

TESIS DE GRADO

**ESTUDIO DEL DETERIORO PREMATURO EN EL TRAMO DE LA
CARRERA 33 ENTRE CALLE 52-56 DE LA CIUDAD DE BUCARAMANGA**

**MIYER HERNANDO CELY ESPINOSA
HECTOR GONZALEZ GOMEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2006.**

TESIS DE GRADO

**ESTUDIO DEL DETERIORO PREMATURO EN EL TRAMO DE LA
CARRERA 33 ENTRE CALLE 52-56 DE LA CIUDAD DE BUCARAMANGA**

**MIYER HERNANDO CELY ESPINOSA
HECTOR GONZALEZ GOMEZ**

**Trabajo de grado realizado en la modalidad de tesis de grado
Como requisito para optar al titulo de: Ingeniero civil**

**Director:
EDUARDO CASTAÑEDA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FISICOMECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2006.**

AGRADECIMIENTOS

A Dios,

A mi madre, Martha por el apoyo incondicional en la construcción de todos mis sueños

A mi abuela, Marina por aguantarme todos estos años... gracias nonita

A mi abuelo, Abel por su buen ejemplo y apoyo

A todos mis familiares y amigos que creyeron en mí

Al profesor Eduardo por su acompañamiento en la realización de este estudio.

El mayor placer de la vida

Es compartir las metas alcanzadas

Con los seres queridos.

Héctor González Gómez

AGRADECIMIENTOS

A Dios,

*A mi padre Luís Enrique por el apoyo incondicional en la construcción de todos mis
sueños*

A todos mis familiares y amigos que creyeron en mí

Al profesor Eduardo por su acompañamiento en la realización de este estudio.

Miyer Hernando Cely

CONTENIDO

	Pag
INTRODUCCIÓN	13
1. OBJETIVOS.....	14
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
2. GENERALIDADES	15
2.1 LOCALIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO	16
2.2 Clima.....	16
2.3 Drenaje de la vía.	17
2.4 Geometría.....	18
2.5 Alcance de los trabajos de rehabilitación.....	19
2.5.1 Calzada N-S	20
2.5.2 Calzada S-N	21
2.6 PERCANCES PRESENTADOS DURANTE LA EJECUCIÓN DEL LOS CONTRATOS.....	22
2.7 Primeras fallas del pavimento.....	23
3. ESTUDIO DE LAS CONDICIONES DEL PAVIMENTO	24
3.1 Inventario de daños.....	24
3.2. Deflectometría.....	32
3.3 CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES.....	35
3.3.1 Base Granular	37
3.3.2 Sub-rasante.	40
3.3.3 Concreto Asfáltico calzada Norte-Sur y Sur-Norte.	47
4. MODELAMIENTO	49
4.1 CARACTERISTICAS DEL BACKMOD2005	49
4.2. Parámetro de entrada de datos en BACKMOD2005.....	49
4.2.1 Presión de inflado y presión de contacto.	50
4.3. Retrocalculo para el punto correspondiente a la abcisa K0+060 de la calzada Norte-Sur.	51
4.4. Modelamiento mediante la utilización del software inpacó.	52
4.5 Comparación de módulos encontrados con el cono de penetración Vs Deflexiones características de cada punto analizado.	56
5. ANALISIS DE RESULTADOS.....	57
5.1 Calculo de las repeticiones de carga aplicada.....	57
5.1.1 Calculo del número de ejes equivalentes para cada calzada.....	57
5.2 Características de fatiga en mezcla asfáltica [Ecuación Instituto Asfalto].....	58
5.2.1 Calculo de las repeticiones de carga que soporta la estructura de pavimento.....	59
5.3 Relación de capacidad de soporte de la subrasante	62
5.4 Relación de la capacidad de soporte de la estructura asfáltica con el transito actual	63
SUGERENCIAS.....	67
CONCLUSIONES	69
BIBLIOGRAFÍA.....	71
ANEXOS	72

LISTA DE FIGURAS

	Pag
Figura 2. 1 Ubicación del tramo correspondiente a la carrera 33 con calles 52 y 56 de la ciudad de Bucaramanga.	16
Figura 2. 2 Graficas climatologías medias mensuales de Bucaramanga	17
Figura 2. 3 Colectores de drenaje laterales calzada S-N.....	18
Figura 2. 4 Colectores de drenaje laterales calzada N-S	18
Figura 2. 5 Sección transversal de la estructura de pavimento	19
Figura 2. 6 Estado inicial de la calzada N-S antes del inicio de las obras	20
Figura 2. 7 Bacheo transversal y Afectadas de la calzada N-S.....	21
Figura 2. 8 Bacheo y aplicación del refuerzo calzada N-S	21
Figura 3. 1 Fallas tipo piel de cocodrilo a lo largo de la calzada Norte-Sur. K0+180.....	27
Figura 3. 2 Desprendimiento de la capa de rodadura. K0+250.....	27
Figura 3. 3 Detalle de espesores de refuerzo colocado Calzada Norte – Sur. K0+180	28
Figura 3. 4 Estado de la geomalla extraída del carril N-S. K0+160	28
Figura 3. 5 Detalle del refuerzo extraído durante un bacheo de reparación realizado calzada N-S. K0+120	29
Figura 3.6 Asentamientos alrededor de las estructuras hidráulicas Calzada Sur-Norte.	31
Figura 3. 7 Medición de la deflexión del pavimento con la viga Belkelman.....	32
Figura 3. 8 Geometría de la viga Belkelman utilizada.....	32
Figura 3. 9 Resultados obtenidos en el ensayos de deflexión con viga Belkelman sentido N-S.	33
Figura 3. 10 Resultados obtenidos en el ensayo de deflexión con viga Belkelman Sentido S-N.	34
Figura 3. 11 Foto tomada durante el proceso de corte y extracción de muestras para las dos calzadas.	35
Figura 3. 12 Detalle del espesor de carpeta de rodadura utilizada en la calzada N-S.....	36
Figura 3. 13 Detalle de espesor de la Base y geotextil trenzado utilizado en la calzada S-N.	36
Figura 3. 14 Extracción del material de base de la calzada S-N.	37
Figura 3. 15 Granulometría de las muestras extraídas a lo largo de la calzada S-N.....	38
Figura 3. 16 Granulometría tipo BG1 INVIAS VS Granulometría encontrada en campo.	39
Figura 3. 17 Descripción del cono dinámico de penetración.	41
Figura 3. 18 Fotos tomadas durante la ejecución del ensayo de cono dinámico en cada calzada.....	42
Figura 3. 19 Ensayo de cono dinámico y medición de penetración vertical.....	42
Figura 3. 20 Grafica de índice de penetración.	43
Figura 3. 21 Grafico de correlación DCP VS CBR calculados para calzada N-S.	45
Figura 3. 22 Grafico de correlación DCP VS CBR medidas en campo carril S-N.....	46

LISTADO DE TABLAS

Tabla 2. 1 Resumen da las suspensiones durante la ejecución de los dos contratos	22
Tabla 3. 1 Inventario de fallas calzada N-S	25
Tabla 3. 2 Inventario de fallas calzada S-N	29
Tabla 3. 3 Deflexiones más representativas obtenidas en campo calzada Norte-Sur.	33
Tabla 3. 4 Deflexiones más representativas obtenidas en campo calzada Sur-Norte.	34
Tabla 3. 5 Composición de cada una de las muestras de base extraídas.	39
Tabla 3. 6 Valores de CBR para Sub-rasante calzada N-S	45
Tabla 3. 7 Valores de CBR para Sub-rasante calzada S-N.	46
Tabla 3. 8 Porcentaje de vacíos calzada N-S	48
Tabla 3. 9 Resultado de laboratorio en el cálculo de porcentaje de vacíos para cada uno de los núcleos extraídos calzada S-N.....	48
Tabla 4 1 Módulos y esfuerzos calculados en Bacmod2005 e Inpaco, para la deflexión representativa y máxima medida en las dos calzadas.	55
Tabla 4 2 Correlación de Módulos calculados con Deflectometría Vs Cono de penetración.	56
Tabla 5. 1 Movimiento medido en las dos calzadas en estudio	57
Tabla 5. 2 Resultado del análisis de fatiga calzada Sur-Norte.....	60
Tabla 5. 3 Resultado del análisis de fatiga calzada Norte-Sur.....	61
Tabla 5. 4 Análisis de falla por deformación plástica en la subrasante	62
Tabla 5. 5 Análisis del diseño por capas de la estructura asfáltica calzada Norte-Sur.	65
Tabla 5. 6 Análisis del diseño por capas de la calzada Sur-Norte.....	66

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 Deflexiones tomadas en campo con viga belkelman en la carrera 33 con calles 52 y 56.....	73
ANEXO 2 Resumen volúmenes horarios de tráfico de la zona.....	77
ANEXO 3 Ensayo de granulometría al material de base extraído en el carril s-n.....	78
ANEXO 4 Ensayo penetración	82
ANEXO 5 Resultado del análisis de solidez con sulfato a los agregados de base del tramo oriental (S-N).	87
ANEXO 6 Resultado ensayos porcentaje de vacíos de las muestras extraídas.	88
ANEXO 7 Ensayo peso específico aparente de mezclas asfálticas compactadas (bulk)...	90
ANEXO 8 Propiedades mecánicas y físicas de la geomalla utilizada como refuerzo.....	91

RESUMEN

TITULO: ESTUDIO DEL DETERIORO PREMATURO EN EL TRAMO DE LA CARRERA 33 ENTRE CALLE 52-56 DE LA CIUDAD DE BUCARAMANGA *

AUTORES: CELY ESPINOSA, Miyer hernando
GONZALEZ GOMEZ, Héctor **

PALBRAS CLAVES: Deterioro prematuro, Deflectometría, DCPI, Deformación plástica, Adherencia, Ligado.

DESCRIPCION: El proyecto tiene como fin explicar las causas del deterioro acelerado de la estructura asfáltica, ubicada en las calzadas Norte-Sur y Sur-Norte de la carrera 33 en la ciudad de Bucaramanga Santander. Se recopila información de la fallas existentes y de los materiales utilizados, además explicara las causas que conllevaron al deterioro acelerado de las estructuras asfáltica rehabilitadas, mediante la modelación y aplicación de teorías racionales y mecanicistas.

Se modelo mediante la utilización de software de diseño de pavimentos con la información recopilada para así poder hacer un estimativo de la capacidad de soporte de cada estructura y poderlo relacionar con el transito que actualmente circula.

Se concluyo que el deterioro de la carpeta de refuerzo de la calzada Norte-Sur fue debido a la mala utilización de geomallas colocadas como refuerzo en la estructura de pavimento de la calzada Norte-Sur impidiendo la adherencia entre la carpeta asfáltica colocada como refuerzo y la existente para la calzada Sur-Norte se presentaron Problemas de compactación de los rellenos utilizados en las conducciones de alcantarillado, pozos y cajas de cableado además las Capas de concreto asfáltico presentaron un alto contenido de aire y la Estructura asfáltica presento dimensiones insuficientes para el soporte del trafico.

* Modalidad tesis de grado

** Facultad Físico Mecánicas
Escuela de Ingeniería Civil
Director: Eduardo Castañeda

ABSTRACT

TITLE: STUDY OF DETERIORATION PREMATURE IN THE SIDE OF THE STREET 33 BETWEEN STREET 52 AND 56 OF THE CITY OF BURAMANGA SANTANDER.*

AUTHOR: CELY ESPINOSA, Miyer hernando

GONZALEZ GOMEZ, Héctor **

KEY WORDS: Deterioration premature, DCPI, Index of penetration, CBR, Deformation plastic.

DESCRIPTION: The project has as end to explain the causes of the quick deterioration of the asphaltic structure, located in the roadways North-south and South-north of the career 33 in the city of Bucaramanga Santander. Information of the existent flaws is gathered and of the used materials, he/she also explained the causes that bore to the quick deterioration of the rehabilitated asphaltic structures, by means of the modelling and application of rational theories and mechanics.

You models by means of the use of software of design of pavements with the information gathered for this way to be able to make an value of the capacity of support of each structure and to be able to him to relate with the I traffic that at the moment it circulates.

You concludes that the deterioration of the portfolio of reinforcement of the roadway North-south was due to the bad geogrid use placed as reinforcement in the structure of pavement of the roadway North-south impeding the adherence among the asphaltic portfolio placed as reinforcement and the existent one for the roadway South-north Problems of strikes of the fillers they were presented used in the sewer system conductions, wells and boxes of having also wired the Layers of concrete asphaltic they presented a high content of air and the asphaltic Structure I present insufficient dimensions for the support of the I traffic.

* Degree thesis modality

** Mechanical ability Physique
School of Civil Engineering
Director: Eduardo Castañeda

INTRODUCCIÓN

El nivel de servicio que presenta la infraestructura vial de nuestras ciudades es deficiente y se ubica por debajo de los umbrales de sensibilidad de los usuarios y de intervención oportuna.

Durante este estudio se pondrá en práctica los conocimientos adquiridos proponiendo modelos que represente el comportamiento de la estructura con los materiales que actualmente la componen, y comparar su capacidad con la sollicitación de carga que actualmente esta expuesta.

En este estudio, se tomaron muestras de campo para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los materiales utilizados en cada calzada. Se realizaron ensayos de deflexión, directamente sobre el pavimento, mediante la utilización de viga Belkelman, esto con el fin de evaluar los esfuerzos en los que esta sometido la estructura. Se midieron lo espesores de las capas de la estructura de pavimento, y se hizo recopilación de las fallas producidas en campo, con fin de clasificar los daños y dar con el origen de estos.

