

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“EVALUACION DE LAS DEFLEXIONES DE LA VIA DE
EVITAMIENTO PANAMERICANA NORTE KM 578 AL KM 583,
UTILIZANDO LA VIGA DE BENKELMAN”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: TRANSPORTES**

AUTORES:

BR. ESCOBEDO RUBIO, JHORDAN BRAYAN

BR. HERRERA AGUILAR, DIEGO ALONSO

ASESOR:

ING. ROLANDO OCHOA ZEVALLOS

TRUJILLO - PERÚ

2017

PRESENTACIÓN

Señores Miembros del jurado: De conformidad y en cumplimiento de los requisitos estipulados en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego, es grato poner a vuestra consideración, el presente trabajo de investigación titulado: Evaluación de las deflexiones de la vía de evitamiento panamericana norte km 578 al km 583, utilizando la viga de Benkelman”, con el propósito de obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil.

El contenido de la presente tesis ha sido desarrollado considerando las normas establecidas en el Reglamento Nacional de Infraestructura Vial, normas técnicas según la línea de investigación, aplicación de conocimientos adquiridos durante la formación profesional en la universidad, consulta de fuentes bibliográficas especializadas y con la experiencia del asesor.

BR. ESCOBEDO RUBIO JHORDAN

BR. HERRERA AGUILAR DIEGO

DEDICATORIA

A DIOS, quien me ayuda y protege de todo.

A MIS, padres, mis abuelos, y a mis familiares por su ardua espera y tenaz paciencia, sin cuya ayuda moral, fraternal e intelectual, no habría sido posible lograr esta meta.

Br. Escobedo Rubio Jhordan Brayan

DEDICATORIA

A DIOS, por haberme iluminado y guiado siempre.

A MIS, padres, hermanos y familiares además la familia Alvarado Aguilar especialmente a mi tío Julio Alvarado, quienes confiaron y me apoyaron en toda esta etapa de formación profesional, sin ellos nada de esto podría haber sido posible.

Br. Herrera Aguilar Diego Alonso

AGRADECIMIENTO

A Dios que estuvo espiritualmente en cada momento de sacrificio y esfuerzo.

A la universidad Privada Antenor Orrego, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por el apoyo brindado en la etapa de nuestra titulación.

A nuestro asesor Ingeniero Ochoa Zevallos Rolando, por orientarnos siempre hacia adelante con sus ideas, sugerencias contribuyendo a que este trabajo sea más claro y preciso.

A mis docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil que a lo largo de la formación académica me inculcaron la dedicación al estudio y a la constante superación personal.

A mis padres y hermanos, por su constante amor inexplicable para mi superación personal, porque siempre me han apoyado incondicionalmente.

RESUMEN

La presente tesis tiene como finalidad evaluar las deflexiones de la carretera Panamericana Norte tramo Ovalo Huanchaco – EL Milagro km 578 al Km 583 utilizando la Viga Benkelman, para poder verificar el estado de la capa de rodadura y la subrasante del pavimento.

El proyecto contiene las características que posee la viga Benkelman que son las siguientes:

Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos (dos delanteros fijos “A” y uno trasero fijo “B”)

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

Además, se demostrara como utilizar o emplear la Viga Benkelman en pavimentos. Este método es no destructivo, es decir no daña al pavimento al momento de realizar ensayo, pero a la vez es muy poco usado en nuestra región.

Con la Viga Benkelman se realizaran 5 ensayos, una por kilómetro donde se tomaran muestras cada 40 metros, con los resultados podremos saber en qué estado se encuentra el tramo analizado y así saber si se necesita realizar un mantenimiento de la carretera o una rehabilitación total.

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to evaluate the deflection of the Panamericana Norte section of the Ovalo Huanchaco - EL Milagro km 578 to Km 583 highway using the Benkelman Beam, in order to verify if the road or pavement is well made and that optimal conditions for Access to local and regional markets.

The project contains the characteristics of the Benkelman beam which are as follows:

A supporting body that is placed directly on the ground by means of three supports (two fixed front "A" and one fixed rear "B")

A movable arm coupled to the fixed body by a "C" pivot or pivot joint, one of which supports on the ground (point "D") and the other is in sensitive contact with the stem of a vertical movement extensometer (Point "E")

In addition the project contains how to use and use the Benkelman Beam in flexible pavements. It is a non-destructive method that does not damage the pavement at the time of testing, but at the same time is very little used in our region.

We will also test the use of the Benkelman beam on the road above and you know if you need to perform a road maintenance or a complete rehabilitation.

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT	vii
CAPITULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del Problema.....	1
1.2 Delimitación del problema.....	1
1.3 Formulación del Problema	1
1.4 Formulación de la Hipótesis.....	2
1.5 Objetivos del estudio.....	2
Objetivo General.....	2
Objetivos Específicos.....	2
1.6 Justificación del Estudio	2
Justificación técnica	2
Justificación Social	3
Justificación Académica.....	3
Viabilidad de la investigación	3
Limitaciones del estudio.....	4
CAPITULO II.....	5
MARCO TEÓRICO.....	5
1.1. Antecedentes.....	5

III. ANÁLISIS DE LOS EQUIPOS DE IMPACTO.....	6
IV. “DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DE LA VÍA PANAMERICANA NORTE RUTA PE-1N, APLICANDO LA METODOLOGÍA DE RETRO CALCULO CON INFORMACIÓN DE DEFLECTOMETRO DE IMPACTO (FWD), TRAMO TRUJILLO – CHICAMA”	8
V. “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS POR MEDIO DE LA VIGA BENKELMAN Y EL DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO (FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER, FWD)”	10
5.1 AUSCULTACIÓN UTILIZANDO EL EQUIPO DE LA VIGA BENKELMAN.....	10
5.2 CARACTERÍSTICAS DE LA VIGA BENKELMAN	10
5.3 PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE LA VIGA BENKELMAN.	11
1.2. Bases teóricas.....	17
1.3. Definiciones	20
1.4. Fundamentación Teórica.....	23
CAPITULO III	26
MATERIAL Y MÉTODOS	26
3.1 Material.....	26
3.1.1. Población	26
3.1.2. Muestra	26
3.1.3. Unidad de Análisis	27
3.2 Método	27
3.2.1 Tipo de Investigación.....	27
3.2.2 Diseño de Investigación	27
3.2.3 Variables de estudio y operacionalización	27
MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN	28
3.2.4 Instrumentos de recolección de Datos.....	29
3.2.5 Procedimientos y análisis de datos.....	29

Procedimiento del ensayo con la Viga Benkelman	30
CAPITULO IV	50
ANALISIS DE RESULTADOS	50
IDENTIFICACION Y LOCALIZACION DE RUTA A EVALUAR	50
MEDICION DE DEFLEXIONES CON LA VIGA BENKELMAN	51
CAPITULO V.....	52
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	52
5.1 CONCLUSIONES	52
5.2 RECOMENDACIONES	58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
ANEXOS.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

PRIMER ENSAYO KM 578 - KM 579.....	41
SEGUNDO ENSAYO KM 579 - KM 580.....	43
TERCER ENSAYO KM 580 - KM 581	45
CUARTO ENSAYO KM 581-KM 582.....	47
QUINTO ENSAYO KM 582 – KM 583.....	49

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

Las constantes fallas en los pavimentos en la ciudad de Trujillo, son un problema de nunca acabar, esto se debe a un espesor del pavimento inadecuado, Mezcla asfáltica muy rígida, Falta de confinamiento lateral de una carpeta mal adherida a la base, Asentamientos de la base o de la subrasante, por una compactación inadecuada.

Debido a esta problemática vimos la necesidad de evaluar el estado del pavimento de la Vía de Evitamiento Panamericana Norte Km 578 AL Km 583 en la Ciudad de Trujillo-Provincia de La Libertad.

En este sentido, el método a utilizar es el de la Viga de Benkelman para medir las deflexiones del pavimento que esté en servicio mediante “pruebas no destructivas”.

1.2 Delimitación del problema

El presente trabajo de investigación se delimita a la “Evaluación de las Deflexiones de la Vía de Evitamiento Panamericana Norte km 578 al km 583, utilizando la Viga de Benkelman”, durante los meses de Abril a Agosto del 2017.

1.3 Formulación del Problema

¿De qué manera la aplicación de la Viga Benkelman en los pavimentos asfálticos de la vía panamericana norte km 578 al km 583, nos permitirá determinar las deflexiones de la vía antes citada?

1.4 Formulación de la Hipótesis

La aplicación de la metodología de la viga de Benkelman, en vía Panamericana Norte tramo Ovalo Huanchaco – El Milagro km 578 al km 583, nos permitirá determinar las deflexiones del pavimento de dicha vía.

1.5 Objetivos del estudio

Objetivo General

Evaluar las deflexiones de la vía de evitamiento panamericana norte km 578+000 al km 583+000, utilizando la Viga de Benkelman.

Objetivos Específicos

- A. Obtener y calibrar la Viga Benkelman.

- B. Aplicar los ensayos de evaluación cada 40 metros siguiendo la metodología de las deflexiones a los pavimentos asfálticos de la vía Panamericana Norte tramo Ovalo Huanchaco – El Milagro km 578 al km 583.

- C. Procesar los resultados, y diagnosticar la calidad en los tramos de la vía Panamericana Norte tramo Ovalo Huanchaco – El Milagro km 578 al km 583.

- D. Dar a conocer la aplicación de este método y la importancia que puede tener en obras de pavimentación.

1.6 Justificación del Estudio

Justificación técnica

La presente investigación centra su importancia técnica en que nos permitirá conocer el estado actual de los pavimentos asfálticos en la vía Panamericana Norte tramo Ovalo Huanchaco – El Milagro km 578 al km 583.

Es decir, mediante este estudio, determinaremos las deflexiones del pavimento mediante el uso de la viga de Benkelman. Con esta información se podrá determinar posteriormente si se hace una rehabilitación o una construcción nueva.

Justificación Social

La elección adecuada de las técnicas de mantenimiento y rehabilitación permitirán prolongar la vida útil del pavimento lo que representa un ahorro para los usuarios (sociedad).

Se recomienda el uso de esta metodología a las instituciones gubernamentales, lo cual permitirá el desarrollo de una mejor estrategia de mantenimiento y rehabilitación de las vías.

Justificación Académica

El conocimiento y la aplicación de esta metodología permitirán que nuevas investigaciones se inicien en los claustros universitarios, debido a la fácil aplicación de este método de evaluación de deflexiones del pavimento.

Otro beneficio adicional es que los futuros ingenieros conozcan las aplicaciones de la viga de Benkelman (medición de deflexiones) dado que es una metodología relativamente nueva, muy valiosa y rápida.

Viabilidad de la investigación

El presente proyecto de tesis se desarrollará utilizando la viga Benkelman, la cual constituye en la actualidad un método que prevee determinar las deflexiones de un pavimento en servicio con información del Deflectómetro de Impacto; la metodología es de fácil implementación a muy razonables costos y tiempo.

Limitaciones del estudio

Las limitaciones que existieron fueron que al realizar la prueba experimental en la vía panamericana norte km 578 al km 583 fue un poco dificultoso hacer los ensayos ya que esta vía es muy transitada, es por eso que utilizamos señales de tránsito además de conos para poder realizar de una manera segura y con toda la veracidad para alcanzar la validez que buscamos y el cumplimiento de nuestros objetivos.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

- I. **Artículo de investigación**, revista Facultad de Ingeniería Civil Universidad Politécnica de Colombia,

Título: Caracterización de la Resistencia de la Subrasante con la Información del Deflectómetro de Impacto

Nombre del Autor: Carlos Hernando Higuera Sandoval

País y Fecha: Colombia, mayo 2010

Resumen:

El artículo recopila las diferentes metodologías para caracterizar la resistencia de la subrasante y la capacidad estructural efectiva de una estructura de pavimento con la información del deflectómetro de impacto. Este documento es producto del proyecto de investigación titulado Caracterización de la resistencia de la subrasante con la información del deflectómetro de impacto, registrado en la Dirección de Investigaciones de la Uptc con el código SGI-759, que realizó el autor en la Escuela de Transporte y Vías, Facultad de Ingeniería, de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, en el Grupo de Investigación y Desarrollo en Infraestructura Vial –Grinfravial.

- II. Estudio Definitivo Rehabilitación de la carretera Panamericana Norte, Tramo: km 557+000 – km 886+600 Vía de Evitamiento Trujillo.

El proyecto del tramo en estudio se ubica en el norte del Perú, en la costa del departamento de La Libertad, a altitudes variables entre msnm y 140 msnm. La progresiva de inicio, del tramo de la carretera en estudio, corresponde al km 557+000 y el término km 586+600.

Las coordenadas del inicio y final del primer tramo del Proyecto Rehabilitación de la Panamericana Norte Tramo km 557+000 al km 886+600 son las que se detallan a continuación:

- Inicio de Tramo (km557+000): N=9´095,750; E=720,680(Ov. Huanchaco)
- Fin de Tramo(km 586+600): N=9´114,750;E=712,590(Ov.El Milagro)

El inicio se encuentra ubicado en la salida del Ovalo Huanchaco, ingreso a Trujillo.

El fin del tramo se encuentra en el Ovalo El Milagro, salida a Trujillo.
Longitud del tramo: 29.60 kilómetros.

III. ANÁLISIS DE LOS EQUIPOS DE IMPACTO.

Se presentan y discuten los principales aspectos de las deflexiones en pavimentos de concreto asfáltico con ensayos no destructivos; particularmente, el método desarrollado a partir de la Viga Benkelman. Así mismo, se describen metodologías para estimar los módulos elásticos de las capas de pavimento evaluadas con esta técnica, y las ventajas y limitaciones de tales herramientas; además de los cuidados que se deben tener al utilizar los resultados de la evaluación en el diseño de refuerzo de los pavimentos. Finalmente, se hacen recomendaciones para estudios futuros.

La medición de las deflexiones se utiliza ampliamente para conocer la capacidad estructural de los pavimentos en campo, y dentro de la tecnología de pavimentos, particularmente en la evaluación estructural de los mismos existen diversas metodologías y equipos para tales propósitos.

La literatura especializada en pavimentos proporciona información acerca de la medición de deflexiones en pavimentos localizadas directamente en el punto de aplicación de la carga o alejadas de él, a partir de una carga estática conocida, de una vibratoria o de una por impulso. Las deflexiones se miden con transductores que determinan el movimiento vertical de la superficie de un pavimento ante un impacto. Actualmente, existen diversos procedimientos para la medición de deflexiones en pavimentos de concreto asfáltico, en concreto hidráulico, e incluso en una combinación de ellos. Los pavimentos rígidos pueden ser sin refuerzo, una con juntas, con refuerzo en las juntas, o concretos reforzados de manera continua.

