

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL



**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**DISEÑO DEL REFORZAMIENTO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE
EMPLEANDO LA VIGA BENKELMAN EN LA AVENIDA MANSICHE,
TRAMO MALL AVENTURA PLAZA – COLEGIO RAMÓN CASTILLA.**

Área de Investigación:
Transportes

Autor (es):

Br. Roncal Cubas, Kathia Ines

Br. Tello Neciosup Diego Alonso

Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Enrique Lujan Silva

Secretario : Ing. Lucio Medina Carbajal

Vocal : Ing. Stewart Lopez Otiniano

Asesor:

Mg. Juan Paul Henríquez Ulloa

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3357-2315>

TRUJILLO-PERÚ

2022

Fecha de sustentación: 2022/10/04

DEDICATORIA

A mis padres por todo su esfuerzo, amor, motivación y apoyo incondicional que nos dan a mi hermana como a mí para que podamos ser mejores cada día en todo aspecto de nuestras vidas.

A mis hermanas Marina Ines y Fiorella, a las que amo con todo mi corazón, por estar siempre a mi lado apoyándome cuidándome a pesar de que tan lejos o cerca nos encontremos.

Br. Kathia Ines Roncal Cubas

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, Claudia Neciosup y Luis Tello, por su esfuerzo, dedicación y motivación a mi formación no solo académica, sino que también personal ya que fueron quienes me encaminaron al mundo de la construcción y apoyaron en todo momento.

A mis hermanos, Paula y Mauricio, porque siempre han sido una motivación para mí de salir adelante y ser un buen ejemplo para ellos.

Y a toda mi familia en general que sé que siempre poder contar con ellos en todo momento de mi vida.

Br. Tello Neciosup, Diego Alonso.

AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios por darme las fuerzas y valentía para seguir y no rendirme todo el trayecto de mi carrera universitaria.

A mis padres Ronald Roncal y Katerina Cubas, por estar siempre a mi lado creyendo en mí y motivarme a ser mejor cada día.

A mi padrino Víctor, por todas sus enseñanzas desde que pequeña, por siempre creer en mí y darse el tiempo de ayudarme, aconsejarme siempre.

A mi asesor el Mg. Juan Paul Henríquez Ulloa, por tomarse el tiempo, brindarnos sus conocimientos y siempre estar dispuesto a ayudarnos y aconsejarnos en todo este proceso.

Al final a todos los docentes de la carrera de ingeniería civil, por compartir sus conocimientos y experiencias, que hoy en día ponemos en práctica para ser mejores profesionales.

Br. Kathia Ines Roncal Cubas.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por mostrarme el camino que debía seguir y darme la oportunidad.

A mis padres Claudia y Luis, por estar apoyándome siempre, motivarme y darme consejo cuando lo necesite; y fueron los que me transmitieron sus conocimientos y encaminaron hacia la carrera de ingeniería civil.

A mis hermanos que sin saberlo me brindaban su apoyo incondicional y siempre estuvimos para ayudarnos.

A toda mi familia por siempre apoyarme en cada decisión que he tomado y mostrarme que siempre tendré su apoyo.

A mi asesor el Mg. Juan Paul Henríquez Ulloa, brindarnos sus conocimientos y creer en nosotros aconsejándonos en todo este proceso.

Finalmente, a todos mis profesores, desde el colegio hasta el final de mi carrera universitaria, por compartir sus conocimientos y experiencias, y formarnos para ser quienes somos hoy en día.

Br. Tello Neciosup, Diego Alonso.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad diseñar el reforzamiento estructural del pavimento flexible en la zona de estudio que es la Avenida Mansiche desde el Mall Aventura Plaza hasta el Colegio Ramon Castilla, para una proyección de tránsito vehicular de 20 años, evaluando el estado actual del pavimento mediante dos metodologías. La primera es la metodología del Índice de Condición del Pavimento PCI, este tipo de metodología es visual, la cual consiste en la inspección de las fallas presentes en la zona de estudio y categorizarlas de acuerdo al grado que presentan, obteniendo así un resultado de 53.15, indicando de tal manera que el estado del pavimento es **REGULAR**. La segunda metodología que se aplicó en el presente trabajo, es conocer el estado del pavimento por medio de las deflexiones obtenidas a través de la Viga Benkelman aplicando la metodología CONREVIAl, para así obtener el estado del resto de capas en este caso la subrasante que presenta la vía de estudio teniendo como resultado que el estado de la vía era **MALO TIPO IV (MAL PAVIMENTO Y DEFICIENTE SUBRASANTE)**. Una vez obtenidos estos resultados, procedimos a realizar el diseño de reforzamiento estructural para un ESAL de diseño de 9,000,000.00, recomendando tener como espesores de reforzamiento estructural para el carril derecho un espesor de refuerzo de hormigón asfáltico de 80.12mm y para el carril izquierdo de 128.07mm

ABSTRACT

The purpose of this research work is to design the structural reinforcement of the flexible pavement in the study area, which is Mansiche Avenue from the Aventura Plaza Mall to the Ramon Castilla School, for a 20-year vehicular traffic projection, evaluating the current state of the pavement using two methodologies. The first is the Pavement Condition Index (PCI) methodology. This is a visual methodology, which consists of inspecting the faults present in the study area and categorising them according to their degree, thus obtaining a result of 53.15, indicating that the condition of the pavement is fair. The second methodology applied in this work is to determine the condition of the pavement by means of the deflections obtained through the Benkelman Beam applying the CONREVIAL methodology, in order to obtain the condition of the rest of the layers, in this case the subgrade of the road under study, with the result that the condition of the road was BAD TYPE IV (BAD PAVEMENT AND DEFICIENT SUBGRADE). Once these results were obtained, we proceeded to design the structural reinforcement for a design ESAL of 9,009,385.38, recommending a thickness of asphalt concrete reinforcement of 80.12mm for the right lane and 128.07mm for the left lane.

PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado, Dr. Enrique Luján Silva, Ing. Lucio Medina Carbajal e Ing. Stewart Lopez Otiniano, de acuerdo con lo establecido en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego, aprobado por Resolución de Consejo Directivo N° 27-2020-CD-UPAO, ponemos a vuestra disposición la presente Tesis titulada: “DISEÑO DEL REFORZAMIENTO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EMPLEANDO LA VIGA BENKELMAN EN LA AVENIDA MANSICHE, TRAMO MALL AVENTURA PLAZA – COLEGIO RAMÓN CASTILLA”, para la obtención del Título Profesional de INGENIERO CIVIL.

La presente Tesis ha sido elaborada teniendo en consideración lo establecido en las normativas vigentes, indicadas en la presente bibliografía, para llevar a cabo una correcta propuesta del reforzamiento estructural del pavimento en nuestra zona de estudio.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
PRESENTACIÓN	vii
ÍNDICE	viii
ÍNDICE DE TABLAS Y GRAFICOS	x
INDICE DE ILUSTRACIONES	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problema de Investigación	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Justificación de Estudio	3
II. MARCO DE REFERENCIA	3
2.1. Antecedentes del estudio	3
2.2. Marco Teórico	5
Definición Del Pavimento:.....	5
Tipos De Pavimento:.....	6
Estructura Del Pavimento	7
Fallas en el Pavimento Flexible	7
Determinación De Carga Vehicular-ESAL:	13
Métodos De Evaluación Estructural.....	15
Metodologías Empíricas	18
Cálculo De Deflexiones:.....	18
Análisis de la capacidad estructural empleando la metodología CONREVIAl	
.....	19
Metodología de Paviment Condition Índex (PCI)	23
2.3. Marco Conceptual	26
2.4. Variables e Indicadores.....	28
III. METODOLOGÍA EMPLEADA	30
3.1. Tipo y nivel de Investigación	30
3.2. Población y muestra de estudio	30
3.3. Diseño de investigación	30

3.4. Técnicas e instrumentos de investigación.....	31
3.5. Procesamiento y análisis de datos.....	31
3.5.1. Para volumen vehicular.	31
3.5.2. Metodología del PCI.	36
3.5.3. Cálculo de deflexiones empleando la viga benkelman	47
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	66
ANEXOS	68

ÍNDICE DE TABLAS Y GRAFICOS

Tabla 1: Niveles de severidad para huecos.....	11
Tabla 2: Factores de Distribución Direccional y de Carril para determinar el Tránsito en el Carril de Diseño	14
Tabla 3: Factores de corrección por estacionalidad	19
Tabla 4: Valor De “T” y probabilidad de la ocurrencia de $D > D_c$	21
Tabla 5: Radio de Curvatura.....	22
Tabla 6: Características del pavimento de cuerdo al tipo de deflexión y radio de curvatura	22
Tabla 7: Condición del Estado del Pavimento	26
Tabla 8: Operacionalización de la variable independiente.....	29
Tabla 9: Cuadro de recolección de datos	31
Tabla 10: Resumen de Conteo Vehicular.....	32
Tabla 11: Cálculo de ESAL W18	34
Tabla 12: Cálculo de W18 proyectado a 20 años	35
Tabla 13: Cálculo de ESAL de diseño	35
Tabla 14: Tipos de Falla	36
Tabla 15: Muestra N°01 – Ida/ 0+000Km – 0+077.62 Km Ida	37
Tabla 16: Muestra N°02 – Ida/ 0+000Km – 0+077.62 Km Regreso.....	37
Tabla 17: Muestra N°03 - Ida / 0+077.62 Km - 0+384.93 Km Ida	38
Tabla 18: Muestra N°04 - Regreso / 0+077.62 Km - 0+384.93 Km Regreso.....	38
Tabla 19: Muestra N°05 - Ida / 0+384.93 Km - 0+648.90 Km Ida	38
Tabla 20: Muestra N°06 - Regreso / 0+384.93 Km - 0+648.9 Km Regreso.....	39
Tabla 21: Muestra N°07 - Ida / 0+648.90 Km - 1+524.53 Km Ida	39
Tabla 22: Muestra N°08 - Regreso / 0+648.90 Km - 1+524.53 Km Regreso.....	39
Tabla 23: Muestra N°09 - Ida / 1+524.53 Km - 2+400.22 Km Ida	40
Tabla 24: Muestra N°010 - Regreso / 1+524.53 - 2+400.22 Km Regreso	40
Tabla 25: Muestra N°11 - Ida / 2+400.22 Km - 3+037.47 Km Ida	41
Tabla 26: Muestra N°12 - Regreso / 2+400.22 Km - 3+037.47 Km Regreso.....	41
Tabla 27: Muestra N°13 - Ida / 3+037.47 Km - 3+314.76 Km Ida	41
Tabla 28: Muestra N°14 - Regreso / 3+037.47 Km - 3+314.76 Km Regreso	42
Tabla 29: Muestra N°15 Ida / 3+314.76 Km - 4+127.05 Km Ida	42
Tabla 30: Muestra N°16 Regreso / 3+314.76 Km - 4+127.05 Km Regreso.....	42

Tabla 31: <i>Muestra N°17 - Ida / 4+127.08 Km - 5+043.38 Km Ida</i>	43
Tabla 32: <i>Muestra N°18 - Regreso / 4+127.08 Km - 5+043.38 Km</i>	43
Tabla 33: <i>Clasificación de Severidad de las fallas del pavimento</i>	44
Tabla 34: <i>Cálculo del Valor Deducido (VD)</i>	45
Tabla 35: <i>Cálculo del Valor Deducido Corregido</i>	46
Tabla 36: <i>Distancia del punto de ensayo desde el borde del pavimento</i>	49
Tabla 37: <i>Cálculo de deflexiones carril derecho</i>	51
Tabla 38: <i>Cálculo de deflexiones carril izquierdo</i>	54
Gráfico 1: <i>Número de vehículos diarios</i>	32
Gráfico 2: <i>Deflectograma (Carril Derecho)</i>	52
Gráfico 3: <i>Variación del radio de curvatura (Carril Derecho)</i>	53
Gráfico 4: <i>Deflectograma (Carril Izquierdo)</i>	55
Gráfico 5: <i>Variación del radio de curvatura (Carril Derecho)</i>	56

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: <i>Paquete estructural de un pavimento</i>	6
Ilustración 2: <i>Vehículos Liviano</i>	14
Ilustración 3: <i>Vehículos Pesados</i>	15
Ilustración 4: <i>Tipos de Deflexiones</i>	18
Ilustración 5: <i>Deformación del pavimento y radio de curvatura</i>	20
Ilustración 6: <i>Curvas para el diseño del refuerzo, método del instituto del asfalt</i>	57
Ilustración 7: <i>Plano de espesores del carril derecho</i>	59
Ilustración 8: <i>Plano de espesores del carril izquierdo</i>	59
Ilustración 9: <i>Ubicación Geográfica del Tramo</i>	68
Ilustración 10: <i>Plano de Ubicación</i>	68

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de Investigación

Actualmente, en Latinoamérica se cuenta con más de 3 millones de kilómetros de infraestructura vial lo cual es un número muy reducido en nivel de densidad pavimentado comparado con continentes como Europa, Asia y comparado con el área que Latinoamérica tiene aproximadamente es un 25% del territorio que ha sido pavimentado. Así mismo, Tanto la construcción de infraestructura vial como su mantenimiento son muy importantes para la comunicación de este continente con sus respectivos países ya que el parque automotor siempre está en constante crecimiento. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2013, p.13)

En el Perú, la mayoría de las vías son pavimentos flexibles debido a que poseen una mejor trabajabilidad, su costo es inferior si los comparamos con los otros tipos de pavimentos, pese a esto de acuerdo con el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013) afirma. “El Perú cuenta con tan solo el 20% de sus vías pavimentadas y no todas se encuentran en condiciones óptimas, debido a diversos factores como la sobrecarga de vehículos” (p.14), un mal proceso constructivo, los fenómenos climáticos y el mal o escaso debido mantenimiento de las vías.

Desde el año 1961 hasta la actualidad han existido considerables avances en la tecnología de pavimentos, ya que el no cumplimiento de los estándares puede ocasionar un gran impacto en la economía y en la vida de las personas por eso al momento de analizar la estructura del pavimento nos basamos en determinar la capacidad portante que posee la vía ya existente, en el transcurso de su vida útil, ayudándonos de la viga Benkelman de tal forma que podamos determinar y analizar su estado y así poder recomendar el mejor mantenimiento, cuando el pavimento ya no cumple su función estructural o cuando se termina su vida útil.

En la ciudad de Trujillo, hemos observado que la tasa de crecimiento del parque automotor ha acelerado su crecimiento en los últimos años, lo que ha originado que en muchos tramos de avenidas y carreteras presenten fallas, que no han sido atendidas debidamente y esto ha originado una serie de fallas en todo el tramo, trayendo como consecuencia la falta de seguridad y comodidad en el tránsito vial de nuestra ciudad.

En la avenida Mansiche se puede apreciar varias series de fallas debido al crecimiento de las cargas que transitan por esa zona por el incremento de tránsito vial que demanda el centro comercial mall aventura plaza, razón por el cual en la presente tesis de investigación evaluará las condiciones del pavimento empleando la viga Benkelman para conocer la respuesta estructural del pavimento con el fin de establecer el tratamiento para mantener la seguridad, comodidad y alargamiento de su vida útil consiguiendo eficacia economía y estructural del pavimento.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

- Diseñar el reforzamiento del pavimento flexible de la Av. Mansiche tramo Mall Aventura Plaza – Colegio Ramón Castilla, empleando las deflexiones medidas con la viga Benkelman.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Cuantificar la carga vehicular proyectada aplicando el método de conteo vehicular.
- Evaluar la condición actual del pavimento flexible según el método del PCI.
- Determinar la deflexión característica aplicando la viga de Benkelman con la metodología CONREVIAl.
- Diseñar el espesor de reforzamiento con el método de la deflexión máxima del instituto del asfalto
- Elaborar los planos de sección transversal de reforzamiento en toda la longitud de análisis.

1.3. Justificación de Estudio

El presente trabajo de investigación se justifica académicamente ya que presenta una serie de resultados y análisis que aportarán significativamente en lo respectivo a la línea de transportes influenciando positivamente a la comunidad académica de estudiantes de ingeniería civil atraídos por el rubro de transportes y docentes especializados en esta materia.

Socialmente, el trabajo se respalda ya que los resultados podrán ser utilizados como base para la elaboración de proyectos futuros de las entidades gubernamentales especialmente en la Municipalidad Distrital de Trujillo, Gobierno Regional de La Libertad.

En el aspecto económico, al analizar el estado en el que se encuentra el pavimento se brindará recomendaciones para la conservación del estado del pavimento, así mismo como el diseño óptimo del pavimento enfocándonos en el crecimiento vehicular de la zona.

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. Internacionales

- Coy Pineda (2017) en su investigación *“Evaluación superficial de un pavimento flexible de la calle 134 entre carreras 52ª a 53c comparando los métodos VIZIR Y PCI”*, donde tiene como objetivo general la evaluación y comparación de los métodos VIZIR y PCI. En esta investigación llegaron a la conclusión que la calificación del pavimento aplicando ambas metodologías son muy parecidas teniendo como resultados que la auscultación aplicando el método PCI era de 0.65 y aplicando el método VIZIR el índice de deterioro es de 2; ambos obteniendo como resultado que el pavimento se encuentra en un estado BUENO. Por lo tanto, el aporte de la presente investigación nos servirá como antecedente para la evaluación de los pavimentos aplicando la metodología del PCI.

2.1.2. Nacionales

- Cubas De la Torre (2017) en su *investigación “Comportamiento Estructural Del Pavimento Flexible En La Vía De Evitamiento Sur – Cajamarca Utilizando Las Deflexiones Medidas Con La Viga Benkelman”*, donde tiene como objetivo principal determinar el comportamiento estructural utilizando deflexiones para evaluar el estado estructural del pavimento y proporcionar opciones para su mantenimiento o restauración necesarias para asegurar que responda bien ante la demanda de cargas de tránsito a la que es sometido y asegurar y alargar la duración de su vida útil. En este trabajo de investigación, los autores concluyeron, que el tramo se encontraba en malas condiciones estructurales y no cumplía con lo estipulado en su hipótesis y a la vez dedujeron que el índice medio semanal del tramo era muy superior al índice de diseño. Por lo tanto, este antecedente aporta de manera significativa a la investigación ya que realiza los procedimientos para el uso correcto de la viga Benkelman y análisis de deflexiones.

- Azaña Sal y Rosas y Gonzales Fernández (2018), en su investigación *“Evaluación estructural de pavimentos asfálticos en la carretera Huaraz Casma, Km 132+000 al 137+000, utilizando la viga Benkelman”*, se propuso como objetivo analizar el pavimento, por medio de las deflexiones de la viga Benkelman, para lo cual emplearon el modelo matemático de Hogg. Esta investigación llegó a la conclusión de que el pavimento flexible se encontraba en mal estado, por lo que se planteó medidas para su mantenimiento y conservación de las vías. Por lo tanto, el aporte de la presente investigación nos servirá como antecedente para el análisis de deflexiones de la viga Benkelman empleado modelos matemáticos.

2.1.3. Regionales

- Balarezo Zapata (2017), en su investigación denominada *“Evaluación estructural usando viga Benkelman aplicada a un pavimento”*, la cual tuvo como objetivo principal mostrar de forma sistemática el procedimiento y obtener toda la información necesaria a la hora de realizar la evaluación del pavimento UDEP con el propósito

de demostrar si existe o no una carencia estructural y a su vez brindar alternativas de solución para un mejor sostenimiento de la misma, por consiguiente una de sus principales aportaciones fue el diseño de un refuerzo estructural para el pavimento con una proyección a 20 años, además de recomendaciones para su óptimo mantenimiento. Esta investigación aportará para elaboración del diseño de refuerzo estructural usando la viga Benkelman y así además poder brindar alternativas de solución para su rehabilitación.

2.1.4. Local

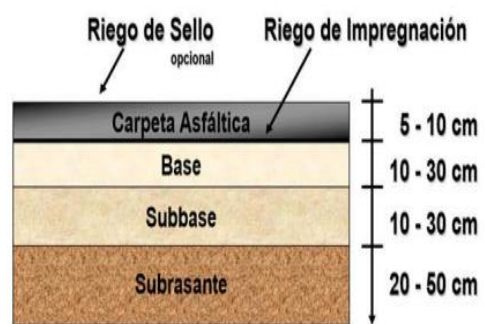
- Pascual Junior y Rebaza José (2019) en su tesis “Aplicación de la metodología PCI en la evaluación del estado del pavimento flexible de la avenida metropolitana II de la ciudad de Trujillo”, para obtener el título profesional de ingeniero civil en la Universidad Privada Antenor Orrego tiene como objetivo principal determinar cuál es la condición en que se encuentra el pavimento flexible de la avenida Metropolitana II de la ciudad de Trujillo aplicando la metodología PCI. Con lo cual concluyó que las fallas que identificaron en el pavimento flexible de la Av. Metropolitana II son hinchamiento, grietas, parabólicas, ahuellamiento, huecos, pulimiento de agregados, parcheo, grietas longitudinales y transversales, depresión, abultamiento y hundimientos. Por lo tanto, el antecedente tiene un aporte directo con la investigación ya que ayuda al reconocimiento y análisis de los tipos de falla en el pavimento flexible.

