$$

Donde:

D0 = Deflexión simple (corregida).

L0 = Lectura inicial de la estación.

Lf = Lectura final de la estación.

K = Constante de la viga (relación de brazos 4:1).

C = Corrección de unidades para milímetros “1.5”.

Figura 40

Deflexiones Calculadas – Margen Derecho

PROGRESIVA KM	LECTURA DE VIGA EN DIALES				TEMP. AMBIENTE *C	TEMP. PAVIMENT O *C	HORA	DEFLEXION DIALES		DEFLEXION mm x 10 ⁻²		CORRECCI ON TEMP. "K"	DEFLEXION CORREGIDA M.M. x 10 ⁻²				
	Lectura Inicial Lo (0 cm)	L (25 cm)	L (75 cm)	Lf (Dmáx)				0 cm.	25 cm	0 cm.	25 cm		D ₀ 0 cm.	DMP D _z	DSTD D _{std}	D _z	D _{zs} 25 cm.
1429+050	0.00	3	5	6	14	0.0	13:41	6	3	23.76	11.88	1.00	23.76			25.54	11.88
1429+000	0.00	2	5	5	14	0.0	13:46	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80				11.88
1428+950	0.00	3	4	5	14	0.0	13:52	5	2	19.80	7.92	1.00	19.80				7.92
1428+900	0.00	2	5	6	14	0.0	13:57	6	4	23.76	15.84	1.00	23.76	21.78	2.29	25.54	15.84
1428+850	0.00	3	4	6	14	0.0	14:03	6	3	23.76	11.88	1.00	23.76			27.03	11.88
1428+800	0.00	2	3	5	14	0.0	14:08	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80				11.88
1428+750	0.00	2	3	4	14	0.0	14:13	4	2	15.84	7.92	1.00	15.84				7.92
1428+700	0.00	2	5	6	14	0.0	14:18	6	4	23.76	15.84	1.00	23.76	20.79	3.79	27.03	15.84
1428+650	0.00	1	3	5	14	0.0	14:23	5	4	19.80	15.84	1.00	19.80				15.84
1428+600	0.00	2	3	4	14	0.0	14:23	4	2	15.84	7.92	1.00	15.84				7.92
1428+550	0.00	2	4	5	14	0.0	14:26	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80				11.88
1428+500	0.00	1	2	4	14	0.0	14:30	4	3	15.84	11.88	1.00	15.84	17.82	2.29	21.58	11.88
1428+450	0.00	2	3	4	14	0.0	14:33	4	2	15.84	7.92	1.00	15.84				7.92
1428+400	0.00	1	2	4	14	0.0	14:39	4	3	15.84	11.88	1.00	15.84				11.88
1428+350	0.00	2	4	5	14	0.0	14:42	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80	17.16	1.98	20.42	11.88
1428+300	0.00	2	4	4	14	0.0	13:41	4	2	15.84	7.92	1.00	15.84			25.05	7.92
1428+250	0.00	2	5	6	14	0.0	13:46	6	4	23.76	15.84	1.00	23.76				15.84
1428+200	0.00	1	3	4	14	0.0	13:52	4	3	15.84	11.88	1.00	15.84				11.88
1428+150	0.00	2	3	5	14	0.0	13:57	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80	18.81	3.79	25.05	11.88
1428+100	0.00	2	5	6	14	0.0	13:46	6	4	23.76	15.84	1.00	23.76				15.84
1428+050	0.00	2	3	5	14	0.0	13:52	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80				11.88
1428+000	0.00	2	4	5	14	0.0	13:57	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80	20.79	1.98	24.05	11.88

Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

Figura 41

Deflexiones Calculadas – Margen Izquierdo

PROGRESIVA KM	LECTURA DE VIGA EN DIALES				TEMP. AMBIENTE °C	TEMP. PAVIMENT O °C	HORA	DEFLEXION DIALES		DEFLEXION mm x 10 ⁻²		CORRECCI ON TEMP. "K"	DEFLEXION CORREGIDA M.M. x 10 ⁻²				
	Lectura Inicial Lo (0 cm)	L (25 cm)	L (75 cm)	Lf (Dmáx)				0 cm.	25 cm	0 cm.	25 cm		D ₀ 0 cm.	DMP D _y	DSTD D _{std}	D _y	D ₂₅ 25 cm.
1428+000	0.00	1	3	4	14	0.0	13:41	4	3	15.84	11.88	1.00	15.84			21.58	11.88
1428+050	0.00	2	3	5	14	0.0	13:46	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80				11.88
1428+100	0.00	2	4	4	14	0.0	13:52	4	2	15.84	7.92	1.00	15.84				7.92
1428+150	0.00	2	4	5	14	0.0	13:57	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80	17.82	2.29	21.58	11.88
1428+200	0.00	2	3	4	14	0.0	14:03	4	2	15.84	7.92	1.00	15.84			21.58	7.92
1428+250	0.00	2	3	5	14	0.0	14:08	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80				11.88
1428+300	0.00	2	3	4	14	0.0	14:13	4	2	15.84	7.92	1.00	15.84				7.92
1428+350	0.00	1	3	5	14	0.0	14:18	5	4	19.80	15.84	1.00	19.80	17.82	2.29	21.58	15.84
1428+400	0.00	1	3	5	14	0.0	14:23	5	4	19.80	15.84	1.00	19.80				15.84
1428+450	0.00	2	4	4	14	0.0	14:23	4	2	15.84	7.92	1.00	15.84				7.92
1428+500	0.00	2	4	5	14	0.0	14:26	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80				11.88
1428+550	0.00	2	2	4	14	0.0	14:30	4	2	15.84	7.92	1.00	15.84	17.82	2.29	21.58	7.92
1428+600	0.00	2	3	4	14	0.0	14:33	4	2	15.84	7.92	1.00	15.84				7.92
1428+650	0.00	2	3	5	14	0.0	14:39	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80				11.88
1428+700	0.00	2	3	5	14	0.0	14:42	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80	18.48	2.29	22.24	11.88
1428+750	0.00	1	3	4	14	0.0	13:41	4	3	15.84	11.88	1.00	15.84			20.09	11.88
1428+800	0.00	2	4	5	14	0.0	13:46	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80				11.88
1428+850	0.00	1	3	4	14	0.0	13:52	4	3	15.84	11.88	1.00	15.84				11.88
1429+900	0.00	2	3	4	14	0.0	13:57	4	2	15.84	7.92	1.00	15.84	16.83	1.98	20.09	7.92
1429+950	0.00	2	4	5	14	0.0	13:46	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80				11.88
1429+000	0.00	2	2	4	14	0.0	13:52	4	2	15.84	7.92	1.00	15.84				7.92
1429+050	0.00	2	4	5	14	0.0	13:57	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80	17.82	2.29	21.58	11.88

Fuente: Desarrollado por testista y laboratoristas

3.4.4 Cómputo del Radio de Curvatura

Para el propósito de realizar un análisis integral de los resultados obtenidos en la evaluación estructural, procederemos a determinar el Radio de Curvatura empleando la fórmula que se detalla a continuación:

$$RC = 3125/(D'0 - D'25) \text{ expresado en m}$$

Donde:

D'0= Deflexión corregida 0.

D'25 = Deflexión corregida 25.

De la aplicación de la ecuación precedente, tenemos los siguientes resultados

Figura 42

Radio de Curvatura – Margen Derecho

PROGRESIVA KM	LECTURA DE VIGA EN DIALES				TEMP AMBIENTE °C	TEMP PAVIMENT O °C	HORA	DEFLEXION DIALES		DEFLEXION mm x 10 ⁻²		CORRECCI ON TEMP. "K"	DEFLEXION CORREGIDA M.M. x 10 ⁻²					RADIO DE CURVATURA FC (m)
	Lectura Inicial Lo (0 cm)	L1 (25 cm)	L1 (75 cm)	L1 (Dmáx)				0 cm.	25 cm	0 cm.	25 cm		Do 0 cm.	DMP D _p	DSTD D std.	D _s	D ₂₅ 25 cm.	
1429+050	0.00	3	5	6	14	0.0	13:41	6	3	23.76	11.88	1.00	23.76			25.54	11.88	263.05
1429+000	0.00	2	5	5	14	0.0	13:46	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80				11.88	394.57
1428+950	0.00	3	4	5	14	0.0	13:52	5	2	19.80	7.92	1.00	19.80				7.92	263.05
1428+900	0.00	2	5	6	14	0.0	13:57	6	4	23.76	15.84	1.00	23.76	21.78	2.29	25.54	15.84	394.57
1428+850	0.00	3	4	6	14	0.0	14:03	6	3	23.76	11.88	1.00	23.76			27.03	11.88	263.05
1428+800	0.00	2	3	5	14	0.0	14:08	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80				11.88	394.57
1428+750	0.00	2	3	4	14	0.0	14:13	4	2	15.84	7.92	1.00	15.84				7.92	394.57
1428+700	0.00	2	5	6	14	0.0	14:18	6	4	23.76	15.84	1.00	23.76	20.79	3.79	27.03	15.84	394.57
1428+650	0.00	1	3	5	14	0.0	14:23	5	4	19.80	15.84	1.00	19.80				15.84	789.14
1428+600	0.00	2	3	4	14	0.0	14:23	4	2	15.84	7.92	1.00	15.84				7.92	394.57
1428+550	0.00	2	4	5	14	0.0	14:26	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80				11.88	394.57
1428+500	0.00	1	2	4	14	0.0	14:30	4	3	15.84	11.88	1.00	15.84	17.82	2.29	21.58	11.88	789.14
1428+450	0.00	2	3	4	14	0.0	14:33	4	2	15.84	7.92	1.00	15.84				7.92	394.57
1428+400	0.00	1	2	4	14	0.0	14:39	4	3	15.84	11.88	1.00	15.84				11.88	789.14
1428+350	0.00	2	4	5	14	0.0	14:42	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80	17.16	1.98	20.42	11.88	394.57
1428+300	0.00	2	4	4	14	0.0	13:41	4	2	15.84	7.92	1.00	15.84			25.05	7.92	394.57
1428+250	0.00	2	5	6	14	0.0	13:46	6	4	23.76	15.84	1.00	23.76				15.84	394.57
1428+200	0.00	1	3	4	14	0.0	13:52	4	3	15.84	11.88	1.00	15.84				11.88	789.14
1428+150	0.00	2	3	5	14	0.0	13:57	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80	18.81	3.79	25.05	11.88	394.57
1428+100	0.00	2	5	6	14	0.0	13:46	6	4	23.76	15.84	1.00	23.76				15.84	394.57
1428+050	0.00	2	3	5	14	0.0	13:52	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80				11.88	394.57
1428+000	0.00	2	4	5	14	0.0	13:57	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80	20.79	1.98	24.05	11.88	394.57

Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

Figura 43

Radio de Curvatura – Margen Izquierdo

PROGRESIVA KM	LECTURA DE VIGA EN DIALES				TEMP AMBIENTE °C	TEMP PAVIMENT O °C	HORA	DEFLEXION DIALES		DEFLEXION mm x 10 ⁻²		CORRECCI ON TEMP. "K"	DEFLEXION CORREGIDA M.M. x 10 ⁻²					RADIO DE CURVATURA FC (m)
	Lectura Inicial Lo (0 cm)	L1 (25 cm)	L1 (75 cm)	L1 (Dmáx)				0 cm.	25 cm	0 cm.	25 cm		Do 0 cm.	DMP D _p	DSTD D std.	D _s	D ₂₅ 25 cm.	
1428+000	0.00	1	3	4	14	0.0	13:41	4	3	15.84	11.88	1.00	15.84			21.58	11.88	789.14
1428+050	0.00	2	3	5	14	0.0	13:46	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80				11.88	394.57
1428+100	0.00	2	4	4	14	0.0	13:52	4	2	15.84	7.92	1.00	15.84				7.92	394.57
1428+150	0.00	2	4	5	14	0.0	13:57	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80	17.82	2.29	21.58	11.88	394.57
1428+200	0.00	2	3	4	14	0.0	14:03	4	2	15.84	7.92	1.00	15.84			21.58	7.92	394.57
1428+250	0.00	2	3	5	14	0.0	14:08	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80				11.88	394.57
1428+300	0.00	2	3	4	14	0.0	14:13	4	2	15.84	7.92	1.00	15.84				7.92	394.57
1428+350	0.00	1	3	5	14	0.0	14:18	5	4	19.80	15.84	1.00	19.80	17.82	2.29	21.58	15.84	789.14
1428+400	0.00	1	3	5	14	0.0	14:23	5	4	19.80	15.84	1.00	19.80				15.84	789.14
1428+450	0.00	2	4	4	14	0.0	14:23	4	2	15.84	7.92	1.00	15.84				7.92	394.57
1428+500	0.00	2	4	5	14	0.0	14:26	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80				11.88	394.57
1428+550	0.00	2	2	4	14	0.0	14:30	4	2	15.84	7.92	1.00	15.84	17.82	2.29	21.58	7.92	394.57
1428+600	0.00	2	3	4	14	0.0	14:33	4	2	15.84	7.92	1.00	15.84				7.92	394.57
1428+650	0.00	2	3	5	14	0.0	14:39	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80				11.88	394.57
1428+700	0.00	2	3	5	14	0.0	14:42	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80	18.48	2.29	22.24	11.88	394.57
1428+750	0.00	1	3	4	14	0.0	13:41	4	3	15.84	11.88	1.00	15.84			20.09	11.88	789.14
1428+800	0.00	2	4	5	14	0.0	13:46	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80				11.88	394.57
1428+850	0.00	1	3	4	14	0.0	13:52	4	3	15.84	11.88	1.00	15.84				11.88	789.14
1429+900	0.00	2	3	4	14	0.0	13:57	4	2	15.84	7.92	1.00	15.84	16.83	1.98	20.09	7.92	394.57
1429+950	0.00	2	4	5	14	0.0	13:46	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80				11.88	394.57
1429+000	0.00	2	2	4	14	0.0	13:52	4	2	15.84	7.92	1.00	15.84				7.92	394.57
1429+050	0.00	2	4	5	14	0.0	13:57	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80	17.82	2.29	21.58	11.88	394.57

Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

3.4.5 Cómputo de la deflexión Característica

Para el pavimento de estudio, el cálculo y análisis de la deflexión característica fue necesario contar con parámetros relacionados a la deflexión promedio, el coef. De variación y la desviación estándar. Cabe resaltar que para el valor de deflexión característica es representado por un valor único para todo el tramo evaluado. Por ello, los valores antes mencionados se determinarán considerando las deflexiones obtenidas en ambos lados del tramo (margen derecho e izquierdo).

- Cómputo de la deflexión media

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n}$$

Donde:

N = Número total de medidas.

D_i = Deflexiones desde $i=1$ a $i=n$.

\bar{D} = Deflexión media de n deflexiones.

Al aplicar la ecuación correspondiente, se obtiene que la deflexión media o promedio resulta ser:

$$\bar{D}=27.03$$

- Cómputo de la Desviación Estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{n - 1}}$$

Donde:

σ = Desviación estándar.

n : Número total de medidas.

D_i : Deflexiones desde $i=1$ a $i=n$.



\bar{D} : Deflexión media de n deflexiones.

Mediante la aplicación de la ecuación especificada, se determina que la desviación estándar es:

$$\sigma=2.34$$

- Cómputo del Coeficiente de Variación

$$C. V. = \frac{\sigma}{\bar{D}} \times 100$$

Donde:

C.V. = Coeficiente de variación.

σ = Desviación estándar.

\bar{D} = Deflexión media.

Al aplicar la ecuación indicada, se obtiene que el Coeficiente de Variación es:

$$C. V. = 10.19 \%$$

- Cómputo de la deflexión Característica

$$D_c = \bar{D} + 1.282 (\sigma)$$

Donde:

D_c = Deflexión característica.

\bar{D} = Deflexión media.

σ = Desviación estándar.

A partir de la aplicación de la ecuación correspondiente, se determina que la deflexión característica del pavimento flexible de la carretera es:

$$D_c = 26.80 \text{ expresado en } \frac{1}{100} \text{ mm}$$

Se muestra a continuación la Tabla 26, la cual resume los parámetros calculados anteriormente:

Tabla 15

Cuadro resumen entre parámetros usados vs deflexión característica.

ITEM	Dmax (1/100) mm	Radio de Curvatura
MAX.	27.03	789.14
MIN.	20.09	263.05
PROM.	22.95	466.31
DESV.	2.34	168.90
Dc	26.80	NO
C.V.	10.19%	36.22%

Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

3.4.6 Cómputo de la deflexión Admisible

“La deflexión admisible, corresponde a aquella que alcanza el pavimento al final del tiempo de diseño. Por lo tanto, esta deflexión se calcula considerando la sollicitación de cargas para ese tiempo, representado en el valor N de ejes equivalentes acumulados hasta el último día de servicio” (Vilca y Cuba, 2020, p. 134).

$$D_{adm} = (1.15/N)^{0.25}$$

Donde:

D_{adm} = representa la deflexión admisible expresada en (1/100) mm (a comparar con deflexiones Viga Benkelman).

N = Número de ejes estándares equivalentes de 8.2 toneladas acumulados en el periodo de diseño, expresado en millones.

El valor de N el cual se calculó en el estudio de tráfico para cada vía es 742347.20 ESAL's

(ver Anexo B). Entonces, es el valor de la deflexión admisible:

$$D_{adm} = 35.28 \text{ expresado en } \frac{1}{100} \text{ mm.}$$

3.4.7 Cómputo de la deflexión Crítica

$$D_{CR} = \left(\frac{1.90}{N18} \right)^{\frac{1}{5.3}}$$

Donde:

DCR: Deflexión crítica en mm.

N18: Numero de repeticiones de ejes equivalentes en millones.

A partir de la aplicación de la ecuación detallada, se obtiene que la deflexión crítica es:

$$DCR = 88.09 \text{ expresado en } \frac{1}{100} \text{ mm.}$$

En conclusión, los datos obtenidos en este capítulo serán utilizados para analizar y discutir los hallazgos de esta investigación.