Los ensayos realizados mediante esta metodología, son por su naturaleza denominada no destructivos NDT (Non Destructive Test). Los ensayos no destructivos de deflexiones proporcionan información que se utiliza para la evaluación estructural de los pavimentos. Además, los resultados de dichas deflexiones pueden emplearse a su vez en las siguientes características de los pavimentos.

- a. Módulo de elasticidad de cada capa
- b. Rigidez combinada de los sistemas de pavimentos
- c. Eficiencia en la transferencia de carga en las juntas de pavimentos de concreto hidráulico
- d. Módulos de reacción de la subrasante
- e. Espesor efectivo, número estructural o valor de soporte del suelo
- f. Capacidad de carga o capacidad de soporte del pavimento

Dichos parámetros pueden utilizarse en el análisis y diseño de la rehabilitación y reconstrucción de pavimentos rígidos y flexibles; valoración de la capacidad estructural, incluyendo la eficiencia de las juntas en pavimentos de concreto hidráulico; detección de oquedades en pavimentos de concreto hidráulico; y/o para fines de inventario estructural de la red.

Los equipos más comunes para determinar la capacidad estructural de los pavimentos son:

- a. Equipo discontinuo de medición. Opera con el principio de brazo de palanca simple (ej., viga Benkelman)
- b. Equipo estático semicontinuo actúa con el principio de doble brazo de palanca (p ej, deflectógrafo Lacroix)
- c. Equipo de impacto ,Crea un impulso de carga sobre el pavimento, dejando caer una masa a partir de alturas variables sobre un sistema de resortes o caucho. Conocido generalmente como Fallig Weight Deflectómetro, FWD (p ej, Dynatest, Kuab, Jils)

En la presente investigación se realizará principalmente un análisis de los equipos de impacto por ser los de uso común en el medio.

IV. “DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DE LA VÍA PANAMERICANA NORTE RUTA PE-1N, APLICANDO LA METODOLOGÍA DE RETRO CALCULO CON INFORMACIÓN DE DEFLECTOMETRO DE IMPACTO (FWD), TRAMO TRUJILLO – CHICAMA”

En los últimos años los pavimentos han sido una solución al desarrollo económico y social de la región La Libertad, debido a que el nivel de articulación y conectividad con las provincias y distritos, con respecto a Ciudad de Trujillo es bueno ya que se encuentra ubicada geográficamente en el Departamento de La Libertad, complementándose con vías de diferente categoría, que longitudinal y transversalmente la articulan.

Trujillo cuenta con una elevada extensión de vía nacional, 31.72 % de toda su red vial. También es notorio que más del 42 % de la red provincial está en condiciones de asfaltada, cuando a nivel región este tipo de superficie es de sólo el 12.53 % y del 13.04 % a nivel nacional. (Municipalidad Provincial de Trujillo, 2009)

En cuanto a las características básicas de la red vial de la provincia de Trujillo, a base del georeferenciamiento vial realizado en sus diferentes distritos se detecta que la mayor parte de caminos asfaltados son de jerarquía nacional. Por ende si no se cuenta con una Infraestructura Vial en buenas condiciones que permita esta accesibilidad hacia y desde las provincias y distritos, no será posible reducir los costos logísticos, promover la movilidad de bienes y personas, favorecer accesos a servicios públicos, oportunidades económicas, desarrollar ciudades intermedias y apoyar el desarrollo de actividades productivas y sociales que redundarán en la aparición de economías de escala y aglomeración, es decir la creación y desarrollo de mercados.

Bajo esta perspectiva se escogió la vía Panamericana Norte PE-1N tramo Trujillo – Chicama, para determinar la capacidad estructural del Pavimento mediante el método del Retrocalculo utilizando la información del deflectómetro de impacto (FWD), donde se ha observado gran afluencia de vehículos pesados los cuales sumado a la falta de mantenimiento, han generado un deterioro prematuro de la vía.

La metodología de Retrocalculo involucra una evaluación directa de la resistencia de la subrasante y el pavimento en servicio, mediante el parámetro denominado número estructural efectivo –S_{Nefec} (capacidad estructural). Este parámetro es básico para determinar el refuerzo o la rehabilitación de una estructura de pavimento, tal como lo definen las metodologías de la AASHTO-93. (Higuera Sandoval, 2010)

Tabla 5.2 Relación Área, D₀ y condición de la estructura de pavimento

Área	Deflexión D ₀	Conclusiones generales
Bajo	Bajo	Estructura débil, subrasante rígida
Bajo	Alto	Estructura débil, subrasante débil
Alto	Bajo	Estructura fuerte, subrasante rígida
Alto	Alto	Estructura fuerte, subrasante débil

V. “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS POR MEDIO DE LA VIGA BENKELMAN Y EL DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO (FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER, FWD)”

AUSCULTACION ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS

5.1 AUSCULTACIÓN UTILIZANDO EL EQUIPO DE LA VIGA BENKELMAN.

Las deflexiones producidas en la superficie de un pavimento flexible, por acción de cargas vehiculares, pueden ser determinadas haciendo uso de uno de los deflectómetros utilizados en El Salvador, tal como la "Viga Benkelman". Llamado así en honor al Ing. A.C. Benkelman, quién la desarrollo en 1953, como parte del programa de ensayos viales de la WASHO (WASHO Road Test). Desde entonces su uso se ha difundido ampliamente en proyectos de evaluación estructural de pavimentos flexibles, tanto por su practicidad como por la naturaleza directa y objetiva de los resultados que proporciona.

5.2 CARACTERÍSTICAS DE LA VIGA BENKELMAN

El deflectómetro Benkelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple. Según se esquematiza en la figura 3.1, la viga consta esencialmente de dos partes: (1) Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos (dos delanteros fijos "A" y uno trasero regulable "B") y (2) Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote "C", uno de cuyos extremos apoya sobre el terreno (punto "D") y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un micrómetro de movimiento vertical (punto "E"). Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que al ser accionado, durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas. El extremo "D" o "punta de la viga" es de espesor tal que puede ser colocado entre una de las

llantas dobles del eje trasero de un camión cargado. Por el peso aplicado se produce una deformación del pavimento, consecuencia de lo cual la punta baja una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado de la superficie. Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo "C", con respecto al cuerpo AB, determinando que el extremo "E" produzca un 39 movimiento vertical en el vástago del micrómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran luego las llantas cargadas, el punto "D" se recupera en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial del micrómetro. La operación expuesta representa el "principio de medición" con la Viga Benkelman. Lo que se hace después son sólo cálculos en base a los datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuanto reflectó el pavimento en el lugar subyacente al punto "D" de la viga, durante el procedimiento descrito. Es de anotar que en realidad lo que se mide es la recuperación del punto "D" al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar ésta. Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la viga, toda vez que los valores dados por el micrómetro (EE') no están en escala real sino que dependen de la relación de brazos existentes.

5.3 PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE LA VIGA BENKELMAN.

La carga aplicada al pavimento para la realización de ensayos de deflexiones ha sido estandarizada en 18,000 libras (80 kN) a través de la guía de diseño AASHTO en la normativa T256-01 Apartado 6 (Aparatos), proporcionando 9,000 libras por cada una de las llantas duales del eje trasero de un camión tipo C2, con una presión en las llantas de 0.48 a 0.55 Mpa (70 a 80 Psi). Previamente a la realización de los ensayos deberá verificarse que se cumplan estas condiciones (por medio de basculas fijas ó móviles), así como la presión de las llantas sea la requerida. Una vez localizado el lugar donde se realizará el ensayo (usualmente los puntos de medición se localizan en el lado exterior de un carril), se coloca la llanta a usarse sobre el

punto de manera tal que éste coincida aproximadamente con el eje vertical del centro de gravedad del conjunto (ver figura 3.2 "a").

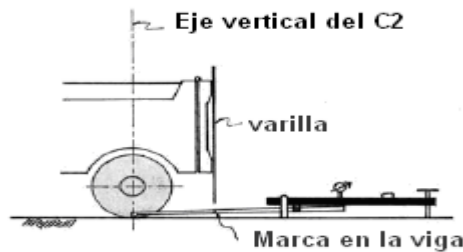
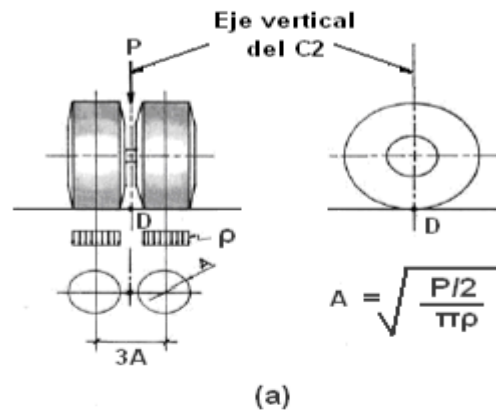


Fig. 3.2 Configuración Geométrica del Sistema de Carga en la Viga Benkelman.

Las mediciones se realizan colocando la punta de la viga entre las dos ruedas y midiendo la deflexión cuando el vehículo se aleja. Los resultados de las deflexiones se leen en un dial indicador. (Ver figura 3.3)



Fig. 3.3 Colocación de la Viga Benkelman, Posición inicial y final.

Tomando como punto de referencia una varilla vertical adosada a la parte trasera del camión (ver figura 3.2 b), se efectúa una marca en la viga de manera tal que, basta con hacerlas coincidir para asegurarse que el extremo de la viga coincide con el centro de gravedad del conjunto. De igual forma se puede efectuar, a partir de la primera, sucesivas marcas a distancias elegidas a las cuales se desee medir deflexiones adicionales (puede ser a 30, 40 y 50 cm.). Para la metodología de análisis se requiere de por lo menos tres lecturas, pero se pueden obtener más con fines de verificación, lo cual es recomendable, o si es que se desea tener una idea gráfica del tipo de curvas de deflexiones que se producen. Se realiza la primera marca adicional a una distancia tal que la deflexión que se obtenga en ese punto sea la mitad de la deflexión máxima (obtenida en la marca inicial). La segunda marca adicional se realiza al doble de la distancia de la primera marca adicional. Estas dos distancias se determinarán específicamente para cada proyecto de evaluación que se emprenda. Esto deberá hacerse por medio de ensayos previos, antes de comenzar la recolección masiva de datos. Es común que se observen variaciones durante la realización de los ensayos, no deberá hacerse modificaciones, si las deflexiones tomadas en la primera marca adicional están en el rango entre 35% y 65% de la deflexión máxima.

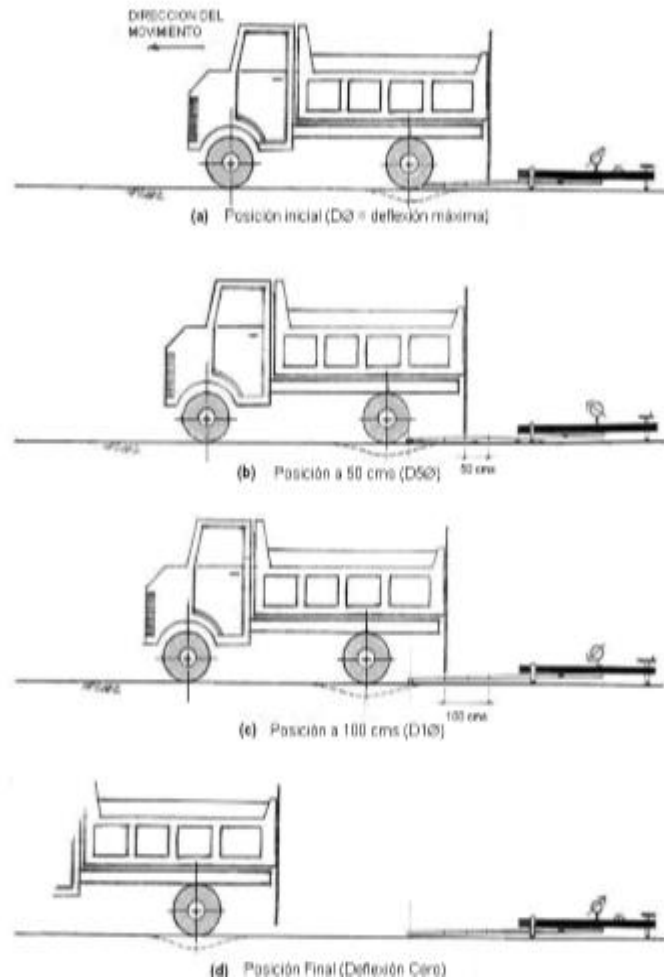


Fig. 3.4 Esquematización del Proceso de Medición con la Viga Benkelman

Una vez instalada la viga en el punto de medición haciendo coincidir con la cadena vertical y la marca inicial (ver figura 3.4), se verificará que ésta se encuentre alineada longitudinalmente con la dirección del movimiento del camión. Se coloca el dial del micrómetro en cero, se activará el vibrador y mientras el camión se desplaza muy lentamente se procederá a tomar lecturas conforme la varilla vertical vaya coincidiendo con la primera y segunda marcas adicionales (figuras 3.4 b, c) y una lectura final cuando el camión se haya (aproximadamente 8.00 m, según norma AASHTO T256-01 Apartado 8.4.2.3.), registro que corresponde al punto de referencia con deflexión cero. Es importante tomar la temperatura del pavimento según la norma AASHTO 93 T256-01 apartado 8.1.6. de la siguiente manera: se realiza una perforación en el pavimento, se llena este agujero con un líquido

como agua, glicerina u otro producto a base de aceite, y luego se introduce el termómetro hasta el fondo del agujero para obtener la temperatura, si la prueba se extiende por un período de tiempo mayor a una hora se tomará la temperatura cada hora para establecer una correlación directa entre el aire, la superficie del pavimento y la medición de la misma temperatura. Si no es posible tomar la temperatura, algunos procedimientos (Report No. FHWA-RD-98-085, "Predicciones de temperatura y factores de ajuste para pavimentos de asfalto") existen para estimar la temperatura de los pavimentos en función de la profundidad usando las temperaturas máximas y mínimas del día anterior. No se requiere corrección por temperatura en estructuras de pavimentos compuestas por un tratamiento superficial o mezclas asfálticas delgadas (menor a 5 cms, según Guía de Diseño AASHTO 93, Capítulo 11 Fig. 11.4), colocadas sobre bases cuyo modulo de rigidez sea insensibles a cambios de temperatura. Si las carpetas asfálticas son de gran espesor (mayores de 30 cms según Guía de Diseño AASHTO 93, Capítulo 11 Fig. 11.4), el efecto de la temperatura sobre la deflexión posee mayor importancia, por lo que se recomienda aplicar algún factor de corrección, cuando las temperaturas son menores o iguales a 49° C. según la la Fig. 11.4 de la Guía de Diseño AASHTO 93. Hay que tomar en cuenta que la fig. 11.4 corresponde a base granular o estabilizada con asfaltoalejado lo suficiente del punto de ensayo que el indicador del dial ya no tenga movimiento