Para su evaluación mecánica fueron realizados ensayos de laboratorio de las muestras que se extrajeron en campo, permitiendo adelantar conclusiones acerca de las fallas presentadas en cada uno de las calzadas en estudio.

1. OBJETIVOS

El estudio que aquí se presenta tiene los siguientes objetivos

1.1 OBJETIVO GENERAL

El desafío del estudio es, proponer modelos de comportamiento de la estructura del pavimento ubicada en la carrera 33 entre calles 52 y 56 de la ciudad de Bucaramanga y relacionar la capacidad de la estructura con el tránsito que por ella circula.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Concretamente se pretende

- Explicar las causas del deterioro prematuro de pavimento flexible ubicado en la carrera 33 con calles 52 y 56 de la ciudad de Bucaramanga.
- Estimar los esfuerzos a los que han sido sometidos los materiales del pavimento.
- Establecer un modelo mediante la utilización de un software de diseño de pavimentos con la información recopilada.

2. GENERALIDADES

El tramo entre la carrera 33 con calles 52 y 56 de la ciudad de Bucaramanga, comprendido los carriles Norte-Sur y Sur-Norte fue rehabilitado mediante la colocación de refuerzo asfáltico, con el propósito de mejorar el confort y las condiciones en que se encontraban las estructuras, sin embargo al poco tiempo de haber hecho estos trabajos las estructuras presentaron señas de deterioro prematuro en el a lo largo de cada calzada intervenida. En este documento se recopila información de la fallas existentes y de los materiales utilizados, además explicara las causas que conllevaron al deterioro acelerado de las estructuras asfáltica rehabilitadas, mediante la modelación y aplicación de teorías racionales y mecanicistas.

2.1 LOCALIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

La estructura de pavimento se encuentra localizada en la carrera 33 entre calles 52 y 56 de la ciudad de Bucaramanga, corresponde a una zona comercial con alto flujo vehicular en ambos sentidos, el tramo afectado tiene una longitud aproximada de 360 m y dos calzadas de 6.50 m de ancho cada una.

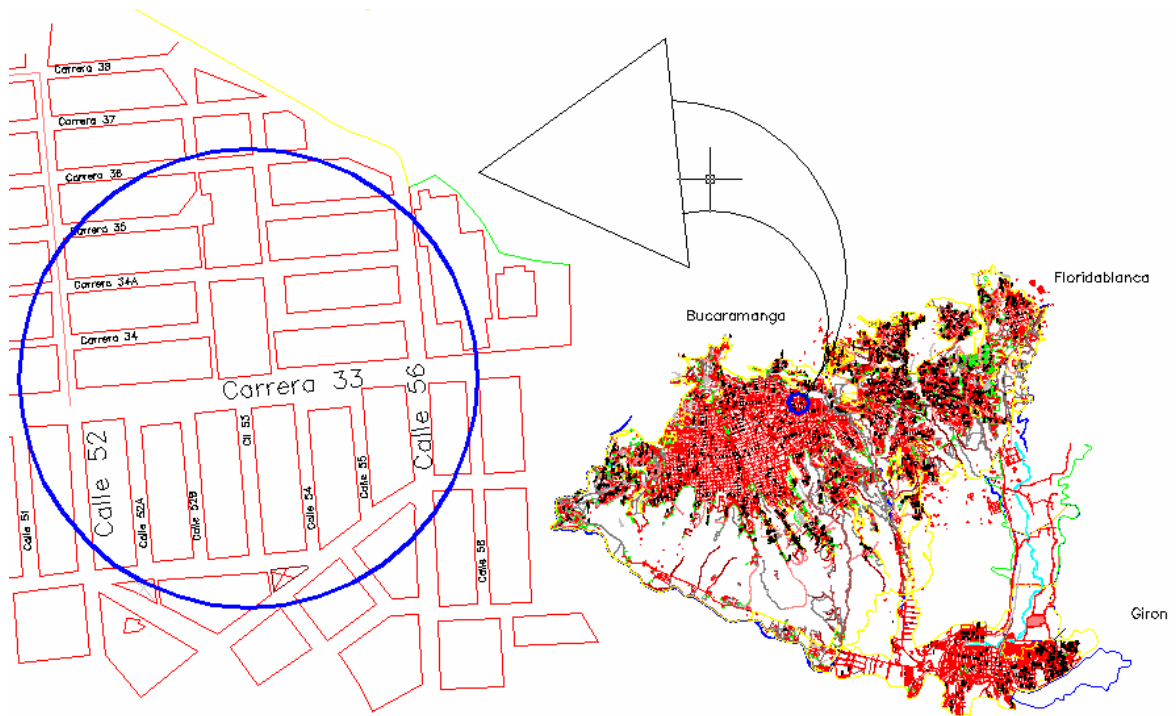


Figura 2. 1 Ubicación del tramo correspondiente a la carrera 33 con calles 52 y 56 de la ciudad de Bucaramanga.

2.2 Clima

La acción de las lluvias y los cambios de temperatura influyen en el comportamiento de un pavimento flexible. Bajo condiciones especiales un cambio de temperatura puede llegar a ocasionar deformaciones o agrietamiento que influyen en el nivel de servicio de la vía.

La siguiente información fue suministrada por el IDEAM tomando las cartas climatológicas medias mensuales.

En la figura 2.3 se observa la temperatura de la ciudad, oscilando entre 17 y 27 °C, también se muestran las precipitaciones medias mensuales en la ciudad.

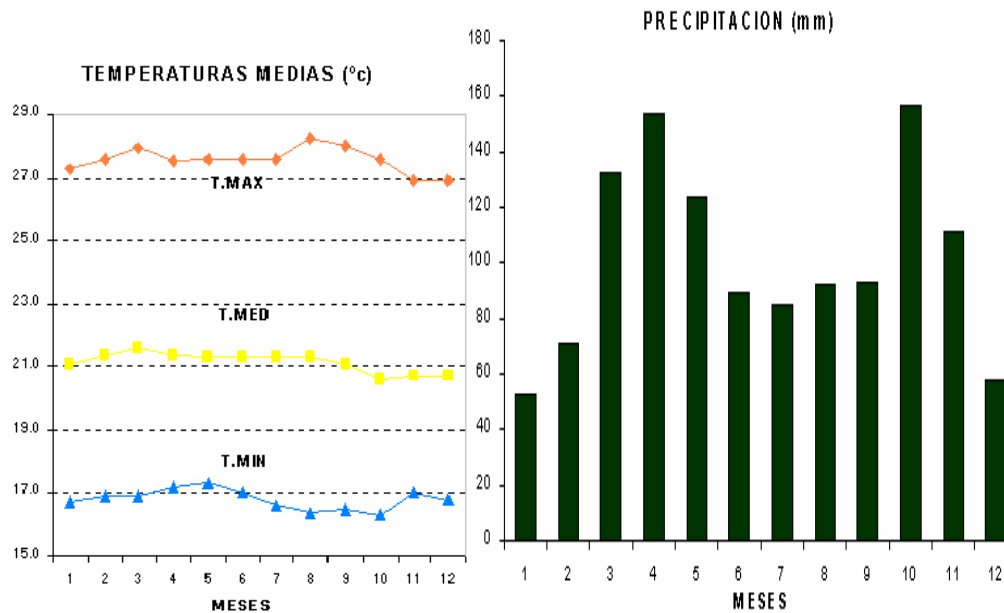


Figura 2. 2 Graficas climatológicas medias mensuales de Bucaramanga

2.3 Drenaje de la vía.

Los tramos en estudio cuentan con bombeo que permite que el agua superficial escurra desde el hombro mas elevado (separador) hacia el hombro mas bajo (anden), estas escorrentías son recogidas por estructuras hidráulicas ubicadas a lo largo del trayecto (sumideros), permitiendo su evacuación hacia la tubería

principal ubicada bajo la calzada. La calzada S-N cuenta con tres estructuras laterales de recolección de aguas lluvias espaciados 140 m, mientras que la N-S tiene dos estructuras de captación lateral espaciados 160 m. ver Figuras 2.3 y 2.4.



Figura 2. 3 Colectores de drenaje laterales calzada S-N



Figura 2. 4 Colectores de drenaje laterales calzada N-S

2.4 Geometría

En la figura 2.5 e muestra la sección transversal de las dos calzadas que corresponden a la zona de estudio, se muestran las dimensiones de las capas de pavimento y ubicación de las estructuras laterales de recolección de aguas lluvias.

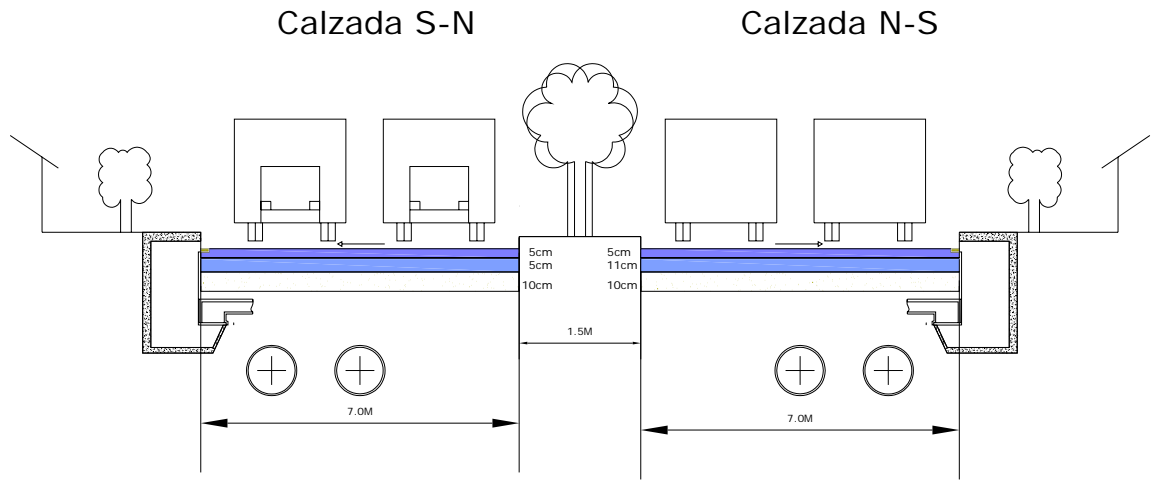


Figura 2. 5 Sección transversal de la estructura de pavimento

2.5 Alcance de los trabajos de rehabilitación.

Una de las primeras tareas ejecutadas en el desarrollo del estudio permitió coleccionar información de la ejecución de las obras. Según la información documentada en fotografías e informes de interventora técnica suministrada por la

secretaria de infraestructura¹, podemos apreciar el estado de la estructura antes de realizar las recuperaciones. Las rehabilitaciones comprendieron las siguientes actividades en cada una de las calzadas

2.5.1 Calzada N-S

- Lavado superficie pavimento afectado
- Bacheo fisuras existentes en cada carril
- Remoción Parcial del toda la carpeta afectada
- Colocación de refuerzo de geomalla y aplicación de 5 cm. de carpeta de refuerzo por parte de CONSTRUCTORA MP LTDA Ver figuras 2.6-2.8.



Figura 2. 6 Estado inicial de la calzada N-S antes del inicio de las obras

¹ Alcaldía de Bucaramanga.Oficina 301



Figura 2. 7 Bacheo transversal y Afectadas de la calzada N-S.



Figura 2. 8 Bacheo y aplicación del refuerzo calzada N-S

2.5.2 Calzada S-N

Para la calzada S-N los trabajos de rehabilitación comprendieron.

- Remoción carpeta asfáltica y material de base
- Compactación de la base y subrasante.
- Colocación geotextil de refuerzo de subrasante.
- Colocaciones de tubería de alcantarillado y compactación por parte CDMB
- Colocación de cableado telefónico por parte de Tele Bucaramanga.
- Colocación de carpeta de refuerzo de 10 cm.

2.6 PERCANCES PRESENTADOS DURANTE LA EJECUCIÓN DEL LOS CONTRATOS

En el informe final de interventoría, presentado en Abril del 2003, se consigna algunos percances presentados durante la ejecución de los contratos. Este informe realizado por la ingeniera Myriam Luz Franco (contrato N° 024 del 2001) indica que las obras de repavimentación en la calzada N-S, fueron suspendidas en dos ocasiones (Ver tabla 2.1). Un segundo informe realizado por el ingeniero Cesar Granados adscrito a la Secretaría de Infraestructura, presentado en noviembre 18 2004, indica las suspensiones realizadas en los trabajos de pavimentación de la calzada S-N (ver tabla 2.1 Calzada S-N), en este informe también se consigna que la estructura de repavimentación de la calzada S-N, no fue construida como se planeo inicialmente, faltando por colocar 4cm de pavimento.

Tabla 2. 1 Resumen da las suspensiones durante la ejecución de los dos contratos

	CALZADA N-S	CALZADA S-N
CONTRATO DE OBRA PUBLICA	N°. 158 de Diciembre 30 de 2002	N°. 148 de Diciembre 24 de 2002
DEPENDENCIA	Secretaria de Infraestructura	Secretaria de Infraestructura
CONTRATISTA	Constructora MP Ltda.	Uricoechea Calderón y Cia Ltda.
PLAZO	Veinte (20) Días calendario	Veinte (20) Días calendario
FECHA DE INICIACIÓN	Diciembre 31 del 2002	Diciembre 26 del 2002
FECHA DE SUSPENSIÓN	Enero 14 de 2003	Enero 10 de 2003
FECHA DE REINICIACIÓN	Marzo XX de 2003	Marzo 28 de 2003
FECHA DE TERMINACION	Abril XX de 2003	Abril 04 de 2003

2.7 Primeras fallas del pavimento.

Según informe técnico de la calzada S-N, realizado por el ingeniero Cesar Granados adscrito a la Secretaría de Infraestructura – sección vías, presentado en noviembre 18 de 2004, se hicieron visitas al lugar y observaron diferentes tipos de daños como fisuras y deformaciones y se tomaron medidas enviando oficio al contratista de la obra, para que explicara el por que de los daños y que además respondiera por los trabajos entregados.

