

**PRACTICA EMPRESARIAL CONVENIO No 154 GOBERNACIÓN DE  
SANTANDER Y UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.  
ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS AMPLIACIÓN A DOBLE CALZADA DE  
LA VÍA AEROPUERTO - LEBRIJA, REHABILITACIÓN DE LA VÍA PALENQUE -  
CAFÉ MADRID Y CICLOVÍA ENTRE GIRÓN Y LEBRIJA.**

**LIZZET VIVIANA PARRA CAMACHO  
SAMUEL TOLOSA ALBARRACIN**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2006**

**PRACTICA EMPRESARIAL CONVENIO No 154 GOBERNACIÓN DE  
SANTANDER Y UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.  
ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS AMPLIACIÓN A DOBLE CALZADA DE  
LA VÍA AEROPUERTO-LEBRIJA, REHABILITACIÓN DE LA VÍA PALENQUE-  
CAFÉ MADRID Y CICLOVÍA ENTRE GIRÓN Y LEBRIJA.**

**LIZZET VIVIANA PARRA CAMACHO  
SAMUEL TOLOSA ALBARRACIN**

**Practica empresarial presentado como requisito para optar al titulo de  
Ingeniero Civil**

**Director  
EDUARDO CASTAÑEDA PINZÓN  
Ingeniero Civil, Msc, Phd**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2006**

*A Dios,  
por ser la luz y guía por el camino de la vida.*

*A mi padre German,  
porque gracias a su esfuerzo y apoyo  
en todo momento de mi vida  
he conseguido todos mis logros.*

*A mi madre Flor,  
quien con su amor incondicional,  
ayudó a formar la persona que soy hoy en día.*

*A mi hermano German,  
quien creyó en mí y  
nunca se alejó en los tropiezos del camino.*

*A mi Familia,  
quien con su amor y apoyo,  
me han dado sabiduría y han tenido fe en mí.*

*A mi compañero Samuel Andrés,  
quien luchó junto a mí durante este año  
para la culminación de este gran logro*

*A Héctor Henríque,  
quien me apoya, acompaña y  
porque llegó a mi vida como una nueva ilusión.*

*A mis buenos amigos,  
que durante esta larga travesía fueron mi soporte  
y sin ellos, este sueño hubiese sido más complejo de realizar.  
por su apoyo incondicional en los buenos y  
sobre todo en los malos momentos de mi vida  
Gracias.*

**LIZZET VIVIANA**

*A Dios,  
por ser la luz que me muestra el camino a seguir.*

*A mi padre Bruno,  
porque gracias a su esfuerzo y apoyo  
he conseguido todos mis logros,  
y se que siempre será la guía que necesito en mi vida.*

*A mi madre Gloria,  
Quien con su amor incondicional,  
ayudó a formar al hombre que soy hoy en día.*

*A mis hermanas Laura y Liliana y  
en especial a mi abuela Pepita que en paz descanse y  
a mi abuelo Jorge Aurelio Albarracin,  
quienes siempre fueron un ejemplo  
de responsabilidad y dedicación para mí.*

*A mi compañera Lizzet Viviana,  
quien lucho junto a mí durante este año  
para la culminación de este gran logro.*

*A los buenos amigos,  
porque son difíciles de encontrar...*

**SAMUEL ANDRÉS**

## **AGRADECIMIENTOS**

Al ingeniero Eduardo Castañeda Pinzón quien en su calidad de director del proyecto nos brindo todos sus conocimientos y apoyo en el desarrollo de este proyecto de práctica.

A la ingeniera Liana Maria Mogollón y el ingeniero Hernando Acevedo Ferrín por su participación en nuestra practica y por su constante apoyo y ayuda para la culminación de este proyecto.

A todos nuestros familiares y amigos que lucharon junto a nosotros a lo largo de todos estos años de estudio, para la consecución de este gran logro.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>1. DESCRIPCIÓN DEL ALCANCE DEL TRABAJO DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL</b>	<b>2</b>
1.1 TITULO	2
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 Objetivo General	2
1.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PRACTICA	3
1.4 PLANTEAMIENTO DEL APORTE	3
<b>2. ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS AMPLIACIÓN DOBLE CALZADA DE LA VÍA AEROPUERTO – LEBRIJA</b>	<b>1</b>
<i>2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO</i>	<i>1</i>
<i>2.2 ESTUDIO GEOLÓGICO</i>	<i>2</i>
<i>2.2.1 Metodología empleada</i>	<i>2</i>
<i>2.3 ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO</i>	<i>4</i>
<i>2.3.1 Metodología empleada</i>	<i>4</i>
<i>2.4 DISEÑO GEOMÉTRICO</i>	<i>6</i>
<i>2.4.1 Metodología empleada</i>	<i>6</i>
<i>2.4.2 Parámetros de diseño</i>	<i>6</i>
<i>2.5 ESTUDIOS DE TRANSITO</i>	<i>9</i>
<i>2.5.1 Metodología empleada</i>	<i>9</i>
<i>2.6 DISEÑO DEL PAVIMENTO</i>	<i>10</i>
<i>2.6.1 Metodología empleada</i>	<i>10</i>

2.7	DISEÑO DE ESTRUCTURAS	11
2.7.1	Metodología empleada	11
2.7.2	Puentes	12
2.7.3	Muros de Contención	13
2.8	ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL	14
2.8.1	Metodología empleada	14
2.8.2	Plan de manejo ambiental	14
2.9	AFECTACIÓN PREDIAL	15
2.9.1	Metodología empleada	15
2.10	PRESUPUESTO Y ESPECIFICACIONES	16
2.10.1	Metodología empleada	16
<b>3.</b>	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS REHABILITACIÓN DE LA VÍA PALENQUE-CAFÉ MADRID</b>	<b>18</b>
3.1	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	18
3.2	ESTUDIO GEOLÓGICO	19
3.2.1	Metodología empleada	19
3.3	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO	20
3.3.1	Metodología empleada	20
3.4	ESTUDIO DE PAVIMENTO	21
3.4.1	Metodología empleada	21
3.5	ESTUDIO AMBIENTAL	24
3.5.1	Metodología empleada	24
3.5.2	Plan de contingencia ambiental	24
3.6	PRESUPUESTO Y ESPECIFICACIONES	25
3.6.1	Metodología empleada	25

<b>4. ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS DE LA CICLOVÍA ENTRE GIRÓN Y LEBRIJA</b>	28
4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	30
4.2 Metodología empleada	30
<b>CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES</b>	31
<b>RECOMENDACIONES</b>	33
<b>APORTE DE INVESTIGACIÓN</b>	34
RELACIÓN DE MÓDULOS RESILIENTES DE LA SUBRASANTE A PARTIR DE MEDICIONES DE DEFLEXIÓN ENTRE VIGA BENKELMAN Y DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO FWD	34
<b>5. CARACTERIZACIÓN IN SITU DE SUBRASANTES DE PAVIMENTOS EXISTENTES</b>	35
5.1. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS	35
5.1.1. VIGA BENKELMAN	35
5.1.1.1. Procedimiento de medida con Viga Benkelman	36
5.1.1.2. Calculo de deflexiones	39
5.1.2. DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO (FWD)	41
5.1.2.1. Características del deflectómetro de impacto	41
5.1.2.3. Evaluación de la estructura de pavimento	44
5.1.2.4. Módulo equivalente $E_p$	45
5.1.2.5. Número estructural SN	46
5.2. ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÓDULOS RESILIENTES DE SUBRASANTE	

ENTRE VIGA BENKELMAN Y FWD	46
5.2.1. Relación Viga Benkelman y FWD en 5 puntos específicos sobre la vía Palenque – Café Madrid	46
5.2.2. Determinación de la relación entre Viga Benkelman y FWD por sectorización	52
5.2.3. Determinación de la relación entre Viga Benkelman y FWD con 5 puntos entre la vía Palenque – Café Madrid a una distancia del punto de aplicación de la carga	68
<b>CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES</b>	<b>74</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>75</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>76</b>
<b>ANEXO</b>	<b>77</b>
DEFLEXIONES DE VIGA BENKELMAN Y DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO FWD PARA LOS TRAMOS DE LA CRA 27, Y AEROPUERTO – LEBRIJA Y PALENQUE – CAFÉ MADRID	77

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Parámetros de Diseño.....	7
Tabla 2. Variables estructurales por sectores homogéneos .....	11
Tabla 3. Capacidad de carga de las cimentaciones.....	14
Tabla 4. Resumen afectación predial.....	16
Tabla 5. Porcentaje de los costos indirectos.....	17
Tabla 6. Variables estructurales por sectores homogéneos calzada derecha .....	22
Tabla 7. Variables estructurales por sectores homogéneos calzada izquierda .....	23
Tabla 8. Variables estructurales por sectores homogéneos calzada única .....	23
Tabla 9. Porcentajes costos indirectos.....	26
Tabla 10. Puntos de ensayo Viga Benkelman.....	37
Tabla 11. Puntos de ensayo para la Viga Benkelman Y FWD .....	47
Tabla 12. Datos obtenidos con la Viga Benkelman en los cinco puntos.....	50
Tabla 13. Datos obtenidos con el Deflectómetro de Impacto FWD en los cinco puntos....	50
Tabla 14 Módulos resilientes de la subrasante para FWD.....	51
Tabla 15. Datos módulos resilientes de la subrasante con la Viga Benkelman y FWD en los cinco puntos .....	51
Tabla 16. Promedio de las deflexiones según sectorización para el D6.....	59
Tabla 17. Promedio de las deflexiones según sectorización para el D5.....	59
Tabla 18. Promedio de las deflexiones según sectorización para el D4 .....	60
Tabla 19. Promedio de las deflexiones según sectorización para el D3.....	60
Tabla 20. Módulos y deflexiones por sectores para el D6.....	61
Tabla 21. Módulos y deflexiones por sectores para el D5.....	61
Tabla 22. Módulos y deflexiones por sectores para el D4.....	62
Tabla 23. Módulos y deflexiones por sectores para el D3.....	62
Tabla 24. Módulos resilientes para Benkelman y FWD.....	70
Tabla 25. Módulos resilientes para Benkelman y FWD.....	72

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura No 1 Localización del proyecto de la vía Y Aeropuerto – Lebrija.....	1
Figura No 2 Sección transversal ampliación Y Aeropuerto – Lebrija .....	8
Figura No 3 Localización del proyecto de la vía Palenque – Café Madrid.....	18
Figura No 4 Localización Vía Girón – Lebrija.....	28
Figura No 5 Primer sector: Girón - Y Aeropuerto .....	29
Figura No 6 Segundo sector: Y Aeropuerto – Lebrija.....	29
Figura No 7 Viga Benkelman .....	36
Figura No 8 Dimensionamiento de la Viga Benkelman.....	40
Figura No 9 Deflectómetro de impacto KUAB 50.....	41
Figura No 10 Sensor de FWD aplicando la carga durante su medición.....	41
Figura No 11 Aplicación de carga del deflectómetro de impacto .....	43
Figura No 12 Datos de entrada para el calculo de módulos resilientes por el programa INPACO .....	48
Figura No 13 Resultados de las deflexiones por el programa INPACO.....	48
Figura No 14 Grafica de los puntos con los módulos resilientes de la subrasante entre la Viga Benkelman y FWD.....	52
Figura No 15 Deflexiones con Viga Benkelman en la vía Y Aeropuerto – Lebrija .....	53
Figura No 16 Deflexiones con Viga Benkelman en la vía Palenque - Café Madrid .....	54
Figura No 17 Deflexiones con FWD en la vía Y Aeropuerto - Lebrija para D3 .....	54
Figura No 18 Deflexiones con FWD en la vía Palenque - Café Madrid para D3.....	55
Figura No 19 Deflexiones con FWD en la vía Y Aeropuerto - Lebrija para D4 .....	55
Figura No 20 Deflexiones con FWD en la vía Palenque - Café Madrid para D4.....	56
Figura No 21 Deflexiones con FWD en la vía Y Aeropuerto - Lebrija para D5 .....	56
Figura No 22 Deflexiones con FWD en la vía Palenque - Café Madrid para D5.....	57
Figura No 23 Deflexiones con FWD en la vía Y Aeropuerto - Lebrija para D6 .....	57
Figura No 24 Deflexiones con FWD en la vía Palenque - Café Madrid para D6.....	58
Figura No 25 Módulos resilientes de Viga Benkelman vs FWD para D6 .....	64

Figura No 26 Módulos resilientes de Viga Benkelman vs FWD para D5 .....	65
Figura No 27 módulos resilientes de Viga Benkelman vs FWD para D4 .....	66
Figura No 28 módulos resilientes de Viga Benkelman vs FWD para D3 .....	67
Figura No 29 Datos de entrada del programa Everstress .....	69
Figura No 30 Datos de aplicación de carga del programa Everstress .....	69
Figura No 31 Módulos resilientes para Viga Benkelman Y FWD a D2 .....	70
Figura No 32 Datos de entrada para el programa Everstress .....	71
Figura No 33 Datos de aplicacion de carga del programa Everstress .....	71
Figura No 34 Módulos resilientes para Viga Benkelman y FWD con capa rígida en la subrasante .....	72

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A Datos de Viga Benkelman en la via Y Aeropuerto - Lebrija.....	78
Anexo B Datos de FWD en la vía Y Aeropuerto - Lebrija.....	79
Anexo C Datos con Viga Benkelman en la via Palenque - Cafe Madrid.....	86
Anexo D Datos con FWD en la Via Palenque - Cafe Madrid .....	91
Anexo E Datos con Viga Benkelman en la via Cra 27 entre Quebrada Seca y la calle 56 .....	106
Anexo F Datos FWD en la via Cra 27 entre Quebrada Seca y la calle 56 .....	107

## RESUMEN

### TITULO:

**PRACTICA EMPRESARIAL CONVENIO No 154 GOBERNACIÓN DE SANTANDER Y UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS AMPLIACIÓN A DOBLE CALZADA DE LA VÍA AEROPUERTO-LEBRIJA, REHABILITACIÓN DE LA VÍA PALENQUE-CAFÉ MADRID Y CICLOVÍA ENTRE GIRÓN Y LEBRIJA.\***

### AUTORES:

**LIZZET VIVIANA PARRA CAMACHO  
SAMUEL TOLOSA ALBARRACIN\*\***

**PALABRAS CLAVE: VÍAS, CARRETERAS, MODULO RESILIENTE, DEFLEXIONES, VIGA BENKELMAN, DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO (FWD), HUELLA, BASE GRANULAR, CONCRETO ASFÁLTICO, BUCARAMANGA, GIRÓN, LEBRIJA.**

### DESCRIPCIÓN:

En este proyecto se realizaron los estudios pertinentes para el desarrollo de las obras anteriormente descritas. Los estudios comprenden Estudios Topográficos, Estudios de Tránsito, Evaluación Geológica y geotécnica, Estudios de Hidrología e Hidráulica, Diseño Geométrico de la Ampliación, Diseño de Pavimentos, Estudios de impacto Ambiental, Diseño de estructuras, Estudio de Afectación de Predios, Elaboración de las Especificaciones de Construcción, Cálculo de Cantidades de Obra, Análisis de Precios Unitarios y Presupuesto.

Paralelo a este proyecto se realizó un aporte de investigación el cual consistió en relacionar los módulos resiliente de la subrasante calculados a partir de mediciones de deflexión entre Viga Benkelman y Deflectómetro de impacto FWD. El desarrollo de esta investigación se efectuó en tres fases: La primera consistió en ubicar 5 puntos sobre la vía Palenque – Café Madrid, en los cuales se efectuaron mediciones de deflexiones tanto con viga Benkelman con FWD, puesto que son pocos puntos para tomar una determinación de carácter general, se prosiguió a la segunda fase, en la cual se estudiaron las deflexiones tomadas en las dos vías estudiadas como son Palenque – Café Madrid y Ye Aeropuerto – Lebrija, debido al alto grado de dispersión en el resultado de los módulos resilientes calculados en la huella, se continuo con la tercera fase que se basa en calcular los módulos resilientes a partir de las mediciones de deflexión con viga Benkelman, pero en este caso con una variante a una distancia de 60cm desde el punto de aplicación de la carga (huella); pero en ninguna de estas tres fases se logro establecer una relación entre módulos resilientes, por tal motivo se recomienda continuar con la investigación pero teniendo en cuenta no solo las deflexiones sino también la estratificación de la subrasante.

---

\* Trabajo de Grado, Modalidad Informe de Práctica.

\*\* UIS, Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Director: Eduardo Castañeda Pinzón

## SUMMARY

### TITLE:

**INTERIOR OF SANTANDER AND INDUSTRIAL UNIVERSITY OF SANTANDER PRACTICES ENTERPRISE AGREEMENT No 154. DEFINITIVE STUDIES AND DESIGNS EXTENSION TO DOUBLE ROAD OF THE VIA AIRPORT - LEBRIJA, REHABILITATION OF VIA PALENQUE - CAFE MADRID AND CICLOVIA BETWEEN GIRON AND LEBRIJA.\***

### AUTHORS:

**LIZZET VIVIANA PARRA CAMACHO  
SAMUEL TOLOSA ALBARRACIN\*\***

**KEY WORDS: ROUTES, HIGHWAYS, I MODULATE RESILIENTE, DEFLECTIONS, BEAM BENKELMAN, FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER (FWD), IT TREADS, IT BASES TO GRANULATE, CONCRETE ASFALTICO, BUCARAMANGA, GIRON, LEBRIJA.**

### DESCRIPTION

This project the pertinent studies for the development of works previously described were made. The studies include/understand Topographic Studies, Studies of Transit, Geologic and geotechnical Evaluation, Studies of Hydrology and Hydraulics, Geometric Design of the Extension, Design of Pavements, Studies of Environmental, Design of structures, Study of Affection of Estates, Elaboration of the Specifications of Construction, Calculation of Amounts of Work, Analysis of Unitary Prices and Estimated impact.

Parallel to this project I am made an investigation contribution which consisted of relating the calculated modules resiliente of the subgrazing one from measurements of deflection between Beam Benkelman and Falling Weight Deflectometer FWD. The development of this investigation took place in three phases: First it consisted of locating 5 points on the Palenque route - Madrid Coffee, in which measurements of deflections as much with Benkelman beam took place with FWD, since they are few points to take a determination from general character, was continued to the second phase, in which the deflections taken in the two routes studied as they are Palenque - Cafe Madrid and Ye Airport - Lebrija, due to the high degree of dispersion in the result of the calculated resilientes modules in the track, continuous studied with the third phase that is based on calculating the resilientes modules from the measurements of deflection with Benkelman beam, but in this case with a variant to a distance of 60cm from the point of application of the load (it treads); but in no of these three phases profit to settle down a relation between resilientes modules, by such reason is recommended to also continue with the investigation but considering non single the deflections but the stratification of the subgrazing one.

---

\* Thesis. Modality Report of Practice

\*\* UIS, Faculty of Physical-mechanical Engineering, Civil Engineering School, Director: Eduardo Castañeda Pinzón

## INTRODUCCIÓN

La **GOBERNACIÓN DE SANTANDER** contrató con la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER los estudios y diseños para la ampliación de la vía Aeropuerto – Lebrija; estudios y diseños para la rehabilitación de la vía Palenque – Café Madrid y los estudios y diseños para la ciclovía entre Girón y Lebrija por medio del Convenio Ínter administrativo No. 154/05.

El proyecto está complementado entre otros, con Estudios Topográficos, Estudios de Tránsito, Evaluación Geológica, Evaluación geotécnica, Estudios de Hidrología e Hidráulica, Diseño Geométrico, Diseño de Pavimentos, Diseño de Estructuras, Estudio de Afectación de Predios, Estudios de Impacto Ambiental, Elaboración de las Especificaciones de Construcción, Cálculo de Cantidades de Obra, Análisis de Precios Unitarios y Presupuesto.

En la realización de los estudios y diseños intervino un grupo de especialistas que trabajaron de manera coordinada e integral para obtener el resultado final.

El presente informe, muestra una breve recopilación de los estudios y diseños definitivos realizados durante el tiempo de la práctica empresarial con la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander para la Gobernación de Santander, al igual que una breve investigación sobre, la relación de los módulos resilientes de la subrasante para un determinado pavimento, calculado con dos equipos diferentes como son la Viga Benkelman y el deflectómetro de Impacto FWD, como aporte en la realización de esta practica.

# 1. DESCRIPCIÓN DEL ALCANCE DEL TRABAJO DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL

## 1.1 TITULO

Practica empresarial convenio no 154 Gobernación de Santander y Universidad Industrial de Santander. Estudios y diseños definitivos ampliación a doble calzada de la vía Aeropuerto-Lebrija, rehabilitación de la vía Palenque-Café Madrid y ciclovia entre Girón y Lebrija.

## 1.2 OBJETIVOS

### *1.2.1 Objetivo General*

Realizar el proyecto de grado en la modalidad de práctica empresarial, participando en la elaboración de los Estudios y diseños definitivos ampliación doble calzada de la vía Aeropuerto – Lebrija, Rehabilitación de la vía Palenque – Café Madrid y ciclovia entre Girón y Lebrija.

### *1.2.2 Objetivos Específicos*

1. Realizar estudios de campo para el análisis del estado actual de los pavimentos existentes.
2. Apoyar el equipo de ingeniería en el diseño geométrico para cada una de las vías en estudio.
3. Apoyar el grupo que realizara el análisis de costos y presupuestos para los proyectos.
4. Apoyar el equipo de ingenieros en los estudios de impacto ambiental que podrían generarse por la ejecución de cada uno de los proyectos.

### **1.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PRACTICA**

Esta práctica empresarial se realiza en marco del convenio con la Gobernación de Santander y la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander. Dentro de los trabajos a desarrollar se encuentran las siguientes actividades:

Estudios y diseños definitivos para:

- Ampliación doble calzada de la vía Aeropuerto – Lebrija.
- Ciclovía Girón - Lebrija.
- Rehabilitación de la vía Palenque – Café Madrid.

Durante la practica se trabajo como auxiliar en uno de los proyectos y a su vez se encargo de actividades especificas como: Diseño geométrico, presupuestos, estudios geotécnicos y ambientales. De esta manera, cada participante de la práctica estuvo involucrado en el desarrollo de todas las actividades realizadas durante el tiempo del proyecto.

### **1.4 PLANTEAMIENTO DEL APORTE**

Partiendo de lo trabajado durante la práctica empresarial, en especial en lo concerniente a la Rehabilitación de la vía Palenque-Café Madrid, se hizo un planteamiento para el control de calidad en las deformaciones del pavimento con diferentes métodos de medidas del mismo. De acuerdo a esto, se decidió realizar el siguiente aporte:

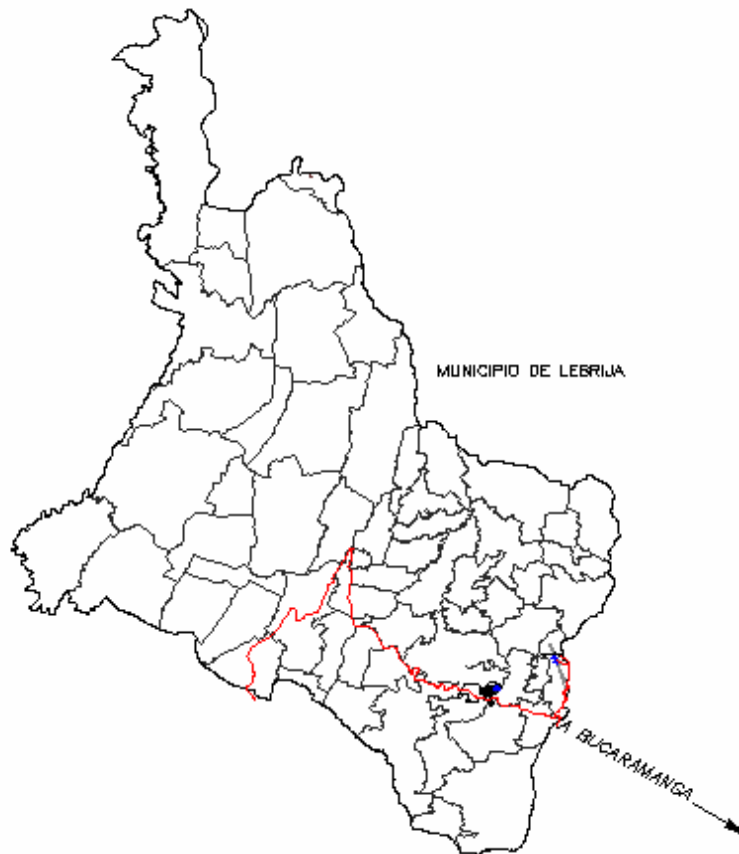
Relación de módulos resilientes de la subrasante a partir de mediciones de deflexión entre Viga Benkelman y Deflectometro de Impacto FWD.

Este estudio a realizar es un planteamiento muy general, de lo que podría dar pie a un proyecto de investigación mucho mas detallado y profundo.

## 2. ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS AMPLIACIÓN DOBLE CALZADA DE LA VÍA AEROPUERTO – LEBRIJA

El proyecto se desarrolla en la vía nacional, sector Lebrija – Aeropuerto de la carretera Cruce Ruta 45 (La Fortuna) – Bucaramanga, la cual tiene una longitud de 5.125 metros.

Figura No 1 Localización del proyecto de la vía Y Aeropuerto – Lebrija



Fuente: [www.lebrija.gov.co](http://www.lebrija.gov.co), editada por los autores del proyecto

### 2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El estudio diseña las obras que se deben construir para la ampliación de la vía Aeropuerto – Lebrija, en una extensión de 5.125 metros.

El conjunto de obras incluye una ampliación a cuatro carriles con separador central, ampliación de puentes, ampliación de estructuras de contención y de drenaje y bermas para eventual estacionamiento de vehículos. Adicionalmente, el estudio incluye el diseño de una ciclovía.

Los estudios comprenden Estudios Topográficos, Estudios de Tránsito, Evaluación Geológica y geotécnica, Estudios de Hidrología e Hidráulica, Diseño Geométrico de la Ampliación, Diseño de Pavimentos, Estudios de impacto Ambiental, Diseño de estructuras, Estudio de Afectación de Predios, Elaboración de las Especificaciones de Construcción, Cálculo de Cantidades de Obra, Análisis de Precios Unitarios y Presupuesto.

## **2.2 ESTUDIO GEOLÓGICO**

### **2.2.1 Metodología empleada**

Para realizar la evaluación geológica y geotécnica, se adelantaron las siguientes actividades:

- *Recopilación y análisis bibliográfico.* Con el propósito de obtener información relacionada con investigaciones geológicas del corredor vial, realizadas previamente.
- *Reconocimiento de campo.* Con el fin de verificar la información recopilada y adicionalmente, identificar posibles zonas de inestabilidad que se generarían con la ampliación.
- *Descripción geológica.* Con el fin de establecer la geología regional, local y estructural presente en el corredor vial.
- *Condiciones geotécnicas.* Con el fin de sectorizar la vía en zonas homogéneas, de características geológicas y geotécnicas similares.
- *Análisis de Estabilidad de Taludes.* Tomando diferentes alturas, inclinaciones y tipos de suelos y de esta manera, seleccionar la inclinación óptima desde el punto de vista económico y de estabilidad.

Analizados los reportes de geología, los aspectos geotécnicos verificados en campo y los resultados de los análisis, se puede concluir lo siguiente:

- Los factores de seguridad contra deslizamiento determinados para las inclinaciones 4V:1H se encuentran satisfactorios para cada uno de los suelos analizados.
- El comportamiento de los taludes actuales, los cuales tienen una inclinación similar, ha sido satisfactorio y en la mayoría de los casos, se observa que el diaclasamiento del material ha sido el principal agente generador de los procesos erosivos que se han presentado.
- A pesar de que los taludes con mayor inclinación presentan factores de seguridad mayores, su mayor inclinación representa una mayor susceptibilidad al ataque de las aguas lluvias y a la formación de procesos erosivos. Desde el punto de vista económico, implican un mayor volumen de excavación y mayor costo del proyecto.
- La utilización de taludes altos escalonados con bermas fueron analizados; esta posibilidad permite aumentar los factores de seguridad en algunos casos de forma apreciable. Sin embargo, considerando el comportamiento de los taludes actuales, se determinó no utilizarlos, teniendo en cuenta los costos que esta posibilidad implicaría.
- Se recomienda adoptar 4V:1H como inclinación única para los taludes de la vía en corte.
- En los sectores de inclinación desfavorable de la corona del talud, es conveniente colocar una cuneta o canal para recolectar las aguas lluvias y evitar el inicio de procesos erosivos. Estos canales pueden ser construidos con revestimientos de bolsas de polietileno llenas de suelo-cemento, con el fin de garantizar su eficiencia y durabilidad.

- Los taludes para el material de terraplén se han establecido en 1:1.5, siempre y cuando sean el producto de compactación del mismo en capas de 0.30 metros de espesor.

## **2.3 ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO**

### **2.3.1 Metodología empleada**

Para realizar el estudio hidrológico e hidráulico se adelantaron las siguientes actividades:

- Aspectos Hidrológicos. Con el fin de establecer las condiciones hidrológicas de la zona donde se desarrolla el proyecto estimando los valores de precipitación y caudal a efecto de la evaluación y diseño de las estructuras hidráulicas tipo puente existentes.
- Revisión de obras de drenaje. Con el fin de determinar si las estructuras presentes en el corredor vial funcionarían adecuadamente bajo las nuevas condiciones geométricas, se modeló las estructuras hidráulicas tipo puente con el nuevo diseño vial. Se evaluaron las nuevas dimensiones hidráulicas a efecto disminuir la vulnerabilidad hidráulica de dichas estructuras. Adicionalmente se evaluó el estado actual de alcantarillas, cunetas, box culverts y sumideros dentro de la normatividad vigente.

Analizado el estado de las estructuras de drenaje del corredor verificado en campo, los aspectos hidrológicos de la cuenca en estudio y los resultados de los análisis en el modelamiento, se puede concluir lo siguiente:

- Existe una gran incertidumbre en el cálculo de los caudales y las condiciones de respuesta hidrológica de las corrientes sobre el trayecto vial en el caso de eventos extremos, debido a la falta de información y mediciones sobre el área de estudio.
- Se utilizó el modelo racional en la estimación de caudales, por su simplicidad y número mínimo de variables involucradas, así como la ausencia de datos de calibración de modelos hidrológicos más complejos. Los valores estimados de caudal se obtuvieron con base a la intensidad de lluvia esperada a nivel horario, con base a la

envolvente de la relación entre la precipitación total horaria y diaria en la estación Palonegro.

- Se encontró que el puente No. 2 tendría la capacidad hidráulica para manejar la creciente estimada sin considerar las condiciones de flujo (alto transporte de sedimento y material flotante) característico de eventos extremos. Se recomendó la ampliación de la sección hidráulica del río de 20 m<sup>2</sup> a 32 m<sup>2</sup>, así como la rectificación del curso respecto al puente existente.
- Se considera que bajo la condición de la sección hidráulica ampliada y la rectificación del cauce en el caso del puente 2, reducen la vulnerabilidad a efecto de eventos extremos de dicha estructura en el largo plazo, especialmente ahora que la cuenca posee una tendencia creciente en sus procesos urbanizadores y que la ampliación vial hará más accesible la región.
- El Puente No. 3 posee una sección hidráulica de 30 m<sup>2</sup> con obstrucciones en su curso. Se considera que para los valores de caudal estimados y bajo la condición de que los caudales pico pueden incrementarse fuertemente bajo la influencia del proceso urbanizador de la población de Lebrija, se recomienda la ampliación de su sección hidráulica a 60 m<sup>2</sup>. El Puente 3 esta actualmente generando remanso aguas arriba en el caso de la presencia de eventos extremos, debido a su reducida sección hidráulica, adicionalmente, la sección hidráulica se encuentra bajo la influencia de obstrucciones en su curso que deben ser reubicadas.
- Se considera que la ampliación del Puente 3 disminuye la vulnerabilidad ante eventos de creciente extremos de la estructura actualmente construida.
- Se recomienda el estudio hidrológico e hidráulico detallado y en forma integral que incluya los procesos de planificación urbana, a efecto de valorar el impacto sobre el puente No. 3 de los procesos de canalización recientemente desarrollados en el casco urbano de Lebrija, la creciente presión urbana, la mayor impermeabilización de zonas, así como las descargas de aguas lluvias (alcantarillado) sobre la quebrada.

- Las alcantarillas de diámetro inferior a 24 pulgadas deben ser reemplazadas en todo el trayecto por alcantarillas de 36 pulgadas (0.91 m). Se recomienda habilitar un sistema de mantenimiento y limpieza en el separador vial.

## **2.4 DISEÑO GEOMÉTRICO**

### **2.4.1 Metodología empleada**

Para realizar el diseño geométrico se adelantaron las siguientes actividades:

- Determinación de parámetros de diseño. Con el fin de determinar la sección transversal de la ampliación en zona rural y urbana.
- Planimetría. Con el fin de realizar el diseño en planta de la ampliación.
- Altimetría. Con el fin de realizar el diseño del perfil de la ampliación.
- Secciones transversales. Con base en la información de planta y perfil, generar las secciones transversales de la ampliación para determinar volúmenes de corte y terraplén. Adicionalmente, con esta información se puede establecer donde se requiere construir muros de contención.