2.2. Marco Teórico

Definición Del Pavimento:

Un pavimento es una estructura vial formada por un conjunto de capas superpuestas debidamente compactadas sobre el terreno natural de manera que puedan soportar los distintos tipos de cargas vehiculares a las que se verá sometida, con la finalidad de que pueda proporcionar un mejor flujo vehicular, transitabilidad, cuidando sobre todo el medio ambiente.

Ilustración 1:
Paquete estructural de un pavimento



Fuente: Cubas de la Torre, 2017

Tipos De Pavimento:

- **Pavimento Flexible:**

Un pavimento flexible es aquella estructura compuesta por capas granulares (sub base, base) y la capa de rodadura que está compuesta por una carpeta constituida por materiales aglomerantes, agregados la cual es llamada también carpeta asfáltica. Este tipo de pavimento también llamado pavimento asfáltico es el más usado en el Perú, pues además de ser el más económico de todos los pavimentos se posee una gran trabajabilidad y una resistencia de 100 Kg/cm² con una duración de hasta 20 años.

(Manual de Carreteras-MTC)

- **Pavimento Rígido:**

El pavimento rígido es la estructura con mayor resistencia y durabilidad, pues puede llegar a tener un periodo de duración de hasta 40 años, este pavimento está compuesto por una capa de subbase granular, la cual puede ser tanto de base granular como también de cemento, asfalto o cal, y una capa de rodadura compuesta por una losa de concreto ($f'c=210\text{Kg/cm}^2$).

(Manual de Carreteras-MTC)

- **Pavimento Semi Rígido:**

Según el Manual de Carreteras del MTC; Un pavimento semi rígido es una estructura compuesta básicamente de capas asfálticas con un espesor bituminoso o a las que también poseen una carpeta asfáltica. En este tipo de pavimento también se han incluido a los pavimentos adoquinados o llamados

también articulados los cuales tienen como principal material los adoquines. (MTC, 2013, pág. 24)

Estructura Del Pavimento

- **Carpeta:**

Esta capa es la que está expuesta directamente a las cargas de vehículos, también llamada capa de rodadura y está encargada de absorber los esfuerzos horizontales y una pequeña parte de esfuerzos verticales.

- **Base:**

La base es aquella que está situada debajo de la carpeta asfáltica y tiene una función netamente estructural, ya que se encarga de absorber la mayoría de los esfuerzos. (Tapia, 2010, p.11)

- **Sub-Base:**

La subbase es la que va debajo de la base y sobre la capa subrasante. Esta capa puede no ser necesaria cuando la subrasante es de elevada capacidad portante. Tiene como función proporcionar a la base un cimiento uniforme.

- **Subrasante:**

Esta capa está encargada de soportar las cargas producidas por el parque automotor que le son transmitidas por las capas superiores en un periodo de tiempo determinado.

Fallas en el Pavimento Flexible

- **Piel de Cocodrilo**

También llamado grietas de fatiga, son un conjunto de grietas interconectadas cuya causa es el constante efecto de la carga por el tránsito vial la cual causa una falla por fatiga. El agrietamiento inicia en la base (de la carpeta asfáltica), donde las deformaciones y esfuerzos de tensión son mayores bajo la carga de la rueda de un eje.

El agrietamiento en la piel de cocodrilo ocurre únicamente en áreas que están bajo constante intervención de cargas por el tránsito, como las huellas de las llantas.

La piel de cocodrilo es considerada como un daño estructural importante ya que normalmente está acompañada de ahuellamiento.

Severidad:

- L (low: Bajo): Presencia de grietas muy finas longitudinales y capilares con poca presencia de interconexión entre ellas. No presentan desprendimiento del material a lo largo de las grietas.
- M (Medium: Medio): Grietas descascaradas, ósea con presencia de desprendimiento de material a lo largo de la grieta, con presencia de un patrón o red en la grieta (interconectadas).
- H (High: alto): Red de grietas que están bien definidas y descascarados a los bordes, hay pedazos sueltos que se desprenden con el tránsito vial.

Medida:

Se miden en metros cuadrados (m²) de área afectada.

- **Agrietamiento en bloque:**

Son grietas interconectadas rectangulares que dividen al pavimento flexible, las cuales se originan mayormente por contracción de la capa asfáltica y la temperatura del ambiente. Esta falla no está asociada a las cargas de tránsito vial a diferencia de la piel de cocodrilo. Son una consecuencia que el asfalto se ha endurecido masivamente.

Severidad:

- L (low: Bajo): grietas de baja severidad en los bloques.
- M (Medium: Medio): grietas de severidad media en los bloques.
- H (High: alto): grietas de severidad alta en los bloques.

Medida:

Se miden en metros cuadrados (m²) de área afectada.

- **Abultamientos (baches) y hundimientos:**

Son pequeñas deflexiones hacia arriba que están situadas en la superficie de la carpeta estructural del pavimento. Son causados por el pavimento inestable.

Severidad:

- L (low: Bajo): La calidad de tránsito es de baja severidad.
- M (Medium: Medio): La calidad de tránsito es de severidad media.
- H (High: alto): La calidad de tránsito es de alta severidad.

Medida:

Se miden en metros lineales (ml) de área afectada.

- **Corrugación:**

También es llamada “lavadero” son una serie de irregularidades (cimas y depresiones) muy cercanas que ocurren en intervalos no menores a 3 metros. Esta falla es causada normalmente por el tránsito vial sobre una carpeta asfáltica inestable.

Severidad:

- L (low: Bajo): La calidad de tránsito es de baja severidad.
- M (Medium: Medio): La calidad de tránsito es de severidad media.
- H (High: alto): La calidad de tránsito es de alta severidad.

Medida:

Se miden en metros cuadrados (m²) de área afectada.

- **Depresión:**

Son áreas en el pavimento flexible que tienen cotas más bajas que el pavimento que la rodea, en algunos casos las depresiones más leves son solo visibles después de la lluvia, cuando el agua se empoza en estas áreas. La causa de esta falla es el asentamiento de la subrasante, base o subbase, por un proceso constructivo ineficiente.

Severidad:

Máxima profundidad de la depresión:

- L: 13.0 a 25.0 mm.
- M: 25.0 a 51.0 mm.
- H: Más de 51.0 mm.

Medida

Se mide en metros cuadrados (m²) del área afectada.

- **Grietas de borde:**

Son grietas que están situadas paralelamente y están a una distancia entre 60 y 30 cm del borde de la calzada. La causa de esta falla es el tránsito vial, el debilitamiento por las condiciones climáticas de la zona y las capas inferiores del pavimento cercanas al borde de la calzada.

Severidad:

- L (low: Bajo): Agrietamiento bajo o medio sin fragmentación o desprendimiento.
- M (Medium: medio): Grietas medias con algo de fragmentación y desprendimiento.
- H (High: Alto): Considerable fragmentación o desprendimiento a lo largo del borde.

Medida:

La grieta de borde se mide en metros lineales (ml).

- **Grietas longitudinales y transversales:**

Se le llama grietas longitudinales a las grietas que son paralelas al eje del pavimento, son causadas por una junta de carril con un mal proceso constructivo o por contracciones del material asfáltico debido a las condiciones climáticas.

Se le llama grietas transversales a las que atraviesan el pavimento perpendicularmente al eje del pavimento, este tipo de grietas no son causadas por el tránsito vial.

Severidad:

- L: Cuando existe una de las siguientes condiciones:
Grieta sin relleno de ancho menor que 10 mm.
Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material llenante).
- M: Cuando existe una de las siguientes condiciones:
Grieta sin relleno de ancho entre 10 mm y 76 mm.
Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76 mm, rodeada grietas aleatorias pequeñas.
Grieta rellena de cualquier ancho, rodeada de grietas aleatorias pequeñas.
- H: Cuando existe una de las siguientes condiciones:
Cualquier grieta rellena o no, rodeada de grietas aleatorias pequeñas de severidad media o alta.
Grieta sin relleno de más de 76 mm de ancho.

Una grieta de cualquier ancho en la cual unos pocos centímetros del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas.

Medida:

Las grietas longitudinales y transversales se miden en metros lineales (ml).

- **Parches:**

Los parches son áreas rectangulares donde una falla ha sido remplazado con material nuevo para reparar esta. Los parches sirven como solución temporal para la falla existente pero no se comportan de igual manera que el diseño original de la vía.

Severidad:

- L: El parche se encuentra en buenas condiciones y el tránsito se califica como bueno.
- M: El parche está moderadamente deteriorado o la calidad del tránsito se califica como de severidad media.
- H: El parche está en malas condiciones y la calidad del tránsito se califica como de alta severidad.

Medida.

Los parches se miden en metros cuadrados (m²).

- **Huecos:**

Los huecos son deformaciones pequeñas en la capa de rodadura del pavimento, con un diámetro menos a 90 cm y con una forma cóncava. La causa de los huecos es producida cuando el tránsito vial arranca pedazos de superficie de pavimento y va progresando a lo largo del tiempo, también influyen la calidad de materiales y el proceso constructivo.

Severidad:

Tabla 1

Niveles de severidad para huecos

Profundidad máxima del hueco	Diámetro medio (mm)		
	102 a 203 mm	203 a 457 mm	457 a 762 mm
12.7 a 25.4 mm	L	L	M
> 25.4 a 50.8 mm	L	M	H
>50.8 mm	M	M	H

Fuente: Manual PCI

Medida:

Los huecos se miden por unidad (und), contándolos por su severidad.

- **Ahuellamiento:**

El ahuellamiento es una deformación de la superficie (capa de rodadura) del pavimento causada por las huellas de las llantas de los autos.

Severidad:

La severidad es medida por la profundidad del ahuellamiento:

- L: 6.0 a 13.0 mm.
- M: >13.0 mm a 25.0 mm.
- H: > 25.0 mm.

Medida:

El ahuellamiento se mide en metros cuadrados (m^2).

- **Grietas parabólicas:**

Son grietas que tiene forma de una media luna causadas principalmente en interacciones donde las ruedas frenan y giran induciendo el deslizamiento de la capa de rodadura.

Normalmente ocurre en pavimentos flexibles de baja calidad o una ligadura baja entre la superficie del pavimento y su carpeta estructural.

Severidad:

- L: Ancho promedio de la grieta menor que 10.0 mm.
- M: Existe una de las siguientes condiciones:
Ancho promedio de la grieta entre 10.0 mm y 38.0 mm
El área alrededor de la grieta está fracturada en pequeños pedazos ajustados.
- H: Existe una de las siguientes condiciones:
Ancho promedio de la grieta mayor que 38.0 mm.
El área alrededor de la grieta está fracturada en pedazos fácilmente removibles.

Medida:

Se mide el área asociada con la grieta en parábola en metros cuadrados (m^2).

- **Desprendimiento de agregados:**

Se le llama desprendimiento de agregados a la pérdida de materiales en la capa de rodadura debido a la pérdida del ligante asfáltico.

Este tipo de falla puede ser causado por tránsito vial diferente al de diseño, como vehículos de oruga. También puede ser causado por el derramamiento de aceite.

Severidad:

- L: Recién se ha comenzado a perder materiales y algunas áreas de la carpeta asfáltica se ha comenzado a desgastar.
- M: Se han perdido agregados y ligante, comienza a notarse en la superficie una rugosidad y hundimientos.
- H: se han perdido agregados y ligante de forma exuberante. La superficie es muy rugosa y severamente ahuecada. Para seguir considerándose desprendimientos de materiales los huecos deben tener un diámetro menor a 10 mm y profundidad menos a 13 mm, de lo contrario se consideran huecos.

Medida:

La meteorización y el desprendimiento se miden en metros cuadrados (m^2) de área afectada.

Determinación De Carga Vehicular-ESAL:

Para el diseño de cualquier pavimento se base en los procedimientos adoptados por el método AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993 y el Análisis de performance o comportamiento del pavimento durante el periodo de diseño.

Al diseñar un pavimento se debe tener en cuenta dos factores importantes: la carga vehicular a la cual se somete el pavimento y las características del terreno natural en la cual se va a llevar a cabo.

La carga vehicular a la que se encuentra sometida el pavimento está representada por el ESAL (18-kip o 80Kn o 8.2t), el cual es el factor de equivalencia simple de ejes de carga. El cual se obtiene a través del conteo o aforo vehicular el cual consiste en contabilizar determinando su flujo por ciertas variaciones de tiempo la cantidad de diversos vehículos que transitan en la vía de estudio.

Tabla 2

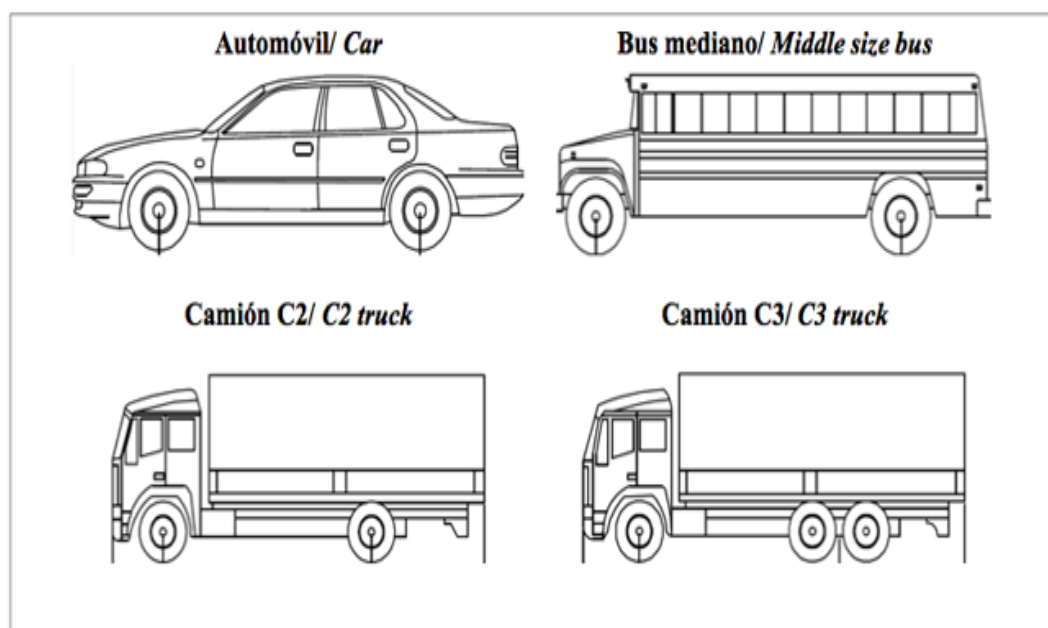
Factores de Distribución Direccional y de Carril para determinar el Tránsito en el Carril de Diseño

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor direccional (Fd)	Factor carril (Fc)	Factor ponderado (Fd x Fc)
1 calzada (para IMDa total de la calzada)	1 sentido	1	1.00	1.00	1.00
	1 sentido	2	1.00	0.80	0.80
	1 sentido	3	1.00	0.60	0.60
	1 sentido	4	1.00	0.50	0.50
	2 sentidos	1	0.5	1.00	0.50
2 calzadas c/separador central (para IMDa total de la 2 calzada)	2 sentidos	2	0.5	0.80	0.40
	2 sentidos	1	0.5	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.5	0.80	0.40
	2 sentidos	3	0.5	0.60	0.30
	2 sentidos	4	0.5	0.50	0.25

Fuente: Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos

Ilustración 2

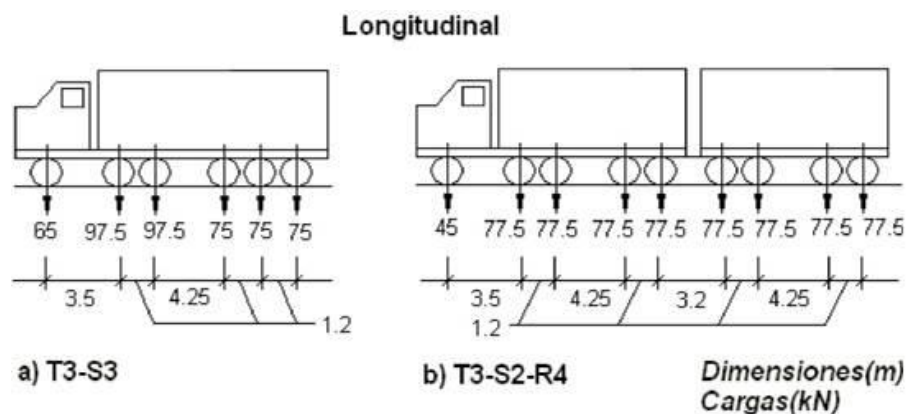
Vehículos Livianos



Fuente: AASHTO 93

Ilustración 3

Vehículos Pesados



Fuente: AASHTO 93

Además, debemos tener en cuenta su factor de crecimiento con el cual se ha diseñado.

$$F_c = \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

Donde:

n: Los años de servicio del pavimento.

r: Tasa de crecimiento anual del parque automotor

Métodos De Evaluación Estructural

- **Métodos indirectos de auscultación estructural**

En la actualidad se está haciendo uso de una nueva tecnología no destructiva ante un problema de evaluación estructural de pavimentos “NDT” (not destructive test) teniendo como datos principales las deflexiones que presenta la superficie un pavimento. Este método es muy económico y simple y lo más relevante es que no altera el sistema estructural del pavimento estudiado.

Este método se basa en la información que nos brinda las deflexiones,

La deflexión, es lo que se puede considerar como la medición de la deformación elástica que presenta el pavimento al momento de aplicarle una carga teniendo como variables el tipo y estado del pavimento.

Cubas de la Torre (2017) afirma: “Existen 3 tipos de equipos para determinar deflexiones del pavimento para metodología NDT:

- **Equipos de medición de deflexiones por medio de cargas estáticas.**
 - Equipos de medición de deflexiones por medio de cargas vibratorias.
 - Equipos de medición de deflexiones por medio de cargas de impacto.”
- (pag.27)

Para este estudio utilizaremos el primer equipo de medición.

- **Medición de deflexiones por medio de cargas estáticas.**

Este método es el que desenvuelve el desarrollo de la viga Benkelman, de la cual se obtiene las dimensiones de la deflexión bajo un punto en el pavimento, aplicándose una carga estática.

En este método la viga es colocada bajo las ruedas duales de un eje trasero de un vehículo que transmite una carga de 8.2 toneladas para así poder medir las deformaciones que el pavimento presenta.

Partes de la viga Benkelman:

La viga Benkelman es un dispositivo para medición exacta de deformaciones elásticas.

Parte fija: Es la parte del dispositivo que se encuentra soportada en apoyos que a su vez van apoyados en la superficie del pavimento, también es donde se encuentra el deformímetro que es la parte que lo une con la parte móvil.

Parte móvil: esta parte está formada por el brazo de medida, que está conectada a la parte fija por un pivot de giro, y el extremo de la punta está en contacto con el pavimento donde que quiere medir la deformación.

- **Equipo requerido para medición de deflexiones**

- Camión cargado, con un peso de 18 000 libras en el eje trasero y llantas dobles con una presión de entre 75 a 85 PSI.
- Balanza con capacidad de 10 toneladas para pesaje de vehículo de carga.
- Manómetro
- Accesorios de medición como: cinta métrica, plumones marcadores, plomada, hoja de campo, lapicero, vernier y alambre de amarre.

- **Procedimiento para uso de la viga Benkelman en la medición de deflexiones**

Las dimensiones de la deformación elásticas son medidas por la viga Benkelman en una operación sencilla, no destructiva y económica.

El vehículo utilizado debe ser un vehículo pesado de preferencia un camión o volquete de 2 ejes, con una carga en el eje trasero de 18000 lb, distribuidos homogéneamente en los 2 ejes. Las llantas deben tener una presión de 75 a 85 psi.

Dicha presión debe ser verificada como mínimo 2 veces en el tiempo que está siendo utilizado el vehículo como carga en cada día, y la carga de este vehículo debe ser material que no varíe demasiado sus propiedades.

Una vez realizado las verificaciones, se coloca la parte móvil de la viga Benkelman sobre la superficie del pavimento en el punto que se desea estudiar y se procede a poner uno de los ejes traseros del vehículo de carga sobre esta parte, con un movimiento lento y constante del vehículo hasta que esté en posición. Una vez en posición se realiza la toma de datos (deflexión), según la progresiva en la que se ha medido el punto.

Se recomienda tomar puntos en lugares significativos del tramo, de distancia alternando cada carril, estos puntos deben estar a una distancia fija en el ancho del carril.

Se procede a hacer una tabla en la hoja de cálculo con las distancias del punto de ensayo, sus progresivas y la deformación adquirida.

- **Factores que influyen en la determinación de las deflexiones**

Carga: Tanto la duración de la carga sobre el punto a estudiar como la magnitud son directamente proporcional a las deflexiones que se presentan en los pavimentos.

Temperatura y Humedad: Estos factores climáticos son 2 variables que afectan las dimensiones que se presenta la deflexión en el pavimento. En este caso, en el pavimento asfáltico las temperaturas más altas producen una exudación en la carpeta asfáltica lo que hace que se vuelva más blando y con ello se incrementen las deflexiones.

Condiciones del Pavimento: Las deflexiones que se presentan en áreas con agrietamientos y asentamientos serán mayores que en las que no se hayan deteriorado tanto.