La firma URICOECHEA CALDERON Y Cía. Ltda.; contratista de la obra envió respuesta en donde aclaraba que para ellos la estructura que se le ordenó colocar era insuficiente para soportar las cargas, argumentado que los daños que se habían presentado a lo largo de las líneas de conducción de alcantarillado, debido a problemas de compactación en los rellenos. (“trabajo que no había sido ejecutado por la firma”) y falta de filtros en el calzada S-N. Esta empresa sin embargo realizó trabajos de bacheo en las zonas mas afectadas.

3. ESTUDIO DE LAS CONDICIONES DEL PAVIMENTO

Durante el presente estudio se hicieron ensayos de campo y de laboratorio con el fin de evaluar y modelar la estructura existente, a partir de datos reales de las propiedades de los materiales y espesores de las capas, para dar luces sobre las fallas presentadas.

Los estudios realizados en las dos calzadas N-S Y S-N comprenden:

- **Inventario de fallas presentadas en la estructura de pavimento.**
- **Ensayo de Deflectometría con Viga Belkelman.**
- **Extracción de núcleos de pavimento cada 100 m.**
- **Análisis granulométrico de las muestras de base extraídas.**
- **Ensayo de penetración de cono dinámico in situ.**
- **Modelamiento.**

3.1 Inventario de daños.

Se hizo un levantamiento de información sobre el estado de la estructura del pavimento en ambos costados de la carrera 33 entre calle 52 y 56, con el fin de clasificar las fallas y encontrar las posibles causas.

Cuando una determinada falla alcanza cierta magnitud, esta progresa hasta que alcanza otro tipo de falla mayor, dificultando su interpretación. En las tablas 3.1 y 3.2 se recopilaron las fallas encontradas en cada tramo en estudio.

Tabla 3. 1 Inventario de fallas calzada N-S

ABCISADO	TIPO DE FALLA	Observaciones
K0+00- K0+014	Piel de cocodrilo	❖ Grietas interconectadas de aprox. 30cm ancho a lo largo del eje de calzada
K0+014- K0+024	Piel de cocodrilo	❖ Baches en el carril derecho y formación de nuevas grietas longitudinalmente.
K0+024- K0+030	Piel de cocodrilo Descascaramientos	❖ Fallas a lo largo carril ❖ Desprendimiento carpeta superior
K0+045- K0+055	Piel cocodrilo	❖ Falla longitudinal 30 cm ancho en el carril derecho y desprendimientos capa rodadura.
K0+055- K0+080	Piel de cocodrilo Descascaramientos	❖ Bacheo parcial costado derecho, desprendimiento bacheo.
K0+080- K0+130	Falla reparada	❖ Bacheo longitudinal de 50 cm ancho por el centro toda calzada
K0+130- K0+140	Falla reparada	❖ Bacheo a lo largo de 10mx50cm carril derecho + bacheo centro carril izquierdo de 10mx2.5m.
K0+140- K0+155	Piel de cocodrilo longitudinales y transversales	❖ Bacheos ambos costados de la calzada, formación de nuevas grietas de malla
K0+155- K0+170	Piel de cocodrilo	❖ Bacheos ambos lados de la calzada en 60% formación de nuevas gritas.
K0+170- K0+180	Piel de cocodrilo	❖ Bacheo longitudinal costado derecho ❖ Fallas grietas longitudinales tipo piel cocodrilo costado izquierdo.
K0+180- K0+190	Falla recuperada	❖ Bacheo 80% de ambos carriles
K0+190- K0+200	Piel cocodrilo	❖ Grieta 50 % costado izquierdo y grietas

		de 30cm ancho, por el centro de toda la calzada.
K0+200- K0+215	Piel cocodrilo	❖ Grietas longitudinales de 30 cm de ancho, por el centro de la calzada
K0+215- K0+235	Falla reparada	❖ Bacheo carril izquierdo y parte del derecho
K0+235- K0+245	Piel cocodrilo desprendimiento	❖ Fallas longitudinales 30 cm de ancho por el centro de ambos carriles, y desprendimiento puntuales a lo largo de este trayecto.
K0+250	Descascaramiento Piel cocodrilo	❖ Perdidas total del refuerzo superior 40cm de diámetro, grietas longitudinales eje central carril derecho.
K0+250- K0+265	Piel cocodrilo	❖ Fallas de 30 cm de ancho parte central de cada carril.
K0+265	Descascaramiento	❖ Desprendimiento total carpeta refuerzo por el centro de la calzada.
K0+265- K0+280	Piel cocodrilo	❖ Grietas longitudinales de 30cm ancho por el centro cada carril.
K0+280	Desprendimiento	❖ Desprendimiento carpeta refuerzo de 30cmx40cm, en el carril derecho fallas longitudinales centro carril derecho e izquierdo
K0+280- K0+310	No hay falla	❖ Tramo sin fisuras
K0+310- K0+340	Piel de cocodrilo	❖ Fallas longitudinales 20cm ancho centro carril derecho.
K0+340- K0+350	No hay fallas	❖ Pavimento sin fallas
K0+350- K0+360	Piel cocodrilo Desprendimientos	❖ Fallas longitudinales de 40cm ancho con levantamientos totales carpeta superior de 40cmx20cm y 40cmx5cm a lo largo del centro del carril derecho

En las Figuras 3.1 y 3.2 se aprecian el tipo de falla presentadas en la calzada N-S.



Figura 3. 1 Fallas tipo piel de cocodrilo a lo largo de la calzada Norte-Sur. K0+180.



Figura 3. 2 Desprendimiento de la capa de rodadura. K0+250

Cerca de un 70% de la calzada Norte-Sur se encuentra averiada presentando en la mayoría de los casos descascaramiento de la carpeta superior de pavimento.

En las figuras 3.3 y 3.4 se aprecia el espesor del refuerzo de carpeta asfáltica utilizada y la geomalla utilizada como refuerzo. La geomalla en las labores de mantenimiento se observó que se encontraba despegada del refuerzo asfáltico, lo cual evitaba la adherencia con la capa inferior y superior.

Figura 3. 3 Detalle de espesores de refuerzo colocado Calzada Norte – Sur. K0+180

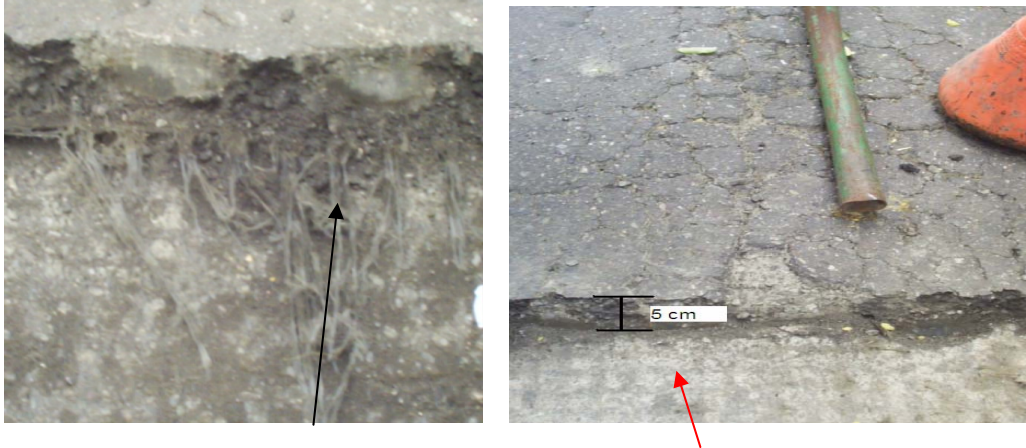
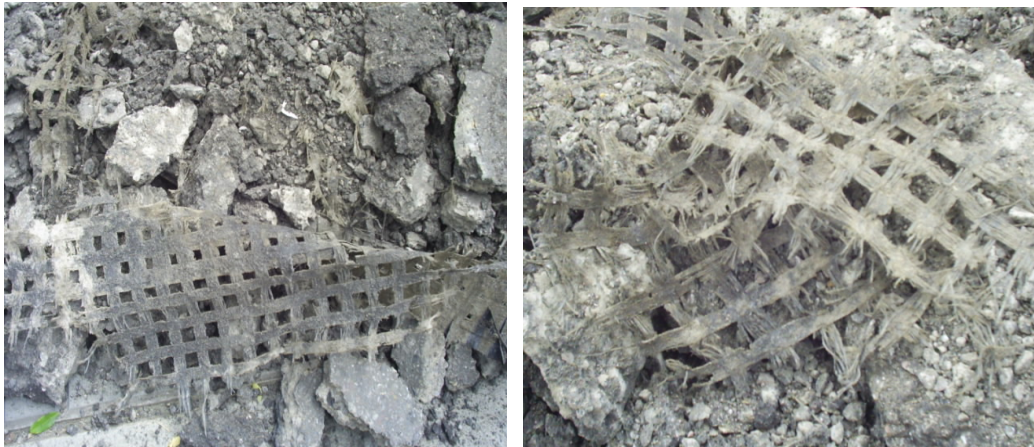


Figura 3. 4 Estado de la geomalla extraída del carril N-S. K0+160



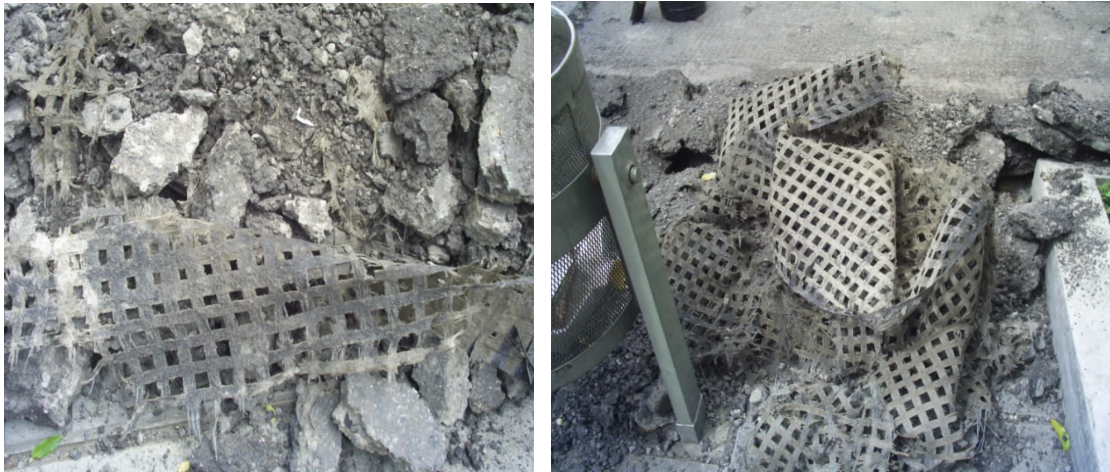


Figura 3. 5 Detalle del refuerzo extraído durante un bacheo de reparación realizado calzada N-S. K0+120

Tabla 3. 2Inventario de fallas calzada S-N

ABCISADO	TIPO DE FALLA	Observaciones
K0+015-K0+024	Piel de cocodrilo Y Asentamientos	❖ Grieta en un 50 % costado derecho de la calzada y grietas longitudinales de 40cm ancho, por la línea de alcantarillado de la CDMB.
K0+30-K0+40	Bacheo	❖ Fallas reparadas en el costado derecho de la calzada.
K0+50	Asentamientos	❖ Se presenta hundimiento de la carpeta asfáltica a los costados de las estructuras de cableado.
K0+50-k0+85	Bacheo	❖ Bacheo a lo largo de la línea de alcantarillado de 70cm de ancho en el costado derecho de la calaza
K0+110	Asentamientos	❖ Hundimiento de la carpeta asfáltica en los costados de las tapas de cableado.
K0+130-k0+135	Bacheo	❖ Bacheo ubicado a lo largo la línea de alcantarillado con 70cm de ancho costado derecho de la calzada.

K0+170	Ojo de pescado	❖ Ubicado en el carril izquierdo de 0.7m ancho x 0.4m.largo
K0+220	Asentamiento	❖ Hundimiento de la carpeta asfáltica a los costados de la tapa de estructuras de cableado.
K0+240-K0+260	Piel de cocodrilo	❖ Grietas interconectadas longitudinalmente en el costado derecho de la calzada de 0.4 m ancho.
K0+265-K0+270	Bacheo	❖ Falla reparada longitudinal en el Costado derecho de la calzada de 3 m de ancho.
K0+275	Asentamiento	❖ Hundimiento de la carpeta asfáltica hacia los costados de la tapa del pozo de la CDMB.
K0+280-K0+285	Bacheo	❖ Reparación de fallas ubicadas en el costado derecho de la calzada.
K0+360	Ojo de pescado	❖ Desprendimientos a la largo del costado derecho con dimensiones de 0.4m ancho X 0.7m largo.
K0+360	Asentamiento	❖ Hundimiento carpeta asfáltica lo largo del drenaje lateral en el carril derecho.