### **2.4.2 Parámetros de diseño**

Como se anotó anteriormente, con base en el análisis de la información recogida, con las visitas de campo y de común acuerdo con la interventoría del Proyecto, se concertaron los aspectos fundamentales de este trabajo de consultoría.

En este segmento se resumen los parámetros generales de diseño y se describe la información correspondiente al eje de proyecto.

Los parámetros de diseño se determinaron con base en las normas del MINISTERIO DE

TRANSPORTE Y EL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS 1997 “MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO PARA CARRETERAS”, y las normas INV 1997 “MANUAL DE CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO PARA CARRETERAS DE DOS CARRILES”.

El diseño geométrico se realizó con el programa de diseño ROAD CALC del paquete de diseño EAGLE POINT.

Las especificaciones de diseño geométrico se escogieron para una velocidad de diseño de 80 kph. Luego tenemos los siguientes parámetros de diseño:

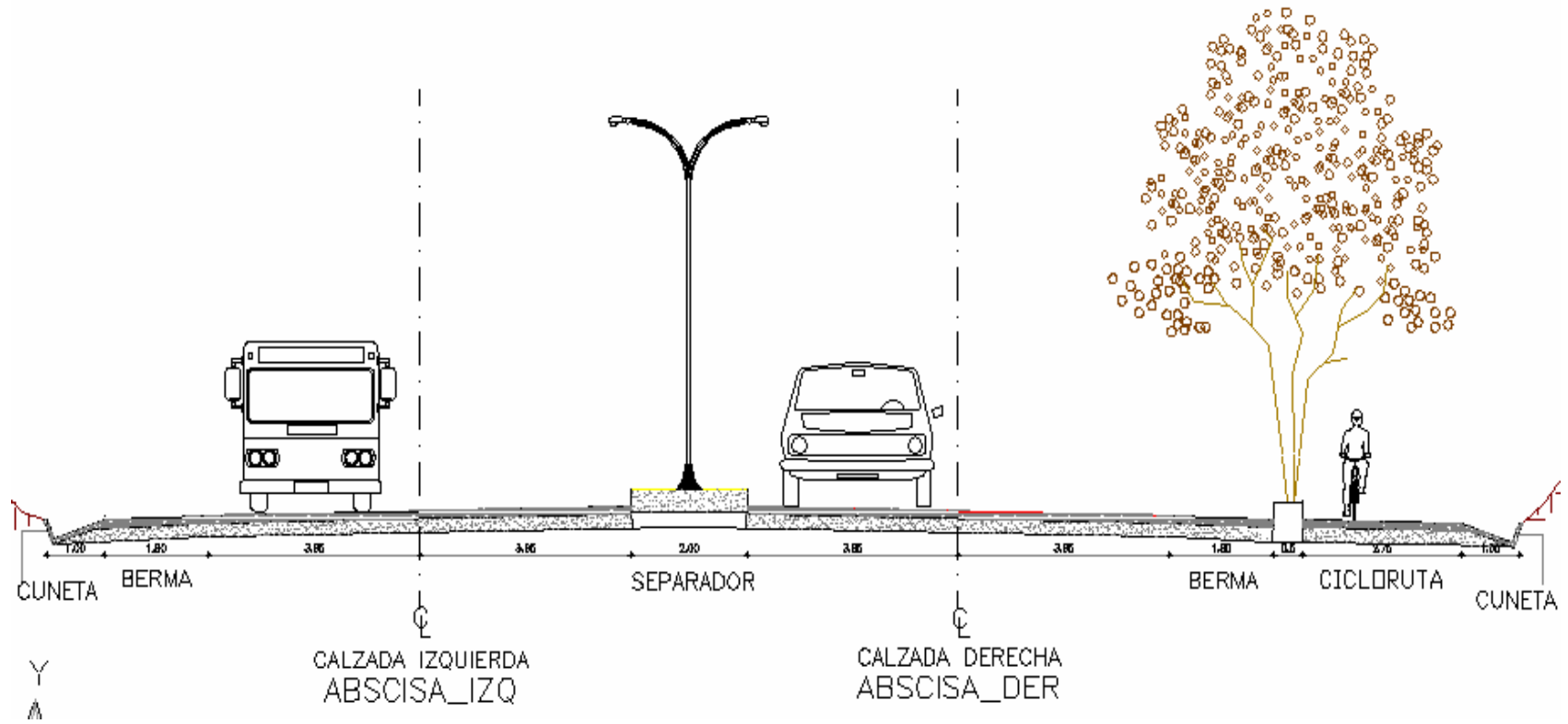
Tabla 1. Parámetros de Diseño

<b>VELOCIDAD DE DISEÑO</b>	80 kph.
<b>PENDIENTE MÁXIMA LONGITUDINAL</b>	8 %
<b>SECCIÓN TRANSVERSAL</b>	Del K0+000 al K3+740 dos calzadas de 7.30 metros, y bermas de 1.80 metros, separador de 2 metros, en la calzada derecha se contempla un una separación de 0.50 metros, una zona de 2.75 metros que funcionará como cicloruta y cuneta de 1.00 metros, en la calzada izquierda solo se contempla adicional a la berma una cuneta de 1.00 del K3+740 en adelante dos calzadas de 7.30 metros, separador de 1.00 metros y bermas de 1.80 metros.
<b>Tipo de terreno</b>	Ondulado.
<b>Tipo de curvas</b>	Circulares espiralizadas
<b>Radio mínimo</b>	70 metros.

Fuente: Autores del proyecto

Las secciones transversales se pueden apreciar en la figura No. 2 y en los planos de construcción de secciones del proyecto.

Figura No 2 Sección transversal ampliación Y Aeropuerto – Lebrija



Fuente: Autores del proyecto

## **2.5 ESTUDIOS DE TRANSITO**

### **2.5.1 Metodología empleada**

Para determinar las condiciones de flujo vehicular en la vía Aeropuerto – Lebrija, se recopiló información y se evaluó la misma con el siguiente orden:

- Serie Histórica del Tránsito. Con el propósito de determinar el tránsito promedio diario que ha circulado en los años anteriores, se recopiló la información que el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) y el antiguo Ministerio de Obras Públicas han obtenido en conteos realizados en la vía.
- Predicción de Tránsito Futuro. Con base en la serie histórica del tránsito se establece la forma como el tránsito ha crecido en años anteriores y suponiendo un comportamiento similar en el futuro, se determinan los tránsitos promedio de los próximos años.
- Determinación de Capacidad Vial y de Nivel de Servicio. Empleando el método del Manual de Capacidad Vial del Instituto Nacional de Vías, se determina la capacidad de la vía en la condición actual y el nivel de servicio que tendría sin ampliaciones en un futuro próximo. Con base en el software POSPLAN del departamento de transporte de la Florida, el cual utiliza la metodología del Highway Capacity Manual de 2000, se establece el nivel de servicio de la vía ampliada a cuatro carriles.

Analizados las series históricas de tránsito y realizando las respectivas predicciones del tránsito futuro, junto con la capacidad vial, se puede concluir lo siguiente:

- La vía opera actualmente en un nivel de servicio D y si no se amplía la vía, antes de 20 años, el tránsito de vehículos en la hora de máxima demanda sobrepasaría la capacidad de la vía.
- Construyendo la ampliación de la vía a cuatro carriles, en el primer año de

operación la vía tendría un nivel de servicio B y en 20 años de operación alcanzaría un nivel de servicio E.

- La vía se debe ampliar a dos calzadas, cada una con dos carriles de 3.65 metros y bermas de 1.80 metros.

## **2.6 DISEÑO DEL PAVIMENTO**

### **2.6.1 Metodología empleada**

Para determinar la condición del pavimento existente y dimensionar las estructuras del nuevo pavimento, se adelantaron las siguientes actividades:

- *Estudio de tránsito.* Con el propósito de determinar la carga, que va a circular en el futuro próximo sobre la estructura, se hizo la predicción del tránsito y su impacto sobre el pavimento.
- *Estudio de Condición de la estructura existente.* Con base en deflexiones de Deflectómetro de Impacto (FWD) y el inventario visual de los daños que presentan las calzadas.
- *Dimensionamiento de estructuras de pavimento.* Empleando métodos regularmente utilizados en el país para el diseño de estructuras de pavimento.
- *Especificaciones de construcción.* Tomando como base las especificaciones generales de construcción del Instituto Nacional de Vías.

Después de evaluar el estado actual del pavimento y de realizar el respectivo dimensionamiento de la estructura de acuerdo a la capacidad requerida por el tránsito que se espera manejar, se puede concluir lo siguiente:

Para el corredor Lebrija – Te del Aeropuerto se observa un buen comportamiento de las deflexiones centrales presentándose valores promedio menores a 180 (1/1000 mm) principalmente entre el K59+200 y el K62+300. Además los resultados del módulo

equivalente del pavimento presentan valores promedio superiores a 10000 Kg/cm<sup>2</sup> en toda la calzada, condición que evidenciaría una buena capacidad estructural, sin embargo los números estructurales reportados en estos mismos sectores son bajos. Sabiendo que en este tramo en particular el espesor de la carpeta es mayor que el espesor del material granular todo conduce a pensar que las deflexiones bajas se deben a que toda la carga la asume la carpeta asfáltica.

A continuación se presenta en resumen el valor promedio de las variables estructurales evaluadas para cada sector homogéneo del corredor Lebrija – Te del Aeropuerto.

Tabla 2. Variables estructurales por sectores homogéneos

SECTOR					VARIABLES ESTRUCTURALES (Promedio)				
Sector	Desde	Hasta	Longitud	Carril	Do (1/1000 mm)	Mr Kg/cm <sup>2</sup>	Ep Kg/cm <sup>2</sup>	SN	Rc (m)
1	59+200	61+100	1900	izquierdo	173	677	31401	4.4	840
	59+200	61+100	1900	derecho	174	723	22169	4.0	726
2	61+100	62+300	1200	izquierdo	178	1227	12483	5.8	749
	61+100	62+300	1200	derecho	140	1464	14910	5.8	799
3	62+300	64+300	2000	izquierdo	253	1204	10761	3.1	666
	62+300	64+300	2000	derecho	177	1022	25481	3.5	734

Fuente: Autores del proyecto

De la tabla anterior se observa que la mejor capacidad estructural la presenta el sector 2, entre el K2+000 al K3+200. Además puede confirmarse lo enunciado anteriormente ya que el radio de curvatura de la deformada presenta un muy buen comportamiento por lo que probablemente la baja capacidad estructural se deba a la falla por fatiga de las capas inferiores de la carpeta asfáltica.

Es importante analizar la vida de servicio del pavimento con la comparación del SN efectivo y el SN requerido en cada uno de los años considerados en el diseño de la vía, con esto se determina la vida residual del pavimento.

## 2.7 DISEÑO DE ESTRUCTURAS

### 2.7.1 Metodología empleada

Para realizar el diseño de estructuras se adelantaron las siguientes actividades:

- *Evaluación geotécnica.* Con el fin de determinar las características de la cimentación de la estructura actual y determinar el nivel adecuado para su ampliación.
- *Diseño de estructuras.* Con base en la información geotécnica diseñar la ampliación de los puentes, las obras de contención y de drenajes menores.

Después de evaluar el estado actual de las estructuras existentes y determinar las nuevas estructuras necesarias de acuerdo al nuevo diseño geométrico, se puede concluir lo siguiente y dar las siguientes recomendaciones:

### **2.7.2 Puentes**

#### **Puente No. 1. – K2+500**

- La profundidad de cimentación de la estructura es del orden de 1.0 metro y se hará sobre el manto de fragmentos de roca, el cual debe aparecer entre 1.0 y 1.5 metros de profundidad.
- La capacidad de carga a nivel de cimentación es de 40 Ton/m<sup>2</sup>
- Se aconseja utilizar una estructura aporcada, de manera que los muros de apoyo y losa superior trabajen monolíticamente, con el fin de minimizar los efectos de las presiones laterales y la sobrecarga del terraplén sobre la estructura.

#### **Puente No. 2 – K3+450**

- Las cimentaciones de la nueva estructura debe ser colocada sobre pilotes hincados de 30 cm de diámetro, los cuales deben trabajar de punta en el lecho de arenas con gravas densas, a 6.50 metros de profundidad.
- La carga de trabajo de cada elemento es de 30 Toneladas.

- Debe preverse manejo de aguas durante el proceso de las excavaciones para el pedestal.
- Será necesario excavar y hacer reemplazo de material para la construcción del terraplén de aproximación al puente, en una longitud aproximada de 50 metros al lado derecho de la vía en sentido hacia Lebrija. El reemplazo debe hacerse hasta una profundidad de 4.50 metros y en un ancho equivalente al de la ampliación en ese sector y entre las abscisas K3+420 y k3+470.

### **Puente No. 3 – K4+700**

- La profundidad de cimentación de la estructura es del orden de 2.0 metros a partir del nivel del cauce actual y se colocará sobre la capa de arenas gruesas con gravas.
- La capacidad de carga a nivel de cimentación es de 30 Ton/m<sup>2</sup>
- Es probable que se requiera reemplazo de material en los sectores cercanos al sondeo 2. En tal caso debe hacerse con material granular grueso (bolos y cantos), hasta obtener el nivel de cimentación adecuado. Se prevé que estos reemplazos sean del orden de 1.50 m máximo.
- Debe preverse la necesidad de bombeo de agua de la excavación durante el proceso constructivo de las cimentaciones.

### **2.7.3 Muros de Contención**

- La profundidad de cimentación esperada en cada uno de los sitios es la dada en la tabla correspondiente. Es necesario el monitoreo de un Ingeniero de suelos con el fin de determinar en obra el nivel adecuado de cimentación.
- Los niveles de cimentación dados son de referencia y con base en ello se plantea escalonamiento de la cimentación en la medida en que la profundidad del muro

disminuye con la sección topográfica. De tal manera que en obra debe verificarse la aptitud del suelo para recibir la cimentación de cada estructura.

- La capacidad de carga a nivel de cimentación es la recomendada en la tabla correspondiente.

Tabla 3. Capacidad de carga de las cimentaciones

<b>LOCALIZACIÓN</b>	<b>CAPACIDAD DE CARGA (Ton/m<sup>2</sup>)</b>
K1+020 – K1+050	15.0
K1+339 – K1+380	30.0
K2+060 – K2+080	20.0
K2+300 – K2+345	30.0

Fuente: Autores el proyecto

## **2.8 ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL**

### **2.8.1 Metodología empleada**

El enfoque metodológico seguido, obedece a los lineamientos establecidos por la universidad del cauca, para adelantar Estudios de Impacto Ambiental en proyectos lineales del tipo carreteras, complementando con la metodología del Instituto de Investigaciones Ecológicas de Málaga (España) y con base en los alcances previstos por los términos de referencia definidos por el Ministerio del Medio Ambiente para este tipo de proyectos.

Se emplearon tres medios, once componentes y cuarenta y cinco parámetros de evaluación de la línea base, los cuales fueron analizados para el desarrollo del proyecto, para identificar, cualificar, cuantificar y jerarquizar los impactos ambientales y con base en esto definir el Plan de Manejo Ambiental.

### **2.8.2 Plan de manejo ambiental**

EL PMA desarrolla las medidas de manejo ambiental necesarias para prevenir, mitigar, controlar, proteger o compensar los posibles impactos que se deriven de las actividades

de construcción de la de la segunda calzada de la Vía Girón Lebrija sector Y Aeropuerto - Municipio de Lebrija.

Este Plan de Manejo Ambiental se establece a partir del análisis efectuado en la evaluación ambiental, tomando como punto de partida la descripción técnica del proyecto y el reconocimiento de las características del área de influencia.

El Plan de Manejo Ambiental tiene como objetivo brindar las herramientas necesarias para el buen manejo de los elementos constituyentes del medio físico, biótico y social, durante el desarrollo de las actividades definidas para el proyecto.

## **2.9 AFECTACIÓN PREDIAL**

### **2.9.1 Metodología empleada**

Para realizar el informe de afectación de predios se adelantaron las siguientes actividades:

- *Recopilación y análisis bibliográfico.* Con el propósito de obtener información relacionada con investigaciones del corredor vial, realizadas previamente.
- *Procesamiento de información.* Se incluyó el alineamiento de la ampliación definido previamente en el diseño geométrico en las planchas digitalizadas obtenidas del IGAC y del EOT de Lebrija, con el fin de determinar la afectación urbana y rural.
- *Materialización del eje de la ampliación en campo.* Con el fin de realizar una estimación en campo real de áreas afectadas.
- *Elaboración de mapa de afectación e informe final.*

Después de realizado el estudio de afectación predial de la zona del proyecto, se han obtenido la siguiente información resultante:

- La estimación de afectación predial se resume en la siguiente tabla:

Tabla 4. Resumen afectación predial

<b>DETALLE</b>	<b>VALOR</b>
Zona Rural	\$ 692,710.688
Zona Urbana construida	\$ 1014,652.500
Zona Urbana sin construir	\$ 430,180.200
<b>TOTAL AFECTACIÓN PREDIAL</b>	<b>\$ 2,137.543.400</b>

Fuente: Autores del proyecto

Se recomienda hacer una previsión del orden de \$ 2200,000,000 (Dos mil doscientos millones de pesos) por concepto de afectación predial.

## **2.10 PRESUPUESTO Y ESPECIFICACIONES**

### **2.10.1 Metodología empleada**

Para realizar el presupuesto y especificaciones de construcción se adelantaron las siguientes actividades:

- *Definición de las actividades del proyecto.* Se realizó un análisis de las diferentes actividades de construcción necesarias para llevar a cabo la construcción del proyecto.
- *Medición de cantidades de obra.* Con base en los planos de diseño geométrico, puentes, muros y obras de drenaje; se determinaron las cantidades de obra requeridas para cada una de las actividades de construcción.
- *Visita al sitio de la obra.* Se realizaron visitas al sitio de la obra con el fin de precisar obras adicionales a las ya contempladas en los planos que se requieren para ajustar el proyecto al terreno. Con base en las visitas se definieron cantidades adicionales que se necesitan para optimizar y complementar el proyecto.
- *Solicitud de cotizaciones.* Se presentó solicitud a varios proveedores de los precios actuales de materiales y equipos.

- *Elaboración de análisis unitarios.* Con base en los precios solicitados y los registros de rendimientos y análisis unitarios se procedió a elaborar el análisis unitario de cada uno de los ítems involucrados.
- *Definición del porcentaje de costos indirectos.* Se definió el porcentaje de administración, imprevistos y utilidades para el proyecto de ejecución de obra física. Los porcentajes definidos quedaron de la siguiente manera:

Tabla 5. Porcentaje de los costos indirectos

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>%</b>
Administración	20
Imprevistos	5
Utilidades	5

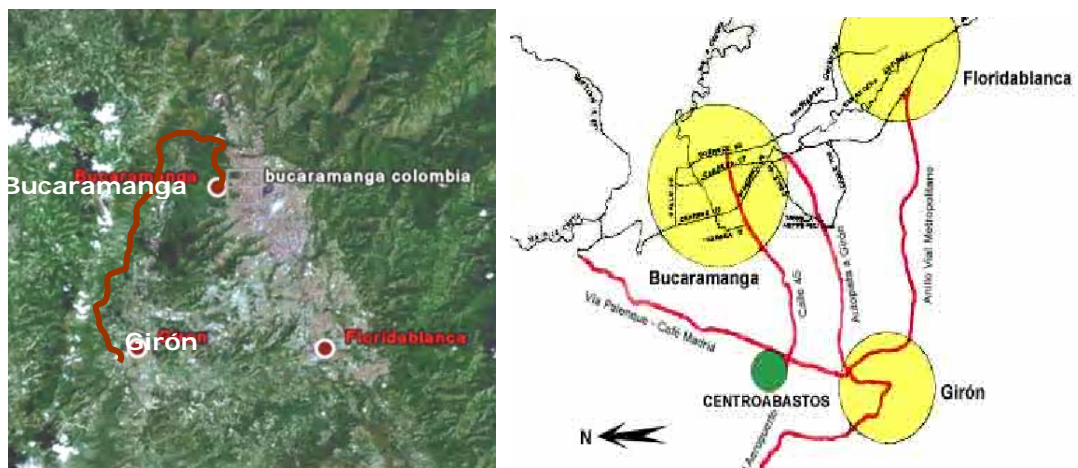
Fuente: Autores del proyecto

- *Determinación del presupuesto de cada actividad.* Se procedió a elaborar el presupuesto de cada actividad de ejecución de acuerdo con las cantidades calculadas y los precios definidos en los análisis unitarios y se totalizó el costo de todas las actividades de la obra para obtener el costo total del proyecto.
- *Determinación del presupuesto resumido por ítems de obra.* Se totalizaron las cantidades para cada uno de los ítems de construcción y se calculó el costo total para cada ítem de construcción y el costo total del proyecto.
- *Elaboración de las especificaciones de construcción.* Se tomaron como base las especificaciones generales de construcción del Instituto Nacional de Vías, incluida la adición realizada en el año 2002; y se determinaron los ítems que requieren especificación particular, ya sea por diferir en parte con la especificación general o porque no está contemplada dentro de éstas especificaciones generales. Se realizaron las especificaciones particulares de construcción para cada uno de los ítems que lo requiere.

### 3. ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS REHABILITACIÓN DE LA VÍA PALENQUE-CAFÉ MADRID

El proyecto se desarrolla en la vía Palenque al Café Madrid, la cual tiene una longitud de 10 kilómetros, con un primer sector de doble calzada de longitud 2750 m y 7250 m de una sola calzada.

Figura No 3 Localización del proyecto de la vía Palenque – Café Madrid



Fuente: [www.googleearth.com](http://www.googleearth.com) y [www.lebrija.gov.co](http://www.lebrija.gov.co), editada por los autores del proyecto

#### 3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El estudio diseña las obras que se deben construir para rehabilitar el pavimento existente en el sector de vía Palenque – Café Madrid, en una extensión de 10 kilómetros, debido al alto nivel de deterioro que actualmente presenta. Los estudios comprenden Estudios Topográficos, Estudios de Tránsito, Evaluación Geológica, Estudios de Hidrología e Hidráulica, Diseño de Pavimentos, Guía Ambiental, Elaboración de las Especificaciones de Construcción, Cálculo de Cantidades de Obra, Análisis de Precios Unitarios y Presupuesto.

## 3.2 ESTUDIO GEOLÓGICO

### 3.2.1 *Metodología empleada*

Para realizar el estudio geológico se adelantaron las siguientes actividades:

- *Recopilación y análisis bibliográfico.* Con el propósito de obtener información relacionada con investigaciones geológicas del corredor vial, realizadas previamente.
- *Reconocimiento de campo.* Con el fin de verificar la cartografía existente sobre la zona.
- *Descripción geológica.* Con el fin de establecer la geología regional, local y estructural presente en el corredor vial.
- *Condiciones geotécnicas.* Con el fin de sectorizar la vía en zonas homogéneas, de características geológicas y geotécnicas similares.

Analizados los reportes de geología, los aspectos geotécnicos verificados en campo y los resultados de los análisis, se puede concluir lo siguiente:

- Por las características geológicas de la zona de estudio afloran suelos de mediana competencia representados en gravas arenosas, arenas limosas, arenas arcillosas y arcillas, pertenecientes a depósitos cuaternarios.
- Se recomienda el diseño de taludes de corte con pendientes 1:1 para los tramos con presencia de depósitos de laderas. Para cortes sobre el miembro Órganos de la Formación Bucaramanga, los taludes de corte deben presentar una pendiente de 1:½
- Se recomienda empedrar y arborizar los taludes de corte para mantener la estabilidad y reducir la erosión.

- Los cruces de corrientes sobre la vía en su mayor parte se encuentran canalizados, evitando con ello la acción socavante de las aguas.
- El corredor vial presenta un alto grado de contaminación por la presencia de malos olores causados por la presencia de fábricas que expelen material contaminante al medio ambiente y las aguas de las quebrada que provienen de la meseta viene cargadas con las aguas servidas e industriales de la ciudad.

### **3.3 ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO**

#### **3.3.1 Metodología empleada**

Para realizar el estudio hidrológico e hidráulico se adelantaron las siguientes actividades:

- *Aspectos Hidrológicos.* Con el fin de establecer las condiciones hidrológicas de la zona donde se desarrolla el proyecto.
- *Revisión de obras de drenaje.* Con el fin de determinar si las estructuras presentes en el corredor vial están funcionando adecuadamente. Adicionalmente, identificar zonas de riesgo, y estado actual de alcantarillas, cunetas, box coulverts y sumideros.

Analizados el estado de las estructuras de drenaje del corredor verificado en campo, los aspectos hidrológico de la cuenca en estudio y los resultados de los análisis en el modelamiento, se puede concluir lo siguiente:

- Las estructuras hidráulicas menores y mayores han venido operando adecuadamente. Las alcantarillas que no cumplen el diámetro con la norma vigente (Diámetro mínimo 0.91 m) deben ser reemplazadas.
- Los puentes presentan secciones hidráulicas adecuadas y no se tiene información de que a la fecha se haya superado su capacidad. Se recomienda solo desarrollar las ampliaciones viales y mantener las secciones hidráulicas existentes.

- En el punto en donde actualmente existe el retorno localizado entre el K11+100 y K11+300 existe un problema permanente de depositación de material por arrastre, bajo condiciones de lluvia. Se recomienda llevar a cabo el análisis de las estructuras de drenaje de la Calle 45 y su intersección con el corredor Palenque-Café Madrid, que drenan sus aguas en la escarpa en donde se localiza La Bodega San Agustín y Almacén el Llanero, a efecto de llevar a cabo un mejor manejo de aguas de escorrentía. Esta agua de escorrentía son las que ocasionan los procesos de erosión y arrastre de material de suelo en la parte superior de la vía a Café Madrid y que luego se depositan en el retorno antes mencionado.

### **3.4 ESTUDIO DE PAVIMENTO**

#### **3.4.1 Metodología empleada**

Para determinar la condición del pavimento existente y dimensionar las capas de refuerzo, se adelantaron las siguientes actividades:

- *Estudio de tránsito.* Con el propósito de determinar la carga, que va a circular en el futuro próximo sobre la estructura, se hizo la predicción del tránsito y su impacto sobre el pavimento.
- *Estudio de Condición de la estructura existente.* Con base en deflexiones de Deflectómetro de Impacto (FWD) y el inventario visual de los daños que presentan las calzadas.
- *Revisión de obras de drenaje.* Se inspeccionaron las obras existentes, se determinó su capacidad hidráulica y la sección necesaria para evacuar las aguas de escorrentía.
- *Dimensionamiento del refuerzo del pavimento.* Empleando métodos regularmente utilizados en el país para el diseño de estructuras de pavimento.
- *Cálculo de costos de construcción.* Con base en cantidades de obra y precios unitarios se estima el costo total de construcción de las obras de rehabilitación.

- *Guía ambiental.* Para garantizar que en la ejecución de las obras se tomen las medidas que reduzcan el impacto ambiental que produce una construcción de este tipo, se elaboró una guía ambiental.
- *Especificaciones de construcción.* Tomando como base las especificaciones generales de construcción del Instituto Nacional de Vías.

Después de evaluar el estado actual del pavimento y de realizar el respectivo dimensionamiento de la estructura de acuerdo a la capacidad requerida por el tránsito que se espera manejar, se puede concluir lo siguiente:

- Al evaluar el corredor Palenque – Café Madrid puede verse que para la calzada derecha entre el K10+100 y el K11+550 las deflexiones centrales son altas y superiores a 500 (1/1000 mm) en promedio, además los números estructurales son inferiores o a 5.0 en toda la calzada lo que evidencia una baja capacidad estructural.

Tabla 6. Variables estructurales por sectores homogéneos calzada derecha

Calzada	SECTOR					VARIABLES ESTRUCTURALES (Promedio)				
	Sector	Desde	Hasta	Longitud	Carril	Do (1/1000 mm)	Mr Kg/cm <sup>2</sup>	Ep Kg/cm <sup>2</sup>	SN	Rc (m)
Derecha	1	10+100	11+550	1450	externo	584	763	3285	3.5	232
		10+100	11+550	1450	interno	529	749	3435	3.7	258
	2	11+550	12+100	550	externo	458	676	4805	4.3	212
		11+550	12+100	550	interno	296	1224	5812	5.0	299
	3	12+100	12+800	700	externo	241	986	7037	3.6	360
		12+100	12+800	700	interno	213	1045	7768	3.6	390

Fuente: Autores del proyecto

En esta calzada se presenta una aceptable capacidad del suelo de subrasante sin embargo existe un pavimento con baja capacidad estructural, por lo que las deformaciones son altas.

- A continuación se presenta el resumen de las variables estructurales en la calzada izquierda entre el K10+100 y el K12+800 del corredor Palenque – Café Madrid.

Tabla 7. Variables estructurales por sectores homogéneos calzada izquierda

Calzada	SECTOR					VARIABLES ESTRUCTURALES (Promedio)				
	Sector	Desde	Hasta	Longitud	Carril	Do (1/1000 mm)	Mr Kg/cm <sup>2</sup>	Ep Kg/cm <sup>2</sup>	SN	Rc (m)
Izquierda	1	10+100	10+700	600	externo	378	1129	5070	5.1	341
		10+100	10+700	600	interno	464	1363	5730	4.3	322
	2	10+700	11+400	700	externo	431	804	3573	2.8	217
		10+700	11+400	700	interno	559	732	2453	2.5	152
	3	11+400	12+800	1400	externo	322	1019	6732	4.0	377
		11+400	12+800	1400	interno	262	1162	6879	4.1	339

Fuente: Autores del proyecto

La calzada izquierda del tramo Palenque – Café Madrid presenta, al igual que la calzada derecha, una baja capacidad estructural con números estructurales en un rango entre 2.8 y 5.1, además de deflexiones centrales que en promedio son superiores a 300 (1/1000 mm). Para esta calzada se observa también una estructura de pavimento pobre.

- Por último la calzada sencilla del corredor Palenque – Café Madrid entre el K12+800 al K20+200 mantiene un comportamiento similar al presentado por las calzadas izquierda y derecha del corredor en evaluación.

En esta calzada aunque se observan los números estructurales promedios más bajos de todo el proyecto las deflexiones centrales reportadas no son tan altas, esto se debe a que para este tramo las condiciones de la carpeta asfáltica son mejores a las presentada por la carpeta en las calzadas anteriores, esto puede observarse al cotejar los radios de curvatura de la deformada para las calzadas en el corredor Palenque - Café Madrid.

Tabla 8. Variables estructurales por sectores homogéneos calzada única

Calzada	SECTOR					VARIABLES ESTRUCTURALES (Promedio)				
	Sector	Desde	Hasta	Longitud	Carril	Do (1/1000 mm)	Mr Kg/cm <sup>2</sup>	Ep Kg/cm <sup>2</sup>	SN	Rc (m)
Única	1	12+800	13+900	1100	izquierdo	342	1831	6049	2.9	405
		12+800	13+900	1100	derecho	300	1366	6172	3.0	276
	2	13+900	17+700	3800	izquierdo	314	1425	5939	4.8	478
		13+900	17+700	3800	derecho	290	1697	6360	4.7	349
	3	17+700	20+200	2500	izquierdo	328	1049	6472	3.5	419
		17+700	20+200	2500	derecho	387	1315	5220	3.1	386

Fuente: Autores del proyecto

- Es importante analizar la vida de servicio del pavimento con la comparación del SN efectivo y el SN requerido en cada uno de los años considerados en el diseño de la vía, con esto se determina la vida residual del pavimento.
- Es necesario llevar a cabo un estudio detallado de las mezclas asfálticas y de las bases y subbases granulares utilizadas en el corredor Palenque – Café Madrid toda vez que el modulo equivalente del pavimento Ep presenta resultados bajos que pueden estar asociados a la calidad de los materiales que conforman la estructura del pavimento.

### **3.5 ESTUDIO AMBIENTAL**

#### **3.5.1 Metodología empleada**

Para realizar la guía ambiental se adelantaron las siguientes actividades:

- *Recopilación y análisis bibliográfico.* Se revisó la guía ambiental diseñada por el Instituto de Desarrollo Urbano IDU de la ciudad de Bogotá, la resolución 173 de marzo 4 de 2002, la información obtenida en investigaciones de campo y el marco legal dentro del cual se encuentran los lineamientos base de la guía.
- *Descripción del proyecto.* Con el fin de establecer las actividades que incluye la rehabilitación de la vía.
- *Definición de programas de manejo.* Para cada una de las actividades establecidas previamente.
- *Elaboración informe final.*

#### **3.5.2 Plan de contingencia ambiental**

El plan de contingencia está orientado a la ejecución de las acciones preventivas y de control de emergencias ante la eventualidad de un suceso; vale resaltar que el alcance de los planes de contingencia debe ser:

- *Preventivo*: En la medida que permite tomar decisiones sobre localización y diseño básico de los proyectos para minimizar o controlar las amenazas del ambiente sobre el proyecto, y de éste sobre el ambiente.
- *Estructural*: En la medida que permite incorporar obras de protección para minimizar el impacto de las consecuencias de los riesgos asumidos por el proyecto.
- *Curativo*: En la medida que permite controlar rápidamente las consecuencias del desencadenamiento de una amenaza, recuperando en el menor tiempo posible la capacidad productiva y funcional del proyecto.