Metodologías Empíricas

- **Metodología empírica CONREVI**

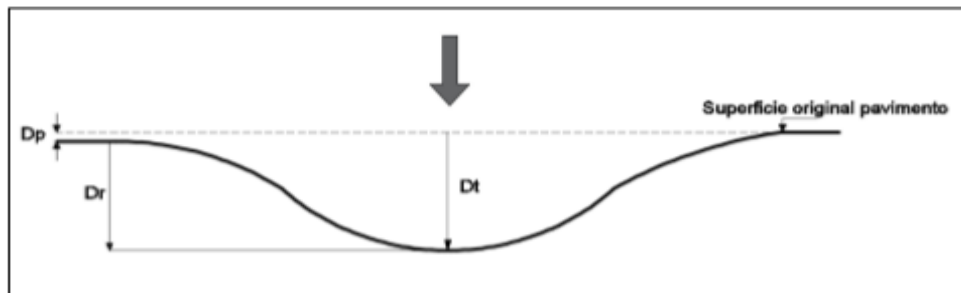
Determina la deflexión máxima que presenta el pavimento y su tipo de curvatura que presenta al ser sometida a una carga.

- **Deflexiones**

Es una medida elástica que brinda información sobre el estado del pavimento a consecuencia de las cargas móviles y estáticas a las que se encuentra sometida, por lo cual se clasifican en tres tipos:

- **Deflexión Total:** Es la deflexión vertical puntual que presenta el pavimento al ser sometido a una carga.
- **Deflexión Elástica:** Es la recuperación que se produce en el pavimento al retirar la carga.
- **Deflexión Permanente:** La diferencia entre la posición inicial del pavimento y la posición en la que se encuentra después de aplicarse una carga.

Ilustración 4:
Tipos de Deflexiones



Fuente: Reyes Lizcano, 2003

Cálculo De Deflexiones:

- **Cálculo de las Deflexiones:**

Balarezo Zapata Javier (2017) dice: “Es la diferencia entre la deflexión final y las demás deflexiones. Estas diferencias se multiplican por la relación de los brazos de la viga empleada” (pag.40).

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

Donde:

Dn: Deflex. en la medida “n”

Lf: Deflex. final

Ln: Lectura en la medida “n”.

- **Corrección de las deflexiones a causa de la temperatura:**

Balarezo Zapata Javier (2017) dice: “En un pavimento, la magnitud de las deflexiones varía con el incremento de temperatura que presenta la carpeta asfáltica” (pág. 40).

$$D^{\circ}C = \frac{Dt}{((K * (t^{\circ} - 20^{\circ}) * h) + 1)}$$

- **Corrección por estacionalidad:**

La deformación en los suelos se encuentra influenciada por el grado de saturación que presentan, por lo cual al momento de realizar la medición de las deflexiones es recomendable que se realice en época de lluvias, dado que en ese momento la superficie se encuentra en un estado más crítico.

Tabla 3

Factores de corrección por estacionalidad

TIPO DE SUELO DE LA SUBRASANTE	ESTACIÓN LLUVIOSA	ESTACIÓN SECA
<i>Arenoso-Permeable</i>	1.00	1.1-1.3
<i>Arcilloso-Sensible al agua</i>	1.00	1.2-1.4

Fuente: *Reyes Lizcano, 2003*

Análisis de la capacidad estructural empleando la metodología CONREVIAL

- **Determinación del radio de curvatura**

Determina la deformación que sufren las capas del pavimento por medio de las cargas vehiculares; este método se basa en que la línea deflexiones hasta el eje de la carga, que describe la forma de una parábola con una

distancia de hasta 25cm, provocando de la manera una inflexión en la horizontal.

$$Rc = \frac{10 * 25^2}{2 * (D0 - D25)}$$

Donde:

D₀: Deflex Máx. corregida por temperatura.

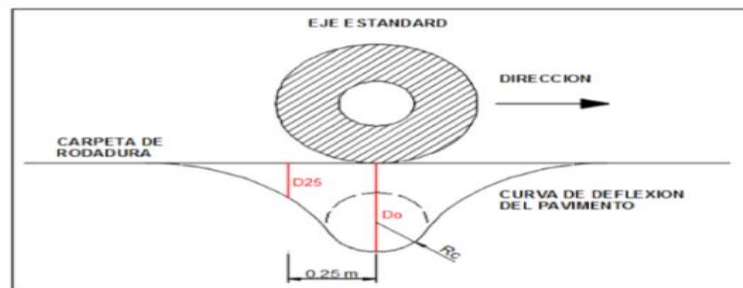
D₂₅: Deflex. Máx. corregida por temperatura.

10: Coeficiente por cambio de unidades.

Rc: Radio de curvatura (m).

Ilustración 5:

Deformación del pavimento y radio de curvatura



Fuente: Cubas de la Torre, 2017.

● **Deflexión característica:**

Es un parámetro estadístico, que se usa para la caracterización del pavimento, por lo que se requiere contar con las deflexiones máximas recuperables (D₀), del tramo del cual se va evaluar y poder de tal manera establecer sus parámetros estadísticos. Por lo cual se deben determinar las siguientes variables como la deflexión promedio (D), desvió cuadrático σ y el coeficiente de variación CV; tomando en cuenta que “n” es el número de determinaciones:

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n Di}{n}, \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Di - \bar{D})^2}{(n - 1)}}; \text{ para } n > 30$$

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{D}} * 100$$

La deflexión característica es empleada en el cálculo de diseño, el cual es el valor que mayor se acerca a representar a una sección del pavimento.

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

Donde:

D_c: Deflex. característica

D_m: Deflex. Prom. de los valores individuales D₀ corregidos

t: Coef. que representa al % del área total con probabilidad de presentar deflexiones superiores a la deflexión característica.

σ= Desviación estándar

Tabla 4

Valor De "T" y probabilidad de la ocurrencia de D>D_c

<i>t</i>	<i>Área D>D_c%</i>
0	50
0.674	25
1	15
1.3	10
1.645	5
2	2
2.33	1

Fuente: Reyes Lizcano, 2003

En el método CONREVIAl normalmente se suele adoptar el valor que es superada solo por el 5% de las determinaciones, claro que este valor puede variar por razones económicas, relación costos – mantenimiento, grado de confiabilidad y de rehabilitación.

- **Deflexión Crítica**

Este parámetro está definido por base al volumen del tránsito de diseño, que establece el límite de la deflexión cuando su periodo de diseño ha sido culminado, valores encima de este no se garantiza un buen comportamiento estructural, durante el periodo de diseño.

$$D_{cr} = \left(\frac{1.90}{N_{18}} \right)^{\frac{1}{5.3}}$$

D= Deflex. crítica (mm)

N₁₈= N° repeticiones de ejes que equivalen a 8.2 ton.

Tabla 5

Características del pavimento de cuerdo al tipo de deflexión y radio de curvatura

TIPO DE DEFLEXIONES	COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE	COMPORTAMIENTO DEL PAVIMENTO
<i>Tipo I</i>	Bueno $D_c < D_a$	Bueno $R_c > 100$
<i>Tipo II</i>	Malo $D_c < D_a$	Bueno $R_c > 100$
<i>Tipo III</i>	Bueno $D_c < D_a$	Malo $R_c > 100$
<i>Tipo IV</i>	Malo $D_c < D_a$	Malo $R_c > 100$



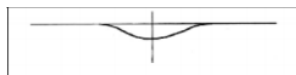
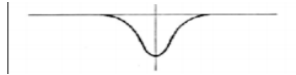
Fuente: Cubas, 2017

- Análisis de Datos**

Para determinar el estado estructural del pavimento, con los parámetros calculados anteriormente se procede a la siguiente tabla.

Tabla 6

Características del pavimento de cuerdo al tipo de deflexión y radio de curvatura

TIPO	CUENCO DE DEFLEXIONES	CURVA MEDIDA	PAVIMENTO EVALUADO
<i>Tipo I</i>		CURVA EXTENSA - POCO PROFUNDA	BUEN PAVIMENTO EFICIENTE SUBRASANTE
<i>Tipo II</i>		CURVA EXTENSA - PROFUNDA	BUEN PAVIMENTO DEFICIENTE SUBRASANTE
<i>Tipo III</i>		CURVA CORTA - POCO PROFUNDA	MAL PAVIMENTO EFICIENTE SUBRASANTE
<i>Tipo IV</i>		CURVA CORTA PROFUNDA	MAL PAVIMENTO DEFICIENTE SUBRASANTE

Fuente: Cubas, 2017

Método de la deflexión máxima de instituto del asfalto

El método de deflexión máxima nos permite calcular el espesor de refuerzo requerido de mezcla asfáltica, para soportar la carga vehicular, de acuerdo con la deflexión característica, obtenida por la viga Benkelman.

La determinar el espesor de mezcla asfáltica, en la tabla se ingresa con la deflexión característica obtenida y se sube hasta encontrarse con la curva

que corresponde al tráfico proyectado, posterior a ello se trazó una línea horizontal hasta encontrar la escala del espesor de refuerzo, que en este caso será de hormigón asfáltico, necesario para reducir la deflexión de diseño.

Metodología de Paviment Condition Índex (PCI)

Introducción:

La metodología del PCI (Paviment Condition Índex), es un método que consiste en determinar el estado del pavimento a través de inspecciones visuales, donde se identifican las fallas que presenta el pavimento, clasificándolo por tipo, severidad y cantidad de fallas que se encuentran en la vía evaluada.

Dada la gran cantidad de muestras que se presentan, este método presenta un factor denominado “valor deducido”, el cual se emplea para indicar en que grado afecta a la condición del pavimento.

El método del PCI tiene como finalidad determinar la capacidad que posee el paquete estructural de soportar cargas externas para así conocer el estado en el que se encuentra y poder realizar su respectivo tratamiento y mantenimiento.

Procedimiento de Evaluación de la Condición del Pavimento:

Para poder determinar el índice de condición del pavimento se tienen que realizar los siguientes pasos:

1. Identificar la cantidad de unidades de muestra del pavimento que deben poseer en un área que se encuentre entre los 225 +/- 90 m² de acuerdo a la ASTM D6433 inciso (2.1.7).

Ecuación 1: N° Total de muestras

$$N = \frac{\text{longitud total de vía}}{\text{Longitud de muestra}}$$

2. Para determinar la condición del pavimento se deberían tomar en cuenta todas las unidades de muestra. Sin embargo, esto no siempre es posible por lo que, se toma un número aleatorio y representativo, considerando una desviación estándar del 10% para pavimentos asfálticos y teniendo un margen de error del 5% de acuerdo a lo indicado en la normativa ASTM D6433., empleando la siguiente fórmula:

Ecuación 2: N° mínimo de unidades de muestreo

$$n = \frac{N \times s^2}{\frac{e^2}{4} \times (N-1) + s^2}$$

Donde:

n: N° mínimo de unidades de muestreo a evaluación.

N: N° total de muestras que se encuentran en el área de estudio.

e: Margen de error (e=5%).

s: Desviación estándar en pavimentos asfálticos (s=10%).

3. Una vez obtenida la cantidad mínima de muestras a evaluar, de forma aleatoria y con intervalos establecidos se deben elegir las unidades más representativas, mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 3: Intervalo de muestreo

$$i = \frac{N}{n}$$

Donde:

n: N° mínimo de unidades de muestreo a evaluación.

N: N° total de muestras que se encuentran en el área de estudio.

i: Intervalo de muestreo, redondeado al número inferior.

4. Una vez determinada la cantidad de muestras que se van a obtener por cada tramo a estudiar se procede a realizar la inspección visual de cada una de las fallas presentes en el pavimento, y clasificarlas de acuerdo al grado de severidad que presenta.

5. Por cada área de estudio, clasificamos las muestras encontradas, dependiendo del tipo de severidad que presente la falla encontrada, calculando de esta manera las cantidades parciales de las mismas.
6. Obtenidas las cantidades parciales, se procederá a calcular la densidad de acuerdo al tipo de severidad de cada falla, es decir su porcentaje de impacto en toda la vía de estudio, de tal manera que podamos obtener el número total valores deducidos (DV) que se tomarán en cuenta para realizar el cálculo del índice de condición del pavimento, los cuales deben ser igual o mayores (>) a 2.
7. El valor deducido (DV) para cada grado de severidad de cada una de las fallas, se determinará utilizando unas curvas y ábacos que se encuentran en los anexos.
8. Finalmente se procederá a obtener el máximo valor deducido corregido (CVD), para poder determinar el PCI, empleando los siguientes pasos:
 - Se crea una lista con todos los valores deducidos igual o mayores a 2 en orden descendente.
 - Procedemos a determinar el número máximo de valores deducidos (mi), empleando la siguiente fórmula:

Ecuación 4: N° máximo de valores deducidos (mi)

$$mi = 1.00 \frac{9}{98} (100 - HDVi)$$

Donde:

mi: N° máximo de valores deducidos.

HDVi: Valor Deducido más alto.

- Una vez calculado el número máximo de valores deducidos y colocado los valores deducidos mayores a 2 de forma descendente, procederemos a completar la tabla con el valor de 2. De tal manera que sumamos todos los valores deducidos encontrados y que son afectados a su vez por el factor (q) que

son los números de valores deducidos colocados de forma descendente de igual manera para que puedan ser iterados y así conseguir el máximo Valor Deducido Corregido (Max.VDC).

- Una vez obtenido el máximo valor deducido corregido, podemos conocer el índice de condición del pavimento (PCI), con la siguiente fórmula:

Ecuación 5: Índice de Condición del Pavimento.

El índice de condición del pavimento se clasifica, de acuerdo a la siguiente tabla:

$$PCI = 100 - Max.VDC$$

Tabla 7
Condición del Estado del Pavimento

CONDICIÓN DEL ESTADO DEL PAVIMENTO

<i>PCI</i>		CLASIFICACIÓN
85	100	Excelente
70	85	Muy Bueno
55	70	Bueno
40	55	Regular
25	40	Malo
10	25	Muy Malo
0	10	Fallado

Fuente: Metodología PCI

2.3. Marco Conceptual

- **Ancho de vía:** En el presente proyecto haremos uso de este término para referirse a el ancho total de la superestructura de la carretera.
- **Aglomerantes:** Material idóneo para unir partículas de otro material inerte por transformaciones químicas o efectos físicos.
- **Agregados:** Se hará referencia al término como material granular compuesto por arena, grava o roca chancada, el cual es empleado para mezclarse en distintos tamaños.

- **Base:** Es la parte de la estructura del pavimento, constituida por una capa de material seleccionado que se coloca entre la subbase o subrasante y la capa de rodadura.
- **Carga vehicular para viga Benkelman:** Usaremos este término para referirnos a la medida estándar para realizar el análisis estructural representado por un camión volquete (C2) que lleve una carga de prueba de 80 kN (18000/lbf) en las ruedas traseras duales en un eje y teniendo una presión de inflado normada, de 75 a 85 psi, las cuales deben tener un espesor de recubrimiento de 10" x 20".
- **Carpeta Asfáltica:** Una capa (mezcla de asfalto y agregado) de espesor variable usada para eliminar irregularidades en el contorno de una superficie existente, antes de un tratamiento o de una construcción.
- **Deflexión:** Se hará uso de este término para referirnos a la respuesta del pavimento ante un estímulo, generalmente una carga vehicular. La deflexión en los pavimentos es la deformación vertical justo en el punto donde pasa el vehículo y aplica la carga.
- **Deflexión admisible:** Es un parámetro definido en función al tráfico de diseño, que establece un límite para la deflexión característica, por encima del cual no garantiza un comportamiento adecuado de la estructura del pavimento, durante el periodo de diseño.
- **Sub base:** Viene a ser la capa que forma parte de la estructura de un pavimento que se encuentra por debajo de la capa de Base.
- **Sub rasante:** Viene a ser la superficie culminada del pavimento a nivel de movimiento de tierras, sobre la cual se coloca la capa estructural del pavimento.
- **Trabajabilidad:** Es lo que viene a ser la forma en la que el pavimento y las diferentes infraestructuras de diseño vial pueden ser acomodadas y tener su mejor compactación. Para nuestro trabajo de investigación se puede trabajar con una trabajabilidad de buena a moderada para poder tomar mediciones más exactas de deflexiones.
- **Viga Benkelman:** Es la principal herramienta en el presente proyecto de investigación la cual forma parte de un procedimiento no destructivo que sirve para medir la deflexión que presenta un pavimento el flexible

cuando es sometido a una carga constante. La medida se medirá cuando la carga pasa sobre el área de la cual se desea medir la deformación. La longitud de la viga Benkelman normalmente es de 250 cm.

2.4. Variables e Indicadores

Variable Independiente:

Diseño de reforzamiento del pavimento flexible.

Tabla 8

Operacionalización de la variable independiente

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
<i>Diseño del Reforzamiento del pavimento flexible</i>	Diseño de las diferentes capas de pavimento para que soporten de manera óptima la carga aplicada actualmente.	Resultado del análisis de las deflexiones y cómo se comporta las capas el pavimento flexible.	Carga Vehicular	Volúmenes	<ul style="list-style-type: none"> • Ficha de recolección de datos • Excel
			Condición del pavimento	Método PCI	<ul style="list-style-type: none"> • Fichas de recolección de datos • Muestras
			Deflexión característica	Deflexiones medidas con Viga Benkelman	<ul style="list-style-type: none"> • Ficha de recolección de datos • Viga Benkelman • Ficha de recolección de datos.
			Reforzamiento del pavimento flexible	Método CONREVIAL	<ul style="list-style-type: none"> • Excel

Nota: En la presente tabla se puede observar los puntos que debemos tener en cuenta para poder conocer el estado del pavimento de estudio y poder llevar a cabo su diseño para el reforzamiento del mismo.

III. METODOLOGÍA EMPLEADA

3.1. Tipo y nivel de Investigación

- **De acuerdo a la orientación o finalidad**

Investigación Aplicada

- **De acuerdo a la técnica de contrastación**

Investigación Descriptiva

3.2. Población y muestra de estudio

- **Población**

Las avenidas del distrito de Trujillo.

- **De acuerdo a la técnica de contrastación**

Avenida Mansiche desde el Mall Aventura Plaza hasta el Colegio Ramón Castilla

3.3. Diseño de investigación

El diseño de investigación que se llevará a cabo en el siguiente proyecto de tesis será una investigación en campo, puesto que analizaremos presencialmente el comportamiento estructural del pavimento por medio de las deflexiones dadas por la Viga Benkelman en los tramos más significativos a lo largo de las 2 calzadas de la vía de estudio.

3.4. Técnicas e instrumentos de investigación

Tabla 9

Cuadro de recolección de datos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	POBLACIÓN	MUESTRA	TÉCNICA	INSTRUMENTOS
<ul style="list-style-type: none"> • Cuantificar la carga vehicular proyectada aplicando el método de conteo vehicular. 			Conteo vehicular, observación, estadísticas.	<ul style="list-style-type: none"> • Fichas de recolección de datos. • Excel
<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar la condición actual del pavimento según el método del PCI. 	Avenida Mansiche, tramo mall aventura plaza –parque eterno.	Avenida Mansiche, tramo mall aventura plaza – parque eterno, sección del pavimento.	Método PCI	<ul style="list-style-type: none"> • Datos recogidos en campo. • Fichas de recolección de datos
<ul style="list-style-type: none"> • Determinar la deflexión característica empleando la viga Benkelman. 			Recolección de muestras en campo, Observación, estadística.	<ul style="list-style-type: none"> • Viga Benkelman • Fichas de recolección de datos
<ul style="list-style-type: none"> • Diseñar el espesor de reforzamiento con tratamiento superficial aplicando la metodología CONREVIAL. 			Metodología Conrevial.	<ul style="list-style-type: none"> • Fichas de recolección de datos
<ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de planos de reforzamiento 			Dibujo Técnico	<ul style="list-style-type: none"> • AutoCAD

Nota: En la presente tabla, describe la forma de como obtendremos los resultados para poder llevar a cabo cada uno de los objetivos planteados.

3.5. Procesamiento y análisis de datos

3.5.1. Para volumen vehicular.

Este procedimiento lo realizaremos por el método de conteo de vehículos de forma presencial por 12 horas, desde las 6am hasta las 6pm, durante una semana de lunes a domingo para realizar la distribución de ESAL.

