



Universidad Científica del Perú - UCP

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

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

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
(Proyecto Profesional)**

**“Evaluación deflectométrica del pavimento existente en la
carretera Santa Clara entre los centros poblados de
Rumococha y Santa Clara, distrito de San Juan Bautista –
Maynas – Loreto, 2019”**

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR (es) : Joan Edu Peña Ruiz.
: Anni Greicy Sajami Panaifo.

ASESOR : Ing. Ulises Octavio Irigoin Cabrera M. Sc

San Juan Bautista – Loreto- Maynas- Perú

2019

DEDICATORIA

En primer lugar a Dios por brindarme vida y salud, y de este modo poder alcanzar mis metas, a pesar de las dificultades que se presentan en la vida me dio las fuerzas necesarias para enfrentarlo.

A mí apreciada mamá Heydi por motivarme día a día y su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida.

A mis queridos compañeros por compartir su conocimiento, vivencias y costumbres, y de este modo poder enriquecernos.

A todas las personas que están interesadas en conocer sobre el tema de evaluación deflectométrica de pavimentos.

Joan Edu Peña Ruíz.

DEDICATORIA

A Dios Todo Poderoso por haberme guiado siempre ante cada paso que he dado; y, por iluminar mi mente para poder lograr todas mis metas trazadas.

A mis queridos padres, Rosa y Amílcar, por haberme formado una mujer de bien, capaz de asumir cualquier reto; ellos son la razón de salir adelante día a día, para quienes va todo mi esfuerzo y dedicación por inculcarme siempre a lo bueno, nunca soltar mi mano y darme siempre la valentía de seguir adelante sin importar las adversidades que se me presente en la vida.

Anni Greicy Sajamí Panaifo

AGRADECIMIENTOS

- Agradecemos a nuestras familias que han sido nuestro apoyo más sólido y paciente, Por su amor y por estar pendientes de nosotros, incondicionalmente a pesar de la distancia.
- También agradecemos al Programa Nacional de Becas y Crédito Educativo PRONABEC, por la oportunidad brindada todos estos años de estudios universitarios.
- Al Ing. Ulises Octavio Irigoin Cabrera, por su asesoramiento a lo largo del desarrollo del presente estudio.
- A todas las personas que de una u otra manera han contribuido para el desarrollo del proyecto.
- A los docentes de la carrera profesional de ingeniería civil, por sus enseñanzas y entrega total.
- A nuestra casa de estudios Universidad Científica del Perú “UCP”, por permitirnos en sus aulas culminar la carrera profesional de ingeniería civil.



Universidad Científica del Perú

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

**FACULTAD
CIENCIAS E
INGENIERÍA**

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Con Resolución Decanal N° 573 -2019- UCP - FCEI del 11 de julio de 2019, la **FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP** designa como Jurado Evaluador y Dictaminador de la Sustentación del Trabajo de Suficiencia Profesional a los Señores:

- Ing. Carol Begoña García Langer, Mg.
- Ing. Miguel Ángel Robalino Osorio
- Ing. Mario Amador Vela Rodríguez

Presidente
Miembro
Miembro

En la ciudad de Iquitos, siendo las 19:00 horas, del día miércoles 17 de julio de 2019, en las instalaciones de la **UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP**, se constituyó el Jurado para escuchar la sustentación y defensa del Trabajo de Suficiencia Profesional:

**“EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA DEL PAVIMENTO EXISTENTE EN LA
CARRETERA SANTA CLARA ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE
RUMOCOCHA Y SANTA CLARA, DISTRITO DE SAN JUAN BAUTISTA-MAYNAS-
LORETO, 2019”**

Presentado por los sustentantes:

JOAN EDU PEÑA RUIZ y ANNI GREICY SAJAMI PANAIFO

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

Como requisito para optar el título profesional de: **Ingeniero Civil**

Luego de escuchar la Sustentación y formuladas las preguntas las que fueron: Absueltas

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

Por lo que la Sustentación es: Aprobada por unanimidad

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

Presidente

Miembro

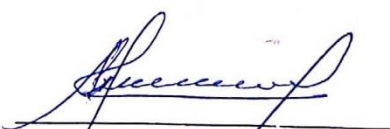
Miembro

CALIFICACIÓN: Aprobado (a) Excelencia : 19 - 20
Aprobado (a) Unanimidad : 16 - 18
Aprobado (a) Mayoría : 13 - 15
Desaprobado (a) : 00 - 12

APROBACIÓN

"EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA DEL PAVIMENTO EXISTENTE EN LA CARRETERA
SANTA CLARA ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE RUMOCOCHA Y SANTA CLARA,
DISTRITO DE SAN JUAN BAUTISTA – MAYNAS – LORETO, 2019"

(Trabajo de Suficiencia Profesional sustentada en acto público el día 17 de julio a
las 19:00 horas de 2019).


Ing. Carol Begoña García Langer, Mg.
PRESIDENTE DE JURADO
Ing. Miguel Ángel Robalino Osorio.
MIEMBRO DE JURADO
Ing. Mario Amador Vela Rodríguez.
MIEMBRO DE JURADO
Ing. Ulises Octavio Irigoin Cabrera, M.Sc.
ASESOR

ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iv
ACTA DE SUSTENTACIÓN.....	v
APROBACIÓN.....	vi
ÍNDICE.....	7
ÍNDICE DE TABLAS.....	9
ÍNDICE DE FIGURAS	10
RESUMEN.....	11
ABSTRACT.....	12
INTRODUCCIÓN.....	13
CAPÍTULO II.....	14
MARCO REFERENCIAL	14
2.1. ANTECEDENTE DEL ESTUDIO	14
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONAL.....	14
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONAL.....	15
2.2. DEFINICIONES TEÓRICAS, CONCEPTUALES RELACIONADAS A LOS PAVIMENTOS.....	15
2.2.1. GENERALIDADES SOBRE PAVIMENTOS	15
2.2.2. CONCEPTO DE PAVIMENTOS.....	16
2.3. TIPOS DE PAVIMENTOS:	17
2.3.1. PAVIMENTOS RÍGIDOS.....	17
2.3.2. PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	18
2.3.3. CAPAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE.....	19
2.3.3.1. SUBRASANTE.	19
2.3.3.2. SUB BASE.....	19
2.4. CARACTERÍSTICAS LOCALES.....	24
2.4.1. UBICACIÓN GEOGRAFICA	24
CAPITULO III.....	26
MATERIAL Y MÉTODOS	26
3.1. EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES USANDO LA VIGA BENKELMAN	26
3.2. CARACTERÍSTICAS DE LA VIGA BENKELMAN.....	27

3.3. OBJETIVO	30
3.4. EQUIPO	30
3.5. PROCEDIMIENTO	32
3.6. CÁLCULO DE LA DEFLEXIÓN	37
3.7. CÁLCULOS	38
3.8. INFORME	38
3.9. REFERENCIAS NORMATIVAS	38
3.10. TOPOGRAFIA.	39
3.11. SERVICIOS EXISTENTES.	39
3.13. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO	40
3.14. RADIO DE CURVATURA.....	42
3.15. DETERMINACIÓN DEL RADIO DE CURVATURA.....	44
CAPÍTULO IV	50
RESULTADOS	50
CAPÍTULO V	60
DISCUSIÓN.....	60
CAPÍTULO VI	61
CONCLUSIONES	61
RECOMENDACIONES	62
ANEXO	67
PANEL FOTOGRÁFICO	68

ÍNDICE DE TABLAS

N°	Pág.
Tabla N°01:.....	24
Tabla N°02:.....	33
Tabla N°03: Referencias Normativas.....	39
Tabla N°04: (Fuente: Montejo 2001).....	42

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Grafico N°01: estadística del porcentaje de vivienda entrevistada.....	34
Grafica N°02: Resumen de la deflexión y vida crítica (Lister).....	38
Grafico N°03: Factores de corrección por temperatura.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura .N° 01: Estructura Típica de un Pavimento Rígido.....	11
Figura .N° 02: Estructura típica de un pavimento flexible.....	12
Figura N° 03: Mapa de estudio del área evaluada.....	19
Figura N° 04: Dial Registrador.....	22
Figura N° 05: Viga Benkelman en campo durante el ensayo.....	23
Figura N° 06: Esquema y Principio de operación de la Viga Benkelman.....	25
Figura N° 07: Esquema de viga Benkelman.....	26
Figura N° 08: Camión de ensayo.....	27
Figura N° 09: Colocación de la viga.....	28
Figura N° 10: Nivelación y ajustes.....	30
Figura N° 11: Lectura de los diales.....	30
Figura N° 12: Midiendo la temperatura.....	31
Figura N° 13 Radio de Curvatura.....	40

RESUMEN

El proyecto de suficiencia profesional cuyo objetivo es evaluar la deflectometría del pavimento existente en la carretera Santa Clara entre los centros poblados de Rumo Cocha y Santa Clara, distrito de San Juan Bautista, empleando la viga Benkelman donde este “se utiliza para medir la deflexión de la superficie de una carretera, provocada por el paso de las ruedas de los vehículos .La viga se pone entre los neumáticos del vehículo y en contacto con el pavimento a ensayar, la longitud de la viga Benkelman es de 250 cm” ((Mecasisa). Además para la realización de esta rutina será necesario de la participación de cuatro operadores: Un técnico calificado que lea y dicte las lecturas del micrómetro, un operador que anote las mediciones, un banderillero que ayude con el tráfico vehicular, y un ayudante que coordine con el conductor del camión y a la vez de aviso al técnico que realiza las lecturas. (Yarango, 2014).El proceso comienza con la recolección de datos de campo, con ayuda de la viga Benkelman, la cual corresponde a un ensayo no destructivo, se efectúan las mediciones de deflexiones con la finalidad de saber el estado en la que se encuentra el pavimento. El pavimento evaluado ha sido construido en el año 2014 y está conformado por una carpeta con concreto asfáltico en caliente de 7.50 cm, mejoramiento de la base con suelo estabilizado con emulsión asfáltica RC-250 de 10.00 cm, mejoramiento de la base con suelo – cemento de 20.00 cm, sub base con material A-3 (anticontaminante) de 40.00 cm. Para la evaluación de la capacidad estructural del pavimento se midieron las deflexiones cada 25 metros, de acuerdo con el procedimiento indicado por la norma MTC E102-2000. “Medida de la deflexión y determinación del radio de curvatura de un pavimento flexible empleando la viga Benkelman”, “para ello se utilizó una viga Benkelman de doble brazo, un volquete cuyo eje posterior tuvo un peso de 8.2 toneladas, las llantas con una presión de inflado de 80 P.S.I. Con las deflexiones obtenidas se procedió a la evaluación del pavimento ,obteniéndose una deflexión característica de $12.96 \times 10^{-2}mm$, menor a la deflexión admisible de $137.586 \times 10^{-2}mm$ y un radio de curvatura promedio de 502.4 mm, mayor al mínimo establecido por el método (100mm)”, llegando a la conclusión de que el pavimento presenta o no presenta un adecuado comportamiento estructural, soportando así las solicitaciones de cargas para la cual fue diseñada, y también tiene un radio de curvatura amplio ,lo que indica que es adecuado para el periodo de diseño.

Palabras claves: deflectometría en pavimentos, Viga Benkelman, deflexión.

ABSTRACT

The professional sufficiency project whose objective is to evaluate the deflectometry of existing pavement on the Santa Clara road between Rumococha and Santa Clara town, district of San Juan Bautista, using the Benkelman beam where it is used to measure the deflection of the surface of a road, caused by the passage of the wheels of the vehicles. The beam is placed between the tires of the vehicle and in contact with the pavement to be tested, the length of the Benkelman beam is 250 cm. (Mecasisa) also for the realization of this routine will be necessary the participation of four operators: A qualified technician to read and dictate the readings of the micrometer, an operator to write the measurements, a banderillero who helps with vehicular traffic, and an assistant who coordinates with the truck's driver and at the same time let the technician know who takes the readings. (Yarango, 2014) The process begins with the data collection, with the Benkelman beam's help, which corresponds a non-destructive test, the deflection measurements are made to know the pavement's state how it is. The pavement evaluated has been built in 2014 and consists of a folder with hot asphalt concrete of 7.50 cm, improvement of the base with soil stabilized with asphalt emulsion RC-250 of 10.00 cm, improvement of the base with soil - cement of 20.00 cm, sub base with material A-3 (anti-pollution) of 40.00 cm. For the evaluation of the structural capacity of the pavement, the deflections were measured every 25 meters, according to the procedure indicated by the MTC E102-2000. "Measurement of the deflection and determination of the curvature's radius of a flexible pavement using the Benkelman beam", for that it was used a Benkelman beam with two arms, a tipper whose rear axle had a weight of 8.2 tons, the tires with a pressure of Inflated 80 PSI .With the deflections obtained, the pavement was evaluated, obtaining a characteristic deflection of $12.96 \times 10^{-2} \text{ mm}$, less than the admissible deflection of $137.586 \times 10^{-2} \text{ mm}$ and a curvature's radius average of 492.00 mm, greater than the minimum established by the method (100mm), concluding that the pavement presents an adequate structural behavior, supporting the load requirements for which it was designed, also it has a large curvature's radius ,it means that is adequate for design period.

Key Word: pavement deflectometry, beam Benkelman, deflection.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La Ingeniería de Pavimentos ha tenido una larga evolución a través de la historia, existiendo varios tipos de construcción que han sido antecesores de los tipos de pavimentos modernos. La existencia de un sistema vial en buen estado, permite el crecimiento económico de un país o comunidad. Gracias a las vías es posible la movilización rápida y barata de personas y mercadería. Pero como en gran número de países, En Perú y particularmente en Iquitos se debe dar una mayor prioridad a la conservación frente a la construcción; ya que controlar el deterioro de las carreteras existentes resulta más rentable y económico que la construcción de una nueva vía.

Para tomar la decisión de cómo y cuándo rehabilitar adecuadamente un pavimento de manera rentable. A esta no se la puede realizar sin una información obtenida a tiempo y precisa sobre el estado de un pavimento. El principal objetivo de la evaluación del estado de un pavimento flexible es proporcionar la información necesaria de su estado y comportamiento ya sea con planes a la construcción del refuerzo, a establecer su vida útil, o a que tiempo necesitará una mejora en su estructura.

Es por esto, que el presente trabajo “Evaluación Deflectométrica de Pavimentos existente en la carretera santa clara entre los centros poblados de rumococha y santa clara distrito de san juan bautista – Maynas – Loreto, 2019.” se encuentra orientado a resolver parte de este problema, ya que una evaluación estructural de carreteras es necesaria, pero no es la única que se requiere hacer para su rediseño e inclusive para conocer con mayor certeza en qué estado se encuentra, (Bustamante, 1996).