PERSONAL Y EQUIPO NECESARIO PARA REALIZAR ENSAYO CON VIGA BENKELMAN

Para la realización de esta rutina será necesario de la participación de cuatro operadores: Un técnico calificado que lea y dicte las lecturas del micrómetro, un operador que anote las mediciones, un banderillero que ayude con el trafico vehicular, y un ayudante que coordine con el conductor del camión y a la vez de aviso al técnico que realiza las lecturas, cuando la varilla adosada al camión vaya coincidiendo con las marcas hechas en la viga. Todo el trabajo deberá ser supervisado permanentemente por un Ingeniero de campo quien verificará los valores que se obtengan así como tomar

anotación de cualquier factor que a su juicio pueda explicar los resultados que se obtengan (corte, relleno, tipo de material, tipo de drenaje, nivel freático, estado del pavimento, condiciones del tiempo etc.). La figura 3.5 muestra un formato adecuado para la recopilación de los datos de campo. En la primera columna se colocan los estacionamientos de prueba, la segunda columna incluye las lecturas de deflectómetro ($R_0=0$, $R_1=$, $R_2=$ hasta R_i), donde: R_0 es la lectura inicial y sucesivamente R_1 , R_2 hasta un R_i son las lecturas a una distancia determinadas, la tercera columna corresponden a las deflexiones (D_0 , DR_1 y DR_2) utilizadas para definir el cuenco de deflexiones; Calculadas así: $D_0 = R_1 - R_0$ Deflexión máxima
 $DR_1 = R_2 - R_1$ Deflexión a una distancia 1 $DR_2 = R_i - R_2$ Deflexión a una distancia 2

Equipo El equipo mínimo para la realización de ensayos de medición de deflexiones es el siguiente:

- Deflectómetro Viga Benkelman, tal como el modelo Soiltest HT-350 (con relación de brazos 1:2).
- Micrómetro con dial indicador de divisiones cada 0.001 plg. (Modelo Soiltest HT-300M).
- Camión cargado, con un peso total de 18,000 libras de un eje simple con llantas duales, infladas a una presión de 70 a 80 psi.

- Vehículo auxiliar para transportar al personal y equipo misceláneo.
- Balanza móvil para pesaje de camión, con capacidad de 10 toneladas; en su defecto utilizar basculas estacionarias privadas o publicas (Ej. Bascula fija del MOP ubicada sobre Carretera El Litoral a la altura del desvío Costa del Sol, basculas de ingenios o empresas privadas).
- Accesorios de medición y varios (Cinta métrica de 7 m, plumones, plomada, destornillador, alicates, hojas de campo, lápices, señales de seguridad, termómetro, cincel, martillo, varilla de metal o madera de 2m, alambre de amarre, pintura, etc.).
- Formato para recopilación de datos de campo, similar al de la Fig. 3.5.

1.2. Bases teóricas

Según MTC E 1002 – 2000

APARATO (VIGA BENKELMAN)

1. 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.

Nota 1: Se permite el empleo de vigas con dimensiones diferentes siempre y cuando no sean tan reducidas que el radio de acción de la carga no afecte permanentemente la posición de sus patas.

2. Un camión para ensayo con las siguientes características.
El eje trasero pesara 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 de 10" x 20" ; 12 lonas e infladas a 5.6kg/cm² (80 libras por pulgada cuadrada).La distancia entre los puntos medios de la banda de rodamiento de ambas llantas de cada rueda dual debe ser de 32 cm.
3. Un barreno para ejecutar orificios en el pavimento de 4 cm de profundidad y 10 mm de diámetro.
4. Un cronometro.
5. Una wincha de acero de 2 m y otra de 25m.

PROCEDIMIENTO

1. El punto del pavimento a ser ensayado deberá ser marcado convenientemente con una línea transversal al camino. Sobre dicha línea será localizado el punto de ensayo a una distancia prefijada del borde. Se recomienda utilizar las distancias indicadas en la tabla 1.

TABLA 1

ANCHO DE CARRIL	DISTANCIA DEL PUNTO DE ENSAYO DESDE EL BORDE DEL PAVIEMNTO
2.70 m	0.45 m
3.00 m	0.60 m
3.30 m	0.75 m
3.60 m o mas	0.90

2. La rueda dual externa del camión deberá ser colocada sobre el punto seleccionado; por la correcta ubicación de la misma, deberá colocarse en la parte trasera externa del camión una gula vertical correspondiente con el eje de carga. Desplazamos suavemente el camión, se hace coincidir con la gula vertical con la línea transversal indicada en 1. De modo que simultáneamente el punto quede entre ambas llantas de la rueda dual.
3. Se coloca la viga sobre el pavimento, detrás del camión, perpendicular 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.
4. Se liberan los seguros de los brazos y se ajusta la base de la viga por medio del tornillo trasero, de manera que los brazos de medición queden contacto con los diales.
5. Se ajustan a los diales de modo que sus vástagos tengan un recorrido libre comprendido entre 4 y 6 mm. Se giran las esferas de los diales hasta que las agujas queden en cero y se verifica la lectura golpeándose suavemente con un lápiz. Girar la esfera se es necesario y repetir la operación hasta obtener la posición 0 (cero).

6. Se hace avanzar suave y lentamente el camión; se pone en marcha el cronometro y vibrador y se leen los diales cada 60 segundos. Cuando dos lecturas sucesivas de cada uno de ellos no difieran en mas de 0.01 mm, se da por finalizado la recuperación, registrándose las ultimas lecturas observadas (L0 y L25).
7. Cuando el fin de medir la temperatura del pavimento se practica un orificio (antes de comenzar el ensayo y simultáneamente con trazado de la línea), cuyas dimensiones serian de 4 cm de profundidad y 10 mm de diámetro, aproximadamente, emplazado sobre la línea paralela al eje del camino, que pasa por el punto de determinación de la deflexión y a 50 cm del mismo.
8. Una vez registrada las lecturas L0 y L25, se hace retroceder suave y lentamente el camión hasta la rueda dual externa quede colocada sobre el punto de ensayo, observando la marcha en aguja de dial. Se alcanzada cierta posición de la aguja se detiene y luego se observa un desplazamiento en sentido contrario, como si se produjera la recuperación del pavimento, ello indica que existe una deformación plástica medible entre ambas llantas de la rueda dual. Esa aparente recuperación puede ser debida también al hecho de que el radio de acción de carga del camión afecte las platas de la viga.

CALCULOS

1. La deflexión bajo el eje de la carga (D0) se calcula mediante la expresión:

$$D0= 4 \times L0 \text{ (expresión en 0,01 mm)}$$

Donde L0 es la lectura registrada en el dial del primer brazo de ensayo.

2. La deflexión a 25 cm del eje de la carga (D25), se calcula con la expresión:

$$D25= 4 \times L25 \text{ /expresión en 0.01 mm)}$$

Nota: El valor de 4 usado por el cálculo D0 y D25 obedece a que la relación de longitudes de brazo es 4. En caso de la que viga utilizada tenga relación diferente, se aplicara el factor que corresponde.

INFORME

Para cada ensayo, el informe deberá incluir el estado superficial, las deflexiones (D0-D25) y el radio de curvatura (RC).

La aplicación de correcciones por efecto de la temperatura y el procedimiento estadístico de los datos, se efectuaran conforme lo establezca la normativa respectiva.

REFERENCIAS NOMATIVAS

ASTM D4695

1.3. Definiciones

Asfalto: Mezcla de este mineral con cal, arena y otras sustancias que se emplea principalmente en la pavimentación de las vías públicas de circulación.

Vía: Sistema de transporte o comunicación entre dos lugares

Pavimento: Capa lisa, dura y resistente de asfalto, cemento, madera, adoquines u otros materiales con que se recubre el suelo para que esté firme y llano.

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

Subrasante: Superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte o relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado.

Red vial nacional: Corresponde a las carreteras de interés nacional conformada por los principales ejes longitudinales y transversales, que constituyen la base del Sistema Nacional de Carreteras

Red vial regional: Corresponde a las carreteras de interés regional conformada por los principales ejes longitudinales y transversales, que constituyen la base del Sistema Nacional de Carreteras

Deflectómetro: es un aparato de medición para la auscultación y evaluación estructural de firmes en carreteras

Deflexión en pavimentos: evalúa la capacidad de transferencia de carga que un pavimento rígido o flexible posee.

Radio de curvatura: Radio del círculo que mejor se adapta a la línea de deflexión del pavimento en la zona de mayor curvatura bajo el eje de la carga.

Deflectómetro de Impacto (HWD): Con el HWD se puede obtener una medida puntual de la deflexión de un pavimento simulando el paso de un eje cargado al dejar caer una masa y midiendo la reacción del pavimento con 7 sensores, distribuidos de manera tal que se puede conocer tanto la deflexión máxima como hacer un cálculo del radio de curvatura del pavimento.

El equipo de medida se puede emplear en cualquier tipo de carreteras, sin existir restricciones geométricas de trazado, así como en los pavimentos flexibles, semiflexibles, semirrígidos y rígidos.

El equipo permite la auscultación estructural para la planificación y el establecimiento de prioridades de refuerzo, sistemas de gestión de firmes para la determinación de las estrategias óptimas de conservación, cálculo de refuerzos, supervisión y control de calidad durante la construcción de los firmes, evaluación de la adherencia entre las distintas capas del firme,

auscultación de firmes aeroportuarios y capas de forma/plataformas de ferrocarril, establecimiento del "punto 0" en deflexión para conocer la evolución en el tiempo y valorar la vida residual, valoración capa a capa de las deflexiones previstas en proyecto, control de homogeneidad en tratamientos de estabilización de explanadas durante la construcción, transferencia de cargas entre losas de hormigón y detección de huecos bajo losas.

Deflexiones de pavimentos flexibles: De la medida de la deflexión y el radio de curvatura del cuenco de deflexión se pueden deducir el estado estructural de las diferentes capas de pavimento. Con esa medida se calcula un espesor de refuerzo de carpeta para obtener la deflexión deseada y aumentar la vida útil de esa carpeta.

Dependiendo del operador de la carretera, se planean reparaciones para tramos de entre 1 y 5 km, ya que muchas veces no se justifica cambiar la solución, por ejemplo el espesor de carpeta, en tramos menores. Si se obtuviera un solo valor de ese tramo y se calculara el refuerzo en base a ese dato, se tendría una solución adecuada solamente si el tramo es homogéneo. En caso de que no lo sea, se necesitan más datos se tengan para determinar la solución adecuada.

Esto es muy importante en el cálculo del refuerzo de pavimentos, ya que una ligera variación en el espesor de la carpeta de refuerzo aumenta considerablemente el presupuesto de la obra. Muchas veces, además, no soluciona el problema de una base débil, por lo que al poco tiempo hay que volver a intervenir, no aprovechando la inversión efectuada.

Superficie de rodadura: plano superior del pavimento, que soporta directamente las cargas del tráfico. Se trata del área por la que circula el tráfico.

1.4. Fundamentación Teórica

Es muy importante preservar el patrimonio vial existente es por ello, que los ingenieros tienen la responsabilidad de elaborar métodos que ayuden a cumplir dicho fin.

En los últimos años los pavimentos han sido una solución al desarrollo económico y social de la región La Libertad, debido a que el nivel de articulación y conectividad con las provincias y distritos, con respecto a Ciudad de Trujillo es bueno ya que se encuentra ubicada geográficamente en el Departamento de La Libertad, complementándose con vías de diferente categoría, que longitudinal y transversalmente la articulan.

Trujillo cuenta con una elevada extensión de vía nacional, 31.72 % de toda su red vial. También es notorio que más del 42 % de la red provincial está en condiciones de asfaltada, cuando a nivel región este tipo de superficie es de sólo el 12.53 % y del 13.04 % a nivel nacional. (Municipalidad Provincial de Trujillo, 2009).

En cuanto a las características básicas de la red vial de la provincia de Trujillo, a base del georeferenciamiento vial realizado en sus diferentes distritos se detecta que la mayor parte de caminos asfaltados son de jerarquía nacional.

Por ende si no se cuenta con una Infraestructura Vial en buenas condiciones que permita esta accesibilidad hacia y desde las provincias y distritos, no será posible reducir los costos logísticos, promover la movilidad de bienes y personas, favorecer accesos a servicios públicos, oportunidades económicas, desarrollar ciudades intermedias y apoyar el desarrollo de actividades productivas y sociales que redundarán en la aparición de economías de escala y aglomeración, es decir la creación y desarrollo de mercados.

Bajo esta perspectiva se escogió las vía Panamericana Norte km 578 al km 583, para determinar las deflexiones del Pavimento mediante el método de la viga Benkelman utilizando la información del deflectómetro de impacto (FWD), donde se ha observado gran afluencia de vehículos

pesados los cuales sumado a la falta de mantenimiento, han generado un deterioro prematuro de la vía.

La evaluación mediante el uso de la viga Benkelman en pavimentos consiste, básicamente, en la determinación de las deflexiones del pavimento en una estructura vial existente, en cualquier momento de su vida de servicio, para establecer y cuantificar las necesidades de rehabilitación, cuando el pavimento se acerca al fin de su vida útil o cuando el pavimento va a cambiar su función.

Esta prueba nos permitirá dar respuesta a las siguientes preguntas:

-¿Qué espesor del pavimento necesito?

-¿Es necesario recapear?

Para un periodo determinado.

La viga Benkelman consta esencialmente de dos partes:

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

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

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

El extremo "D" o punta de la viga es de espesor tal que puede ser colocado en una de las llantas dobles del eje trasero de un camión cargado.

Por el peso aplicado se produce una deformación del pavimento, consecuencia de lo cual la punta baja una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado de la superficie. Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo "C", con respecto al cuerpo AB, determinado

que el extremo “E” produzca un movimiento vertical en el vástago del extensómetro apoyado en él, generando una lectura en el dial indicador. Si se retiran luego las llantas cargadas, en el punto “D” se recupera en lo que a deformación elástica se refiere, y por lo mismo el mecanismo anterior se genera otra lectura en dial del extensómetro.