I. Determinación del tráfico vial

1.1. Resumir los conteos de tránsito a nivel del día y tipo de vehículo.

Tabla 10

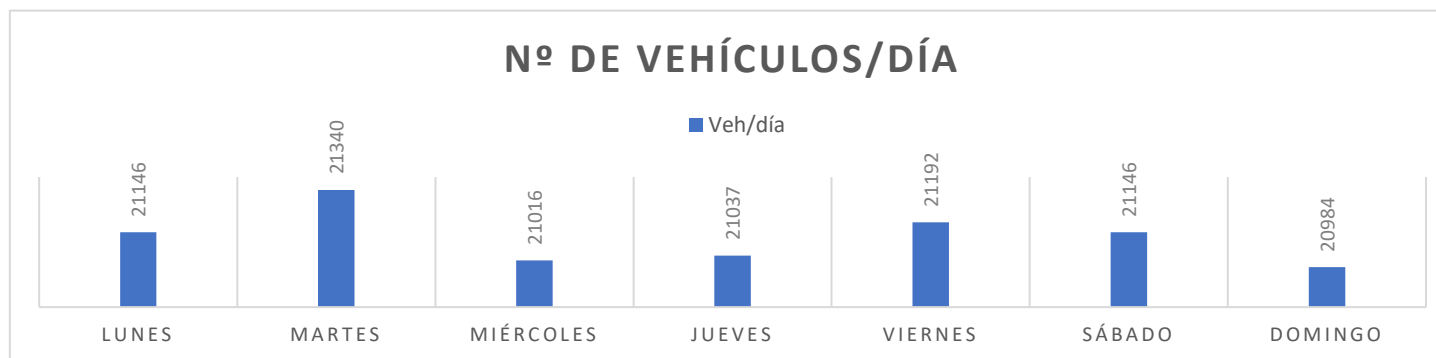
Resumen de Conteo Vehicular

TIPO DE VEHÍCULO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
AUTOS-CAMIONES	18959	19151	18924	18862	18972	18959	18973
CAMIONES 2E-4RUEDAS	719	717	710	719	738	719	677
CAMIONES 2E-6RUEDAS	1252	1294	1195	1231	1273	1252	1153
CAMIONES 3E-10RUEDAS	143	125	131	150	145	143	120
DE 3 EJES	17	12	11	19	13	17	16
DE 4 EJES	17	13	12	16	14	17	15
DE 5 EJES	39	28	33	40	37	39	30
TOTAL	21146	21340	21016	21037	21192	21146	20984

Nota: La presente tabla muestra la cantidad de vehículos que han transitado en la zona de estudio desde las 6:00 am hasta las 6:00pm de lunes a domingo

Gráfico 1

Número de vehículos diarios



Nota: El presente gráfico nos indica el total de vehículos que transitaron en la zona de estudio de lunes a domingo.

II) Cálculo de factor camión

El factor camión (Fc), fue calculado de acuerdo a la unidad del peaje de Chicama, el cual es la más cercana al tramo estudiado.

Factor Camión según estación de peaje más cercano a la vía (Chicama):

3.6. FC Vehículos ligeros: 0.749254

3.7. FC Vehículos pesados: 0.796373

2.1. Cálculo del factor de crecimiento

Para el cálculo del factor crecimiento se utilizó la siguiente fórmula:

$$F_{crecimiento} = ((1 + r)^n - 1) / r$$

Donde:

Frec= Tránsito proyectado al año "n" en veh/día

n= año futuro de proyección

r= tasa anual de crecimiento de tránsito

Tasa de crecimiento por región en %:

De acuerdo a los datos obtenidos por el INEI , las tasas de crecimiento para vehículos livianos y pesados son:

$r_{vp} =$	1.90%	(Ver TC - Tasa de Crecimiento Anual de la Población)
$r_{vc} =$	5.30%	(Ver TC - Tasa de Crecimiento Anual del PBI Regional)

III) Cálculo de W18

Para el cálculo del W18 utilizamos la siguiente formula:

$$W18 = IMDA * FDi * FC$$

En la siguiente tabla se muestra el cálculo del IMDa y la el producto de el IMDa con el factor camión.

Tabla 11

Cálculo de ESAL W18

TIPO DE VEHÍCULO	TRÁFICO VEHICULAR EN DOS SENTIDOS POR DÍA							TOTAL	IMDA	FC	IMDA X FC	DISTRIBUCIÓN (%)
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo					
AUTOMÓVIL	18959	19151	18924	18862	18972	18959	18973	132800	6924571	0.749	5188263	89.8
STATION WAGON												
CAMIONETA	719	717	710	719	738	719	677	4999	260662	0.749	195303	3.4
(PIKUP/PANEL)												
C.RURAL	1252	1294	1195	1231	1273	1252	1153	8650	451036	0.749	337941	5.8
MICRO	146	125	131	150	145	143	120	960	50057	0.749	37506	0.6
BUS 2E	17	12	11	19	13	17	16	105	5475	0.749	4103	0.1
BUS 3E	17	13	12	16	14	17	15	104	5423	0.749	4064	0.1
CAMIÓN 2E	39	28	33	40	37	39	30	246	12827	0.796	10216	0.2
TOTAL	21149	21340	21016	21037	21192	21146	20984	147864	7710051		5777396	100.0

Nota: La presente tabla, nos muestra el cálculo del W18, en el año 2021.

Tabla 12

Cálculo de W18 proyectado a 20 años:

TIPO DE VEHÍCULO	AÑO 0	AÑO 2	AÑO 4	AÑO 6	AÑO 8	AÑO 10	AÑO 12	AÑO 14	AÑO 16	AÑO 18	AÑO 20
TRÁFICO NORMAL	5777396	6000318	6231932	6472586	6722648	6982491	7252519	7533139	7824788	8127912	8442987
AUTOMOVIL + STATION WAGON	5188263	5387290	5593952	5808541	6031363	6262732	6502977	6752437	7011468	7280434	7559719
CAMIONETA (PIKUP/PANEL)	195303	202795	210574	218652	227040	235749	244793	254184	263934	274059	284572
C.RURAL	337941	350905	364366	378343	392857	407927	423576	439825	456697	474216	492407
MICRO	37506	38945	40439	41990	43601	45273	47010	48813	50686	52630	54649
BUS 2E	4103	4549	5044	5593	6202	6877	7625	8455	9375	10395	11526
BUS 3E	4064	4506	4997	5540	6143	6811	7553	8374	9286	10296	11416
CAMIÓN 2E	10216	11328	12560	13927	15442	17122	18985	21051	23342	25882	28698

Nota: En la presente tabla, se muestra el cálculo del W18, con una proyección de 20 años .

IV) Cálculo de ESAL:

Tabla 13

Cálculo de ESAL de diseño

ITEM	W18	FD X FC	TRÁFICO INICIAL (To)	TASA DE CRECIMIENTO (PBI)	ESAL DE DISEÑO
W18	8442987	0.4	3377194.8	5.30%	9,000,000.00 veh/día

Nota: La presente tabla, nos muestra el ESAL de diseño, el cual se usara para el planteamiento del diseño del reforzamiento estructural.

3.5.2. Metodología del PCI.

Este procedimiento consiste en identificar las fallas presente en el tramo de estudio, para que posteriormente podamos clasificarlas de acuerdo al tipo y grado de severidad que presenta cada una de ellas, para poder determinar el valor deducido que presenta el pavimento y identificar el grado en el que se encuentra.

El punto de inicio del estudio, es en la avenida mansiche y finaliza en el colegio Ramón Castilla. En dicho tramo de estudio, se dividió en 18 subtramos, donde en cada una de estos subtramos se dividió en áreas de $225 \pm 90 \text{ m}^2$ para poder identificar las fallas presentes.

En cada una de las muestras divididas, procedimos a indentificar y categorizar las fallas presentes en la vía, las cuales fueron:

Tabla 14

Tipos de Falla

N°	TIPO DE FALLA	UND
1	Piel de Cocodrilo	m^2
2	Exudación	m^2
3	Agrietamiento en Bloque	m^2
4	Abultamientos y Hundimientos	m^2
5	Corrugación	m^2
6	Depresión	m^2
7	Grieta de Borde	m
8	Grieta de reflexión de junta	m
9	Desnivel Carril/Berma	m
10	Grietas Longitudinales y Transversales	m
11	Parcheo	m^2
12	Agregado Pulido	m^2
13	Baches	und
14	Ahuellamiento	m^2
15	Desplazamiento	m^2
16	Fisura parabólica o por deslizamiento	m^2
17	Hinchamiento	m^2
18	Desprendimiento de Agregados	m^2

Nota: En la presente tabla, se muestra las fallas que se pueden encontrar en los pavimentos flexibles.

Una vez identificadas las fallas presentes en la zona, procedemos a identificar el grado de severidad, y calcular sus cantidades parciales de cada una de ellas, por cada muestra seleccionada.

Tabla 15

Muestra N°01 – Ida/ 0+000Km – 0+077.62 Km Ida / Área: 652.01 m²

TRAMO	DAÑO	SEVERIDAD	UND	ÁREA/LONG/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
				L (m)	A (m)	Und		
1	1 PC	M	m ²	2.45	1.9		4.655	
2	1 PC	M	m ²	3	2.3		6.9	20.59
3	1 PC	M	m ²	2.15	4.2		9.03	
4	11 P	L	m ²	2.8	6.2	1	17.36	17.36
5	13 B	L	und			6	6	6
6	18 DA	M	m ²	60.00	2.20		132	
7	18 DA	M	m ²	48.00	2.20		105.6	237.6

Nota: La presente tabla, nos muestra el tipo de fallas y el grado de severidad de presenta en el determinado tramo de estudio.

Tabla 16

Muestra N°02 – Ida/ 0+000Km – 0+077.62 Km Regreso Área: 686.94 m²

TRAMO	DAÑO	SEVERIDAD	UND	ÁREA/LONG/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
				L (m)	A (m)	Und		
1	1 PC	M	m ²	7.20	1.40		10.08	10.08
2	11P	L	m ²	2.50	1.50	2.00	7.5	17.76
3	11P	L	m ²	3.80	1.35	2.00	10.26	
4	11P	M	m ²	3.50	3.50	3.00	36.75	76.75
5	11P	M	m ²	4.00	2.00	5.00	40	
6	13 B	L	und			13.00	13	13
7	13B	M	und			5.00	7	7
8	18 DA	M	m ²	8.20	2.90		23.78	
9	18 DA	M	m ²	5.20	1.85		9.62	33.4

Nota: La presente tabla, nos muestra el tipo de fallas y el grado de severidad de presenta en el determinado tramo de estudio.

Tabla 17

Muestra N°03 - Ida / 0+077.62 Km - 0+384.93 Km Ida Área: 2535.31 m²

TRAMO	DAÑO	SEVERIDAD	UND	ÁREA/LONG/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
				L (m)	A (m)	Und		
1	1PC	M	m ²	30.80			30.80	45.75
2	1PC	M	m ²	6.50	2.30		14.95	
3	11P	L	m ²	4.00	2.20		8.8	8.8
4	10GLT	M	m ²	27.00			27.00	27.00
6	13 B	L	und			14.00	14.00	14.00
7	13 B	M	und			6.00	6.00	6.00
5	18 DA	M	m ²	13.00	2.50		32.5	32.5

Nota: La presente tabla, nos muestra el tipo de fallas y el grado de severidad de presenta en el determinado tramo de estudio.

Tabla 18

Muestra N°04 - Regreso / 0+077.62 Km - 0+384.93 Km Regreso Área: 2596.77 m²

TRAMO	DAÑO	SEVERIDAD	UND	ÁREA/LONG/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
				L (m)	A (m)	Und		
1	1PC	M	m ²	12.90	1.20		15.48	15.48
2	11P	L	m ²	3.50	4.15		14.53	30.01
3	11P	M	m ²	4.00	2.00		8.00	18.73
4	11P	M	m ²	1.15	0.85		0.98	
5	11P	M	m ²	1.00	6.00		6.00	
6	11P	M	m ²	2.50	1.50		3.75	13.00
7	13B	L	und			13.00		
8	13B	M	und			7.00		7.00

Nota: La presente tabla, nos muestra el tipo de fallas y el grado de severidad de presenta en el determinado tramo de estudio.

Tabla 19

Muestra N°05 - Ida / 0+384.93 Km - 0+648.90 Km Área: 3603.19 m²

TRAMO	DAÑO	SEVERIDAD	UND	ÁREA/LONG/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
				L (m)	A (m)	Und		
1	1PC	L	m ²	19.00	2.00		38	292.8
2	1PC	L	m ²	14.00	1.20		16.8	
3	1PC	L	m ²	17.00	14.00		238	
2	13B	L	und			23.00	23.00	23.00
3	13B	M	und			15.00	15.00	15.00
4	11P	M	m ²	2.30	4.00		9.2	18.08
5	11P	M	m ²	2.50	1.50		3.75	
6	11P	M	m ²	1.35	3.80		5.13	
7	18DA	H	m ²	19.40	4.20		81.48	81.48

Nota: La presente tabla, nos muestra el tipo de fallas y el grado de severidad de presenta en el determinado tramo de estudio.

Tabla 20

Muestra N°06 - Regreso / 0+384.93 Km - 0+648.9 Km Área: 3244.19 m²

TRAMO	DAÑO	SEVERIDAD	UND	ÁREA/LONG/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
				L (m)	A (m)	Und		
1	1PC	L	m ²	16.00	6.40		102.4	102.40
2	11P	L	m ²	0.70	12.90		9.03	
3	11P	L	m ²	0.85	1.15		0.9775	
4	11P	L	m ²	3.80	1.35	2.00	10.26	
5	11P	L	m ²	2.50	1.50		3.75	93.42
6	11P	L	m ²	4.15	12.00		49.8	
7	11P	L	m ²	24.50	0.80		19.6	
8	13B	L	und			23.00	23.00	23.00
9	13B	M	und			14.00	14.00	14.00
10	13B	H	und			8.00	8.00	8.00
10	18 DA	M	m ²	11.70	3.20		37.44	37.44

Nota: La presente tabla, nos muestra el tipo de fallas y el grado de severidad de presenta en el determinado tramo de estudio.

Tabla 21

Muestra N°07 - Ida / 0+648.90 Km - 1+524.53 Km Área: 12258.82 m²

TRAMO	DAÑO	SEVERIDAD	UND	ÁREA/LONG/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
				L (m)	A (m)	Und		
1	11P	L	m ²	1.50	2.50		3.75	16
2	11P	L	m ²	3.50	3.50		12.25	
3	13B	L	und			3.00		3.00

Nota: La presente tabla, nos muestra el tipo de fallas y el grado de severidad de presenta en el determinado tramo de estudio.

Tabla 22

Muestra N°08 - Regreso / 0+648.90 Km - 1+524.53 Km Área: 9062.77 m²

TRAMO	DAÑO	SEVERIDAD	UND	ÁREA/LONG/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
				L (m)	A (m)	Und		
1	11P	L	m ²	1.60	0.75		1.2	4.2
2	11P	L	m ²	2.00	1.50		3	
3	13B	L	und			4.00	4.00	4.00

Nota: La presente tabla, nos muestra el tipo de fallas y el grado de severidad de presenta en el determinado tramo de estudio.

Tabla 23

Muestra N°09 - Ida / 1+524.53 Km - 2+400.22 Km Área: 7268.227 m²

TRAMO	DAÑO	SEVERIDAD	UND	ÁREA/LONG/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
				L (m)	A (m)	Und		
1	1 PC	H	m ²	5.30	0.80		4.24	
2	1 PC	H	m ²	2.30	0.50		1.15	8.30
3	1 PC	H	m ²	1.20	1.50		1.8	
4	1 PC	H	m ²	1.30	0.85		1.105	
5	3 AB	H	m ²	4.50	1.50	3.00	20.25	20.25
6	10 GLT	M	m	275.00			275.00	275.00
7	13B	L	und			1.00	1	1.00
8	13B	M	und			2.00	2	2.00
9	13B	H	und			7.00	7	7.00
9	18 DA	L	m ²	400.00	0.80		320	320.00
10	18 DA	H	m ²	10.00	1.50		15	15.00

Nota: La presente tabla, nos muestra el tipo de fallas y el grado de severidad de presenta en el determinado tramo de estudio.

Tabla 24

Muestra N°010 - Regreso / 1+524.53 - 2+400.22 Km Área: 7312.01 m²

TRAMO	DAÑO	SEVERIDAD	UND	ÁREA/LONG/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
				L (m)	A (m)	Und		
1	1PC	H	m ²	7.20	6.80		48.96	48.96
2	3 AB	H	m ²	4.50	10.50		47.25	47.25
3	13 B	M	und			13.00	1.00	1.00
4	13B	H	und			3.00	1.00	1.00
5	11P	L	m ²	3.00	6.50		19.50	19.50
6	10 GLT	L	m	87.00			87.00	87.00
7	10 GLT	M	m	39.00			29.00	29.00
8	14AH	M	m ²	12.00	8.35		100.20	100.20
9	18 DA	L	m ²	180.00	1.20		216.00	216.00
10	18 DA	M	m ²	12.00	6.50		78.00	78.00

Nota: La presente tabla, nos muestra el tipo de fallas y el grado de severidad de presenta en el determinado tramo de estudio.

Tabla 25

Muestra N°11 - Ida / 2+400.22 Km - 3+037.47 Km Área: 5352.9 m²

TRAMO	DAÑO	SEVERIDAD	UND	ÁREA/LONG/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
				L (m)	A (m)	Und		
1	1 PC	L	m ²	5.15	1.80		9.27	9.27
2	1 PC	M	m ²	6.20	0.90		5.58	5.58
3	3 AB	L	m ²	7.00	4.20		29.4	29.4
4	10 GLT	M	m	485.00			485.00	485
5	13 B	L	und			2.00	2.00	2
6	13 B	M	und			6.00	6.00	6
7	13 B	H	und			2.00	2.00	2
8	18 DA	L	m ²	125.00	0.75		93.75	341.75
9	18 DA	L	m ²	80.00	3.10		248	
10	18 DA	M	m ²	4.40	6.20		27.28	27.28
11	14 AH	L	m ²	68.00	2.00		136	136
12	15 AH	M	m ²	15.00	6.20		93	93

Nota: La presente tabla, nos muestra el tipo de fallas y el grado de severidad de presenta en el determinado tramo de estudio.

Tabla 26

Muestra N°12 - Ida / 2+400.22 Km - 3+037.47 Km Área: 4142.13 m²

TRAMO	DAÑO	SEVERIDAD	UND	ÁREA/LONG/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
				L (m)	A (m)	Und		
1	1 PC	H	m ²	15.30	0.90		13.77	13.77
2	10G	M	m ²	106.50			106.5	106.5
3	10G	L	m ²	53.00			53	53
4	13 B	H	und			11.00	11	11
5	13B	M	und			7.00	7	7
5	14 AH	L	m ²	31.00	1.20		37.2	86.7
6	14 AH	M	m ²	15.00	3.30		49.5	49.5
8	18DA	L	m ²	62.00	0.80		49.6	49.6
9	18DA	M	m ²	93.00	1.50		139.5	139.5

Nota: La presente tabla, nos muestra el tipo de fallas y el grado de severidad de presenta en el determinado tramo de estudio.

Tabla 27

Muestra N°13 - Ida / 3+037.47 Km - 3+314.76 Km Área: 1885.572 m²

TRAMO	DAÑO	SEVERIDAD	UND	ÁREA/LONG/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
				L (m)	A (m)	Und		
1	13B	L	und			15.00	15	15
2	13B	M	und			9.00	9	9
3	10GLT	L	m	80.00			80	80
4	10GLT	M	m	194.00			194	194
5	18DA	L	m ²	6.90	6.40		44.16	62.14
6	18DA	L	m ²	6.20	2.90		17.98	
7	18DA	M	m ²	11.30	1.20		13.56	13.56
8	14 AH	M	m ²	4.30	18.00		77.4	77.4

Nota: La presente tabla, nos muestra el tipo de fallas y el grado de severidad de presenta en el determinado tramo de estudio.

Tabla 28

Muestra N°14 - Regreso / 3+037.47 Km - 3+314.76 Km Área: 1802.39 m²

TRAMO	DAÑO	SEVERIDAD	UND	ÁREA/LONG/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
				L (m)	A (m)	Und		
1	1 PC	M	m ²	12.00	3.30		39.6	39.6
2	10GT	M	m	130.00			130	130
3	13B	L	und			9.00	9	9
4	13B	M	und			5.00	5	5
5	13B	H	und			3.00	3	3
6	18DA	L	m ²	49.00	4.50		220.5	220.5
7	18DA	M	m ²	11.30	1.20		13.56	13.56

Nota: La presente tabla, nos muestra el tipo de fallas y el grado de severidad de presenta en el determinado tramo de estudio.

Tabla 29

Muestra N°15 Ida / 3+314.76 Km - 4+127.05 Km Área: 5523.776 m²

TRAMO	DAÑO	SEVERIDAD	UND	ÁREA/LONG/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
				L (m)	A (m)	Und		
1	10GT	M	m	148.00			148	648
2	10GT	M	m	500.00			500	
3	13 B	H	und			2.00	2	
4	13B	M	und			2.00	2	2
4	14 AH	L	m ²	87.00	0.90		78.3	78.3
5	14 AH	M	m ²	52.00	2.40		124.8	124.8
6	18 DA	M	m ²	8.00	6.80		54.4	54.4
7	18 DA	L	m ²	20.00	3.40		68	972.40
8	18 DA	L	m ²	250.00	3.40		850	
9	18 DA	L	m ²	8.00	6.80		54.40	

Nota: La presente tabla, nos muestra el tipo de fallas y el grado de severidad de presenta en el determinado tramo de estudio.

Tabla 30

Muestra N°16 Regreso / 3+314.76 Km - 4+127.05 Km Área: 5523.776 m²

TRAMO	DAÑO	SEVERIDAD	UND	ÁREA/LONG/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
				L (m)	A (m)	Und		
1	10GT	L	m	275.00			275	358
2	10GT	L	m	83.00			83	
3	13B	L	und			3.00	3	
4	13 B	M	und			2.00	2	2
5	14 AH	L	m ²	108	0.8		86.4	86.4
6	14 AH	M	m ²	93	6.2		576.6	576.6
7	18 DA	L	m ²	38.00	0.70		26.6	55.85
8	18DA	L	m ²	65.00	0.45		29.25	

Nota: La presente tabla, nos muestra el tipo de fallas y el grado de severidad de presenta en el determinado tramo de estudio.