### **3.6 PRESUPUESTO Y ESPECIFICACIONES**

#### **3.6.1 Metodología empleada**

Para realizar el presupuesto y especificaciones de construcción se adelantaron las siguientes actividades:

- *Definición de las actividades del proyecto*. Se realizó un análisis de las diferentes actividades de construcción necesarias para llevar a cabo la construcción del proyecto.
- *Medición de cantidades de obra*. Con base en los planos de rehabilitación; se determinaron las cantidades de obra requeridas para cada una de las actividades de construcción.
- *Visita al sitio de la obra*. Se realizaron visitas al sitio de la obra con el fin de precisar obras adicionales a las ya contempladas en los planos que se requieren para ajustar

el proyecto al terreno. Con base en las visitas se definieron cantidades adicionales que se necesitan para optimizar y complementar el proyecto.

- *Solicitud de cotizaciones.* Se presentó solicitud a varios proveedores de los precios actuales de materiales y equipos.
- *Elaboración de análisis unitarios.* Con base en los precios solicitados y los registros de rendimientos y análisis unitarios se procedió a elaborar el análisis unitario de cada uno de los ítems involucrados.
- *Definición del porcentaje de costos indirectos.* Se definió el porcentaje de administración, imprevistos y utilidades para el proyecto de ejecución de obra física. Los porcentajes definidos quedaron de la siguiente manera:

Tabla 9. Porcentajes costos indirectos

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>%</b>
Administración	20
Imprevistos	5
Utilidades	5

Fuente: Autores del proyecto

- *Determinación del presupuesto de cada actividad.* Se procedió a elaborar el presupuesto de cada actividad de ejecución de acuerdo con las cantidades calculadas y los precios definidos en los análisis unitarios y se totalizó el costo de todas las actividades de la obra para obtener el costo total del proyecto.
- *Determinación del presupuesto resumido por ítems de obra.* Se totalizaron las cantidades para cada uno de los ítems de construcción y se calculó el costo total para cada ítem de construcción y el costo total del proyecto.
- *Elaboración de las especificaciones de construcción.* Se tomaron como base las especificaciones generales de construcción del Instituto Nacional de Vías, incluida la

adición realizada en el año 2002; y se determinaron los ítems que requieren especificación particular, ya sea por diferir en parte con la especificación general o porque no está contemplada dentro de éstas especificaciones generales. Se realizaron las especificaciones particulares de construcción para cada uno de los ítems que lo requiere.

#### 4. ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS DE LA CICLOVÍA ENTRE GIRÓN Y LEBRIJA

El Proyecto se encuentra ubicado entre los Municipios de Girón y Lebrija y se divide en dos (2) sectores: El primer sector va desde Girón hasta la Ye del Aeropuerto con una longitud de 6,7 Kilómetros, y el alineamiento esta condicionado a la ampliación de la vía proyectada por INGETEC. El segundo sector va desde la Ye del Aeropuerto hasta Lebrija con una longitud de 3720 metros y su diseño se incluye en el proyecto de ampliación de la vía.

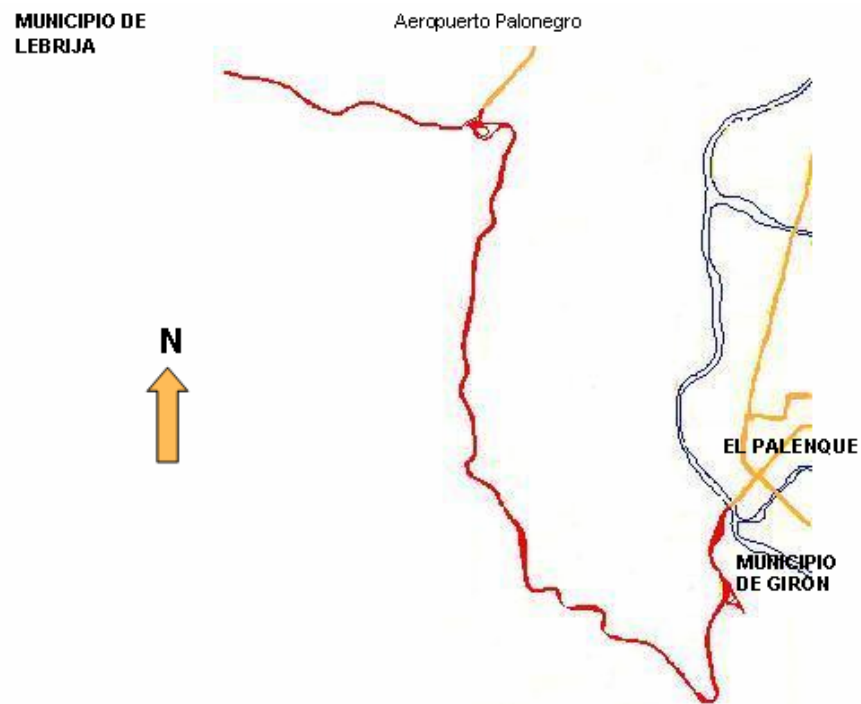
Figura No 4 Localización Vía Girón – Lebrija



Fuente: [www.googleearth.com](http://www.googleearth.com), editada por los autores del proyecto

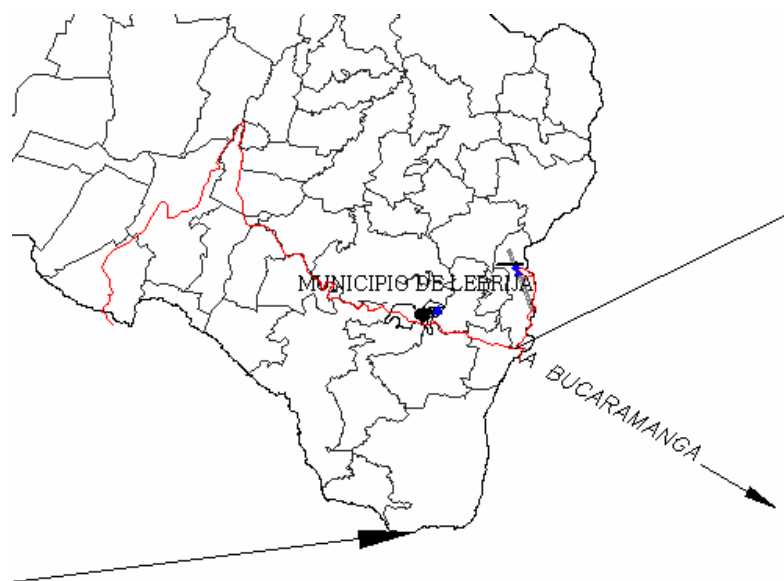
En las siguientes figuras se muestran los dos sectores en que se divide el proyecto de diseño de la ciclovia.

Figura No 5 Primer sector: Girón - Y Aeropuerto



Fuente: pixelcol.com/virtual/ imagenes, editada por los autores del proyecto

Figura No 6 Segundo sector: Y Aeropuerto – Lebrija



Fuente: www.lebrija.gov.co, editada por los autores del proyecto

## 4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El estudio diseña una ciclovía desde Girón hasta Lebrija en una longitud total de 10.4 kilómetros, divididos en dos sectores: Girón – Ye del Aeropuerto con una longitud de 6.7 kilómetros y Ye del Aeropuerto – Lebrija con una longitud de 3.7 kilómetros. En este informe se presenta el diseño de la ciclovía en el primer sector. El diseño de la ciclovía en el segundo sector se presenta en el proyecto de Ampliación de la vía Aeropuerto – Lebrija. Los estudios diseñan adicionalmente las obras que se deben construir para garantizar la estabilidad de la ciclovía como son muros de contención y obras de drenaje.

Los estudios comprenden Estudios Topográficos, Estudios de Tránsito, Evaluación geotécnica, Diseño Geométrico, Diseño de Pavimentos, Diseño de estructuras, Elaboración de las Especificaciones de Construcción, Cálculo de Cantidades de Obra, Análisis de Precios Unitarios y Presupuesto.

## 4.2 Metodología empleada

Para realizar el diseño de la ciclovía se adelantaron las siguientes actividades:

- *Estudio de tránsito.* Con el propósito de determinar la carga, que va a circular en el futuro próximo sobre la estructura, se hizo la predicción del tránsito y su impacto sobre el pavimento.
- *Dimensionamiento de estructuras de pavimento.* Empleando métodos regularmente utilizados en el país para el diseño de estructuras de pavimento.
- *Diseño de Estructuras de contención.* Para garantizar la estabilidad de la estructura.
- *Especificaciones de construcción.* Tomando como base las especificaciones generales de construcción del Instituto Nacional de Vías.

## CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

- Para el diseño de la ampliación a doble calzada entre el Aeropuerto y Lebrija, se tuvieron en cuenta las condiciones tanto topográficas, geológicas, ambientales, hidrológico, como de la vía actual que se encuentra en funcionamiento, dando así los parámetros definitivos de diseño escogidos como una velocidad de diseño de 80 kph, pendiente máxima del 8%, un radio mínimo de diseño de 70m y curvas circulares espiralizadas.
- De acuerdo al estudio de tráfico realizado y a las condiciones de servicio que se le quiere dar a la vía, la ampliación se realizara a doble calzada, cada una con una dimensión de 7.30m, separador en la zona rural de 2m y en la zona urbana de Lebrija de 1m, berma de 1.80m y cunetas a lado y lado de 1m.
- Para el diseño de la cicloruta, se realizo hacia el costado derecho de la vía de acuerdo a diversas normativas estudiadas. Esta cuenta con una separación entre la vía y la cicloruta de 0.5m y un ancho de cicloruta de 2.75m.
- Para la rehabilitación de la vía Palenque-Café Madrid, se hace necesario un cambio de los materiales en la vía, ya que estos debido a sus bajas propiedades, y al alto flujo de carga pesada en la zona, hacen que estos se desgasten muy fácilmente.
- Para las condiciones de los tres estudios y diseños realizados, es necesario el cambio de estructuras hidráulicas de la vía, tanto de cunetas, alcantarillas, box coulvers, puentes como de muros de contención y demás, ya que para el buen funcionamiento de las mismas, hay que ajustarse a las nuevas condiciones de la vía.

- El informe en detalle entregado a la Gobernación de Santander de los estudios y diseños definitivos de la Ampliación a Doble Calzada entre el Aeropuerto-Lebrija, la Rehabilitación de la Vía Palenque-Café Madrid y la Cicloruta entre Girón-Lebrija, se encuentra disponible en la Gobernación de Santander y en la Escuela de Ingeniería Civil con la cual se trabajo la practica.

## RECOMENDACIONES

- La realización de este tipo de practicas empresariales deben ser mas incentivadas para un futuro ya que ayudan a que los estudiantes se desarrollen y apliquen de una forma real los conocimientos adquiridos durante el tiempo de estudio, dándoles una mayor seguridad al momento de enfrentarse al desempeño de su vida profesional.

## **APORTE DE INVESTIGACIÓN**

**RELACIÓN DE MÓDULOS RESILIENTES DE LA SUBRASANTE A PARTIR DE  
MEDICIONES DE DEFLEXIÓN ENTRE VIGA BENKELMAN Y  
DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO FWD**

## **5. CARACTERIZACIÓN IN SITU DE SUBRASANTES DE PAVIMENTOS EXISTENTES**

En todos los métodos de diseño de pavimentos se acepta que durante la vida útil de la estructura se pueden producir dos tipos de fallas, la funcional y la estructural:

- La falla funcional se deja ver cuando el pavimento no brinda un paso seguro sobre él, de tal forma que no transporta cómoda y seguramente a los vehículos.
- La falla estructural esta asociada con la pérdida de cohesión de algunas o todas las capas del pavimento de tal forma que éste no puede soportar las cargas a la que esta sometido. Esta falla se presenta cuando los materiales que conforman la estructura, al ser sometida a repeticiones de carga por acción del transito, sufren un agrietamiento estructural relacionado con la deformación o la tensión horizontal por tracción en la base de cada capa; en este sentido la falla relaciona la deformación o la tensión producida con el número de repeticiones admisibles; esto se denomina falla por fatiga o sea por repeticiones de carga.

### **5.1. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS**

Es posible realizar un control de calidad con base en las deflexiones tanto con Viga Benkelman como con el Deflectómetro de Impacto (FWD) para determinar así parámetros muy importantes para diseño y/o evaluación de la condición de una estructura del pavimento.

#### **5.1.1. VIGA BENKELMAN**

Es el mas popular y económico de los equipos para la medición de deflexiones de superficie. Su popularidad se debe al modelamiento real de la carga de ensayo, la experiencia que se tiene sobre su uso, su facilidad de manipulación en campo ya que no posee dispositivos mecánicos o electrónicos muy complejos que se puedan averiar y los resultados obtenidos en campo del ensayo.

Figura No 7 Viga Benkelman



Fuente: Foto cortesía de John Harvey

La viga funciona según el principio de la palanca en el cual los dos brazos de la viga rotan alrededor de un eje horizontal, de manera que cualquier movimiento del extremo de la viga en contacto con el pavimento produce un movimiento proporcional en el extremo opuesto, el cual es medido por un deflectómetro. Para este ensayo se utilizan vigas con relación de brazo de palanca de 2:1 ó 4:1 y es común que el deflectómetro ya este calibrado para medir la deflexión real directamente, sin multiplicar por un factor 2 ó 4.

La deflexión Benkelman representa la recuperación elástica medida sobre la vertical de la superficie del pavimento, cuando deja de actuar la carga producida por una rueda doble de determinadas características.

La carga durante el ensayo es proporcionada por el eje trasero simple con llanta doble de un camión. La carga del eje es del orden de 8.2 Ton y la Presión de inflado de 80 psi, pero para efectos de este proyecto, se utilizo 12.57 Ton para hacer mas critica las deformaciones del pavimento.

#### **5.1.1.1. Procedimiento de medida con Viga Benkelman**

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 10.

Tabla 10. Puntos de ensayo Viga Benkelman

<i>Ancho de carril (m)</i>	<i>Distancia del punto de ensayo Desde el borde del pavimento (m)</i>
2.70	0.45
3.00	0.60
3.30	0.75
3.60 o más	0.90

Fuente: Norma de ensayo de materiales para carreteras, I.N.V.E – 795, INVIAS

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 externa del camión una guía vertical en correspondencia con el eje de carga. Desplazando suavemente el camión, se hace coincidir la guía vertical con la línea transversal indicada en 3,1 de modo que simultáneamente el punto quede entre ambas llantas de la rueda dual.

- 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 hasta una distancia de 4 m aproximadamente; se pone en marcha el cronómetro cuando el camión se detiene a la distancia indicada y se leen los diales cada 60 segundos, golpeándolos suavemente con un lápiz. 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).
- Con el fin de medir la temperatura del pavimento se practica un orificio (antes de comenzar el ensayo y simultáneamente con el trazado de la línea), cuyas dimensiones serán: 4cm de profundidad y 10mm de diámetro, aproximadamente, emplazado sobre la línea paralela al eje del camino, que pasa por el punto de determinación de la deflexión y a 50 cm. del mismo, en el sentido de avance del camión. Se llena con aceite no menos de 10 minutos antes de iniciar el ensayo, se inserta el termómetro y se lee la temperatura, retirando el mismo antes del desplazamiento del camión.

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

Límite inferior: 5°C

Límite superior: 35°C

- No obstante el límite superior indicado en el párrafo 3.7, el ensayo no se deberá efectuar a temperaturas inferiores si ellas producen deformación plástica entre ambas llantas de la rueda dual. Para detectar si dicha deformación se produce, se deberá proceder de la siguiente forma:

Una vez registradas las lecturas L0 y L25, se hace retroceder suave y lentamente el camión hasta que la rueda dual externa quede colocada sobre el punto de ensayo, observando la marcha en la aguja del dial. Si alcanzada cierta posición la aguja se detiene y luego se observa un desplazamiento en sentido contrario, como si se produjera la recuperación del pavimento, ello indica que existe deformación plástica medible entre ambas llantas de la rueda dual. Esa aparente recuperación puede ser debida, también, al hecho de que el radio de acción de la carga del camión afecte las patas de la viga.

- Tampoco deberá efectuarse el ensayo si, aún cuando no se detectara deformación plástica mediante el procedimiento recién indicado, se constatará que el radio de

acción de la carga del camión afecta las patas de la regla, para lo cual se procederá de la siguiente forma:

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

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

#### **5.1.1.2. Calculo de deflexiones**

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

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

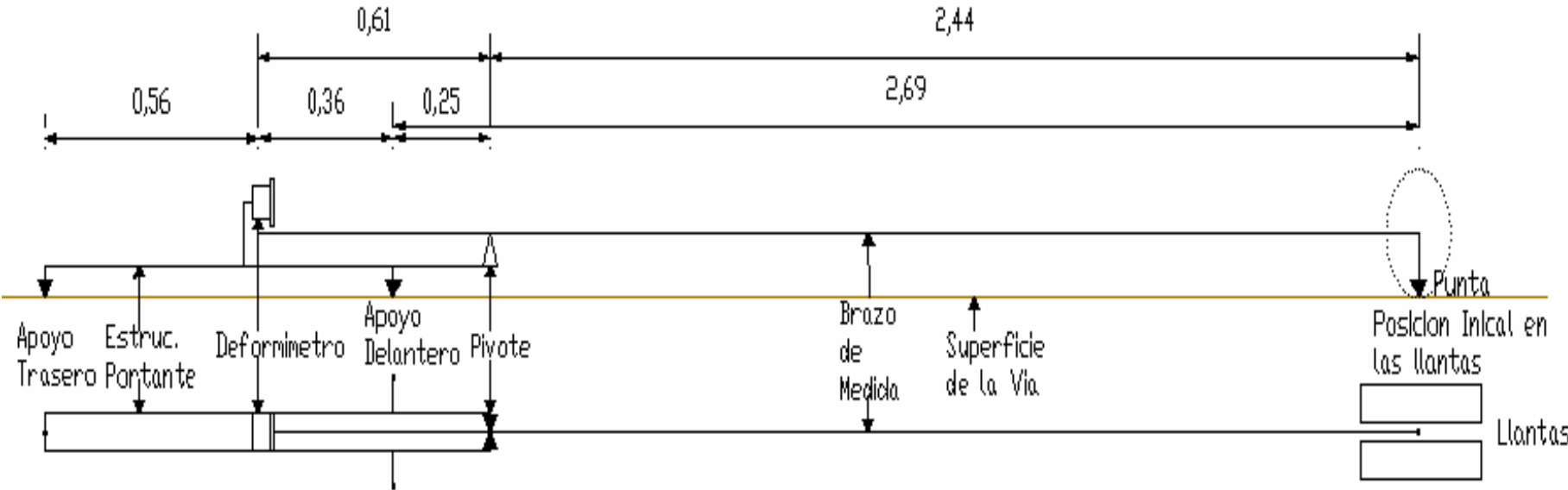
Donde  $L_0$  es la lectura registrada en el dial del primer brazo de ensayo.

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

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

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

Figura No 8 Dimensionamiento de la Viga Benkelman



$$\text{Constante de la Viga: } 2,44/0,61 = 4$$

Fuente: Autores del proyecto

### 5.1.2. DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO (FWD)

Figura No 9 Deflectómetro de impacto KUAB 50



Fuente: Autores del proyecto

Figura No 10 Sensor de FWD aplicando la carga durante su medición



Fuente: Autores del proyecto

#### 5.1.2.1. Características del deflectómetro de impacto

El sistema de los equipos de impacto tiene que cumplir con los siguientes requerimientos:

- **Sistema de instrumentación**

Durante su operación debe soportar temperaturas de entre -10 y 50°C; tolerar humedad relativamente alta, lluvia o niebla; y otras condiciones adversas tales como polvo, golpes,

o vibraciones que se pueden presentar normalmente en campo.

Los instrumentos no deben estar expuestos a los elementos (dentro del vehículo), y deben ser capaces de operar en un rango de temperaturas de entre 5 y 40 °C.

- **Dispositivo generador de impacto**

El dispositivo generador de impacto debe ser del tipo de masa en caída libre con un sistema de guía. El dispositivo generador de impacto tiene que ser capaz de levantar una o varias masas predeterminadas, y soltarlas en caída libre. La onda generada por el impacto de la masa, y transmitida al pavimento. La onda debe tener aproximadamente la forma haversine y aplicarse con una amplitud de pico a pico de 40 KN. La duración del impulso de fuerza habrá de permanecer en un tiempo de incremento de la carga de 60 sg. Es importante que el sistema de guía presente una fricción despreciable y diseñada de tal manera que las masas caigan perpendiculares a la superficie del pavimento.

- **Placa de carga**

La placa de carga debe ser capaz de distribuir uniformemente la carga sobre la superficie del pavimento. Los diámetros más comunes de las placas son de 300 y 450 mm de diámetro para realizar mediciones sobre autopistas y aeropistas, respectivamente. La placa será capaz de permitir mediciones de deflexión en los pavimentos, al centro de la placa.

- **Transductor de deflexión**

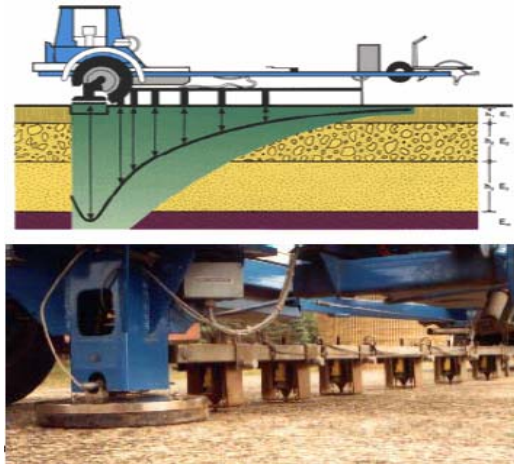
Debe ser capaz de medir el desplazamiento vertical máximo, y estar montado de tal manera que minimice la rotación angular con respecto a su plano de medición en el movimiento máximo esperado. El número y espaciamiento de los sensores es opcional, y dependerá de los propósitos de la prueba y de las características de cada capa del pavimento. El espaciamiento adecuado entre sensores es de 300 mm. Los sensores pueden ser de varios tipos: transductores de desplazamiento, de velocidad, o de aceleración (acelerómetros).

- **Celda de carga**

La celda tiene que ser colocada de tal manera que no restrinja la capacidad de obtener mediciones de deflexión, bajo el centro de la placa de carga. Además, debe ser resistente al agua y a los impactos en carretera durante el desarrollo del ensayo o transporte.

### 5.1.2.2. Procedimiento para medir deflexiones

Figura No 11 Aplicación de carga del deflectómetro de impacto



Fuente: Evaluación y diagnóstico estructural del pavimento, Javier Augusto Ortiz, Universidad Javeriana, 2005

Para la evaluación deflectométrica de los corredor Palenque- Café Madrid se utilizó el deflectómetro de impacto FWD KUAB 50, midiendo deflexiones cada 100 metros/carril, aproximadamente, es decir cada 50 metros/calzada.

- Coloque el dispositivo de prueba y la placa de carga sobre el punto que se desee probar. El lugar de prueba debe estar libre, en lo posible, de gravas, gravillas y escombros para asegurar que la placa quede apoyada completamente. Las superficies de grava o suelo tienen que estar lo más niveladas posible, y remover todo el material suelto para asegurar que la placa de carga haga contacto perfecto con la superficie del pavimento que se pretende evaluar.
- Mida la temperatura ambiente y la del pavimento. Si la prueba se desarrolla por un periodo largo de tiempo, tome temperaturas del pavimento cada hora para establecer una correlación directa entre la temperatura ambiente y la de la superficie del pavimento.

- Registre la siguiente información para cada pavimento evaluado: nombre del operador; fecha y hora; factores de calibración; inicio y fin de la estación o localización física del tramo evaluado; localización de cortes o terraplenes; ubicación de alcantarillas, puentes y otras características de control vertical; límites y extensión de los deterioros superficiales; condiciones ambientales, y descripción del tipo de pavimento.
  
- Inicie el programa de adquisición de datos, e introduzca la información que requiera la configuración del equipo de deflexión al momento del ensaye. La configuración del equipo se almacena en un archivo de salida, y constituye un insumo para el programa de análisis. Esta información, normalmente incluye el diámetro de la placa de carga, número y posición de los transductores de deflexión y la orientación de los transductores de deflexión con respecto a la placa de carga. Seleccione el formato de archivo de datos adecuado; existen diferentes formatos.
  
- Baje la placa de carga y los transductores para asegurarse de que se encuentran en una superficie estable y firme.
  
- Levante el dispositivo generador de impacto a la altura deseada, y deje caer el peso. Registre la deflexión máxima de la superficie y la carga máxima. En caso de que ocurra una deformación permanente bajo la placa de carga, mueva el aparato, y reduzca el impacto aplicado hasta que la deformación permanente no sea significativa para el primer ensayo en campo.
  
- Ejecute como mínimo dos secuencias de carga (c), y compare los Resultados. Si las diferencias son mayores del 3 % en cualquier transductor, registre la variabilidad en el reporte. Los ensayos adicionales se pueden hacer con la misma o diferente carga. Con la finalidad de determinar la no linealidad de un sistema de pavimento es factible desarrollar ensayos para diferentes niveles de carga. El analista puede utilizar cuencas promediadas si se presentan errores aleatorios de importancia.

### **5.1.2.3. Evaluación de la estructura de pavimento**

La guía de diseño de la AASHTO presenta la metodología para el cálculo del módulo

resiliente de la subrasante ( $M_r$ ) a partir de medidas de deflexión tomadas con el Falling Weight Deflectometer <sup>3</sup>. El cálculo del Módulo es como sigue:

Donde:

$$M_r = \frac{0.24 * P}{d_r * r}$$

$M_r$  - Módulo resiliente de la subrasante, en psi

$P$  - Carga aplicada (libras). (9000 libras = 40 KN.)

$d_r$  - deflexión medida a una distancia  $r$  del centro del sensor de carga, en pulgadas. En este estudio se empleó la deflexión  $D_6$ , correspondiente a la deflexión ubicada a 1.74 m del centro del sensor de carga.

$r$  - Distancia desde el centro del sensor de carga, en pulgadas.

Para efectos de diseño, la metodología sugiere que este módulo debe multiplicarse por un factor de 0.33, para obtener un valor representativo de diseño:

$$M_r = 0.33 \left( \frac{0.24 * P}{d_r * r} \right)$$

#### 5.1.2.4. Módulo equivalente $E_p$

El cálculo del módulo equivalente de la estructura de pavimento fue obtenido, igualmente a partir de la metodología AASTHO, con la aplicación de la siguiente fórmula<sup>4</sup>:

$$d_0 = 1.5 * p * a * \left\{ \frac{1}{M_r \sqrt{1 + \left( \frac{D}{a} \sqrt[3]{\frac{E_p}{M_r}} \right)^2}} + \frac{1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{D}{a} \right)^2}}}{E_p} \right\}$$

Donde:

$d_0$  - Deflexión central.

$p$  - Presión del sensor de carga, en psi. En este caso igual a 82.3 psi = 5.76 Kg/cm<sup>2</sup>.

$a$  - Radio del sensor de carga, en pulgadas. (5.9 pulgadas = 15 cm.)

$D$  - Espesor total de las capas del pavimento sobre la subrasante, en pulgadas,

<sup>3</sup> Deflectómetro de Impacto.

<sup>4</sup> AASTHO Guide for Design of Pavement Structures 1993. Página III-97.

Mr - Módulo resiliente de la subrasante, en psi.

Ep - Módulo efectivo de todas las capas del pavimento, en psi.

El módulo equivalente del pavimento, refleja la capacidad estructural del pavimento existente, es decir, la capa asfáltica que la conforma y los materiales granulares que se encuentran sobre la subrasante. La obtención del módulo equivalente se realizó a partir de la metodología de la AASHTO haciendo uso de las deflexiones registradas con el Deflectómetro de Impacto FWD, particularmente de la deflexión central.

#### **5.1.2.5. Número estructural SN**

La variable más importante en la metodología AASHTO es el Número Estructural SN, este valor, junto con la proyección de tránsito en el periodo de diseño permite determinar espesores de refuerzo o análisis de vida residual del pavimento. La condición futura de la vía, por lo tanto, estará condicionada de manera importante a las cargas y al tipo de tránsito futuro.

Finalmente el cálculo del SN efectivo se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$SN_{Efectivo} = 0.0045 * D * \sqrt[3]{E_p}$$

## **5.2. ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÓDULOS RESILIENTES DE SUBRASANTE ENTRE VIGA BENKELMAN Y FWD**

En este numeral se muestra el aporte realizado durante el tiempo de práctica, con el cual se busca relacionar la Viga Benkelman y el Deflectómetro de Impacto FWD como equipos utilizados en la medición de deflexiones, y la determinación de módulos resilientes de la subrasante.

### **5.2.1. Relación Viga Benkelman y FWD en 5 puntos específicos sobre la vía Palenque – Café Madrid**

Para estudiar la relación entre equipos, se tomaron deflexiones en cinco puntos sobre la

vía Palenque – Café Madrid en zonas donde el pavimento visualmente se encontraba en buen estado (evitando que las deflexiones fueran producto del deterioro del pavimento), tanto con la Viga Benkelman como con el Deflectómetro de Impacto FWD, datos que a continuación se muestran:

Tabla 11. Puntos de ensayo para la Viga Benkelman Y FWD

	Abscisa Campo	INFORMACIÓN DE ESPESES DE PAVIMENTO EXISTENTE ( cm )			
		Carpeta Asfáltica	Base Granular	Subbase Granular	H Total
PUNTO 1	K18 + 00	20	30	0	50
PUNTO 2	K16 + 650	16	36	0	52
PUNTO 3	K15 + 750	14	39	0	53
PUNTO 4	K14 + 850	9	23	48	80
PUNTO 5	K14 + 550	8	25	0	33

Fuente: Autores del proyecto

Una vez obtenido las deflexiones de la Viga Benkelman, se procedió a estimar los módulos resilientes de la subrasante por calculo inverso utilizando el programa desarrollado por el Instituto de Vías de la Universidad del Cauca en Mayo de 1994 denominado INPACO (DEPAV), en el cual se introducen los valores correspondientes a los módulos resilientes de la subrasante, base y carpeta asfáltica.

Como no se conoce el modulo resiliente de las capas granulares, este fue determinado utilizando la ecuación propuesta por SHELL.

$$Mr_n = 0.2 * h^{0.45} * Mr_{n-1}$$

Donde h: espesor de la a analizar (mm), en este caso base granular.

n: capa de análisis.

A partir de un modulo resiliente supuesto de subrasante se calcula el modulo resiliente de la siguiente capa.

Por tratarse de una carga estática, el modulo resiliente de la carpeta asfáltica fue asumido como 10000 kg/cm<sup>2</sup> = 980 Mpa.

Figura No 12 Datos de entrada para el cálculo de módulos resilientes por el programa INPACO

Número de Capas [2..6]   3				
Radio de Carga [cm]			12.56	
Presión de Contacto [Kg/cm <sup>2</sup> ]			6.33	
Distancia Entre Ejes de Llantas [cm]			32.4	
Capas	E [Kg/cm <sup>2</sup> ]	μ [ ]	H [cm]	Ligada ó No
1ª	10000	0.35	20	L
2ª	3050	0.4	30	L
3ª	1600	0.4		
4ª				
5ª				
6ª				

Fuente: Programa INPACO y modificado po los autores del proyecto

El modulo resiliente de la subrasante se varia hasta que la deflexión calculada por el programa INPACO resulte similar a la deflexión tomada en campo; en ese momento los módulos calculados son los estimados para el suelo de soporte de la estructura.

Figura No 13 Resultados de las deflexiones por el programa INPACO

Título del Trabajo : proyecto					
Número de Capas : 3			Alternativa : 1		
Capa N°	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm <sup>2</sup> )	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm <sup>2</sup> )
1ª	0.00	3.2300E-04 C	7.6987E+00 B	-1.2700E-04 C	6.3323E+00 A
	20.00	-2.7400E-04 C	-2.6002E+00 B	3.4200E-04 B	1.8661E+00 B
2ª	20.00	-2.7400E-04 C	6.9544E-02 B	5.6600E-04 B	1.8661E+00 B
	50.00	-1.6400E-04 C	-3.8647E-01 C	2.8900E-04 C	6.0060E-01 C
3ª	50.00	-1.6400E-04 C	-1.2542E-02 C	3.7200E-04 C	6.0060E-01 C
Deflexión		=	40.150 mm/100		
Radio de Curvatura		=	122.200 m		

Fuente: Programa INPACO y modificado po los autores del proyecto

Después de obtener estos módulos se compararon con los calculados para diseño por la metodología AASHTO, empleando las deflexiones medidas con el deflectómetro de impacto FWD.