Una vez realizado la inspección visual de las calzadas afectadas, se puede concluir:

- ❖ La calzada N-S se encuentra en un 80% especialmente por grietas tipo piel de cocodrilo y desprendimiento de la capas superior. La mayoría de las fallas presentadas se presentan en la carpeta superior colocada como refuerzo.
- ❖ En la calzada S-N se observaron fallas de hundimiento y fractura en la mayoría de las estructuras de alcantarillado y cableado.

- ❖ En la calzada S-N se observaron fallas en 70% de las conducciones de alcantarillado y pozos.
- ❖ Los tipos de fallas comunes en la calzada S-N son similares a las del costado N-S a excepción de presencia de asentamientos en las líneas y estructuras de alcantarillado y cableado.

Fotografías tomadas de los daños producidos en la calzada S-N.

F S-N K0+030



S-N K0+240



S-N K0+180



S-N K0+280



S-N K0+290

S-N K0+240

Figura 3.6 Asentamientos alrededor de las estructuras hidráulicas Calzada Sur-Norte.

3.2. Deflectometría

Para conocer los diferentes estados y propiedades del pavimento se hicieron ensayos de deflexión mediante la viga Belkelman doble, cada 20 metros en ambos costados de las calzadas N-S y S-N. Se utilizó una volqueta con carga aproximada de 8.2 ton en el eje trasero.



Figura 3. 7 Medición de la deflexión del pavimento con la viga Belkelman.

Las mediciones se ejecutaron en los costados izquierdos y derechos de cada calzada, con fin de tener mayor confiabilidad en las mediciones tomadas.

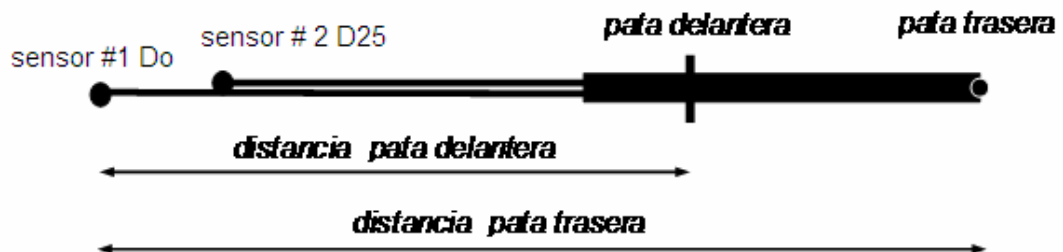


Figura 3. 8 Geometría de la viga Belkelman utilizada

En la figuras 3.9 y 3.10 ilustran las deflexiones de la estructura de pavimento, en los dos costados de cada calzada.

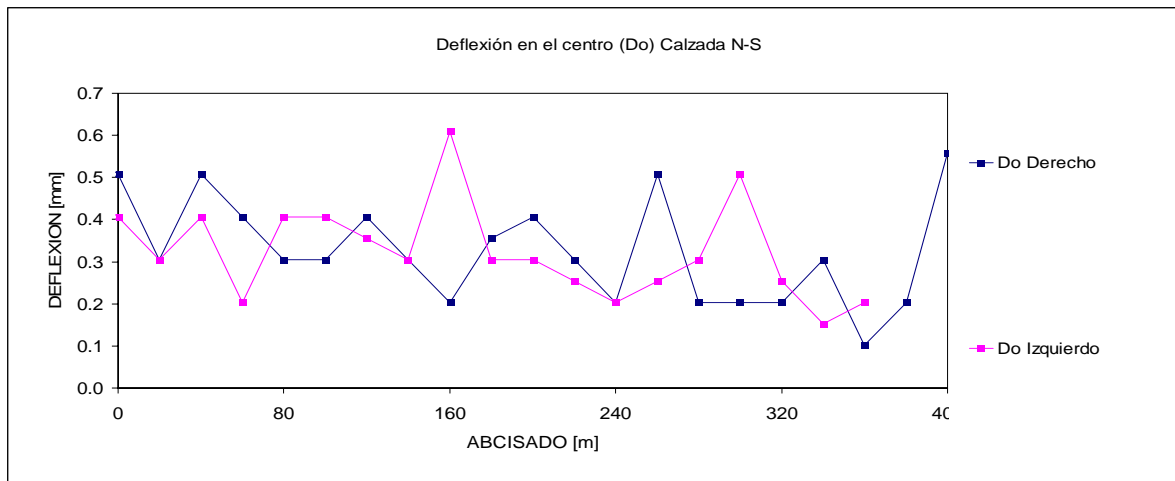


Figura 3. 9 Resultados obtenidos en el ensayos de deflexión con viga Belkeman sentido N-S.

En la figura 18 se observa similitud en las medidas tomada al lado y lado de la calzada, sin embargo la mayoría de los puntos con mayor deflexión se midieron en el costado izquierdo de la calzada ubicado cerca del andén.

Tabla 3. 3 Deflexiones más representativas obtenidas en campo calzada Norte-Sur.

SECTORIZACIÓN CALZADA NORTE-SUR		
Puntos analizados	Total puntos medidos Costado Derecho 20	
25% de los puntos medidos	Deflexión característica [mm]	0.508
Costado Derecho	Deflexión promedio [mm]	0.32
K0+160	Deflexión máxima [mm]	0.61

Para los análisis se tuvieron en cuenta los valores más representativos así como los máximos tomados en la calzada norte-sur (ver tabla 4).

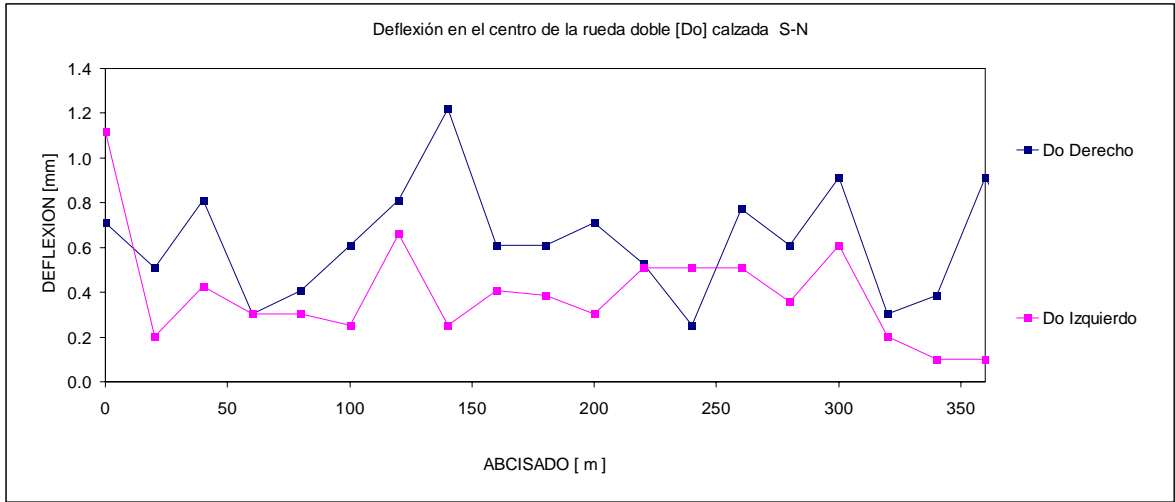


Figura 3. 10 Resultados obtenidos en el ensayo de deflexión con viga Belkelman Sentido S-N.

Para la calzada Sur-Norte se midieron la mayor parte de las deflexiones en el costado derecho (ubicado cerca del andén de la calzada). En este costado se encuentran las conducciones y las estructuras hidráulicas anteriormente mencionadas.

Tabla 3. 4 Deflexiones más representativas obtenidas en campo calzada Sur-Norte.

SECTORIZACIÓN CALZADA SUR-NORTE		
Abcisa	Total puntos medidos Costado Derecho	
	19	
25% de los puntos medidos	Deflexión característica [mm]	0.8128
Costado Derecho	Deflexión promedio [mm]	0.63
K0+140	Deflexión máxima [mm]	1.219

3.3 CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES

Para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los materiales utilizados en las repavimentación de las calzadas Norte-Sur y Sur-Norte, se extrajeron núcleos del material de base y concreto asfáltico.

Se hicieron sondeos para la extracción del material asfáltico utilizado en la repavimentación de las dos calzadas. Para la calzada Sur-Norte se extrajo material de base, con el fin de determinar el tipo de material granular utilizado. Para la calzada Norte-Sur no se hizo extracción de base ya que la repavimentación solo comprendió la colocación del refuerzo de 5cm en la carpeta antigua. Las muestras extraídas se llevaron al laboratorio para su caracterización



Figura 3. 11 Foto tomada durante el proceso de corte y extracción de muestras para las dos calzadas.

En los puntos donde se hizo cada sondeo se midieron espesores del material de base y concreto asfáltico.

En la figura 3.12 y figura 3.13 se aprecian los detalles de cada una de las estructuras de pavimento encontradas en las dos calzadas.



Figura 3. 12 Detalle del espesor de carpeta de rodadura utilizada en la calzada N-S.



Figura 3. 13 Detalle de espesor de la Base y geotextil trenzado utilizado en la calzada S-N.

En la figura 3.14 se muestra los espesores de base y carpeta asfáltica utilizada en este costado, además se aprecia la geotextil de refuerzo utilizado entre la base y la sub-rasante.



Figura 3. 14 Extracción del material de base de la calzada S-N.

La figura 3.14 ilustra la extracción del material de base colocado en la repavimentación de la calzada Sur-Norte.

3.3.1 Base Granular

Al material de base extraído de la calzada Sur-Norte se hizo granulometría para determinar el tipo de material y comparar con la mezcla exigida por el INVIAS para este tipo de aplicación. El estudio del material de base extraído en este costado se hizo ya que este material había sido colocado durante la repavimentación.

En la figura 3.15 se resume el resultado del ensayo granulométrico hecho a cada una de las muestras extraídas en la calzada S-N.

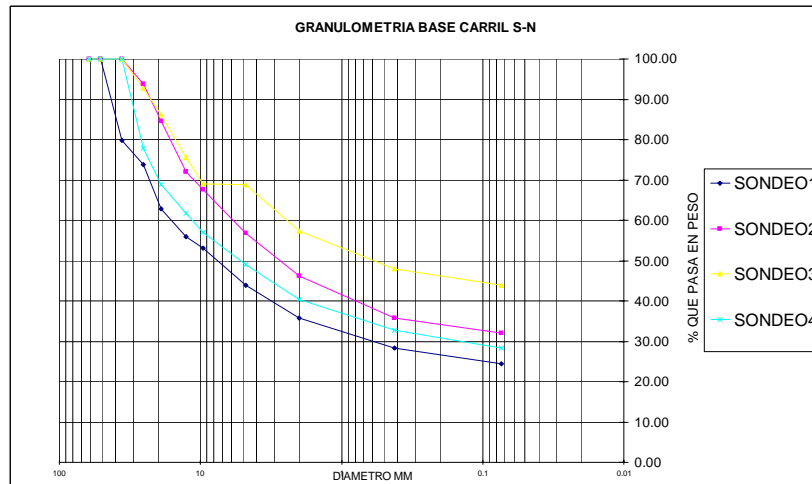


Figura 3. 15 Granulometría de las muestras extraídas a lo largo de la calzada S-N.

Las muestras extraídas a lo largo de este costado, se ensayaron por separado con el fin de hacer un comparativo de la composición del material a lo largo de toda la calzada.

Una vez hecho el análisis de granulometría se comparan estas muestras con las mezclas que el INVIAS (Instituto Nacional de Vías), sigue para que puedan ser utilizadas como capa de base en una estructura de pavimento flexible. Ver figura 3.16.

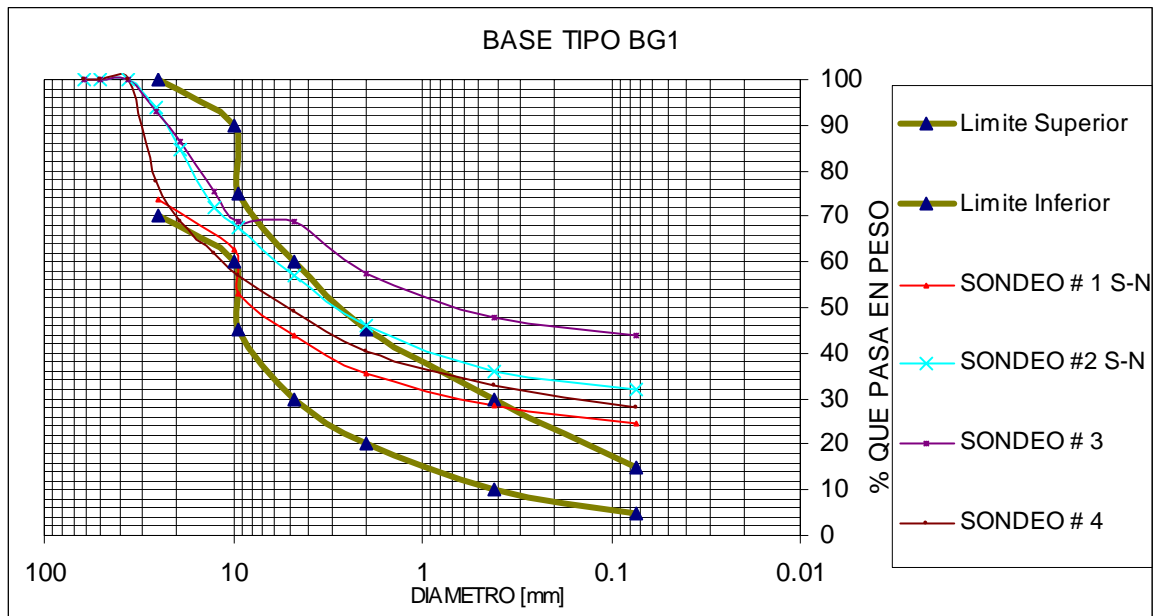


Figura 3. 16 Granulometría tipo BG1 INVIAS VS Granulometría encontrada en campo.