La operación expuesta representa el “principio de medición” con la viga Benkelman. Lo que se hace después son solo cálculos en base a datos corregidos. Así con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuánto deflectó el pavimento en el lugar subyacente en el punto “D” de la viga, durante el procedimiento descrito.

Es de anotar lo que realmente se mide es la recuperación del punto “D” al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar esta. Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la viga, toda vez que los valores dados por el extensómetro (EE) no están en escala real sino que dependen de la relación de brazos existentes.

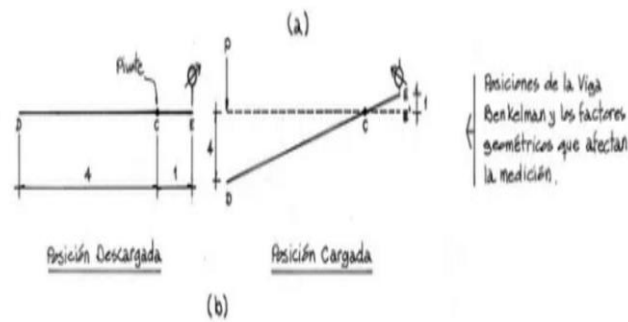
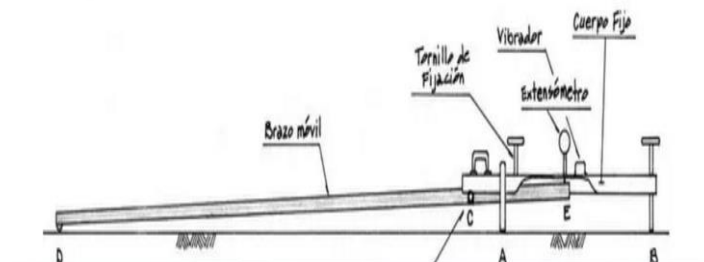


FIGURA 2.4 : Esquema y Principio de Operación de la Viga Benkelman

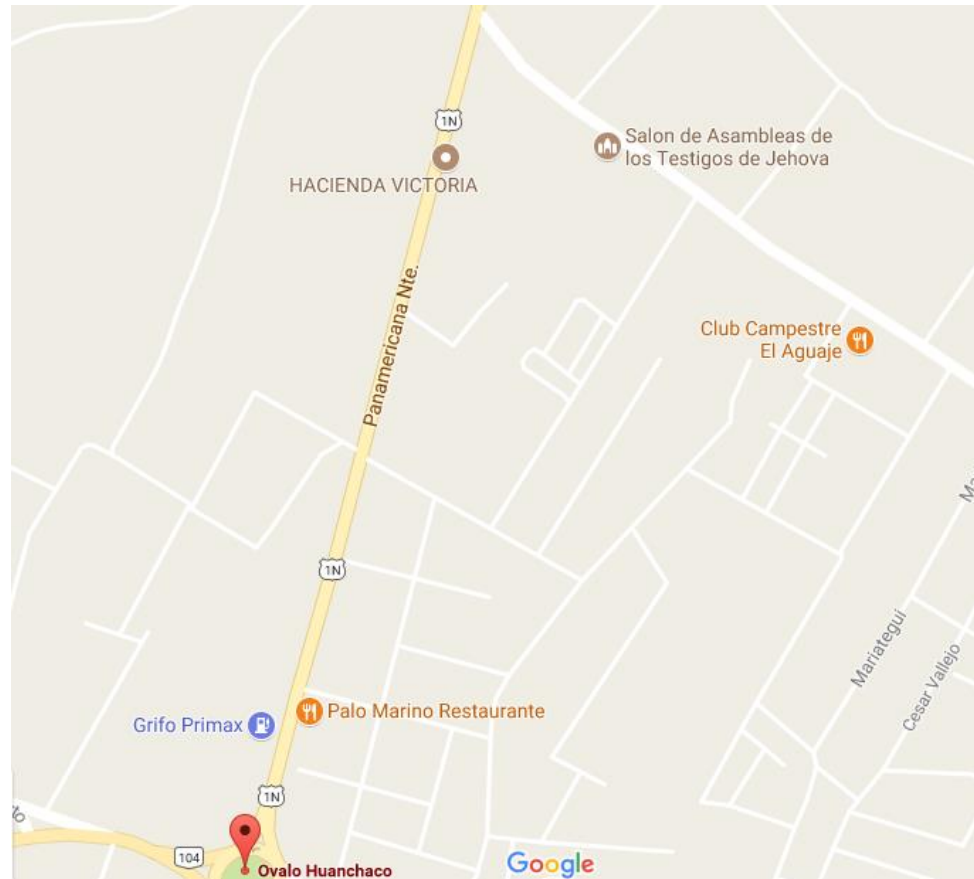


CAPITULO III

MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 Material

3.1.1. Población



Para la presente investigación el universo o población estará dado por la vía Panamericana Norte tramo Ovalo Huanchaco – El Milagro km 578+000 al km 583+000.

3.1.2. Muestra

Se tomará una longitud de análisis de 5 km empezando en el kilómetro 578+000 y culminará en el kilómetro 583+000 en la vía Panamericana Norte tramo Ovalo Huanchaco – El Milagro.

Las unidades de muestreo serán cada 40 metros; las mediciones de las deflexiones se realizarán en la huella vehicular.

3.1.3. Unidad de Análisis

En este proyecto se analizará estado actual de los pavimentos asfálticos en la vía Panamericana Norte tramo Ovalo Huanchaco – El Milagro km 578 al km 580 con la información de las deflexiones mediante el uso de la viga de Benkelman.

3.2 Método

3.2.1 Tipo de Investigación

Descriptiva – Experimental

Es descriptivo porque describe la realidad, sin alterarla, es así que la primera etapa corresponde al trabajo de campo en el cual se identifican las deflexiones del pavimento utilizando la viga de Benkelman.

Se establece que la metodología es analítica porque estudia los valores de las deflexiones de cada carril.

Es experimental porque se estudia el problema y se analiza recurriendo al laboratorio.

Es de corte transversal porque se está analizando un periodo de tiempo determinado.

3.2.2 Diseño de Investigación

Diseño de Investigación: Campo

Campo: Se realizarán los ensayos seguidamente se analizara procesara y se llegara a una conclusión del estado del pavimento.

3.2.3 Variables de estudio y operacionalización

INDEPENDIENTE: Metodología de las vigas de Benkelman.

DEPENDIENTE: Deflexiones del pavimento

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN

PROBLEMA	HIPOTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES	INDICADORES	TECNICA
¿De qué manera la aplicación de la viga Benkelman en los pavimentos asfálticos de la vía panamericana norte km 578 al km 583, nos permitirá determinar las deflexiones de la vía antes citada?	La aplicación de la metodología de la viga Benkelman, en vía Panamericana Norte tramo Ovalo Huanchaco – El Milagro km 578 al km 583 nos permitirá determinar la deflexiones de dicha vía	<p><u>Objetivo General</u></p> <p>Evaluar las deflexiones de la Vía de Evitamiento Panamericana norte km 578+000 al km583+000, utilizando la viga Benkelman.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <p>Metodología de la viga Benkelman</p>	<p>Precisión</p> <p>Tiempo</p> <p>Estandarización</p> <p>Logística</p>	<p>Comparación de resultados</p> <p>Medición del tiempo</p> <p>Análisis de estandarización</p> <p>Medición Logística</p>
		<p><u>OBJETIVOS ESPECIFICOS:</u></p> <p>Obtener y calibrar la Viga Benkelman que presenta dichas característica:</p> <p>Un cuerpo de sostén que se situa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos (dos delanteros fijos “A” y uno trasero fijo “B”)</p> <p>Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote “C”, uno de cuyos apoya sobre el terreno (punto “D”) y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical (punto “E”).</p> <p>Aplicar los ensayos de evaluación cada 40 metros siguiendo la metodología de las deflexiones a los pavimentos asfálticos de la vía Panamericana Norte tramo Ovalo Huanchaco – El Milagro km 578 al km 583.</p>	<p>VARIABLE DEPENDIENTE</p> <p>Deflexiones del pavimento</p>	<p>Módulo Resiliente y elástico</p>	<p>AASHTO-93</p>

		Procesar y analizar los resultados, y diagnosticar la calidad en los tramos de la vía Panamericana Norte tramo Ovalo Huanchaco – El Milagro km 578 al km 583.			
--	--	---	--	--	--

3.2.4 Instrumentos de recolección de Datos

La recolección de datos se hizo mediante 5 ensayos, dentro de los cuales se analizó un kilómetro por ensayo recolectando datos de las deflexiones cada 0.50 m, 1.00m y 40m, tomando 25 lecturas por ensayo, los cuales fueron pasados a unos formatos en el programa de Excel.

3.2.5 Procedimientos y análisis de datos

Tablas

Tabla. Clasificación condicional estructural del pavimento según el valor de deflexión.

Deformación D0	Clasificación	Valor de la deflexión
Baja	Bueno	0 a 0,099 mm
Alta	Malo	Mayor o igual que 0,1 mm

DEFLEXION MAXIMA(D0)	CONCLUSIONES
ALTA	Superficie de Rodadura debil, Subrasante debil.
BAJA	Superficie de Rodadura Fuerte, Subrasante fuerte.

FUENTE :

Los factores de corrección aplicados a la deflexión, se tomaron de las Bases teóricas

Según MTC E 1002 – 2000 APARATO (VIGA BENKELMAN) , además de otros ensayos antes realizados en otras ciudades.

Superficie de Rodadura fuerte: Su diseño va a resistir el tiempo para el que fue diseñado.

Superficie de Rodadura débil: Necesita rehabilitación.

Subrasante fuerte: cuando $50\% <$

Subrasante débil: $> 20\%$

Procedimiento del ensayo con la Viga Benkelman

Los ensayos se realizaron con una Viga Benkelman marca PINZUAR MODELO PA-74, SERIE 075, proporcionada por el Ingeniero Huertas Polo.



Para iniciar se realizó el reconocimiento de las partes de la Viga Benkelman, en la imagen se observa los 2 brazos móviles y el cuerpo fijo.



Seguidamente se procedió a la colocación del primer brazo con la siguiente medida: desde el pivote al punto de prueba = 2.440 metros, en la imagen se encuentra Ingeniero Luis Salazar, especialista en realizar estos ensayos con la Viga Benkelman.





Se continua con la colocación y ajuste del segundo brazo móvil, se desarrolla el ajuste con una llave reguladora N°10, el cual tiene las siguientes medidas: Longitud del segundo brazo de ensayo, desde el pivote a la punta de prueba = 2.190 m.





Colocación de los 2 diales registradores debidamente ajustados para obtener una medición óptima, 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 al punto de apoyo del vástago de su dial registrador = 0.5475 m.





Una vez colocado los brazos móviles y los diales, se procede a calibrar los 2 diales para obtener precisión en la toma de datos de las deflexiones.



Es de suma importancia el camión para el ensayo el cual debe tuvo las siguientes características.

El eje trasero peso 8.000 kilogramos, estuvieron distribuidos en sus ruedas duales

Se tuvo una distancia entre los puntos medios de la banda de rodamiento de ambas llantas de cada rueda dual de 32 cm.

Datos del volquete longitud: 6.55m, altura: 2.50m y ancho 2.47m.

Placa A9A-874.

Color tolva: rojo.

Empresa de transportes pesado: "El Samaritano".



Antes de iniciar la medición de las deflexiones se tiene que marcar en el eje de la llanta trasera de donde será la partida del volquete, es aquí donde se marca las distancias usadas, empezando de la progresiva +00 – 0.50m – 1.00m – 40m.



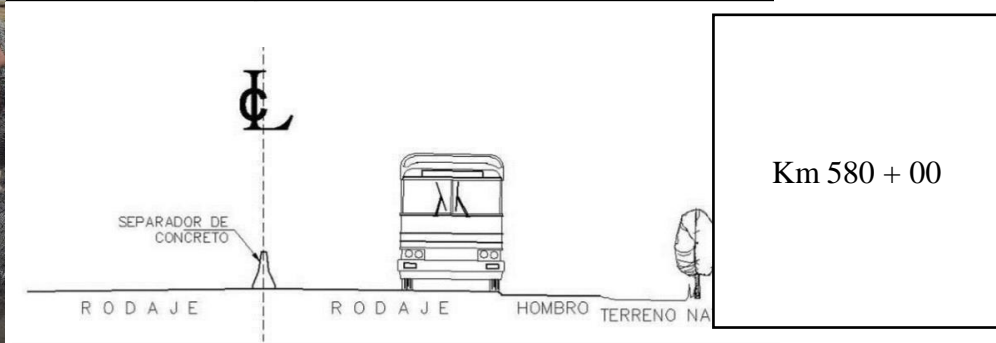
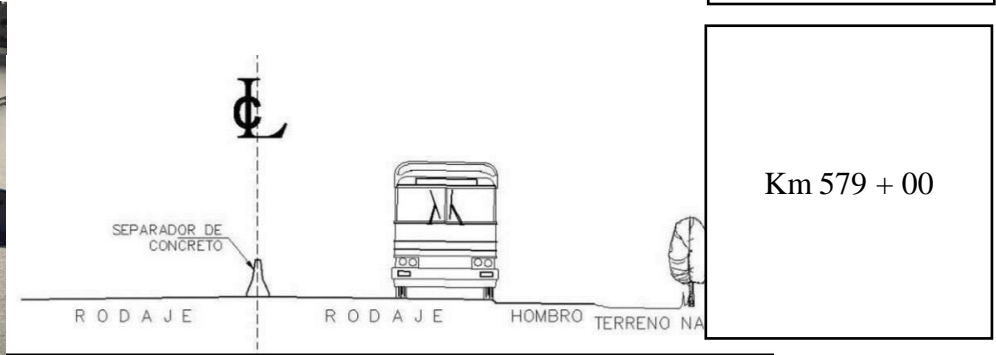
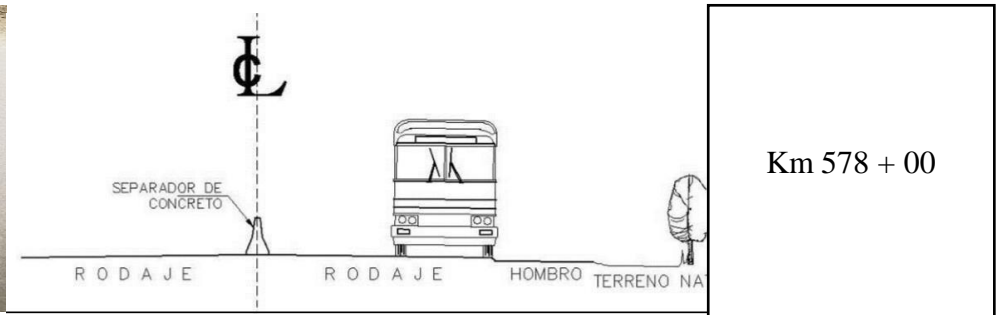
Se inicia la medición de las deflexiones en los diales en el kilómetro 578, donde se obtuvo las siguientes medidas.