En la tabla No 12 se consigna los resultados de las deflexiones con la Viga Benkelman y en la tabla No 13 se muestran los resultados de deflexiones medidas con FWD a 6 distancias diferentes del punto de aplicación de la carga.

Tabla 12. Datos obtenidos con la Viga Benkelman en los cinco puntos

	Abscisa Campo	Medida Deflexiones	LECTURAS CAMPO		LECTURAS pulg.		LECTURAS, mm		LECTURAS, (1/100 mm)		Deflexiones (1/100 mm)	
			Lo	L25	Lo	L25	Lo	L25	Lo	L25	Do	D25
PUNTO 1	K18+00	Huella	40	3.8	0.0040	0.0038	0.1016	0.0965	10.160	9.652	40.640	38.608
		63cm	16	1.5	0.0016	0.0015	0.0406	0.0381	4.064	3.810	16.256	15.240
		104cm	8	0.7	0.0008	0.0007	0.0203	0.0178	2.032	1.778	8.128	7.112
PUNTO 2	K16+650	Huella	40	3.8	0.0040	0.0038	0.1016	0.0965	10.160	9.652	40.640	38.608
		64cm	15	0.8	0.0015	0.0008	0.0381	0.0203	3.810	2.032	15.240	8.128
		107cm	7	0.5	0.0007	0.0005	0.0178	0.0127	1.778	1.270	7.112	5.080
PUNTO 3	K15+750	Huella	32	3.1	0.0032	0.0031	0.0813	0.0787	8.128	7.874	32.512	31.496
		62cm	18	1.2	0.0018	0.0012	0.0457	0.0305	4.572	3.048	18.288	12.192
		103cm	8	0.4	0.0008	0.0004	0.0203	0.0102	2.032	1.016	8.128	4.064
PUNTO 4	K14+850	Huella	30	2.5	0.0030	0.0025	0.0762	0.0635	7.620	6.350	30.480	25.400
		64cm	10	0.8	0.0010	0.0008	0.0254	0.0203	2.540	2.032	10.160	8.128
		102cm	5	0.4	0.0005	0.0004	0.0127	0.0102	1.270	1.016	5.080	4.064
PUNTO 5	K14+550	Huella	16	1.5	0.0016	0.0015	0.0406	0.0381	4.064	3.810	16.256	15.240
		63cm	3	0.1	0.0003	0.0001	0.0076	0.0025	0.762	0.254	3.048	1.016
		102cm	1	0	0.0001	0.0000	0.0025	0.0000	0.254	0.000	1.016	0.000

Tabla 13. Datos obtenidos con el Deflectómetro de Impacto FWD en los cinco puntos

Abscisa	Carga campo	Temperatura Pavimento	Temperatura Aire	D0	Do	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D1	D2	D3	D4	D5	D6
				Campo	Carga	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo	Carga	Carga	Carga	Carga	Carga	Carga
Km	kN	°C	°C	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm
P1	42	33	28	128	122	94	78	46	20	14	8	90	75	44	19	13	7.19
P2	41	33	31	335	328	260	223	126	49	37	25	255	219	124	48	36	24.05
P3	41	33	29	210	202	140	115	65	25	19	13	135	111	62	24	18	12.06
P4	41	34	32	335	323	225	186	99	30	24	18	217	179	96	29	23	16.91
P5	41	37	33	329	319	222	192	99	24	17	9	215	187	96	23	16	8.75

Fuente: Autores del proyecto

Empleando la ecuación propuesta por AASHTO, se calcularon los valores de modulo resiliente correspondiente a la deflexión D6 a 174cm de la carga aplicada, como se indica a continuación, en el caso del punto1:

$$P = 42 \text{ KN} = 9086.09 \text{ lbs} \quad Mr = 0.33 \left( \frac{0.24 * P}{d_6 * X_6} \right)$$

$$D_6 = 7.19 \text{ } \mu\text{m} = 0.00028 \text{ pulg}$$

$$X_6 = 174 \text{ cm} = 68.50 \text{ pulg}$$

$$Mr_{Diseño} = 0.33 * \left( \frac{0.24 * 9086.09}{0.00028 * 68.50} \right) = 37519.20 \text{ psi}$$

$$Mr_{Diseño} = 2643 \text{ kg / cm}^2$$

Tabla 14 Módulos resilientes de la subrasante para FWD

Abscisa	Carril	INFORMACIÓN DE ESPESORES DE PAVIMENTO EXISTENTE					VARIABLES ESTRUCTURALES				Radio de curvatura Rc
		Carpeta Asfáltica	Material Granular	H total	H total	H max	Mr AASHTO	Mr AASHTO Diseño	Ep AASHTO	SN AASHTO	
Km		m	m	m	cm	m	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )		(m)
P1	Derecho	0.10	0.30	0.40	40	0.40	7929	2643	15994	5.4	919
P2	Derecho	0.10	0.30	0.40	40	0.40	2313	771	6497	4.0	417
P3	Derecho	0.10	0.30	0.40	40	0.40	4626	1542	8643	4.7	450
P4	Derecho	0.10	0.30	0.40	40	0.40	3264	1088	5089	5.9	285
P5	Derecho	0.10	0.30	0.40	40	0.40	768	256	4648	2.4	292

Fuente: Autores del proyecto

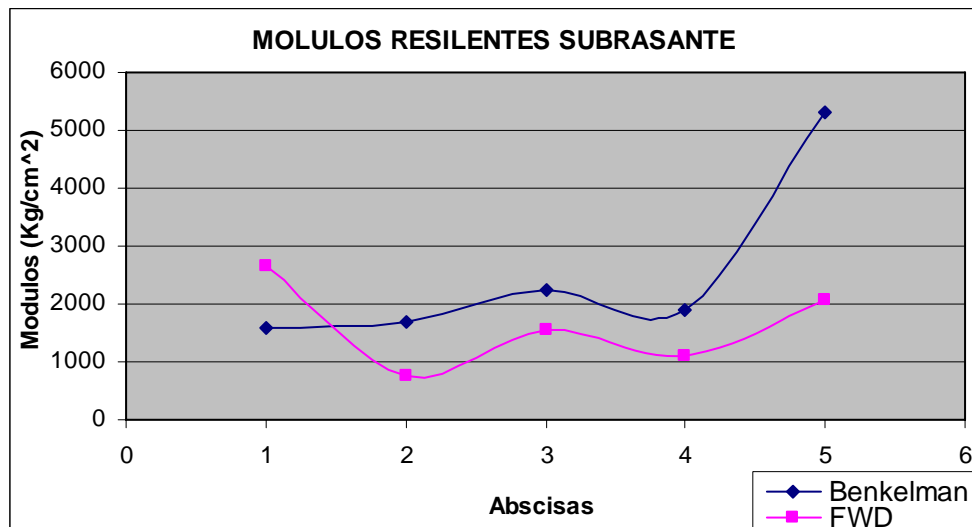
En la tabla No 15 se presentan los valores de los módulos resilientes obtenidos a partir del análisis de deflexión Benkelman y del Deflectómetro de Impacto FWD.

Tabla 15. Datos módulos resilientes de la subrasante con la Viga Benkelman y FWD en los cinco puntos

PUNTO	ABSCISA	MÓDULOS RESILIENTES BENKELMAN (Kg/cm <sup>2</sup> )	MÓDULOS RESILIENTES FWD (Kg/cm <sup>2</sup> )
		SUBRASANTE	SUBRASANTE
PUNTO 1	K18 + 00	1600	2643
PUNTO 2	K16 + 650	1700	771
PUNTO 3	K15 + 750	2250	1542
PUNTO 4	K14 + 850	1900	1088
PUNTO 5	K14 + 550	5300	2056

Fuente: Autores del proyecto

Figura No 14 Grafica de los puntos con los módulos resilientes de la subrasante entre la Viga Benkelman y FWD



Fuente: Autores del proyecto

De acuerdo a los resultados obtenidos por ambos equipos, se observa que no hay acuerdo en las medidas de deflexión con sus correspondientes módulos resilientes de la subrasante, ya que en la Viga Benkelman el punto que posee menor deflexión (Punto 5) presenta el mayor modulo resiliente entre los 5 puntos como es de esperarse; pero para el caso del FWD, en este mismo punto la deflexión es una de la mayores (teniendo en cuenta el sensor D0 ubicado sobre el punto de aplicación de la carga) y su modulo resiliente es el menor con respecto a los otros puntos; con lo cual se observa que las propiedades mecánicas de la subrasante en el mismo punto para un equipo (Viga Benkelman) son aceptables, mientras que para FWD ocurre totalmente lo contrario.

### 5.2.2. Determinación de la relación entre Viga Benkelman y FWD por sectorización

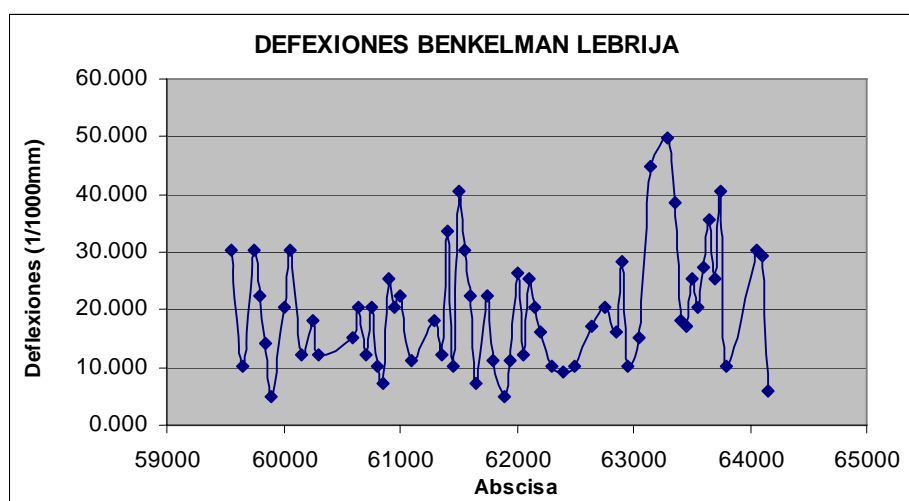
Debido a que los cinco puntos tomados en la vía Palenque – Café Madrid no mostraron suficiente confiabilidad para la determinación de la relación entre módulos resilientes de la subrasante calculados a partir de las deflexiones tomadas con Viga Benkelman y el Deflectómetro de Impacto FWD, se prosiguió a trabajar con las deflexiones tomadas para el proyecto de la GOBERNACIÓN DE SANTANDER, ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS AMPLIACIÓN A DOBLE CALZADA DE LA VÍA AEROPUERTO-LEBRIJA, REHABILITACIÓN DE LA VÍA PALENQUE-CAFÉ MADRID,

al igual que los datos tomados para el ESTUDIO Y DISEÑOS DEFINITIVOS DEL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE MASIVO METROLINEA en el sector de la carrera 27 entre la avenida Quebrada seca y la calle 56. Buscando aumentar la confiabilidad utilizando una cantidad mayor de datos.

En el anexo A se muestra los datos tomados en cada una de estas vías, tanto con Viga Benkelman como con FWD

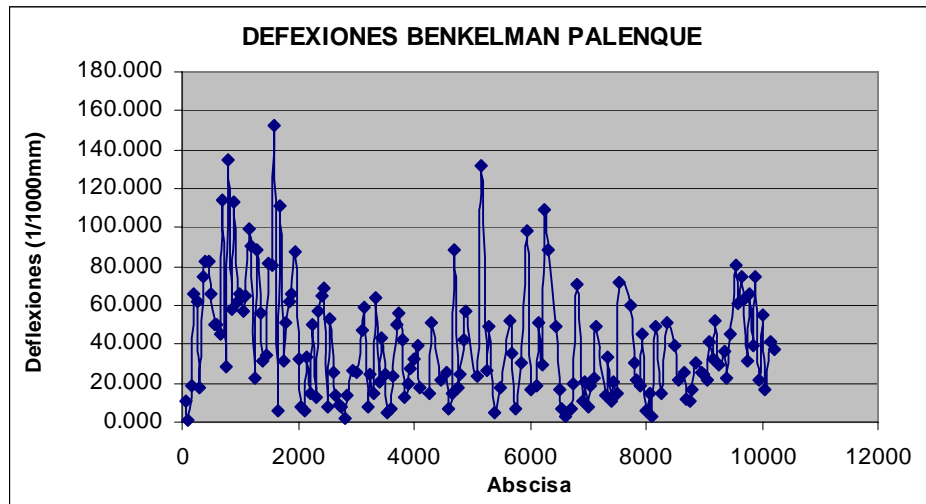
En las siguientes graficas, se muestran las abscisas vs deflexiones para Benkelman y FWD en los sensores D3, D4, D5, D6 en la vía Palenque – Café Madrid y Y Aeropuerto – Lebrija.

Figura No 15 Deflexiones con Viga Benkelman en la vía Y Aeropuerto – Lebrija



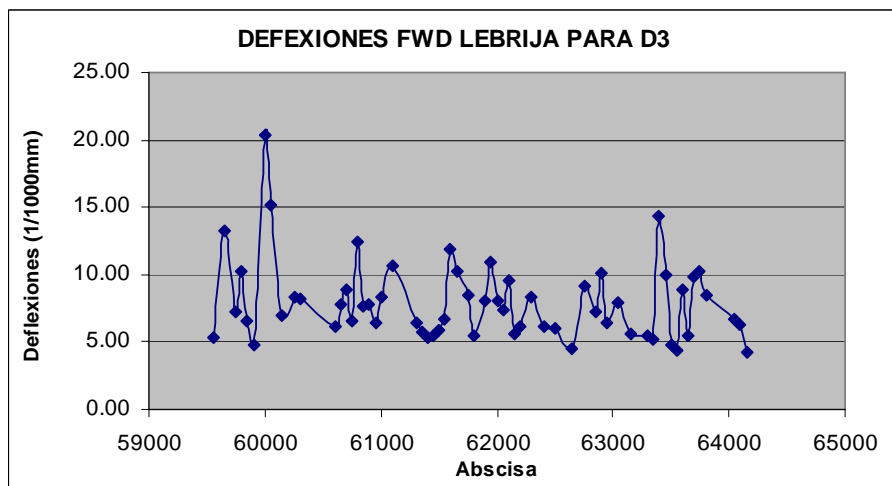
Fuente: Autores del proyecto

Figura No 16 Deflexiones con Viga Benkelman en la vía Palenque - Café Madrid



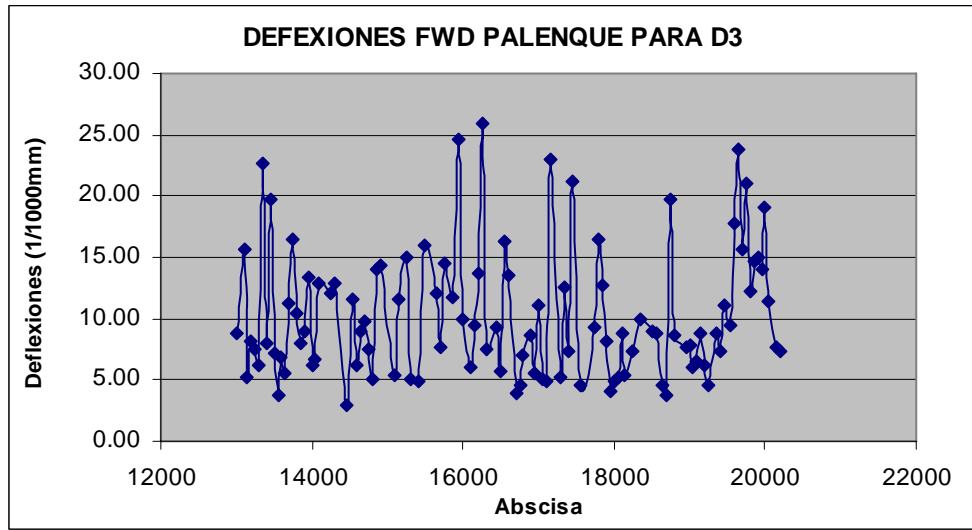
Fuente: Autores del proyecto

Figura No 17 Deflexiones con FWD en la vía Y Aeropuerto - Lebrija para D3



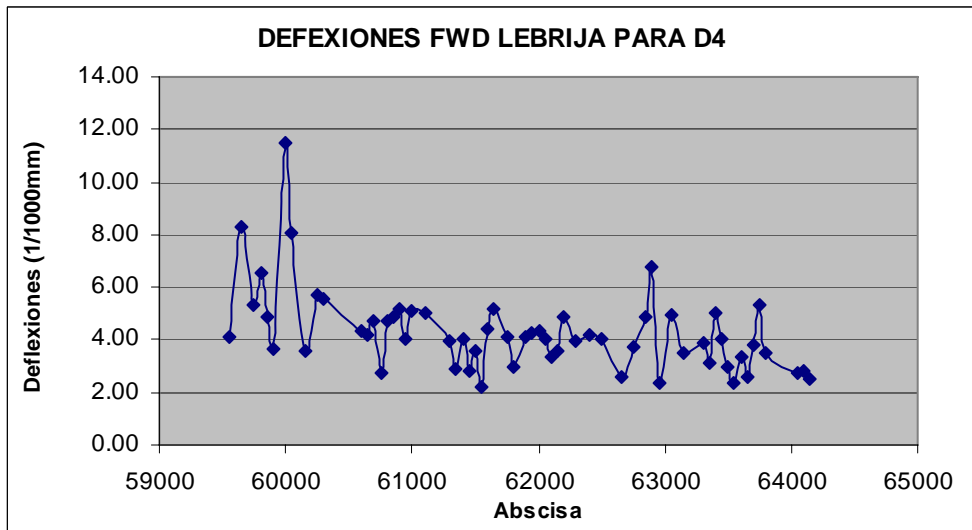
Fuente: Autores del proyecto

Figura No 18 Deflexiones con FWD en la vía Palenque - Café Madrid para D3



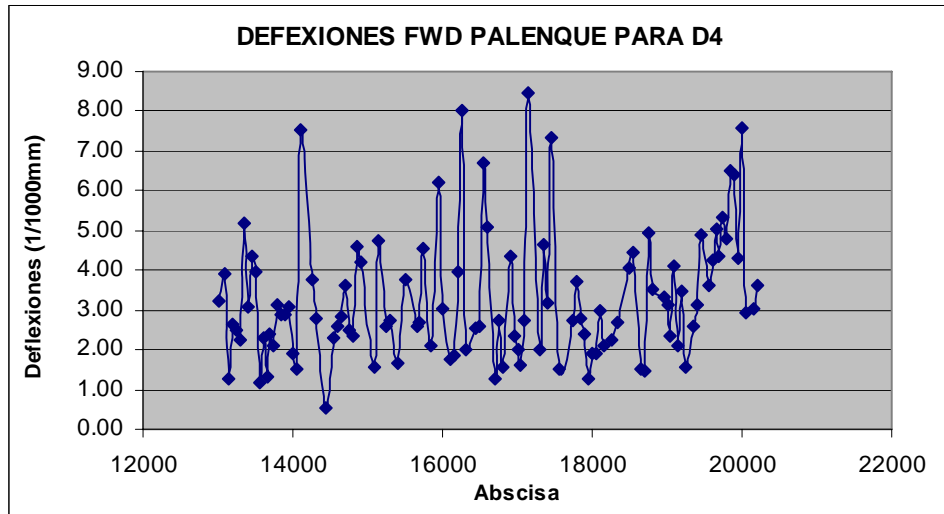
Fuente: Autores del proyecto

Figura No 19 Deflexiones con FWD en la vía Y Aeropuerto - Lebrija para D4



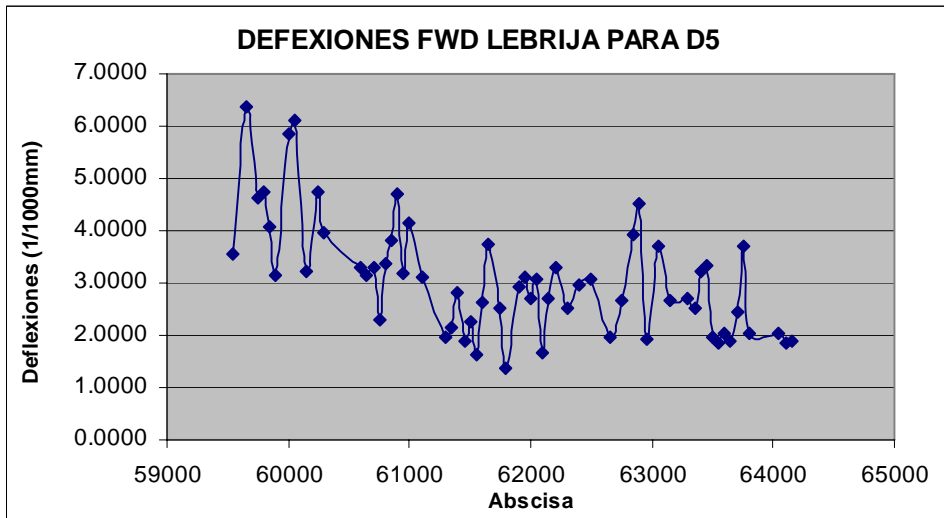
Fuente: Autores del proyecto

Figura No 20 Deflexiones con FWD en la vía Palenque - Café Madrid para D4



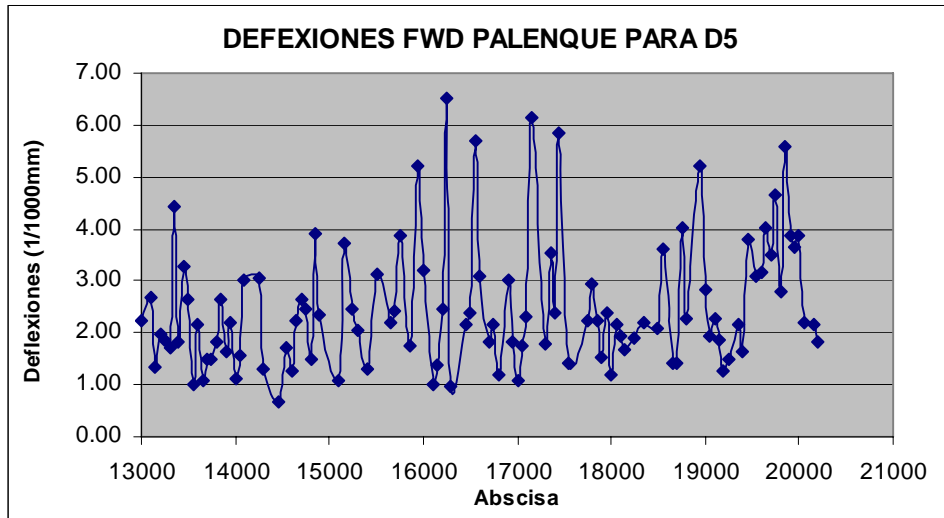
Fuente: Autores del proyecto

Figura No 21 Deflexiones con FWD en la vía Y Aeropuerto - Lebrija para D5



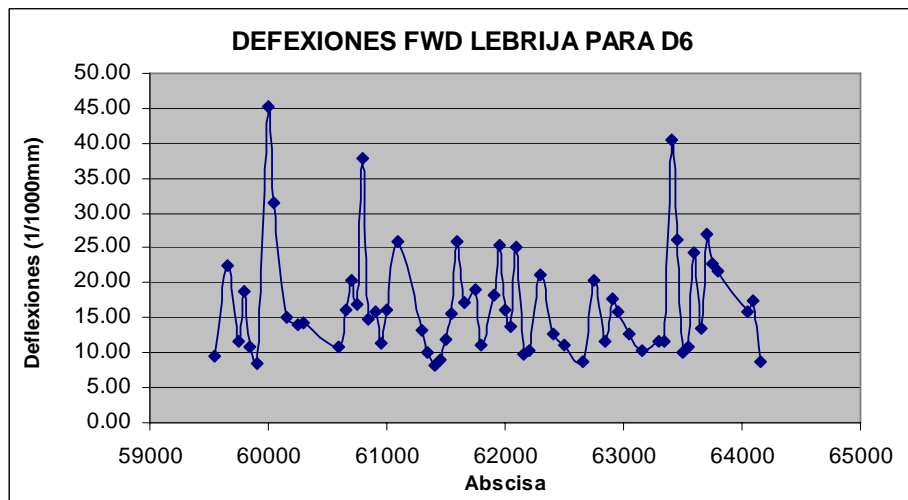
Fuente: Autores del proyecto

Figura No 22 Deflexiones con FWD en la vía Palenque - Café Madrid para D5



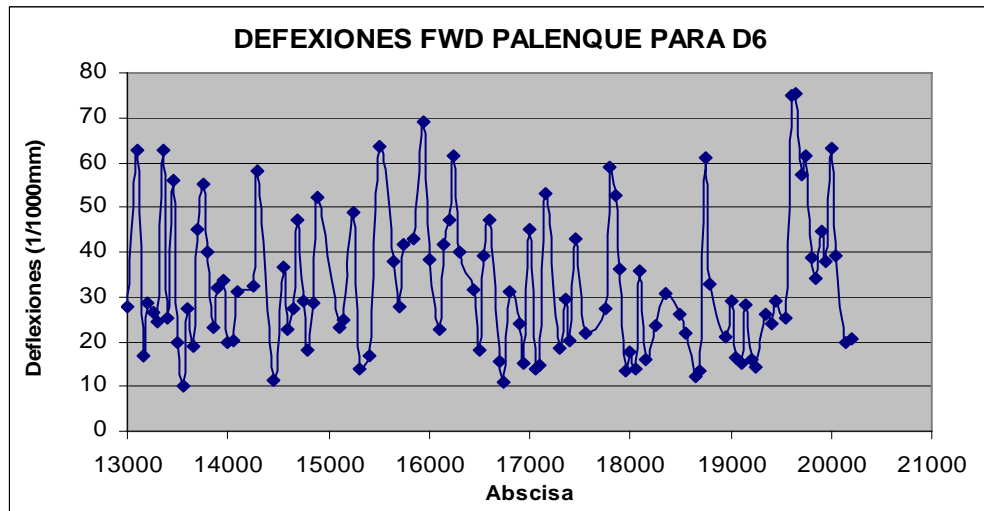
Fuente: Autores del proyecto

Figura No 23 Deflexiones con FWD en la vía Y Aeropuerto - Lebrija para D6



Fuente: Autores del proyecto

Figura No 24 Deflexiones con FWD en la vía Palenque - Café Madrid para D6



Fuente: Autores del proyecto

Debido a la gran dispersión entre datos se eliminaron las deflexiones pico para Viga Benkelman y módulos resilientes pico en FWD ya que al determinar los promedios de las deformaciones, estas se afectaban considerablemente. Después se prosiguió a realizar la sectorización de los tramos con respecto a las deflexiones, pero debido a que el grado de dispersión de los datos era alto, se procedió a sectorizar teniendo en cuenta los espesores de las capas de pavimento en conjunto con las deflexiones.

Obtenidas las deflexiones promedio para cada uno de los sectores en las mediciones tomadas con Viga Benkelman, se tomó el punto más cercano a la deflexión promedio, con esta deflexión se calculó el módulo resiliente de la subrasante, por **calculó inverso**, para tal efecto se utilizó el Software INPACO (DEPAV), utilizando el mismo procedimiento y condiciones del numeral 5.2.1.

Para los datos obtenidos con deflectómetro de impacto se tomó el promedio de los módulos resilientes por sector, cabe aclarar que los datos promediados con respecto a FWD corresponden al sensor D6 con el cual se diseña el pavimento, pero para un mejor análisis se realizó el mismo procedimiento para los sensores D3, D4 y D5.

Los sensores D6, D5, D4, D3, D2, D1 y D0 corresponden a las deflexiones tomadas en campo una vez corregidas por carga y temperatura; estas deflexiones son tomadas a cierta distancia del punto de aplicación de la carga las cuales se muestran a continuación:

$X_0 = 0 \text{ cm} = 0 \text{ pulg}$   
 $x_1 = 30 \text{ cm} = 11.811 \text{ pulg}$   
 $x_2 = 60 \text{ cm} = 23.62 \text{ pulg}$   
 $x_3 = 90 \text{ cm} = 35.43 \text{ pulg}$   
 $x_4 = 120 \text{ cm} = 47.24 \text{ pulg}$   
 $x_5 = 146 \text{ cm} = 57.48 \text{ pulg}$   
 $x_6 = 174 \text{ cm} = 68.50 \text{ pulg}$

Tabla 16. Promedio de las deflexiones según sectorización para el D6

VÍA	ABSCISA	VIGA BENKELMAN	FWD	MOD. RESIL ( kg/cm <sup>2</sup> )	Espesores de Capas ( cm )		
		DEFLEX ( 1/100 mm )	DEFLEX ( 1/100 mm )		Carp. Asfal	Base Gran	H Total
AERP- LEBR	59550 – 60300	18,75	18,34	1651	15	15	30
	60600 - 61100	16,46	18,59	2186	15	18	33
	61300 - 62200	19,12	15,30	4284	40	25	65
	62300 - 63050	15,24	14,64	2858	20	12	32
	63150 - 64150	27,97	18,14	3607	14	12	26
PALENQUE	13000 - 13900	30,42	33,45	3942	10	28	38
	13950 - 14450	29,17	29,48	4650	13	95	108
	14550 - 14750	30,68	32,67	3959	8	25	33
	14800 - 15250	50,97	32,59	3227	12	75	86
	15300 - 15750	27,60	33,55	2832	14	37	51
	16200 - 17000	33,76	32,84	3445	15	32	47
	17050 - 19050	26,62	27,67	3021	16	31	47
	19100 - 20200	46,18	37,24	2957	10	30	40

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 17. Promedio de las deflexiones según sectorización para el D5

VÍA	ABSCISA	VIGA BENKELMAN	FWD	MOD. RESIL ( kg/cm <sup>2</sup> )	Espesores de Capas ( cm )		
		DEFLEX ( 1/100 mm )	DEFLEX ( 1/100 mm )		Carp. Asfal	Base Gran	H Total
AERP- LEBR	59550 – 60300	18,75	4,58	1566,7	15	15	30
	60600 - 61100	16,46	3,44	2021,9	15	18	33
	61300 - 62200	19,12	2,50	2920,7	40	25	65
	62300 - 63050	15,24	3,03	2409,7	20	12	32
	63150 - 64150	27,97	2,41	2969,5	14	12	26
PALENQUE	13000 - 13900	30,42	2,07	3645,7	10	28	38
	13950 - 14450	29,17	1,84	4647,5	13	95	108
	14550 - 14750	30,68	2,06	3444,4	8	25	33
	14800 - 15250	50,97	2,50	3253,9	12	75	86
	15300 - 15750	27,60	2,49	3003,7	14	37	51
	16200 - 17000	33,76	2,64	3379,3	15	32	47
	17050 - 19050	26,62	2,58	3126,3	16	31	47
	19100 - 20200	46,18	2,95	2691,8	10	30	40

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 18. Promedio de las deflexiones según sectorización para el D4

VÍA	ABSCISA	VIGA BENKELMAN	FWD		Espesores de Capas ( cm )		
		DEFLEX ( 1/100 mm )	DEFLEX ( 1/100 mm )	MOD. RESIL ( kg/cm <sup>2</sup> )	Carp. Asfal	Base Gran	H Total
AERP- LEBR	59550 – 60300	18,75	6,10	1527,6	15	15	30
	60600 - 61100	16,46	4,49	1881,1	15	18	33
	61300 - 62200	19,12	3,81	2263,5	40	25	65
	62300 - 63050	15,24	4,16	2174,3	20	12	32
	63150 - 64150	27,97	3,43	2532,7	14	12	26
PALENQUE	13000 - 13900	30,42	10,02	3358,9	10	28	38
	13950 - 14450	29,17	9,56	4742,4	13	95	108
	14550 - 14750	30,68	8,84	2974,6	8	25	33
	14800 - 15250	50,97	10,93	2818,2	12	75	86
	15300 - 15750	27,60	10,04	2979,9	14	37	51
	16200 - 17000	33,76	10,21	3071,0	15	32	47
	17050 - 19050	26,62	9,01	3289,3	16	31	47
	19100 - 20200	46,18	12,13	2270,7	10	30	40

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 19. Promedio de las deflexiones según sectorización para el D3

VÍA	ABSCISA	VIGA BENKELMAN	FWD		Espesores de Capas ( cm )		
		DEFLEX ( 1/100 mm )	DEFLEX ( 1/100 mm )	MOD. RESIL ( kg/cm <sup>2</sup> )	Carp. Asfal	Base Gran	H Total
AERP- LEBR	59550 – 60300	18,75	9,69	1361,4	15	15	30
	60600 - 61100	16,46	8,27	1377,3	15	18	33
	61300 - 62200	19,12	7,50	1563,8	40	25	65
	62300 - 63050	15,24	7,33	1580,6	20	12	32
	63150 - 64150	27,97	7,31	1699,9	14	12	26
PALENQUE	13000 - 13900	30,42	10,02	1326,7	10	28	38
	13950 - 14450	29,17	9,56	1478,1	13	95	108
	14550 - 14750	30,68	8,84	1267,1	8	25	33
	14800 - 15250	50,97	10,93	1201,4	12	75	86
	15300 - 15750	27,60	10,04	1343,8	14	37	51
	16200 - 17000	33,76	10,21	1380,2	15	32	47
	17050 - 19050	26,62	9,01	1552,5	16	31	47
	19100 - 20200	46,18	12,13	1095,3	10	30	40