A continuación se detallan los capítulos abordados en el proyecto:

Capítulo I: Introducción

Capítulo II: Marco Referencial

Capítulo III: Material y Métodos

Capítulo IV: Resultados

Capítulo V: Discusión

Capítulo VI: Conclusiones

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1. ANTECEDENTE DEL ESTUDIO

El presente estudio trata sobre la —Evaluación Deflectométrica del Pavimento Flexible haciendo uso de la Viga Benkelman, en la carretera Santa Clara entre los centros poblados Rumococha y Santa Clara; es realizado como trabajo de investigación correspondiente a la modalidad de suficiencia profesional para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Científica del Perú. Motivó la investigación, el prematuro deterioro de los pavimentos en las principales avenidas y calles de nuestra ciudad, los que mayormente son flexibles, (Sajami, 2019).

2.1.1. ANTECEDENTES: NIVEL INTERNACIONAL

Según el Ing. Gustavo Badilla Vargas en la evaluación titulado “Análisis de resultados de deflectometría de impacto (fwd) para la evaluación de la respuesta estructural de los pavimentos para diferentes épocas del año en la red vial de Costa Rica dice que “La variación estacional de módulos para una estructura de pavimento se debe a cambios en el contenido de humedad de las capas granulares y suelos por lo tanto se espera que aquellas estructuras que son sometidas a cambios más marcados de humedad presentan las variaciones más significativas. Por el contrario zonas en las que no existen cambios importantes en la humedad no presentarán cambios importantes. Esta variación estacional de módulos se verá reflejada en las deflexiones medidas mediante el FWD, como equipo utilizado para valorar la capacidad estructural”. (Vargas, 2006)

Según el DR. Juan León Mallorquín en su informe titulado “Informe de Evaluación de Pavimentos “en Paraguay concluye que del análisis estructural, se puede concluir que el tramo posee una respuesta estructural heterogénea comparando entre sí las distintas secciones estudiadas, lo cual puede apreciarse claramente observando las deflexiones e indicadores. El carril descendente (sentido Miga Guazú – Encarnación) se encuentra más comprometido estructuralmente que el carril ascendente. En general, se concluye que la traza principal tiene un buen comportamiento estructural, lo cual se refleja en los coeficientes S_{Neff} obtenidos del retro cálculo para cada sección. (Mallorquín, 2013)

2.1.2. ANTECEDENTES: NIVEL NACIONAL

Según el Ing. José Wilfredo Gutiérrez Lazáres en su tesis titulada “Modelación geotécnica de pavimentos flexibles con fines de análisis y diseño en el Perú” dice que el cálculo del tráfico proyectado, presenta variables que generan mucha incertidumbre. El tiempo real a proyectar debe comprender el tiempo en que se desarrolla tanto el proyecto como la obra. (Lázares, 2007)

Según el Ing. Pretel Pretel Carlos Nicolás en su tesis titulada “Evaluación deflectométrica de pavimentos flexibles haciendo uso de la Viga Belkelman, En la av. América Sur entre el Ovalo Papal y el Ovalo Larco” dice La velocidad de los ensayos debe ser suficientemente alta para evaluar una red vial en un período de tiempo adecuado y para cubrir los requisitos de operación. (Pretel, 2009)

2.2. DEFINICIONES TEÓRICAS, CONCEPTUALES RELACIONADAS A LOS PAVIMENTOS.

2.2.1. GENERALIDADES SOBRE PAVIMENTOS:

La Ingeniería de Pavimentos ha tenido una larga evolución a través de la historia, así varias civilizaciones antiguas alcanzaron un alto nivel técnico en la construcción de vías como por ejemplo, los caminos construidos por los egipcios 3000 A.C., las calles de Babilonia pavimentados 2000 A.C., y el gran desarrollo alcanzado por los chinos y los Incas en construcción de caminos. El mayor alcance en sistemas de carreteras fue logrado cuando el Imperio Romano estaba en su apogeo, una gran red vial cubría todo el Imperio, muchos de estos caminos fueron hechos de piedra que tenían un metro o más de espesor. Con la caída del Imperio Romano la construcción de caminos cesó por muchos años.

Bustamante(1996), en su libro “Estructuración de Vías Terrestres” dice que: A fines del siglo XVIII en Europa el Ingeniero Francés Trasaguet propone la utilización de piedra machucada como base, cubierta de piedras pequeñas para la construcción de caminos. Al mismo tiempo los Ingenieros Ingleses Thomas Telford y John Mc’Adam desarrollan tipos similares de construcción. Telford propone el uso de piezas grandes de piedra para la base y con piedras pequeñas para la capa de rodadura. Mc’Adam sugiere el uso de polvo fino de piedra. (Bustamante, 1996)

Este tipo de construcción ha sido el antecesor de varios tipos de pavimentos modernos. “La construcción de vías tuvo un rápido proceso de transformación y desarrollo a partir de 1920 cuando se inicia la fabricación de los automóviles de uso personal que empiezan a tener una amplia aceptación y difusión” (Cubas, 2017). Es así como la demanda de caminos transitables en cualquier época del año, adecuados para la velocidad creciente de los vehículos a motor motivó el desarrollo de procedimientos de diseño empíricos y racionales y de nuevas tecnologías. Esta necesidad puso en marcha numerosos ensayos a escala tanto en Europa como en Norteamérica. El más conocido de todos, fue el —AASHO Road Testll iniciándose el planteamiento por el año 1952, y llevado a cabo en un tramo de la ruta 80 Ubicado en las proximidades de Ottawa, (Illinois) desde 1958 a 1960; contando con la financiación de todos los Estados, la —Automobile Manufacturers Association, el —Bureau of Public Roadsl y la —American Petroleum Institute, el encargado de dirigir la investigación fue el Highway Research Board. Como resultado del ensayo en 1961 se publicó una guía provisional de dimensionamiento AASHO, (AASHO). En la que constaban los resultados de dicho ensayo y se introducía conceptos como Nivel de Servicio, Ejes Equivalentes, etc., que se han usado en todo el mundo para el dimensionamiento de pavimentos. La Guía también incluía un método empírico de cálculo de espesores de capas en función de la intensidad del tráfico pesado. Desde 1961 hasta la actualidad han existido considerables avances en la tecnología de pavimentos, ya que el pavimento es un producto final de la carretera y afecta diariamente la vida de los usuarios, por lo que se trata de optimizar el producto con relación a su costo. (Bustamante, 1996)

2.2.2. CONCEPTO:

Se llama pavimento o firme, a la estructura de obra vial consistente de 1 o más capas de material apropiado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, que permite un tránsito adecuado a los vehículos, (Hilliquin, 2016). Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son las siguientes: ancho, trazo horizontal y vertical, resistencia a las cargas con el fin de evitar las fallas y los agrietamientos, además de una adecuada adherencia entre el vehículo y el pavimento aun en condiciones húmedas. Deberá presentar resistencia a los esfuerzos destructivos del tránsito, en especial de camiones, de la intemperie y del agua. Y contar con una excelente visibilidad. Debido a que los esfuerzos en un pavimento disminuyen con la profundidad, se colocan los materiales de mayor capacidad de carga en las capas

superiores, y los de menor calidad se colocan en las terracerías. (Dorfman, 1982) (Bustamante, 1996)

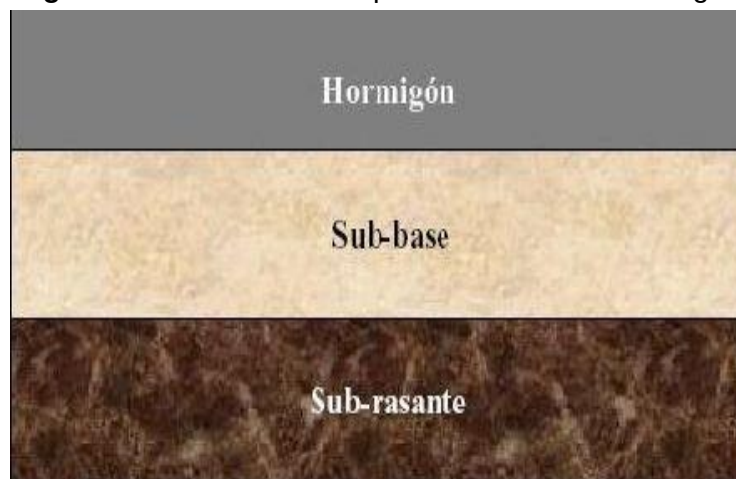
2.3. TIPOS DE PAVIMENTOS:

2.3.1. PAVIMENTOS RÍGIDOS

Son los que están constituidos de losas de concreto con o sin armadura, apoyados sobre una capa de sub-base, aunque en teoría pueden colocarse directamente sobre la sub-rasante. Tiene un costo inicial mucho más elevado que el pavimento flexible, estos pavimentos tienen una resistencia a la flexión considerable, que les permite actuar como viga y de ahí el término rígido. Su periodo de vida varía entre 20 y 40 años; el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa comúnmente en las juntas de las losas, (Yarango, 2014). La sub-base en los pavimentos rígidos pueden ser granulares o también cementadas con asfalto, cemento u otros. En general las funciones de esta capa son:

- ✓ Prevención del Bombeo
- ✓ Drenaje
- ✓ Prevención contra cambios volumétricos de la sub-rasante
- ✓ Incremento de la capacidad estructural
- ✓ Sirve como superficie de tránsito durante la construcción. (Bustamante, 1996).

Figura .Nº01: Estructura Típica de un Pavimento Rígido



Fuente: tesis “Evaluación Deflectométrica de pavimentos flexibles haciendo uso de la viga Benkelman, en las AV América sur”-2009.

2.3.2. PAVIMENTOS FLEXIBLES

Un pavimento flexible está conformado por una serie de capas, las que presentan calidades decrecientes con la profundidad. Estas capas, presentan una baja resistencia a la tracción y a la flexión (comparada con una losa de hormigón). Su aporte estructural es visto como un conjunto, en el cual la transmisión de las cargas de tránsito, a profundidad, se realiza por un mecanismo de disipación gradual de tensiones.” Son más económicos en su construcción inicial, tiene un periodo de vida de entre 10 y 15 años, pero tienen la desventaja de requerir un constante mantenimiento para cumplir con su vida útil”. Los principales elementos de los pavimentos flexibles son: sub rasante, sub-base, base y capa de rodadura. En la parte superior de la estructura de un pavimento flexible se encuentra la carpeta asfáltica, la que a su vez puede estar compuesta por sub-capas que cumplen un rol determinado dentro de un pavimento flexible. Debe proporcionar una superficie suave para el rodado de los vehículos, además de traspasar las tensiones a las capas inferiores. (Bustamante, 1996)

Por último debe cumplir un rol de impermeabilización, impidiendo el paso del agua hacia capas inferiores. Bajo la carpeta asfáltica se encuentra la base, la que puede ser granular o cementada con asfalto, cemento u otros. Esta capa por encontrarse cerca de la superficie debe poseer alta resistencia a la deformación para soportar las altas presiones a las que estará expuesta. La sub-base, en tanto, puede ser de menor calidad y por lo general se utilizan materiales locales en su construcción, estas también se pueden estabilizar mediante cementación.

Figura .N°02 estructura típica de un pavimento flexible



Fuente: tesis “Evaluación Deflectométrica de pavimentos flexibles haciendo uso de la viga Benkelman, en las AV América sur”-2009.

No existen normas que establezcan que tipo de pavimento es más conveniente en cada caso, y cada situación se debe establecer particularmente. Pero los pavimentos rígidos son más requeridos en zonas urbanas, calles, avenidas y en carreteras de alto tránsito por lo que una interrupción del tráfico causa grandes problemas. La diferencia en el costo de los dos tipos de pavimentos hace que el más utilizado sea el pavimento flexible, (Bustamante, 1996), (Dorfman, 1982).

2.3.3. CAPAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE

2.3.3.1. SUBRASANTE

Es la capa que se encuentra en la parte superior del terraplén o corte, en la mayoría de los casos está formada por el mismo material de la terracería, en otras palabras es la parte superior de la obra básica de la vía donde se colocará las demás capas del pavimento y los espaldones.

La función de la subrasante es la de soportar las cargas que transmiten las capas del pavimento y darle sustentación, además de considerar la cimentación del pavimento. Si se tiene mejor calidad en esta capa el espesor del pavimento será mínimo y existirá un ahorro en costos sin mermar la calidad. Las características con las que debe cumplir son: expansión máxima del 5%, grado de compactación mínimo del 95%; espesor mínimo de 30cm para caminos de bajo tránsito y de 50cm en caminos con un TPDA > a 2000 vehículos, debe estar constituido de material granular, rocoso o combinación de ambos, libre de material orgánico o escombros. Otra función de la subrasante es evitar que el terraplén contamine al pavimento y que sea absorbido por las terracerías, (Dorfman, 1982).

2.3.3.2. SUB BASE

Es la primera capa con material seleccionado que se construye sobre la subrasante para soportar la capa de base. La principal función es de carácter económico ya que ahorra dinero al poder transformar un cierto espesor de la capa de base a un espesor equivalente de material de sub-base, debido a que su calidad puede ser inferior a los agregados de la base sin disminuir la capacidad estructural del pavimento, impide que el agua de las terracerías ascienda por capilaridad y evitar que el pavimento sea

absorbido por la sub-rasante. Deberá transmitir en forma adecuada los esfuerzos a las terracerías, (Nuñez, 2002).

2.3.3.3. BASES

La capa de base es el componente estructural más importante de la estructura del pavimento flexible, debido a que soporta los altos esfuerzos impuestos por las cargas concentradas aplicadas en la capa de rodadura y distribuirlas adecuadamente con el fin de que las capas inferiores las puedan resistir. El valor cementante en una base es indispensable para proporcionar una sustentación adecuada a las carpetas asfálticas delgadas. En caso contrario, cuando las bases se construyen con materiales inertes y se comienza a transitar por la carretera, los vehículos provocan deformaciones transversales. Así pues la función fundamental de la capa de base es evitar que se presenten deformaciones por corte y consolidación en la subrasante. Además tiene el propósito adicional de proveer sub-drenaje al pavimento y de proporcionar protección contra las heladas cuando sea necesario, (Nuñez, 2002).

2.3.3.4. CAPAS DE RODADURA

Es la capa final del pavimento, en donde circulará el tráfico, por lo que debe ser más resistente, con mejor acabado y en constante mantenimiento. Proporciona al pavimento flexible una superficie regular y antideslizante, capaz de resistir las cargas, la fricción de las llantas, los esfuerzos producidos por la fuerza centrífuga, etc. Debe resistir a la intemperie y al agua reduciendo al mínimo las filtraciones dentro del pavimento. Su color debe evitar los reflejos del sol durante el día y las luces artificiales en la noche, (Dorfman, 1982), (Nuñez, 2002).