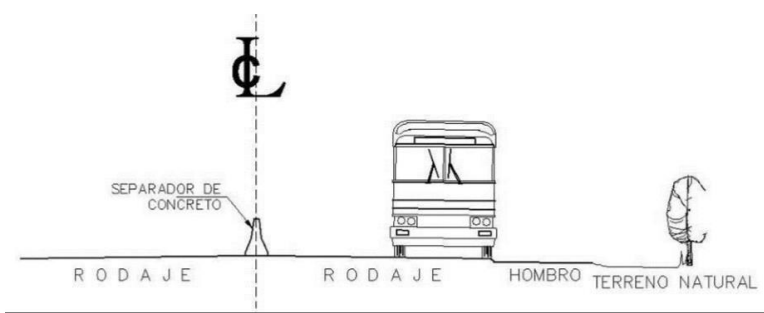
En el primer dial se registró: (color blanco)

$D_0 = 0.0$	$D_{01} = 0.5$ m	$D_{02} = 1,0$ m	$D_{03} = 40$ m
0,000	0,048	0,078	0,112

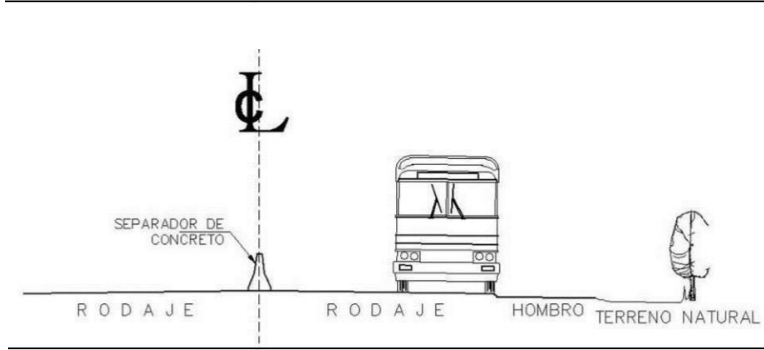
En el segundo dial se registró: (color amarillo)

$D_{25} = 0.0$	$D_{251} = 0.5$ m	$D_{252} = 1,0$ m	$D_{253} = 40$ m
0,000	0,040	0,066	0,076

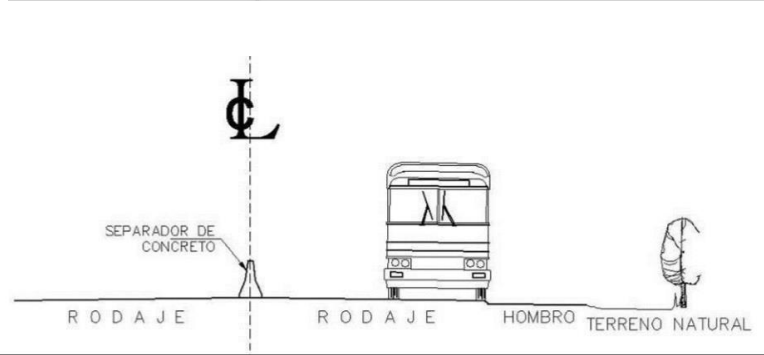




Km 581 + 00



Km 582 + 00

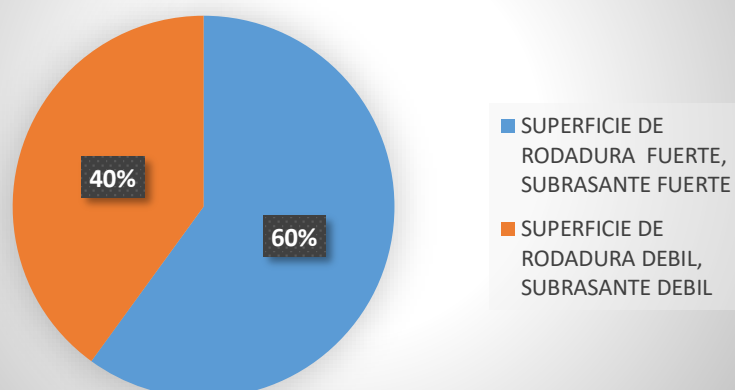


Km 583 + 00

PRIMER ENSAYO (KM 578- KM579)

ENSAYO DE DEFLEXIÓN - VIGA BENKELMAN											
NORMA MTC E 1002 - ASTM D 4695											
Proyecto de Tesis		"EVALUACION DE LAS DEFLEXIONES DE LA VIA DE EVITAMIENTO PANAMERICANA NORTE KM 578 AL KM 583 , UTILIZANDO LA VIGA DE BENKELMAN"									
Tramo de Evaluación		: Km 578 - Km579 Panamericana Norte Trujillo - La Libertad									
Carga Eje Trasero		: 18 000 lib									
Fecha		:05/05/2017									
Se tomara la Deflexion maxima D03 para poder ver la mayor falla del pavimento											
Todos los datos estan tomado en mm											
Nº	PROGRESIVA	Lectura Deflectómetro en el Eje (mm)				Lect. Deflect. 25 cm detrás del Eje (mm)				Deflexión D = D ₀ . D ₂₅	CONCLUSIONES GENERALES
		D ₀ =0.0	D ₀ 1=0.5 m	D ₀ 2=1,0 m	D ₀ 3=40 m	D ₂₅ =0.0	D ₂₅ 1=0.5 m	D ₂₅ 2=1,0 m	D ₂₅ 3=40 m		
1	578+40	0,000	0,048	0,078	0,148	0,000	0,040	0,040	0,108	0,040	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
2	578+80	0,000	0,062	0,096	0,138	0,000	0,032	0,043	0,095	0,043	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
3	578+120	0,000	0,077	0,110	0,175	0,000	0,033	0,050	0,069	0,106	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL
4	578+160	0,000	0,051	0,130	0,164	0,000	0,053	0,062	0,061	0,103	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL
5	578+200	0,000	0,074	0,138	0,162	0,000	0,071	0,082	0,096	0,066	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
6	578+240	0,000	0,070	0,128	0,150	0,000	0,059	0,076	0,088	0,062	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
7	578+280	0,000	0,064	0,118	0,175	0,000	0,035	0,070	0,067	0,108	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL
8	578+320	0,000	0,075	0,112	0,133	0,000	0,068	0,080	0,089	0,044	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
9	578+360	0,000	0,058	0,062	0,089	0,000	0,061	0,075	0,070	0,019	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
10	578+400	0,000	0,040	0,110	0,158	0,000	0,053	0,088	0,101	0,057	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
11	578+440	0,000	0,038	0,120	0,120	0,000	0,056	0,064	0,078	0,042	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
12	578+480	0,000	0,042	0,099	0,146	0,000	0,046	0,060	0,087	0,059	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
13	578+520	0,000	0,039	0,096	0,139	0,000	0,580	0,062	0,089	0,050	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
14	578+560	0,000	0,044	0,114	0,135	0,000	0,048	0,060	0,088	0,047	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
15	578+600	0,000	0,052	0,098	0,118	0,000	0,062	0,070	0,069	0,049	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
16	578+640	0,000	0,055	0,099	0,169	0,000	0,047	0,062	0,064	0,105	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL
17	578+680	0,000	0,061	0,092	0,178	0,000	0,045	0,066	0,071	0,107	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL
18	578+720	0,000	0,048	0,088	0,185	0,000	0,053	0,058	0,096	0,089	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
19	578+760	0,000	0,063	0,108	0,135	0,000	0,047	0,060	0,074	0,061	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
20	578+800	0,000	0,055	0,090	0,128	0,000	0,050	0,580	0,078	0,050	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
21	578+840	0,000	0,048	0,120	0,159	0,000	0,047	0,054	0,054	0,105	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL
22	578+880	0,000	0,510	0,118	0,162	0,000	0,052	0,061	0,061	0,101	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL
23	578+920	0,000	0,042	0,099	0,178	0,000	0,048	0,058	0,068	0,110	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL
24	578+960	0,000	0,052	0,116	0,169	0,000	0,051	0,059	0,066	0,103	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL
25	579+000	0,000	0,048	0,114	0,171	0,000	0,046	0,052	0,062	0,109	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL

PRIMER ENSAYO KM 578 - KM 579



DEFLEXION MAXIMA(D0)	CONCLUSIONES
ALTA	Superficie de Rodadura debil, Subrasante debil.
BAJA	Superficie de Rodadura Fuerte, Subrasante fuerte.

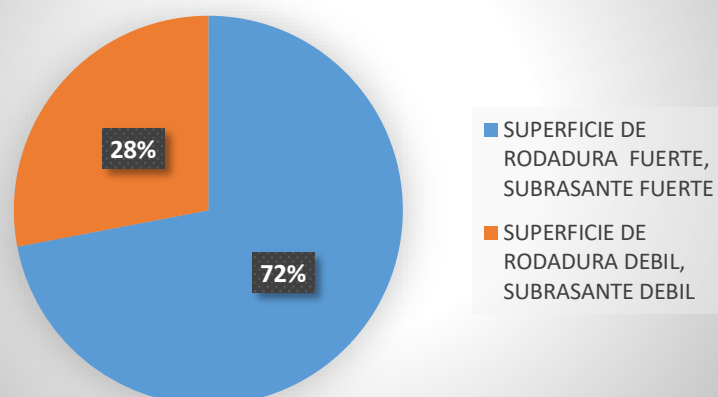
Tabla. Clasificación condicional estructural del pavimento según el valor de deflexión.

Deformación D0	Clasificación	Valor de la deflexión
Baja	Bueno	0 a 0,099 mm
Alta	Malo	Mayor o igual que 0,1 mm

SEGUNDO ENSAYO (KM 579 – KM 580)

ENSAYO DE DEFLEXIÓN - VIGA BENKELMAN											
NORMA MTC E 1002 - ASTM D 4695											
Proyecto de Tesis		"EVALUACION DE LAS DEFLEXIONES DE LA VIA DE EVITAMIENTO PANAMERICANA NORTE KM 578 AL KM 583 , UTILIZANDO LA VIGA DE BENKELMAN"									
Tramo de Evaluación		: Km 579 - Km580 Panamericana Norte Trujillo - La Libertad									
Carga Eje Trasero		: 18 000 lib									
Fecha		:10/05/2017									
Nº	PROGRESIVA	Lectura Deflectómetro en el Eje (mm)				Lect. Deflect. 25 cm detrás del Eje (mm)				Deflexión D = D ₀ . D ₂₅	CONCLUSIONES GENERALES
		D ₀ = 0.0	D ₀ 1= 0.5 m	D ₀ 2= 1,0 m	D ₀ 3= 40 m	D ₂₅ = 0.0	D ₂₅ 1= 0.5 m	D ₂₅ 2= 1,0 m	D ₂₅ 3= 40 m		
1	579+40	0,000	0,051	0,081	0,139	0,000	0,037	0,038	0,093	0,046	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
2	579+80	0,000	0,058	0,089	0,142	0,000	0,029	0,047	0,088	0,054	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
3	579+120	0,000	0,075	0,098	0,152	0,000	0,038	0,056	0,095	0,057	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
4	579+160	0,000	0,047	0,120	0,113	0,000	0,048	0,067	0,071	0,042	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
5	579+200	0,000	0,077	0,127	0,137	0,000	0,068	0,077	0,079	0,058	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
6	579+240	0,000	0,067	0,115	0,177	0,000	0,048	0,068	0,064	0,113	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL
7	579+280	0,000	0,058	0,120	0,169	0,000	0,037	0,071	0,067	0,102	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL
8	579+320	0,000	0,070	0,109	0,189	0,000	0,075	0,075	0,078	0,111	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL
9	579+360	0,000	0,053	0,087	0,098	0,000	0,055	0,074	0,079	0,019	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
10	579+400	0,000	0,035	0,990	0,138	0,000	0,059	0,082	0,096	0,042	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
11	579+440	0,000	0,045	0,086	0,142	0,000	0,077	0,081	0,091	0,051	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
12	579+480	0,000	0,071	0,098	0,149	0,000	0,060	0,091	0,092	0,057	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
13	579+520	0,000	0,081	0,102	0,134	0,000	0,048	0,039	0,081	0,053	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
14	579+560	0,000	0,430	0,135	0,146	0,000	0,078	0,063	0,091	0,055	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
15	579+600	0,000	0,066	0,128	0,126	0,000	0,038	0,059	0,084	0,042	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
16	579+640	0,000	0,055	0,089	0,176	0,000	0,028	0,057	0,072	0,104	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL
17	579+680	0,000	0,082	0,082	0,187	0,000	0,059	0,068	0,086	0,101	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL
18	579+720	0,000	0,039	0,111	0,127	0,000	0,088	0,058	0,074	0,053	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
19	579+760	0,000	0,048	0,134	0,144	0,000	0,072	0,043	0,082	0,062	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
20	579+800	0,000	0,075	0,128	0,141	0,000	0,067	0,049	0,082	0,059	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
21	579+840	0,000	0,069	0,129	0,131	0,000	0,052	0,079	0,089	0,042	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
22	579+880	0,000	0,059	0,113	0,169	0,000	0,058	0,082	0,067	0,102	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL
23	579+920	0,000	0,064	0,118	0,179	0,000	0,049	0,073	0,075	0,104	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL
24	579+960	0,000	0,047	0,084	0,153	0,000	0,039	0,055	0,085	0,068	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
25	580+000	0,000	0,078	0,109	0,146	0,000	0,072	0,081	0,092	0,054	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE

SEGUNDO ENSAYO KM 579 - KM 580



DEFLEXION MAXIMA(D0)	CONCLUSIONES
ALTA	Superficie de Rodadura debil, Subrasante debil.
BAJA	Superficie de Rodadura Fuerte, Subrasante fuerte.