Tabla 31

Muestra N°17 - Ida / 4+127.08 Km - 5+043.38 Km Área: 6336.726 m²

TRAMO	DAÑO	SEVERIDAD	UND	ÁREA/LONG/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
				L (m)	A (m)	Und		
1	10 GT	M	m	84.00			84	
2	10 GT	M	m	126.50			126.5	263.5
3	10 GT	M	m	53.00			53	
4	13B	L	und			13.00	13	13
5	13B	M	und			7.00	7	7
6	13B	H	und			8.00	8	8
7	18DA	M	m ²	25	0.9		22.5	
8	18 DA	M	m ²	35	0.9		31.5	102
9	18 DA	M	m ²	20.00	2.40		48	

Nota: La presente tabla, nos muestra el tipo de fallas y el grado de severidad de presenta en el determinado tramo de estudio.

Tabla 32

Muestra N°18 - Regreso / 4+127.08 Km - 5+043.38 Km Área: 6336.726 m²

TRAMO	DAÑO	SEVERIDAD	UND	ÁREA/LONG/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
				L (m)	A (m)	Und		
1	10GT	L	m	213.50			213.5	275.5
2	10GT	L	m	62.00			62	
3	13B	L	und			3.00	3	3
	13 B	M	und			5.00	5	5
4	13 B	H	und			2.00	2.00	2.00
5	14 AH	L	m ²	12.00	3.20		38.4	38.4
6	18DA	L	m ²	35.00	0.50		17.5	17.5
7	18 DA	M	m ²	15.00	2.00		30	30

Nota: La presente tabla, nos muestra el tipo de fallas y el grado de severidad de presenta en el determinado tramo de estudio

Una obtenida todas las cantidades parciales de cada una de las fallas, procedemos a analizar la condición del pavimento de estudio de manera global. Por lo que sumando todas las áreas de los tramos de estudios, poseemos un área de 86124.22 m² en la Av. Mansiche, iniciando desde el Mall Aventura hasta llegar al Colegio Ramon Castilla, teniendo entre ida y vuelta 10Km de vía estudiada.

A continuación, procedemos a calcular la densidad de cada una de las fallas de acuerdo a su grado de severidad, el cual se divide en L (Low o Bajo), M (Medium o Medio) y H (High o Alto). La densidad viene hacer el porcentaje que ocupa cada una de las fallas en la zona total de estudio.

Tabla 33

Clasificación de Severidad de las fallas del pavimento

CALIFICACION DE SEVERIDAD		
<i>Baja</i>	Low	L
<i>Media</i>	Medium	M
<i>Alta</i>	High	H

Fuente: Metodología PCI.

Tabla 34: Cálculo del Valor Deducido (VD)

Item	Falla	Severidad	Und	Cantidad Parciales															Total	Densidad (%)	Valor Deducido (VD)
1	1 PC	L	m2	292.80	9.27	102.40													404.47	0.47	5.86
2	1 PC	M	m2	20.59	10.08	45.75	5.58	39.60	15.48										137.075	0.16	8.14
3	1 PC	H	m2	8.30	48.96	13.77													71.025	0.08	9.44
4	3 AB	L	m2	29.40															29.4	0.03	0
5	3 AB	H	m2	20.25	47.25														67.5	0.08	0.2
6	10 GT	L	m	87.00	53.00	80.00	358.00	275.50											853.5	0.99	0
7	10 GT	M	m	27.00	275.00	29.00	485.00	106.50	194.00	130.00	648.00	263.50							2158	2.51	5.77
8	11 P	L	m2	17.36	17.76	8.80	30.01	93.42	16.00	4.20	19.50								207.0425	0.24	0
9	11 P	M	m2	76.75	18.73	18.08													113.5575	0.13	3.94
10	13 BACH	L	Und	6.00	13.00	23.00	23.00	3.00	4.00	1.00	2.00	15.00	9.00	3.00	3.00	14.00	13.00		132	0.15	4.4
11	13 BACH	M	Und	7.00	7.00	15.00	14.00	2.00	1.00	6.00	7.00	9.00	5.00	2.00	2.00	5.00	6.00	7.00	95	0.11	5.62
12	13 BACH	H	Und	7.00	1.00	2.00	11.00	3.00	2.00	8.00	8.00	2.00							44	0.05	9.95
13	14 AH	L	m2	38.40	136.00	86.70	78.30	86.40											425.8	0.49	4.23
14	14 AH	M	m2	100.20	49.50	124.80	93.00	77.40	576.60										1021.5	1.19	19.55
15	18 DA	L	m2	32.50	216.00	341.75	49.60	62.14	220.50	972.40	55.85	17.50	320.00						2288.24	2.66	2.9
16	18 DA	M	m2	237.60	33.40	37.44	78.00	27.28	139.50	13.56	13.56	54.40	102.00	30.00					766.74	0.89	8.48
17	18 DA	H	m2	81.48	15.00														96.48	0.11	6.01
																				Total, VD	94.49

Nota: La presente tabla, nos muestra el cálculo del valor deducido (VD), de acuerdo a las fallas encontradas y su grado de severidad.

Una vez calculada la densidad de por cada tipo de falla y su grado de severidad, se procedio a calcular el valor deducido, los cuales se determinan mediante unos ábacos que se encuentran en los anexos. Ya determinado los valores deducidos, solo tomaremos aquellos que sean mayores iguales a 2 y escoger ademas el valor deducido mas alto.

Por lo que podemos apreciar que de los 17 valores deducidos que tenemos, solo 13 cumplen que esta regla.

A continuación procedemos a corregir dichos valores deducidos, teniendo como datos que 13 son los valores deducidos mayores > 2, el valor deducido mas alto (HVDi) es 19.55 el cual corresponde a la falla de ahullamientos con una severidad media.

Por lo que de acuerdo a la formula obtenemos que el número máximo de valores deducidos sera (mi) = 8

- Número de Valores Deducidos >2
(q)

- Valor Deducido más alto (HDVi)

- Número máximo de valores deducidos (mi)

13
19.55
8

Tabla 35

Cálculo del Valor Deducido Corregido

N°	VALORES DEDUCIDOS													VDT	Q	VDC
1	19.55	9.95	9.44	8.48	8.14	6.01	5.86	5.77	5.62	4.4	4.23	3.94	2.9	94.29	8	46.15
2	19.55	9.95	9.44	8.48	8.14	6.01	5.86	2	2	2	2	2	2	79.43	7	37.66
3	19.55	9.95	9.44	8.48	8.14	6.01	2	2	2	2	2	2	2	75.57	6	35.34
4	19.55	9.95	9.44	8.48	8.14	2	2	2	2	2	2	2	2	71.56	5	35.94
5	19.55	9.95	9.44	8.48	2	2	2	2	2	2	2	2	2	65.42	4	36.25
6	19.55	9.95	9.44	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	58.94	3	37.26
7	19.55	9.95	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	51.5	2	38.05
8	19.55	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	43.55	1	43.55
														Max. VDC		46.15

Nota: La presente tabla, nos indica el máximo valor deducido corregido, para la aplicación de la metodología PCI y conocer el estado del pavimento.

Para determinar los valores deducidos corregidos, se calcula por medio de unos ábacos que se encuentran en el anexos. Una vez determinado, elegimos el valor deducido más alto, el cual es 46.15. Este será el valor que usaremos para determinar en que estado se encuentra el pavimento a analizar.

Para calcular el índice de condición del pavimento (PCI), vamos a restar el valor de 100 menos el máximo valor deducido corregido que en este caso es **Max VDC = 46.15**, con el cual podemos identificar que de acuerdo a la tabla de condición del estado del pavimento; la vía entre el Mall Aventura Plaza hasta el Colegio Ramon Castilla se encuentra en un estado **REGULAR**.

$$PCI = 100 - (Max VDC)$$

$$PCI = 100 - 46.15$$

$$PCI = 53.15 \text{ (ESTADO REGULAR)}$$

3.5.3. Cálculo de deflexiones empleando la viga benkelman

Instrumentos:

Para realizar el cálculo de las deflexiones se deben emplear los siguientes aparatos:

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

Longitud del primer brazo de ensayo, desde el pivote al punto de prueba = 2,440 m.

Longitud del 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.

- Un camión para realizar el ensayo, el cual debe cumplir 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.

- Un medidor de presión inflado
- Un termómetro de 0° a 100° C
- Un cronómetro
- Una wincha de 2m y otra de 25m
- Un vibrador

Procedimiento:

Calibración del volquete.

Se realizo la tara del eje posterior del volquete de 8190 kg en la balanza del distrito de corrales.

La distancia entre centro de huellas del volquete es de 30 cm

La presión de inflado de la rueda del eje de carga es de 80 psi.

Peso del eje posterior de la volqueta = 8190 kg = 18018 lbs

Peso de cada rueda = 18018 / 4 = 4504.5 lbs.

$$A = \sqrt{(4504.5 / (\pi * 80))}$$

$$A = 4.23''$$

$$A = 10.75 \text{ cm.}$$

Distancia entre centro de huellas de carga:

$$D = 30.00 \text{ cm.} \quad (\text{medibles})$$

Presión de inflado de la rueda:

$$80\text{psi} = 5.64 \text{ kg/cm}^2 \quad (1 \text{ psi} = 0.0703 \text{ kg/cm}^2)$$

$$P = 5.64 \text{ kg/cm}^2$$

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.

Tabla 36:

Distancia del punto de ensayo desde el borde del pavimento

ANCHO DEL CARRIL	DISTANCIA DEL PUNTO DE ENSAYO DESDE EL BORDE DEL PAVIMENTO
2,70 m	0,45 m
3,00 m	0,60 m
3,30 m	0,75 m
3,60 m O MÁS	0.90 m

Nota: La presente tabla, nos muestra la distancia del punto de ensayo de acuerdo al ancho del carril que presenta la vía

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 anteriormente de modo que simultáneamente el punto quede entre ambas llantas de la rueda dual.

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.

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.

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).

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 0,01 mm, se da por finalizada la recuperación, registrándose las últimas lecturas observadas (L0 y L25).

Factor temperatura:

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

Límite inferior : 5 °C

Límite superior : 35 °C

Por lo que al estar dentro de los límites (no ser un clima extremo) el factor temperatura no será considerado en el cálculo.

Factor de corrección por estacionalidad:

Según la tabla 3 (Factores de corrección por estacionalidad), teniendo un tipo de suelo de la subrasante arcillo-sensible al agua y una estación seca, se consideró el factor de estacionalidad para los cálculos de 1.2.

Cálculos:

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

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

donde 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:

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

Nota 2. 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.

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

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

Ensayo:

Los datos obtenidos en campo en la zona de estudio, se detallan en la siguiente hoja de cálculo:

ANÁLISIS DEFLECTOMÉTRICO CON LA VIGA BENKELMAN-CARRIL DERECHO

TRAMO: LA AV. MANSICHE, TRAMO MALL AVENTURA PLAZA – COLEGIO RAMÓN CASTILLA

Relación de brazos

Carril: DERECHO

Fecha: 20-Jun-22

Carga: 8200 kg

Presión: 80 PSI

Cálculo de deflexiones

Tabla 37:

Cálculo de deflexiones carril derecho

ESTACIÓN	LECTURAS DIAL (0.01MM)					TEMPERATURA		FC	FC.	DEFLEXIONES CORREGIDAS (0.01MM)					R. CURV.
KM	R=0	50	100	200	500	Ambiente	Asfalto	TEMP	ESTAC.	R=0	50	100	200	500	m
PUNTO 01 - KM 0+000	200	193	192	192	191	-	-	1	1.2	45.60	12.00	7.20	4.80	0.0	93.01
PUNTO 02 - KM 1+524	200	194	190	190	188	-	-	1	1.2	57.60	28.80	9.60	7.20	0.0	108.51
PUNTO 03 - KM 3+314	200	194	194	190	189	-	-	1	1.2	52.80	21.60	21.60	2.40	0.0	100.16
PUNTO 04 - KM 5+043	200	192	185	183	183	-	-	1	1.2	81.60	43.20	9.60	0.00	0.0	81.38

Nota: En la presente tabla, nos muestra el cálculo de deflexiones medidas con la viga Benkelman.

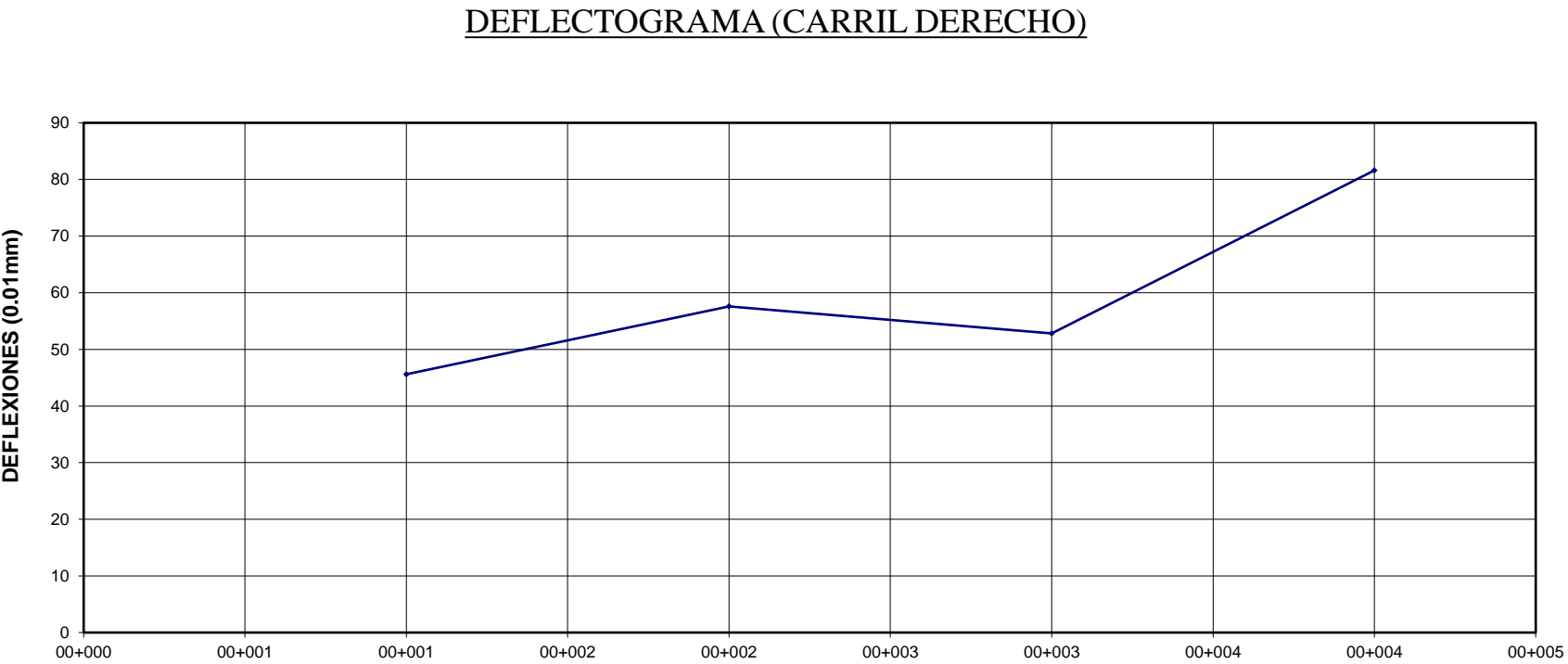
ESTADÍSTICA FINAL

Deflexión Máxima	81.60 (0.01mm)
Deflexión Mínima	45.60 (0.01mm)
Deflexión Media (1)	59.40 (0.01mm)
Desviación Standard (2)	15.60 (0.01mm)
Coeficiente de Variación (3)	26.26 %
Deflexión Característica (4)	85.06 (0.01mm)
Radio de curvatura Máximo:	108.51 m

Tabla de valores frecuente de “a” utilizado

Valor de diseño	a	%>Dc
95	1.645	5

Gráfico 2:
Deflectograma (Carril Derecho)

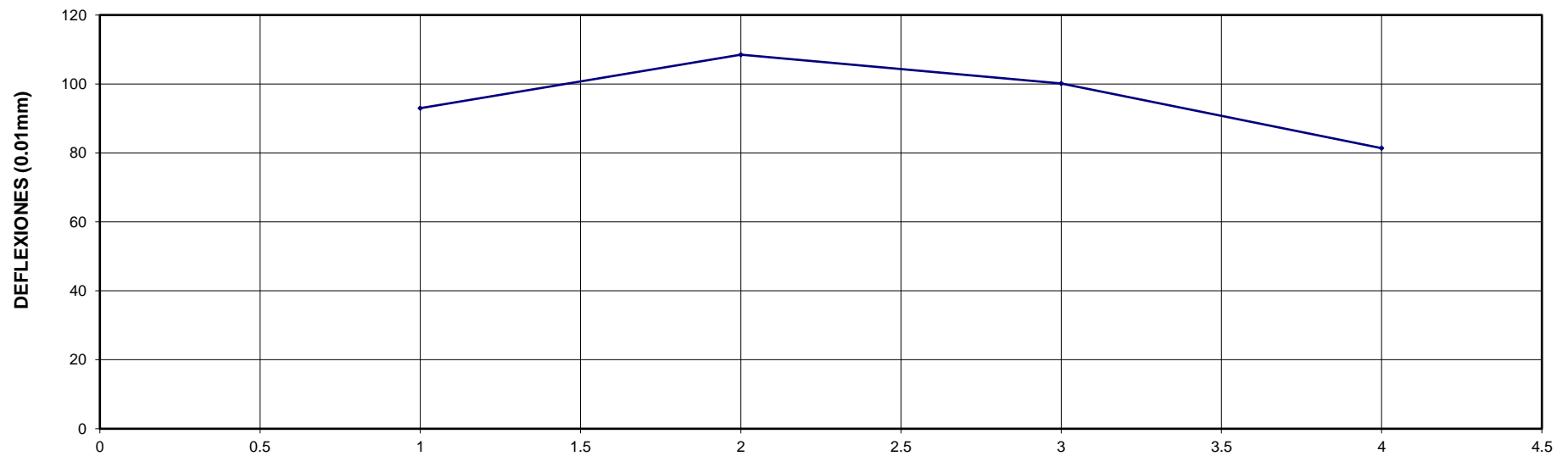


Nota: La presente tabla, nos muestra el deflectograma de toda la trayectoria del carril derecho.

Gráfico 3:

Variación del radio de curvatura (Carril Derecho)

VARIACIÓN DEL RADIO DE CURVATURA (Rc m.)



Nota: La presente tabla, nos muestra la variación del radio de curvatura en toda la trayectoria del carril derecho.

ANÁLISIS DEFLECTOMÉTRICO CON LA VIGA BENKELMAN-CARRIL IZQUIERDO

TRAMO: LA AV. MANSICHE, TRAMO MALL AVENTURA PLAZA – COLEGIO RAMÓN CASTILLA

Relación de brazos

Carril: IZQUIERDO

Fecha: 20-Jun-22

Carga: 8200 kg

Presión: 80 PSI

Cálculo de deflexiones

Tabla 38:

Cálculo de deflexiones carril izquierdo

ESTACIÓN	LECTURAS DIAL (0.01MM)					TEMPERATURA		FC	FC.	DEFLEXIONES CORREGIDAS (0.01MM)					R. CURV.
KM	R=0	50	100	200	500	Ambiente	Asfalto	TEMP	ESTAC.	R=0	50	100	200	500	m
PUNTO 01 - KM 0+000	200	193	192	192	191	-	-	1	1.2	43.20	19.20	0.00	0.00	0.0	130.21
PUNTO 02 - KM 1+524	200	194	190	190	188	-	-	1	1.2	86.40	24.00	19.20	4.80	0.0	50.08
PUNTO 03 - KM 3+314	200	194	194	190	189	-	-	1	1.2	103.20	36.00	2.40	0.00	0.0	46.50
PUNTO 04 - KM 5+043	200	192	185	183	183	-	-	1	1.2	62.40	28.80	4.80	2.40	0.0	93.01

Nota: La presente tabla nos muestra, el cálculo de las deflexiones obtenidas en el carril izquierdo.