Fuente: Autores del proyecto

Luego de determinar el promedio de los módulos resilientes por sector en cada uno de los sensores se selecciona el dato más cercano al promedio con respecto al modulo resiliente, en los sectores donde no se hallo un punto similar al promedio se escogió un valor por arriba y por abajo del promedio, obteniendo la siguiente información:

Tabla 20. Módulos y deflexiones por sectores para el D6

VÍA	ABSCISA	VIGA BENKELMAN		ABSCISA	FWD	
		DEFLEX ( 1/100 mm )	MOD. RESIL ( kg/cm <sup>2</sup> )		DEFLEXIONES ( 1/100 mm )	MOD. RESILIENTE ( kg/cm <sup>2</sup> )
LEBRIJA	60250	18,29	3000	59800	18,91	1402
	60600	15,24	3600	60750	17,06	3115
	61300	18,29	1700	61550	15,68	6229
	63050	15,24	3500	62950	15,98	4004
	63600	27,43	2000	64100	17,46	4004
PALENQUE	13000	25,40	2100	13150	16,71	4004
	13950	27,43	1450	14050	20,31	3504
	14000	32,51	1300	14000	19,76	5606
	14550	25,40	2200	14650	27,53	4004
	14850	42,67	950	14800	18,00	4312
	14900	56,90	700	14900	52,13	2803
	15700	35,56	1250	15300	13,75	2951
	16200	29,46	1550	16450	31,52	3504
	18650	25,40	1800	18500	26,17	3298
	19450	45,72	1150	19100	15,37	2951

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 21. Módulos y deflexiones por sectores para el D5

VÍA	ABSCISA	VIGA BENKELMAN		ABSCISA	FWD	
		DEFLEX ( 1/100 mm )	MOD. RESIL ( kg/cm <sup>2</sup> )		DEFLEXIONES ( 1/100 mm )	MOD. RESILIENTE ( kg/cm <sup>2</sup> )
LEBRIJA	60250	18,29	3000	59850	4,07	1655
	60600	15,24	3600	60600	3,29	2071
	61300	18,29	1700	61500	2,24	3042
	63050	15,24	3500	62750	2,67	2518
	63600	27,43	2000	63700	2,43	2816
PALENQUE	13000	25,40	2100	13400	1,83	3661
	13950	27,43	1450	14050	1,55	4267
	14000	32,51	1300	14300	1,29	5017
	14550	25,40	2200	14550	1,73	3812
	14550	25,40	2200	14650	2,22	3010
	14850	42,67	950	14800	1,49	4447
	14900	56,90	700	14900	2,35	2765
	15700	35,56	1250	15650	2,22	3057
	16200	29,46	1550	16700	1,82	3648
	16200	29,46	1550	16750	2,17	3110
	18.650	25,40	1800	18050	2,15	3145
	19450	45,72	1150	19100	2,25	3029
19450	45,72	1150	19800	2,81	2380	

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 22. Módulos y deflexiones por sectores para el D4

VÍA	ABSCISA	VIGA BENKELMAN		ABSCISA	FWD	
		DEFLEX ( 1/100 mm )	MOD. RESIL ( kg/cm <sup>2</sup> )		DEFLEXIONES ( 1/100 mm )	MOD. RESILIENTE ( kg/cm <sup>2</sup> )
LEBRIJA	60250	18,29	3000	59750	5,30	1544
	60600	15,24	3600	60600	4,37	1899
	61300	18,29	1700	62150	3,56	2294,09
	63050	15,24	3500	62750	3,75	2180
	63600	27,43	2000	63350	3,14	2591
PALENQUE	13000	25,40	2100	13700	2,39	3362
	13950	27,43	1450	14000	1,92	4211
	14000	32,51	1300	14050	1,53	5258,25
	14550	25,40	2200	14600	2,60	3073
	14850	42,67	950	14900	4,23	1874
	14900	56,90	700	15250	2,60	3097
	15700	35,56	1250	15300	2,74	2976
	16200	29,46	1550	16500	2,61	3091
	18650	25,40	1800	17900	2,40	3329
19450	45,72	1150	19550	3,62	2282	

Fuente: Autores del proyecto

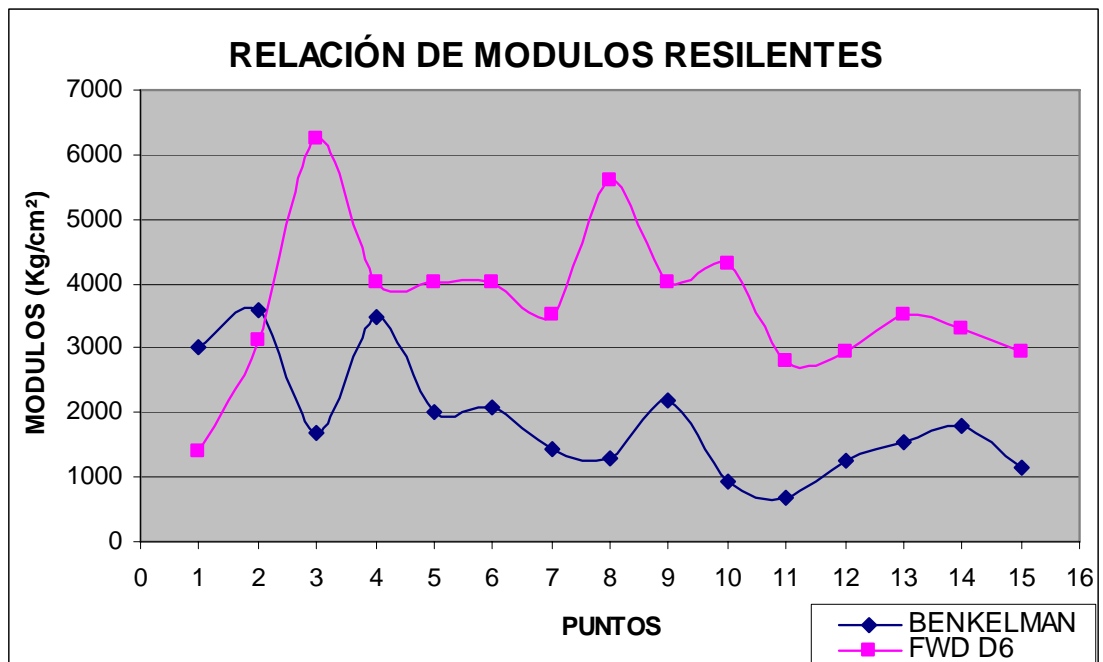
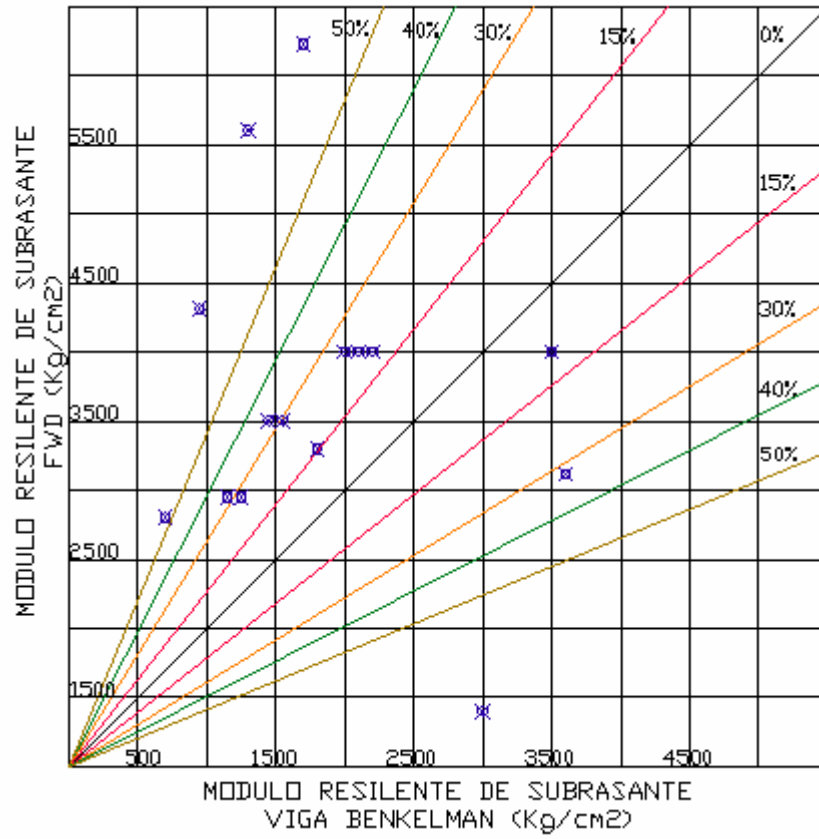
Tabla 23. Módulos y deflexiones por sectores para el D3

VÍA	ABSCISA	VIGA BENKELMAN		ABSCISA	FWD	
		DEFLEX ( 1/100 mm )	MOD. RESIL ( kg/cm <sup>2</sup> )		DEFLEXIONES ( 1/100 mm )	MOD. RESILIENTE ( kg/cm <sup>2</sup> )
LEBRIJA	60250	18,29	3000	60300	8,20	1357,40
	60600	15,24	3600	60650	7,77	1394,19
	61300	18,29	1700	61550	6,66	1633,04
	63050	15,24	3500	62850	7,29	1502,81
	63600	27,43	2000	64050	6,63	1652,21
PALENQUE	13000	25,40	2100	13200	8,10	1338,49
	13950	27,43	1450	14050	6,67	1612,32
	14000	32,51	1300	14250	12,07	887,80
	14550	25,40	2200	14650	8,96	1211,26
	14850	42,67	950	15100	5,43	1979,43
	14900	56,90	700	15150	11,61	923,43
	15700	35,56	1250	15700	7,66	1402,20
	16200	29,46	1550	16100	5,98	1794,73
	16200	29,46	1550	16150	9,48	1155,10
	18650	25,40	1800	16800	7,01	1534,36
19450	45,72	1150	18350	9,94	1094,04	

Fuente: Autores del proyecto

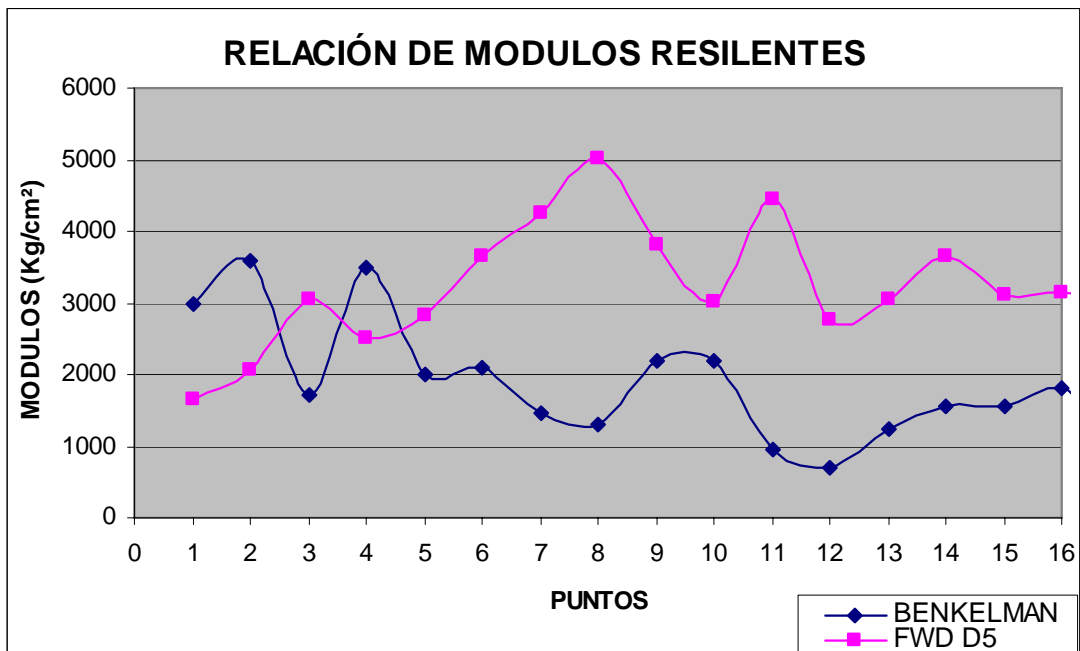
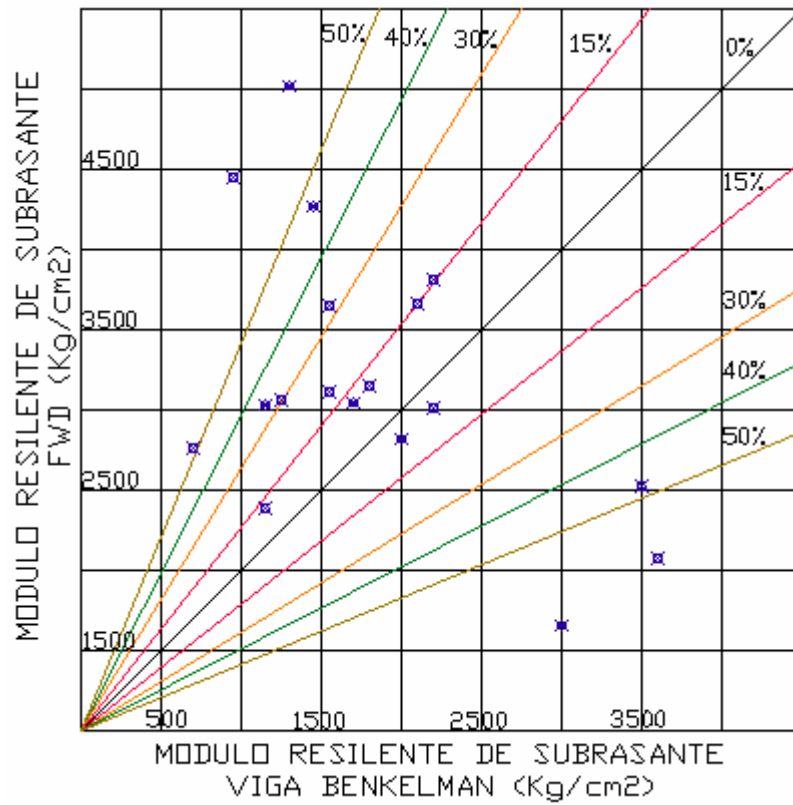
Luego de obtener la anterior información por sensores, se realizó una grafica de los módulos resilientes de la subrasante con Viga Benkelman vs módulos resilientes calculados con FWD, los cuales se muestran a continuación. En las figuras se incluyen líneas que representan variaciones del módulo resiliente de FWD respecto al modulo obtenido con Viga Benkelman.

Figura No 25 Módulos resilientes de Viga Benkelman vs FWD para D6



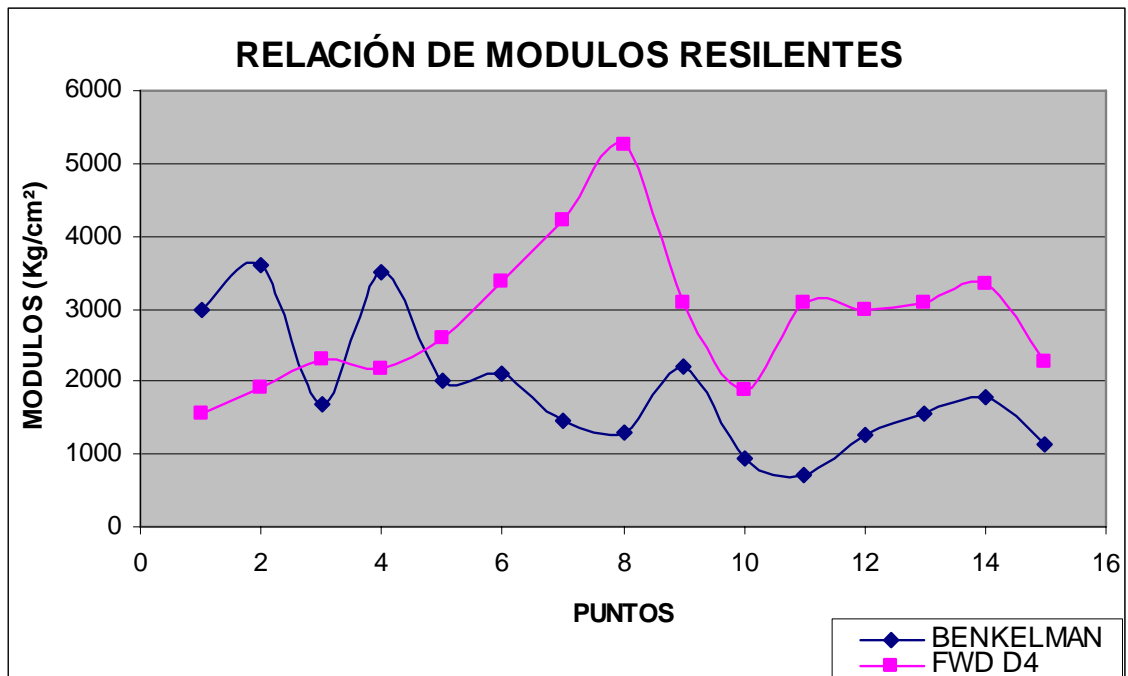
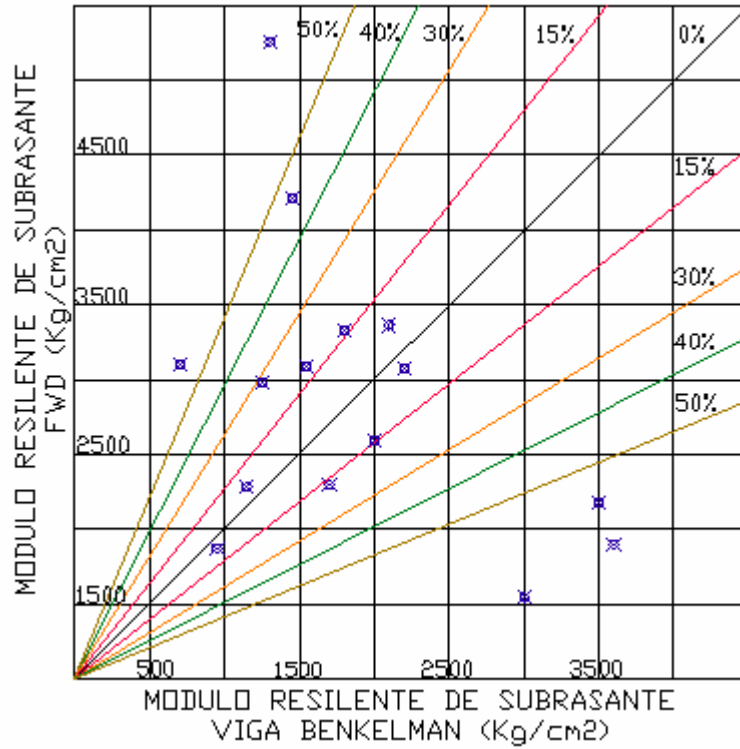
Fuente: Autores del proyecto

Figura No 26 Módulos resilientes de Viga Benkelman vs FWD para D5



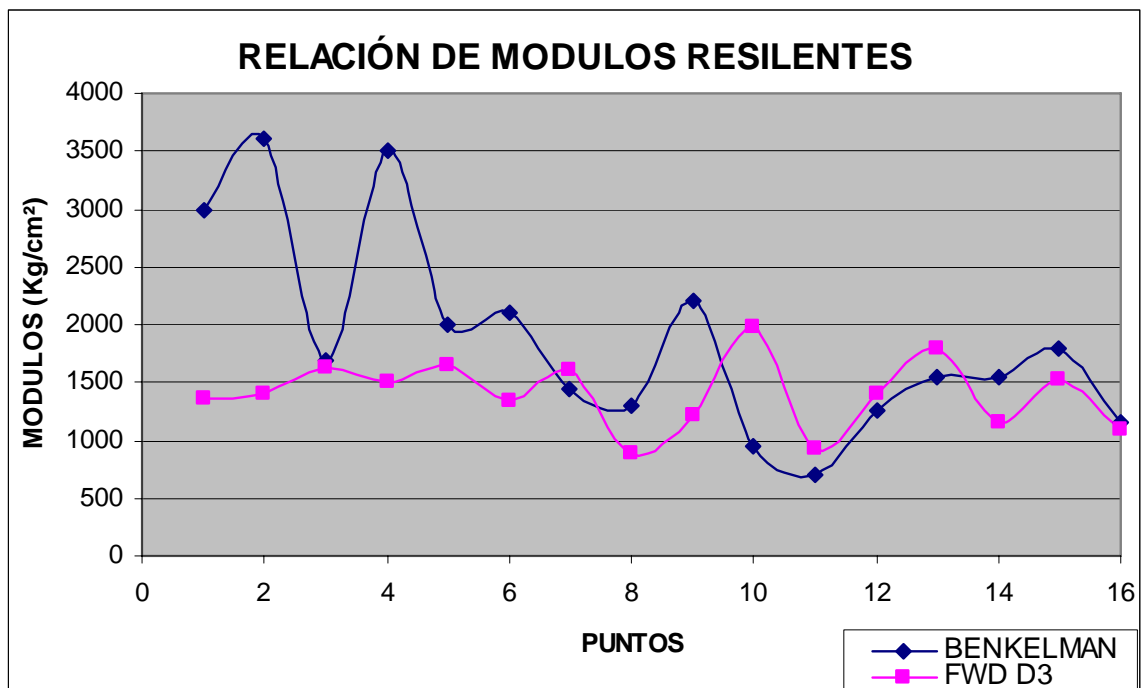
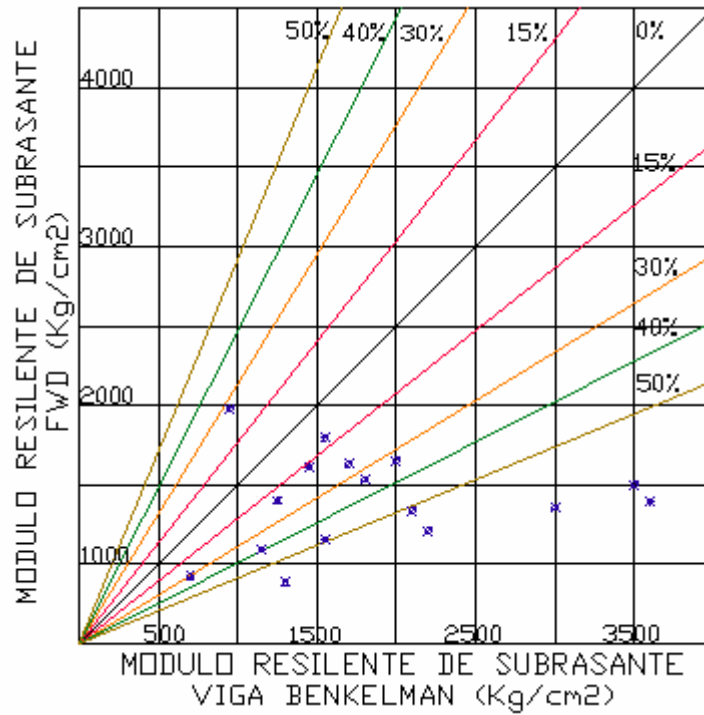
Fuente: Autores del proyecto

Figura No 27 módulos resilientes de Viga Benkelman vs FWD para D4



Fuente: Autores del proyecto

Figura No 28 módulos resilientes de Viga Benkelman vs FWD para D3



Fuente: Autores del proyecto

Observando las graficas y datos obtenidos, no se puede establecer una relación entre los módulos de la subrasante dados por Viga Benkelman y los de FWD, debido a que

se presenta una gran dispersión en los datos, los cuales afectan de una manera considerable el resultado de la relación.

Por otra parte, la dispersión de estos datos es menor en el sensor D3 que en D6, lo que podría indicarse es que el desconocimiento de la rigidez de la carpeta asfáltica afecta sensiblemente el valor establecido para el calculo inverso, con lo cual se decidió realizar una ultima opción de análisis tomando de nuevo los cinco puntos iniciales de estudio comparando FWD con Viga Benkelman, ahora con una variante: relacionando los módulos resilientes calculados a partir de la deflexión medida con Viga Benkelman a una cierta distancia del punto de aplicación de la carga (63cm), con los valores de modulo resiliente calculados con FWD a una distancia de 60cm, equivalente al sensor D2 .

### **5.2.3. Determinación de la relación entre Viga Benkelman y FWD con 5 puntos entre la vía Palenque – Café Madrid a una distancia del punto de aplicación de la carga**

En vista de que los módulos resilientes calculados con Viga Benkelman corresponden a la deflexión sobre el punto de aplicación de la carga, se calcularon los módulos resiliente correspondientes a una deflexión tomada a 63 cm del punto de la carga, ya que la subrasante se halla más o menos a esta profundidad y así se estaría realmente evaluando el comportamiento de la subrasante, con respecto ala carga.

Para realizar el siguiente análisis se utiliza el Software EVERSTRESS el cual nos permite evaluar deflexiones en puntos diferentes a una distancia del punto de aplicación de la carga.

Como no se conoce los módulos resilientes de Subrasante, base granular, se procede a calcularlos mediante el método SHELL, igual a lo realizado en el numeral anterior. Se inicia a iterar introduciendo los módulos resilientes de las capas, hasta que las deflexiones sean similares a las tomadas en campo. A continuación se presenta un ejemplo de los cálculos realizados con el software EVERSTRESS.

Figura No 29 Datos de entrada del programa Everstress

Everstress© Data Entry - C:\EVERSERS\EVERSTRS\PUNTO.DAT

Title:

No of Layers:

Units:  Metric  US Units

Layer Information					
No	Layer ID	Interface Contact	Poisson's Ratio	Thickness (cm)	Modulus (MPa)
<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1.00"/>	<input type="text" value="0.35"/>	<input type="text" value="20.00"/>	<input type="text" value="980.00"/>
<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1.00"/>	<input type="text" value="0.40"/>	<input type="text" value="30.00"/>	<input type="text" value="765.00"/>
<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value="0.40"/>	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value="294.00"/>

Fuente: Programa Everstress y modificado po los autores del proyecto

Figura No 30 Datos de aplicación de carga del programa Everstress

Load & Evaluation Points

No of Loads:  No of X-Y Evaluation Points:

Load Information				
X-Position (cm):	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="32.40"/>	<input type="text" value="180.00"/>	<input type="text" value="212.40"/>
Y-Position (cm):	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>
Load (N):	<input type="text" value="30753.2"/>	<input type="text" value="30753.2"/>	<input type="text" value="30753.2"/>	<input type="text" value="30753.2"/>
Pressure (kPa):	<input type="text" value="620.5"/>	<input type="text" value="620.5"/>	<input type="text" value="620.5"/>	<input type="text" value="620.5"/>
Radius (cm):	<input type="text" value="12.56"/>	<input type="text" value="12.56"/>	<input type="text" value="12.56"/>	<input type="text" value="12.56"/>

Evaluation Points			
X-Position (cm):	<input type="text" value="16.20"/>	<input type="text" value="63.00"/>	<input type="text" value="104.00"/>
Y-Position (cm):	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>
Z-Position (cm):	<input type="text" value="0.000"/>	<input type="text" value="0.000"/>	<input type="text" value="0.000"/>
Z-Position (cm):	<input type="text" value="0.000"/>	<input type="text" value="0.000"/>	<input type="text" value="0.000"/>
Z-Position (cm):	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>
Z-Position (cm):	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>

Fuente: Programa Everstress y modificado po los autores del proyecto

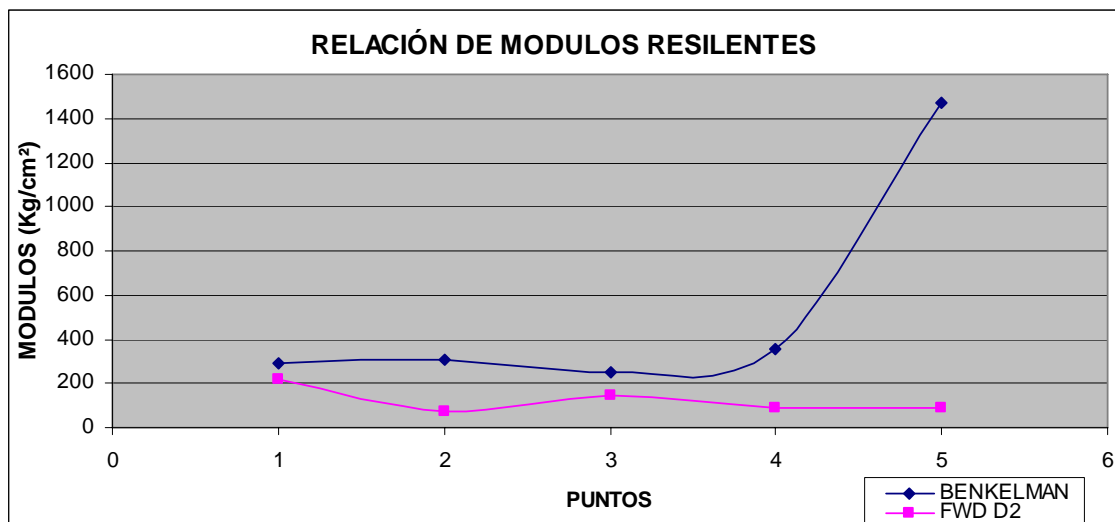
Los resultados se presentan a continuación:

Tabla 24. Módulos resilientes para Benkelman y FWD

	Abscisa Campo	INFORMACIÓN DE ESPESORES DE PAVIMENTO EXISTENTE ( cm )				MÓDULOS RESILIENTES DE VIGA BENKELMAN ( Mpa)	FWD D2
		Carpeta Asfáltica	Base Granular	Subbase Granular	H Total	Subrasante	Mr Subr ( Mpa )
P 1	K18 + 00	20	30	0	50	294	218
P 2	K16 + 650	16	36	0	52	304	73
P 3	K15 + 750	14	39	0	53	254	146
P 4	K14 + 850	9	23	48	80	353	90
P 5	K14 + 550	8	25	0	33	1470	86

Fuente: Autores del proyecto

Figura No 31 Módulos resilientes para Viga Benkelman Y FWD a D2



Fuente: Autores del proyecto

Se observa que los módulos resilientes no presentan un comportamiento similar en todos los puntos, por tal motivo se prosigue a calcular nuevamente siguiendo la misma metodología pero ahora colocándole una capa rígida debajo de la subrasante con el fin de disminuir los módulos resilientes de la subrasante, de donde se obtienen los siguientes resultados:

Figura No 32 Datos de entrada para el programa Everstress

The screenshot shows the 'Everstress© Data Entry' window with the following data:

Title: punto1

No of Layers: 5

Units:  Metric  US Units

No	Layer ID	Interface Contact	Poisson's Ratio	Thickness (cm)	Modulus (MPa)
1	0	1.00	0.35	9.00	980.00
2	0	1.00	0.40	23.00	1822.00
3	0	1.00	0.40	48.00	788.00
4	0		0.40	250.00	245.00
5	0		0.40		2500.00

Buttons: Load & Evaluation Locations..., Change Default Unit Weight...