3.5 TIPO DE INTERVENCION

Para garantizar la transitabilidad y comodidad de los usuarios, se determinó el tipo de intervención siguiendo la metodología de análisis combinado propuesta por el MTC (2014).

Primero, se analizó la reacción de la subrasante mediante la deflexión característica y admisible del pavimento, clasificándola como "Buena" o "Mala". Posteriormente, se analizó el comportamiento del pavimento en función del radio de curvatura, asignándole una clasificación de "Bueno" o "Malo" de acuerdo con lo establecido en la Tabla 8.



Tabla 16

Comportamiento de la Subrasante y del pavimento

Carretera	DCA	$Dadm$	Rc	$DCA \leq Dadm$	$RC \geq 100$	Comportamiento de Subrasante	Comportamiento del pavimento
JULI – CENTRO POBLADO SANTIAGO MUCHO	26.80	35.28	744.15	CUMPLE	CUMPLE	BUENO	BUENO

Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

En última instancia, el tipo de intervención a ejecutar se estableció utilizando los parámetros detallados en la Tabla 16, como se especifica en el capítulo IV, numeral 4.4.

CAPITULO IV

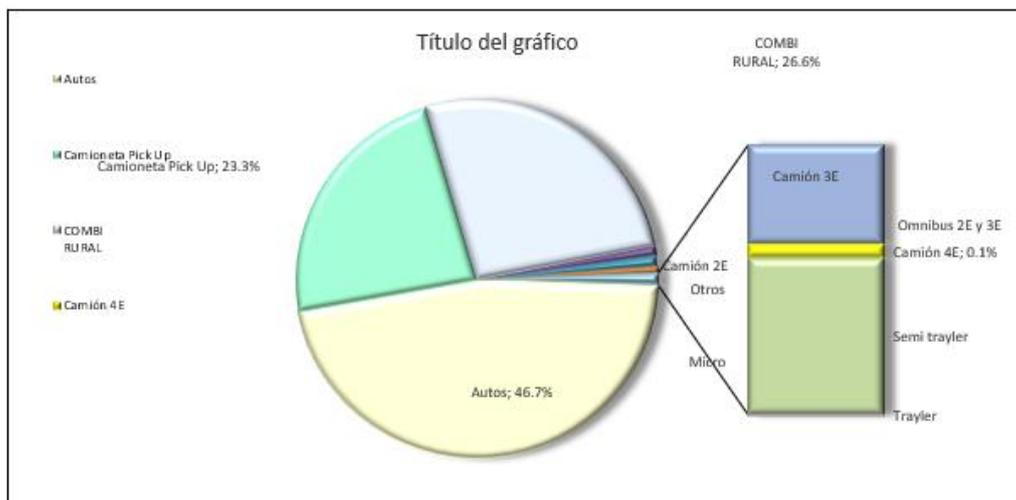
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS DE LA EVALUACION DE TRANSITO

El Índice Medio Diario Anual del tramo en estudio se calculó en 1630 vehículos/día y se esquematiza en el siguiente grafico

Figura 44

Esquema del Índice Medio Diario Anual



Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

En razón a ello se obtuvo el número de ejes equivalentes conforme al siguiente detalle (ver Anexo 2):

Tabla 17

ESAL calculado

Descripción	Valor
ESAL (periodo de diseño 20 años)	742347.20

Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas



4.2 RESULTADOS DE LA EVALUACION ESTRUCTURAL

La evaluación estructural, realizada a partir de las mediciones obtenidas con la Viga Benkelman, se llevó a cabo de acuerdo con la metodología establecida en el Manual de Ensayo de Materiales – 2017 y el Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, ambos aprobados mediante la Resolución Directoral n.º 18-2016-MTC/14 del 3 de junio de 2016. Dichos manuales hacen referencia al método CONREVIAL como la metodología de análisis a seguir.

Al aplicar las relaciones matemáticas establecidas por estas metodologías, se obtuvieron los siguientes resultados (consultar Anexo 3):

Figura 45

Análisis Deflectométrico Margen Derecho

PROYECTO		EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y ESTADO DE 2 TRANSITABILIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE POR CARGAS DE TRANSITO 3 EN LA CARRETERA JULI - CENTRO POBLADO SANTIAGO MUCHO JULI																									
ESTRUCTURA		CARPETA ASFALTICA										TECNICO RESPONSABLE				PERSONAL LABORATORIO											
PROGRESIVA		KM: 1429+050 HASTA 1428+000										INGENIERO RESPONSABLE				ING. JULIO ESCOBEDO A.											
CARRIL		DERECHO										FECHA				27/02/2024											
EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA - VIGA BENKELMAN																											
MTC E 1002 – 2000 - ASTM D 4695																											
CARGA POR EJE		8 200 kg.		RELACION DE LONGITUDES DE BRAZO						3.96		FACTOR DE CORRECCION (Kv)				1.0											
CARGA POR ENSAYO		4 100 kg.		UNIDAD DE LECTURA 1/100 mm						0,01mm		DEFLEXION MAXIMA ADMISIBLE (D.M.A.)				110											
PRESION DE INFLADO		80 psi.																									
PROGRESIVA KM	LECTURA DE VIGA EN DIALES					TEMP. AMBIENTE °C	TEMP. PAVIMENTO °C	HORA	DEFLEXION DIALES		DEFLEXION mm x 10 ⁻²		CORRECCION TEMP. °C	DEFLEXION CORREGIDA mm x 10 ⁻²					RADIO DE CURVATURA RC (m)			TIPO SECCION			Deflexión Máxima Admisible x 10 ⁻² mm		
	Lectura Inicial Lo (0 cm)	L (25 cm)	L (75 cm)	Lf (Dmáx)					0 cm.	25 cm	0 cm.	25 cm		D ₀	D ₂₅	D _{STD}	D _c	D ₂₅	T	CC	C 1/2L						
1429+050	0.00	3	5	6	14	0.0	13:41	6	3	23.76	11.88	1.00	23.76				25.54	11.88	263.05								CUMPLE
1429+000	0.00	2	5	5	14	0.0	13:46	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80					11.88	394.57								CUMPLE
1428+950	0.00	3	4	5	14	0.0	13:52	5	2	19.80	7.92	1.00	19.80					7.92	263.05								CUMPLE
1428+900	0.00	2	5	6	14	0.0	13:57	6	4	23.76	15.84	1.00	23.76	21.78	2.29	25.54	15.84	15.84	394.57								CUMPLE
1428+850	0.00	3	4	6	14	0.0	14:03	6	3	23.76	11.88	1.00	23.76				27.03	11.88	263.05								CUMPLE
1428+800	0.00	2	3	5	14	0.0	14:08	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80					11.88	394.57								CUMPLE
1428+750	0.00	2	3	4	14	0.0	14:13	4	2	15.84	7.92	1.00	15.84					7.92	394.57								CUMPLE
1428+700	0.00	2	5	6	14	0.0	14:18	6	4	23.76	15.84	1.00	23.76	20.79	3.79	27.03	15.84	15.84	394.57								CUMPLE
1428+650	0.00	1	3	5	14	0.0	14:23	5	4	19.80	15.84	1.00	19.80					15.84	789.14								CUMPLE
1428+600	0.00	2	3	4	14	0.0	14:23	4	2	15.84	7.92	1.00	15.84					7.92	394.57								CUMPLE
1428+550	0.00	2	4	5	14	0.0	14:26	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80					11.88	394.57								CUMPLE
1428+500	0.00	1	2	4	14	0.0	14:30	4	3	15.84	11.88	1.00	15.84	17.82	2.29	21.58	11.88	11.88	789.14								CUMPLE
1428+450	0.00	2	3	4	14	0.0	14:33	4	2	15.84	7.92	1.00	15.84					7.92	394.57								CUMPLE
1428+400	0.00	1	2	4	14	0.0	14:39	4	3	15.84	11.88	1.00	15.84					11.88	789.14								CUMPLE
1428+350	0.00	2	4	5	14	0.0	14:42	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80	17.16	1.98	20.42	11.88	11.88	394.57								CUMPLE
1428+300	0.00	2	4	4	14	0.0	13:41	4	2	15.84	7.92	1.00	15.84				25.05	7.92	394.57								CUMPLE
1428+250	0.00	2	5	6	14	0.0	13:46	6	4	23.76	15.84	1.00	23.76					15.84	394.57								CUMPLE
1428+200	0.00	1	3	4	14	0.0	13:52	4	3	15.84	11.88	1.00	15.84					11.88	789.14								CUMPLE
1428+150	0.00	2	3	5	14	0.0	13:57	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80	18.81	3.79	25.05	11.88	11.88	394.57								CUMPLE
1428+100	0.00	2	5	6	14	0.0	13:46	6	4	23.76	15.84	1.00	23.76					15.84	394.57								CUMPLE
1428+050	0.00	2	3	5	14	0.0	13:52	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80					11.88	394.57								CUMPLE
1428+000	0.00	2	4	5	14	0.0	13:57	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80	20.79	1.98	24.05	11.88	11.88	394.57								CUMPLE

Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

Figura 46

Análisis Deflectométrico Margen Izquierdo

PROYECTO	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y ESTADO DE 2 TRANSITABILIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE POR CARGAS DE TRANSITO 3 EN LA CARRETERA JULI - CENTRO POBLADO SANTIAGO MUCHO JULI																						
ESTRUCTURA	CARPETA ASFALTICA					TECNICO RESPONSABLE	PERSONAL LABORATORIO																
PROGRESIVA	KM: 1428+000 HASTA 1429+050					INGENIERO RESPONSABLE	ING. JULIO ESCOBEDO A.																
CARRIL	IZQUIERDO					FECHA	27/02/2024																
EVALUACION DEFLECTOMETRICA - VIGA BENKELMAN																							
MTC E 1002 - 2000 - ASTM D 4695																							
CARGA POR EJE	8 200 kg.		RELACION DE LONGITUDES DE BRAZO	3.96		FACTOR DE CORRECCION (Kv)	1.0																
CARGA POR ENSAYO	4 100 kg.		UNIDAD DE LECTURA 1/100 mm	0,01mm		DEFLEXION MAXIMA ADMISIBLE (D.M.A.)	110																
PRESION DE INFLADO	80 psi.											1 x 10 ² mm											
PROGRESIVA KM	LECTURA DE VIGA EN DIALES				TEMP. AMBIENTE °C	TEMP. PAVIMENTO °C	HORA	DEFLEXION DIALES		DEFLEXION mm x 10 ²		CORRECCION TEMP. "K"	DEFLEXION CORREGIDA MM. x 10 ²					RADIO DE CURVATURA RC (m)	TIPO SECCION			Deflexión Máxima Admisible x 10 ² mm	
	Lectura Inicial Lo (0 cm)	L (25 cm)	L (75 cm)	U (Dmáx)				0 cm.	25 cm	0 cm.	25 cm		D ₀ 0 cm.	DMP D ₂₅	DSTD D _{std}	D _c	D ₂₅		T	CC	C1/2L		
1428+000	0.00	1	3	4	14	0.0	13:41	4	3	15.84	11.88	1.00	15.84			21.58	11.88	789.14				CUMPLE	
1428+050	0.00	2	3	5	14	0.0	13:46	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80				11.88	394.57				CUMPLE	
1428+100	0.00	2	4	4	14	0.0	13:52	4	2	15.84	7.92	1.00	15.84				7.92	394.57				CUMPLE	
1428+150	0.00	2	4	5	14	0.0	13:57	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80	17.82	2.29	21.58	11.88	394.57				CUMPLE	
1428+200	0.00	2	3	4	14	0.0	14:03	4	2	15.84	7.92	1.00	15.84			21.58	7.92	394.57				CUMPLE	
1428+250	0.00	2	3	5	14	0.0	14:08	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80				11.88	394.57				CUMPLE	
1428+300	0.00	2	3	4	14	0.0	14:13	4	2	15.84	7.92	1.00	15.84				7.92	394.57				CUMPLE	
1428+350	0.00	1	3	5	14	0.0	14:18	5	4	19.80	15.84	1.00	19.80	17.82	2.29	21.58	15.84	789.14				CUMPLE	
1428+400	0.00	1	3	5	14	0.0	14:23	5	4	19.80	15.84	1.00	19.80				15.84	789.14				CUMPLE	
1428+450	0.00	2	4	4	14	0.0	14:23	4	2	15.84	7.92	1.00	15.84				7.92	394.57				CUMPLE	
1428+500	0.00	2	4	5	14	0.0	14:26	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80				11.88	394.57				CUMPLE	
1428+550	0.00	2	2	4	14	0.0	14:30	4	2	15.84	7.92	1.00	15.84	17.82	2.29	21.58	7.92	394.57				CUMPLE	
1428+600	0.00	2	3	4	14	0.0	14:33	4	2	15.84	7.92	1.00	15.84				7.92	394.57				CUMPLE	
1428+650	0.00	2	3	5	14	0.0	14:39	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80				11.88	394.57				CUMPLE	
1428+700	0.00	2	3	5	14	0.0	14:42	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80	18.48	2.29	22.24	11.88	394.57				CUMPLE	
1428+750	0.00	1	3	4	14	0.0	13:41	4	3	15.84	11.88	1.00	15.84				20.09	11.88	789.14				CUMPLE
1428+800	0.00	2	4	5	14	0.0	13:46	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80				11.88	394.57				CUMPLE	
1428+850	0.00	1	3	4	14	0.0	13:52	4	3	15.84	11.88	1.00	15.84				11.88	789.14				CUMPLE	
1429+900	0.00	2	3	4	14	0.0	13:57	4	2	15.84	7.92	1.00	15.84	16.83	1.98	20.09	7.92	394.57				CUMPLE	
1429+950	0.00	2	4	5	14	0.0	13:46	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80				11.88	394.57				CUMPLE	
1429+000	0.00	2	2	4	14	0.0	13:52	4	2	15.84	7.92	1.00	15.84				7.92	394.57				CUMPLE	
1429+050	0.00	2	4	5	14	0.0	13:57	5	3	19.80	11.88	1.00	19.80	17.82	2.29	21.58	11.88	394.57				CUMPLE	

Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

El resumen del análisis deflectométrico, basado en las deflexiones promedio de las figuras 40 y 41, se presenta a continuación (ver Tabla 18):

Tabla 18

Resumen – Deflexión Característica y Radio de Curvatura

SECCIÓN	PROGRESIVA		DEFLEXIÓN Y RADIO DE CURVATURA			
	INICIO	FINAL	D'0 PROM	D'25 PROM	D CARACTERISTICA	RADIO DE CURVATURA
JULI – CENTRO POBLADO SANTIAGO MUCHO	1+428	1+429	18.72	11.34	26.82	744.15

Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

Tabla 19

Relación entre la D admisible y la D característica.

SECCIÓN	D característica	D admisible	$\frac{DCA}{Dadm} \leq$
JULI – CENTRO POBLADO SANTIAGO MUCHO	26.82	35.28	CUMPLE

Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

Tabla 20

Relación entre el valor mínimo y el R.C. radio de curvatura

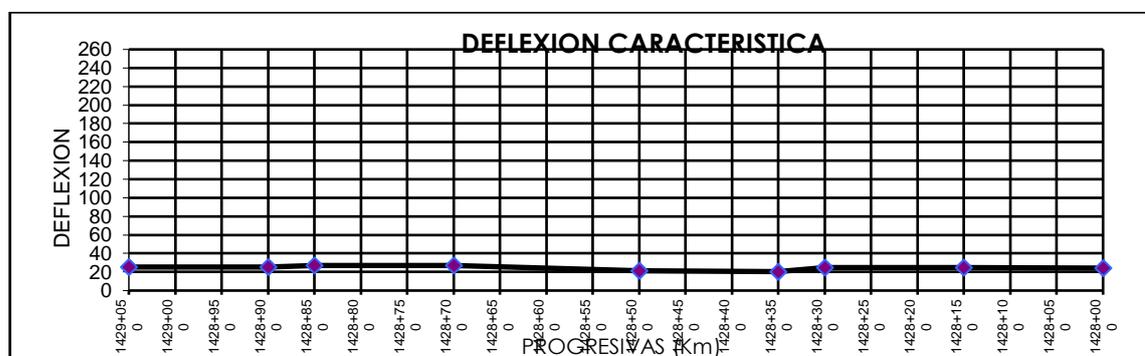
SECCIÓN	Radio de Curvatura	Valor Mínimo	$RC \geq Vmin$
JULI – CENTRO POBLADO SANTIAGO MUCHO	744.15	80	CUMPLE

Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

Cabe destacar el análisis deflectométrico detallado con las Tablas 19 y 20 se visualiza los "Deflectogramas" (ver Anexo 3), representados gráficamente en las Figuras 47 y 48.

Figura 47

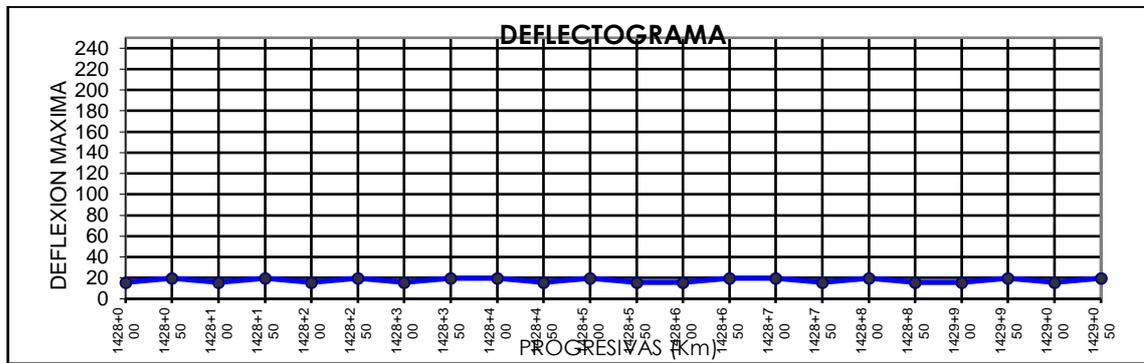
Deflectograma – Margen Derecho



Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

Figura 48

Deflectograma – Margen Izquierdo



Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

Con base en las tablas e imágenes presentadas anteriormente, se puede concluir que la carretera evaluada presenta un buen comportamiento tanto en la subrasante como en el pavimento. Esto se debe a que las deflexiones características están por debajo de las deflexiones admisibles, las deflexiones admisibles son consideradas como las deflexiones que un pavimento sufre al finalizar el periodo de vida útil, el radio de curvatura supera los 80 m, cumpliendo así con la normativa establecida peruana en el Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos.