2.3.3.5. TIPOS DE PAVIMENTOS ASFALTICOS

El tipo de asfalto a emplearse depende de factores como: el objetivo del camino, clima, intensidad de tráfico, áridos disponibles en la zona, etc. Existen tres tipos de aplicaciones de acuerdo al campo en el cual vayan a ser empleadas y estas son:

- Riegos asfálticos
- Capas asfálticas de protección
- Capas asfálticas estructurales. (Gaston, 2002)

2.3.3.5.1. RIEGOS ASFÁLTICOS

Son riegos de asfalto sobre superficies, ya sea sobre pavimentos existentes, bases estabilizadas o suelo natural. De acuerdo a su función los riegos se dividen en:

2.3.3.5.1.1. RIEGOS MATAPOLVO

Es el líquido asfáltico que se aplica sobre suelo compactado, a fin de cohesionar las partículas del suelo y evitar el polvo, por lo general resulta bastante económico para caminos rurales o de poco tráfico, (Dorfman, 1982).

2.3.3.5.1.2. SELLO NEGRO O FOG SEAL

Se lo aplica sobre una carpeta asfáltica antigua con el objeto de rejuvenecerla debido a una disgregación por desgaste o deficiencia en dosificación del asfalto, tapando pequeñas grietas y poros superficiales. También se usa para sellar carpetas nuevas y en los tratamientos superficiales dobles recién ejecutados, se usa en caminos de gran tráfico y/o con gran pendiente, con lo que se impide el deslizamiento de los áridos, se caracteriza por el color negro intenso que queda en el camino, (Dorfman, 1982).

2.3.3.5.1.3. IMPRIMACIÓN

Es un riego de asfalto líquido de baja viscosidad sobre una base estabilizada y de características absorbentes que va a ser cubierta por una carpeta o por algún tratamiento asfáltico. Se suele usar para preparar la base no tratada que vaya a ser recubierta con una base asfáltica, la imprimación penetra en la base y llena los vacíos, endureciendo la superficie y ayudando a la adherencia de la capa superior. Corresponde a una aplicación muy ligera de asfalto líquido, para reforzar la adherencia entre una capa nueva y la capa o pavimento existente. La falta de adherencia entre capas se debe mayoritariamente al desplazamiento de capas producto de esfuerzos tangenciales de aceleración y frenado, (Dorfman, 1982).

2.3.3.5.1.4. RIEGO DE LIGA

Corresponde a una aplicación muy ligera de asfalto líquido, para reforzar la adherencia entre una capa nueva y la capa o pavimento existente. La falta de adherencia entre

capas se debe mayoritariamente al desplazamiento de capas producto de esfuerzos tangenciales de aceleración y frenado, (Dorfman, 1982).

2.3.3.5.2. CAPAS ASFÁLTICAS DE PROTECCIÓN

Corresponden a cualquier tratamiento asfáltico que, por sus condiciones de mezcla o espesor, no realiza ningún aporte de tipo estructural, protegiendo de la acción abrasiva del tránsito y otorgando impermeabilidad superficial. Los de mayor uso son los sellos y tratamientos superficiales, (Dorfman, 1982).

2.3.3.5.2.1. SELLOS

Estos se clasifican en:

2.3.3.5.2.1.1. SELLO DE AGREGADO DE PENETRACIÓN INVERTIDA:

Aplicación de asfalto recubierta con un agregado de tamaño de 5 a 10 mm, se puede considerar como un tratamiento superficial simple.

2.3.3.5.2.1.2. LECHADA ASFÁLTICA: Capa delgada de 6 a 10 mm de espesor, de una mezcla de arena, relleno mineral, agua y emulsión de quiebre lento.

2.3.3.5.2.1.3. TRATAMIENTOS SUPERFICIALES DOBLES O MÚLTIPLES

Son dos o más aplicaciones de asfalto alternadas con aplicaciones de áridos de hasta 2,5 cm. de espesor total, son económicos y proveen de una capa de rodadura temporal, como impermeabilizan la base, permiten que esta trabaje a su máxima capacidad en cuanto a soporte. Están limitados a tránsito liviano y medio, con un promedio de 200 ejes equivalentes diarios, (Dorfman, 1982).

2.3.3.5.3. CAPAS ASFÁLTICAS ESTRUCTURALES

Son carpetas asfálticas que de acuerdo a sus condiciones de mezcla y espesor, tienen condiciones de aportes estructurales, es decir su espesor es considerable y variable (5 a 25 cm) dependiendo del tráfico solicitante. Según su construcción se dividen en: mezcladas en sitio y mezcladas en planta, (Dorfman, 1982), (Bustamante, 1996).

2.3.3.5.3.1. MEZCLADAS EN SITIO:

Son carpetas asfálticas que se confeccionan mezclando el árido con asfalto líquido en el mismo camino o en una cancha preparada para efectuar el trabajo —in situ—. Se sugiere usarlas para tránsito no mayor que 260 ejes equivalentes diarios y con clima benigno. Se emplean como carpetas de rodado y resisten una mayor cantidad de tránsito que los tratamientos superficiales dobles, (Gaston, 2002).

2.3.3.5.3.1.2. MEZCLAS EN PLANTA O EN FRÍO.

Ocupan este nombre las carpetas asfálticas en la que el asfalto y los áridos se mezclan en una planta central, estas se utilizan en caminos de gran importancia como carreteras, con gran tráfico y para cualquier tipo de clima, son también las de mejor calidad pero las de mayor costo. Estas a su vez pueden ser mezclas asfálticas en planta en caliente o mezclas asfálticas en planta en frío. Y según huecos en la mezcla se dividen en:

2.3.3.5.3.1.3. MEZCLA ABIERTA: Porcentaje de huecos en la mezcla compacta mayor a 5%.

2.3.3.5.3.1.4. MEZCLA CERRADA: Porcentaje de huecos en la mezcla compacta menor al 5%, (Dorfman, 1982) (Gonzales, 2009).

2.4. CARACTERÍSTICAS LOCALES

2.4.1. UBICACIÓN GEOGRAFICA

El área en estudio está ubicada en la parte Nor oriental del Perú, en la región natural denominada selva Baja u Omagua; desde el punto de vista político, está situado en la Provincia de Maynas, Región Loreto, que a su vez es la región más extensa del Perú cubriendo una extensión de 368,852 km², lo que representa el 28.7% del territorio nacional. (MDSJB)

Iquitos, ciudad y puerto fluvial, está situada a 3°43'46'' latitud sur y 73°14'18'' longitud oeste, es la ciudad más poblada de todo el oriente peruano, ya que cuenta con una población aproximada de 320,000 habitantes.

Figura N°03: mapa de estudio del área evaluada de la carretera de santa clara.



Fuente: Google Maps

El Distrito de San Juan Bautista, se encuentra ubicada geográficamente en la región Loreto a una altura promedio de 110 msnm, con temperatura promedio de 30°C que oscilan entre los 25°C y 32°C de tal manera que los procesos constructivos varían en Función a dichas temperaturas y épocas, por ello se requiere de un nivel técnico Apropiado para su ejecución. (MDSJB)

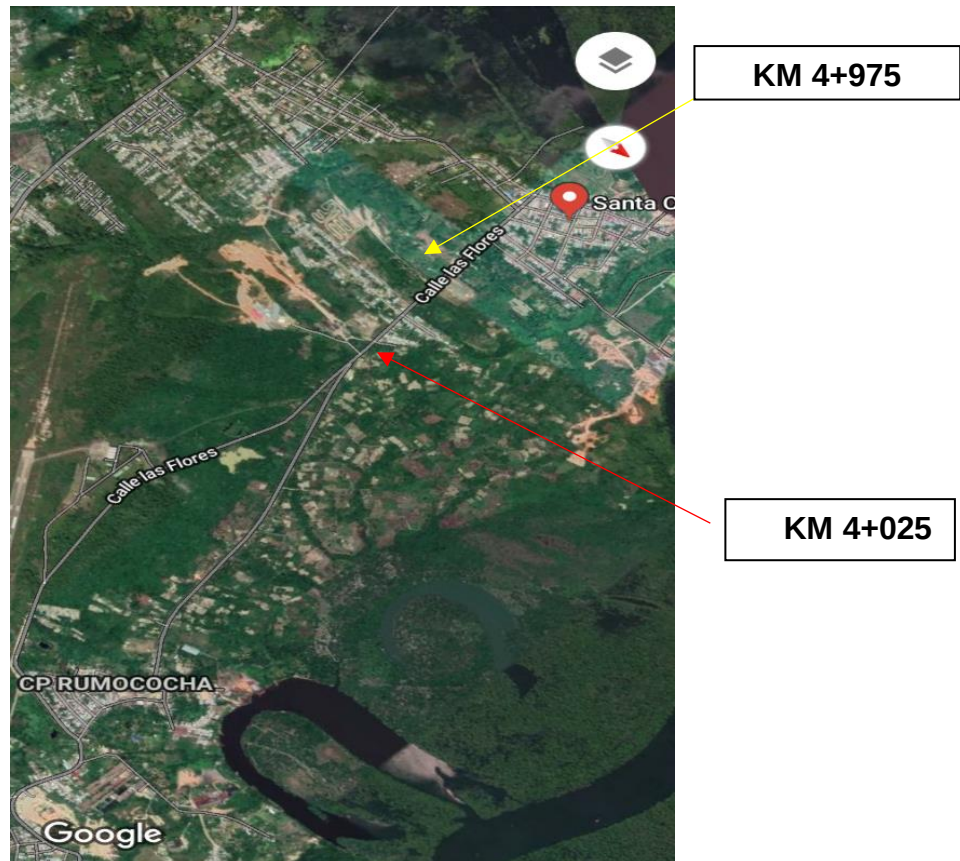
Tabla N °01: El proyecto se encuentra ubicado en:

Descripción	
Distrito	San Juan Bautista
Provincia	Maynas
Departamento	Loreto
Zona	Urbana - Rural
Micro Localización	Carretera Santa Clara

Fuente: elaboración propia.

DESCRIPCION DEL PROYECTO A ENSAYAR

En el estudio se define la evaluación estructural de pavimento en el tramo **4+025- 4+975**, la carretera consta de dos carriles, izquierda y derecha, para la realización del ensayo se tomó el carril derecho.



Fuente: Google Maps

CAPITULO III

MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES USANDO LA VIGA BENKELMAN

Para determinar simultáneamente con una viga Benkelman la deflexión recuperable y el radio de curvatura de un pavimento flexible, producidos por una carga estática. Se utiliza un camión en donde la carga, tamaño de llantas, espaciamiento entre ruedas duales, y la presión de inflado se encuentran normalizadas. (Pretel, 2009) Para realizar el ensayo de la deflexión recuperable y el radio de curvatura se necesitan los siguientes equipos: Una viga Benkelman con su correspondiente dial registrador (al 0.01mm. y recorrido 12 mm.). (Comunicaciones, 2003) (Dorfman, 1982)

Figura N°4: Dial Registrador



FUENTE: tesis “evaluación deflectométrica de pavimentos flexibles haciendo uso de la viga Benkelman, en la av. américa sur entre el ovalo papal y el ovalo larco”.

3.2. CARACTERÍSTICAS DE LA VIGA BENKELMAN.

VIGA BENKELMAN

Figura N°05: Viga Benkelman en campo durante el ensayo



FUENTE: Elaboración Propia.

La viga Benkelman es un equipo que fue desarrollado durante el ensayo de la "Western Association of State Highway Organizations" (WASHO) en 1952. Se trata de un dispositivo bastante simple, que funciona aplicando la conocida "regla de la palanca" (Nazzal, 2003). Este método se puede considerar simple y económico y su principio de aplicación es ampliamente conocido y consiste en medir el desplazamiento vertical del pavimento ante la aplicación de una carga estática o de lenta aplicación. (Carrera) (Dorfman, 1982)

Este equipo se usa junto con un camión cargado; el ensayo se realiza colocando el extremo de la viga entre las dos ruedas gemelas del camión, midiendo la recuperación

vertical de la superficie del pavimento cuando el camión avanza y se retira (Bardasano, 2004).

El deflectómetro Benkelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple. Según se esquematiza en la figura 1, la viga consta esencialmente de dos partes:

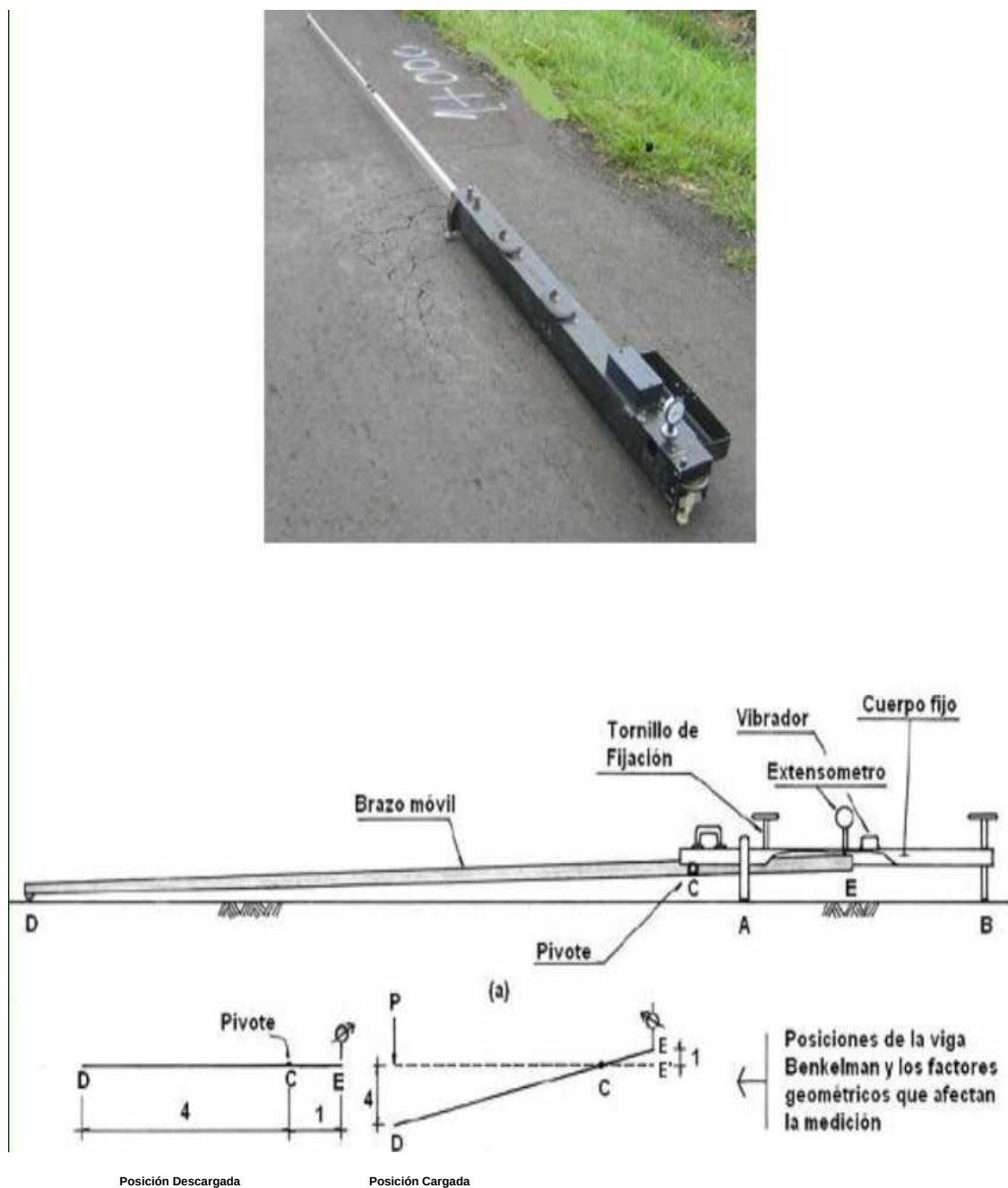
(1) Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos (dos delanteros fijos "A" y uno trasero regulable "B"), (Yarango, 2014)

(2) Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote "C", uno de cuyos extremos apoya sobre el terreno (punto "D") y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un micrómetro de movimiento vertical (punto "E").

Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que al ser accionado, durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas, (Yarango, 2014).

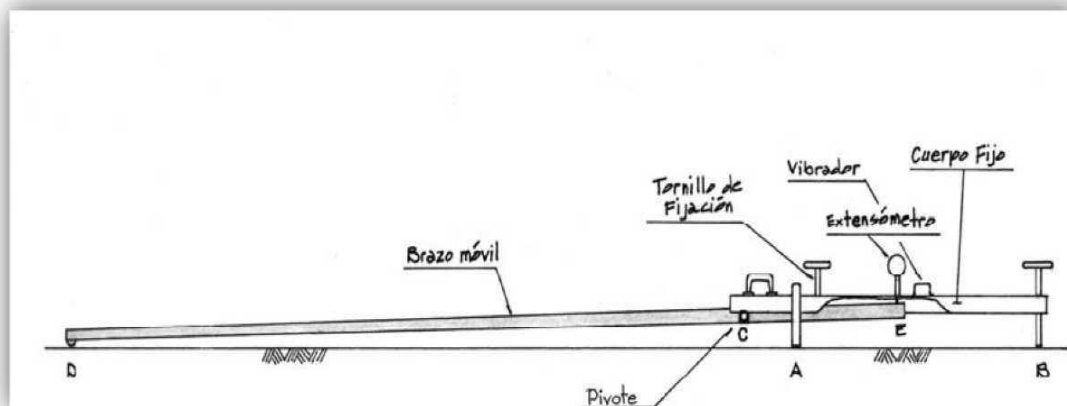
El extremo "D" o "punta de la viga" es de espesor tal que puede ser colocado entre una de las llantas dobles del eje trasero de un camión cargado. Por el peso aplicado se produce una deformación del pavimento, consecuencia de lo cual la punta baja una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado de la superficie. Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo "C", con respecto al cuerpo AB, determinando que el extremo "E" produzca un movimiento vertical en el vástago del micrómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran luego las llantas cargadas, el punto "D" se recupera en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial del micrómetro. La operación expuesta representa el "principio de medición" con la Viga Benkelman. Lo que se hace después son sólo cálculos en base a los datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuánto reflectó el pavimento en el lugar subyacente al punto "D" de la viga, durante el procedimiento descrito. Es de anotar que en realidad lo que se mide es la recuperación del punto "D" al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar ésta. Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la viga, toda vez que los valores dados por el micrómetro (EE') no están en escala real si no que dependen de la relación de brazos existentes (ver figura N° 06) (Bustamante, 1996)

Figura. N° 06. Esquema y Principio de operación de la Viga Benkelman



Fuente: análisis comparativo de la evaluación de pavimentos por medio de la viga

Figura N° 07. Esquema de viga Benkelman



Fuente: (Pablo, Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones (Ensayos no destructivos), 1985).

Benkelman y el deflectómetro de impacto (falling weight deflectometer, fwd)-200

3.3. OBJETIVO

Detalla el procedimiento para determinar simultáneamente con una viga Benkelman la Deflexión Recuperable y el Radio de Curvatura de un pavimento flexible, producidos por una carga estática. A tal fin se utiliza un camión donde la carga, tamaño de llantas, espaciamiento entre ruedas duales y presión de inflado están normalizadas, (Dante) (Comunicaciones, 2003)

3.4. EQUIPO

Una viga Benkelman de doble brazo con sus correspondientes diales registradores (al 0.01 mm y recorrido 12 mm), (Argentina) (Rozo). Y las siguientes dimensiones fundamentales:

- Longitud del primer brazo de ensayo, desde el pivote a la punta de prueba = 2,440 m.
- Longitud de primer brazo de ensayo, desde el pivote al punto de apoyo del vástago de su dial registrador = 0,610 m.
- Longitud del segundo brazo de ensayo, desde el pivote a la punta de prueba = 2,190 m.

- Longitud del segundo brazo de ensayo, desde el pivote al punto de apoyo del vástago de su dial registrador= 0,5475 m. (Rozo)

OBSERVACIÓN: se permite el empleo de vigas con dimensiones diferentes siempre y cuando no sean tan reducidas que el radio de acción de la carga no afecte permanentemente la posición de sus patas

A necesitar:

- Un camión con las siguientes características.

El eje trasero pesará en la balanza 8.175 kilogramos, igualmente distribuidos en sus ruedas duales y estará equipado con llantas de caucho y cámaras neumáticas. Las llantas deberán ser 10" x 20"; 12 lonas e infladas a 5,6 kg/cm² (80 libras por pulgada cuadrada). La distancia entre los puntos medios de la banda de rodamiento de ambas llantas de cada rueda dual deber ser de 32 cm. (Materiales M. d., 2002) (Rozo)

- Un medidor de presión de inflado
- Un termómetro de 0 a 100 °C con divisiones cada grado
- Un barreno para ejecutar orificios en el pavimento de 4cm de profundidad y 10mm de diámetro
- Un cronometro.
- Una wincha de acero de 2m y otro de 25 m.
- Un vibrado, (Bustamante, 1996).

Figura N° 08: Camión de ensayo



Fuente: Elaboración Propia.

3.5. PROCEDIMIENTO

3.5.1. El punto del pavimento a ser ensayado deberá ser marcado convenientemente con una línea transversal al camino. Sobre dicha línea será localizado el punto de ensayo a una distancia prefijada del borde, (Materiales M. d., 2002) Se recomienda utilizar las distancias indicadas en la Tabla 2.

Tabla N°02: Descripción del ancho y distancia del carril a ensayar.

Ancho del carril	Distancia del punto de ensayo desde el borde del pavimento
2,70 m	0,45
3,00 m	0,60
3.30 m	0,75
3,60 m o más	0,90

Fuente: (Manual de Ensayo de Materiales)

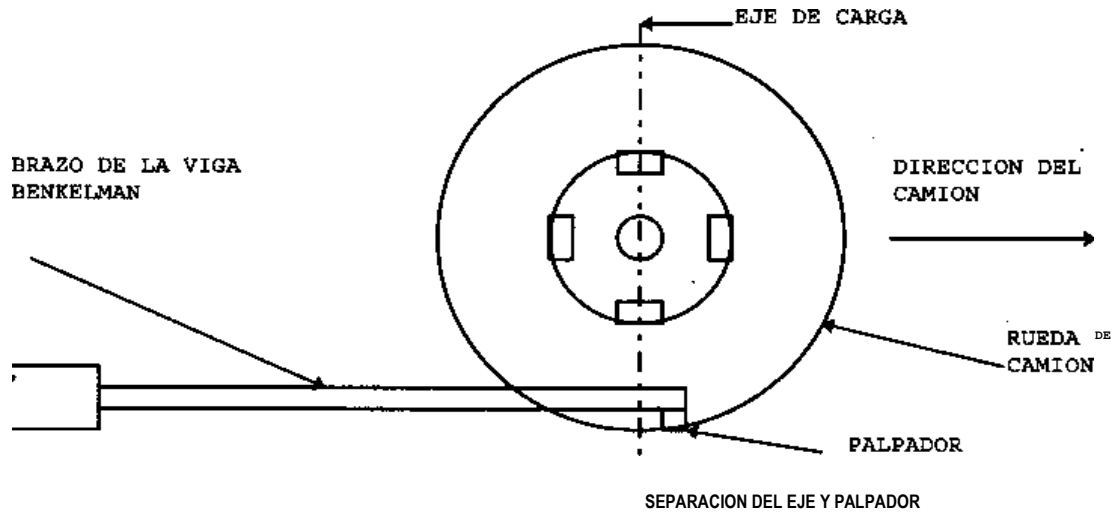
3.5.2. La rueda dual externa del camión deberá ser colocada sobre el punto seleccionado; para la correcta ubicación de la misma, deberá colocarse en la parte trasera extrema del camión una guía vertical en correspondencia con el eje de carga. Desplazando suavemente el camión, se hace coincidir la guía vertical con la línea transversal indicada en 3,1 de modo que simultáneamente el punto quede entre ambas llantas de la rueda dual. (Hilliquin, 2016).

Figura N° 09: Colocación de la viga



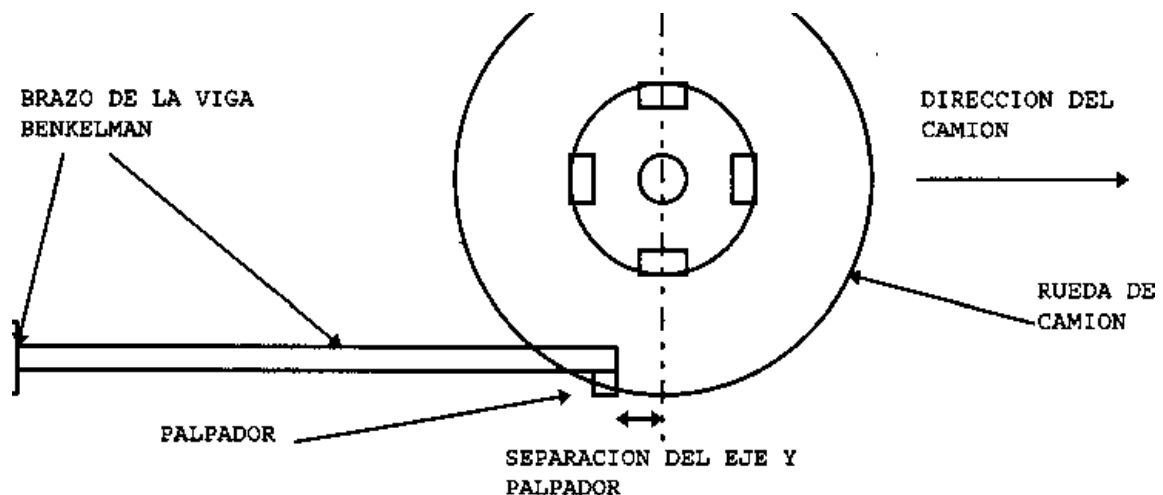
Fuente: Elaboración Propia.

3.5.3. Se coloca la viga sobre el pavimento, detrás del camión, perpendicularmente al eje de carga, de modo que la punta de prueba del primer brazo coincida con el punto de ensayo y la viga no roce contra las llantas de la rueda dual.



Fuente: (Pablo, Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones (Ensayos no destructivos), 1985).

3.5.4. Se liberan los seguros de los brazos y se ajusta la base de la viga por medio del tornillo trasero, de manera que los dos brazos de medición queden en contacto con los diales.



Fuente: (Pablo, Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones (Ensayos no destructivos), 1985).

3.5.5. Se ajustan a los diales de modo que sus vástagos tengan un recorrido libre comprendido entre 4 y 6 mm. Se giran las esferas de los diales hasta que las agujas queden en cero y se verifica la lectura.

Golpeándolos suavemente con un lápiz. Girar la esfera si es necesario y repetir la operación hasta obtener la posición 0 (cero). (Hilliquin, 2016)

Figura N° 10: Nivelación y ajustes



Fuente: Elaboración Propia.

3.5.6. Se hace avanzar suave y lentamente el camión; se pone en marcha el cronómetro y vibrador y se leen los diales cada 60 segundos. Cuando dos lecturas sucesivas de cada uno de ellos no difieran en más de 0,01mm, se da por finalizada la recuperación, registrándose las últimas lecturas observadas (Lo y L25). (Pretel, 2009)

Figura N° 11: Lectura de los diales



Fuente: Elaboración Propia.

3.5.7. Con el fin de medir la temperatura del pavimento se practica un orificio (antes de comenzar el ensayo y simultáneamente con el trazado de la línea), cuyas dimensiones serán: 4 cm de profundidad y 10 mm de diámetro, aproximadamente, emplazado sobre la línea paralela al eje del camino, que pasa por el punto de determinación de la deflexión y a 50 cm del mismo, en el sentido de avance del camión. Se llena con aceite no memes de 10 minutos antes de iniciar el ensayo, se inserta el termómetro y se lee la temperatura, retirando el mismo antes del desplazamiento del camión.

El rango de temperatura de trabajo deberá quedar dentro de los siguientes límites:

Límite Inferior: 5 ° C

Limite Superior: 35° C,

(Comunicaciones,

Referencias

Normativas)

Figura N° 12: Midiendo la temperatura



Fuente: Elaboración Propia.

Las temperaturas del pavimento debe determinarse sólo en carpetas asfálticas de 5 cm. o más de espesor, cuyo módulo de elasticidad es afectado significativamente por los cambios de temperatura. (Materiales M. d., 2002)

3.5.8. No obstante el límite superior indicado en el párrafo 3.5.7, el ensayo no se deberá efectuar a temperaturas inferiores si ellas producen deformación plástica entre ambas llantas de la rueda dual, (Dante). Para detectar si dicha deformación se produce, se deberá proceder de la siguiente forma:

Una vez registradas las lecturas L_0 y L_{25} , se hace retroceder suave y lentamente el camión hasta que la rueda dual externa quede colocada sobre el punto de ensayo, observando la marcha en la aguja del dial, (Dante). Si alcanzada cierta posición la aguja se detiene y luego se observa un desplazamiento en sentido contrario, como si se produjera la recuperación del pavimento, ello indica que existe deformación plástica medible entre ambas llantas de la rueda dual. Esa aparente recuperación puede ser. Debida, también, al hecho de que el radio de acción de la carga del camión afecte las patas de la viga (ver numeral 3.5.9), (Pretel, 2009).