Fuente: Programa Everstress y modificado po los autores del proyecto

Figura No 33 Datos de aplicación de carga del programa Everstress

The screenshot shows the 'Load & Evaluation Points' window with the following data:

No of Loads: 4

No of X-Y Evaluation Points: 3

Load Information					
X-Position (cm):		0.00	32.40	180.00	212.40
Y-Position (cm):		0.00	0.00	0.00	0.00
Load (N):		30753.2	30753.2	30753.2	30753.2
Pressure (kPa):		620.5	620.5	620.5	620.5
Radius (cm):		12.56	12.56	12.56	12.56

Evaluation Points				
X-Position (cm):		16.20	64.00	102.00
Y-Position (cm):		0.00	0.00	0.00
Z-Position (cm):		0.000	0.000	0.000
Z-Position (cm):		0.000	0.000	0.000
Z-Position (cm):		0.000	0.000	0.000
Z-Position (cm):				
Z-Position (cm):				

Button: Exit

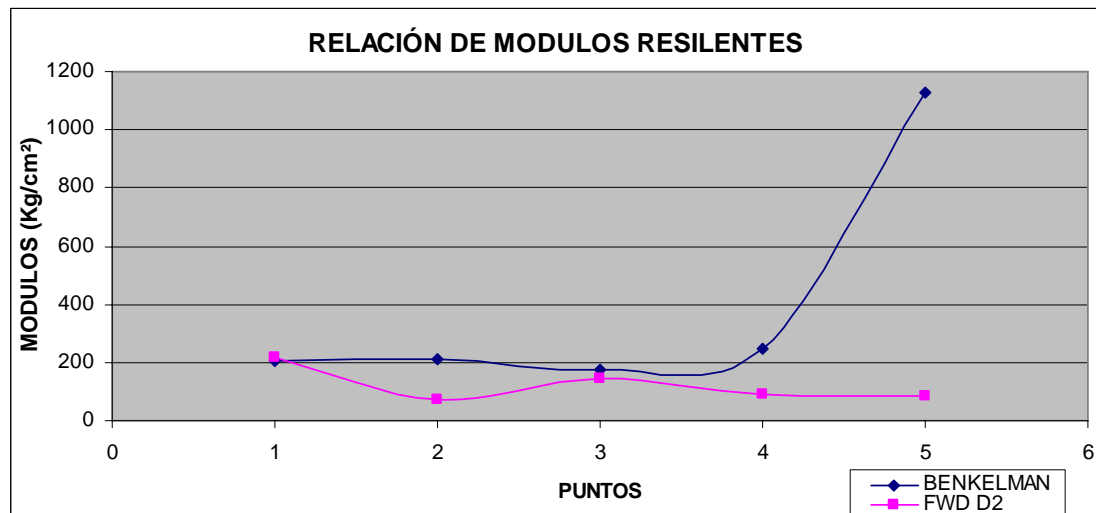
Fuente: Programa Everstress y modificado po los autores del proyecto

Tabla 25. Módulos resilientes para Benkelman y FWD

	Abscisa Campo	INFORMACIÓN DE ESPESORES DE PAVIMENTO EXISTENTE ( cm )				MÓDULOS RESILIENTES ( Mpa ) Capa =2500 Mpa/ Espesor=250cm	FWD D2
		Carpeta Asfáltica	Base Granular	Subbase Granular	H Total	Subrasante	Mr Subr ( Mpa )
P 1	K18 + 00	20	30	0	50	206	218
P 2	K16 + 650	16	36	0	52	210	73
P 3	K15 + 750	14	39	0	53	176	146
P 4	K14 + 850	9	23	48	80	245	90
P 5	K14 + 550	8	25	0	33	1127	86

Fuente: Autores del proyecto

Figura No 34 Módulos resilientes para Viga Benkelman y FWD con capa rígida en la subrasante



Fuente: Autores del proyecto

Aunque los módulos resilientes de la subrasante bajaron, se logra observar que no existe relación alguna entre ambos equipos.



## CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

- Al buscar una forma de relacionar los módulos de la subrasante de cinco puntos tomando medidas de deflexiones entre la Viga Benkelman y el Deflectómetro de Impacto FWD, se observa que no se pueden determinar un ajuste entre ellas debido a que hay una gran incertidumbre en la información ya que algunos datos tomados no muestran un comportamiento similar entre equipos.
- Con el análisis realizado por sectores de las vías trabajadas en el proyecto, los módulos de la subrasante calculados con los dos equipos no fue posible establecer una correlación, debido a la alta dispersión de la muestra. Sin embargo se logro establecer que el sensor D3 del Deflectómetro de Impacto, se ajusta más a los datos de la Viga Benkelman que el sensor D6 el cual es utilizado en la práctica para el diseño del pavimento.
- Sin embargo, se corrobora la tendencia consignada en la literatura en donde los equipos de carga estática entregan deflexiones mayores que las reportadas con el equipos dinámicos, tal vez por esta causa los módulos en el sensor D3 son mas cercanos con los de la Viga Benkelman que los del sensor D6, ya que en el FWD a medida que aumenta la distancia a la cual se toma la deflexión, con respecto al punto de aplicación, las deflexiones son menores.
- No fue posible encontrar una correlación entre los módulos resilientes de la subrasante calculados con ambos equipos en el momento que se utilizo una deflexión para la viga Benkelman a una distancia igual al deflectómetro de impacto.

## RECOMENDACIONES

- Dado que el enfoque en el aporte realizado en esta practica empresarial, en el control de calidad con base en las deflexiones, realizadas con la viga Benkelman, se recomienda realizar un estudio de investigación mas detallado donde se modele de una forma mas acertada el comportamiento de las deflexiones entre los varios equipos de medición.
- Para hacer un estudio mas detallado y obtener unos mejores resultados para esta investigación se recomienda hacer un estudio de suelos de la zona a analizar, al igual de los materiales y espesores que componen el pavimento ya que estos son factores que afectan considerablemente las mediciones de los equipos, y por consiguiente, los resultados de la investigación.
- Se recomienda seguir con la investigación ya que en estos momentos se tiene un alto grado de incertidumbre; así se utilice un equipo con una tecnología de punta como lo es FWD, porque no se ha hallado la forma de corroborar la información suministrada por el equipo. Este grado de incertidumbre conlleva a realizar estructuras sobre diseñadas y en el peor de los casos mal diseñadas las cuales no van a soportar la carga requerida durante el periodo de diseño.

## BIBLIOGRAFÍA

- **Ministerio de Transporte e Instituto Nacional de Vías INVIAS.** Normas de ensayo de materiales para carreteras, Bogotá, 1998.
- **AASHTO 2002.** Guía para el diseño de pavimentos, 2002.
- **AASHTO 93.** Guía para el diseño de pavimentos, 1993.
- **Ministerio de Transporte e Instituto Nacional de Vías INVIAS.** Guía Metodológica para el Diseño de Obras de Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos de Carreteras, Bogotá, 1998.
- **Ministerio de Transporte e Instituto Nacional de Vías INVIAS.** Manual de diseño geométrico para carreteras, Bogotá, 1998.
- **Ministerio de Transporte e Instituto Nacional de Vías INVIAS.** Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con bajos volúmenes de tránsito, Bogotá, 1998.
- **Ministerio de Transporte e Instituto nacional de vías INVIAS.** Especificaciones generales de construcción de carreteras, Bogotá, 1998.
- **PEREZ BUITRAGO, Gonzalo.** Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Publicación universitaria para la planeación y diseño de ciclovías, 2000.
- **BRAVO, Paulo Emilio.** DISEÑO DE CARRETERAS Técnica y Análisis del Proyecto. Sexta Edición, Bogotá, 1998.
- **CASTELLANOS NIÑO, Víctor Manuel.** Principios Fundamentales de Diseño Vial. Ediciones UIS, Bucaramanga, 1993.
- **SALGADO TORRES, Mauricio, PORTILLA ÁLVAREZ, Claudia Patricia Y DUARTE BALLESTEROS, Jorge Libardo.** Análisis comparativo entre métodos para la medición de deflexiones en pavimentos flexibles. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- **ORTIZ MOSCOSO, Javier Augusto.** Evaluación y diagnóstico estructural del pavimento. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, 2005.
- [www.monografias.com/trabajos13/pafle/pafle.shtml](http://www.monografias.com/trabajos13/pafle/pafle.shtml) - 60k
- [triton.uniandes.edu.co:5050/dspace/bitstream/1992/279/1/mi\\_916.pdf](http://triton.uniandes.edu.co:5050/dspace/bitstream/1992/279/1/mi_916.pdf)
- <http://html.rincondelvago.com/modulo-de-resiliencia-en-el-diseno-de-pavimentos.html>
- [http://www.torreon.gob.mx/egobierno/reglamentos/Reglamento\\_Const\\_de\\_Serv\\_Pub\\_y\\_Pavimentos.pdf](http://www.torreon.gob.mx/egobierno/reglamentos/Reglamento_Const_de_Serv_Pub_y_Pavimentos.pdf)

## **ANEXO**

**DEFLEXIONES DE VIGA BENKELMAN Y DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO  
FWD PARA LOS TRAMOS DE LA CRA 27, Y AEROPUERTO – LEBRIJA Y  
PALENQUE – CAFÉ MADRID**

Anexo A Datos de Viga Benkelman en la vía Y Aeropuerto - Lebrija

ABSCISA	LECTURAS, (1/100 mm)		DEFLEXIONES (1/100 mm)		Rc, m
	Lo	L25	Do	D25	
900	1.27	0.00	5.08	0.00	615.16
950	9.14	7.62	36.58	30.48	512.63
1400	8.64	7.62	34.54	30.48	768.95
1550	21.59	19.05	86.36	76.20	307.58
1700	3.05	2.54	12.19	10.16	1537.89
1750	5.08	3.81	20.32	15.24	615.16
1850	1.78	1.52	7.11	6.10	3075.79
2050	5.33	5.08	21.34	20.32	3075.79
2150	4.06	3.56	16.26	14.22	1537.89
2650	1.78	0.51	7.11	2.03	615.16
2700	4.06	3.81	16.26	15.24	3075.79
2750	5.59	5.08	22.35	20.32	1537.89
2800	2.79	2.54	11.18	10.16	3075.79
2900	1.27	1.02	5.08	4.06	3075.79
2950	2.79	2.29	11.18	9.14	1537.89
3000	6.60	5.59	26.42	22.35	768.95
3050	3.05	2.54	12.19	10.16	1537.89
3150	5.08	2.54	20.32	10.16	307.58
3200	4.06	3.81	16.26	15.24	3075.79
3300	2.54	1.27	10.16	5.08	615.16
3400	2.29	1.27	9.14	5.08	768.95
3650	4.32	1.27	17.27	5.08	256.32
3800	4.57	3.81	18.29	15.24	1025.26
3850	4.06	1.27	16.26	5.08	279.62
4000	29.46	18.29	117.86	73.15	69.90
4050	3.81	1.27	15.24	5.08	307.58
4150	11.18	10.16	44.70	40.64	768.95
4200	0.51	0.00	2.03	0.00	1537.89
4250	1.27	1.02	5.08	4.06	3075.79
4300	12.45	8.89	49.78	35.56	219.70
4400	4.57	3.81	18.29	15.24	1025.26
4600	6.86	6.35	27.43	25.40	1537.89
4750	10.16	8.89	40.64	35.56	615.16
4900	1.52	1.27	6.10	5.08	3075.79
5000	7.37	7.11	29.46	28.45	3075.79
5050	1.52	1.27	6.10	5.08	3075.79

Anexo B Datos de FWD en la vía Y Aeropuerto - Lebrija

Abscisa	Carga	Temperatura	Temperatura	D0	Do	Do Temp	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D1	D2	D3
Km	kN	°C	°C	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm
K59+200	41	30	25	241	235	208	190	168	108	65	56	52	184	163	105
K59+250	41	28	23	210	203	183	162	143	96	58	48	37	156	138	93
K59+300	41	29	24	157	152	137	120	107	72	47	39	36	117	103	70
K59+350	42	29	24	180	173	154	137	123	83	50	43	35	131	118	80
K59+400	41	26	21	116	112	105	84	73	41	17	11	9	81	71	39
K59+450	41	29	24	236	228	203	182	162	99	49	36	22	175	157	96
K59+500	42	28	23	158	151	138	123	111	74	48	40	37	117	106	71
K59+550	42	29	24	109	104	94	78	72	56	43	37	31	75	69	54
K59+600	41	29	24	180	175	157	148	137	93	61	44	37	144	133	90
K59+650	41	29	24	257	250	225	214	200	136	85	65	43	209	195	133
K59+700	42	31	26	128	123	108	96	90	63	44	34	29	92	86	61
K59+750	41	28	23	134	130	117	105	98	74	55	47	39	102	95	72
K59+800	41	31	26	224	216	189	176	160	106	68	49	41	170	154	103
K59+850	41	30	25	125	122	108	97	91	68	50	42	33	94	88	66
K59+900	42	28	23	97	92	84	73	67	50	38	33	31	69	64	48
K59+950	40	29	24	294	292	260	217	186	108	46	32	17	216	185	108
K60+000	42	29	24	532	507	452	406	342	214	121	62	37	387	326	204
K60+050	42	29	24	370	352	315	286	254	160	85	64	41	271	241	152
K60+100	41	28	23	181	175	159	141	126	83	52	37	30	136	121	80
K60+150	41	30	25	176	171	151	131	115	72	37	33	29	128	112	70
K60+200	42	30	25	110	106	93	85	77	55	40	28	23	81	74	53
K60+250	41	32	27	167	162	140	128	118	85	59	49	37	124	115	83
K60+300	42	28	23	165	157	142	134	124	86	58	42	35	127	118	82
K60+350	41	30	25	205	199	176	141	115	67	29	23	17	137	112	66
K60+400	42	28	23	116	110	100	87	76	52	34	29	27	83	72	49
K60+450	41	33	28	187	182	155	138	122	78	42	36	29	134	119	76

Abscisa	Carga	Temperatura	Temperatura	D0	Do	Do Temp	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D1	D2	D3
	campo	Pavimento	Aire	Campo	Carga	20°C	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo	Carga	Carga	Carga
Km	kN	°C	°C	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm
K60+600	42	28	23	123	118	107	100	91	65	46	34	30	96	87	62
K60+650	41	31	26	189	185	162	142	125	79	43	32	20	139	123	78
K60+700	42	27	22	231	222	203	177	154	93	49	34	28	170	147	89
K60+750	41	29	24	192	190	171	137	116	67	28	23	18	135	114	66
K60+800	41	28	23	428	419	378	303	234	127	49	34	29	296	229	124
K60+850	41	30	25	171	167	147	124	114	78	50	39	27	121	111	76
K60+900	41	26	21	174	170	158	133	115	79	53	48	46	130	112	77
K60+950	41	29	24	129	126	113	105	96	66	41	33	23	102	94	64
K61+000	41	26	21	177	172	161	142	132	86	53	43	39	139	129	84
K61+050	41	29	24	322	316	285	267	244	165	102	81	58	262	240	162
K61+100	41	26	21	284	278	259	219	187	109	52	32	24	214	183	107
K61+150	41	30	25	152	148	130	119	108	75	49	34	16	116	104	73
K61+200	41	27	22	206	200	185	154	127	62	16	12	11	149	123	61
K61+250	41	33	28	169	164	140	133	119	73	36	26	15	128	115	70
K61+300	41	26	21	154	150	132	116	101	66	41	20	12	112	98	64
K61+350	41	32	27	138	134	101	106	96	59	30	22	14	104	93	58
K61+400	42	29	24	105	101	82	81	75	56	42	29	24	77	72	54
K61+450	41	33	28	125	121	89	98	89	56	29	20	9	95	87	54
K61+500	42	27	22	144	138	119	104	94	61	38	23	18	99	90	59
K61+550	41	31	26	209	204	157	150	125	68	23	17	10	146	122	67
K61+600	42	28	23	328	314	260	261	229	123	46	27	20	250	220	118
K61+650	41	33	28	239	235	173	185	167	104	53	38	21	182	165	102
K61+700	42	29	24	366	349	287	313	284	170	87	57	44	299	271	162
K61+750	41	28	23	236	231	192	171	144	87	42	26	7	167	140	85
K61+800	43	25	20	132	124	111	105	96	59	32	15	8	98	89	55
K61+850	41	30	25	124	120	96	88	76	49	27	20	13	85	73	47
K61+900	43	26	21	221	207	181	161	144	86	44	31	26	151	135	81
K61+950	41	29	24	312	307	254	228	196	111	43	32	18	225	193	109
K62+000	41	26	21	188	182	162	149	134	83	45	28	21	145	130	80

Abscisa Km	Carga campo kN	Temperatura Pavimento °C	Temperatura Aire °C	D0 Campo µm	Do Carga µm	Do Temp 20°C µm	D1 Campo µm	D2 Campo µm	D3 Campo µm	D4 Campo µm	D5 Campo µm	D6 Campo µm	D1 Carga µm	D2 Carga µm	D3 Carga µm
	K62+150	41	28	23	121	118	99	94	85	58	37	28	18	91	83
K62+200	41	25	20	119	115	102	88	82	64	50	34	28	85	79	61
K62+250	41	27	22	128	125	110	87	76	49	28	22	16	85	73	48
K62+300	41	24	19	235	228	211	171	147	85	41	26	20	166	142	83
K62+350	42	29	24	150	144	122	118	110	81	58	47	35	113	106	78
K62+400	41	24	19	140	135	126	99	91	63	43	30	25	96	88	61
K62+450	41	28	23	277	271	234	207	181	102	38	29	18	202	176	99
K62+500	41	24	19	123	119	110	96	90	62	42	32	28	93	87	60
K62+550	41	30	25	183	178	147	141	125	75	34	25	14	137	122	73
K62+600	41	25	20	106	102	93	80	72	44	24	14	10	77	70	43
K62+650	41	29	24	106	102	86	79	72	47	27	21	14	76	69	45
K62+700	42	26	21	128	123	112	99	87	52	27	13	8	95	84	50
K62+750	41	32	27	267	260	204	189	164	94	39	27	15	184	159	92
K62+800	41	26	21	259	254	227	196	175	96	38	14	4	192	172	94
K62+850	41	32	27	150	145	117	118	107	75	50	41	30	114	103	73
K62+900	41	26	21	203	196	177	164	152	105	70	47	37	158	147	101
K62+950	41	31	26	204	199	160	147	120	67	24	20	15	143	116	65
K63+000	42	25	20	221	212	196	178	153	89	43	27	21	171	147	86
K63+050	41	30	25	159	154	128	129	120	82	52	38	23	124	116	79
K63+100	40	25	20	662	655	605	505	422	209	53	35	27	500	418	207
K63+150	41	30	25	119	115	103	93	85	58	36	27	17	90	82	56
K63+200	42	25	20	419	401	378	306	235	117	32	19	14	293	225	112
K63+250	41	31	26	209	205	178	178	169	129	98	82	64	174	166	127
K63+300	42	24	19	126	121	115	90	80	57	41	28	23	86	77	55
K63+350	41	30	25	134	131	116	93	79	53	32	26	19	91	77	52
K63+400	41	25	20	446	432	405	338	279	148	52	33	26	327	270	143
K63+450	41	29	24	298	294	262	211	177	102	41	34	26	208	175	100
K63+500	42	25	20	112	106	99	85	75	50	31	21	16	81	71	47
K63+550	41	30	25	127	124	109	84	71	45	25	19	13	82	69	44

Abscisa Km	Carga campo	Temperatura Pavimento	Temperatura Aire	D0 Campo	Do Carga	Do Temp 20°C	D1 Campo	D2 Campo	D3 Campo	D4 Campo	D5 Campo	D6 Campo	D1 Carga	D2 Carga	D3 Carga
	kN	°C	°C	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm
K63+700	42	27	22	305	292	270	224	189	103	40	25	20	214	180	98
K63+750	40	30	25	260	257	228	189	164	103	54	37	18	187	162	102
K63+800	42	26	21	246	233	217	191	161	89	37	22	15	180	152	85
K63+850	41	29	24	492	484	434	343	290	174	81	65	47	337	285	171
K63+900	42	27	22	167	158	146	130	115	76	48	37	32	123	109	72
K63+950	41	30	25	175	169	150	129	117	83	56	44	31	125	114	81
K64+000	42	27	22	86	81	74	63	55	41	31	24	22	59	52	39
K64+050	41	29	24	184	178	159	138	119	68	28	21	13	133	115	66
K64+100	42	27	22	202	190	175	144	117	67	30	20	15	135	110	63
K64+150	41	31	26	103	100	88	74	65	43	26	20	12	71	63	42
K64+200	42	29	24	945	906	814	737	521	269	84	54	42	707	500	258
K64+250	40	32	27	446	444	383	395	365	207	81	63	43	393	363	206
K64+300	42	25	20	590	565	530	410	318	172	66	45	37	392	304	165

Abscisa	D4 Carga	D5 Carga	D6 Carga	Carril	INFORMACIÓN DE ESPESORES DE PAVIMENTO EXISTENTE					VARIABLES ESTRUCTURALES				Radio de curvatura Rc (m)
					Carpeta Asfáltica	Material Granular	H total	H total	H max	Mr AASHTO	Mr AASHTO Diseño	Ep AASHTO	SN AASHTO	
					m	m	m	cm	m	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )		
Km	µm	µm	µm											
K59+200	63	54	50.12	Izquierdo	0.15	0.15	0.30	30	0.30	1,121	370	32,188	4.1	607
K59+250	56	47	35.35	Derecho	0.15	0.15	0.30	30	0.30	1,602	529	26,281	3.8	651
K59+300	45	38	34.95	Izquierdo	0.15	0.15	0.30	30	0.30	1,602	529	53,669	4.9	845
K59+350	48	41	33.21	Derecho	0.15	0.15	0.30	30	0.30	1,699	561	36,657	4.3	727
K59+400	16	11	8.24	Izquierdo	0.15	0.15	0.30	30	0.30	7,008		17,389	3.3	962
K59+450	47	35	20.77	Derecho	0.15	0.15	0.30	30	0.30	2,670	881	11,651	2.9	573
K59+500	46	38	34.93	Izquierdo	0.15	0.15	0.30	30	0.30	1,602	529	52,681	4.8	880
K59+550	41	36	29.36	Derecho	0.15	0.15	0.30	30	0.30	1,933	638	105,985	6.1	1,025
K59+600	59	43	35.97	Izquierdo	0.15	0.15	0.30	30	0.30	1,557	514	39,718	4.4	977
K59+650	83	64	41.46	Derecho	0.15	0.15	0.30	30	0.30	1,367	451	20,020	3.5	735
K59+700	42	32	27.92	Izquierdo	0.15	0.15	0.30	30	0.30	2,002	661	69,662	5.3	962
K59+750	53	46	37.96	Derecho	0.15	0.15	0.30	30	0.30	1,475	487	92,797	5.8	1,078
K59+800	65	47	39.61	Izquierdo	0.15	0.15	0.30	30	0.30	1,402	463	29,338	4.0	651
K59+850	49	41	31.59	Derecho	0.15	0.15	0.30	30	0.30	1,752	578	86,292	5.7	1,116
K59+900	36	31	29.49	Izquierdo	0.15	0.15	0.30	30	0.30	1,933	638	143,389	6.8	1,302
K59+950	45	32	16.40	Derecho	0.15	0.15	0.30	30	0.30	3,504	1,156	6,051	2.4	406
K60+000	115	59	34.80	Izquierdo	0.15	0.15	0.30	30	0.30	1,602	529	4,089	2.1	248
K60+050	80	61	38.95	Derecho	0.15	0.15	0.30	30	0.30	1,437	474	8,991	2.7	370
K60+100	50	35	29.02	Izquierdo	0.15	0.15	0.30	30	0.30	1,933	638	28,365	3.9	781
K60+150	36	32	27.77	Derecho	0.15	0.15	0.30	30	0.30	2,002	661	30,538	4.0	694
K60+200	38	27	22.06	Izquierdo	0.15	0.15	0.30	30	0.30	2,548	841	70,263	5.3	1,225
K60+250	57	47	35.92	Derecho	0.15	0.15	0.30	30	0.30	1,557	514	53,055	4.8	801
K60+300	55	40	32.94	Izquierdo	0.15	0.15	0.30	30	0.30	1,699	561	44,802	4.6	1,008
K60+350	28	23	16.08	Derecho	0.15	0.15	0.30	30	0.30	3,504	1,156	11,962	2.9	488
K60+400	32	27	25.68	Izquierdo	0.15	0.18	0.33	33	0.33	2,156	712	62,314	5.6	1,078

Abscisa Km	D4 Carga µm	D5 Carga µm	D6 Carga µm	Carril	Carpeta Asfáltica m	Material Granular m	H total m	H total cm	H max m	Mr AASHTO (Kg/cm <sup>2</sup> )	Mr AASHTO Diseño (Kg/cm <sup>2</sup> )	Ep AASHTO (Kg/cm <sup>2</sup> )	SN AASHTO	Radio de curvatura Rc (m)
K60+550	29	23	16.14	Derecho	0.15	0.18	0.33	33	0.33	3,504	1,156	17,771	3.7	772
K60+600	44	33	28.33	Izquierdo	0.15	0.18	0.33	33	0.33	2,002	661	58,787	5.5	1,359
K60+650	42	31	19.61	Derecho	0.15	0.18	0.33	33	0.33	2,803	925	15,815	3.6	658
K60+700	47	33	26.86	Izquierdo	0.15	0.18	0.33	33	0.33	2,076	685	13,559	3.4	579
K60+750	27	23	17.78	Derecho	0.15	0.18	0.33	33	0.33	3,115	1,028	13,007	3.3	563
K60+800	47	34	27.91	Izquierdo	0.15	0.18	0.33	33	0.33	2,002	661	4,540	2.3	250
K60+850	48	38	25.95	Derecho	0.15	0.18	0.33	33	0.33	2,156	712	25,505	4.2	665
K60+900	52	47	44.99	Izquierdo	0.15	0.18	0.33	33	0.33	1,246	411	45,134	5.1	753
K60+950	40	32	22.41	Derecho	0.15	0.18	0.33	33	0.33	2,548	841	37,293	4.7	1,276
K61+000	51	42	37.56	Izquierdo	0.15	0.18	0.33	33	0.33	1,475	487	33,743	4.6	906
K61+050	100	80	56.51	Derecho	0.15	0.18	0.33	33	0.33	984	325	15,296	3.5	568
K61+100	50	31	23.01	Izquierdo	0.15	0.18	0.33	33	0.33	2,437	804	7,511	2.8	477
K61+150	48	33	15.55	Derecho	0.15	0.18	0.33	33	0.33	3,504	1,156	19,652	3.8	947
K61+200	15	12	10.18	Izquierdo	0.15	0.18	0.33	33	0.33	5,606	1,850	7,743	2.8	601
K61+250	34	25	14.55	Derecho	0.15	0.18	0.33	33	0.33	3,737	1,233	16,127	3.6	856
K61+300	40	20	11.18	Izquierdo	0.40	0.25	0.65	65	0.65	5,097	1,682	11,396	6.3	812
K61+350	29	22	13.19	Derecho	0.40	0.25	0.65	65	0.65	4,312	1,423	17,300	7.2	992
K61+400	40	28	23.10	Izquierdo	0.40	0.25	0.65	65	0.65	2,437	804	32,637	8.9	1,276
K61+450	28	19	8.27	Derecho	0.40	0.25	0.65	65	0.65	7,008	2,313	17,292	7.2	1,157
K61+500	36	22	16.79	Izquierdo	0.40	0.25	0.65	65	0.65	3,298	1,088	15,340	6.9	781
K61+550	22	16	9.28	Derecho	0.40	0.25	0.65	65	0.65	6,229	2,056	8,709	5.7	530
K61+600	44	26	18.71	Izquierdo	0.40	0.25	0.65	65	0.65	2,951	974	5,578	5.0	470
K61+650	52	37	20.69	Derecho	0.40	0.25	0.65	65	0.65	2,670	881	9,870	6.0	579
K61+700	83	54	42.05	Izquierdo	0.40	0.25	0.65	65	0.65	1,335	440	6,428	5.2	595
K61+750	41	25	6.85	Derecho	0.40	0.25	0.65	65	0.65	8,009	2,643	6,536	5.2	
K61+800	29	14	7.02	Izquierdo	0.40	0.25	0.65	65	0.65	8,009	2,643	12,591	6.5	1,136
K61+850	26	19	12.06	Derecho	0.40	0.25	0.65	65	0.65	4,672	1,542	17,991	7.3	868
K62+000	44	27	19.90	Izquierdo	0.40	0.25	0.65	65	0.65	2,803	925	10,609	6.1	812

Abscisa	D4 Carga	D5 Carga	D6 Carga	Carril	Carpeta Asfáltica	Material Granular	H total	H total	H max	Mr AASHTO	Mr AASHTO Diseño	Ep AASHTO	SN AASHTO	Radio de curvatura Rc
Km	µm	µm	µm		m	m	m	cm	m	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )		(m)
K62+100	34	17	9.28	Izquierdo	0.40	0.25	0.65	65	0.65	6,229	2,056	5,010	4.8	481
K62+150	36	27	17.07	Derecho	0.40	0.25	0.65	65	0.65	3,298	1,088	20,095	7.6	1,136
K62+200	48	33	26.60	Izquierdo	0.40	0.25	0.65	65	0.65	2,076	685	25,186	8.2	1,025
K62+250	27	21	15.09	Derecho	0.20	0.12	0.32	32	0.32	3,737	1,233	26,530	4.1	762
K62+300	39	25	19.39	Izquierdo	0.20	0.12	0.32	32	0.32	2,951	974	9,490	2.9	488
K62+350	56	45	33.25	Derecho	0.20	0.12	0.32	32	0.32	1,699	561	57,579	5.3	977
K62+400	42	30	24.27	Izquierdo	0.20	0.12	0.32	32	0.32	2,336	771	34,136	4.5	762
K62+450	37	28	17.09	Derecho	0.20	0.12	0.32	32	0.32	3,298	1,088	7,330	2.7	443
K62+500	41	31	26.60	Izquierdo	0.20	0.12	0.32	32	0.32	2,076	685	55,292	5.2	1,157
K62+550	33	24	13.63	Derecho	0.20	0.12	0.32	32	0.32	4,004	1,321	14,243	3.3	744
K62+600	23	14	9.69	Izquierdo	0.20	0.12	0.32	32	0.32	5,606	1,850	24,957	4.0	1,202
K62+650	26	20	13.03	Derecho	0.20	0.12	0.32	32	0.32	4,312	1,423	37,926	4.6	1,136
K62+700	26	13	7.23	Izquierdo	0.20	0.12	0.32	32	0.32	8,009	2,643	13,936	3.3	1,059
K62+750	38	27	14.13	Derecho	0.20	0.12	0.32	32	0.32	4,004	1,321	8,103	2.8	401
K62+800	37	14	3.93	Izquierdo	0.20	0.12	0.32	32	0.32	14,016	4,625	4,269	2.2	492
K62+850	48	39	28.61	Derecho	0.20	0.12	0.32	32	0.32	1,933	638	52,727	5.2	962
K62+900	68	45	35.79	Izquierdo	0.20	0.12	0.32	32	0.32	1,557	514	26,466	4.1	801
K62+950	23	19	14.11	Derecho	0.20	0.12	0.32	32	0.32	4,004	1,321	12,241	3.2	548
K63+000	41	26	20.19	Izquierdo	0.20	0.12	0.32	32	0.32	2,803	925	11,314	3.1	727
K63+050	50	37	21.77	Derecho	0.20	0.12	0.32	32	0.32	2,548	841	29,575	4.3	1,025
K63+100	52	34	26.73	Izquierdo	0.20	0.12	0.32	32	0.32	2,076	685	2,164	1.8	199
K63+150	35	27	16.57	Derecho	0.14	0.12	0.26	26	0.26	3,298	1,088	48,709	4.1	1,202
K63+200	30	18	13.41	Izquierdo	0.14	0.12	0.26	26	0.26	4,312	1,423	3,013	1.6	277
K63+250	96	80	62.75	Derecho	0.14	0.12	0.26	26	0.26	890	294	101,451	5.2	992
K63+300	39	27	21.69	Izquierdo	0.14	0.12	0.26	26	0.26	2,548	841	54,613	4.2	868
K63+350	31	25	18.14	Derecho	0.14	0.12	0.26	26	0.26	3,115	1,028	39,537	3.8	772
K63+400	50	32	24.73	Izquierdo	0.14	0.12	0.26	26	0.26	2,242	740	4,076	1.8	289
K63+450	40	33	25.15	Derecho	0.14	0.12	0.26	26	0.26	2,242	740	9,475	2.4	359

Anexo C Datos con Viga Benkelman en la vía Palenque - Café Madrid

ABSCISA	LECTURAS, (1/100 mm)		DEFLEXIONES (1/100 mm)		Rc, m
	Lo	L25	Do	D25	
K10+050	2.794	2.540	11.176	10.160	3075.79
K10+100	0.254	0.000	1.016	0.000	3075.79
K10+150	4.572	3.048	18.288	12.192	512.63
K10+200	16.510	12.192	66.040	48.768	180.93
K10+250	15.494	13.970	61.976	55.880	512.63
K10+300	4.318	3.810	17.272	15.240	1537.89
K10+350	18.796	16.510	75.184	66.040	341.75
K10+400	20.574	12.700	82.296	50.800	99.22
K10+450	20.574	13.970	82.296	55.880	118.30
K10+500	16.510	12.700	66.040	50.800	205.05
K10+550	12.446	11.430	49.784	45.720	768.95
K10+600	12.446	11.430	49.784	45.720	768.95
K10+650	11.430	8.128	45.720	32.512	236.60
K10+700	28.448	24.130	113.792	96.520	180.93
K10+750	7.112	6.350	28.448	25.400	1025.26
K10+800	33.782	29.210	135.128	116.840	170.88
K10+850	14.478	8.890	57.912	35.560	139.81
K10+900	28.194	25.908	112.776	103.632	341.75
K10+950	15.494	12.700	61.976	50.800	279.62
K11+000	16.510	12.700	66.040	50.800	205.05
K11+050	14.224	11.430	56.896	45.720	279.62
K11+100	16.256	15.240	65.024	60.960	768.95
K11+150	24.892	20.320	99.568	81.280	170.88
K11+200	22.606	19.050	90.424	76.200	219.70
K11+300	22.098	20.320	88.392	81.280	439.40
K11+350	13.970	10.414	55.880	41.656	219.70
K11+400	7.874	6.350	31.496	25.400	512.63
K11+450	8.636	7.112	34.544	28.448	512.63
K11+500	20.320	19.050	81.280	76.200	615.16
K11+550	20.066	17.780	80.264	71.120	341.75
K11+600	38.100	24.130	152.400	96.520	55.92
K11+650	1.524	1.270	6.096	5.080	3075.79
K11+700	27.686	24.130	110.744	96.520	219.70
K11+750	7.874	4.572	31.496	18.288	236.60
K11+800	12.700	12.192	50.800	48.768	1537.89
K11+850	15.494	13.970	61.976	55.880	512.63
K11+900	16.510	16.002	66.040	64.008	1537.89
K11+950	21.844	21.590	87.376	86.360	3075.79
K12+000	8.128	6.350	32.512	25.400	439.40
K12+050	2.032	1.270	8.128	5.080	1025.26
K12+100	1.524	1.270	6.096	5.080	3075.79
K12+150	8.382	6.350	33.528	25.400	384.47