4.3 CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS

Para comprobar el logro de los objetivos, se detallarán a continuación los dos objetivos específicos y el objetivo general propuestos.

- **Primer objetivo específico**
 - Objetivo Específico 1: Evaluar la capacidad estructural mediante cargas de tránsito en el pavimento flexible de la carretera Juli - Santiago Mucho, Juli 2024.

- Hipótesis Especifica 1: La capacidad estructural se evalúa eficientemente con las cargas de tránsito en el pavimento flexible de la carretera Juli - Santiago Mucho, Juli 2024.

Para la verificación de las hipótesis que se plantearon en esta investigación, se usó la prueba estadística de t de student, aplicado a nuestra muestra; logrando determinar lo siguiente:

- Hipótesis nula; $H_0: \mu d \leq 0$: el promedio de las diferencias de la deflexión admisible con la deflexión característica es menor o igual a cero.
- Hipótesis alterna; $H_a: \mu d > 0$; el promedio de las diferencias de la deflexión admisible con la deflexión característica es mayor a cero.
- Nivel de confianza del 95% o un riesgo del 5% $\alpha=0.05$

Tabla 21

“Prueba t student para el Objetivo Especifico 1”

	IZQUIERDO	DERECHO
Media	10.8	11.88
Varianza	6.24548571	7.467428571
Observaciones	22	22
Diferencia hipotética de las medias	0	0
Grados de libertad	21	21
Estadístico t	-186.182948	-168.4159973
P(T<=t) una cola	1.4014E-35	1.14989E-34
Valor crítico de t (una cola)	1.7207429	1.720742903
P(T<=t) dos colas	2.8028E-35	2.29978E-34
Valor crítico de t (dos colas)	2.07961384	2.079613845

Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

Al obtener un resultado estadísticamente significativo (p-valor < 0.05), rechazamos la hipótesis nula y concluimos de la deflexión característica promedio es

significativamente menor de la deflexión admisible. Esto confirma que se cumplió el objetivo del estudio, ya que se determinaron y compararon con éxito ambos tipos de deflexión.

- **Segundo objetivo específico**

- Objetivo Específico 2: Evaluar el estado de transitabilidad mediante cargas de tránsito en el pavimento flexible de la carretera Juli - Santiago Mucho, Juli 2024.
- Hipótesis Especifica 2: El estado de transitabilidad se evalúa eficientemente con las cargas de tránsito en el pavimento flexible de la carretera Juli - Santiago Mucho, Juli 2024.

Para la verificación de las hipótesis que se plantearon en esta investigación, se usó la prueba estadística de t de student, aplicado a nuestra muestra; logrando determinar lo siguiente:

- Hipótesis nula; $H_0: \mu d \geq 0$: el promedio de las diferencias del IMDA estimado (400) con el IMDA calculado es mayor o igual a cero.
- Hipótesis alterna; $H_a: \mu d < 0$; el promedio de las diferencias del IMDA estimado (400) con el IMDA calculado es menor a cero.
- Nivel de confianza del 95% o un riesgo del 5% $\alpha=0.05$

Tabla 22

“Prueba t student para el Objetivo Especifico 2”

	Variable 1	Variable 2
Media	587.714286	400
Varianza	2188.57143	0



Observaciones	7	7
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	6	
Estadístico t	10.616124	
P(T<=t) una cola	2.0573E-05	
Valor crítico de t (una cola)	1.94318028	
P(T<=t) dos colas	4.1147E-05	
Valor crítico de t (dos colas)	2.44691185	

Fuente: Desarrollado por tesista y laboratoristas

No se encontró evidencia estadística suficiente ($p\text{-valor} > 0.05$) para rechazar la hipótesis nula. Esto significa que no podemos afirmar que el IMDA calculado sea significativamente mayor al IMDA estimado (400 veh/día).

- **Objetivo General**

- **Objetivo General:** Evaluar la capacidad estructural y estado de transitabilidad mediante cargas de tránsito en el pavimento flexible de la carretera Juli - Santiago Mucho, Juli 2024.
- **Hipótesis General:** La capacidad estructural y estado de transitabilidad se evalúa eficientemente con las cargas de tránsito en el pavimento flexible de la carretera Juli - Santiago Mucho, Juli 2024.

La hipótesis planteada se confirmó al cumplirse ambos objetivos específicos. A través de la determinación de la deflexión característica y admisible, y el radio de curvatura y también las cargas de tránsito, se comprobó que la estructura del pavimento del tramo evaluado presenta una calidad "Buena". En consecuencia, la capacidad estructural del pavimento de la CARRETERA JULI - CENTRO POBLADO SANTIAGO MUCHO JULI se considera "Buena".

Según lo establecido en el Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, se debe proceder a la corrección de las fallas superficiales, dado que no se han detectado fallas estructurales en el pavimento.

Se logró cumplir con el objetivo general de evaluar la capacidad estructural y estado de transitabilidad para el pavimento en estudio, aplicando la metodología propuesta por el ensayo de viga Benkelman, la validación de resultados obtenidos se realizó a través de análisis estadístico.

4.4 ALTERNATIVAS DE SOLUCION

Considerando los resultados de deflexión característica, deflexión media y radio de curvatura, es posible determinar el tipo de intervención requerido a través de la siguiente tabla:

Tabla 23

Medidas Correctivas Viga Benkelman

Hipótesis	Datos Deflectométricos Obtenidos	Capacidad Estructural	Necesidad de Estudios Complementarios	Criterio de Cómputo para Refuerzo	Medidas Correctivas
I	$D_c < D_a$	$R_o > 100$ Buena	NO		Solo Correcciones de Superficie
II	$D_c > D_a$	$R_o > 100$ Si $D_p < 3D_{adm}$ Regular	NO	Deflecto métrico	Refuerzo (*)
		$R_o > 100$ Si $D_p > 3D_{adm}$ Mala	SI	Deflecto métrico, Resistencia	Refuerzo (*) o Reconstrucción
III	$D_c < D_a$	$R_o < 100$ Regular a Mala	SI	Deflecto métrico, Resistencia	Refuerzo (*) o Reconstrucción

V	$D_c > D_a$	$R_o < 100$	Mala	SI	Resistencia	Refuerzo (*) o Reconstrucción
---	-------------	-------------	------	----	-------------	-------------------------------------

Fuente: Criterios para la evaluación estructural DNER PRO 11-79

Es importante destacar que la tabla 23 coincide con lo estipulado en el apartado "análisis combinado de los resultados de la evaluación" del Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (consultar Tabla 7).

De acuerdo con las tablas mencionadas al inicio de este apartado, se observa de la deflexión característica del pavimento es inferior a la deflexión admisible y que el radio de curvatura supera los 100 metros. En consecuencia, la intervención a realizar será: "Solo Correcciones de Superficie".

4.5 DISCUSION

Comparación entre métodos de evaluación estructural: Viga Benkelman vs. FWD (Escobar et al., 2007). El estudio de Escobar, García y Guzmán (2007) resalta que los resultados de deflexión medidos con la viga Benkelman y el FWD tienen una correlación directa (ecuación de correlación: $dFWD = 1.21041 \cdot dVB - 1.888$, pero los valores obtenidos con el FWD suelen ser más altos. En mi investigación, el uso exclusivo de la viga Benkelman permitió calcular deflexiones características corregidas como $D_0 = 18.72$ mm y $D_{25} = 11.34$ mm, lo que indica una buena capacidad estructural en algunos tramos. Contribución: Mis resultados refuerzan que la viga Benkelman es una herramienta confiable y práctica en contextos donde el uso de FWD puede ser limitado por costos o disponibilidad. Diferencias: La correlación identificada en el antecedente plantea la posibilidad de que mis valores medidos puedan ser recalibrados usando un factor de ajuste para compararlos con estudios realizados con FWD.



Influencia de los suelos en la evaluación estructural (Ortega y Villafuerte, 2015).

La investigación de Ortega y Villafuerte muestra que los suelos limo arenosos representan desafíos específicos para el diseño y evaluación estructural. En mi tramo Juli-Santiago Mucho, las condiciones de los suelos (limos arenosos y suelos arcillosos) influyen directamente en los valores de deflexión y en la capacidad estructural. Las deflexiones características obtenidas reflejan variaciones en la respuesta del pavimento, probablemente debido a la heterogeneidad del suelo. La caracterización previa del suelo en mi tramo respalda el análisis de las deflexiones medidas y refuerza la importancia de correlacionar valores de deflexión con las propiedades del suelo, como el CBR.