3.5.9. Tampoco deberá efectuarse el ensayo si, aun cuando no se detectara deformación plástica mediante el procedimiento recién indicado, se constatará que el radio de acción de la carga del camión afecta las patas de la regla, para lo cual se procederá de la siguiente forma:

Una vez registradas las lecturas de los diales, se hace retroceder lentamente el camión observando el dial del primer brazo, (Dante). Cuando se observe que el dial comienza a desplazarse acusando la deformación producida por la carga, se marca sobre el pavimento la posición de la guía vertical mencionada en el párrafo 3.5.2 y se detiene el retroceso del camión.

Se mide la distancia entre la punta de prueba del primer brazo y la marca practicada sobre el pavimento, de acuerdo con lo indicado antes. Sea d esa distancia, si d es mayor de 2,40 m, la acción de la carga del camión afecta las patas de la viga, (Materiales M. d., 2002).

MANUAL DE ENSAYO DE MATERIALES (EM 2000)

3.6. CÁLCULO DE LA DEFLEXIÓN

La generalización de las medidas de deflexión ha hecho un aporte de gran interés en el campo de la mecánica de pavimentos, al demostrar la desuniformidad de su capacidad estructural, aún en los pavimentos considerados como bien proyectados y correctamente contruidos, lo que obliga a su estudio por métodos estadísticos.

La desuniformidad en el sentido longitudinal se revela en la dispersión de los valores individuales con respecto a la media aritmética del conjunto (D_m). Además de que las deflexiones tienen una variación a lo largo de los ciclos climáticos estacionales, especialmente cuando la diferencia de los mismos es marcada. Para una determinada época y tipo de rueda, la frecuencia de cada valor de las deflexiones en función de su magnitud sigue aproximadamente la ley normal de distribución, por lo que se acostumbra a medir la dispersión de los valores por el desvío medio cuadrático estándar (d) que corresponda a cada caso. La variabilidad mencionada obliga a diferenciar dentro del tramo estudiado sub-tramos menores que por lo general son de 500m a 2Km según la longitud de la vía o tramo de la vía y de la importancia del estudio. Con el fin de tener representatividad con los datos obtenidos en cada sub-tramo se debe tomar un mínimo de 12 ensayos con la Viga Benkelman al azar o preferiblemente acorde con el abscisado de la vía, (Materiales M. d., 2002).

3.7. CÁLCULOS

- ✓ La deflexión bajo el eje de la carga (D_0), se calcula mediante la expresión:

$$D_0 = 4 \times L_0 \text{ (Expresada en 0,01 mm)}$$

Dónde: L_0 es la lectura registrada en el dial del primer brazo de ensayo.

- ✓ La deflexión a 25 cm del eje de la carga (D_{25}), se calcula con la expresión:

$$D_{25} = 4 \times L_{25} \text{ (expresada en 0.01 mm).}$$

SE OBSERVA: El valor 4 usado por el cálculo de D_0 y D_{25} obedece a que la relación de longitudes de brazo indicadas en 2.1 es 4. En caso de que la viga utilizada tenga una relación diferente, se aplicará el factor que corresponda.

3.7.1. El radio de curvatura en el punto de ensayo se calcula con la expresión

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

3.8. INFORME

Para cada ensayo, el informe deberá incluir la abscisa de la prueba, el estado superficial y la temperatura del pavimento, las deflexiones (D_0 - D_{25}) y el radio de curvatura (R_c).

La aplicación de correcciones por efecto de la temperatura y el procesamiento estadístico de los datos, se efectuarán conforme lo establezca la normativa respectiva, (Comunicaciones, 2003)

3.9. REFERENCIAS NORMATIVAS

Tabla N° 03: referencias normativas

ASTM	D4695
------	-------

Fuente: (Comunicaciones, Referencias Normativas)

3.10. TOPOGRAFIA.

Reconocimiento del terreno

En las diversas visitas efectuadas al área de trabajo, se pudo observar que se trata de una zona de topografía plana, con algunos desniveles; del Estudio de Suelos se debe de señalar que gran parte del terreno es arcilloso, contando en algunos tramos con material arenoso y en algunos tramos con material de relleno de mala calidad.

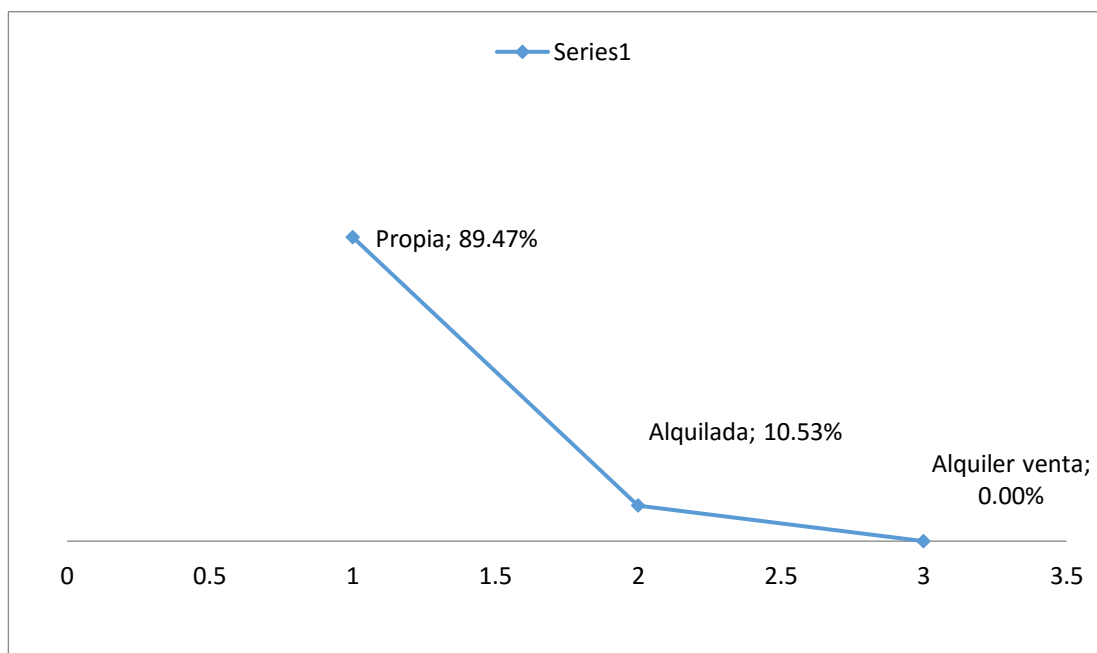
3.11. SERVICIOS EXISTENTES.

El trazo de la carretera a Santa Clara cruza por zonas urbanas del Distrito de San Juan Bautista, como son el área urbana adyacente a la Av. Quiñones con ingreso a la calle Las Camelias (en el Km 4.5 de Av. Quiñones), ingreso a calle Los Claveles (prog. 0+347 km calle Las Camelias), calle Jerusalén; las localidades de Simón Bolívar, Rumococha y Santa Clara; donde en todas estas localidades se cuenta con los servicios de Agua Potable, Alcantarillado, Luz Eléctrica y Telefonía.

3.12. VIVIENDA:

Del total de personas entrevistadas en el área de influencia del proyecto, el 10.53% manifestó contar con vivienda alquilada, mientras que el 89.47% indico lo contrario, la vivienda donde habitan es de su propiedad.

Grafico N°01: estadística del porcentaje de vivienda entrevistada



Fuente: (Vivienda, 2018)

3.13. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

En cada punto a la deflexión obtenida se le realiza una corrección por el movimiento de las patas delanteras, influenciadas por la carga colocada en el punto del ensayo. Para lo que se utiliza la siguiente fórmula:

$$d_v = d + 1.82 * Y$$

Donde:

d_v = deflexion verdadera del pavimento

d = deflexión aparente del pavimento, que es la diferencia entre la Lectura inicial y la lectura final.

Y = es el movimiento vertical de las patas delanteras de la viga, es decir, es la diferencia entre la lectura a 2.70m y la lectura final.

Para cada tramo o sub-tramo se debe calcular la deflexión característica de la siguiente manera:

- a) Se calcula la deflexión promedio mediante la expresión:

$$D = \frac{\sum d}{n}$$

Dónde: d = deflexión en cada punto ensayado.

n = número de ensayos realizados en el tramo.

- b) Se calcula la desviación estándar,

$$\sigma = \left(\frac{\sum \sigma - d^2}{n - 1} \right)^{\frac{1}{2}}$$

- c) Se calcula el coeficiente de variación, con la siguiente formula:

$$V = \frac{\sigma}{D} * 100$$

- d) Se determina la deflexión característica o deflexión representativa del tramo, para lo que se aplica la fórmula

$$D_c = \bar{D} + Y\sigma$$

Dónde: Y = Valor que varía entre 1 a 2 según la representabilidad que se le quiera dar a la deflexión característica así para 1 se obtiene una representatividad del 35% y para 2 una representabilidad del 97%.

e) La deflexión característica debe referirse a una temperatura normal de 20°C. No se requiere corrección por temperatura en estructuras de pavimentos compuestas por tratamiento superficial o mezclas asfálticas delgadas, colocadas sobre bases cuyo módulo de rigidez sea insensible a cambios de temperatura, Si la carpeta asfáltica es gruesa ($\geq 5\text{cm}$), el efecto de la temperatura sobre la deflexión posee mayor importancia, por lo que se ha recomendado aplicar algún factor de corrección, (Yarango, 2014); (Carranza). El cual se determina de la siguiente manera:

$$D_{C20^{\circ}\text{C}} = \frac{D_C * T}{1 + 8 * 10^{-4} * h * (T - 20)}$$

Dónde: Dc (T) = Deflexión característica para la temperatura del pavimento en el momento del ensayo (T).

h = Espesor promedio de las capas asfálticas en cm.

Esta expresión es válida únicamente para temperaturas menores o iguales a 40°C.

f) Los valores de la deflexión característica también son afectados por las condiciones ambientales que tienen los siguientes valores:

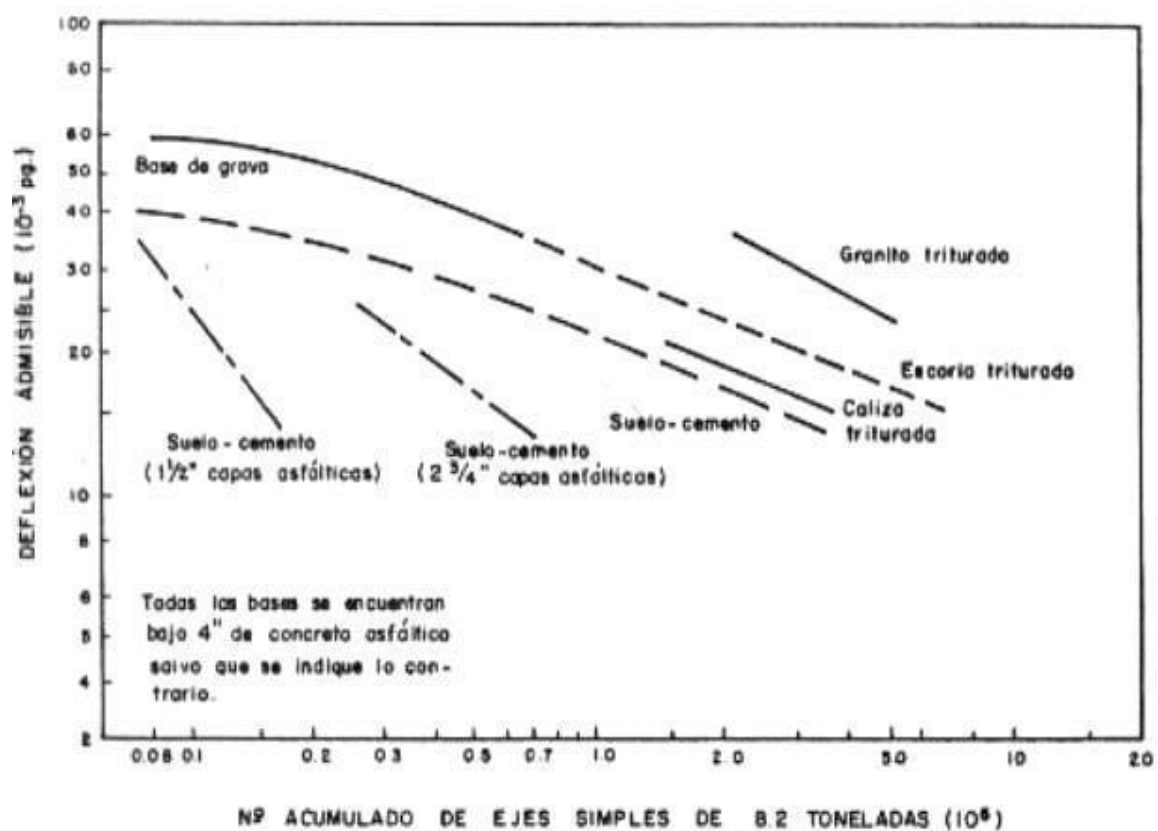
Tabla N°04: Valores de la deflexión

Naturaleza del suelo de subrasante	Coeficiente de Corrección		
	Período	Período	Período
	Lluvias	Intermedio	Seco
Suelos arenosos y permeables	1.00	1.00 - 1.10	1.10 - 1.30
Suelos arcillosos e impermeables	1.00	1.30 - 1.50	1.50 - 1.80

Fuente: (MONTEJO, 2001)

La deflexión característica de cada sector se compara con la admisible; que es la máxima que resiste el pavimento antes de llegar a un estado crítico, (Dorfman B. , 1982) La determinación De la deflexión admisible se da como resultado de una evaluación continúa de una estructura típica de pavimento desde su construcción hasta la falla; permitiendo establecer una curva que indica la magnitud de la deflexión que soporta la estructura en determinado instante, valor conocido como deflexión admisible. Las investigaciones han conducido a curvas como la presentada a continuación.