Tabla 3. 5 Composición de cada una de las muestras de base extraídas.

EXTRACCIÓN	COMPOSICION DE LA BASE %	
	#1	GRAVAS=
	ARENAS =	19.5
	FINOS=	24.4
#2	GRAVAS=	56.1
	ARENAS =	19.5
	FINOS=	24.4
#3	GRAVAS=	56.1
	ARENAS =	19.5
	FINOS=	24.4
#4	GRAVAS=	56.1
	ARENAS =	19.5
	FINOS=	24.4

Del acuerdo al análisis granulométrico del material de base realizado, se observa que este material utilizado como base, en los diseño para la calzada Sur-Norte no cumple con las especificación expuestas por el INVIAS, debido a que presenta alto contenido de finos. Un material con altos contenidos de finos es propicio a presentar expansión y baja resistencia al soporte de carga.

3.3.2 Sub-rasante.

La sub-rasante es la capa de suelo natural que soporta la estructura de pavimento, de la calidad de esta depende en gran parte, el espesor que debe tener un pavimento. Para estimar un valor de resistencia a la sub-rasante existente en la zona de estudio se realizaron ensayos de cono dinámico en las dos calzadas.

❖ **Ensayo de Cono Dinámico en campo.**

El ensayo de cono dinámico me permitirá estimar la resistencia del suelo a la penetración y observar el grado de compactación del material ensayado.

❖ **Descripción física del cono dinámico de penetración.**

El cono dinámico de penetración DCP esta formado por dos tramos de varillas de 0.63 pulgadas de diámetro. La varilla superior guía la masa de 8 Kg. de peso que cae desde una distancia de 22.6 pulgadas sobre un mástil ubicado a 1/3 de su longitud total. La varilla inferior de 31.5 pulgadas posee una punta en forma de cono de 60° de inclinación; el mástil que hace que la pasa se detenga durante su caída posee una reglilla de graduación donde se mide la distancia vertical de penetración debido a la acción de la masa. La parte inferior se penetra al suelo hasta que el mástil quede casi en contacto con este. Ver figura 3.17.

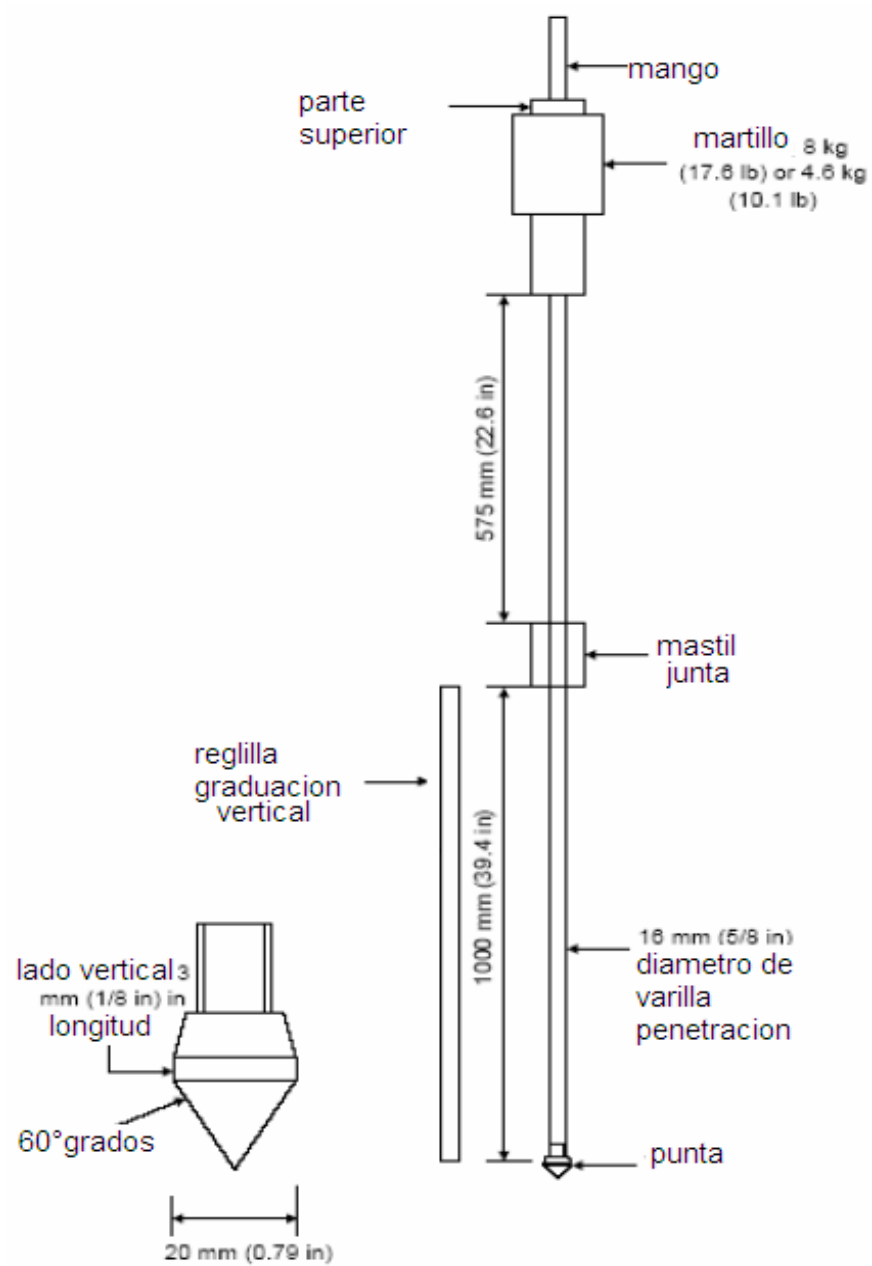


Figura 3. 17 Descripción del cono dinámico de penetración.

❖ **Operación del aparato.**

Se hicieron penetraciones cada 100 m a una profundidad de aproximadamente de 35 cm. La información recogida se tabuló en campo, tomando medidas de penetración del cono por cada golpe dado, en cada sondeo realizado. En la figuras 3.18 y 3.19 se muestra la ejecución del ensayo en campo.



Figura 3. 18 Fotos tomadas durante la ejecución del ensayo de cono dinámico en cada calzada.



Figura 3. 19 Ensayo de cono dinámico y medición de penetración vertical.

❖ Análisis de la información recolectada en campo DCP.

Los resultados arrojados por el cono dinámico de penetración se expresaron en términos de índices de penetración (PI), el cual es definido como la penetración vertical del cono debido al impacto producido por la masa (pulg/golpe o mm/golpe).

Una vez tomados los datos se graficaron cada uno de los puntos tomados en campo: Numero de Golpes en el eje X contra penetración en el eje Y. la grafica muestra los perfiles de cada una de las capas resistentes. El índice de penetración de cada tipo de capa se encontró a partir de las pendientes que generan los puntos graficados.

Como ejemplo en la figura 3.20, se ilustran los puntos medidos, para el primer ensayo realizado en la calzada Norte-Sur Abcisa K0+100. Los resultados calculados se resumen en las tablas 3.6 y 3.7.

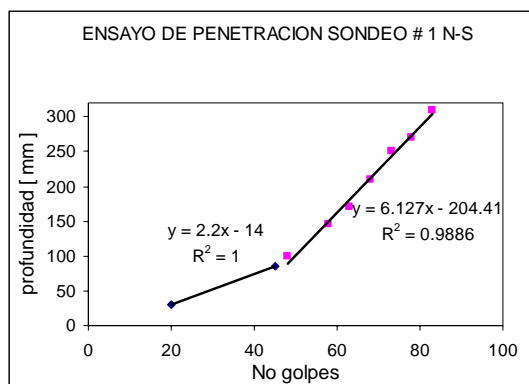


Figura 3. 20 Grafica de índice de penetración.

Según figura 3.20 el valor del índice de penetración medido en la capa de base y sub-rasante es de 2.2 y 6.127 respectivamente. Con estos valores se pudo estimar la resistencia de soporte de cada capa ensayada.

❖ **Relación entre la resistencia a la penetración (DCP) y CBR (California Bearing Ratio).**

Una vez determinado los IP para cada una de las calzadas, se utilizaron algunas de las relaciones empíricas de resistencia a la penetración DCP y CBR sacadas a partir muchos estudios realizados como el de; (Kleyn, 1975; Harinson, 1987; Liveh, 1987; Livneh e Ishai, 1988; Chua, 1988; Harinso 1983; Van Vuuren, 1969; Livheh, et al, 1992; Livneh y Livneh, 1994; Ese et. Al, 1994 y Coñees, 1999). Con base a resultados obtenidos durante estos estudios, muchas relaciones tienen la forma;

$Log(CBR) = a + b \times Log(DCPI)$; Donde DCPI= Índice de penetración DCP (mm/golpe);

a= Constante que oscila desde 2.44 a 2.70; y

b=constante que oscila desde -1.07 a -1.27.

Mediante la ecuación $Log(CBR) = 2.56 - 1.16 * LOG(DCPI)$, expuesta por Livneh (1987), para el tipo de suelo de base “granular y cohesivo”, y subrasante “arcilloso PR>10” podemos predecir el valor de CBR y conocer la capacidad portante de cada capa encontrada en las dos calzadas.

En la figura 3.21 y 3.22 se muestran resumido el valor calculado de CBR correspondiente a la sub-rasante de la estructura de pavimento de cada calzada.

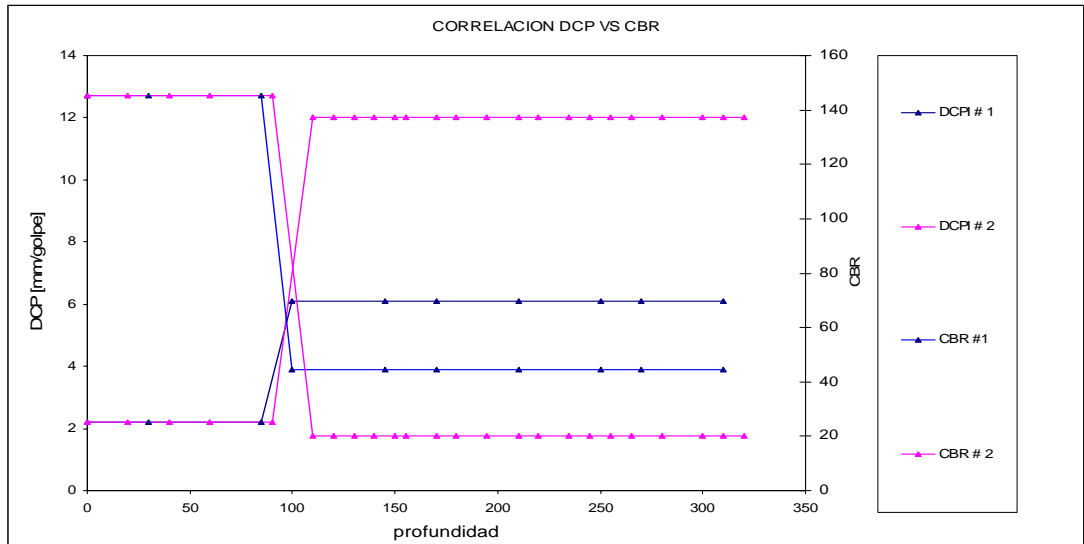


Figura 3. 21 Grafico de correlación DCP VS CBR calculados para calzada N-S.

Tabla 3. 6 Valores de CBR para Sub-rasante calzada N-S

ABCISADO	ENSAYOS	CAPAS DE SUELO	CBR	DCPI [mm/golpe]
K0+100	SONDEO #1	SUBRASANTE	44.6	6.1
K0+180	SONDEO #2	SUBRASANTE	20.3	12

En los resultados de los ensayos de cono dinámico realizados en la calzada Norte-Sur Ver tabla 3.6, se observa el valor de la resistencia de soporte correspondiente a las abscisas K0+060 y K0+180.

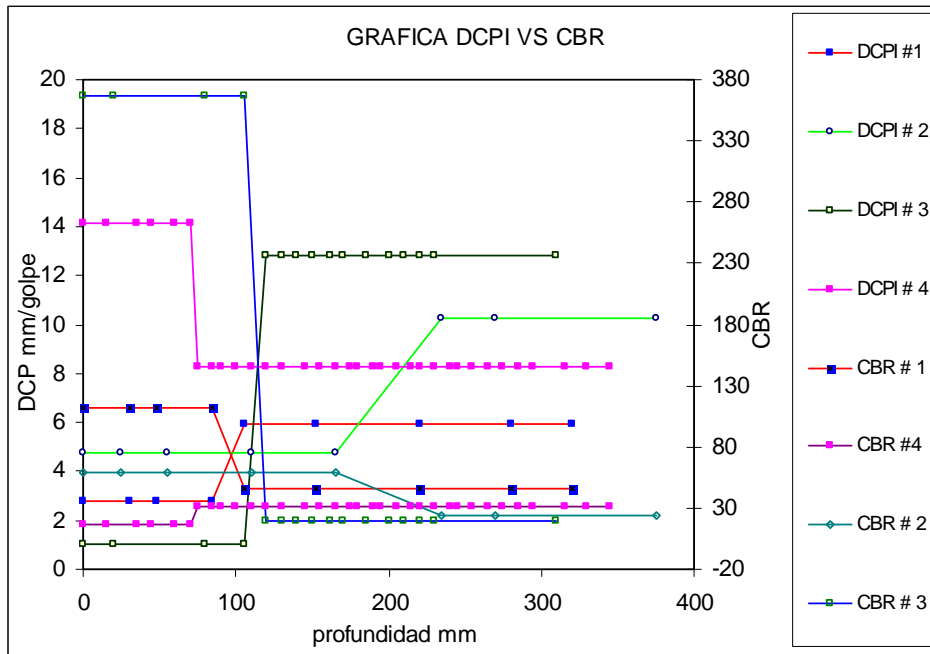


Figura 3. 22 Grafico de correlación DCP VS CBR medidas en campo carril S-N.