Uso de la viga Benkelman para detectar deficiencias estructurales (Carrasco y Vizhñay, 2019). El estudio de Carrasco y Vizhñay subraya la capacidad de la viga Benkelman para identificar fallas estructurales y ajustar resultados mediante factores de calibración. En mi investigación, las deflexiones medidas permitieron identificar secciones críticas donde la capacidad estructural es menor, lo que implica posibles deficiencias en la capa de rodadura. Mis resultados confirman la utilidad de la viga Benkelman como herramienta de evaluación económica y precisa para carreteras de bajo y mediano volumen de tránsito.

Curvas de radio de curvatura y transitabilidad (Pesantez y Rodríguez, 2016). Pesantez y Rodríguez destacaron el uso de curvas de radio de curvatura para evaluar la capacidad estructural de pavimentos. En mi estudio, se obtuvo un radio de curvatura promedio de $R=744.15$ mm, indicando una buena capacidad de soporte en la mayoría de los tramos. Sin embargo, algunas secciones presentaron radios inferiores al estándar, reflejando zonas críticas que requieren mantenimiento. Mis resultados coinciden con el



enfoque de Pesantez y Rodríguez, mostrando que el radio de curvatura es un indicador clave para evaluar la transitabilidad y la deformación estructural del pavimento.

Método del retro Cómputo y deflectometría (Espinoza y Jintiach, 2022). Espinoza y Jintiach demuestran la eficacia del método de retroCómputo para evaluar módulos de elasticidad y proponer alternativas de mantenimiento. Aunque mi tesis no aplicó este método, los resultados obtenidos con la viga Benkelman (deflexión característica y radio de curvatura) podrían servir como base para un análisis de retro Cómputo en futuras investigaciones. Mi investigación establece una base sólida para implementar el retro Cómputo en análisis estructurales más avanzados, identificando con mayor precisión las fallas en el paquete estructural.

Precisión en la evaluación mediante el Deflectómetro de Impacto (Casia, 2015). Casia destaca que el uso del Deflectómetro de Impacto (HWD) y el método de retro Cómputo AASHTO 93 permiten obtener resultados confiables al validar datos experimentales con modelos teóricos. Si bien mi investigación emplea la Viga Benkelman en lugar del HWD, los valores de deflexión obtenidos ($D_0=18.72$ mm) reflejan una capacidad estructural adecuada en algunos tramos, mientras que otros muestran la necesidad de refuerzos estructurales. Aunque mi tesis no utilizó un retro cómputo como el planteado por Casia, mis resultados con la Viga Benkelman validan la utilidad de métodos más accesibles y económicos para tramos de bajo y mediano volumen de tránsito.

Metodología numérica y modelos multicapa (Flores, 2012). Flores sugiere integrar mediciones de campo con simulaciones numéricas que incluyan modelos multicapa para representar efectos no lineales en los suelos. En mi investigación, las deflexiones medidas con la Viga Benkelman muestran variaciones significativas entre



tramos homogéneos y heterogéneos, indicando que el comportamiento del suelo es un factor determinante en la capacidad estructural. Mis datos de deflexión pueden servir como insumo para calibrar modelos multicapa en software especializado, optimizando el diseño estructural en pavimentos de características similares.

Eficiencia económica de la Viga Benkelman (Balarezo, 2017). Balarezo resalta la eficiencia de la Viga Benkelman como herramienta económica para determinar necesidades de rehabilitación. En mi tesis, las deflexiones medidas permitieron identificar tramos críticos donde se requiere refuerzo estructural, validando la utilidad de la Viga Benkelman en contextos donde los recursos son limitados. Mis resultados confirman que la Viga Benkelman sigue siendo una herramienta relevante, especialmente para gobiernos locales que requieren evaluaciones precisas a bajo costo.

Estado estructural y superficial mediante deflectometría (Díaz, 2021). Díaz utiliza la Viga Benkelman para evaluar tanto el estado estructural como superficial de pavimentos. En mi caso, los valores de deflexión característicos, como $D_0=18.72$ mm y $D_{25}=11.34$ mm, identificaron tramos que cumplen con especificaciones técnicas, mientras que otros muestran valores superiores a los permitidos, requiriendo intervenciones de rehabilitación. Mis hallazgos refuerzan la utilidad de la Viga Benkelman para establecer prioridades de mantenimiento en tramos críticos, asegurando su transitabilidad.

Modelos de ajuste de carga para capas estructurales (Pérez, 2021). El modelo propuesto por Pérez permite ajustar cargas para evaluar con precisión las capas estructurales de pavimentos flexibles. Si bien mi investigación no aplicó modelos mecánicos avanzados, los valores de deflexión obtenidos son representativos de la respuesta estructural de las capas evaluadas. Mis resultados pueden integrarse en modelos



de ajuste de carga para validar las deflexiones obtenidas y precisar recomendaciones estructurales para tramos similares.

Comparación de Deflexiones Características y Admisibles. La deflexión característica en mi estudio ($D_0=18.72 \text{ mm}$, $D_{0.05}=18.72 \text{ mm}$, $D_0=18.72 \text{ mm}$) evidencia un comportamiento estructural crítico en algunos tramos de la carretera Juli - Santiago Mucho. En investigaciones como las de Fernández (2020) y Díaz (2021), se observaron deflexiones características de $67 \times 10^{-2} \text{ mm}$ y $35.3 \times 10^{-2} \text{ mm}$, respectivamente, ambas dentro de los límites admisibles. En contraste, trabajos como el de Cubas (2017) reportaron deflexiones características $125.426 \times 10^{-2} \text{ mm}$, superando ampliamente los valores permitidos. Los valores de deflexión en mi tesis son significativamente menores que en estudios como el de Cubas (2017), lo que indica que, aunque algunos tramos críticos requieren intervención, otros mantienen un comportamiento estructural aceptable.

Rehabilitación y Alternativas de Refuerzo. Meza (2017) y Cubas (2017) identificaron fallas estructurales significativas, proponiendo alternativas de refuerzo, como recapeos asfálticos optimizados, para mejorar la vida útil del pavimento. En mi tesis, los tramos críticos identificados pueden beneficiarse de propuestas similares, como el refuerzo estructural del pavimento mediante el diseño AASHTO o recapeos optimizados para minimizar costos y reducir impacto ambiental. Al identificar deflexiones específicas ($D_{25}=11.34 \text{ mm}$), se pueden desarrollar propuestas de refuerzo precisas adaptadas a las condiciones locales.

Correlación entre Métodos de Evaluación (Farfán, 2022). La correlación establecida por Farfán (2022) entre el Deflectómetro de Impacto Liviano (DIL) y la Viga Benkelman indica que ambos métodos son complementarios y precisos para evaluar



pavimentos básicos. En mi tesis, el uso exclusivo de la Viga Benkelman podría enriquecerse al validar los resultados con otro método, generando mayor confianza en las conclusiones. Aplicar correlaciones similares en futuros estudios en la carretera Juli - Santiago Mucho podría permitir una evaluación más robusta y versátil. La ecuación de correlación propuesta por Farfán podría adaptarse a los datos obtenidos en mi investigación para explorar posibles ajustes metodológicos.

Identificación de Tramos Deteriorados. Escobedo y Herrera (2017) utilizaron mediciones deflectométricas para categorizar áreas del pavimento en condiciones fuertes y débiles, estableciendo prioridades de mantenimiento. Mi investigación también identificó tramos con deflexiones mayores a las permitidas, lo que evidencia la necesidad de rehabilitación en ciertos sectores. Mis resultados destacan tramos homogéneos y heterogéneos, permitiendo proponer intervenciones específicas como lo hicieron Escobedo y Herrera (2017).

Procesamiento de Datos y Optimización (Díaz, 2021). Díaz (2021) empleó tablas dinámicas en Excel para optimizar el procesamiento de datos, mejorando la productividad del análisis. En mi caso, los datos obtenidos podrían beneficiarse de un análisis más automatizado que permita identificar patrones en las deflexiones con mayor eficiencia. Incorporar herramientas informáticas como Excel o software de simulación para analizar las deflexiones de forma más dinámica, similar a lo realizado por Díaz. Esto permitiría identificar tendencias en la capacidad estructural de los tramos evaluados y generar gráficos representativos para comunicar mejor los hallazgos.

Comparación con Sacachipana (2014): Evaluación en Azángaro – Muñani. Sacachipana reporta que las deflexiones características están dentro de los parámetros establecidos, asegurando un buen comportamiento estructural del pavimento. Además,



utiliza análisis estadísticos con un nivel de confiabilidad del 95% para validar sus resultados. Ambos estudios se centran en la Viga Benkelman como herramienta principal para evaluar la capacidad estructural del pavimento. En mi caso, los resultados también muestran que la mayor parte del tramo evaluado está dentro de los rangos permisibles, pero con sectores específicos en mal estado. Mientras que Sacachipana concluye un comportamiento estructural satisfactorio en toda la vía, mi estudio identifica un porcentaje significativo de tramos que superan las deflexiones críticas, probablemente debido a mayores niveles de tráfico o deterioro acumulado.