Grafica N°02: Resumen de la deflexión y vida crítica (Lister)



Fuente: (Fonseca, 2001)

3.14. RADIO DE CURVATURA

El grado de curvatura es una característica de gran importancia que determina la magnitud de la deformación lineal por tracción que sufren las capas asfálticas al flexionar bajo cargas, y como consecuencia trae el fisuramiento de piel de cocodrilo. (MONTEJO, 2001). Las primeras tentativas de expresar numéricamente la curvatura de la línea de deflexión se basaron en relacionar la flecha máxima (deflexión) con el radio o diámetro

del área superficial deformada, lo que tuvo su dificultad para fijar el punto donde la línea de deflexión es tangencial a la horizontal. Posteriormente han sido propuestos otros índices como la cuerda a 0.60m, pendiente de la deflexión de Kuang – Yuan Kung para llegar a la determinación más rigurosa, que es medir la línea de deflexión y el círculo que mejor se adapta a la misma en la zona de mayor curvatura bajo el eje de carga, cuyo radio se denomina **radio de curvatura**, (Dorfman, 1982)

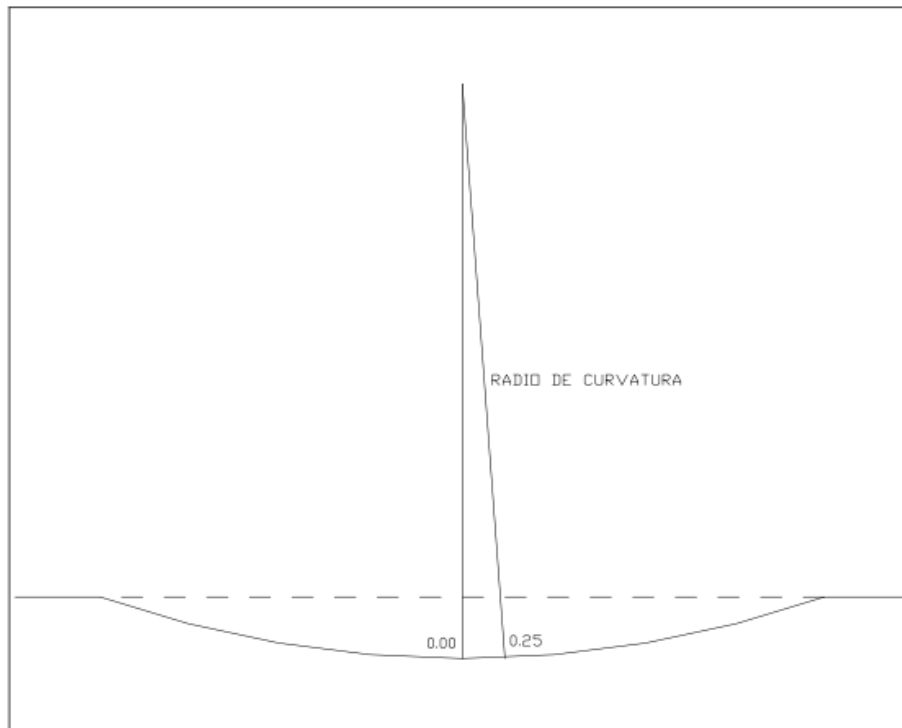


Figura N° 13: Radio de Curvatura

Entre los distintos procedimientos el más simple y suficientemente exacto para fines prácticos es el basado en que la línea de deflexiones Benkelman en función de la distancia hasta el eje de carga, se aproxima a una parábola hasta una distancia de aproximadamente 25 cm., luego sufre una inflexión, tendiendo asintótica mente hacia la horizontal, (Gomez) Considerando el punto de la línea de deflexión a la distancia en abscisa de 25cm y ordenada igual a la diferencia de las deflexiones a distancias 0 y 25cm, el radio de curvatura está dado por la fórmula:

$$r = \frac{10 * 25^2}{2 * (D_0 - D_{25})} = \frac{6250}{2 * (D_0 - D_{25})}$$

Donde:

r = radio de curvatura en metros

D_0 = deflexión máxima observada en 1/100mm

D_{25} = deflexión a 25 cm. del punto de deflexión máxima en 1/100mm, (Segil)

El procedimiento solo exige la determinación de la deflexión recuperable Benkelman a 25 cm. que se la puede obtener mediante una medida sucesiva con una sola viga, o preferiblemente con otra viga cuyo contacto se ubica a 25 cm. Del primero.

Debido a que el concepto del radio de curvatura es relativo por lo que depende del método adoptado para su determinación. El indicado no está libre de objeciones, pero es el que permite la medida más simple con la Viga Benkelman. La exactitud es suficiente en la práctica debido a que lo que interesa es el orden del radio de curvatura, que sufre notables variaciones desde valores de 40m hasta algo superiores a 400m en las distintas estructuras viales.

Se estima que el radio de curvatura de un valor de 100m o menos es los que dan origen al desarrollo del fisuramiento en forma de piel de cocodrilo aún con deflexiones tolerables. Los radios de curvatura reducidos ponen en peligro la vida de cualquier revestimiento asfáltico de reducido espesor cuyo aporte estructural no compense la debilidad de la infraestructura. Valores reducidos de radios de curvatura revelan la presencia de una capa débil subyacente a la asfáltica, que determina que la deformación de esta última por acción de las cargas no encuentre apoyo suficiente para que ella pueda resistir los esfuerzos de tracción al flexionar bajo cargas repetidas, (Dorfman, 1982).

3.15. DETERMINACIÓN DEL RADIO DE CURVATURA

El primer paso para determinar el radio de curvatura es conocer la curva de deflexión en sentido longitudinal, bajo la acción de la carga estándar de la rueda dual, aceptando la teoría basada en el trazado de la curva real de deflexión utilizando la Viga Benkelman y efectuando lecturas sucesivas del deformímetro de la viga a medida que la rueda del camión va pasando sobre puntos convenientemente distanciados, como por ejemplo cada 25cm. Obteniendo así la curva de la deformada, se debe determinar el radio de curvatura de la misma. Para lo cual se debe tomar en cuenta las siguientes orientaciones:

1. Encontrar una curva conocida aproximada, que siga la forma de la deformada y calcular basándose en la ecuación que la caracteriza el valor del radio de curvatura.

Las fórmulas más conocidas y adoptadas en gran número de países son:

a) La de los Franceses que asimila la curva a una parábola y obtiene el radio de curvatura con la siguiente formula:

$$R = \frac{6250}{2 * (Y_0 - Y_{25})}$$

Donde:

R = radio de curvatura en metros

Y0 = deflexión máxima observada 1/100mm

Y25 = deflexión a 25cm del punto de deflexión máxima 1/100mm

b) La de los sudafricanos que dibujan la deformada en una cierta escala vertical y otra horizontal quedando así representada lo que podría ser una circunferencia, con la forma de una elipse. Determinan luego el radio de la circunferencia que mejor se ajusta a la forma dibujada en su parte central, aplicando la fórmula:

$$R = \frac{v}{h^2} * r$$

Donde:

R = radio de curvatura

r = radio de la circunferencia que mejor se ajusta en el dibujo

v = escala vertical (relación adimensional)

h = escala horizontal (relación adimensional)

2. Encontrar la curva exacta que siga la forma de la deformada, determinar los valores característicos de la función y conocida ella calcularse el radio de curvatura en el punto de deflexión máxima.

Varias son las ecuaciones que pueden plantearse. Los franceses han propuesto una curva de la forma:

$$DX = \frac{D0}{1 + aX^2}$$

Donde:

$D(0)$ = deflexión máxima observada

a = parámetro homogéneo (dimensión de longitud al cuadrado)

Esta curva se ajusta a los valores reales de la deformada observada en un ámbito de 40 a 50cm alrededor de la deflexión máxima.

PROYECTO	: EVALUACION DEFLECTOMÉTRICA DEL PAVIMENTO EXISTENTE EN LA CARRETERA SANTA CLARA ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE RUMOCOCHA Y SANTA CLARA
SOLICITANTES	: ING. CIVIL JOAN EDU PEÑA RUIZ ING. CIVIL ANNI GREICY SAJAMI PANAIPO.
FECHA	: SAN JUAN, 15 DE JUNIO DE 2019

Carretera Santa Clara
Sector: Km 4+025 - Km 4+975
m

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN

TRAMO

CARRIL

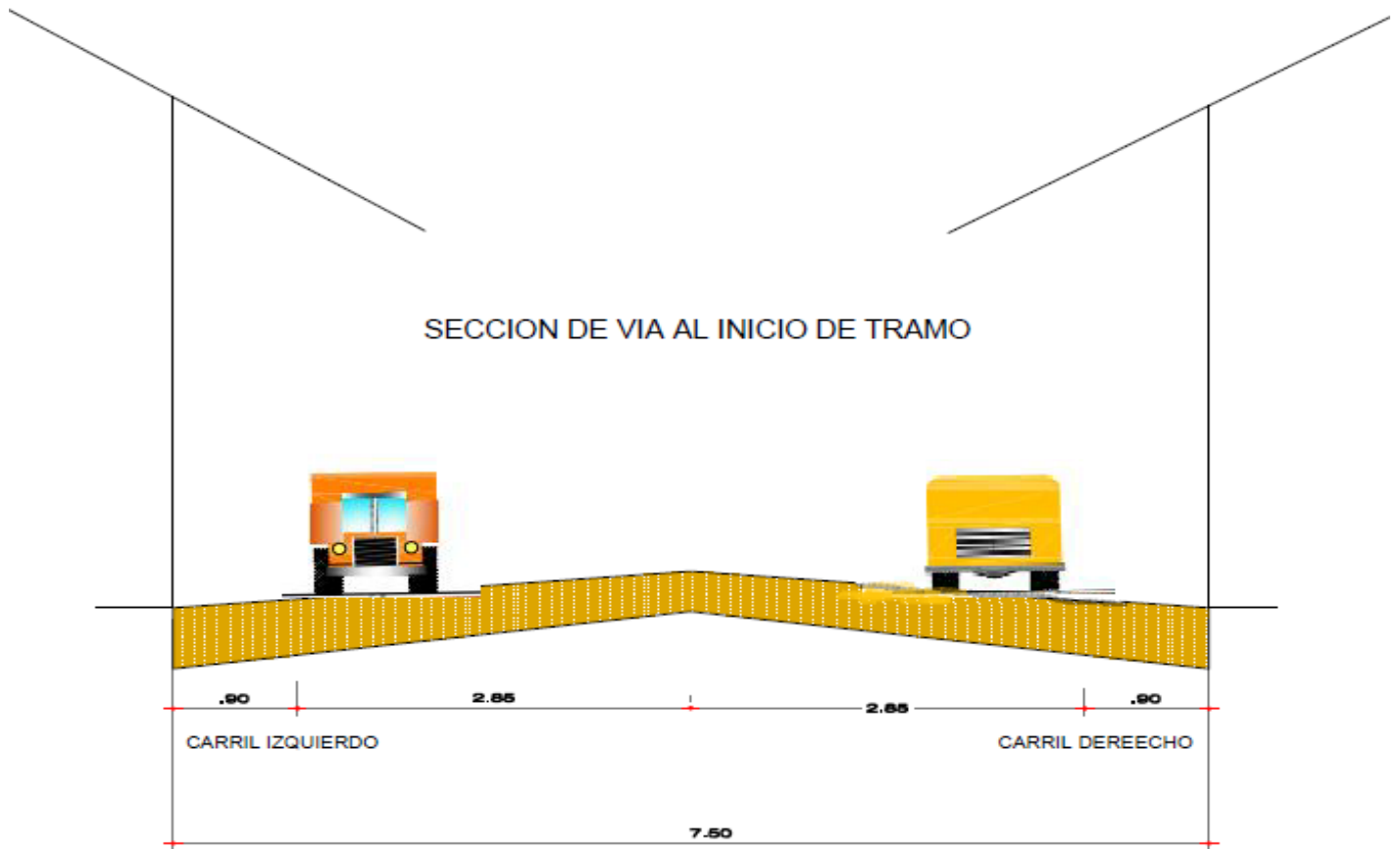
RB

OPERADOR

FECHA

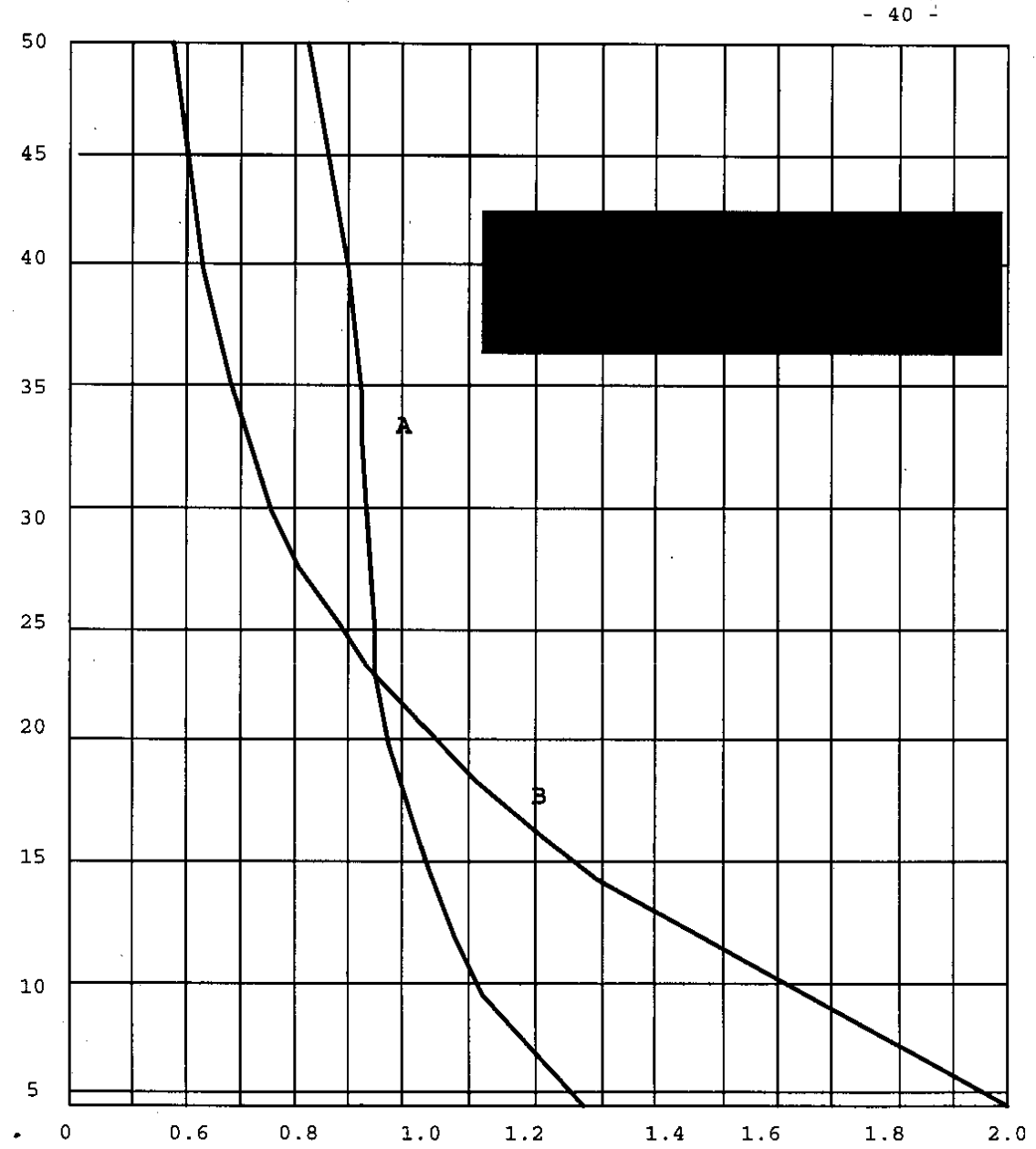
[illegible]

SECCIÓN DE VIA AL INICIO DE TRAMO



Fuente: Elaboración propia

Grafico N°03: Factores de corrección por temperatura en las deflexiones en la viga Benkelman.