ABSCISA	LECTURAS, (1/100 mm)		DEFLEXIONES (1/100 mm)		Rc, m
	Lo	L25	Do	D25	
K12+250	12.446	10.160	49.784	40.640	341.75
K12+300	3.302	3.048	13.208	12.192	3075.79
K12+350	14.224	12.700	56.896	50.800	512.63
K12+400	16.256	11.430	65.024	45.720	161.88
K12+450	17.272	10.160	69.088	40.640	109.85
K12+500	2.032	1.270	8.128	5.080	1025.26
K12+550	13.208	12.700	52.832	50.800	1537.89
K12+600	6.350	5.080	25.400	20.320	615.16
K12+650	3.556	1.778	14.224	7.112	439.40
K12+700	2.286	1.270	9.144	5.080	768.95
K12+750	2.032	1.270	8.128	5.080	1025.26
K12+800	3.556	2.032	14.224	8.128	512.63
K12+900	6.604	5.080	26.416	20.320	512.63
K12+950	6.350	5.080	25.400	20.320	615.16
K13+000	16.764	10.668	67.056	42.672	128.16
K13+050	11.684	10.160	46.736	40.640	512.63
K13+100	14.732	7.620	58.928	30.480	109.85
K13+150	2.032	1.270	8.128	5.080	1025.26
K13+200	6.096	2.540	24.384	10.160	219.70
K13+250	3.810	1.270	15.240	5.080	307.58
K13+300	16.002	11.430	64.008	45.720	170.88
K13+350	5.080	4.572	20.320	18.288	1537.89
K13+400	10.922	8.890	43.688	35.560	384.47
K13+450	6.096	3.556	24.384	14.224	307.58
K13+500	1.270	0.508	5.080	2.032	1025.26
K13+550	1.778	1.016	7.112	4.064	1025.26
K13+600	5.842	2.540	23.368	10.160	236.60
K13+650	12.446	8.890	49.784	35.560	219.70
K13+700	13.970	7.620	55.880	30.480	123.03
K13+750	10.668	6.350	42.672	25.400	180.93
K13+800	3.302	2.540	13.208	10.160	1025.26
K13+850	4.826	3.810	19.304	15.240	768.95
K13+900	6.858	4.572	27.432	18.288	341.75
K13+950	8.128	6.350	32.512	25.400	439.40
K14+000	9.906	6.350	39.624	25.400	219.70
K14+050	4.318	3.810	17.272	15.240	1537.89
K14+150	3.810	2.540	15.240	10.160	615.16
K14+200	12.700	10.160	50.800	40.640	307.58
K14+300	5.334	3.810	21.336	15.240	512.63
K14+350	1.778	1.016	7.112	4.064	1025.26
K14+400	6.350	3.810	25.400	15.240	307.58
K14+450	1.778	1.270	7.112	5.080	1537.89

ABSCISA	LECTURAS, (1/100 mm)		DEFLEXIONES (1/100 mm)		Rc, m
	Lo	L25	Do	D25	
K14+600	4.318	2.540	17.272	10.160	439.40
K14+650	6.096	5.842	24.384	23.368	3075.79
K14+700	10.668	5.588	42.672	22.352	153.79
K14+750	14.224	10.160	56.896	40.640	192.24
K14+800	1.778	1.270	7.112	5.080	1537.89
K14+850	23.368	15.240	93.472	60.960	96.12
K14+900	3.810	2.540	15.240	10.160	615.16
K14+950	5.842	3.810	23.368	15.240	384.47
K15+000	33.020	21.590	132.080	86.360	68.35
K15+050	7.112	3.810	28.448	15.240	236.60
K15+100	6.604	1.270	26.416	5.080	146.47
K15+150	12.192	8.890	48.768	35.560	236.60
K15+200	1.270	0.508	5.080	2.032	1025.26
K15+250	6.604	1.524	26.416	6.096	153.79
K15+300	4.318	3.810	17.272	15.240	1537.89
K15+350	3.556	2.540	14.224	10.160	768.95
K15+400	12.954	7.620	51.816	30.480	146.47
K15+450	8.890	7.620	35.560	30.480	615.16
K15+500	1.778	1.270	7.112	5.080	1537.89
K15+550	1.016	0.508	4.064	2.032	1537.89
K15+600	7.620	5.080	30.480	20.320	307.58
K15+650	9.652	6.604	38.608	26.416	256.32
K15+700	24.638	6.350	98.552	25.400	42.72
K15+750	4.064	3.810	16.256	15.240	3075.79
K15+800	5.842	2.540	23.368	10.160	236.60
K15+850	4.572	3.810	18.288	15.240	1025.26
K15+900	12.700	5.080	50.800	20.320	102.53
K15+950	7.366	5.080	29.464	20.320	341.75
K16+000	27.178	17.780	108.712	71.120	83.13
K16+050	22.098	15.240	88.392	60.960	113.92
K16+100	31.496	21.590	125.984	86.360	78.87
K16+150	12.192	5.080	48.768	20.320	109.85
K16+200	4.064	1.270	16.256	5.080	279.62
K16+250	1.778	1.016	7.112	4.064	1025.26
K16+300	0.762	0.254	3.048	1.016	1537.89
K16+350	1.778	1.016	7.112	4.064	1025.26
K16+400	4.826	2.540	19.304	10.160	341.75
K16+450	17.780	11.430	71.120	45.720	123.03
K16+500	3.302	2.540	13.208	10.160	1025.26
K16+550	2.794	2.540	11.176	10.160	3075.79
K16+600	5.080	3.810	20.320	15.240	615.16

ABSCISA	LECTURAS, (1/100 mm)		DEFLEXIONES (1/100 mm)		Rc, m
	Lo	L25	Do	D25	
K16+650	2.794	2.540	11.176	10.160	3075.79
K16+700	5.080	3.810	20.320	15.240	615.16
K16+750	2.032	1.524	8.128	6.096	1537.89
K16+800	4.572	3.810	18.288	15.240	1025.26
K16+850	5.588	5.080	22.352	20.320	1537.89
K16+900	12.192	10.160	48.768	40.640	384.47
K16+950	3.048	2.540	12.192	10.160	1537.89
K17+000	1.778	1.270	7.112	5.080	1537.89
K17+050	3.556	2.540	14.224	10.160	768.95
K17+100	8.382	5.080	33.528	20.320	236.60
K17+150	2.794	2.540	11.176	10.160	3075.79
K17+200	5.080	3.810	20.320	15.240	615.16
K17+250	3.810	3.048	15.240	12.192	1025.26
K17+300	18.034	12.700	72.136	50.800	146.47
K17+350	2.032	1.270	8.128	5.080	1025.26
K17+400	8.128	2.032	32.512	8.128	128.16
K17+450	22.606	17.272	90.424	69.088	146.47
K17+500	14.986	13.208	59.944	52.832	439.40
K17+550	7.620	7.112	30.480	28.448	1537.89
K17+600	5.334	3.810	21.336	15.240	512.63
K17+650	4.572	3.810	18.288	15.240	1025.26
K17+700	11.430	8.890	45.720	35.560	307.58
K17+750	1.524	1.016	6.096	4.064	1537.89
K17800	3.810	1.270	15.240	5.080	307.58
K17+850	0.762	0.000	3.048	0.000	1025.26
K17+900	12.192	10.160	48.768	40.640	384.47
K18+000	3.810	1.270	15.240	5.080	307.58
K18+100	12.700	11.430	50.800	45.720	615.16
K18+200	11.684	7.620	46.736	30.480	192.24
K18+300	9.906	8.128	39.624	32.512	439.40
K18+350	5.334	4.572	21.336	18.288	1025.26
K18+450	6.350	2.540	25.400	10.160	205.05
K18+500	3.048	2.540	12.192	10.160	1537.89
K18+550	2.794	2.032	11.176	8.128	1025.26
K18+600	4.064	3.810	16.256	15.240	3075.79
K18+650	7.620	6.350	30.480	25.400	615.16
K18+750	6.350	5.080	25.400	20.320	615.16

ABSCISA	LECTURAS, (1/100 mm)		DEFLEXIONES (1/100 mm)		Rc, m
	Lo	L25	Do	D25	
K18+800	6.096	5.842	24.384	23.368	3075.79
K18+850	5.334	3.810	21.336	15.240	512.63
K18+900	10.414	9.652	41.656	38.608	1025.26
K18+950	8.128	3.810	32.512	15.240	180.93
K19+000	12.954	10.160	51.816	40.640	279.62
K19+050	7.366	2.540	29.464	10.160	161.88
K19+150	9.144	3.810	36.576	15.240	146.47
K19+200	5.588	5.080	22.352	20.320	1537.89
K19+250	11.430	6.858	45.720	27.432	170.88
K19+350	20.066	6.096	80.264	24.384	55.92
K19+400	15.240	12.700	60.960	50.800	307.58
K19+450	18.796	16.510	75.184	66.040	341.75
K19+500	15.748	11.430	62.992	45.720	180.93
K19+550	7.874	3.810	31.496	15.240	192.24
K19+600	16.510	14.732	66.040	58.928	439.40
K19+650	9.906	8.890	39.624	35.560	768.95
K19+700	18.796	16.510	75.184	66.040	341.75
K19+750	5.334	1.270	21.336	5.080	192.24
K19+800	13.716	12.700	54.864	50.800	768.95
K19+850	4.064	1.270	16.256	5.080	279.62
K19+950	10.414	7.620	41.656	30.480	279.62
K20+000	9.398	6.350	37.592	25.400	256.32

Anexo D Datos con FWD en la vía Palenque - Café Madrid

Abscisa	Carga	Temperatura	Temperatura	D0	Do	Do	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D1	D2	D3
Km	kN	°C	°C	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm
K10+100	42	38	31	162	155	107	109	87	43	20	9	7	104	84	41
K10+150	40	35	28	245	242	179	191	175	98	32	31	18	189	173	97
K10+200	41	38	31	145	140	96	102	83	40	18	13	13	98	80	39
K10+250	41	35	30	127	125	93	90	74	42	14	14	12	89	73	41
K10+300	41	38	30	212	205	162	147	117	49	13	16	16	142	113	47
K10+350	39	35	29	715	725	598	477	345	177	31	31	21	484	349	180
K10+400	41	38	30	660	651	514	404	283	113	22	20	19	399	279	111
K10+450	40	35	30	845	854	704	585	439	225	38	38	24	591	443	228
K10+500	40	38	31	718	714	564	495	387	160	39	28	27	493	385	159
K10+550	39	35	29	636	649	535	496	413	217	45	44	26	506	421	221
K10+600	40	38	29	565	561	443	382	294	121	29	20	18	380	292	120
K10+650	39	35	29	671	682	563	466	365	193	42	41	23	473	371	196
K10+700	40	38	29	701	708	559	499	431	183	52	23	18	504	435	185
K10+750	40	35	29	323	326	269	241	204	120	46	45	23	243	206	121
K10+800	41	38	29	374	367	290	269	227	116	57	37	34	264	223	114
K10+850	40	35	28	429	429	354	308	252	142	46	45	18	308	252	142
K10+900	40	38	30	941	952	656	631	485	219	78	49	44	638	491	221
K10+950	39	35	28	726	738	547	485	375	204	54	54	40	493	381	207
K11+000	40	38	29	836	834	659	584	476	206	63	40	36	583	475	206
K11+050	38	35	29	1393	1468	1211	990	789	413	84	82	38	1043	832	435
K11+100	38	38	30	1800	1887	1490	1272	982	388	73	34	28	1334	1030	407
K11+150	39	35	28	884	903	745	617	501	275	77	76	42	630	512	281
K11+200	40	38	30	934	930	734	619	491	200	46	27	23	617	489	200
K11+250	40	35	29	822	829	684	555	433	247	84	82	31	560	436	249

Abscisa Km	Carga campo kN	Temperatura Pavimento °C	Temperatura Aire °C	D0 Campo µm	Do Carga µm	Do Temp 20°C µm	D1 Campo µm	D2 Campo µm	D3 Campo µm	D4 Campo µm	D5 Campo µm	D6 Campo µm	D1 Carga µm	D2 Carga µm	D3 Carga µm
K11+400	40	38	31	1188	1203	950	824	622	261	69	49	45	834	630	264
K11+450	40	35	30	766	767	633	528	413	225	61	60	40	529	414	226
K11+500	39	38	31	1446	1485	1173	953	732	303	75	53	49	978	751	311
K11+550	40	35	29	556	556	412	389	316	166	35	35	19	389	316	166
K11+600	41	38	32	387	375	258	263	205	92	32	28	28	255	198	89
K11+700	41	38	29	233	225	155	153	121	58	25	18	17	148	117	56
K11+750	40	35	29	213	211	156	138	111	66	27	27	20	136	110	65
K11+800	40	38	29	917	925	637	676	550	235	68	41	36	682	555	237
K11+850	40	35	29	387	389	288	262	208	108	21	21	8	264	209	109
K11+900	39	38	29	987	1002	690	726	607	244	51	32	29	737	616	248
K11+950	41	35	30	584	568	469	389	313	173	51	50	28	378	305	169
K12+000	40	38	29	702	698	551	516	458	215	87	54	48	513	455	214
K12+050	41	35	29	194	190	156	129	103	59	20	20	3	126	100	57
K12+100	41	38	30	191	187	148	129	102	50	23	13	12	126	99	49
K12+150	40	35	29	205	203	167	138	110	65	26	26	17	137	109	65
K12+200	41	38	27	238	233	184	164	127	56	19	9	8	160	124	55
K12+250	40	35	29	470	468	386	338	272	146	36	36	24	336	270	145
K12+300	41	38	28	242	238	188	167	134	64	27	19	18	164	132	63
K12+350	40	35	28	337	337	278	230	189	100	22	22	23	230	189	100
K12+400	41	38	27	265	261	206	174	133	55	14	6	5	171	131	54
K12+450	40	35	29	224	222	183	143	109	59	16	16	11	141	108	59
K12+500	40	38	27	416	416	329	302	245	108	36	36	37	302	245	108
K12+550	41	35	29	203	199	164	128	99	52	11	10	5	125	97	51
K12+600	40	38	27	558	552	436	333	230	88	13	21	22	330	228	87
K12+650	40	35	28	229	228	188	157	128	77	34	33	21	156	127	77
K12+700	41	38	27	408	402	318	300	248	110	37	26	24	295	245	108
K12+750	40	35	27	154	153	126	92	65	35	8	8	4	91	65	35
K12+800	41	38	29	158	155	122	95	68	28	7	5	4	93	66	27

Abscisa	Carga campo	Temperatura Pavimento	Temperatura Aire	D0 Campo	Do Carga	Do Temp 20°C	D1 Campo	D2 Campo	D3 Campo	D4 Campo	D5 Campo	D6 Campo	D1 Carga	D2 Carga	D3 Carga
Km	kN	°C	°C	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm
K12+900	41	38	28	222	217	171	142	106	50	21	16	15	139	103	49
K12+950	40	31	27	588	583	508	434	335	157	9	10	11	430	332	155
K13+000	41	38	28	360	353	279	248	194	89	33	23	21	243	190	87
K13+100	40	38	27	798	794	627	503	377	157	40	27	25	500	375	156
K13+150	41	29	26	190	188	167	119	100	52	13	14	15	117	99	52
K13+200	41	38	26	369	361	285	245	187	83	27	20	19	240	183	81
K13+250	40	29	25	296	293	263	191	137	76	25	19	11	189	136	75
K13+300	41	38	27	314	307	242	187	138	63	23	18	17	182	135	62
K13+350	40	30	26	706	705	627	541	440	228	52	44	35	540	439	227
K13+400	41	38	27	326	318	251	227	179	83	32	19	17	221	174	80
K13+450	40	29	25	628	628	561	485	384	198	44	33	19	485	384	198
K13+500	41	38	27	258	253	200	172	137	74	41	27	25	169	134	72
K13+550	41	30	26	118	116	103	95	71	39	12	10	8	94	70	38
K13+600	41	38	25	350	345	272	218	156	70	24	22	22	215	154	69
K13+650	41	31	27	220	217	190	136	107	56	14	11	8	134	106	55
K13+700	40	38	27	573	569	449	378	282	113	24	15	14	375	280	113
K13+750	39	29	26	610	620	553	429	332	161	21	15	7	436	337	164
K13+800	40	38	31	513	508	401	348	246	106	32	18	16	345	244	105
K13+850	41	29	25	261	256	231	183	144	81	30	27	23	180	142	80
K13+900	40	38	30	408	406	321	268	203	89	29	16	14	267	202	89
K13+950	40	31	27	388	385	336	288	258	134	31	22	11	286	256	133
K14+000	41	38	27	254	250	198	165	143	62	20	12	10	163	140	61
K14+050	40	30	27	234	231	203	163	130	67	16	16	16	161	129	67
K14+100	40	38	27	393	392	310	282	232	130	76	30	22	282	231	130
K14+150	41	31	27	239	235	206	165	140	75	21	16	10	162	138	74
K14+200	40	38	26	408	407	321	290	239	111	43	22	18	290	238	111
K14+250	40	30	26	369	365	323	254	223	122	38	31	22	252	221	121
K14+300	39	38	26	725	735	581	481	314	127	28	13	10	487	318	129

Abscisa	Carga campo	Temperatura Pavimento	Temperatura Aire	D0 Campo	Do Carga	Do Temp 20°C	D1 Campo	D2 Campo	D3 Campo	D4 Campo	D5 Campo	D6 Campo	D1 Carga	D2 Carga	D3 Carga
Km	kN	°C	°C	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm
K14+400	40	35	26	162	160	132	107	84	39	16	25	26	106	83	39
K14+450	41	30	26	133	130	115	79	61	30	6	7	9	77	59	30
K14+500	41	32	26	209	206	177	129	94	40	11	5	4	127	93	39
K14+550	40	29	26	415	412	368	276	231	117	23	17	10	274	229	116
K14+600	40	32	26	267	266	229	176	132	63	26	13	10	175	131	63
K14+650	41	29	25	315	308	275	212	167	92	29	23	15	208	164	90
K14+700	40	32	28	547	549	472	313	215	98	36	26	25	314	216	99
K14+750	40	31	27	336	333	290	193	136	75	25	25	25	191	135	75
K14+800	41	32	29	212	209	180	135	105	52	24	15	14	133	103	51
K14+850	40	31	27	330	328	286	319	257	142	46	39	30	317	256	141
K14+900	40	32	29	603	606	521	426	331	142	42	23	20	429	333	143
K14+950	41	32	28	247	242	210	176	138	67	9	6	3	173	136	66
K15+000	40	32	30	576	579	498	360	247	99	20	8	6	362	249	99
K15+050	41	30	26	296	290	257	209	174	86	13	8	2	205	170	84
K15+100	40	32	28	270	267	230	170	128	55	16	11	10	168	127	54
K15+150	40	30	26	286	283	250	209	201	117	48	38	24	207	199	116
K15+200	40	32	29	310	308	265	212	167	71	20	7	4	211	166	71
K15+250	40	30	26	557	551	488	393	303	152	26	25	23	389	300	150
K15+300	41	32	26	164	160	137	117	99	53	28	21	20	114	96	51
K15+350	41	31	27	125	121	106	80	66	33	5	4	2	78	64	32
K15+400	41	32	31	200	196	168	138	110	49	17	13	13	135	108	48
K15+500	39	32	28	730	741	637	495	385	158	37	31	30	502	390	160
K15+550	41	29	26	323	317	282	246	184	99	30	25	19	241	180	97
K15+650	41	29	25	436	421	378	297	243	125	27	23	18	287	235	121
K15+700	40	30	29	314	311	276	216	173	78	27	25	24	213	171	77
K15+750	40	28	25	466	462	417	323	269	147	46	39	30	320	266	146
K15+800	41	27	27	164	160	146	105	80	39	17	8	6	102	78	38
K15+850	41	29	25	487	475	427	327	242	121	22	18	13	318	235	118

Abscisa	Carga campo	Temperatura Pavimento	Temperatura Aire	D0 Campo	Do Carga	Do Temp 20°C	D1 Campo	D2 Campo	D3 Campo	D4 Campo	D5 Campo	D6 Campo	D1 Carga	D2 Carga	D3 Carga
Km	kN	°C	°C	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm
K15+950	40	27	24	758	750	690	577	475	249	63	53	40	571	470	247
K16+000	40	27	25	419	418	384	290	229	99	31	32	33	289	228	99
K16+050	41	27	25	369	357	329	228	172	87	17	12	6	221	167	84
K16+100	40	27	26	252	250	229	177	140	60	18	10	9	175	139	60
K16+150	41	26	25	462	449	417	309	193	98	19	14	8	300	187	95
K16+200	40	27	28	517	515	473	390	321	137	40	25	22	389	320	137
K16+250	40	26	24	666	659	615	557	480	262	81	66	46	551	475	259
K16+300	40	27	32	437	434	399	287	180	75	20	10	8	285	178	75
K16+350	39	26	24	1123	1148	1072	794	538	275	57	47	34	812	550	281
K16+400	40	27	28	286	285	250	177	125	55	17	12	12	176	125	54
K16+450	41	26	24	357	351	315	237	177	94	26	22	17	232	174	93
K16+500	41	27	27	210	207	182	142	116	58	27	24	24	140	114	57
K16+550	41	26	25	447	441	392	350	282	165	68	58	44	345	279	163
K16+600	41	27	28	542	535	470	371	299	137	52	31	28	366	295	136
K16+650	42	25	24	78	75	68	50	39	23	10	10	10	48	38	22
K16+700	41	28	31	176	173	158	116	92	40	13	19	20	114	90	40
K16+750	41	27	25	124	120	111	86	71	48	28	22	15	83	69	46
K16+800	41	28	25	349	344	312	230	175	71	16	12	12	227	172	70
K16+850	41	26	24	145	141	132	92	72	41	15	11	5	89	70	40
K16+900	41	28	28	271	267	242	199	169	87	44	31	28	196	167	86
K16+950	41	25	23	164	159	150	115	98	57	24	19	12	112	95	56
K17+000	40	28	29	521	522	450	407	281	111	20	11	9	408	282	111
K17+050	41	25	24	156	151	137	116	97	53	17	18	20	112	94	51
K17+100	41	28	28	173	170	147	112	89	49	28	23	23	110	87	48
K17+150	40	25	24	587	582	532	466	409	232	86	62	32	462	405	230
K17+200	40	28	27	183	182	157	131	108	47	15	7	6	131	107	47
K17+250	41	25	24	74	72	65	44	32	18	7	6	5	42	31	18
K17+300	40	28	27	218	217	187	146	116	53	20	18	18	145	115	53

Abscisa	Carga campo	Temperatura Pavimento	Temperatura Aire	D0 Campo	Do Carga	Do Temp 20°C	D1 Campo	D2 Campo	D3 Campo	D4 Campo	D5 Campo	D6 Campo	D1 Carga	D2 Carga	D3 Carga
Km	kN	°C	°C	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm
K17+400	40	28	27	235	236	203	165	152	73	32	24	23	165	152	73
K17+450	41	27	26	500	488	429	438	388	217	75	60	40	427	379	211
K17+500	40	28	25	199	198	171	132	107	45	12	8	7	131	106	44
K17+550	42	26	24	254	241	217	128	87	48	16	15	14	121	83	46
K17+700	38	28	29	1484	1543	1330	861	500	176	4	3	3	896	520	183
K17+750	41	25	24	311	303	275	221	176	95	28	23	16	215	171	92
K17+800	39	28	27	671	682	588	533	400	163	37	29	28	542	406	165
K17+850	40	25	23	579	573	526	371	252	129	28	23	16	367	249	128
K17+900	40	28	28	421	420	362	266	190	82	24	15	14	266	190	81
K17+950	42	25	23	154	148	136	102	79	43	13	25	40	98	76	41
K18+000	41	27	23	204	199	176	140	109	51	20	12	11	136	106	49
K18+050	41	26	24	159	154	139	116	96	54	20	22	26	112	93	52
K18+100	43	22	21	395	370	357	280	211	94	32	21	19	263	197	88
K18+150	41	24	22	175	169	158	122	97	56	22	17	12	118	94	54
K18+200	42	22	21	427	403	394	313	255	121	50	38	36	296	241	114
K18+250	41	25	23	255	249	235	180	139	76	23	19	15	175	136	74
K18+300	43	22	21	531	495	484	343	248	98	19	8	6	319	231	92
K18+350	41	25	24	336	328	308	239	192	102	28	23	16	233	187	99
K18+400	43	22	22	132	122	119	98	82	39	16	7	5	91	76	36
K18+450	40	25	23	1003	1010	956	836	585	297	58	44	26	842	589	299
K18+500	42	22	21	282	268	262	220	190	94	43	22	18	209	181	89
K18+550	41	25	24	240	232	218	176	146	91	46	37	26	170	141	88
K18+600	42	22	21	523	502	491	381	286	121	34	15	12	366	275	116
K18+650	42	25	24	137	131	123	103	87	48	16	15	14	99	83	46
K18+700	43	22	20	148	139	135	104	87	40	16	15	15	98	81	38
K18+750	41	26	24	672	654	610	515	387	203	51	42	29	501	376	198
K18+800	42	22	21	350	336	328	248	190	90	37	24	22	238	182	86
K18+850	42	27	25	257	247	228	176	129	69	19	14	7	169	124	66

Abscisa	Carga campo	Temperatura Pavimento	Temperatura Aire	D0 Campo	Do Carga	Do Temp 20°C	D1 Campo	D2 Campo	D3 Campo	D4 Campo	D5 Campo	D6 Campo	D1 Carga	D2 Carga	D3 Carga
Km	kN	°C	°C	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm
K18+950	43	25	24	236	222	209	171	138	82	36	55	82	161	130	77
K19+000	42	22	21	307	296	289	217	173	81	33	30	29	209	167	78
K19+050	43	25	23	187	175	166	139	114	65	25	21	15	130	106	61
K19+100	42	22	22	164	157	154	129	116	68	43	24	20	124	111	65
K19+150	41	24	23	304	296	281	223	176	91	22	19	17	217	171	89
K19+200	42	22	22	173	166	162	135	120	65	37	13	9	129	114	62
K19+250	42	25	24	158	152	143	110	87	48	16	15	15	106	83	46
K19+300	41	22	22	282	273	267	205	167	79	32	18	15	199	162	77
K19+350	41	26	25	290	281	260	209	169	91	27	23	17	202	163	88
K19+400	41	22	22	252	244	239	185	155	75	32	17	14	180	151	73
K19+450	41	25	24	317	307	288	229	190	114	51	39	25	222	184	110
K19+500	41	22	22	370	362	353	255	203	102	49	30	27	249	198	100
K19+550	41	25	24	278	268	251	206	172	98	38	32	25	198	166	95
K19+600	40	23	23	783	775	748	545	436	179	43	32	30	539	431	178
K19+650	40	25	23	806	799	755	578	469	240	51	40	27	572	464	238
K19+700	41	23	24	604	592	572	453	374	159	45	36	34	445	367	156
K19+750	41	25	23	662	649	614	505	409	215	55	47	38	495	401	211
K19+800	41	23	23	408	400	386	315	269	125	49	29	25	308	263	123
K19+850	41	26	24	379	366	342	294	256	153	68	58	46	283	247	148
K19+900	41	23	23	475	463	447	377	321	154	66	40	35	368	314	151
K19+950	42	26	25	427	411	380	322	267	145	45	38	30	310	257	140
K20+000	41	23	22	666	656	633	497	412	193	77	39	33	489	406	190
K20+050	42	25	23	431	412	390	297	225	118	31	23	13	284	215	113
K20+100	41	23	23	297	286	277	221	185	77	20	10	8	213	178	74
K20+150	42	26	24	222	211	196	166	139	80	32	23	11	158	132	77
K20+200	42	23	23	222	214	207	170	149	76	38	19	16	163	144	73

Abscisa	INFORMACIÓN DE ESPESORES DE PAVIMENTO EXISTENTE								VARIABLES ESTRUCTURALES				Radio de curvatura R <sub>c</sub>
	D4	D5	D6	Carpeta	Material	H total	H total	H max	Mr AASHTO	Mr AASHTO	Ep AASHTO	SN AASHTO	
	Carga	Carga	Carga	Asfáltica	Granular					Diseño			
Km	µm	µm	µm	m	m	m	cm	m	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )		(m)
K10+100	19	9	6.73	0.22	0.52	0.74	74	0.74	8,009	2,643	13,017	7.5	590
K10+150	31	31	17.82	0.22	0.52	0.74	74	0.74	3,115	1,028	8,650	6.5	579
K10+200	17	13	12.06	0.22	0.52	0.74	74	0.74	4,672	1,542	17,257	8.2	727
K10+250	14	14	12.05	0.22	0.52	0.74	74	0.74	4,672	1,542	18,008	8.3	845
K10+300	13	15	15.48	0.10	0.30	0.40	40	0.40	3,737	1,233	11,195	3.8	481
K10+350	31	31	21.29	0.10	0.30	0.40	40	0.40	2,670	881	2,027	2.2	131
K10+400	22	19	18.74	0.12	0.37	0.49	49	0.49	2,951	974	2,420	2.8	122
K10+450	38	38	24.27	0.12	0.37	0.49	49	0.49	2,336	771	1,736	2.5	120
K10+500	39	28	26.37	0.12	0.37	0.49	49	0.49	2,156	712	2,329	2.8	140
K10+550	45	45	26.53	0.13	0.76	0.89	89	0.89	2,076	685	2,466	5.2	223
K10+600	29	20	17.89	0.13	0.76	0.89	89	0.89	3,115	1,028	2,895	5.5	171
K10+650	43	42	23.38	0.13	0.76	0.89	89	0.89	2,437	804	2,279	5.0	152
K10+700	52	23	18.18	0.14	0.31	0.45	45	0.45	3,115	1,028	2,143	2.5	155
K10+750	47	46	23.26	0.14	0.31	0.45	45	0.45	2,437	804	6,179	3.5	381
K10+800	55	36	32.88	0.14	0.31	0.45	45	0.45	1,699	561	6,664	3.6	298
K10+850	46	45	18.02	0.14	0.31	0.45	45	0.45	3,115	1,028	3,831	3.0	259
K10+900	78	50	44.50	0.17	0.32	0.49	49	0.49	1,246	411	2,265	2.8	101
K10+950	55	55	40.20	0.17	0.32	0.49	49	0.49	1,402	463	2,781	3.0	130
K11+000	62	40	35.46	0.14	0.29	0.43	43	0.43	1,602	529	2,095	2.4	124
K11+050	88	87	40.05	0.14	0.29	0.43	43	0.43	1,402	463	991	1.8	77
K11+100	76	36	28.83	0.14	0.29	0.43	43	0.43	1,933	638	723	1.7	59
K11+150	78	77	42.40	0.13	0.25	0.38	38	0.38	1,335	440	1,923	2.0	117
K11+200	46	26	22.91	0.13	0.25	0.38	38	0.38	2,437	804	1,591	1.9	99
K11+250	84	83	30.77	0.13	0.25	0.38	38	0.38	1,808	597	1,920	2.0	117
K11+300	75	46	41.41	0.13	0.25	0.38	38	0.38	1,367	451	5,884	2.9	266