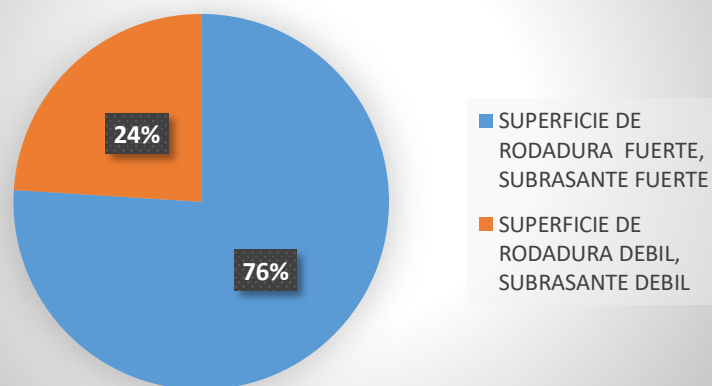
Tabla. Clasificación condicional estructural del pavimento según el valor de deflexión.

Deformación D0	Clasificación	Valor de la deflexión
Baja	Bueno	0 a 0,099 mm
Alta	Malo	Mayor o igual que 0,1 mm

TERCER ENSAYO (KM 580 – KM 581)

ENSAYO DE DEFLEXIÓN - VIGA BENKELMAN											
NORMA MTC E 1002 - ASTM D 4695											
Proyecto de Tesis		"EVALUACION DE LAS DEFLEXIONES DE LA VIA DE EVITAMIENTO PANAMERICANA NORTE KM 578 AL KM 583 , UTILIZANDO LA VIGA DE BENKELMAN"									
Tramo de Evaluación		: Km 580 - Km581 Panamericana Norte Trujillo - La Libertad									
Carga Eje Trasero		: 18 000 lib									
Fecha		:23/05/2017									
N°	PROGRESIVA	Lectura Deflectómetro en el Eje (mm)				Lect. Deflect. 25 cm detrás del Eje (mm)				Deflexión D = D ₀ , D ₂₅	CONCLUSIONES GENERALES
		D ₀ = 0.0	D ₀ 1=0.5 m	D ₀ 2=1,0 m	D ₀ 3= 40 m	D ₂₅ =0.0	D ₂₅ 1=0.5 m	D ₂₅ 2=1,0 m	D ₂₅ 3= 40 m		
1	580+40	0,000	0,048	0,078	0,146	0,000	0,040	0,062	0,078	0,068	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
2	580+80	0,000	0,062	0,096	0,138	0,000	0,032	0,043	0,089	0,049	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
3	580+120	0,000	0,077	0,110	0,162	0,000	0,033	0,050	0,102	0,060	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
4	580+160	0,000	0,051	0,130	0,148	0,000	0,053	0,062	0,088	0,060	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
5	580+200	0,000	0,074	0,138	0,174	0,000	0,071	0,082	0,073	0,101	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL
6	580+240	0,000	0,070	0,128	0,187	0,000	0,059	0,076	0,067	0,120	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL
7	580+280	0,000	0,064	0,118	0,165	0,000	0,035	0,070	0,053	0,112	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL
8	580+320	0,000	0,075	0,112	0,133	0,000	0,068	0,080	0,089	0,044	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
9	580+360	0,000	0,058	0,090	0,143	0,000	0,061	0,075	0,087	0,056	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
10	580+400	0,000	0,040	0,110	0,145	0,000	0,053	0,088	0,095	0,050	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
11	580+440	0,000	0,042	0,089	0,137	0,000	0,048	0,077	0,095	0,042	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
12	580+480	0,000	0,039	0,082	0,136	0,000	0,062	0,063	0,076	0,060	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
13	580+520	0,000	0,044	0,111	0,138	0,000	0,055	0,077	0,086	0,052	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
14	580+560	0,000	0,039	0,098	0,134	0,000	0,038	0,051	0,088	0,046	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
15	580+600	0,000	0,048	0,118	0,165	0,000	0,054	0,074	0,073	0,092	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
16	580+640	0,000	0,075	0,126	0,135	0,000	0,070	0,076	0,079	0,056	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
17	580+680	0,000	0,055	0,088	0,141	0,000	0,038	0,054	0,098	0,043	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
18	580+720	0,000	0,059	0,079	0,152	0,000	0,047	0,061	0,097	0,055	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
19	580+760	0,000	0,077	0,089	0,134	0,000	0,056	0,058	0,084	0,050	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
20	580+800	0,000	0,060	0,070	0,162	0,000	0,058	0,067	0,098	0,064	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
21	580+840	0,000	0,040	0,098	0,171	0,000	0,052	0,074	0,070	0,101	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL
22	580+880	0,000	0,032	0,132	0,166	0,000	0,430	0,660	0,058	0,108	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL
23	580+920	0,000	0,033	0,082	0,179	0,000	0,058	0,074	0,074	0,105	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL
24	580+960	0,000	0,053	0,112	0,135	0,000	0,041	0,059	0,086	0,049	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
25	581+000	0,000	0,071	0,128	0,144	0,000	0,052	0,082	0,102	0,042	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE

TERCER ENSAYO KM 580 - KM 581



DEFLEXION MAXIMA(D0)	CONCLUSIONES
ALTA	Superficie de Rodadura debil, Subrasante debil.
BAJA	Superficie de Rodadura Fuerte, Subrasante fuerte.

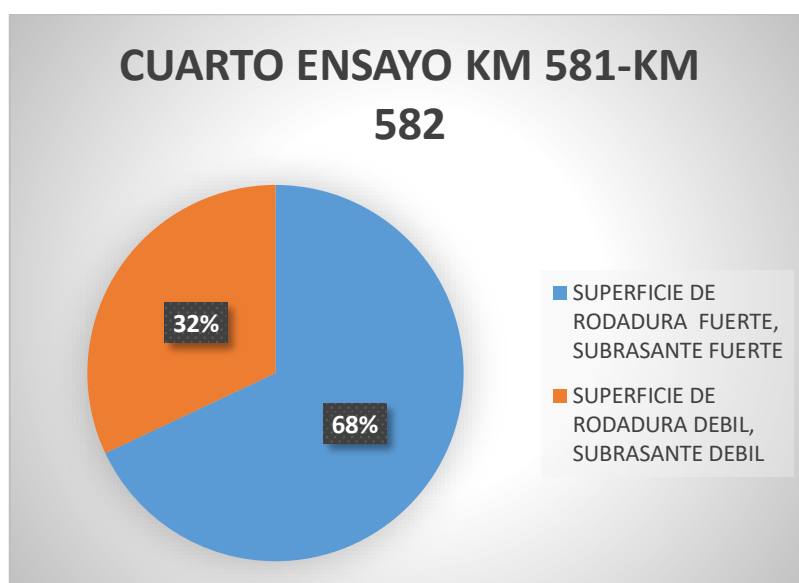
Tabla. Clasificación condicional estructural del pavimento según el valor de deflexión.

Deformación D0	Clasificación	Valor de la deflexión
Baja	Bueno	0 a 0,099 mm
Alta	Malo	Mayor o igual que 0,1 mm

CUARTO ENSAYO (KM 581 – KM 582)

ENSAYO DE DEFLEXIÓN - VIGA BENKELMAN											
NORMA MTC E 1002 - ASTM D 4695											
Proyecto de Tesis		"EVALUACION DE LAS DEFLEXIONES DE LA VIA DE EVITAMIENTO PANAMERICANA NORTE KM 578 AL KM 583 , UTILIZANDO LA VIGA DE BENKELMAN"									
Tramo de Evaluación		: Km 581 - Km582 Panamericana Norte Trujillo - La Libertad									
Carga Eje Trasero		: 18 000 lib									
Fecha		:10/06/2017									
Nº	PROGRESIVA	Lectura Deflectómetro en el Eje (mm)				Lect. Deflect. 25 cm detrás del Eje (mm)				Deflexión D = D ₀ - D ₂₅	CONCLUSIONES GENERALES
		D ₀ =0.0	D ₀ 1=0.5 m	D ₀ 2=1,0 m	D ₀ 3=40 m	D ₂₅ =0.0	D ₂₅ 1=0.5 m	D ₂₅ 2=1,0 m	D ₂₅ 3=40 m		
1	581+40	0,000	0,048	0,067	0,152	0,000	0,040	0,065	0,069	0,083	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
2	581+80	0,000	0,062	0,096	0,149	0,000	0,032	0,043	0,089	0,060	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
3	581+120	0,000	0,077	0,089	0,135	0,000	0,033	0,050	0,076	0,059	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
4	581+160	0,000	0,051	0,110	0,166	0,000	0,053	0,062	0,067	0,099	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
5	581+200	0,000	0,054	0,098	0,177	0,000	0,071	0,082	0,074	0,103	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL
6	581+240	0,000	0,070	0,128	0,174	0,000	0,059	0,076	0,069	0,105	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL
7	581+280	0,000	0,064	0,118	0,179	0,000	0,035	0,070	0,072	0,107	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL
8	581+320	0,000	0,075	0,112	0,133	0,000	0,068	0,080	0,089	0,044	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
9	581+360	0,000	0,058	0,770	0,141	0,000	0,061	0,068	0,061	0,080	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
10	581+400	0,000	0,040	0,110	0,157	0,000	0,053	0,078	0,065	0,092	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
11	581+440	0,000	0,062	0,096	0,149	0,000	0,039	0,079	0,082	0,067	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
12	581+480	0,000	0,072	0,084	0,151	0,000	0,048	0,077	0,074	0,077	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
13	581+520	0,000	0,076	0,086	0,128	0,000	0,065	0,073	0,079	0,049	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
14	581+560	0,000	0,070	0,096	0,130	0,000	0,055	0,068	0,089	0,041	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
15	581+600	0,000	0,080	0,128	0,174	0,000	0,059	0,074	0,061	0,113	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL
16	581+640	0,000	0,075	0,118	0,182	0,000	0,064	0,068	0,079	0,103	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL
17	581+680	0,000	0,088	0,112	0,185	0,000	0,047	0,070	0,084	0,101	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL
18	581+720	0,000	0,048	0,090	0,154	0,000	0,078	0,080	0,088	0,066	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
19	581+760	0,000	0,062	0,110	0,157	0,000	0,040	0,075	0,079	0,078	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
20	581+800	0,000	0,068	0,076	0,187	0,000	0,032	0,088	0,098	0,089	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
21	581+840	0,000	0,051	0,112	0,162	0,000	0,033	0,072	0,104	0,058	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
22	581+880	0,000	0,074	0,102	0,162	0,000	0,038	0,045	0,083	0,079	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
23	581+920	0,000	0,070	0,089	0,145	0,000	0,044	0,066	0,098	0,047	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
24	581+960	0,000	0,079	0,097	0,187	0,000	0,059	0,077	0,082	0,105	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL
25	582+000	0,000	0,039	0,079	0,179	0,000	0,039	0,063	0,077	0,102	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL

CUARTO ENSAYO KM 581-KM 582



DEFLEXION MAXIMA(D0)	CONCLUSIONES
ALTA	Superficie de Rodadura debil, Subrasante debil.
BAJA	Superficie de Rodadura Fuerte, Subrasante fuerte.

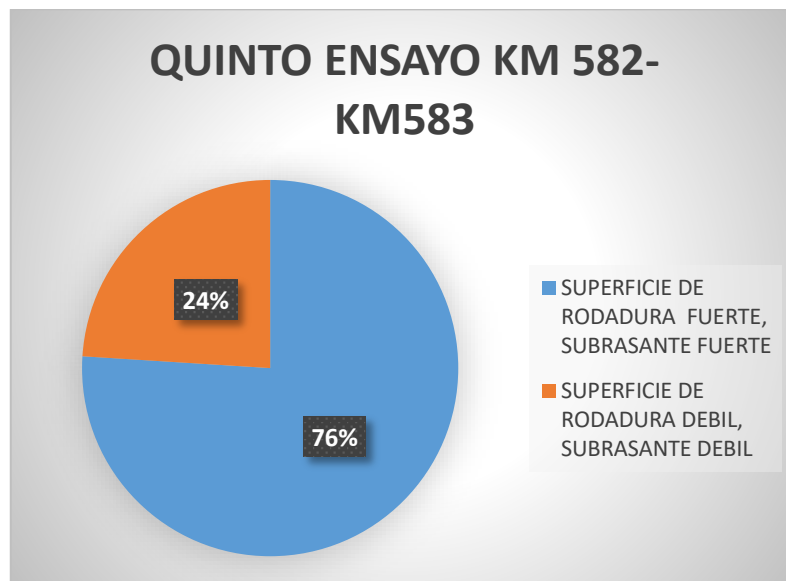
Tabla. Clasificación condicional estructural del pavimento según el valor de deflexión.