Tabla 3. 7 Valores de CBR para Sub-rasante calzada S-N.

ABCISA	ENSAYOS	CAPAS DE SUELO	CBR	DCPI [mm/golpe]
K0+100	SONDEO #1	SUBRASANTE	46.3	5.9
K0+180	SONDEO #2	SUBRASANTE	24.3	10.28
k0+270	SONDEO #3	SUBRASANTE	18.8	12.82
K0+360	SONDEO #4	SUBRASANTE	31.3	8.27

En la tabla 3.7 se aprecia la resistencia de soporte de la sub-rasante calculada con el ensayo de cono dinámico. La calzada Sur-Norte presenta variabilidad en la resistencia de la sobranite. Las capas de la calzada Norte-Sur (ver tabla 3.6) se aprecian valores de resistencia de soporte buenas para los dos tipos de materiales existentes.

3.3.3 Concreto Asfáltico calzada Norte-Sur y Sur-Norte.

El contenido de asfalto y de aire son parámetros importantes que permite determinar la resistencia de la mezcla asfáltica ante las cargas producidas por el tráfico. Toda mezcla de concreto asfáltico deberá tener un % de vacíos, con el fin de que la mezcla se compacte dentro de ciertos rangos elásticos y evitar la exudación del asfalto con el paso del tráfico; el contenido de vacíos deberá estar entre 2 y 5% según lo establecido por las normas de diseño de pavimentos.

Determinación del porcentaje de aire contenido en la capa asfáltica;

$$\% \text{aire} = \left(1 - \frac{\gamma_{\text{aparente}}}{\gamma_{\text{mm}}} \right) * 100$$

γ_{aparente} = Densidad de la muestra teniendo en cuenta los vacíos con aire de los agregados.

γ_{mm} = Densidad máxima que pueda tener la muestra sin vacíos en los agregados.

En las tablas 6 y 7 se aprecian los resultados para cada una de las muestras. Para los núcleos extraídos de la calzada Sur-Norte fue necesario cortar la probeta con el fin de separar las capas ligadas y hacer por separado los ensayos correspondientes a la caracterización. Los vacíos calculados a las muestras de la calzada Norte-Sur se hicieron solamente a los 5cm de refuerzo superior.

Tabla 3. 8 Porcentaje de vacíos calzada N-S

Costado N – S Sondeos	% Vacíos
#4	2.94
#3	2.48
#2	8.8
#1	6.52

En los resultados obtenidos para la calzada N-S [ver tabla 3.8], se aprecian algunos valores altos en comparación con lo recomendado, además se presenta heterogeneidad en las muestras ensayadas.

Tabla 3. 9 Resultado de laboratorio en el cálculo de porcentaje de vacíos para cada uno de los núcleos extraídos calzada S-N

Sondeos	Costado S-N	%vacíos
#4	Superior	9.06
	Inferior	9.94
#3	superior	8.69
	Inferior	9.53
#2	Superior	8.72
	Inferior	7.56
#1	Superior	10.40

En los resultados obtenidos en el laboratorio [ver tabla 3.9] se aprecia heterogeneidad en el contenido de vacíos de la calzada S-N, los rangos en el porcentaje de vacíos en una mezcla ideal esta entre 2 y 5%, debido a esto los valores arrojados en los ensayos, este pavimento presenta alto porcentaje de aire.

4. MODELAMIENTO

Para poder determinar los esfuerzos y características de los materiales existentes en cada una de las estructuras de pavimento, fue necesario la utilización de software que permiten el modelamiento de sistemas multicapas de una estructura de pavimento. Para este estudio se utilizaron dos programas computacionales; el primer programa utilizado fue el **BACKMOD2005** (“programa creado por el grupo de investigación de argentina IMAE”), este software, me permite determinar las características de los materiales a partir de las deflexiones previamente medidas en campo. Seguidamente se utilizó el Inpaco “programa creado por la universidad del cauca”, este programa me permite determinar las deformaciones debido a los esfuerzos tangencial y vertical ejercidos sobre cada una de las capas expuestas, dichas deformaciones se determinan a partir de los módulos calculados previamente por el Everesstres y las dimensiones tomadas en campo.

4.1 CARACTERISTICAS DEL BACKMOD2005

Este software permite el ajuste de los módulos y/o ecuaciones constructivas de las distintas capas de una estructura de pavimento, en base a unas mediciones de deformación en la superficie de la estructura. Los módulos ajustados para el presente estudio fueron los de la base y sub-rasante, determinados a partir de módulos asignados a las capas asfálticas.

4.2. Parámetro de entrada de datos en BACKMOD2005

Todos los métodos actuales de diseño ya sea racional e empírico, parten del estudio de parámetros iniciales que pueden medirse directamente, e utilizen en

el cálculo de variables más complejas; los parámetros de entrada utilizados por **BACKMOD2005** son:

4.2.1 Presión de inflado y presión de contacto.

La presión de contacto entre las llantas y el pavimento debe ser igual a la presión que ejerce el aire dentro de la llanta misma. Para la mayoría de los problemas, no obstante, se supone que la presión de contacto es uniforme, también se supone que la huella formada entre la superficie de pavimento y la llanta es circular. Por tanto el radio de carga será:

$$a = \left(\frac{P}{p * \pi} \right)^{\frac{1}{2}} ; \text{ Donde}$$

a= radio del área de contacto

P= Carga total sobre la llanta

p= Presión de la llanta (se supone igual a la presión de contacto)

Programa BACKMOD - IMAE para retroajuste modular
Tipo de auscultación de la deformada: Medición con Viga Benkelman múltiple

Benk. Múltiple	radio de carga (mm)	108	presión (MPa)	0.550
	inter eje (mm)	320	trocha (mm)	2200
	carga del eje (KN)	80.6		
	dist. pata del. (mm)	2700		
	dist. pata tras. (mm)	3610	número de vigas	2

Datos de la Deformada en carga medida

Distancia (mm)	0	250				
Deflexión(mm/1000)	837	557				

Datos de la Estructura

Código tipo de capa	Altura (mm)	Módulo (MPa)	Ecuación Mr			Relación modular	Poisson	Interfaz	Mod max (MPa)
			coef. A	coef. B	coef. C				
Dato	50	1000					0.35	Adheri.	
Dato	50	1000					0.40	Adheri.	
Dato	100	7					0.40	Adheri.	
Ajustar	2	2					0.40	Adheri.	100
Dato		10000					0.40		

Desarrollado por Laboratorio Vial IMAE - Quito H. Guevaran

Ejecutar Backmod

Guardar datos en: Tema:

Cargar datos

Figura 4. 1 Entrada de Datos BACKMOD2005

Una vez haya entrado la información básica al programa debemos colocar las deflexiones medidas en campo, para que el programa pueda comparar con la calculadas y su vez ajuste los módulos para cada capa.

4.3. Retrocálculo para el punto correspondiente a la abcisa K0+060 de la calzada Norte-Sur.

Los módulos en la sub-rasante se ajustaron en función de los módulos asignados a las capas superiores de cada una de las estructuras asfálticas analizadas. El valor de los módulos correspondientes a las capas asfálticas se colocó iguales a los de la base granular, con el fin de simular las condiciones actuales (figuración) de las carpetas asfálticas. Con este criterio se está suponiendo que el concreto asfáltico se está comportando como si fuese un material granular, ya que este al estar figurado disminuirá su resistencia original. Ver figura 4.2.

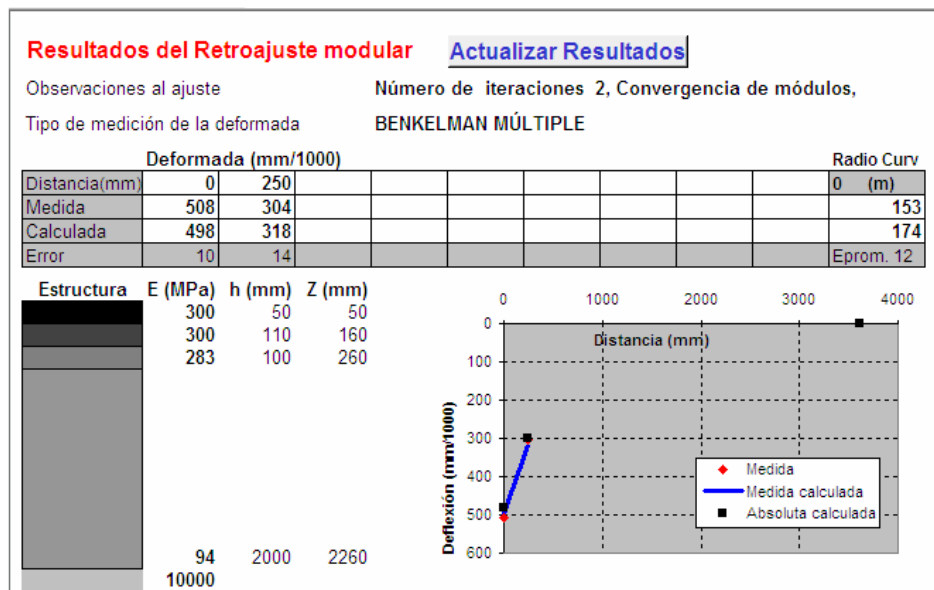


Figura 4. 2 Retroajuste modular para la abcisa K0+060 calzada Norte-Sur.

Una vez determinado las propiedades de las capas de pavimento en cada una de las calzadas N-S y S-N, mediante Inpaco se encontraron las deformaciones producidas en cada una de las capas de la estructura de pavimento.

4.4. Modelamiento mediante la utilización del software inpaco.

Este programa fue creado por el grupo de investigación de pavimentos de la universidad del cauca, el software calcula los esfuerzos y deformaciones máximas que una rueda doble colocada en la superficie produce en los niveles de interfase de un sistema multicapa Ver figuran 4.3, constituido por 4 capas caracterizadas por el espesor, modulo además calcula la deflexión y el radio de curvatura al centro de la rueda doble

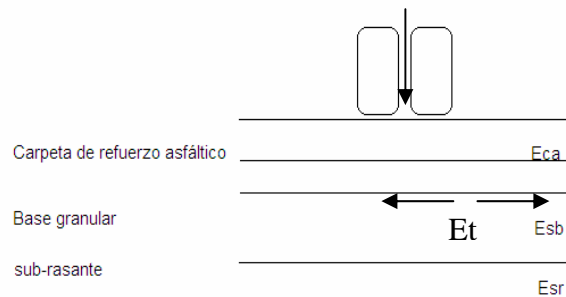


Figura 4. 3 Sistema multicapa elástico analizado en Inpaco.

CA= Carpeta Asfáltica ; ECA=Modulo Elástico carpeta asfáltica
 SB= Sub-base ; ESB =Modulo Elástico Sub base
 SR= Sub-rasante ; ESB= Modulo Resiliente subrasante

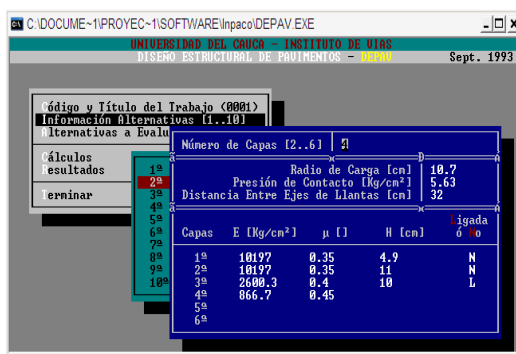


Figura 4. 4 Entrada de datos en el programa Inpaco.

Los parámetros de entrada en Inpaco son similares a los definidos en el Backmod2005, Ver Capítulo 4.2. Las deformaciones calculadas mediante Inpaco se obtuvieron a partir del módulo resiliente de la sub-rasante y base granular obtenidos previamente en Bacmod2005, para las capas asfálticas los módulos fueron asumidos como si el material asfáltico estuviese no figurado, se espera que bajo condiciones no figuradas este valor puede estar entre 1000 y 2000 MPA, para los modelos utilizados en este estudio se asumieron valores de 1000MPA.

Título del Trabajo : carril N-S					
Número de Capas : 4			Alternativa : 1		
Capa N ^o	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm ²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm ²)
1ª	0.00	2.3400E-04 B	6.3935E+00 B	-4.3300E-05 C	5.6287E+00 A
	4.90	-5.1900E-04 B	-4.6090E+00 B	8.3900E-04 A	5.6185E+00 B
2ª	4.90	4.9000E-04 B	9.9931E+00 B	-2.2600E-04 C	No Ligada
	15.90	-6.4300E-04 B	-8.0250E+00 B	7.0600E-04 B	2.1720E+00 B
3ª	15.90	3.6800E-04 C	2.9775E+00 B	-7.5100E-05 C	No Ligada
	25.90	-4.0800E-04 C	-7.6070E-01 B	6.4700E-04 B	2.1720E+00 B
Deflexión		=	64.490 mm/100		
Radio de Curvatura		=	74.670 m		

Figura 4. 5 Resultado de las deformaciones y esfuerzos calculados en Inpaco para la abcisa k0+060 de la calzada Norte-Sur.