ESTADÍSTICA FINAL

Deflexión Máxima	103.20 (0.01mm)
Deflexión Mínima	43.20 (0.01mm)
Deflexión Media (1)	73.80 (0.01mm)
Desviación Standard (2)	26.39 (0.01mm)
Coeficiente de Variación (3)	35.76 %
Deflexión Característica (4)	117.21 (0.01mm)
Radio de curvatura Máximo:	130.21 m

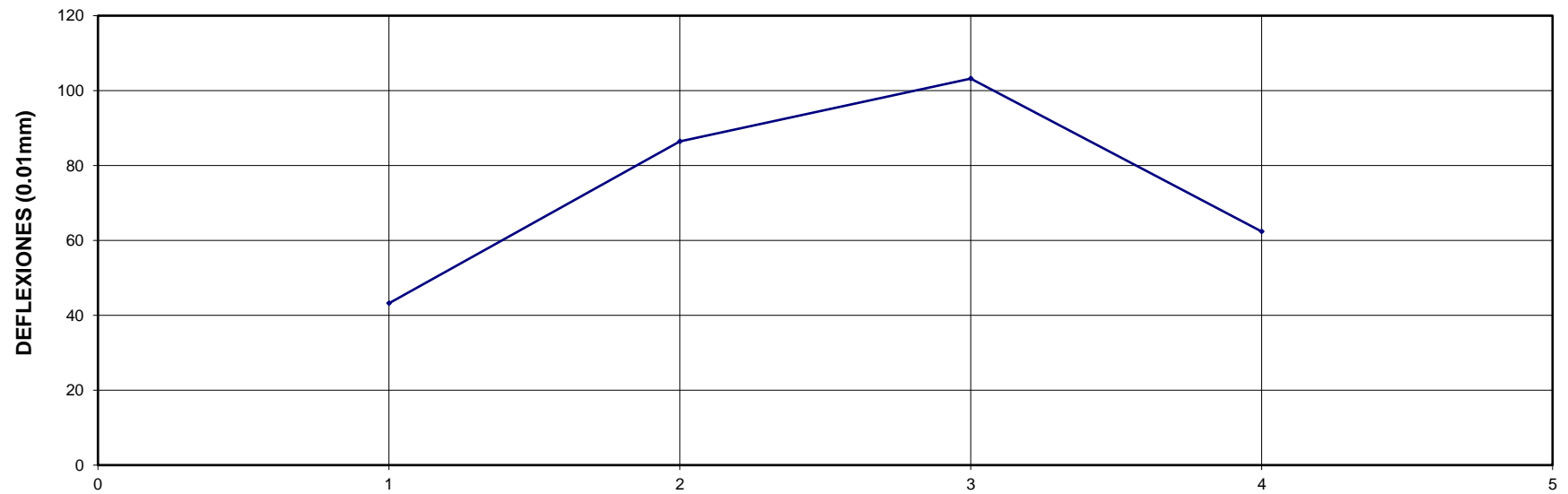
Tabla de valores frecuente de “a” utilizado

Valor de diseño	a	%>Dc
95	1.645	5

Gráfico 4:

Deflectograma (Carril Izquierdo)

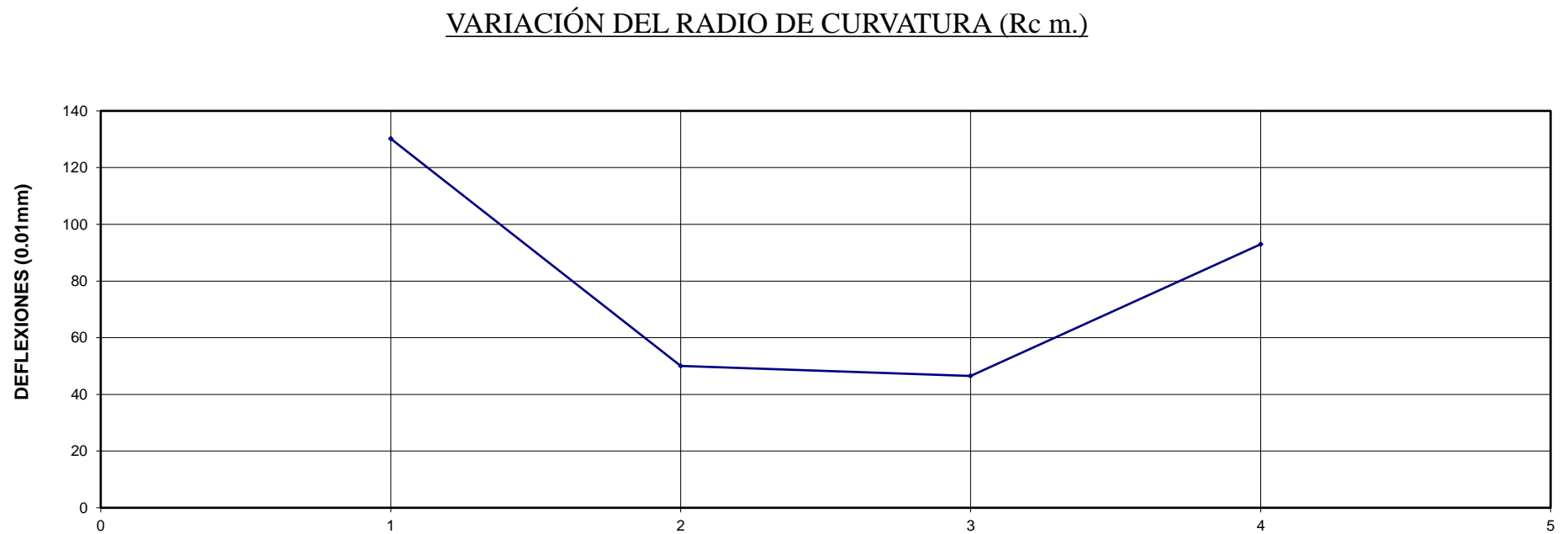
DEFLECTOGRAMA (CARRIL IZQUIERDO)



Nota: La presente tabla, nos muestra el deflectograma de toda la trayectoria del carril izquierdo.

Gráfico 5:

Variación del radio de curvatura (Carril Izquierdo)



Nota: La presente tabla, nos muestra la variación del radio de curvatura en toda la trayectoria del carril izquierda.

3.5.4. Diseño De Espesor De Reforzamiento

Para el diseño del espesor de reforzamiento utilizamos el siguiente gráfico, como se muestra en la **ilustración N°6** (Curvas para el diseño del refuerzo, método del instituto del asfalto) donde ingresamos con el la deflexión característica de cada carril y bajamos hasta encontrar la curva que corresponde con el ESAL e interpolamos.

Datos:

ESAL: 9'000,000.00

Deflexión crítica: 0.055 mm

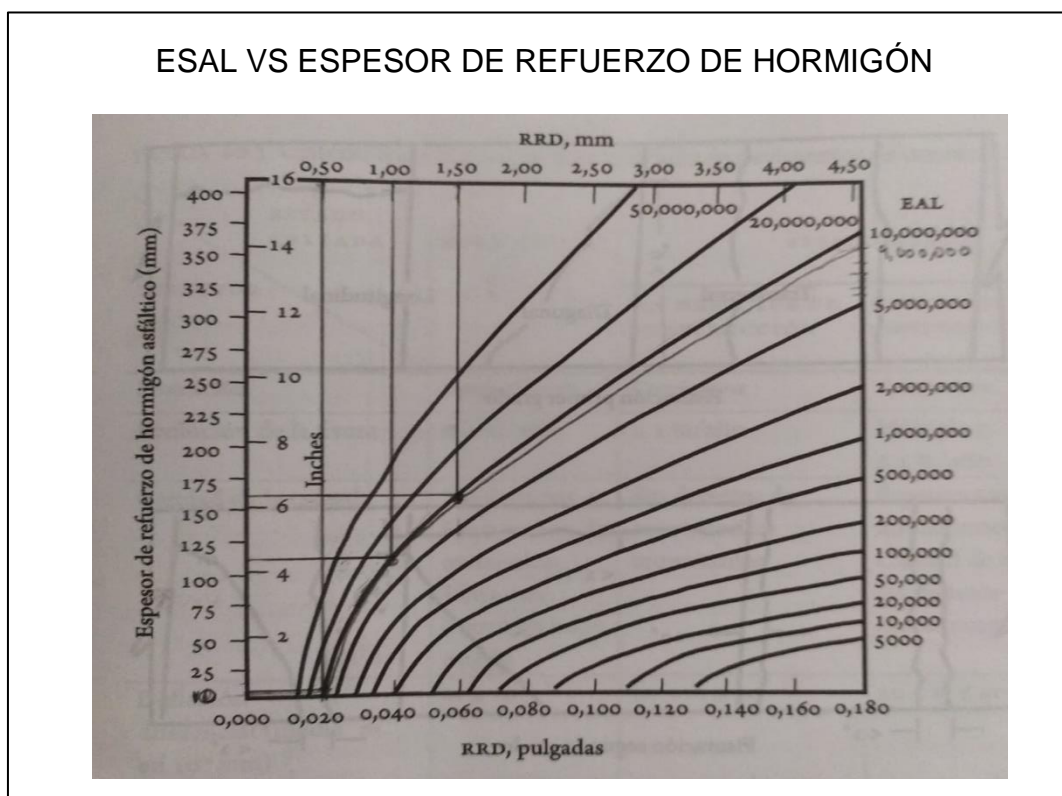
Deflexión característica carril derecho: $85.06 (0.01 \text{ mm}) = 0.8506 \text{ mm}$

Deflexión característica carril izquierdo: $117.21 (0.01\text{mm}) = 1.1721 \text{ mm}$

Ingresamos a la gráfica con los datos obtenidos:

Ilustración 6

Curvas para el diseño del refuerzo, método del instituto del asfalto



Fuente: Gonzalo Fundora Ayuso. (2019). “Conservación de Carreteras”, La Habana, Cuba: Editorial Universitaria Félix Varela.

- Para la deflexión crítica

Aplicamos la fórmula:

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

Donde:

$$N18 = 9'000,000.00$$

Teniendo como resultado que la deflexión crítica es de 0.055 mm.

- Para carril derecho:

Interpolamos con:

INTERPOLACIÓN	
DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA (mm)	refuerzo asfáltico e
1.00	110
0.85	80.12
0.50	0.955

Resultado un espesor de refuerzo de hormigón asfáltico de 80.12 mm.

- Para carril izquierdo:

Interpolamos con:

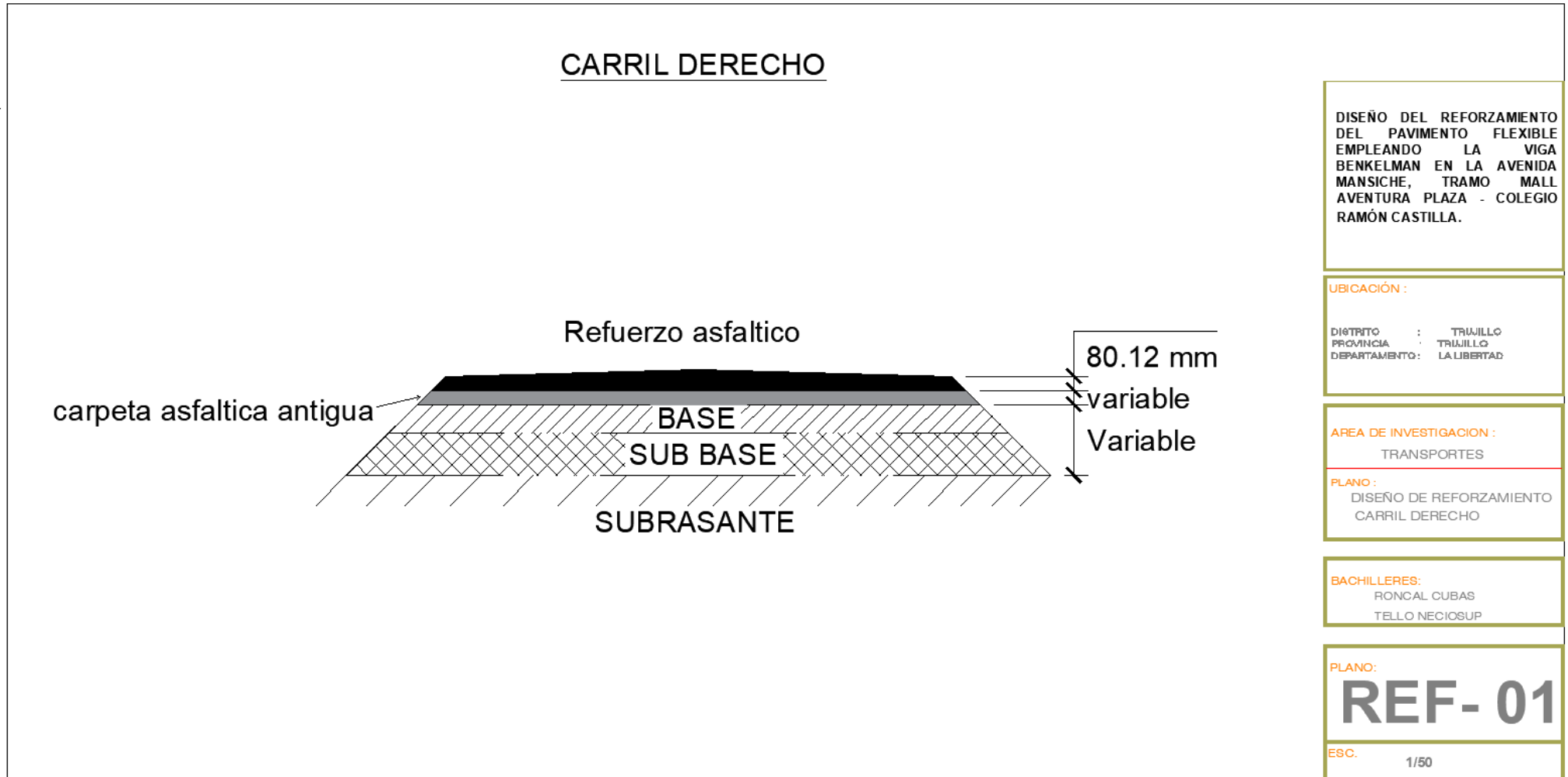
INTERPOLACIÓN	
DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA (mm)	refuerzo asfáltico e
1.50	162.5
1.17	128.07
1.00	110

Resultado un espesor de refuerzo de hormigón asfáltico de 128.07 mm.

3.5.5. Planos De Sección Transversal De Diseño De Reforzamiento

Ilustración 7:

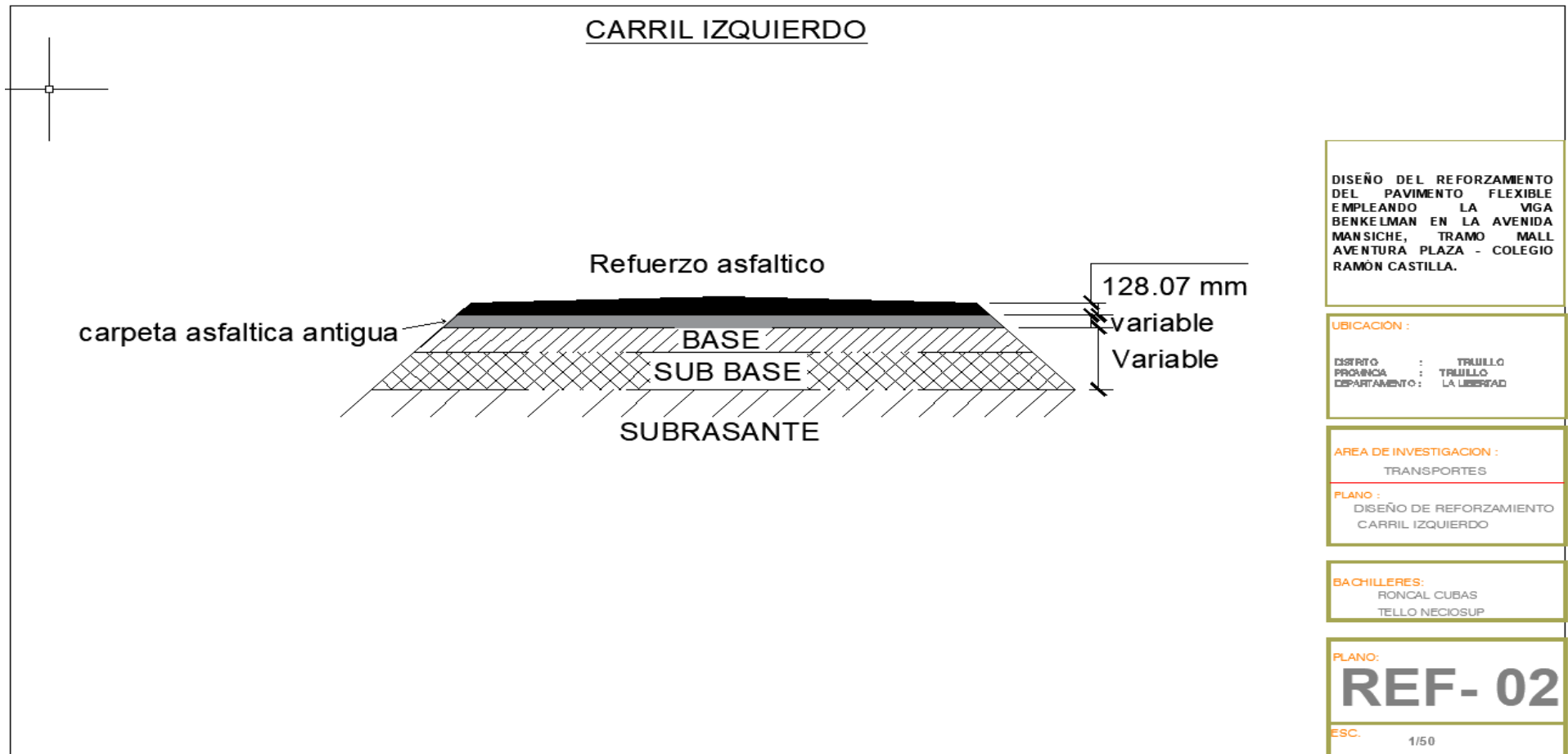
Plano de espesores del carril derecho



Nota: La presente ilustración, nos muestra el espesor de reforzamiento que debería tener la zona de estudio en el carril derecho.

Ilustración 8:

Plano de espesores del carril izquierdo



Nota: La presente ilustración, nos muestra el espesor de reforzamiento que debería tener la zona de estuio en el carril izquierdo.

IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis e interpretación de resultados

- Cálculo de W18

El cálculo de W18, se obtuvo a través del conteo vehicular con una proyección de 20 años, teniendo como resultado 8'442,987 veh/años.

- Cálculo de ESAL de diseño

Una vez obtenido el W18, con este dato se procedió a realizar el cálculo del ESAL de diseño para la vía de estudio, teniendo como resultado 9'000,000.00.

- Metodología del PCI

Se realizó la inspección visual de las fallas presentes en el pavimento de estudio, teniendo como índice de condición del pavimento PCI = 53.15, encontrándose el pavimento en un estado regular.

- Cálculo de Deflexiones

Carril Derecho

Deflexión Característica: 85.06 mm

Radio de Curvatura: 108.51 mm

Carril Izquierdo

Deflexión Característica: 117.21 mm

Radio de Curvatura: 130.21 mm

- Estado Estructural del Pavimento

Estado estructural del pavimento: Malo Tipo IV (mal pavimento y deficiente subrasante).

- Reforzamiento Estructural

- Carril Derecho

- espesor de refuerzo de hormigón asfáltico: 80.12 mm

- Carril Izquierdo
- espesor de refuerzo de hormigón asfáltico: 128.07 mm

V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

- **Cálculo de ESAL de diseño**

El ESAL de 9 millones obtenido en el cálculo se debe a que en el tramo de estudio ha habido un gran incremento de volumen vehicular.

- **Metodología del PCI**

El índice de condición del pavimento (PCI) resulto en un estado regular del pavimento y esto se debe a la presencia de gran variedad de fallas presentes en el pavimento ya que cada una de estar es evaluada y considerada en el método del PCI.

- **Cálculo de Deflexiones**

Las deflexiones obtenidas para ambos carriles se deben al gran desgaste del estado superficial (como pudimos observar en el método del PCI) y estructural del pavimento por la presencia del incremento vehicular en la vía ya que la deflexión característica es mayor a la admisible.

- **Estado Estructural del Pavimento**

Este resultado del estado estructural se debe al cambio brusco del ESAL de diseño ya que para la carga vehicular actual no está debidamente diseñado por lo que su estado de subrasante es deficiente.

- **Reforzamiento Estructural**

El reforzamiento de las capas de hormigón asfáltico calculadas se debe interpretar como una deflexión nueva, correspondiente a un pavimento nuevo, cuyo fallo ocurre al final del periodo para el cual se estima el nuevo tráfico de diseño (ESAL calculado).

CONCLUSIONES

- Podemos concluir que de acuerdo al estudio de tráfico realizado obtenemos un ESAL de 9'000,000.00 para el pavimento flexible de nuestra zona de estudio, teniendo en cuenta una proyección de 20 años, considerando los criterios establecidos en el Manual de Transportes y Comunicaciones.
- Se realizó la inspección visual en la Avenida Mansiche, desde el Mall Aventura Plaza hasta el colegio Ramon Castilla, donde se pudo identificar las fallas superficiales presentes en el pavimento, donde en su mayoría poseen una severidad de estado moderado a alto, teniendo en cuenta la norma ASTM D6433; teniendo como fallas más constantes: Piel de cocodrilo, agrietamientos, grietas longitudinales y transversales, parches, baches, ahuellamientos y desprendimiento de agregados.
- Al realizar el análisis para saber el estado actual del pavimento en la Avenida Mansiche en el tramo de estudio, mediante la metodología del Índice de condición del pavimento, teniendo en cuenta las fallas presentes en la zona, se obtuvo como resultado un **PCI =53.15**, según lo indicado en el manual de aplicación del PCI y la normativa ASTM D6433, el pavimento se encuentra en un estado de conservación **REGULAR**.
- Al realizar el cálculo de las deflexiones empleando la viga Benkelman en el tramo estudio, pudimos determinar que la deflexión característica tanto para el carril derecho como el carril izquierdo fue de 85.06 mm y 117.21 mm respectivamente. Por lo que, de acuerdo a lo indicado en normativa para medir las deflexiones MTC E 1002-2000, obtenemos como resultado que el estado estructural del pavimento en la zona de estudio es **MALO TIPO IV (Mal pavimento con deficiente subrasante)**.