Deformación D0	Clasificación	Valor de la deflexión
Baja	Bueno	0 a 0,099 mm
Alta	Malo	Mayor o igual que 0,1 mm

QUINTO ENSAYO (KM 582 – KM 583)

ENSAYO DE DEFLEXIÓN - VIGA BENKELMAN											
NORMA MTC E 1002 - ASTM D 4695											
Proyecto de Tesis		"EVALUACION DE LAS DEFLEXIONES DE LA VIA DE EVITAMIENTO PANAMERICANA NORTE KM 578 AL KM 583 , UTILIZANDO LA VIGA DE BENKELMAN"									
Tramo de Evaluación		: Km 582 - Km583 Panamericana Norte Trujillo - La Libertad									
Carga Eje Trasero		: 18 000 lib									
Fecha		:17/06/2017									
N°	PROGRESIVA	Lectura Deflectómetro en el Eje (mm)				Lect. Deflect. 25 cm detrás del Eje (mm)				Deflexión D = D ₀ . D ₂₅	CONCLUSIONES GENERALES
		D ₀ =0.0	D ₀ 1=0.5 m	D ₀ 2=1,0 m	D ₀ 3= 40 m	D ₂₅ =0.0	D ₂₅ 1=0.5 m	D ₂₅ 2=1,0 m	D ₂₅ 3= 40 m		
1	582+40	0,000	0,048	0,078	0,132	0,000	0,040	0,066	0,076	0,056	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
2	582+80	0,000	0,062	0,084	0,104	0,000	0,032	0,043	0,056	0,048	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
3	582+120	0,000	0,077	0,110	0,164	0,000	0,033	0,050	0,053	0,111	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL
4	582+160	0,000	0,051	0,088	0,176	0,000	0,053	0,076	0,069	0,107	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL
5	582+200	0,000	0,074	0,108	0,138	0,000	0,071	0,082	0,097	0,041	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
6	582+240	0,000	0,070	0,128	0,152	0,000	0,059	0,076	0,063	0,089	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
7	582+280	0,000	0,064	0,118	0,162	0,000	0,035	0,070	0,078	0,084	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
8	582+320	0,000	0,075	0,112	0,133	0,000	0,068	0,080	0,092	0,041	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
9	582+360	0,000	0,058	0,078	0,143	0,000	0,061	0,075	0,092	0,051	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
10	582+400	0,000	0,040	0,110	0,138	0,000	0,053	0,088	0,093	0,045	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
11	582+440	0,000	0,037	0,088	0,154	0,000	0,043	0,072	0,078	0,076	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
12	582+480	0,000	0,045	0,079	0,143	0,000	0,045	0,053	0,082	0,061	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
13	582+520	0,000	0,076	0,088	0,183	0,000	0,038	0,063	0,076	0,107	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL
14	582+560	0,000	0,039	0,095	0,186	0,000	0,062	0,077	0,084	0,102	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL
15	582+600	0,000	0,063	0,108	0,142	0,000	0,038	0,063	0,075	0,067	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
16	582+640	0,000	0,071	0,079	0,127	0,000	0,039	0,058	0,072	0,055	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
17	582+680	0,000	0,046	0,110	0,148	0,000	0,037	0,049	0,064	0,084	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
18	582+720	0,000	0,054	0,099	0,134	0,000	0,054	0,066	0,077	0,057	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
19	582+760	0,000	0,061	0,116	0,154	0,000	0,062	0,070	0,063	0,091	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
20	582+800	0,000	0,072	0,106	0,185	0,000	0,042	0,058	0,082	0,103	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL
21	582+840	0,000	0,055	0,097	0,182	0,000	0,051	0,062	0,074	0,108	SUPERFICIE DE RODADURA DEBIL, SUBRASANTE DEBIL
22	582+880	0,000	0,049	0,086	0,151	0,000	0,067	0,072	0,087	0,064	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
23	582+920	0,000	0,053	0,094	0,143	0,000	0,044	0,059	0,091	0,052	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
24	582+960	0,000	0,62	0,087	0,131	0,000	0,059	0,082	0,087	0,044	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE
25	583+000	0,000	0,75	0,134	0,172	0,000	0,039	0,042	0,084	0,088	SUPERFICIE DE RODADURA FUERTE, SUBRASANTE FUERTE

QUINTO ENSAYO KM 582- KM583



DEFLEXION MAXIMA(D0)	CONCLUSIONES
ALTA	Superficie de Rodadura debil, Subrasante debil.
BAJA	Superficie de Rodadura Fuerte, Subrasante fuerte.

Tabla. Clasificación condicional estructural del pavimento según el valor de deflexión.

Deformación D0	Clasificación	Valor de la deflexión
Baja	Bueno	0 a 0,099 mm
Alta	Malo	Mayor o igual que 0,1 mm

CAPITULO IV
ANALISIS DE RESULTADOS

IDENTIFICACION Y LOCALIZACION DE RUTA A EVALUAR

La evaluación de la capacidad estructural del pavimento basada en la medida de la deflexión, determinada con los equipos de la Viga Benkelman; se realizó en la en vía Panamericana Norte tramo Ovalo Huanchaco – El Milagro km 578 al km 583.

Tabla

DATOS DE LA RUTA	
DATOS DE LA RUTA	DESCRIPCION
TRAMO	PANAMERICA NORTE-VIA DE EVITAMIENTO KM578 AL KM 583 TRAMO OVALO HUANCHACO-EL MILAGRO
DEPARTAMENTO	LA LIBERTAD
TIPO DE CARRETERA	PANAMERICA NORTE-VIA DE EVITAMIENTO
NUMERO DE CARRIL	4
NUMERO DE CARRIL POR SENTIDO	2
ANCHO DE CARRIL	3.50 M
CLASIFICACION DE LA VIA	PRIMARIA
TIPO DE SUPERFICIE	CARPETA ASFALTICA
KM INICIAL	578+000
KM FINAL	583+000
ESPESOR DE LA CAPA DE RODADURA	10 CM

MEDICION DE DEFLEXIONES CON LA VIGA BENKELMAN

La medición de las deflexiones con la viga Benkelman en la vía Panamericana Norte tramo Ovalo Huanchaco – El Milagro km 578 al km 583. En donde la metodología utilizada fue la siguiente, primeramente se seleccionó la ruta en la cual se determinarían las deflexiones.- Seguidamente a la ruta se procede a la medición de la distancia de estacionamientos, siendo esta de 40m, hay que tomar en cuenta que según la norma AASHTO 93 T256-01 en su apartado 9 “Localización y Frecuencia de Muestreo” define las respectivas distancias según el alcance del proyecto para nuestro caso el objetivo es aproximarse al punto medido con el FWD. El número total de estacionamientos medidos con la viga Benkelman son 25 puntos, en una longitud total de 5 kilómetros. Para la medición de cada punto se identificó la estación, luego se ubicó el camión en posición requerida, luego se coloca la viga Benkelman lista para medir calibrando el dial del micrómetro en cero

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 CONCLUSIONES

- Con la aplicación de la viga benkelman en los pavimentos asfálticos de la vía panamericana norte km 578 al km 583, hemos determinado las deflexiones de la vía antes citada.

- Con los ensayos realizados con la Viga Benkelman llegamos a la conclusión que de los 5 kilómetros analizados tenemos un 70.40% tiene una superficie de rodadura fuerte – subrasante fuerte, un 29.60% tiene una superficie de rodadura débil – subrasante débil.

- Con los resultados obtenidos se concluyó lo siguiente:
- Del km 578+00 al km 579+00:

Progresiva	Porcentaje %	Estado de superficie de rodadura	Estado de subrasante
578+40 578+80 578+200 578+240 578+320 578+360 578+400 578+440 578+480 578+520 578+560 578+600 578+720 578+760 578+800	60	BUENO	BUENO
578+120 578+160 578+280 578+640 578+680 578+840 578+880 578+920 578+960 579+000	40	MALO	MALO

60% entre el km 578+000 al km 579+000 tiene una superficie de rodadura buena con un estado de subrasante bueno, y el 40 % tiene una superficie de rodadura mala con una subrasante mala.

- Del km 579+000 al km 580+000.

Progresiva	Porcentaje %	Estado de superficie de rodadura	Estado de subrasante
579+40 579+80 579+120 579+160 579+200 579+360 579+400 579+440 579+480 579+520 579+560 579+600 579+720 579+760 579+800 579+840 579+960 580+000	72	BUENO	BUENO
579+240 579+280 579+320 579+640 579+680 579+880 579+920	28	MALO	MALO

72% entre el km 579+000 al km 580+000 tiene una superficie de rodadura buena con un estado de subrasante bueno, y el 28% tiene una superficie de rodadura mala con una subrasante mala.

- Del km 580+000 al km 581+000.

Progresiva	Porcentaje %	Estado de superficie de rodadura	Estado de subrasante
580+40 580+80 580+120 580+160 580+320 580+360 580+400 580+440 580+480 580+520 580+560 580+600 580+640 580+680 580+720 580+760 580+800 580+960 581+000	76	BUENO	BUENO
580+200 580+240 580+280 580+840 580+880 580+920	24	MALO	MALO

76% entre el km 580+000 al km 581+000 tiene una superficie de rodadura buena con un estado de subrasante bueno, y el 24% tiene una superficie de rodadura mala con una subrasante mala.

- Del km 581+000 al km 582+000:

Progresiva	Porcentaje %	Estado de superficie de rodadura	Estado de subrasante
581+40 581+80 581+120 581+160 581+320 581+360 581+400 581+440 581+480 581+520 581+560 581+720 581+760 581+800 581+840 581+880 581+920	68	BUENO	BUENO
581+200 581+240 581+280 581+600 581+640 581+680 581+960 582+000	32	MALO	MALO

68% entre el km 581+000 al km 582+000 tiene una superficie de rodadura buena con un estado de subrasante bueno, y el 32 % tiene una superficie de rodadura mala con una subrasante mala.

- Del km 582+000 al km 583+000.

Progresiva	Porcentaje %	Estado de superficie de rodadura	Estado de subrasante
582+40 582+80 582+200 582+240 582+280 582+320 582+360 582+400 582+440 582+480 582+600 582+640 582+680 582+720 582+760 582+880 582+920 582+960 583+000	76	BUENO	BUENO
582+120 582+160 582+520 582+560 582+800 582+840	24	MALO	MALO

76% entre el km 582+000 al km 583+000 tiene una superficie de rodadura buena con un estado de subrasante bueno, y el 24 % tiene una superficie de rodadura mala con una subrasante mala.

5.2 RECOMENDACIONES

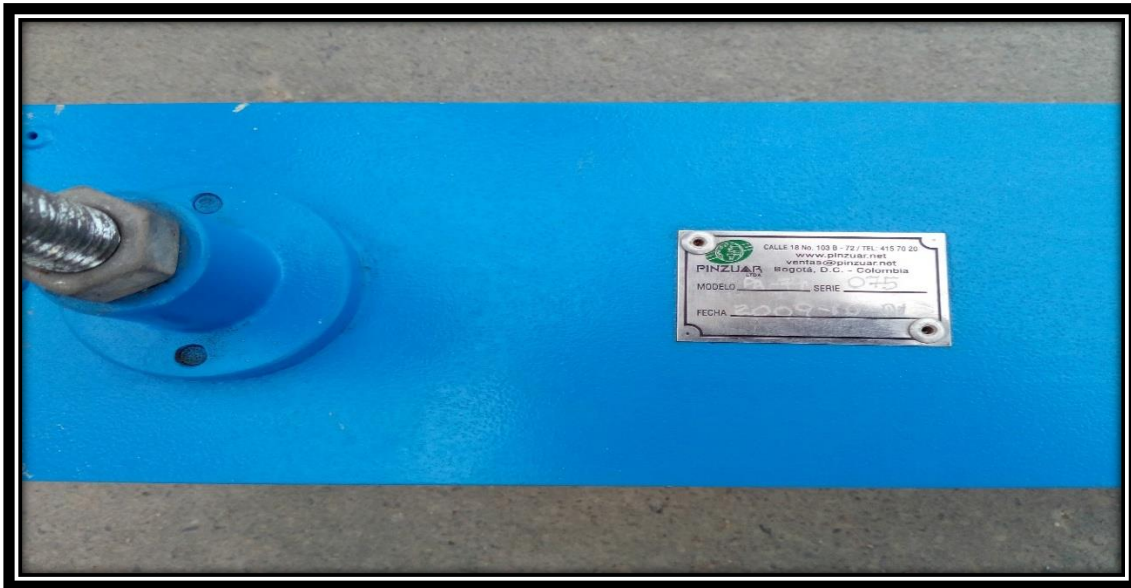
- Se recomienda armar con mucho cuidado la viga benkelman con la ayuda de un especialista.
- Tomar las medidas después de 60 segundos en los diales para mayor veracidad.
- Cumplir con el procedimiento para los ensayos que la norma del MTC E 1002 – 2000 nos indica.
- El camión debe estar cargado de la siguiente manera El eje trasero pesara en la balanza 8.175 Toneladas.
- La viga benkelman debe colocarse en detrás del camión, perpendicular 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.
- Este método es muy recomendable ya que se puede emplear en la construcción y postconstrucción de una carretera.
- Con una adecuada calibración de la Viga Benkelman se podrá realizar los ensayos sin ningún inconveniente en la lectura de las mediciones en los diales.
- Del 29.60% de los 5 km analizados que tiene una superficie de rodadura débil – subrasante débil, se recomienda una pronta rehabilitación o recapeo de la superficie de rodadura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Higuera Sandoval, C. H. (2010). Caracterización de la Resistencia de la Subrasante con la Información del Deflectómetro de Impacto. Colombia. ASTM D4695 MTC E 1002 – 2000
- “Determinación de la capacidad estructural de la vía panamericana norte ruta pe-1n, aplicando la metodología de retro calculo con información de Deflectómetro de impacto (fwd), tramo Trujillo – Chicama”
- Estudio Definitivo Rehabilitación de la carretera Panamericana Norte, Tramo: km 557+000 – km 886+600 Vía de Evitamiento Trujillo.
- “Análisis comparativo de la evaluación de pavimentos por medio de la viga benkelman y el deflectómetro de impacto (falling weight deflectometer, fwd)”

ANEXOS

FOTOS



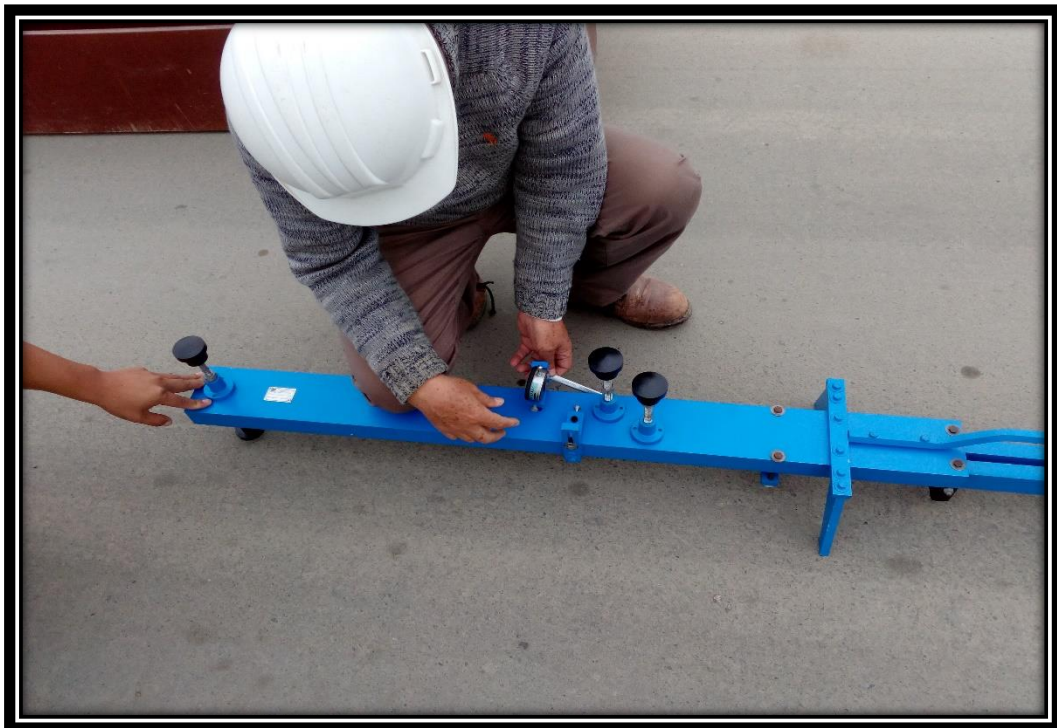
MARCA DE LA VIGA BENKELMAN PINZUAR MODELO PA-74, SERIE 075



VOLQUETE CARGADO CON 8m³ DE ARENA GRUESA EN EL EJE TRASERO IGUALMENTE DISTRIBUIDOS EN SUS RUEDAS DUALES Y EQUIPADO CON LLANTAS DE CAUCHO DE 10" X 20".