Los anteriores pasos utilizados para el cálculo de módulos y deformaciones de las estructuras asfálticas, se siguieron para evaluar los puntos seleccionados en las dos calzadas.

En la tabla 4.1 los datos obtenidos en la columna 1 corresponden a los puntos más representativos y donde se presentan las máximas deflexiones. Los módulos de las capas asfálticas y granular de la columna 3 se asignaron asumiendo que actualmente el concreto asfáltico se está comportando como un material granular debido a la presencia de fisuras [ver figura 4.6 lado derecho], el modulo resiliente de la sub-rasante se determino mediante el retroajuste modular. Los valores de la columna 4 simulan las condiciones iniciales del concreto asfáltico antes de recibir carga, para este material los módulos elásticos se encuentran entre 1000 y 2000 MPa [ver figura 4.6 lado izquierdo]. Lo valores de las columnas 5 y 6 corresponde a las deformaciones tangenciales y verticales “en estados ligado y no ligado” calculados en las capas asfálticas y sub-rasante, utilizando los módulos de rigidez de la columna 4.

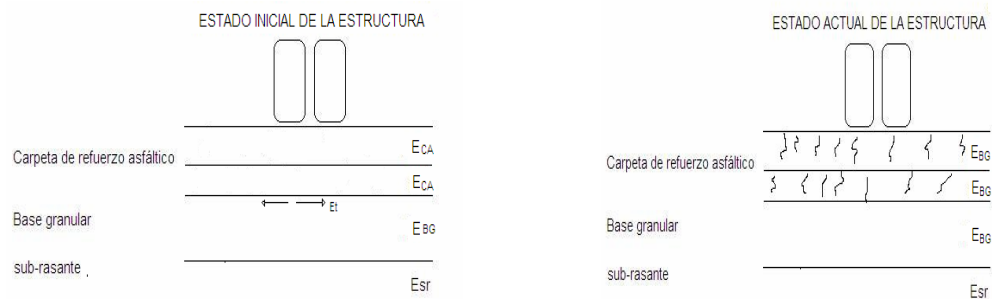


Figura 4. 6 Estado inicial y actual supuesto para la estructura de pavimento.

Tabla 4 1 Módulos y esfuerzos calculados en Bacmod2005 e Inpaco, para la deflexión representativa y máxima medida en las dos calzadas.

1		2	3	4	5	6	
SENTIDO	DEFLEXION MEDIDA EN CAMPO [mm]		ESTRUCTURA	MODULOS DEL ESTADO ACTUAL DE LA ESTRUCTURA ASFALTICA [MPa]	MODULOS DEL ESTADO INICIAL DE LA ESTRUCTURA ASFALTICA [MPa]	DEFORMACION EN LA FIBRA INFERIOR DE LAS CAPAS NO LIGADAS	DEFORMACION EN LA FIBRA INFERIOR DE LAS CAPAS LIGADAS
	NORTE-SUR	Deflexión Característica		0.508	Capa Asfáltica	300	1000
Capa Asfáltica			300		1000	6.43E-04	2.87E-04
Deflexión Máxima		0.609	Base Granular	285	285	9.00E-04	6.36E-4
			Sub rasante	95	95	5.34E-04	3.10E-04
SUR-NORTE	Deflexión promedio	0.609	Capa Asfáltica	255	1000	6.72E-04	3.10E-04
			Capa Asfáltica	255	1000	9.61E-4	6.93E-04
	Deflexión Máxima	1.219	Base Granular	255	255	7.87E-04	4.20E-04
			Sub rasante	85	85	7.57E-04	4.08E-04
Deflexión Característica	0.914	Capa Asfáltica	285	1000	1.68E-04	5.59E-04	
		Capa Asfáltica	285	1000	1.18E-03	6.76E-04	
		Base Granular	270	270	1.15E-03	7.24E-4	
Sub rasante	90	90	2.91E-03	1.03E-03			
Capa Asfáltica	180	1000	9.62E-04	5.78E-04			
Capa Asfáltica	180	1000	9.36E-04				
Base Granular	180	180	2.22E-03	7.59E-04			
Sub rasante	60	60					

4.5 Comparación de módulos encontrados con el cono de penetración Vs Deflexiones características de cada punto analizado.

Al comparar los módulos de la sub-rasante obtenidos a partir del ensayo de cono, con los obtenidos mediante el retrocálculo, se pudo observar diferencias entre los módulos calculados por cada ensayo. Estas diferencias en la resistencia de la sub-rasante se produjeron debido a que los retrocálculos realizados a partir de las deflexiones medidas, no coincidían con las deflexiones de las zonas donde se hicieron los ensayos de cono.

En la tabla 4.2 se observa los valores obtenidos de los módulos de la sub-rasante calculados mediante el retrocálculo, y los calculados por el cono de penetración. En la columna 4 se encuentran los módulos obtenidos a partir de retrocálculos realizados con Backmod2005 utilizando las deflexiones medidas en las zonas donde se realizaron los ensayos de cono [ver columna 1], bajo condiciones de capa ligada y no ligada. En la columna 5 se encuentran los módulos calculados a partir de los CBR obtenidos con el cono dinámico. Estos valores fueron calculados a partir de la relación por Huekelom y Klomp^[1]; $Esr=10.34 \cdot CBR$ [MPa] relación obtenida a partir de ensayos.

Sentido	Sondeos	Abcisa	1		2		3		4		5
			Deflexion Medida		Deflexion Calculada (No ligada)		Deflexion Calculada (Ligada)		Modulo Retrocalculo (MPa)		Modulo DCP
			Do (mm)	D25 (mm)	Do (mm)	D25 (mm)	Do (mm)	D25 (mm)	Esr- NL	Esr-L	E Surasante
NORTE-SUR	1	Ko + 060	0.203	0.152	0.207	0.147	0.206	0.149	185	175	460
	2	Ko + 180	0.304	0.152	0.288	0.172	0.284	0.177	214	193	210
SUR-NORTE	1	Ko + 060	0.307	0.284	0.344	0.234	0.337	0.244	131	116	478
	2	Ko + 180	0.609	0.406	0.589	0.429	0.587	0.431	67	64	251
	3	Ko + 270	0.355	0.304	0.394	0.255	0.372	0.234	123	135	194
	4	Ko + 370	0.914	0.355	0.915	0.579	0.819	0.494	55	56	323

Tabla 4 2 Correlación de Módulos calculados con Deflectometría Vs Cono de penetración.

NL: No ligado

ESr: Modulo de la sub rasante

L: Ligado

5. ANALISIS DE RESULTADOS

Los esfuerzos junto con las características del pavimento asfáltico, y base granular analizados previamente, se tuvieron en cuenta para determinar la fatiga del pavimento asfáltico. Además se analizó la deformación plástica en la sub-rasante en cada uno de los puntos estudiados de las dos calzadas en estudio.

5.1 Calculo de las repeticiones de carga aplicada

El daño causado por los vehículos en un pavimento depende de la magnitud de la carga en cada llanta y de la frecuencia con que estas cargas se aplican. Para el estudio realizado se tomaron datos de conteos de tráfico hechos por la UIS correspondientes al estudio realizado por SMTMB (sistema masivo de transporte metro línea de Bucaramanga).

Tabla 5. 1 Movimiento medido en las dos calzadas en estudio

AUTOS	BUSES	TAXIS	CAMIONES	TOTAL
1,214	803	1,128	0	3,145

% Autos	% Buses	%Taxis	%Camiones
38.6	25.5	35.9	0.0

5.1.1 Calculo del número de ejes equivalentes para cada calzada.

$$N = TPD * \frac{A}{100} * \frac{B}{100} * 365 * \frac{(1+r)^N - 1}{Ln(1+r)} * FC$$

TPD = Transito promedio diario inicial

A = Porcentaje estimado de vehículos pesados (buses y camiones).

B = Porcentaje de vehículos pesados que emplean el carril de diseño.

R = Rata anual de crecimiento del tránsito.

N = Periodo de diseño.

F.C = Factor de camión.

N= 10; Periodo de diseño.

R= 3%

El tipo de vehículo que producen daño que más transitan en este lugar corresponden a buses de servicio urbano de eje simple. Según estudios hechos por la universidad del Cauca el factor camión para este tipo de vehículo corresponde a al tipo Bus P-600.

F.C= 0.4; Factor de equivalencia para vehículo tipo Bus P-600.

A= 25.5%; Porcentaje de vehículos pesados (Buses y Camiones) que producen daño.

B= 100; Porcentaje de vehículos pesados que pasan por el carril de diseño.

Luego el número de ejes equivalentes para cada calzada:

$N=1'364.063$ ejes equivalentes en 10 años. Por tanto;

$N=136,406$ ejes equivalente por año.

5.2 Características de fatiga en mezcla asfáltica [Ecuación Instituto Asfalto]

La fatiga en mezclas asfálticas bajo repeticiones de carga es un factor importante en el diseño del pavimento.

Una variedad de métodos han sido desarrollados para ensayos de fatiga de mezclas asfálticas. Dos tipos de ensayos con carga controlada han sido usados: esfuerzos constantes y tensión constante. En el de esfuerzos constantes, el esfuerzo permanece constante pero la deformación se incrementa con un número de repeticiones de carga. El segundo la deformación permanece constante pero el esfuerzo decrece con el número de repeticiones. El tipo de presión de carga es aplicado a pavimentos de gran espesor con más de 6 in (152 mm). El ensayo de tensión constante es aplicado a pavimentos con menos de 2 in debido a que el esfuerzo en la capa asfáltica es controlado por las subcapas y esto no es afectado por la disminución de la rigidez.

Las ecuaciones de fatiga de laboratorio desarrolladas por el instituto del asfalto (AI 1980) son basados en tensiones constantes y pueden ser expresadas como:

$$Nf = 0.00432 * C * \varepsilon_i^{-3.291} |E^*|^{-0.854} \quad [1.0]$$

En donde C es un factor de correlación expresado como:

$$C = 10^M$$

Y

$$M = 4.84 * \left(\frac{V_b}{V_a + V_b} - 0.69 \right)$$

Vb: % asfalto en volumen de la mezcla asfáltica

Va: % aire en volumen de la mezcla asfáltica

Para que los resultados de la ecuación [1.0], puedan compararse con las condiciones de carga real de campo se debe multiplicar por un factor de 18.4, "Parámetro expuesto por el instituto del asfalto".

5.2.1 Calculo de las repeticiones de carga que soporta la estructura de pavimento

Las repeticiones de carga que puede soportar un pavimento utilizando la ecuación [1.0] se deben calcular teniendo en cuenta la composición de la mezcla en cuanto a porcentaje de aire y asfalto así como el la deformación en las capas asfálticas que producen las cargas que irá a soportar.

En la tabla 5.2 se aprecia los resultados de fatiga realizados bajo las condiciones de ligadura encontrados en la estructura de la calzada Sur-Norte.

Tabla 5.2 Resultado del análisis de fatiga calzada Sur-Norte.

			CALZADA SUR-NORTE				Capas ligadas
			Puntos medidos		Do	D25	
			Deflexión característica [mm]		0.6096	0.4064	
Muestra	% Asfalto	% Aire	Deformación Maxima Et condicion no ligado	Deformación Máxima Et [condicion ligado]	Numero de ejes que soportaría en condiciones ligadas	Numero de ejes que soportaría en condiciones no ligadas	Tiempo de vida util en años
1	11.00	10.40	7.87E-04	4.20E-04	56,677	7,175.8	0.416
2	11.00	8.72	7.87E-04	4.20E-04	92,411	11,699.9	0.677
			Total ejes por año			136,406.3	

			CALZADA SUR-NORTE				Capas ligadas
			Puntos medidos		Do	D25	
			Deflexión Max[mm]		1.219	0.609	
Muestra	% Asfalto	% Aire	Deformación Maxima Et [NL]	Deformación Máxima Et [Ligada]	Numero de ejes que soportaría en condiciones ligadas	Numero de ejes que soportaría en condiciones no ligadas	Tiempo de vida util en años
1	11.00	8.70	1.18E-03	6.76E-04	19,408	3,102.9	0.142
2	11.00	8.72	1.18E-03	6.76E-04	19,297	3,085.1	0.141
			Total ejes por año			136,406.3	

			CALZADA SUR-NORTE				Capas ligadas
			Puntos medidos		Do	D25	
			Deflexión ultimo tramo[mm]		0.9144	0.609	
Muestra	% Asfalto	% Aire	Deformación Maxima Et [NL]	Deformación Máxima Et [Ligada]	Numero de ejes que soportaría en condiciones ligadas	Numero de ejes que soportaría en condiciones no ligadas	Tiempo de vida util en años
1	11.00	8.70	9.62E-04	5.78E-04	32,496	6,077.3	0.238
2	11.00	8.72	9.62E-04	5.78E-04	32,310	6,042.4	0.237
			Total ejes por año			136,406.3	

En la tabla 5.2 se observa el resultado del análisis de fatiga realizado a la calzada Sur-Norte, utilizando la ecuación propuesta por el Instituto del Asfalto, en la tabla se resalta las deformaciones en las capas asfálticas y el número de aplicaciones que podría soportar el material asfáltico antes de fisurarse para condiciones de capa ligada. El contenido de aire en la mezcla y los deficientes espesores existentes en la estructura, hacen que se produzcan mayores deformaciones y por lo tanto se incrementa el debilitamiento de las capas asfálticas y a su vez exista una reducción de la vida útil de la estructura.