- Para el diseño de reforzamiento estructural, se tomó en consideración lo establecido en el Manual de Transportes y Comunicaciones como las normativas indicadas en nuestra bibliografía, por lo que se procedió a realizar el método de deflexión obteniendo como resultado que se debería aplicar un refuerzo de hormigón asfáltico para el carril derecho de un espesor de 80.12mm y para el carril izquierdo de 128.07mm.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar el reforzamiento de la capa de rodadura ya que los cálculos obtenidos en la presente tesis están actualizados del parque automotor y proyectados a 20 años.
- Por otro lado, también se recomienda realizar un estudio más detallado de la subrasante ya que en el análisis realizado con la viga Benkelman dio como resultado un comportamiento deficiente de la misma; perjudicando directamente a la población siendo esta una vía principal comercial con una alta carga vehicular con cada año en incremento.
- Se recomienda realizar un análisis más detallado de toda la capa estructural del pavimento, para conocer los espesores actuales de su carpeta estructural y así poder analizar si aún está en su vida útil las dimensiones van con el estudio de tráfico actual.
- Se debe realizar un mantenimiento frecuente de la vía de estudio, debido a que la mayoría de las fallas encontradas se encuentran en estado de medio a muy alto y como además las zonas reparadas con anterioridad de encuentran a su vez desgastadas y con nuevas fallas estructurales.
- Como otra opción se recomendaría volver a realizar todo el diseño de la carpeta asfáltica con los nuevos datos del ESAL y el correcto estudio de CBR del suelo para así garantizar el correcto comportamiento del pavimento expuesto a esas cargas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

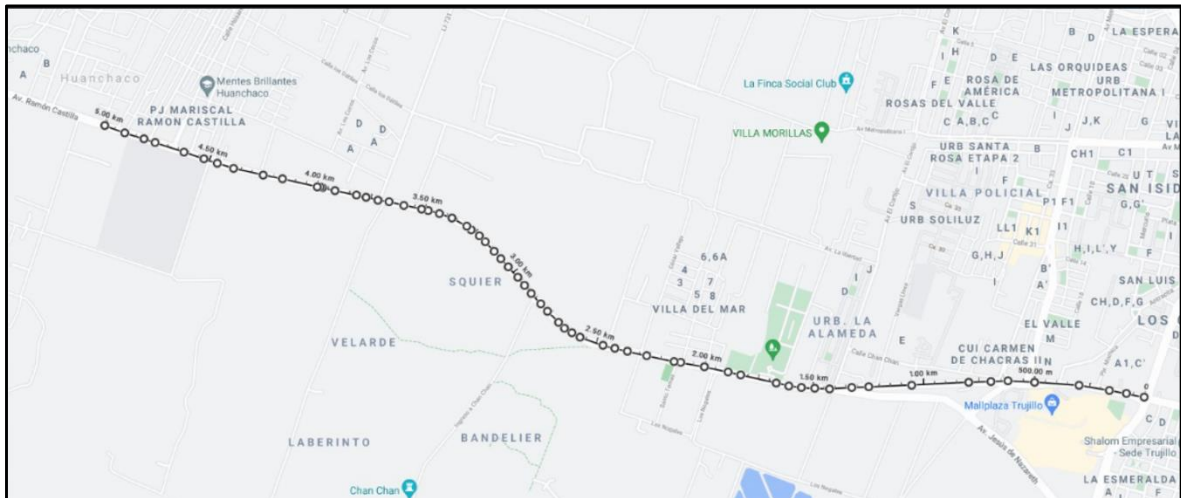
- Ávila y Albarracín. (2014). *Evaluación de pavimentos en base a métodos no destructivos y análisis inverso, caso de estudio: vía chicti – Sevilla de oro*. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca.
- Azaña Sal y Rosas y Gonzales Fernández. (2019). *Evaluación estructural de pavimentos asfálticos en la carretera Huaraz Casma, Km 132+000 al 137+000, utilizando la viga Benkelman*. Huaraz, Perú: Universidad Cesar Vallejo.
- ACESA (2015), “*Conservación y rehabilitación estructurales de pavimentos de aglomerado asfáltico sobre bases granulares o aglomeradas con cemento*”, Autopistas, Concesionaria Española S.A., Barcelona.
- Balarezo Zapata. (2017). *Evaluación estructural usando viga Benkelman aplicada a un pavimento*. Piura, Perú: Universidad de Piura.
- Cubas (2017). *Comportamiento estructural del pavimento flexible en la vía de evitamiento sur – Cajamarca utilizando las deflexiones medidas con la Viga Benkelman*, Trujillo: Universidad Privada Del Norte.
- Gonzalo Fundora Ayuso. (2019). “*Conservación de Carreteras*”, La Habana, Cuba: Editorial Universitaria Félix Varela.
- Díaz Tirado. (2021). *Evaluación del estado de conservación del pavimento flexible de la avenida Víctor Andrés Belaunde, en la urbanización el Bosque-Trujillo, aplicación el método índice de condición del pavimento (PCI)*. Trujillo, Perú: Universidad Privada Antenor Orrego.
- Juan Antonio V Aleriano Inocente. (2000). “*Degradaciones en los pavimentos revestidos con asfalto en Lima y Callao. alternativas de solución para su rehabilitación y mantenimiento*”. Lima: Universidad Nacional De Ingeniería.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Lima: MTC.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Glosario de Términos*. En *Proyectos De Infraestructura Vial (27)*. Lima, Perú: MTC.

- Montejo Fonseca (2005). *“Ingeniería de Pavimentos para carreteras, 2° edición”*. Colombia: Universidad Católica de Colombia).
- Sánchez Bravo. (2021). *“Diseño estructural del pavimento para mejorar su transitabilidad en la Av. El Sol de AA.HH. Víctor Raul Haya de la Torre – La Esperanza – Trujillo – La Libertad”*. Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego.
- Vásquez Varela (2002). *“Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y concreto en carreteras”*. Manizales: Ingeniería de pavimentos (ingepav).

ANEXOS

Ilustración 9

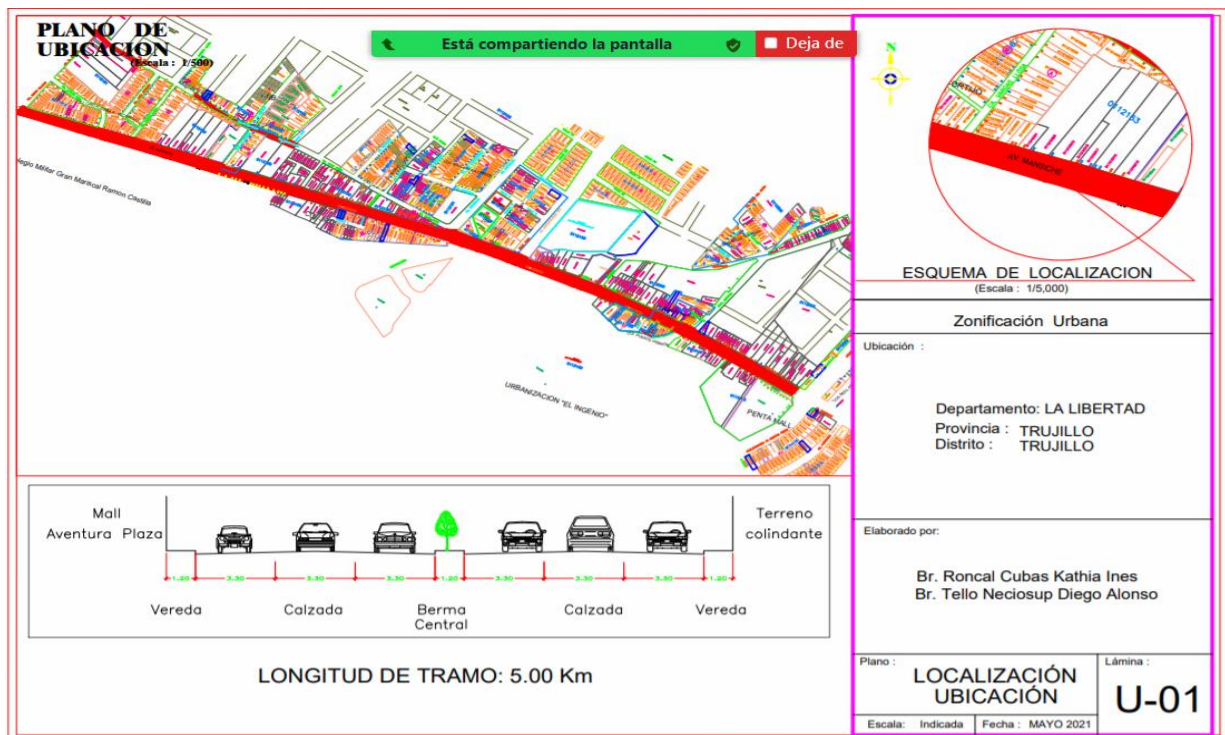
Ubicación Geográfica del Tramo



Fuente: Google Maps, 2022

Ilustración 10

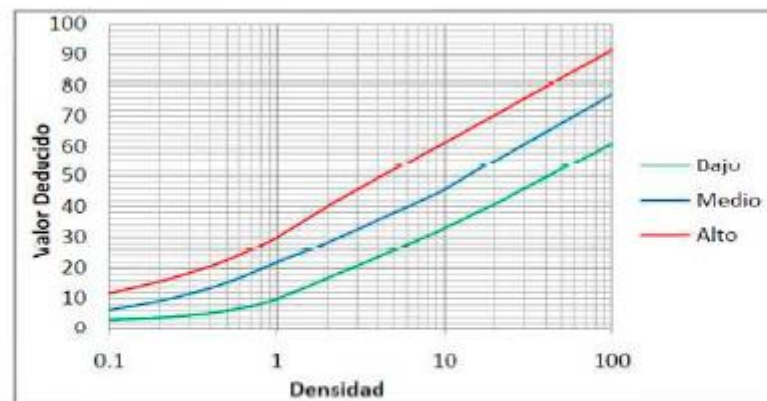
Plano de Ubicación



Nota: En la presente ilustración se muestra la ubicación de la zona de estudio.

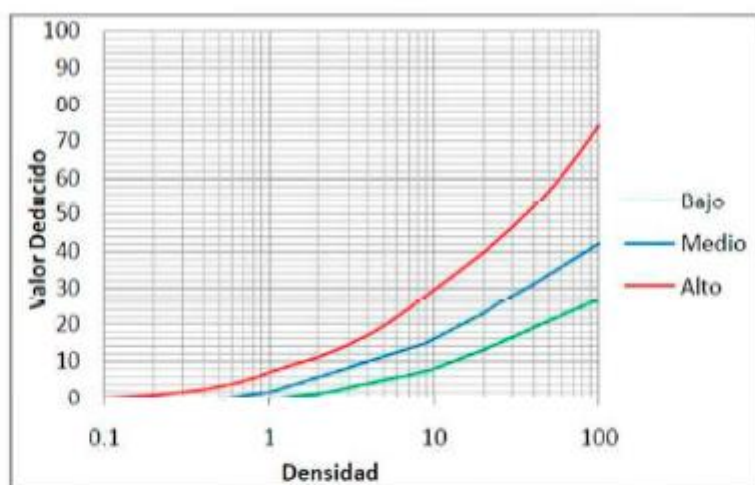
- Curvas y ábacos para pavimentos asfálticos:

1. PIEL DE COCODRILO:



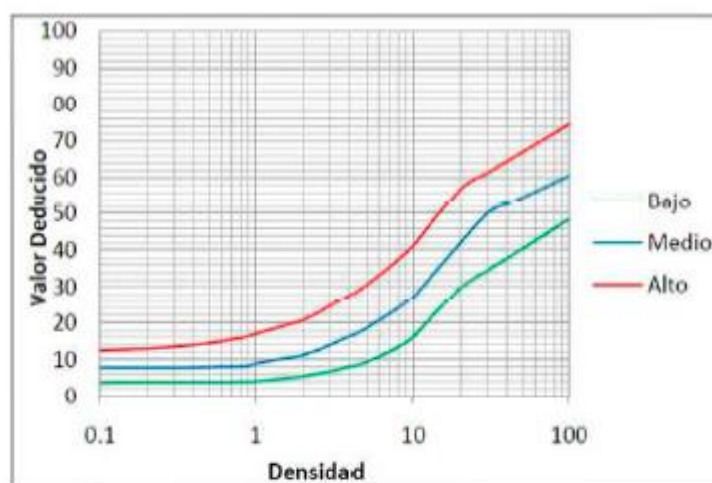
Densidad	Valor Deducido		
	L	M	H
0.10	3.10	6.40	11.80
0.20	3.80	9.30	15.60
0.30	4.60	11.60	18.40
0.40	5.30	13.50	20.60
0.50	6.10	15.30	22.60
0.60	6.90	16.80	24.30
0.70	7.60	18.30	25.90
0.80	8.40	19.70	27.30
0.90	9.10	20.90	28.60
1.00	9.90	22.00	29.90
2.00	16.70	28.20	40.05
3.00	20.70	32.50	45.50
4.00	23.60	35.60	49.30
5.00	25.80	38.00	52.20
6.00	27.60	39.90	54.60
7.00	29.10	41.60	56.70
8.00	30.50	43.00	58.40
9.00	31.60	44.30	60.00
10.00	33.00	45.60	61.30
20.00	40.80	55.40	70.40
30.00	45.90	60.90	75.80
40.00	49.50	64.80	79.50
50.00	52.40	67.80	82.50
60.00	54.70	70.20	84.90
70.00	56.60	72.30	86.90
80.00	58.30	74.10	88.60
90.00	59.80	75.70	90.20
100.00	61.10	77.10	91.60

3. AGRIETAMIENTO EN BLOQUE:



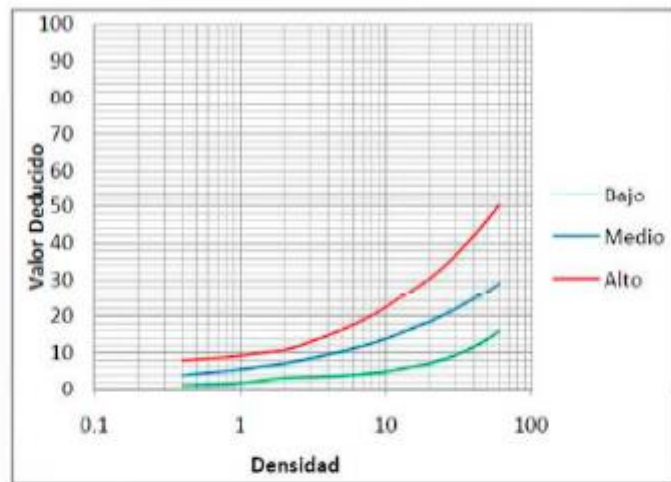
Densidad	Valor Deducido		
	L	M	H
0.10	-	-	0.20
0.20	-	-	0.90
0.30	-	-	1.70
0.40	-	-	2.40
0.50	-	-	3.20
0.60	-	0.40	3.90
0.70	-	0.80	4.70
0.80	-	1.20	5.40
0.90	-	1.50	6.20
1.00	-	1.70	7.00
2.00	1.30	5.80	11.10
3.00	2.90	8.20	14.30
4.00	4.10	10.00	17.00
5.00	5.00	11.30	19.50
6.00	5.70	12.50	21.90
7.00	6.30	13.40	24.00
8.00	6.90	14.20	26.10
9.00	7.40	14.90	28.00
10.00	8.00	16.00	29.50
20.00	13.10	22.90	39.60
30.00	16.50	28.00	46.40
40.00	19.00	31.10	51.90
50.00	20.90	33.80	56.60
60.00	22.40	35.90	60.80
70.00	23.70	37.70	64.60
80.00	24.80	39.30	68.00
90.00	25.80	40.70	71.20

6. DEPRESIÓN:



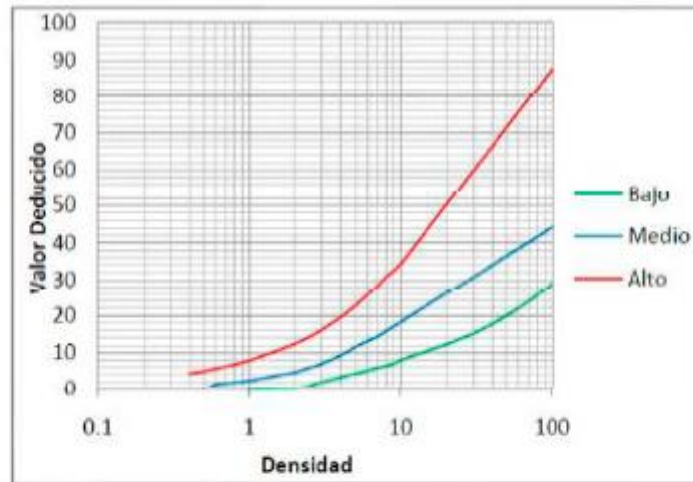
Densidad	Valor Deducido		
	L	M	H
0.10	3.80	7.80	12.60
0.20	3.90	7.80	13.00
0.30	3.90	7.80	13.50
0.40	3.90	7.90	14.00
0.50	3.90	8.00	14.50
0.60	3.90	8.10	15.00
0.70	4.00	8.10	15.50
0.80	4.00	8.20	15.90
0.90	4.00	8.30	16.40
1.00	4.10	9.00	17.00
2.00	5.40	11.20	20.70
3.00	6.80	14.00	24.60
4.00	8.10	16.40	27.80
5.00	9.40	18.60	30.60
6.00	10.80	20.60	33.10
7.00	12.10	22.40	35.40
8.00	13.50	24.10	37.50
9.00	14.80	25.70	39.40
10.00	16.20	27.30	41.30
20.00	29.80	42.00	56.90
30.00	34.50	50.30	61.30
40.00	37.80	52.70	64.50
50.00	40.40	54.60	66.90
60.00	42.50	56.20	68.90
70.00	44.30	57.50	70.60
80.00	45.90	58.60	72.00
90.00	47.20	59.60	73.30
100.00	48.40	60.50	74.50

7. GRIETA DE BORDE:



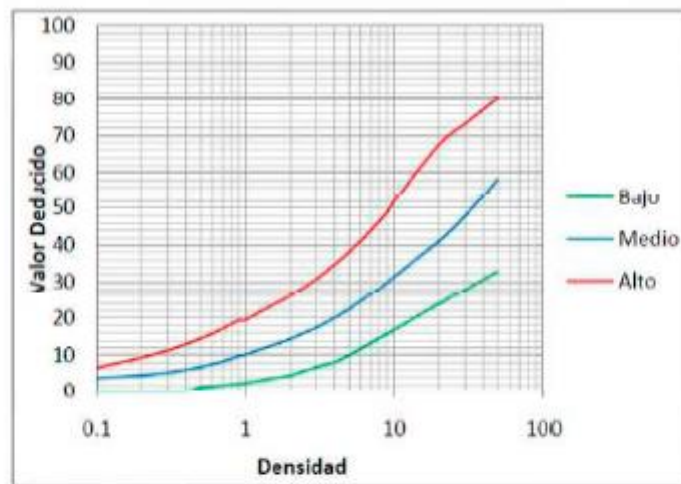
Densidad	Valor Deducido		
	L	M	H
0.10	-	-	-
0.20	-	-	-
0.30	-	-	-
0.40	1.20	3.90	7.90
0.50	1.20	4.30	8.20
0.60	1.30	4.60	8.40
0.70	1.40	4.80	8.60
0.80	1.50	5.10	8.80
0.90	1.60	5.30	9.00
1.00	1.70	5.50	9.20
2.00	3.20	7.10	10.70
3.00	3.40	8.40	12.90
4.00	3.60	9.50	14.70
5.00	3.80	10.40	16.20
6.00	4.00	11.20	17.60
7.00	4.30	11.90	18.90
8.00	4.50	12.60	20.10
9.00	4.70	13.20	21.20
10.00	4.90	13.80	22.30
20.00	7.10	18.40	30.50
30.00	9.30	21.80	36.70
40.00	11.50	24.60	41.90
50.00	13.70	26.90	46.40
60.00	15.90	29.10	50.40
70.00	-	-	-
80.00	-	-	-
90.00	-	-	-
100.00	-	-	-