Comparación con Flores (2023): Variación según Subrasante. Flores destaca la influencia del tipo de subrasante en las deflexiones promedio: suelos A-2 (0.58×10^{-2} mm) y A-4 (0.74×10^{-2} mm). Su análisis muestra que el 98.33% de los puntos cumplen con los valores admisibles, pero un pequeño porcentaje requiere intervenciones localizadas. Ambos trabajos identifican zonas críticas que requieren atención específica. En mi estudio, el 30% de los tramos evaluados también presenta deflexiones que exceden los valores admisibles, señalando la necesidad de intervenciones puntuales. Mi investigación no analizó explícitamente la influencia del tipo de subrasante en las deflexiones medidas. Este enfoque podría enriquecer futuras evaluaciones, considerando la posible correlación entre la calidad de la subrasante y el desempeño estructural del pavimento.

Comparación con Bonifacio (2022): Atuncolla – Sillustani. Bonifacio concluye que las deflexiones características en la carretera Atuncolla - Sillustani son menores a las admisibles, con radios de curvatura superiores a los 80 m, lo que indica un buen comportamiento estructural, pese a la presencia de patologías superficiales. En ambos estudios, la mayoría de las deflexiones medidas están dentro de los rangos admisibles, lo



que refleja un desempeño estructural adecuado en tramos bien conservados. Mientras Bonifacio encuentra deflexiones menores al límite en toda la vía, mi investigación identifica sectores específicos con deflexiones superiores a los valores críticos, sugiriendo un desgaste estructural más avanzado en dichos tramos.

El estudio de Ccallo y Mamani (2021) sobre la carretera Juli – Desaguadero, utilizando deflectometría y otras técnicas de evaluación, se alinea metodológicamente con mi investigación en la carretera Juli – Santiago Mucho. Ambos trabajos emplean la deflectometría como herramienta clave para analizar el estado estructural de los pavimentos, pero difieren en los resultados y las condiciones específicas de las vías evaluadas. En mi investigación, las mediciones de deflectometría mostraron que ciertos tramos críticos de la carretera Juli – Santiago Mucho presentan deflexiones características de hasta 18.72 mm, lo que evidencia problemas estructurales en áreas específicas, pero también segmentos funcionales. Por otro lado, Ccallo y Mamani concluyen que la calidad de la subrasante en la carretera Juli – Desaguadero es deficiente, y las deflexiones promedio están por debajo de los valores esperados, indicando una estructura incapaz de soportar las cargas de tránsito actuales. La caracterización detallada de las deflexiones admisibles y críticas en mi estudio permite identificar tramos con diferentes niveles de deterioro, lo que facilita la planificación de intervenciones específicas en lugar de una intervención integral. Ambas carreteras están expuestas a condiciones de tráfico pesado, lo que contribuye al deterioro estructural. Sin embargo, la carretera Juli – Santiago Mucho, muestra segmentos que aún son funcionales, en contraste con los resultados de la carretera Juli – Desaguadero.



V. CONCLUSIONES

- **Relación entre Cargas de Tránsito y Capacidad Estructural:**

Las cargas de tránsito (ESALs) proyectadas para un período de 20 años, que ascienden a 742,347.20 ESALs, tienen una influencia directa sobre la capacidad estructural del pavimento. Los valores de deflexión promedio ($D'0 = 18.72$ mm y $D'25 = 11.34$ mm) y la deflexión característica ($D = 26.82$ mm) son indicativos de que el pavimento ya está siendo afectado por las cargas de tránsito acumuladas. La alta deflexión observada refleja que la estructura del pavimento está experimentando una deformación significativa, lo cual es un claro indicio de que la capacidad estructural no es suficiente para soportar las cargas de tránsito actuales y proyectadas.

- **Impacto de las Cargas de Tránsito en el Estado de Transitabilidad:**

El estado de transitabilidad de la carretera también está comprometido por las cargas de tránsito. La alta deflexión observada no solo afecta la capacidad estructural, sino que también tiene un impacto negativo en la superficie del pavimento, lo que puede generar baches y grietas profundas a medida que las cargas de tránsito continúan acumulándose. Los valores de radio de curvatura (744.15 mm) relativamente bajos indican que las deformaciones del pavimento son significativas, lo que puede generar un mal estado de la superficie que afecte la comodidad y seguridad de los usuarios.

- **Deflexión y su Relación con la Capacidad Estructural:**



La deflexión característica ($D = 26.82$ mm) es un indicador clave de la capacidad estructural. Valores elevados de deflexión sugieren que la estructura del pavimento ya está sometida a un desgaste acelerado, lo cual reduce su capacidad para resistir las cargas de tráfico y, por ende, pone en riesgo la durabilidad del pavimento. Este comportamiento es especialmente preocupante dado que el pavimento está diseñado para soportar un volumen de tráfico considerable durante los próximos 20 años.

- Cargas de Tránsito y la Necesidad de Intervenciones:

Con el número proyectado de 742,347.20 ESALs para el período de 20 años, las cargas de tránsito están teniendo un impacto significativo en la capacidad estructural del pavimento. Esto resalta la necesidad urgente de intervenciones de refuerzo estructural, como el reciclado de pavimento o la rehabilitación de las capas de base y subbase, para asegurar que la infraestructura pueda resistir las cargas proyectadas y mantener un nivel adecuado de transitabilidad.



VI. RECOMENDACIONES

1. **Mantenimiento Preventivo Continuo:** Implementar un programa de mantenimiento preventivo regular para preservar el buen estado del pavimento y la subrasante. Este programa debe incluir inspecciones periódicas, limpieza de la superficie, sellado de fisuras y bacheo oportuno para evitar la propagación de daños.
2. **Monitoreo del Tránsito:** Dado que el tramo se clasifica como carretera de segunda clase con un IMDA de (1630) vehículos por día, 400 es crucial monitorear el tráfico vehicular de manera continua. Si se observa un aumento significativo en el volumen o tipo de vehículos, se deberán realizar evaluaciones adicionales para verificar si la capacidad estructural del pavimento sigue siendo adecuada.
3. **Corrección de Fallas Superficiales:** A pesar del buen comportamiento estructural general, se deben abordar las fallas superficiales presentes en el pavimento. Se recomienda realizar reparaciones localizadas, como bacheo y sellado de fisuras, para prevenir el deterioro acelerado y garantizar la seguridad y comodidad de los usuarios.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfaro, L. (2018). *Evaluación del deterioro del pavimento con método del índice de condición de pavimentos en la Av. La Cultura, distrito de Laredo, provincia de Trujillo, 2018*. Universidad Privada de Trujillo.
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica*. Editorial Espisteme C.A.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (2020). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. AASHTO.
- Balarezo, J. (2017). *Evaluación estructural usando viga Benkelman aplicada a un pavimento*. Universidad de Piura, Piura.
- Barrios, J., & González, M. (2018). *Infraestructura vial y su impacto en el desarrollo regional*. Revista de Desarrollo Territorial, 10(2), 45-60.
- Bonifacio, J. (2022). *Evaluación de la capacidad estructural del pavimento flexible de la carretera Atuncolla - Complejo Arqueológico Sillustani – 2020*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Bowles, J. E. (2017). *Foundation Analysis and Design* (5th ed.). McGraw-Hill.
- Ccallo, L., & Mamani, J. (2021). *Evaluación de la serviciabilidad del pavimento flexible y alternativas de intervención de la carretera Juli – Desaguadero – 2021*. Universidad César Vallejo.
- Carrasco, S., & Vizhñay, C. (2019). *Evaluación estructural vial para Azogues mediante el análisis de deflexiones aplicando la viga Benkelman*. Universidad de Cuenca, Ecuador.
- Chambi, F. (2021). *Modelo de gestión de conservación vial para reducir costos de mantenimiento vial y operación vehicular en la carretera Juliaca–Lampa, aplicando el programa HDM-4*. Universidad Nacional del Altiplano.



- Chang, C. (2010, mayo 4). *Evaluación de pavimentos: Criterios y aplicaciones*.
<https://revistavial.com/evaluacion-de-pavimentos-criterios-y-aplicaciones-26154/#:~:text=>
- Casia, J. (2015). *Evaluación estructural de pavimentos flexibles usando el deflectómetro de impacto en la carretera Tarma – La Merced*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo.
- Coila, O., & Ticona, W. (2021). *Análisis comparativo de los métodos PCI y VIZIR en la evaluación de las fallas del pavimento flexible de la carretera Atuncolla - Complejo Arqueológico Sillustani - Puno, 2021*. Universidad César Vallejo.
- Cruz, O., & Ocaña, F. (2019). *Evaluación estructural de pavimentos flexibles construidos en la localidad de Usme utilizando el deflectómetro de impacto FWD*. Universidad Santo Tomás.
- Cubas, T. (2017). *Comportamiento estructural del pavimento flexible en la vía de evitamiento sur – Cajamarca utilizando las deflexiones medidas con la viga Benkelman*. Universidad Privada del Norte, Cajamarca.
- Díaz, D. (2021). *Evaluación del estado superficial y capacidad estructural de pavimentos flexibles mediante el índice de condición del pavimento y deflectometría en calles y avenidas del cercado del distrito de Pimentel 2020*. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo.
- Díaz, S. (2016). *Factores que influyen en el deterioro del pavimento flexible de la Avenida Universitaria del Cantón Babahoyo de la Provincia de Los Ríos*. Universidad de Guayaquil.
- Díaz, I. (2021). *Evaluación de la deflexión de la estructura del pavimento de la carretera Fernando Belaunde Terry del km 267+500 al km 269+000 por el método de la viga Benkelman*. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas.