Abscisa	D4 Carga	D5 Carga	D6 Carga	Carpeta Asfáltica	Material Granular	H total	H total	H max	Mr AASHTO	Mr AASHTO Diseño	Ep AASHTO	SN AASHTO	Radio de curvatura Rc
Km	µm	µm	µm	m	m	m	cm	m	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )		(m)
K11+450	61	60	39.55	0.12	0.37	0.49	49	0.49	1,402	463	2,282	2.8	131
K11+500	77	54	49.81	0.12	0.37	0.49	49	0.49	1,121	370	1,097	2.2	63
K11+550	35	35	18.52	0.17	0.34	0.51	51	0.51	2,951	974	3,186	3.2	188
K11+600	31	27	26.67	0.17	0.34	0.51	51	0.51	2,076	685	6,777	4.1	252
K11+700	24	17	15.96	0.18	0.43	0.61	61	0.61	3,504	1,156	10,569	5.8	391
K11+750	27	27	19.78	0.18	0.43	0.61	61	0.61	2,803	925	11,456	5.9	417
K11+800	68	41	36.32	0.18	0.43	0.61	61	0.61	1,557	514	2,149	3.4	130
K11+850	21	21	7.55	0.18	0.43	0.61	61	0.61	7,008	2,313	4,166	4.2	251
K11+900	52	33	29.44	0.18	0.43	0.61	61	0.61	1,933	638	1,862	3.2	120
K11+950	50	49	26.76	0.14	0.66	0.80	80	0.80	2,076	685	2,883	4.9	160
K12+000	86	54	47.76	0.14	0.66	0.80	80	0.80	1,168	385	2,669	4.8	168
K12+050	20	19	2.44	0.14	0.66	0.80	80	0.80	28,031	9,250	7,371	6.7	481
K12+100	22	13	11.26	0.14	0.39	0.53	53	0.53	5,097	1,682	10,181	4.9	500
K12+150	26	26	16.87	0.14	0.39	0.53	53	0.53	3,298	1,088	10,197	4.9	470
K12+200	18	9	7.34	0.14	0.39	0.53	53	0.53	8,009	2,643	6,825	4.3	419
K12+250	36	35	23.91	0.10	0.25	0.35	35	0.35	2,336	771	3,945	2.4	237
K12+300	27	19	17.20	0.10	0.25	0.35	35	0.35	3,298	1,088	10,147	3.3	417
K12+350	22	22	22.53	0.10	0.25	0.35	35	0.35	2,437	804	6,466	2.8	292
K12+400	14	6	4.93	0.10	0.25	0.35	35	0.35	11,212	3,700	5,216	2.6	345
K12+450	16	16	10.89	0.12	0.28	0.40	40	0.40	5,097	1,682	7,984	3.4	383
K12+500	36	36	36.50	0.12	0.28	0.40	40	0.40	1,557	514	6,119	3.1	274
K12+550	10	10	4.42	0.12	0.28	0.40	40	0.40	14,016	4,625	6,753	3.3	417
K12+600	13	20	21.78	0.13	0.33	0.46	46	0.46	2,548	841	3,099	2.9	139
K12+650	33	33	20.92	0.13	0.33	0.46	46	0.46	2,670	881	10,057	4.3	431
K12+700	36	25	23.18	0.13	0.33	0.46	46	0.46	2,437	804	4,828	3.3	288
K12+750	8	8	3.48	0.13	0.33	0.46	46	0.46	18,687	6,167	8,972	4.1	502

Abscisa	D4 Carga	D5 Carga	D6 Carga	Carpeta Asfáltica	Material Granular	H total	H total	H max	Mr AASHTO	Mr AASHTO Diseño	Ep AASHTO	SN AASHTO	Radio de curvatura Rc
Km	µm	µm	µm	m	m	m	cm	m	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )		(m)
K12+850	10	8	5.38	0.12	0.34	0.46	46	0.46	11,212	3,700	5,208	3.4	353
K12+900	20	15	14.69	0.12	0.34	0.46	46	0.46	3,737	1,233	9,767	4.2	391
K12+950	9	10	10.65	0.12	0.34	0.46	46	0.46	5,097	1,682	2,189	2.6	202
K13+000	32	22	20.61	0.10	0.25	0.35	35	0.35	2,670	881	6,074	2.7	279
K13+100	39	27	24.38	0.10	0.25	0.35	35	0.35	2,336	771	1,967	1.9	106
K13+150	13	13	14.32	0.10	0.25	0.35	35	0.35	4,004	1,321	10,857	3.3	437
K13+200	26	20	18.63	0.10	0.25	0.35	35	0.35	2,951	974	5,546	2.7	253
K13+250	25	19	10.89	0.10	0.30	0.40	40	0.40	5,097	1,682	4,857	2.9	298
K13+300	22	17	16.14	0.10	0.30	0.40	40	0.40	3,504	1,156	6,295	3.2	246
K13+350	52	44	34.46	0.10	0.30	0.40	40	0.40	1,649	544	2,234	2.2	189
K13+400	31	18	16.10	0.10	0.30	0.40	40	0.40	3,504	1,156	5,970	3.1	317
K13+450	44	33	18.52	0.10	0.30	0.40	40	0.40	2,951	974	2,139	2.2	219
K13+500	40	26	24.02	0.10	0.30	0.40	40	0.40	2,336	771	10,725	3.8	363
K13+550	12	10	7.64	0.10	0.30	0.40	40	0.40	7,008	2,313	15,988	4.3	1,404
K13+600	23	22	21.21	0.10	0.30	0.40	40	0.40	2,670	881	6,036	3.1	237
K13+650	13	11	7.41	0.10	0.30	0.40	40	0.40	8,009	2,643	6,467	3.2	370
K13+700	24	15	13.42	0.10	0.25	0.35	35	0.35	4,312	1,423	2,510	2.0	160
K13+750	21	15	7.12	0.10	0.25	0.35	35	0.35	8,009	2,643	1,707	1.8	173
K13+800	31	18	15.86	0.10	0.25	0.35	35	0.35	3,504	1,156	3,123	2.2	190
K13+850	29	26	22.63	0.10	0.25	0.35	35	0.35	2,437	804	8,848	3.1	401
K13+900	29	16	13.97	0.10	0.25	0.35	35	0.35	4,004	1,321	4,036	2.4	224
K13+950	31	22	10.43	0.12	1.14	1.26	90	0.90	5,606	1,850	3,691	6.0	313
K14+000	19	11	9.85	0.12	1.14	1.26	90	0.90	5,606	1,850	6,661	7.3	351
K14+050	15	16	15.82	0.12	1.14	1.26	90	0.90	3,504	1,156	6,988	7.4	440
K14+100	75	30	21.97	0.12	1.14	1.26	90	0.90	2,548	841	4,489	6.4	283
K14+150	21	16	9.35	0.12	1.14	1.26	90	0.90	6,229	2,056	6,281	7.1	419

Abscisa	D4 Carga	D5 Carga	D6 Carga	Carpeta Asfáltica	Material Granular	H total	H total	H max	Mr AASHTO	Mr AASHTO Diseño	Ep AASHTO	SN AASHTO	Radio de curvatura Rc
Km	µm	µm	µm	m	m	m	cm	m	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )		(m)
K14+250	38	31	21.31	0.15	0.70	0.85	85	0.85	2,670	881	4,260	5.9	273
K14+300	28	13	10.14	0.15	0.70	0.85	85	0.85	5,606	1,850	2,032	4.6	128
K14+350	9	8	6.36	0.15	0.70	0.85	85	0.85	9,344	3,083	12,022	8.4	625
K14+400	16	24	25.77	0.15	0.70	0.85	85	0.85	2,156	712	14,110	8.8	568
K14+450	5	7	8.32	0.15	0.70	0.85	85	0.85	7,008	2,313	12,114	8.4	581
K14+500	10	5	3.95	0.15	0.70	0.85	85	0.85	14,016	4,625	6,811	6.9	388
K14+550	23	17	9.94	0.08	0.25	0.33	33	0.33	5,606	1,850	2,971	2.0	225
K14+600	26	12	9.99	0.08	0.25	0.33	33	0.33	5,606	1,850	5,662	2.5	343
K14+650	28	22	14.20	0.08	0.25	0.33	33	0.33	4,004	1,321	5,056	2.4	303
K14+700	36	26	24.59	0.08	0.25	0.33	33	0.33	2,242	740	3,004	2.0	134
K14+750	25	25	24.35	0.08	0.25	0.33	33	0.33	2,336	771	6,376	2.6	219
K14+800	24	15	13.33	0.09	0.71	0.80	80	0.80	4,312	1,423	7,841	6.8	406
K14+850	46	39	30.10	0.09	0.71	0.80	80	0.80	1,869	617	5,389	6.0	2,717
K14+900	42	24	20.13	0.09	0.71	0.80	80	0.80	2,803	925	2,440	4.6	177
K14+950	8	6	2.95	0.09	0.71	0.80	80	0.80	18,687	6,167	5,514	6.1	443
K15+000	20	8	6.04	0.09	0.71	0.80	80	0.80	9,344	3,083	2,301	4.5	145
K15+050	12	8	1.47	0.14	0.78	0.92	90	0.90	56,062	18,500	4,345	6.3	359
K15+100	16	11	9.89	0.14	0.78	0.92	90	0.90	5,606	1,850	5,622	6.9	311
K15+150	48	37	23.79	0.14	0.78	0.92	90	0.90	2,336	771	5,909	7.0	408
K15+200	20	6	3.98	0.14	0.78	0.92	90	0.90	14,016	4,625	4,443	6.4	319
K15+250	26	24	22.52	0.14	0.78	0.92	90	0.90	2,437	804	2,677	5.4	191
K15+300	27	20	19.07	0.14	0.34	0.48	48	0.48	2,951	974	15,323	5.1	672
K15+350	5	3	1.45	0.14	0.34	0.48	48	0.48	56,062	18,500	9,580	4.4	702
K15+400	17	13	12.25	0.14	0.34	0.48	48	0.48	4,672	1,542	9,014	4.3	504
K15+500	38	31	29.95	0.14	0.34	0.48	48	0.48	1,869	617	2,075	2.6	133
K15+550	29	24	18.14	0.14	0.39	0.53	53	0.53	3,115	1,028	5,085	3.9	403
K15+650	26	22	16.93	0.14	0.39	0.53	53	0.53	3,298	1,088	3,449	3.4	225

Abscisa	D4 Carga	D5 Carga	D6 Carga	Carpeta Asfáltica	Material Granular	H total	H total	H max	Mr AASHTO	Mr AASHTO Diseño	Ep AASHTO	SN AASHTO	Radio de curvatura Rc
Km	µm	µm	µm	m	m	m	cm	m	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )		(m)
K15+750	46	39	29.74	0.14	0.39	0.53	53	0.53	1,869	617	3,574	3.5	219
K15+800	17	8	5.85	0.14	0.39	0.53	53	0.53	9,344	3,083	8,746	4.7	530
K15+850	21	17	12.67	0.10	0.89	0.99	90	0.90	4,312	1,423	2,911	5.5	195
K15+900	14	6	4.95	0.10	0.89	0.99	90	0.90	11,212	3,700	5,616	6.9	393
K15+950	62	52	39.11	0.10	0.89	0.99	90	0.90	1,437	474	1,943	4.8	173
K16+000	30	32	32.42	0.10	0.89	0.99	90	0.90	1,752	578	3,735	6.0	241
K16+050	16	11	5.33	0.10	0.89	0.99	90	0.90	11,212	3,700	3,580	5.9	222
K16+100	18	10	8.42	0.10	0.89	0.99	90	0.90	7,008	2,313	5,505	6.8	414
K16+150	18	14	7.77	0.15	0.30	0.45	45	0.45	7,008	2,313	2,604	2.7	204
K16+200	39	25	21.95	0.15	0.30	0.45	45	0.45	2,548	841	2,789	2.7	246
K16+250	80	65	45.54	0.15	0.30	0.45	45	0.45	1,219	402	2,545	2.6	285
K16+300	20	10	7.95	0.15	0.30	0.45	45	0.45	7,008	2,313	2,741	2.7	208
K16+350	58	48	34.27	0.15	0.30	0.45	45	0.45	1,649	544	1,114	2.0	95
K16+400	17	12	11.47	0.16	0.36	0.52	52	0.52	5,097	1,682	5,189	3.9	287
K16+450	26	22	16.22	0.16	0.36	0.52	52	0.52	3,504	1,156	4,270	3.6	259
K16+500	26	24	23.18	0.16	0.36	0.52	52	0.52	2,437	804	10,462	4.9	456
K16+550	67	57	43.46	0.16	0.36	0.52	52	0.52	1,304	430	4,526	3.7	322
K16+600	51	31	27.16	0.16	0.36	0.52	52	0.52	2,076	685	2,962	3.2	183
K16+650	9	9	9.63	0.16	0.36	0.52	52	0.52	5,606	1,850	30,468	7.0	1,116
K16+700	13	18	19.21	0.15	0.29	0.44	44	0.44	2,951	974	12,805	4.4	521
K16+750	27	22	14.55	0.15	0.29	0.44	44	0.44	3,737	1,233	19,680	5.1	822
K16+800	16	12	11.36	0.15	0.29	0.44	44	0.44	5,097	1,682	3,917	3.0	264
K16+850	15	10	4.87	0.15	0.29	0.44	44	0.44	11,212	3,700	9,431	4.0	584
K16+900	43	30	27.59	0.15	0.29	0.44	44	0.44	2,002	661	8,163	3.8	437
K16+950	23	18	11.65	0.15	0.29	0.44	44	0.44	4,672	1,542	10,816	4.2	644
K17+000	20	11	9.02	0.17	0.33	0.50	50	0.50	6,229	2,056	2,479	2.9	275
K17+050	16	17	19.39	0.17	0.33	0.50	50	0.50	2,951	974	14,950	5.3	772

Abscisa	D4 Carga	D5 Carga	D6 Carga	Carpeta Asfáltica	Material Granular	H total	H total	H max	Mr AASHTO	Mr AASHTO Diseño	Ep AASHTO	SN AASHTO	Radio de curvatura Rc
Km	µm	µm	µm	m	m	m	cm	m	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )		(m)
K17+150	85	62	31.23	0.17	0.33	0.50	50	0.50	1,808	597	2,638	3.0	258
K17+200	14	7	5.48	0.17	0.33	0.50	50	0.50	11,212	3,700	7,686	4.2	601
K17+250	7	6	4.84	0.17	0.33	0.50	50	0.50	11,212	3,700	23,756	6.2	1,025
K17+300	20	18	17.41	0.16	0.31	0.47	47	0.47	3,298	1,088	9,017	4.2	431
K17+350	47	35	20.56	0.16	0.31	0.47	47	0.47	2,670	881	5,149	3.5	422
K17+400	32	24	22.56	0.16	0.31	0.47	47	0.47	2,437	804	9,290	4.2	446
K17+450	73	59	39.07	0.16	0.31	0.47	47	0.47	1,437	474	3,930	3.2	500
K17+500	11	8	6.98	0.16	0.31	0.47	47	0.47	8,009	2,643	7,445	3.9	466
K17+550	15	14	12.83	0.16	0.31	0.47	47	0.47	4,312	1,423	6,572	3.8	247
K17+700	4	3	3.12	0.17	0.27	0.44	44	0.44	18,687	6,167	684	1.7	50
K17+750	27	22	15.57	0.17	0.27	0.44	44	0.44	3,504	1,156	5,175	3.3	347
K17+800	37	29	27.95	0.17	0.27	0.44	44	0.44	2,002	661	2,262	2.5	227
K17+850	28	22	15.33	0.17	0.27	0.44	44	0.44	3,737	1,233	2,212	2.5	150
K17+900	24	15	13.48	0.17	0.27	0.44	44	0.44	4,312	1,423	3,392	2.8	202
K17+950	13	24	38.46	0.20	0.30	0.50	50	0.50	1,475	487	25,916	6.4	595
K18+000	19	12	10.70	0.20	0.30	0.50	50	0.50	5,097	1,682	8,154	4.3	484
K18+050	19	21	24.76	0.20	0.30	0.50	50	0.50	2,242	740	17,467	5.6	718
K18+100	30	19	17.35	0.20	0.30	0.50	50	0.50	3,298	1,088	3,709	3.3	273
K18+150	21	17	11.64	0.20	0.30	0.50	50	0.50	4,672	1,542	9,726	4.6	595
K18+200	47	36	33.53	0.13	0.25	0.38	38	0.38	1,649	544	4,516	2.7	275
K18+250	22	19	14.15	0.13	0.25	0.38	38	0.38	4,004	1,321	6,245	3.0	414
K18+300	18	7	5.13	0.13	0.25	0.38	38	0.38	11,212	3,700	1,959	2.0	166
K18+350	27	22	15.63	0.13	0.25	0.38	38	0.38	3,504	1,156	4,494	2.7	324
K18+400	15	6	4.65	0.13	0.25	0.38	38	0.38	11,212	3,700	10,743	3.6	933
K18+450	58	44	25.69	0.13	0.25	0.38	38	0.38	2,156	712	1,177	1.7	188
K18+500	40	21	17.10	0.14	0.34	0.48	48	0.48	3,298	1,088	5,580	3.7	504
K18+550	45	36	24.73	0.14	0.34	0.48	48	0.48	2,242	740	8,620	4.2	488

Abscisa	D4 Carga	D5 Carga	D6 Carga	Carpeta Asfáltica	Material Granular	H total	H total	H max	Mr AASHTO	Mr AASHTO Diseño	Ep AASHTO	SN AASHTO	Radio de curvatura Rc
Km	µm	µm	µm	m	m	m	cm	m	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )		(m)
K18+650	15	14	12.92	0.14	0.34	0.48	48	0.48	4,312	1,423	14,637	5.0	933
K18+700	15	14	14.10	0.14	0.34	0.48	48	0.48	4,004	1,321	13,208	4.9	718
K18+750	50	40	28.22	0.14	0.34	0.48	48	0.48	2,002	661	2,152	2.7	199
K18+800	35	23	20.62	0.14	0.34	0.48	48	0.48	2,670	881	4,436	3.4	306
K18+850	18	13	6.74	0.14	0.34	0.48	48	0.48	8,009	2,643	5,234	3.6	386
K18+900	19	12	11.02	0.14	0.34	0.48	48	0.48	5,097	1,682	4,256	3.3	284
K18+950	33	52	76.71	0.14	0.34	0.48	48	0.48	728	240	24,261	6.0	481
K19+000	31	28	27.92	0.14	0.34	0.48	48	0.48	2,002	661	5,968	3.7	347
K19+050	23	19	13.57	0.14	0.34	0.48	48	0.48	4,004	1,321	9,757	4.4	644
K19+100	41	23	19.18	0.10	0.30	0.40	40	0.40	2,951	974	14,210	4.2	893
K19+150	21	19	16.04	0.10	0.30	0.40	40	0.40	3,504	1,156	5,084	3.0	386
K19+200	35	13	8.61	0.10	0.30	0.40	40	0.40	6,229	2,056	8,731	3.5	822
K19+250	15	15	13.98	0.10	0.30	0.40	40	0.40	4,004	1,321	13,114	4.1	651
K19+300	31	17	14.56	0.10	0.30	0.40	40	0.40	3,737	1,233	5,321	3.0	408
K19+350	26	22	15.96	0.10	0.30	0.40	40	0.40	3,504	1,156	5,676	3.1	386
K19+400	31	16	13.61	0.10	0.30	0.40	40	0.40	4,004	1,321	6,047	3.1	470
K19+450	49	38	23.76	0.10	0.30	0.40	40	0.40	2,336	771	5,934	3.1	355
K19+500	47	30	26.41	0.10	0.30	0.40	40	0.40	2,156	712	4,542	2.8	272
K19+550	36	31	24.13	0.10	0.30	0.40	40	0.40	2,336	771	7,365	3.3	431
K19+600	43	32	29.70	0.10	0.30	0.40	40	0.40	1,869	617	1,685	2.0	131
K19+650	51	40	26.27	0.10	0.30	0.40	40	0.40	2,156	712	1,596	2.0	137
K19+700	44	35	33.37	0.10	0.30	0.40	40	0.40	1,699	561	2,511	2.3	208
K19+750	53	46	37.25	0.10	0.30	0.40	40	0.40	1,515	500	2,382	2.3	199
K19+800	48	28	24.48	0.10	0.30	0.40	40	0.40	2,336	771	3,840	2.7	334
K19+850	65	56	43.91	0.10	0.30	0.40	40	0.40	1,274	420	6,599	3.2	365
K19+900	64	39	34.19	0.10	0.30	0.40	40	0.40	1,649	544	3,645	2.6	319
K19+950	43	37	28.40	0.10	0.30	0.40	40	0.40	2,002	661	4,220	2.8	299

Abscisa	D4 Carga	D5 Carga	D6 Carga	Carpeta Asfáltica	Material Granular	H total	H total	H max	Mr AASHTO	Mr AASHTO Diseño	Ep AASHTO	SN AASHTO	Radio de curvatura Rc
Km	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	m	m	m	cm	m	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )		(m)
K20+050	29	22	12.46	0.10	0.30	0.40	40	0.40	4,672	1,542	2,999	2.5	233
K20+100	19	9	7.73	0.10	0.30	0.40	40	0.40	7,008	2,313	4,156	2.8	411
K20+150	30	22	10.00	0.10	0.30	0.40	40	0.40	5,606	1,850	6,983	3.3	558
K20+200	36	18	14.94	0.10	0.30	0.40	40	0.40	3,737	1,233	7,684	3.4	595

Anexo E Datos con Viga Benkelman en la vía Cra 27 entre Quebrada Seca y la calle 56

Abscisado	Lecturas		Deflexiones (1/100 mm)		Rc (m)
	Lo	L25	Do	D25	
1250	90	54	36	22	217
1300	82	48	33	19	230
1350	78	62	31	25	488
1400	64	54	26	22	781
1450	50	30	20	12	391
1500	44	34	18	14	781
1550	38	22	15	9	488
1600	80	40	32	16	195
1650	82	30	33	12	150
1700	86	80	34	32	1302
1750	74	38	30	15	217
1800	56	30	22	12	300
1850	58	30	23	12	279
1900	78	40	31	16	206
1950	36	14	14	6	355
2000	62	48	25	19	558
2050	68	50	27	20	434
2100	70	40	28	16	260
2150	96	86	38	34	781
2200	92	86	37	34	1302
2250	88	78	35	31	781
2300	80	60	32	24	391
2350	68	34	27	14	230
2400	76	32	30	13	178
2450	48	26	19	10	355
2500	34	16	14	6	434
2550	82	42	33	17	195
2600	42	2	17	1	195
2650	28	14	11	6	558
2700	48	38	19	15	781
2750	46	14	18	6	244
2800	50	10	20	4	195
2850	68	44	27	18	326
2900	74	54	30	22	391
2950	70	50	28	20	391
3000	84	42	34	17	186
3050	96	38	38	15	135
3100	78	30	31	12	163
3150	60	40	24	16	391
3200	52	38	21	15	558
3250	70	42	28	17	279
3300	64	50	26	20	558
3350	54	32	22	13	355
3400	58	48	23	19	781
3450	70	44	28	18	300
3500	74	14	30	6	130

Anexo F Datos FWD en la vía Cra 27 entre Quebrada Seca y la calle 56

Abscisa	Carga	Temperatura	Temperatura	D0	Do	Do	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D1	D2	D3
Km	kN	°C	°C	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm
K1+050	41	21	21	196	190	189	130	105	65	35	30	28	126	102	63
K1+100	41	19	19	240	232	236	179	149	82	26	22	14	174	144	79
K1+150	41	20	20	141	137	137	95	75	42	18	12	10	92	73	41
K1+200	41	21	21	256	249	245	179	142	78	25	23	19	174	138	76
K1+250	41	20	20	140	135	135	108	97	57	28	17	12	105	94	55
K1+300	41	20	20	191	186	185	128	102	58	22	19	13	125	99	56
K1+350	41	20	20	277	269	270	190	147	74	20	13	11	185	142	71
K1+400	41	22	22	215	210	202	168	147	86	36	30	17	164	143	84
K1+450	41	20	20	309	302	303	216	173	88	26	16	12	211	169	86
K1+500	41	21	21	243	238	235	191	165	95	36	32	22	187	162	93
K1+550	41	21	21	168	164	162	127	106	57	22	15	12	124	104	56
K1+600	41	21	21	146	142	141	106	91	51	18	16	11	103	88	49
K1+650	41	20	20	121	117	117	85	72	41	18	12	9	83	69	39
K1+700	41	21	21	239	234	232	161	125	70	25	22	17	157	122	69
K1+750	41	21	21	107	104	103	77	67	43	26	19	17	75	65	42
K1+800	41	22	22	252	248	242	186	154	85	28	21	8	183	152	84
K1+850	41	22	22	205	200	195	151	123	64	21	10	6	147	120	62
K1+900	41	22	22	261	255	250	184	151	84	28	22	10	179	147	82
K1+950	41	22	22	356	349	343	239	186	99	36	25	21	235	182	97
K2+000	41	22	22	243	236	231	168	130	66	13	11	7	164	126	64
K2+050	41	22	22	236	230	226	165	133	64	13	8	6	161	129	62
K2+100	41	22	22	371	362	355	261	207	107	25	23	21	254	202	105
K2+150	41	22	22	167	162	159	116	96	52	21	13	10	113	93	51
K2+200	41	21	21	255	250	247	191	159	86	26	22	14	187	156	84
K2+250	41	22	22	244	238	232	179	145	72	19	11	8	174	141	70

Abscisa Km	Carga campo kN	Temperatura Pavimento °C	Temperatura Aire °C	D0 Campo µm	Do Carga µm	Do Temp 20°C µm	D1 Campo µm	D2 Campo µm	D3 Campo µm	D4 Campo µm	D5 Campo µm	D6 Campo µm	D1 Carga µm	D2 Carga µm	D3 Carga µm
K2+400	41	21	21	216	211	209	164	143	87	41	35	22	161	140	85
K2+450	41	24	24	222	216	208	161	132	68	21	11	6	157	129	66
K2+500	41	22	22	249	244	240	180	142	73	16	15	14	176	139	72
K2+550	41	22	22	297	291	283	210	168	84	23	15	11	206	165	83
K2+600	41	21	21	256	251	247	189	153	82	23	20	13	185	150	80
K2+650	41	22	22	229	223	218	160	128	69	26	17	13	156	125	67
K2+700	41	20	20	221	218	217	159	124	67	19	15	5	156	122	66
K2+750	41	21	21	262	257	254	192	156	78	20	12	9	188	153	76
K2+800	41	20	20	299	294	294	226	186	98	25	20	9	222	183	96
K2+850	41	23	23	298	292	282	219	180	94	32	24	21	215	176	92
K2+900	41	22	22	327	322	314	247	208	114	37	30	17	243	204	113
K2+950	41	22	22	246	240	234	183	153	76	20	13	11	179	149	74
K3+000	41	21	21	291	286	282	196	153	80	20	16	9	192	150	78
K3+050	41	23	23	291	284	274	193	149	76	23	15	12	189	146	75
K3+100	41	23	23	254	250	241	184	152	85	30	27	20	181	149	84
K3+150	41	21	21	118	115	114	87	77	46	23	16	13	84	75	45
K3+200	41	23	23	214	209	202	162	143	83	33	31	27	158	140	81
K3+250	41	20	20	293	287	286	206	164	82	22	15	13	202	160	80
K3+300	41	22	22	343	338	329	223	168	88	21	19	13	219	165	86
K3+350	41	21	21	171	166	165	127	110	60	24	16	12	124	107	59
K3+400	41	24	24	160	157	150	125	110	68	33	31	27	122	108	67
K3+450	41	21	21	212	207	205	146	116	61	21	15	13	142	113	60

Abscisa	D4	D5	D6	Carpeta	Material	H	H	H	Mr	Mr	Ep	SN	Radio de
Km	Carga	Carga	Carga	Asfáltica	Granular	total	total	max	AASHTO	AASHTO	AASHTO	AASHTO	curvatura
	µm	µm	µm	m	m	m	cm	m	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )		Rc
													(m)
K1+050	34	29	26.67	0.20	0.36	0.56	56	0.56	2,076	685	10,352	5.2	470
K1+100	25	21	13.58	0.20	0.36	0.56	56	0.56	4,004	1,321	5,912	4.4	517
K1+150	18	12	9.73	0.20	0.36	0.56	56	0.56	5,606	1,850	10,826	5.3	679
K1+200	24	22	18.00	0.20	0.36	0.56	56	0.56	3,115	1,028	6,066	4.4	406
K1+250	27	16	11.65	0.20	0.36	0.56	56	0.56	4,672	1,542	11,753	5.5	992
K1+300	21	18	12.20	0.20	0.36	0.56	56	0.56	4,672	1,542	7,734	4.8	496
K1+350	19	13	10.21	0.20	0.36	0.56	56	0.56	5,606	1,850	4,635	4.0	359
K1+400	35	29	16.61	0.20	0.36	0.56	56	0.56	3,298	1,088	7,701	4.8	665
K1+450	25	16	11.74	0.20	0.36	0.56	56	0.56	4,672	1,542	4,186	3.9	338
K1+500	35	31	21.08	0.20	0.36	0.56	56	0.56	2,670	881	6,765	4.6	595
K1+550	21	14	11.25	0.20	0.36	0.56	56	0.56	5,097	1,682	8,953	5.0	762
K1+600	17	15	10.72	0.14	0.22	0.36	36	0.36	5,097	1,682	12,149	3.6	781
K1+650	17	11	8.74	0.14	0.22	0.36	36	0.36	6,229	2,056	14,520	3.8	880
K1+700	24	22	16.67	0.14	0.22	0.36	36	0.36	3,298	1,088	7,120	3.0	401
K1+750	25	19	16.08	0.14	0.22	0.36	36	0.36	3,504	1,156	28,368	4.7	1,042
K1+800	27	21	7.39	0.14	0.22	0.36	36	0.36	8,009	2,643	4,679	2.6	473
K1+850	20	10	5.38	0.14	0.22	0.36	36	0.36	11,212	3,700	5,624	2.8	573
K1+900	27	22	9.78	0.14	0.22	0.36	36	0.36	5,606	1,850	5,019	2.6	403
K1+950	35	25	20.12	0.14	0.22	0.36	36	0.36	2,803	925	4,276	2.5	268
K2+000	12	11	6.81	0.14	0.22	0.36	36	0.36	8,009	2,643	4,967	2.6	417
K2+050	13	8	5.85	0.15	0.20	0.35	35	0.35	9,344	3,083	4,867	2.5	440
K2+100	24	23	20.02	0.15	0.20	0.35	35	0.35	2,803	925	4,082	2.4	284
K2+150	20	12	9.25	0.15	0.20	0.35	35	0.35	6,229	2,056	9,136	3.1	619
K2+200	25	21	13.22	0.15	0.20	0.35	35	0.35	4,312	1,423	5,683	2.7	488
K2+250	18	11	7.80	0.15	0.20	0.35	35	0.35	7,008	2,313	5,128	2.6	481
K2+300	30	25	15.65	0.15	0.20	0.35	35	0.35	3,504	1,156	3,375	2.3	273
K2+350	43	32	27.03	0.15	0.21	0.36	36	0.36	2,076	685	7,757	3.1	473

Abscisa Km	D4 Carga µm	D5 Carga µm	D6 Carga µm	Carpeta Asfáltica m	Material Granular m	H total m	H total cm	H max m	Mr AASHTO (Kg/cm <sup>2</sup> )	Mr AASHTO Diseño (Kg/cm <sup>2</sup> )	Ep AASHTO (Kg/cm <sup>2</sup> )	SN AASHTO	Radio de curvatura Rc (m)
K2+500	16	15	13.24	0.15	0.21	0.36	36	0.36	4,312	1,423	5,906	2.8	453
K2+550	23	14	10.80	0.15	0.21	0.36	36	0.36	5,097	1,682	4,389	2.5	359
K2+600	23	19	12.73	0.15	0.21	0.36	36	0.36	4,312	1,423	5,665	2.8	466
K2+650	25	16	12.71	0.15	0.21	0.36	36	0.36	4,312	1,423	6,801	2.9	456
K2+700	19	14	4.44	0.15	0.21	0.36	36	0.36	14,016	4,625	4,692	2.6	500
K2+750	20	12	8.34	0.14	0.14	0.28	28	0.28	7,008	2,313	4,373	2.0	446
K2+800	25	20	8.36	0.14	0.14	0.28	28	0.28	7,008	2,313	3,568	1.8	428
K2+850	31	23	20.10	0.14	0.14	0.28	28	0.28	2,803	925	6,334	2.2	396
K2+900	36	30	16.26	0.14	0.14	0.28	28	0.28	3,504	1,156	4,516	2.0	391
K2+950	19	13	10.24	0.14	0.14	0.28	28	0.28	5,606	1,850	5,481	2.1	500
K3+000	19	16	8.34	0.14	0.14	0.28	28	0.28	7,008	2,313	3,778	1.9	327
K3+050	22	15	11.25	0.14	0.22	0.36	36	0.36	5,097	1,682	4,585	2.6	321
K3+100	30	26	19.68	0.14	0.22	0.36	36	0.36	2,803	925	7,381	3.0	443
K3+150	22	15	12.21	0.14	0.22	0.36	36	0.36	4,672	1,542	18,350	4.1	1,008
K3+200	32	30	25.89	0.14	0.22	0.36	36	0.36	2,156	712	12,167	3.6	601
K3+250	22	15	12.24	0.14	0.18	0.32	32	0.32	4,672	1,542	4,455	2.3	359
K3+300	21	18	12.81	0.14	0.18	0.32	32	0.32	4,312	1,423	3,775	2.1	259
K3+350	23	15	11.69	0.14	0.18	0.32	32	0.32	4,672	1,542	10,403	3.0	718
K3+400	32	30	25.98	0.14	0.18	0.32	32	0.32	2,156	712	25,497	4.0	880
K3+450	20	15	12.67	0.14	0.18	0.32	32	0.32	4,312	1,423	7,680	2.7	473