10. GRIETAS LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL:



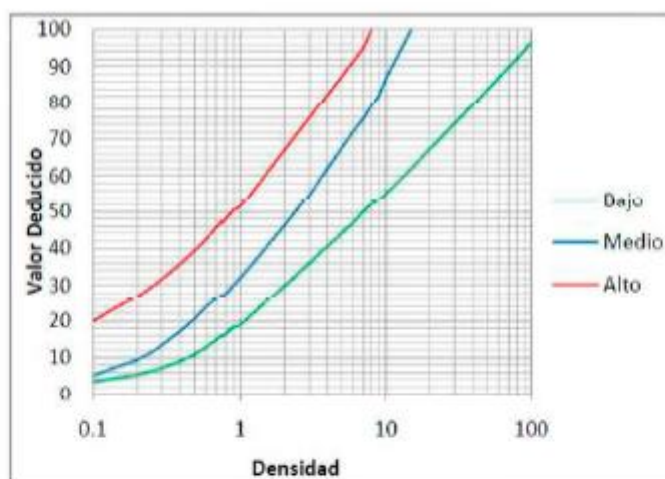
Densidad	Valor Deducido		
	L	M	H
0.10	-	-	-
0.20	-	-	-
0.30	-	-	-
0.40	-	-	4.30
0.50	-	-	4.90
0.60	-	1.40	5.60
0.70	-	1.70	6.20
0.80	-	1.90	6.70
0.90	-	2.10	7.30
1.00	-	2.40	7.80
2.00	0.10	4.60	12.30
3.00	2.00	6.90	16.10
4.00	3.30	9.20	19.50
5.00	4.30	11.50	22.60
6.00	5.10	13.00	25.50
7.00	5.80	14.30	28.20
8.00	6.40	15.80	30.80
9.00	7.00	17.10	32.50
10.00	8.00	18.30	34.30
20.00	12.20	26.10	50.30
30.00	15.10	30.60	59.70
40.00	17.70	33.90	66.30
50.00	19.90	36.40	71.50
60.00	22.00	38.40	75.70
70.00	23.90	40.10	79.30
80.00	25.60	41.60	82.30
90.00	27.30	43.00	85.10
100.00	28.90	44.20	87.50

11. PARCHEO Y ACOMETIDAS:



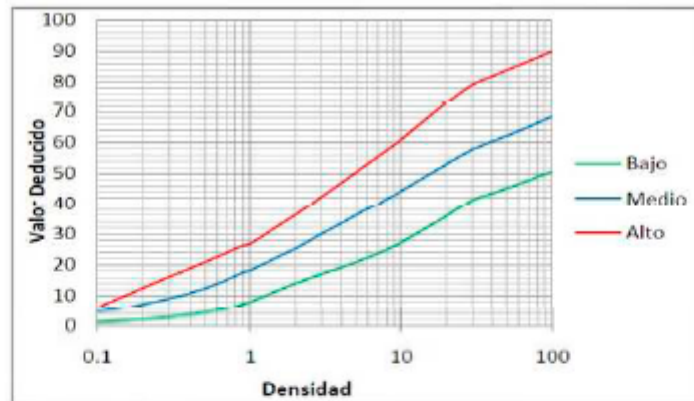
Densidad	Valor Deducido		
	L	M	H
0.10	-	3.70	6.50
0.20	-	4.50	9.20
0.30	-	5.20	11.20
0.40	-	6.00	12.90
0.50	1.20	6.70	14.40
0.60	1.40	7.50	15.80
0.70	1.60	8.20	17.10
0.80	1.90	9.00	18.30
0.90	2.10	9.70	19.40
1.00	2.30	10.10	19.40
2.00	4.40	14.30	26.00
3.00	6.60	17.40	30.80
4.00	8.00	20.10	34.80
5.00	9.90	22.40	38.20
6.00	11.70	24.60	41.20
7.00	13.20	26.50	44.00
8.00	14.60	28.30	46.50
9.00	15.70	30.00	48.90
10.00	16.80	31.50	52.00
20.00	23.70	41.00	67.50
30.00	27.80	47.90	73.10
40.00	30.70	53.40	77.00
50.00	32.90	58.20	80.10
60.00	-	-	-
70.00	-	-	-
80.00	-	-	-
90.00	-	-	-
100.00	-	-	-

13. HUNDIMIENTOS:



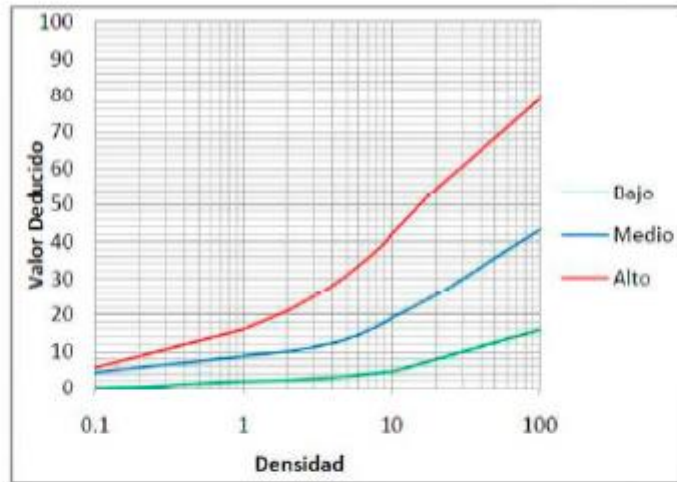
Densidad	Valor Deducido		
	L	M	H
0.10	3.50	5.20	19.90
0.20	5.30	9.40	26.70
0.30	7.20	13.40	31.70
0.40	9.10	17.20	35.80
0.50	10.90	20.50	39.40
0.60	12.80	23.90	42.50
0.70	14.60	25.90	45.40
0.80	16.50	27.80	48.00
0.90	18.30	30.00	50.50
1.00	18.80	32.00	51.40
2.00	29.70	46.00	66.90
3.00	36.10	55.00	76.00
4.00	40.60	62.10	82.40
5.00	44.10	67.60	87.40
6.00	46.90	72.10	91.50
7.00	50.00	75.50	95.00
8.00	52.00	79.10	100.00
9.00	53.30	82.00	-
10.00	55.00	86.50	-
15.00	62.00	100.00	-
30.00	74.30	-	-
40.00	79.50	-	-
50.00	83.60	-	-
60.00	87.00	-	-
70.00	89.80	-	-
80.00	92.20	-	-
90.00	94.40	-	-
100.00	96.30	-	-

15. AHUELLAMIENTOS:



Densidad	Valor Deducido		
	L	M	H
0.10	1.10	4.60	6.00
0.20	2.00	7.10	12.40
0.30	2.80	9.00	16.10
0.40	3.60	10.80	18.80
0.50	4.30	12.30	20.80
0.60	5.10	13.80	22.50
0.70	5.80	15.10	23.90
0.80	6.50	16.40	25.20
0.90	7.20	17.60	26.20
1.00	7.90	18.20	26.70
2.00	14.00	25.30	36.20
3.00	17.10	30.10	42.40
4.00	19.10	33.40	46.80
5.00	20.80	36.10	50.20
6.00	22.30	38.20	53.00
7.00	23.60	39.80	55.30
8.00	24.90	41.60	57.40
9.00	26.00	42.90	59.20
10.00	27.10	44.20	60.80
20.00	35.80	53.00	73.00
30.00	41.40	57.90	79.30
40.00	43.40	60.30	81.80
50.00	45.10	62.10	83.80
60.00	46.50	63.70	85.40
70.00	47.70	65.10	86.80
80.00	48.80	66.30	87.90
90.00	49.70	67.40	89.00
100.00	50.60	68.40	89.90

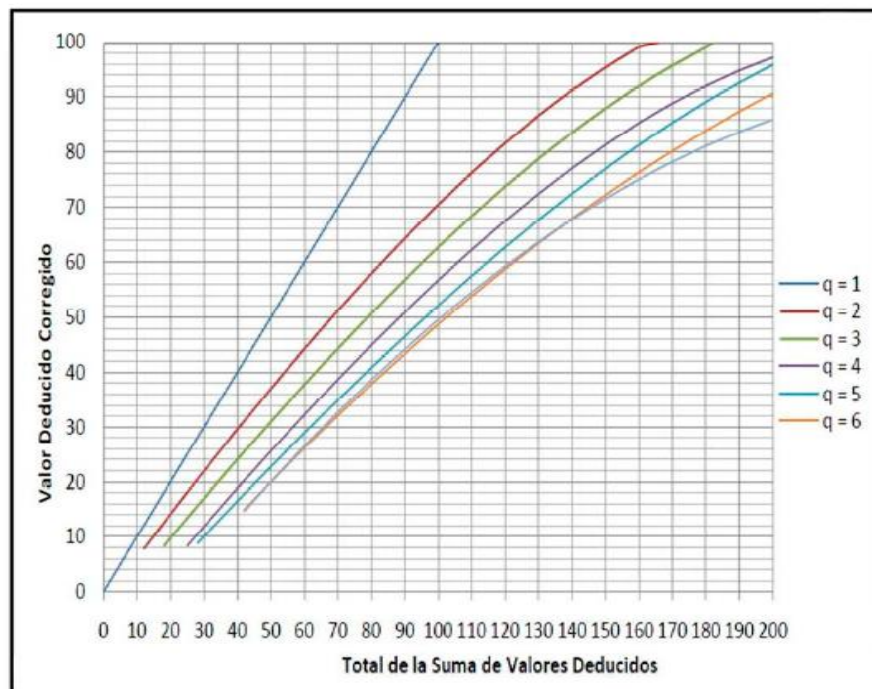
19. DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS:



Densidad	Valor Deducido		
	L	M	H
0.10	0.30	4.40	5.70
0.20	0.40	5.70	8.80
0.30	0.80	6.50	10.60
0.40	1.20	7.00	11.90
0.50	1.40	7.40	12.90
0.60	1.60	7.80	13.70
0.70	1.70	8.10	14.40
0.80	1.90	8.30	15.00
0.90	2.00	8.50	15.50
1.00	2.00	8.90	16.00
2.00	2.30	10.00	21.00
3.00	2.70	11.20	24.90
4.00	3.00	12.30	28.20
5.00	3.30	13.40	30.90
6.00	3.70	14.50	33.40
7.00	4.00	15.70	35.60
8.00	4.30	16.80	37.70
9.00	4.60	17.90	39.60
10.00	4.60	19.00	42.00
20.00	8.00	25.30	54.50
30.00	10.00	29.90	60.60
40.00	11.40	33.10	65.00
50.00	12.50	35.60	68.40
60.00	13.40	37.60	71.10
70.00	14.10	39.30	73.50
80.00	14.80	40.80	75.50
90.00	15.30	42.10	77.30
100.00	15.80	43.30	78.90

- Corrección de valores deducidos para pavimentos flexibles

TOTAL DE VALORES DEDUCIDOS	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO						
	q1	q2	q3	q4	q5	q6	q7
0.0	0.0						
10.0	10.0						
12.0	12.0	8.0					
18.0	18.0	12.5	8.0				
20.0	20.0	14.0	10.0				
25.0	25.0	18.0	13.5	8.0			
28.0	28.0	20.4	15.6	10.4	8.0		
30.0	30.0	22.0	17.0	12.0	10.0		
40.0	40.0	30.0	24.0	19.0	17.0		
42.0	42.0	31.4	25.4	20.4	18.2	15.0	15.0
50.0	50.0	37.0	31.0	26.0	23.0	20.0	20.0
60.0	60.0	44.0	38.0	33.0	29.0	26.0	26.0
70.0	70.0	51.0	44.5	39.0	35.0	32.0	32.0
80.0	80.0	58.0	50.5	45.0	41.0	38.0	38.0
90.0	90.0	64.0	57.0	51.0	46.0	44.0	44.0
100.0	100.0	71.0	63.0	57.0	52.0	49.0	49.0
110.0		76.0	68.0	62.0	57.0	54.0	54.0
120.0		81.0	73.0	68.0	62.0	59.0	59.0
130.0		86.0	78.5	73.0	67.0	63.0	63.0
135.0		88.5	81.5	75.5	69.5	65.0	65.0
140.0		91.0	84.0	78.0	72.0	68.0	67.0
150.0		94.0	88.0	82.0	76.0	72.0	70.0
160.0		98.0	93.0	86.0	81.0	76.0	74.0
166.0		100.0	94.8	88.4	83.4	79.0	75.2
170.0			96.0	90.0	85.0	81.0	76.0
180.0			99.0	93.0	88.0	84.0	79.0
182.0			100.0	93.6	88.6	84.8	79.6
190.0				96.0	91.0	88.0	82.0
200.0				98.0	94.0	90.0	84.0



- Fallas encontradas en el tramo de estudio:



Falla Piel de Cocodrilo - Leve



Falla Piel de Cocodrilo - Alto



Falla Piel de Cocodrilo- Moderada



Falla Piel de Cocodrilo – Alto / Bache – Alto / Desprendimiento de Agregado - Moderado



Falla Piel de Cocodrilo – Moderado / Bache – Moderado / Desprendimiento de Agregado – Moderado / Grietas - Moderadas



Falla Desprendimiento de Agregado – Leve / Grietas – Leve /Bache -Leve



Falla Bache – Leve / Desprendimiento de Agregado - Leve



Falla Baches - Leve



Falla Baches - Leve



Falla Baches – Leve / Parches - Moderado



Falla Parches – Alto en mal estado



Falla Parches - Leve



Falla Parches – Leve / Desprendimiento de Agregado - Moderado



Falla Desprendimiento de Agregado - Moderado / Parches - Moderado



Falla Desprendimiento de Agregado - Moderado



Falla Grietas Longitudinales – Leve / Desprendimiento de Agregado - Leve



Falla Piel de Cocodrilo – Leve / Desprendimiento de Agregado Moderado / Grietas Longitudinales Transversales – Moderadas.



Falla Parches – Leve / Desprendimiento de Agregado – Leve / Baches - Leve



Falla Parches – Leve / Desprendimiento de Agregado - Leve



Falla Baches – Moderado / Desprendimiento de Agregado - Alto



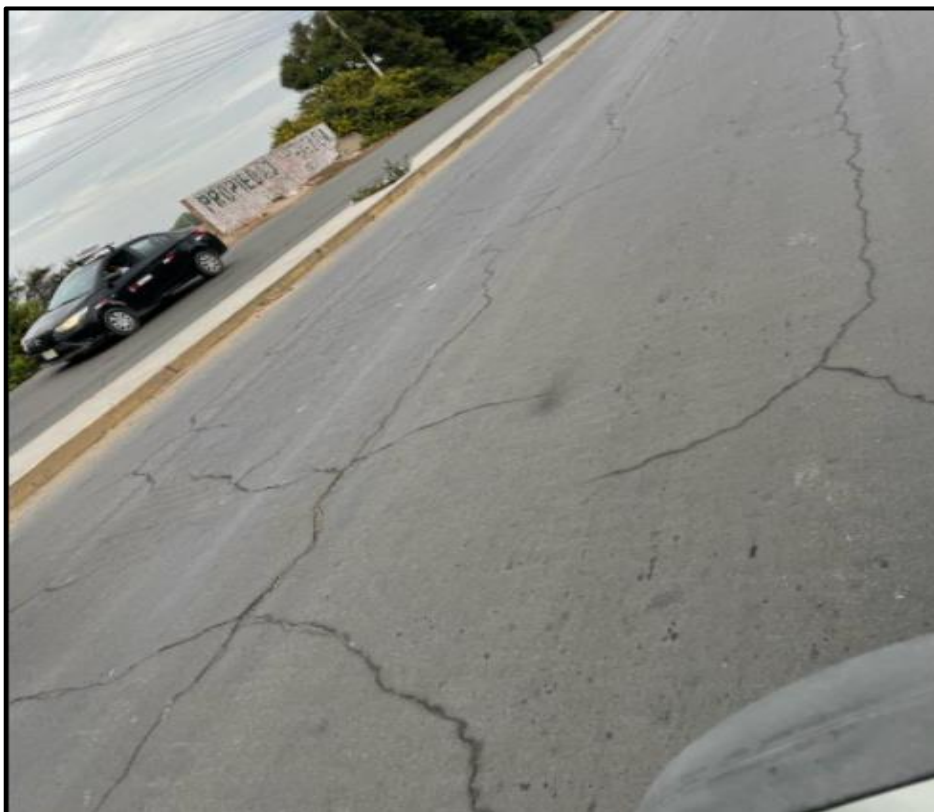
Falla Piel de Cocodrilo – Moderado / Desprendimiento de Agregado – Alto / Grietas Longitudinales y Transversales - Moderada



Falla Piel de Cocodrilo – Moderado / Grietas en Bloque – Moderado / Baches - Leve



Falla Desprendimiento de Agregado – Leve / Grietas Longitudinales y Transversales - Leves



Falla Grietas Longitudinales y Transversales - Alto



Falla Grietas en Bloque- Alto



Falla Grietas en Bloque Alto



Falla Grietas Longitudinales y Transversales Moderadas



Falla Grietas Longitudinales y Transversales – Alto / Desprendimiento de Agregado - Leve



Falla Grietas Longitudinales y Transversales Moderadas



Falla Grietas Longitudinales y Transversales - Alto / Ahuellamiento Moderado



Falla Grietas Longitudinales y Transversales - Leve / Ahuellamiento Alto



Falla Grietas Longitudinales y Transversales - Moderado / Ahuellamiento Alto



Falla Grietas Longitudinales y Transversales - Leve / Ahuellamiento Alto / Desprendimiento de Agregado Moderado



Falla Grietas Longitudinales y Transversales - Alto / Bache – Alto / Desprendimiento de Agregado – Alto / Piel de Cocodrilo - Moderado



*Falla Grietas Longitudinales y Transversales - Alto / Baches – Alto /
Desprendimiento de Agregados - Moderado*



*Falla Grietas Longitudinales y Transversales - Leve / Bache – Alto /
Desprendimiento de Agregado – Alto / Piel de Cocodrilo - Alto*



*Falla Grietas Longitudinales y Transversales - Moderadas / Bache – Alto /
Desprendimiento de Agregado – Alto / Piel de Cocodrilo - Alto*



*Falla Grietas Longitudinales y Transversales - Moderadas / Bache – Alto /
Desprendimiento de Agregado – Alto / Piel de Cocodrilo - Alto*



Falla Grietas Longitudinales y Transversales - Moderadas / Bache – Alto / Desprendimiento de Agregado – Alto / Piel de Cocodrilo - Alto



Falla Grietas Longitudinales y Transversales - Alto / Bache – Alto / Desprendimiento de Agregado – Moderado.



Falla Bache – Moderado / Desprendimiento de Agregado – Alto.



Falla Desprendimiento de Agregado – Moderado / Ahuellamiento -Moderado.



Falla Desprendimiento de Agregado – Moderado / Ahuellamiento -Moderado.



Falla Desprendimiento de Agregado – Leve / Ahuellamiento -Moderado / Grietas Longitudinales y Transversales - Alto



Falla Desprendimiento de Agregado – Leve / Ahuellamiento -Moderado / Grietas Longitudinales y Transversales – Alto



Falla Desprendimiento de Agregado – Leve / Grietas Longitudinales y Transversales – Alto



Falla Ahuellamiento – Alto



Falla Ahuellamiento – Alto / Desprendimiento de Agregado - Moderado



Falla Ahuellamiento – Moderado / Desprendimiento de Agregado - Moderado / Grietas Longitudinales y Transversales – Alto



Falla Desprendimiento de Agregado - Moderado / Grietas Longitudinales y Transversales – Moderadas



Falla Desprendimiento de Agregado - Moderado / Grietas Longitudinales y Transversales – Moderadas



Falla Desprendimiento de Agregado - Alto / Baches – Moderado



Falla Desprendimiento de Agregado – Moderado



Falla Ahuellamiento – Alto



Ensayo Km 0+000 - Carril Derecho



Ensayo Km 0+000 - Carril Izquierdo



Ensayo Km 1+524 - Carril Derecho



Ensayo Km 1+524 - Carril Izquierdo



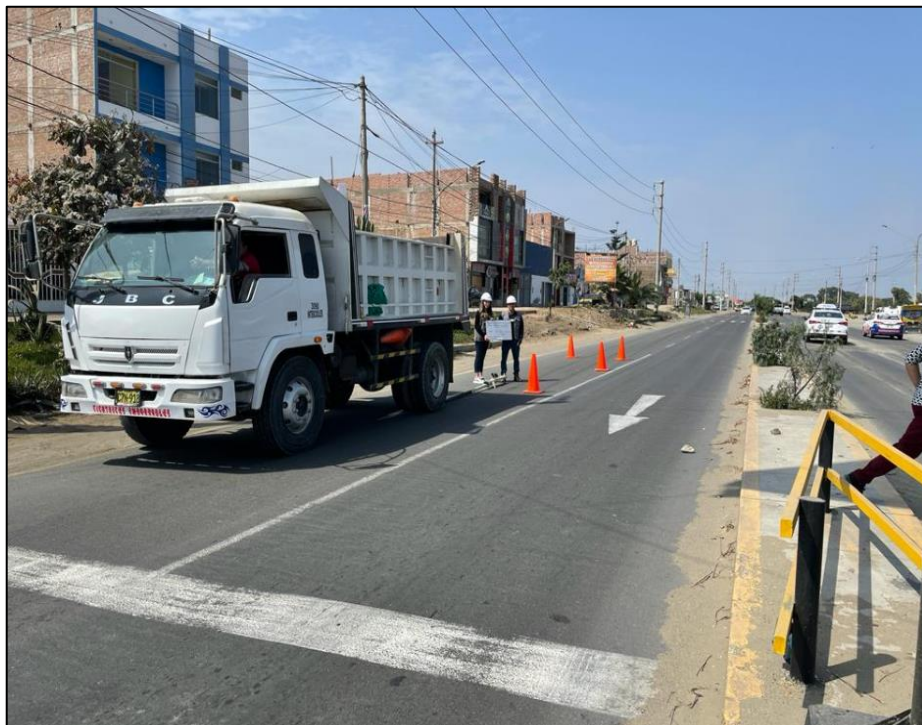
Ensayo Km 3+314 - Carril Derecho



Ensayo Km 3+314 - Carril Izquierdo



Ensayo Km 5+043 - Carril Derecho



Ensayo Km 5+043 - Carril Izquierdo