- Encalada, J., & Galecio, S. (2021). *Evaluación estructural del pavimento flexible en la carretera Piura – Catacaos del km 133+500 al km 137+500 por medio de la viga Benkelman para formular un plan de mantenimiento*. Universidad Nacional de Piura.
- Escobar, P., & Bilbao, J. (2020). *Investigación y educación superior*. LULU.COM.
- Escobar, K., García, A., & Guzmán, C. (2007). *Análisis comparativo de la evaluación de pavimentos por medio de la viga Benkelman y el deflectómetro de impacto (falling weight deflectometer, FWD)*.
- Escobedo, J., & Herrera, D. (2017). *Evaluación de las deflexiones de la vía de Evitamiento Panamericana Norte km 578 al km 583, utilizando la viga Benkelman*. Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo.
- Espinoza, M., & Jintiach, R. (2022). *Evaluación de la superficie del pavimento flexible en la vía de conexión entre la Panamericana Norte y la calle Julia Bernal, mediante el análisis de la viga Benkelman aplicando el método del retroCómputo*. Universidad Católica de Cuenca, Ecuador.
- Farfán, R. (2022). *Deflectómetro de impacto liviano y viga Benkelman para el análisis de deflexiones en pavimentos básicos con slurry seal, carretera Pisca - Pacaycasa 2022*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo.
- Fernández, M. (2020). *Determinación del comportamiento estructural del pavimento flexible de la carretera Cajamarca-Celendín-Balsas, tramo Chaquilpampa-Santa Rosa de Chaquil, mediante el análisis deflectométrico*. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.
- Flores, L. (2012). *Evaluación estructural de pavimentos flexibles de carreteras de bajo volumen de tránsito*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Flores, L. (2023). *Evaluación del comportamiento estructural de pavimentos flexibles según suelo de subrasante, carretera Juliaca - Caracoto, Puno 2021*. Universidad Continental, Arequipa.



- Garber, N. J., & Hoel, L. A. (2020). *Principles of Highway Engineering and Traffic Analysis* (6th ed.). Wiley.
- García, P., López, A., & Torres, R. (2021). *Problemas comunes en el mantenimiento de carreteras en el Perú*. *Ingeniería y Transporte*, 15(1), 22-35.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.
- Hoffman, M., & Del Aguila, P. (1985). *Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones (ensayos no destructivos)*. Louis Berger Internacional Inc.; LAGESA Ingenieros Consultores.
- Julca, M. (2019). *Análisis de la confiabilidad del ensayo de viga Benkelman para establecer la condición estructural del pavimento de la Av. El Sol del distrito de Ate*. Universidad César Vallejo.
- López, E., & Fernández, C. (2017). *Factores que afectan la durabilidad del pavimento flexible en zonas altoandinas*. *Revista de Ingeniería Civil y Ambiental*, 9(3), 65-74.
- Leguía, P., & Pacheco, H. (2016). *Evaluación superficial del pavimento flexible por el método pavement condition index (PCI) en las vías arteriales: Cincuentenario, Colón y Miguel Grau (Huacho-Huaura-Lima)*. Universidad San Martín de Porres.
- Massenli, G., & Paiva, C. (2019). *Influencia de la deflexión superficial en pavimentos flexibles con subrasante de baja resistencia*. *Ingeniare: Revista chilena de ingeniería*, 613-624.
- Medina Palacios, A., & De la Cruz Puma, M. (2015). *Evaluación superficial del pavimento flexible del Jr. José Gálvez del distrito de Lince aplicando el método del PCI*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Medina, J., & Motta, L. (2015). *Mecánica dos pavimentos*. Interciência Ltda.



- Meza, H. (2017). *Evaluación deflectométrica obtenida con la viga Benkelman y diseño de estructuras de pavimentos por el método AASHTO 2008 en la avenida Hartley del distrito de José Luis Bustamante y Rivero - Arequipa*. Universidad Católica Santa María, Arequipa.
- Minaya, S., & Ordoñez, A. (2006). *Diseño moderno de pavimentos asfálticos*. ICG - Instituto de la Construcción y Gerencia.
- MINCETUR. (2011). *Guía para la formulación de proyectos de inversión exitosos*. Editorial Arkabas.
- Montejo, A. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras*. Universidad Católica de Colombia Ediciones y Publicaciones.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC]. (2014). *Manual de carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos*.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC]. (2017). *Manual de ensayo de materiales*.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2019). *Manual de carreteras: Diseño y evaluación estructural del pavimento flexible (MTC E 1002)*. Lima, Perú: MTC.
- OECD. (2019). *Transport Infrastructure and Environmental Sustainability*. OECD Publishing.
- Ortega, K., & Villafuerte, L. (2015). *Evaluación estructural de pavimento flexible para suelos de tipo limo arenoso*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito.
- Paredes, J. (2019). *Implementación del proceso de conservación de la estructura de la capa de rodadura de la vía: Cevallos-Quero en el tramo km 5+800 al km 9+100*. Universidad Técnica Ambato.
- Pérez, D., & Martínez, H. (2020). *Deflectometría y su aplicación en la evaluación de pavimentos*. *Revista de Ingeniería Vial*, 12(4), 78-90.



- Pérez, G. (2021). *Modelos de ajuste de carga para evaluar estructuralmente capas de suelos de un pavimento flexible*. Universidad Ricardo Palma, Lima.
- Pesantez, A., & Rodríguez, J. (2016). *Evaluación de la capacidad estructural de los pavimentos flexibles por el método de las deflexiones en la av. Abelardo J. Andrade del cantón Cuenca*. Universidad Católica de Cuenca, Ecuador.
- Ramírez, C., & Silva, J. (2020). *La conectividad vial y su relación con el desarrollo de comunidades rurales*. Estudios Regionales Latinoamericanos, 14(1), 89-104.
- Ramos, W. (2017). *Evaluación del estado del pavimento por deflectometría e índice de rugosidad internacional en la carretera: Puno – Vilque – Mañazo – 4 km críticos - 2015*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Sacachipana, G. (2014). *Evaluación estructural*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Silva, J., López, M., & Ramos, P. (2018). *Impacto del estado de las carreteras en el desarrollo local*. Revista Latinoamericana de Infraestructura.
- Silva, J. (2019). *Evaluación visual y estructural del pavimento flexible en la urbanización Los Jardines, Barranca-2017*. Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo".
- Silva, O. (2020). *Durabilidad fibras de acero para pavimentos de concreto. Comunidad 360 en Concreto*. <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/durabilidad-fibras-de-acero-para-pavimentos-de-concreto>
- Thenoux, G., & Gaete, R. (2019). *Evaluación técnica del pavimento y comparación de métodos de diseño de capas de refuerzo asfáltico*. Ingeniería de Construcción, 22.
- Vargas, R., & Rodríguez, L. (2016). *Gestión de pavimentos en carreteras de bajo volumen de tránsito*. Ingeniería de Transporte, 8(2), 112-126
- Vidaurre, B. (2018). *Evaluación para la reconstrucción del Pavimento Flexible del Jr. José Santos Chocano del Distrito los Olivos - Lima 2018*. Universidad César Vallejo.



Vilca, R., & Cuba, A. (2020). *Evaluación superficial en pavimentos flexibles aplicando la metodología PCI, IRI y deflectometría en las Avs. Floral y El Sol en Puno 2019*. Universidad Nacional del Altiplano.

Yarango, E. (2014). *Rehabilitación carretera acceso a sociedad minera Cerro Verde desde Km 0+000 hasta km 1+900 en Uchumayo - Arequipa: Empleando sistema Bitufor para reducir reflexión grietas y prolongar vida útil del pavimento*. Universidad Ricardo Palma.



ANEXOS

ANEXO 1: Matriz de Consistencia y operacionalización de las Variables

ANEXO 2: Estudio de Transito

ANEXO 3: Cómputo de las deflexiones con Viga Benkelman

ANEXO 4: Certificado de Calibración Viga Benkelman

ANEXO 5: Tratamiento Estadístico

ANEXO 6: Panel Fotográfico



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Tony Williams Mamani Navarro
identificado con DNI 70995014 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERIA CIVIL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"EVALUACION DE CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y ESTADO DE TRANSITABILIDAD
MEDIANTE CARGOS DE TRANSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE
DE LA CARRETERA JUL - SANTIAGO MUCHO, JULI 2024"

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 16 de Diciembre del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Tony Willans Mameri Navarro,
identificado con DNI 70095014 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA CIVIL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"EVALUACION DE CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y ESTADO DE TRANSIBILIDAD MEDIANTE CARGAS DE TRANSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA JULI-SANTIAGO MUCHO, JULI 2024"

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 16 de Diciembre del 2024



FIRMA (obligatoria)



Huella