Fuente: (Libro de deflexiones, Medicion Benkelman)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Y ENSAYO DE MATERIALES

PROYECTO	: EVALUACION DEFLECTOMÉTRICA DEL PAVIMENTO EXISTENTE EN LA CARRETERA SANTA CLARA ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE RUMOCOCHA Y SANTA CLARA
SOLICITANTES	: ING. CIVIL JOAN EDU PEÑA RUIZ ING. CIVIL ANNI GREICY SAJAMI PANAIPO. SAN JUAN, 15
FECHA	: DE JUNIO DE 2019

Carretera Santa Clara

Sector: Km 4+025 - Km 4+975

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN

TRAMO	: KM 4+025 - KM 4+975 (Carpeta Asfáltica)	OPERADOR	:
CARRIL	: DERECHO	FECHA	: 15/06/2019
RB	: 4:1		

Estaca (km)	Lecturas de Campo (10 ⁻² mm)		Espesor (cm)	Ahuellamiento (mm)			Temp (°C)	RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS		
	L ₂₅	L _{max}		Ahue ext.	Ahue int.	Prom		Deflexiones Corregidas		Radio Curvatura (m)
								D ₂₅ x 10 ⁻² mm	D _{MAX} x 10 ⁻² mm	
04+025	1	1	7.5				31.0	0.0	3.7	845
04+050	2	2	7.5				31.0	0.0	7.4	422
04+075	2	3	7.5				31.0	3.7	11.1	422
04+100	2	2	7.5				31.0	0.0	7.4	422
04+125	2	2	7.5				31.0	0.0	7.4	422
04+150	2	3	7.5				31.0	3.7	11.1	422
04+175	2	3	7.5				35.1	3.6	10.8	434
04+200	1	2	7.5				35.0	3.6	7.2	868
04+225	2	2	7.5				34.0	0.0	7.2	434
04+250	2	2	7.5				34.7	0.0	7.2	434
04+275	2	2	7.5				34.0	0.0	7.2	434
04+300	2	2	7.5				34.6	0.0	7.2	434
04+325	2	3	7.5				34.6	3.6	10.8	434

04+350	3	3	7.5				34.5	0.0	10.8	289
04+375	1	2	7.5				35.0	3.6	7.2	868
04+400	3	4	7.5				33.6	3.6	14.5	287
04+425	2	3	7.5				32.0	3.7	11.0	428
04+450	2	2	7.5				35.0	0.0	7.2	434
04+475	2	2	7.5				34.4	0.0	7.2	434
04+500	2	2	7.5				36.0	0.0	7.1	440
04+525	2	2	7.5				36.7	0.0	7.1	440
04+550	2	2	7.5				36.6	0.0	7.1	440
04+575	3	3	7.5				36.2	0.0	10.7	292
04+600	2	3	7.5				36.4	3.6	10.7	440
04+625	2	2	7.5				36.4	0.0	7.1	440
04+650	3	3	7.5				37.1	0.0	10.6	295
04+675	3	3	7.5				37.5	0.0	10.6	295
04+700	3	3	7.5				37.9	0.0	10.6	295
04+725	4	4	7.5				38.0	0.0	14.1	222
04+750	3	4	7.5				38.0	3.5	14.1	295
04+775	3	3	7.5				38.2	0.0	10.6	295
04+800	2	3	7.5				38.1	3.5	10.6	440
04+825	1	2	7.5				38.3	3.5	7.0	893
04+850	2	2	7.5				38.4	0.0	7.0	446
04+875	2	2	7.5				38.6	0.0	7.0	446
04+900	1	2	7.5				38.7	3.5	7.0	893
04+925	2	2	7.5				39.0	0.0	7.0	446
04+950	3	3	7.5				42.5	0.0	10.3	303
04+975	2	3	7.5				41.0	3.5	10.4	453

Fuente: (Materiales.)

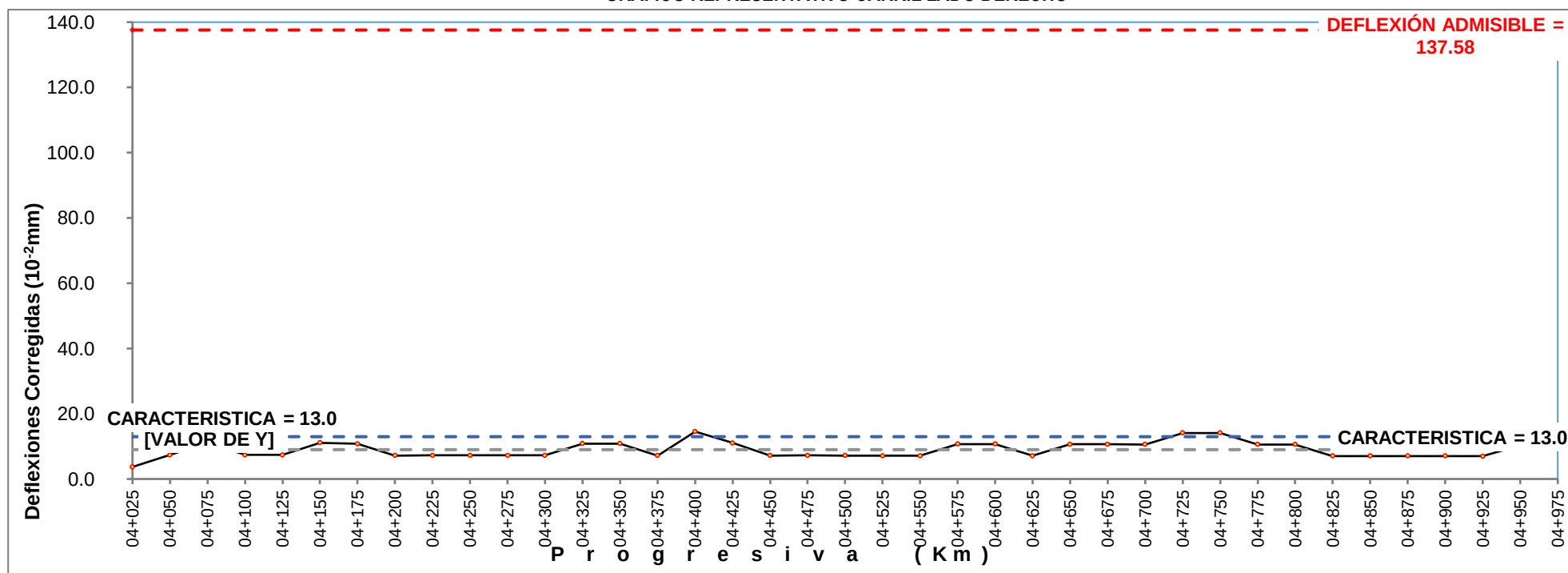
PROYECTO : EVALUACION DEFLECTOMÉTRICA DEL PAVIMENTO EXISTENTE EN LA CARRETERA SANTA CLARA ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE RUMOCOCHA Y SANTA CLARA

SOLICITANTES : ING. CIVIL JOAN EDU PEÑA RUIZ
ING. CIVIL ANNI GREICY SAJAMI PANAIPO.

FECHA : SAN JUAN, 15 DE JUNIO DE 2019

Carretera Santa Clara
Sector: Km 4+025 - Km 4+975

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN
GRAFICO REPRESENTATIVO CARRIL LADO DERECHO



RESUMEN ESTADÍSTICO (CARRIL DERECHO)					
Progresivas (Km)		Desviación Estándar	Deflexiones Corregidas (10-2mm)		
			Promedio	Característica	Admisible
04+025	04+975	2.42	8.99	12.96	137.58

Fuente: (Materiales L. d.)

ESPECIFICACIONES: La medida de la deflexión y determinación del radio de curvatura de un pavimento flexible empleando la viga Benkelman, se realizó según las Normas Técnicas ASTM D 4695. (Normas técnicas ASTM D 4695.)

OBSERVACIONES: Los datos de los ensayos fueron proporcionados por el solicitante.



PROYECTO : EVALUACION DEFLECTOMÉTRICA DEL PAVIMENTO EXISTENTE
EN LA CARRETERA SANTA CLARA ENTRE LOS CENTROS
POBLADOS DE RUMOCOCHA Y SANTA CLARA

SOLICITANTES : ING. CIVIL JOAN EDU PEÑA RUIZ
ING. CIVIL ANNI GREICY SAJAMI PANAIFO.

FECHA : SAN JUAN, 15 DE JUNIO DE
2019

Carretera Santa Clara

Sector: Km 4+025 - Km 4+975

RESUMEN DE DEFLEXION DEL TRAMO 4+025 AL 4+975

ESTACION	DEFLEXION	NUMERO DE INTERVALO	DISTANCIA DE INTERVALO (Km)	DISTANCIA ACUMULADA (Km)	DEFLEXION PROMEDIO	INTERVALO DE AREA REAL	AREA ACUMULADA	Zx
04+025	3.7	1	0.00000	0.00000	3.7	0.0	0.0	0.00
04+050	7.4	2	0.02500	0.02500	5.5	0.1	0.1	-0.09
04+075	11.1	3	0.02500	0.05000	9.2	0.2	0.4	-0.08
04+100	7.4	4	0.02500	0.07500	9.2	0.2	0.6	-0.08
04+125	7.4	5	0.02500	0.10000	7.4	0.2	0.8	-0.12
04+150	11.1	6	0.02500	0.12500	9.2	0.2	1.0	-0.11
04+175	10.8	7	0.02500	0.15000	10.9	0.3	1.3	-0.07
04+200	7.2	8	0.02500	0.17500	9.0	0.2	1.5	-0.07
04+225	7.2	9	0.02500	0.20000	7.2	0.2	1.7	-0.11
04+250	7.2	10	0.02500	0.22500	7.2	0.2	1.9	-0.16
04+275	7.2	11	0.02500	0.25000	7.2	0.2	2.1	-0.20
04+300	7.2	12	0.02500	0.27500	7.2	0.2	2.2	-0.25
04+325	10.8	13	0.02500	0.30000	9.0	0.2	2.5	-0.25
04+350	10.8	14	0.02500	0.32500	10.8	0.3	2.7	-0.20
04+375	7.2	15	0.02500	0.35000	9.0	0.2	3.0	-0.21
04+400	14.5	16	0.02500	0.37500	10.9	0.3	3.2	-0.16
04+425	11.0	17	0.02500	0.40000	12.8	0.3	3.5	-0.07
04+450	7.2	18	0.02500	0.42500	9.1	0.2	3.8	-0.07

04+475	7.2	19	0.02500	0.45000	7.2	0.2	4.0	-0.11
04+500	7.1	20	0.02500	0.47500	7.2	0.2	4.1	-0.16
04+525	7.1	21	0.02500	0.50000	7.1	0.2	4.3	-0.21
04+550	7.1	22	0.02500	0.52500	7.1	0.2	4.5	-0.25
04+575	10.7	23	0.02500	0.55000	8.9	0.2	4.7	-0.26
04+600	10.7	24	0.02500	0.57500	10.7	0.3	5.0	-0.22
04+625	7.1	25	0.02500	0.60000	8.9	0.2	5.2	-0.22
04+650	10.6	26	0.02500	0.62500	8.9	0.2	5.4	-0.22
04+675	10.6	27	0.02500	0.65000	10.6	0.3	5.7	-0.18
04+700	10.6	28	0.02500	0.67500	10.6	0.3	6.0	-0.14
04+725	14.1	29	0.02500	0.70000	12.3	0.3	6.3	-0.06
04+750	14.1	30	0.02500	0.72500	14.1	0.4	6.6	0.07
04+775	10.6	31	0.02500	0.75000	12.3	0.3	6.9	0.15
04+800	10.6	32	0.02500	0.77500	10.6	0.3	7.2	0.19
04+825	7.0	33	0.02500	0.80000	8.8	0.2	7.4	0.18
04+850	7.0	34	0.02500	0.82500	7.0	0.2	7.6	0.13
04+875	7.0	35	0.02500	0.85000	7.0	0.2	7.8	0.08
04+900	7.0	36	0.02500	0.87500	7.0	0.2	7.9	0.03
04+925	7.0	37	0.02500	0.90000	7.0	0.2	8.1	-0.02
04+950	10.3	38	0.02500	0.92500	8.6	0.2	8.3	-0.03
04+975	10.4	39	0.02500	0.95000	10.3	0.3	8.6	0.00

ESPECIFICACIONES: La medida de la deflexión y determinación del radio de curvatura de un pavimento flexible empleando la viga Benkelman, se realizó según las Normas técnicas ASTM D 4695. (Normas técnicas ASTM D 4695.) (Materiales L. d.)