COLOCACION DE LOS 2 BRAZOS DE LA VIGA BENKELMAN LONGITUD DEL PRIMER BRAZO DE ENSAYO, DESDE EL PIVOTE AL PUNTO DE PRUEBA = 2.440 M. LONGITUD DEL SEGUNDO BRAZO DE ENSAYO, DESDE EL PIVOTE A LA PUNTA DE PRUEBA = 2.190 M.



ARMADO DE VIGA, COLOCACION DE LOS 2 DIALES.



CALIBRACION DE LOS DIALES, HASTA QUE LA AGUJA MARQUE EN EL NUMERO CERO.



REALIZANDO LA LECTURA EN LOS DIALES.

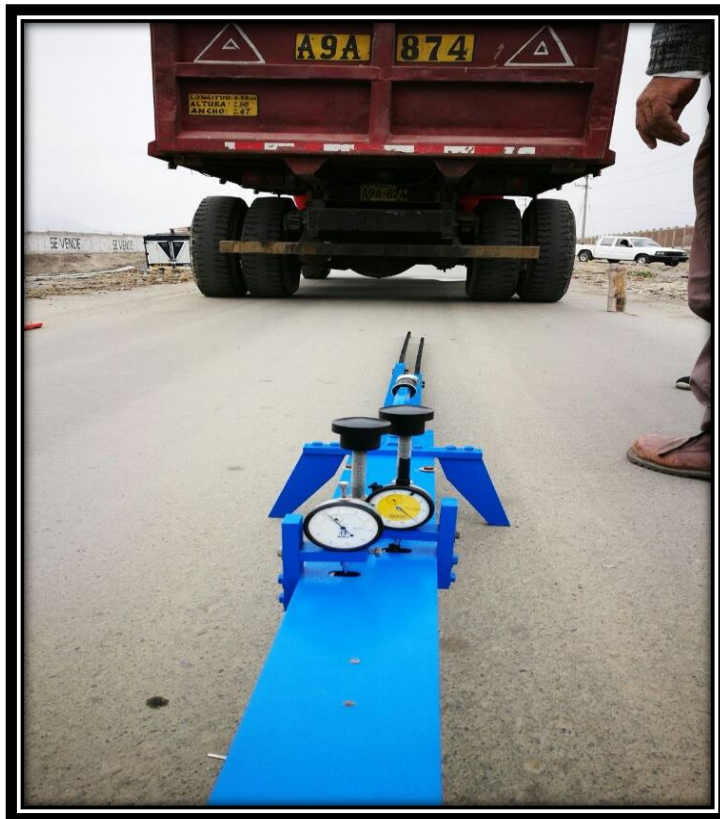


LECTURA DE LAS MEDICIONES EN LOS DIALES OBTENIDAS EN CAMPO.



TOMA DE DATOS, LECTURA EN LOS DIALES.







PROYECTO: _____ HOJA DE DATOS DE CAMPO
 TIPO DE PAVIMENTO: _____
 CARGA DE EJE: _____
 PRESION DE INFLADO: _____
 FECHA: _____
 REALIZADO POR: _____
 TEMPERATURA: _____



ESTACION	LECTURAS DE DEFLECTOMETRO				DEFLEXIONES (10 ² mm)			OBSERVACIONES
	R0+0	R1*	R2*	00	D0	DR1	DR2	

Fig. 3.5 Formato para recopilación de datos en campo

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES F.W.D.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MEDICIÓN

- * EQUIPO: DYNATEST F.W.D.
- * RADIO DEL PLATO DE CARGA: 15 cm.
- * CONFIGURACIÓN PLATO DE CARGA: 9.000 lbs. (4.086 Kgf.)
- * DISTANCIA DE SENSORES [cm.]: 0 - 30 - 60 - 90 - 120 - 150 - 180

road	dn	dir	Tramo	startkm	endkm	CCI	RCI	PSI	IRI	OPI	length	lane	lanewidth	MDR	AvgRut
CA	08	W	CA01W - Dv Jayaque	23	28	34	100	3.79	1889	26	5	7	3.5	27	0.42
CA	08	W	CA01W - Dv Jayaque	28	31	36	100	4.1	1531	29	3	7	3.5	30	0.49
CA	08	W	Dv Jayaque - Dv Sacacoyo †	31	33.354	39	100	4.24	1398	41	2.35	7	3.5	42	0.96
CA	08	W	Dv Sacacoyo - LD Sonsonate	33.354	34.525	48	100	4.5	1164	46	1.17	7	3.5	47	0.26
CA	08	W	LD La Libertad - Dv Armenia	34.525	39.125	74	100	4.21	1430	71	4.6	7	3.5	74	0.92
CA	08	W	Dv Armenia - Dv Cerro Verde	39.125	45.08	90	100	4.04	1592	86	5.96	7	3.5	90	0.69
CA	08	W	Dv Cerro Verde - Dv San Julián	45.08	49.325	83	100	4.4	1258	81	4.24	7	3.5	83	0.74
CA	08	W	Dv San Julián - Dv Atecozotl	49.325	54.575	51	100	4.2	1437	48	5.25	7	3.5	49	0.88
CA	08	W	Dv San Julián - Dv Atecozotl	54.575	57.575	46	100	4.42	1239	42	3	7	3.5	43	1.27
CA	08	W	Dv Atecozotl - Dv Izalco †	57.575	59.075	70	100	4.16	1467	64	1.5	7	3.5	66	1.28
CA	08	W	Dv Izalco - Dv Sonsonate	59.075	62.825	71	100	3.33	2591	64	3.75	7	3.53	70	1.1

road	dn	dir	Tramo	startkm	endkm	CCI	RCI	PSI	IRI	OPI	length	lane	lanewidth	MDR	AvgRut
CA	08	W	Dv Sonzacate - Dv Izalco	61	59	95	100	4.22	1418	91	2	8	3.5	94	0.91
CA	08	W	Dv Izalco - Dv Atecozotl	59	57.575	100	100	4.04	1578	94	1.42	8	3.5	98	0.73
CA	08	W	Dv Atecozotl - Dv San Julián	57.575	49.325	99	100	4.29	1379	95	8.25	8	3.5	98	1.4
CA	08	W	Dv San Julián - Dv Cerro Verde	49.325	45.08	97	100	4.24	1392	94	4.24	8	3.5	97	1.72
CA	08	W	Dv Cerro Verde - Dv Armenia	45.08	39.83	98	100	3.73	1953	92	5.25	8	3.5	98	1.37
CA	08	W	Dv Cerro Verde - Dv Armenia	39.83	39.125	73	100	3.9	1718	64	0.7	8	3.5	68	0.7
CA	08	W	Dv Armenia - LD La Libertad	39.125	34.527	71	100	4.37	1283	65	4.6	8	3.5	66	0.72
CA	08	W	LD Sonsonate - Dv Sacacoyo	34.527	33.354	67	100	4.3	1340	60	1.17	8	3.5	62	0.6
CA	08	W	Dv Sacacoyo - Dv Jayaque	33.354	31	51	100	4.17	1461	47	2.35	8	3.5	48	0.41
CA	08	W	Dv Jayaque - CA01W	31	26	53	100	4.15	1479	50	5	8	3.5	51	0.97
CA	08	W	Dv Jayaque - CA01W	26	23	63	100	3.99	1647	57	3	8	3.5	59	0.83

DEPARTAMENTO: SONSONATE

CODIGO: CA06W

Calzada: Ascendente

Septiembre de 200

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES F.W.D.

Kilometraje	Tipo Sup	Carril	K Carga	D							Aire	Sup Pav	Mid depth	Ast	B. Gra	K (static)	IR	IRP	IRN	Notas
				D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7										
34,53	F	7	40,79	302	221	145	115	88	60	59	34	45	39	100	350	13370	234290	4,91		
34,78	F	7	40,29	256	177	120	74	55	43	40	34	45	39	100	350	19479	219135	4,81		
35,03	F	7	41,49	338	248	157	104	73	59	49	34	45	39	100	350	16374	159919	4,33		
35,28	F	7	41,28	280	186	119	81	59	50	42	34	45	39	100	350	19007	246020	5,00		
35,53	F	7	40,43	264	182	117	99	71	59	54	34	45	39	100	350	14479	275083	5,21		
35,78	F	7	41,07	268	182	124	91	83	58	49	34	45	39	100	350	16209	248186	5,01		
36,03	F	7	40,08	262	192	120	87	66	56	46	34	45	39	100	350	16850	237907	4,94		
36,28	F	7	39,80	338	224	146	99	69	56	47	34	45	39	100	350	16376	148056	4,22		
36,53	F	7	41,21	324	239	145	101	74	58	49	34	45	39	100	350	16264	171969	4,43		
36,78	F	7	40,64	395	291	194	125	94	64	51	34	45	39	100	350	15410	121757	3,95		
37,03	F	7	40,01	535	370	219	134	94	72	58	34	45	39	100	350	13340	77668	3,40		
37,28	F	7	40,15	448	314	208	133	91	68	49	34	45	39	100	350	15846	93301	3,62		
37,53	F	7	41,07	574	370	212	126	90	71	59	34	45	39	100	350	13461	71640	3,31		
37,78	F	7	40,36	208	122	92	62	51	46	41	34	45	39	100	350	19036	339789	6,66		
38,03	F	7	40,57	298	214	141	105	75	63	51	34	45	39	100	350	15383	205496	4,71		
38,28	F	7	41,21	216	153	100	68	53	44	35	34	45	39	100	350	22770	274710	5,18		
38,53	F	7	40,08	458	281	152	81	46	31	24	34	45	39	100	350	32296	61365	3,14		
38,78	F	7	41,49	280	216	146	100	80	62	48	34	45	39	100	350	16716	225121	4,85		
39,03	F	7	41,00	268	141	80	48	29	21	15	34	45	39	100	350	52858	110259	3,62		
39,13	F	7	41,07	212	141	94	71	49	39	30	34	45	39	100	350	26474	247212	5,00		
39,38	F	7	39,44	335	237	157	111	82	57	45	34	45	39	100	350	16949	143849	4,18		
39,63	F	7	40,22	313	227	160	111	78	66	50	34	45	39	100	350	15556	182587	4,52		
39,88	F	7	40,15	253	177	121	87	64	52	42	34	45	39	100	350	18487	233773	4,91		
40,13	F	7	40,29	308	190	109	75	46	39	28	34	45	39	100	350	27827	121025	3,94		
40,38	F	7	40,72	314	221	149	103	75	55	46	34	45	39	100	350	17119	170490	4,42		
40,63	F	7	39,73	442	260	136	102	73	57	48	34	45	39	100	350	16007	93465	3,62		
40,88	F	7	39,87	454	294	184	113	77	63	50	34	45	39	100	350	15420	92223	3,60		
41,13	F	7	38,88	811	515	258	146	94	68	60	34	45	39	100	350	12531	39448	2,71		
41,38	F	7	40,57	340	206	103	57	39	31	25	34	45	39	100	350	31382	97863	3,67		
41,63	F	7	40,29	443	272	152	100	67	54	44	34	45	39	100	350	17708	89010	3,56		
41,88	F	7	40,36	309	226	158	111	80	58	45	34	45	39	100	350	17544	170835	4,42		
42,13	F	7	39,80	305	217	134	84	58	44	37	34	45	39	100	350	20802	147116	4,21		
42,38	F	7	39,80	445	350	261	191	136	105	85	34	45	39	100	350	9055	191512	4,25		
42,63	F	7	40,30	278	179	119	89	61	46	37	34	45	39	100	350	21168	176666	4,47		
42,88	F	7	40,72	269	178	109	73	50	39	34	34	45	39	100	350	23161	176153	4,47		
43,13	F	7	40,50	423	322	222	156	108	78	68	34	45	39	100	350	13504	118983	3,32		
43,38	F	7	40,29	465	336	212	134	91	68	57	34	45	39	100	350	13669	98462	3,68		
43,63	F	7	38,16	232	153	108	80	53	39	31	34	45	39	100	350	24429	205350	4,70		
43,88	F	7	41,14	154	103	65	45	32	25	20	34	45	39	100	350	39779	317615	5,44		

2.3 MEDICION DE DEFLEXIONES

2.3.1 Generalidades

Las deflexiones producidas en la superficie de un pavimento flexible, por acción de cargas vehiculares, pueden ser determinadas haciendo uso de deflectómetros tales como el denominado "Viga Benkelman". Llamado así en honor al Ing. A.C. Benkelman, quien la desarrollo en 1953 como parte del programa de ensayos viales de la WASHO (WASHO Road Test). Desde entonces su uso se ha difundido ampliamente en proyectos de evaluación estructural de pavimentos flexibles, tanto por su practicidad como por la naturaleza directa y objetiva de los resultados que proporciona.

2.3.2 La Viga Benkelman

El deflectómetro Benkelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple. Según se esquematiza en la figura 2.4, la viga consta esencialmente de dos partes: (1) Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos (dos delanteros fijos "A" y uno trasero regulable "B") y (2) Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote "C", uno de cuyos extremos apoya sobre el terreno (punto "D") y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical (punto "E"). Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que al ser accionado, durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas, como se verá más adelante.

El extremo "D" o "punta de la viga" es de espesor tal que puede ser colocado entre una de las llantas dobles del eje trasero de un camión cargado. Por el peso aplicado se produce una deformación del pavimento, consecuencia de lo cual la punta baja una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado de la superficie. Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo "C", con respecto al cuerpo AB, determinando que el extremo "E" produzca un movimiento vertical en el vástago del extensómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador. Si

se retiran luego las llantas cargadas, el punto "D" se recupera en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial del extensómetro. La operación expuesta representa el "principio de medición" con la Viga Benkelman. Lo que se hace después son sólo cálculos en base a los datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuanto deflectó el pavimento en el lugar subyacente al punto "D" de la viga, durante el procedimiento descrito. Es de anotar que en realidad lo que se mide es la recuperación del punto "D" al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar ésta. Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la viga, toda vez que los valores dados por el extensómetro (EE') no están en escala real sino que dependen de la relación de brazos existentes (Ver figura 2.4b).