PROYECTO	:	EVALUACION DEFLECTOMÉTRICA DEL PAVIMENTO EXISTENTE EN LA CARRETERA SANTA CLARA ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE RUMOCOCHA Y SANTA CLARA
SOLICITANTES	:	ING. CIVIL JOAN EDU PEÑA RUIZ B ING. CIVIL ANNI GREICY SAJAMI PANAIPO.
FECHA	:	SAN JUAN, 15 DE JUNIO DE 2019

Carretera Santa Clara

Sector: Km 4+025 - Km 4+975

RESUMEN DE RADIO DE CURVATURA

ESTACION	RADIO CURVATURA	NUMERO DE INTERVALO	DISTANCIA DE INTERVALO (Km)	DISTANCIA ACUMULADA (Km)	DEFLEXION PROMEDIO	INTERVALO DE AREA REAL	AREA ACUMULADA	Zx
04+025	844.6	1	0	0	844.6	0.0	0.0	0.00
04+050	422.3	2	0.025	0.025	633.4	15.8	15.8	4.63
04+075	422.3	3	0.025	0.05	422.3	10.6	26.4	3.99
04+100	422.3	4	0.025	0.075	422.3	10.6	37.0	3.34
04+125	422.3	5	0.025	0.1	422.3	10.6	47.5	2.69
04+150	422.3	6	0.025	0.125	422.3	10.6	58.1	2.05
04+175	434.0	7	0.025	0.15	428.2	10.7	68.8	1.55
04+200	868.1	8	0.025	0.175	651.0	16.3	85.0	6.62
04+225	434.0	9	0.025	0.2	651.0	16.3	101.3	11.69
04+250	434.0	10	0.025	0.225	434.0	10.9	112.2	11.34
04+275	434.0	11	0.025	0.25	434.0	10.9	123.0	10.99
04+300	434.0	12	0.025	0.275	434.0	10.9	133.9	10.63
04+325	434.0	13	0.025	0.3	434.0	10.9	144.7	10.28
04+350	289.4	14	0.025	0.325	361.7	9.0	153.8	8.12
04+375	868.1	15	0.025	0.35	578.7	14.5	168.2	11.38
04+400	286.7	16	0.025	0.375	577.4	14.4	182.7	14.61
04+425	428.1	17	0.025	0.4	357.4	8.9	191.6	12.34

04+450	434.0	18	0.025	0.425	431.1	10.8	202.4	11.92
04+475	434.0	19	0.025	0.45	434.0	10.9	213.2	11.56
04+500	440.1	20	0.025	0.475	437.1	10.9	224.2	11.29
04+525	440.1	21	0.025	0.5	440.1	11.0	235.2	11.09
04+550	440.1	22	0.025	0.525	440.1	11.0	246.2	10.89
04+575	292.1	23	0.025	0.55	366.1	9.2	255.3	8.84
04+600	440.1	24	0.025	0.575	366.1	9.2	264.5	6.78
04+625	440.1	25	0.025	0.6	440.1	11.0	275.5	6.58
04+650	294.8	26	0.025	0.625	367.5	9.2	284.7	4.57
04+675	294.8	27	0.025	0.65	294.8	7.4	292.0	0.73
04+700	294.8	28	0.025	0.675	294.8	7.4	299.4	-3.10
04+725	221.6	29	0.025	0.7	258.2	6.5	305.9	-7.85
04+750	294.8	30	0.025	0.725	258.2	6.5	312.3	-12.60
04+775	294.8	31	0.025	0.75	294.8	7.4	319.7	-16.43
04+800	440.1	32	0.025	0.775	367.5	9.2	328.9	-18.45
04+825	892.9	33	0.025	0.8	666.5	16.7	345.5	-12.99
04+850	446.4	34	0.025	0.825	669.6	16.7	362.3	-7.45
04+875	446.4	35	0.025	0.85	446.4	11.2	373.4	-7.49
04+900	892.9	36	0.025	0.875	669.6	16.7	390.2	-1.96
04+925	446.4	37	0.025	0.9	669.6	16.7	406.9	3.58
04+950	303.4	38	0.025	0.925	374.9	9.4	416.3	1.75
04+975	452.9	39	0.025	0.95	378.1	9.5	425.7	0.00

Fuente: (Materiales L. d.)



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Y ENSAYO DE MATERIALES

PROYECTO	:	EVALUACION DEFLECTOMÉTRICA DEL PAVIMENTO EXISTENTE EN LA CARRETERA SANTA CLARA ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE RUMOCOCHA Y SANTA CLARA
SOLICITANTES	:	ING. CIVIL JOAN EDU PEÑA RUIZ ING. CIVIL ANNI GREICY SAJAMI PANAIPO.
FECHA	:	SAN JUAN, 15 DE JUNIO DE 2019

Carretera Santa Clara

Sector: Km 4+025 - Km 4+975

RESUMEN ESTADISTICO

DEFLEXIONES

CARPETA ASFÁLTICA							
Progresivas (Km)		Desviación Estándar	Deflexiones Corregidas (10^{-2} mm)				CV
			Promedio	característica	Máximo	Mínimo	
4+025	4+975	2.4	9.0	13.0	14.5	3.7	0.27

RESUMEN ESTADISTICO

RADIO DE CURVATURA

CARPETA ASFÁLTICA							
Progresivas (Km)		Desviación Estándar	Radio de Curvatura (mm)				CV
			Promedio	Característica	Máximo	Mínimo	
4+025	4+975	188.8	492.0	802.6	868.1	286.7	0.38

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

- “El propósito fundamental de esta investigación fue evaluar el comportamiento estructural de la carretera Santa Clara entre los centros poblados entre Rumococha y Santa Clara, empleando la viga Benkelman”.
- Según Rosa Beatriz Cubas de la Torre en su tesis titulado “comportamiento estructural del pavimento flexible en la vía de evitamiento sur – Cajamarca utilizando las deflexiones medidas con la viga Benkelman” donde obtuvo una deflexión característica de 125×10^{-2} mm, mayor que la deflexión admisible de 77×10^{-2} mm y un radio de curvatura promedio de 589.93 mm, mayor al mínimo establecido por el método (100mm). Mientras que en el presente trabajo se obtuvo las siguientes deflexiones una deflexión característica de 12.96×10^{-2} mm, menor a la deflexión admisible de 137.586×10^{-2} mm y un radio de curvatura promedio de 492.00 mm, mayor al mínimo establecido por el método (100mm). (Torre)
- Como se aprecia la gráfica de deflexiones y también el radio de curvatura de cada punto ensayado que totalmente mayor al radio de curvatura mínimo indicado por la metodología (100 mm) lo que significa que el pavimento se encuentra en un buen estado.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

- Se realizó el análisis estructural con el objetivo de conocer en la condición en la que se encuentra el pavimento flexible entre Rumococha y Santa Clara, para ello se empleó la metodología y ensayos de viga Benkelman.
- Según los datos obtenidos se concluye que la estructura construida es adecuada para las solicitaciones de carga ,y presenta deformaciones menores a las admisibles , además de presentar radios de curvatura amplios ,lo que indica que esa es adecuada para el periodo de diseño.
- Existe un sector ubicado en la progresivas 04+400 y 04+725, en la cual existe una disminución en el radio de curvatura, aunque esta es mayor al número permitido, es aconsejable realizar monitoreo para determinar las posibles causas.
- Los gobiernos locales deberían priorizar la evaluación estructural de sus pavimentos utilizando ensayos no destructivos como el de la viga Benkelman para decidir oportunamente sobre su mantenimiento y refuerzo o cuando se cambie la función de la vía. Asimismo, es muy importante cumplir con lo normado por el Ministerio de transporte y Comunicaciones durante la construcción.
- La viga Benkelman es una herramienta que en la actualidad sigue vigente y debemos aprovechar su uso para evaluar pavimentos con un bajo costo, además que es muy sencillo de operar y optimizar tiempo para lo requerido.
- La evaluación estructural usando viga Benkelman permite entender cómo se comporta estructuralmente los pavimentos y las posibles causas de las fallas ahí se obtiene la importancia de esta metodología para aplicarle.
- Se debe utilizar los dos métodos (numérico y nomogramas) en el procesamiento de datos (deflexiones), con la finalidad de corroborar resultados y de tener un claro panorama del comportamiento del pavimento.

RECOMENDACIONES

- La toma de lecturas de campo se debe de realizar de una forma seria, clara y profesional porque de ello dependerá el resultado que se obtiene ya que estas vienen ser el inicio de la evaluación. Así mismo, se recomienda que para el desarrollo de la evaluación estructural se cumpla con los estándares de carga y presión expuestos en la teoría de este trabajo (para nuestro caso de acuerdo al Manual de ensayo de materiales –MTC E 1002) y no olvidar que la creación de nomogramas depende de la carga y presión utilizadas para obtener resultado no alterados.
- Como uno de los compromisos de la Universidad Científica del Perú es la investigación se sugiere seguir investigando con esta importante rama de la ingeniería civil estructura en pavimentos, de este modo aportar soluciones a las constantes problemas que ocurren en nuestra ciudad y a sus alrededores contribuyendo así al desarrollo de nuestra región. Para ello se propone estos temas de investigación:
 - Evaluación deflectométrica en pavimentos flexible usando la viga Benkelman
 - Estudio comparativo entre un pavimento flexible durante y post mediante una evaluación estructural (usando viga Benkelman)
- También se recomienda realizar evaluaciones periódicas con la viga Benkelman no solo en la carretera Santa Clara, si no en todas las principales calles y avenidas de nuestra ciudad para así poder comparar los datos obtenidos en cada evaluación.

BIBLIOGRAFÍA

AASHO, I. D. (s.f.).

Argentina, D. N. (s.f.). NORMA DE ENSAYO E: 28-77.

Bardasano, C. d. (2004). ENSAYOS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Bustamante. (1996). ESTRUCTURACIÓN DE VÍAS TERRESTRES

Bustamante. (1996).ESTRUCTURACIÓN DE VÍAS TERRESTRES

Bustamante. (1996).ESTRUCTURACIÓN DE VÍAS TERRESTRES

Bustamante. (1996). ESTRUCTURACIÓN DE VÍAS TERRESTRES.

Carranza. (s.f.). ESTUDIO DE PAVIMENTOS

Carrera. (s.f.). Pavimentos Flexibles.

Comunicaciones, M. d. (2003).

Comunicaciones, M. d. (s.f.). Referencias Normativas.

Cubas, d. I. (2017). COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO.
Cajamarca.

Dante. (s.f.). Deflexión Recuperable y Radio de Curvatura de un Pavimento Flexible.

Dorfman. (1982).DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS Y FLEXIBLE

Dorfman. (1982). DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS Y FLEXIBLE

Dorfman. (1982). DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS Y FLEXIBLE

Dorfman. (1982). DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS Y FLEXIBLE.

Dorfman. (1982). DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS Y FLEXIBLE.

Dorfman, B. (1982). DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS Y FLEXIBLE .

Encuestas socioeconomicas . (s.f.).

Encuestas socioeconómicas . (s.f.).

fernando, B. (1996). ESTRUCTURACIÓN DE VÍAS TERRESTRES.

Fernando, O. B. (1996). ESTRUCTURACIÓN DE VÍAS TERRESTRES.

Fonseca, A. M. (2001). Ingenieria de pavimentos .

Gaston, N. (2002). PROPOSICIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA ESPICIFICACIÓN DE OBRA DE PAVIMENTACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD SOBRE LA BASE DE ENSAYOS .

Gomez. (s.f.). Diagnóstico Estructural.

Gonzales Velásquez, C. D. (2009). "EVALUACIÓN DEFLECTOMETRICA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES HACIENDO USO DE LA VIGA BENKELMAN, EN LA AV. AMERICA SUR ENTRE EL OVALO PAPAL Y EL OVALO LARCO". trujillo.

Hilliquin. (2016). "EVALUACIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DEL PAVIMENTO". TACNA.

Illinois, U. (s.f.). estudios de pavimentos rígido y flexible.

Lázares, J. W. (2007). Modelación Geotécnica de Pavimentos Flexibles. Perú.

Libro de deflexiones, Medicion Benkelman . (s.f.).

Mallorquín, J. L. (2013). INFORME DE EVALUACIÓN DE PAVIMENTO. Paraguay.

Manual de Ensayo de Materiales, E. 2. (s.f.).

Materiales, L. d. (s.f.). MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN.

Materiales, M. d. (2002). ENSAYOS CON VIGA BENKELMAN

Materiales, M. d. (2002). . ENSAYOS CON VIGA BENKELMAN

Materiales., L. d. (s.f.). MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN.

Materiales., L. d. (s.f.). MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN.

MDSJB, B. d. (s.f.). Ubicación Geográfica. Iquitos.

Mecasisa. (s.f.). Viga Benkelman.

MONTEJO, A. (2001). Ingeniería de pavimentos.

Nazzal. (2003). Estudio con viga benkelman .

Normas técnicas ASTM D 4695. (s.f.).

Núñez, G. (2002). PROPOSICIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA ESPICIFICACIÓN DE OBRA DE PAVIMENTACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD SOBRE LA BASE DE ENSAYOS .

Pablo, H. M. (s.f.). 1985. Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones (Ensayos no destructivos).

Pablo, H. M. (1985). Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones (Ensayos no destructivos).

Pablo, H. M. (1985). Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones (Ensayos no destructivos).

Pretel, P. (2009). evaluacion deflectometrica de pavimentos flexibles haciendo uso de la viga belkelman. en la av.America Sur entre el Ovalo Papal y el Ovalo Larco. trujillo.

Rozo. (s.f.). METODO TENTATIVO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LAS DEFLEXIONES DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE POR MEDIO DE LA VIGA BENKELMAN.

Sajami, A. G. (6 de Mayo de 2019). Evaluación Deflectométrica de Pavimento Flexibles haciendo uso de la Viga Benkelman. Evaluación Deflectométrica de Pavimento Flexibles. Iquitos, San Juan, Loreto.

Segil. (s.f.). Determinación de Radio Curvatura.

Torre, R. B. (s.f.). Rosa “comportamiento estructural del pavimento flexible en la vía de evitamiento sur – Cajamarca utilizando las deflexiones medidas con la viga Benkelman”.

Vargas, G. B. (2006). ANÁLISIS DE RESULTADOS DE DEFLECTOMETRÍA DE IMPACTO. Costa Rica.

Vivienda, M. d. (2018). Porcentaje de viviendas entrevistadas. Iquitos.

Yarango. (2014). Rehabilitación de la carretera de acceso a la Sociedad Minera Cerro Verde (S.M.C.V). Arequipa.

ANEXO

PANEL FOTOGRAFICO

IMAGEN N° 04: verificación del pavimento flexible de la carretera santa clara.



Fuente: Elaboración Propia.

IMAGEN N°05: verificación de las medidas exacta del área de estudio.



Fuente: Elaboración Propia.

IMAGEN N°06: Acumulación de agua pluvial sobre el pavimento.



Fuente: Elaboración Propia.

IMAGEN N° 07: Área de estudio para el presente trabajo final carretera santa clara.



Fuente: Elaboración Propia.

IMAGEN N°08: Colocación de la viga, Nivelación y ajustes.



Fuente: Elaboración Propia.

IMAGEN N° 09: Medición de la temperatura.



Fuente: Elaboración Propia.

IMAGEN N°10: distancias a medir.



Fuente: Elaboración Propia.

IMAGEN N° 11: Lectura de los diales.



Fuente: Elaboración Propia.