Tabla 5.3 Resultado del análisis de fatiga calzada Norte-Sur

			CALZADA NORTE-SUR				Capas no ligadas
			Puntos medidos		Do	D25	
			Deflexión Característica[mm]		0.508	0.304	
Muestra	% Asfalto	% Aire	Deformación Máxima Et condiciones no ligada	Deformación Máxima Et [Ligada]	Numero de ejes que soportaría en condiciones ligadas	Numero de ejes que soportaría en condiciones no ligadas	Tiempo de vida útil en años
1	11.00	2.94	6.43E-04	2.87E-04	4,269,974	300,256.4	2.2
2	11.00	2.48	6.43E-04	2.87E-04	5,744,845	403,966.5	3.0

			CALZADA NORTE-SUR				Capas no ligadas
			Puntos medidos		Do	D25	
			Deflexión Max[mm]		0.609	0.406	
Muestra	% Asfalto	% Aire	Deformación Máxima Et en condiciones no ligadas	Deformación Máxima Et [condicion ligado]	Numero de ejes que soportaría en condiciones ligadas	Numero de ejes que soportaría en condiciones no ligadas	Tiempo de vida útil en años
1	11.00	2.94	5.19E-04	3.10E-04	3,313,166.5	607,713.4	4.5
2	11.00	2.48	5.19E-04	4.08E-04	1,805,032.6	817,620.7	6.0
					Total ejes por año	136,406.3	

En los resultados obtenidos en el modelamiento de la calzada Norte-Sur ver tabla 5.3 se resaltan las deformaciones y numero de ejes que producen fisura en el concreto asfáltico. Comparando el contenido de aire en la mezcla de la estructura Norte-Sur vs Sur-Norte, se observa que esta, presenta menor contenido de aire y a su vez menores deformaciones, esto hace que la estructura pueda soportar mayores cargas y por lo tanto su vida útil sea mas prolongada. Sin embargo esta estructura se ve afectada por factores de no ligadura entre las capas encontradas en campo. La presencia de geomallas mal aplicadas hace que la carpeta asfáltica se deteriore prematuramente.

5.3 Relación de capacidad de soporte de la sub-rasante

Cuando la deformación vertical [Ev] por compresión de la sub-rasante supera el límite admitido por ella, se produce la deformación plástica y consecuentemente se ira a transmitir a las capas superiores de pavimento provocando el mismo tipo de falla. Para el análisis se utilizó la ecuación propuesta por Shell para el cálculo de las deformaciones verticales [Ev] producidas en la sub-rasante. Los valores admisibles de las deformaciones [Ev] se han obtenido a través de investigaciones de campo y de laboratorio encontrándose que esta es inversamente proporcional al transito. Relación expresada mediante la ecuación:

$E_v = 2.8 * 10^{-2} * N_2^{-0.25}$; Ecuación propuesta por SHELL para la deformación plástica de la subrasante, para una confiabilidad del 50%.

Para determinar el número de repeticiones que producen deformaciones plásticas en la sub-rasante, se usaron las deformaciones en la sub-rasante calculadas a partir del software (Inpaco). Ver deformaciones tabla 4.1 [Columnas 5 y 6].

Tabla 5. 4 Análisis de falla por deformación plástica en la sub-rasante

Calzada	Deflexiones medidas en campo	Deformación sub-rasante [Ev]	Numero de aplicaciones para la deformación plástica en la sub-rasante [N2]	Deformación admisible para el trafico actual N=1'364.063 Repeticiones
NORTE-SUR	Característica	9.00E-04	936,832.0	8.02E-4
	Máxima	9.61E-04	720,673.5	
SUR-NORTE	Promedio	1.68E-03	77,160.5	
	Máxima	2.91E-03	8,571.0	
	Característica	2.22E-03	25,305.8	

En la tabla 5.4 se ilustra los valores de deformación obtenida en la sub-rasante y las repeticiones de carga soportada, según estos resultados se concluye que las deflexiones calculadas en las sub-rasante de las dos calzadas superan el valor admisible de deformación producido por el tráfico actual. Además se observa que existe mayor capacidad de soporte en la sub-rasante de la calzada Norte-Sur que de la Sur-Norte

5.4 Relación de la capacidad de soporte de la estructura asfáltica con el tránsito actual

El chequeo realizado a cada una de las calzadas se hizo mediante el método de diseño de la AASHTO este método permite determinar el numero estructural general requerido de toda la estructura asfáltica a partir de la resistencia de la sub-rasante y el tránsito que ira a soportar, y a su vez comparar con el numero estructural actual de la estructura existente. La ecuación utilizada para el diseño de pavimentos flexibles, derivada de la información obtenida empíricamente es:

$$\text{Log}W_{18} = ZR * S_o + 9.36 * \text{Log}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\text{Log}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \text{Log}MR - 8.07$$

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * m_2 * D_2 + \dots$$

Se calculó el numero estructural requerido para cada una de las estructuras en estudio, seguidamente se determino el numero estructural actual, a partir de las dimensiones existente de las capas, y de las características de los materiales utilizados, luego se comparo el numero estructural requerido vs numero estructural actual; si el nivel estructural requerido es menor que el usado, significaría que el diseño propuesto, no resistirá el tránsito existente.

El tránsito estimado para cada calzada fue:

$W_{18} = 1'364.063$; vehículos para un periodo de diseño de 10 años.

$R = 80\%$; valor que corresponde a la confiabilidad de la estructura.

$S_o = 0.35$; desviación estándar.

$M_r = 13000$; P_{si} valor promedio obtenido a partir de los modelos hecho en el Cáp. 4.

$P_o - P_t = 1.9$; perdida en el nivel de servicio durante el periodo de diseño.

Luego el número estructural para la estructura de pavimento a partir del modulo resiliente de la sub-rasante corresponde a:

SN=2.64; numero estructural requerido para la estructura de la calzada Norte-Sur.

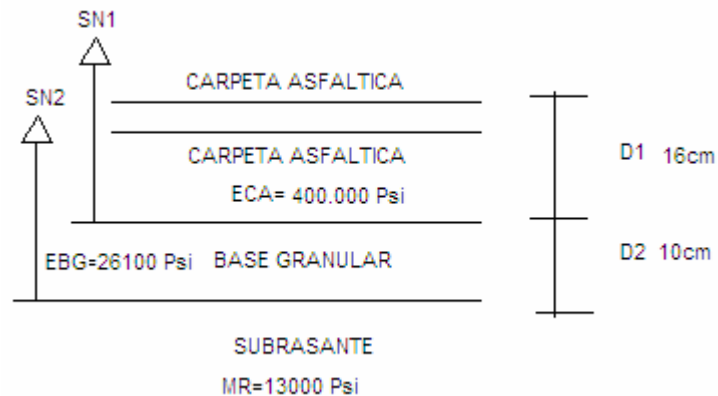


Figura 5. 1 Propiedades de la estructura asfáltica calzada Norte-Sur

Para el análisis de soporte realizado a las dos calzadas [ver tablas 5.5 y 5.6], se establecieron coeficientes estructurales para los materiales de base y concreto asfáltico [ver columna 3], valores altos para dar un rango amplio a las propiedades mecánicas de los materiales utilizados, esto se hizo debido a la incertidumbre que se tiene en el momento de asignar los módulos. Según lo ilustrado en la tabla 5.5, se puede observar que la estructura soporta el tráfico con las dimensiones existentes. Sin embargo el deterioro en el concreto asfáltico, se acentuó debido a la inexperiencia en la utilización de materiales geosintéticos [Ver Cáp. 3], colocados en este costado de la carrera 33.

Tabla 5.5 Análisis del diseño por capas de la estructura asfáltica calzada Norte-Sur.

1	2	3	4	5	6	7
CHEQUEO ESTRUCTURAL CALZADA NORTE-SUR						
Tipo de Capa	Mr[Psi]	Coefficiente estructural [a1,a2]	Coefficiente drenaje	Numero estructural por capa	Dimensión actual[Pulgadas]	Dimensión propuesta [Pulgadas]
Asfáltica	13000	0.44		2.02	6.3	4.6
Granular	26100	0.14	1	0.6	3.9	4.4
SN requerido	2.6		ESTRUCTURA CON DIMENSIONES CORRECTAS			
SN actual	3.3					

El análisis de soporte de la estructura asfáltica de la calzada Sur-Norte [Ver tabla 5.6] ilustra que bajo las condiciones previamente dichas, la estructura presenta dimensiones insuficientes en las capas y no esta en condiciones de soportar el transito que por ella circula.

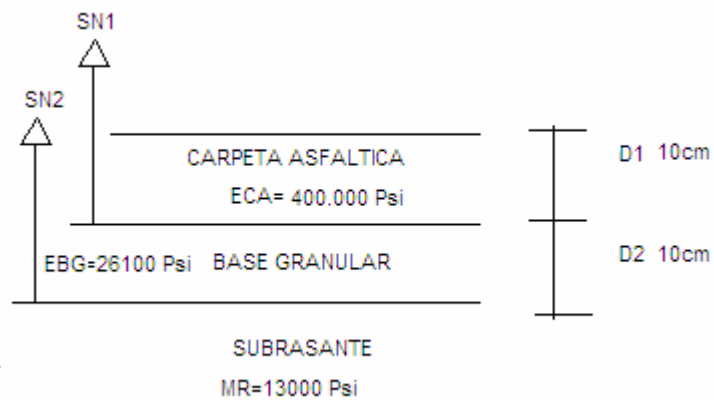


Figura 5.2 Propiedades de la estructura asfáltica calzada Sur-Norte.

Tabla 5.6 Análisis del diseño por capas de la calzada Sur-Norte.

1	2	3	4	5	6	7
CHEQUEO ESTRUCTURAL CALZADA SUR-NORTE						
Tipo de Capa	Mr[Psi]	Coefficiente estructural [a1,a2]	Coefficiente drenaje	Numero estructural por capa	Dimensión actual[Pulgadas]	Dimensión propuesta [Pulgadas]
Asfáltica	13000	0.44		2.02	3.9	4.6
Granular	26100	0.14	1	0.6	3.9	4.4
SN requerido		2.6	ESTRUCTURA CON DIMENSIONES INSUFICIENTE			
SN actual		2.3				

En la tabla 5.6 se ilustran los resultados del chequeo realizado a la estructura de la calzada Sur-Norte en condiciones ligadas, para este costado los espesores existentes en las capas son deficiente para el soporte del trafico actual [Ver columna 6], en la columna [7] se ilustra las dimensiones que debería tener para el soporte de dichas cargas, para los coeficientes estructurales de concreto asfáltico y base granular previamente supuestos.

SUGERENCIAS

- ❖ Con el propósito de mejorar la funcionalidad de la estructura de pavimento de la calzada Norte-Sur, se sugiere hacer un fresado total de la capa de refuerzo conjuntamente con la geomalla existente, una vez hecha esta labor es conveniente hacer bacheo en las zonas donde se presente fisuramiento en la calzada antigua y posteriormente la asignación de carpeta de refuerzo suficiente para el soporte del tráfico futuro, esta capa de refuerzo deberá quedar estructuralmente ligada con la capa inferior existente.

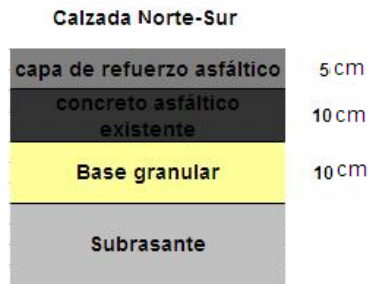


Figura 5. 3 Modelo sugerido para la rehabilitación de la calzada Norte-Sur.

- ❖ Además se sugiere la no utilización de geomallas de refuerzo sin previamente tener el conocimiento claro, en cuanto a la selección del tipo de material adecuado así como el proceso de colocación y propiedades mecánicas del material geosintético.
- ❖ Para la calzada Sur-Norte se recomienda hacer bacheos en las zonas donde se han presentando problemas de asentamiento junto con la remoción y cambio del material de relleno en las zonas de conducción de alcantarillado, pozos, cajas de cableado. Además se sugiere la asignación de refuerzo asfáltico necesario para el soporte del tráfico actual y el proyectado.

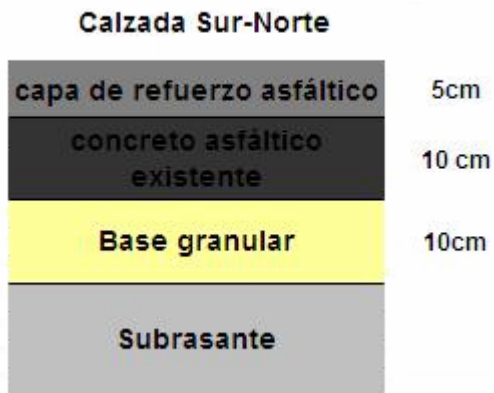


Figura 5. 4 Modelo sugerido para la rehabilitación de la calzada Sur-Norte.

- ❖ La zona de estudio se utilizaría como tramo de prueba con el fin de lograr determinar a partir de ensayos no destructivos, las condiciones de ligadura y no ligadura de las capas de una estructura de pavimento.

CONCLUSIONES

- ❖ Se concluye que las causas que generaron el deterioro prematuro de las dos calzadas se debieron primordialmente a:
 1. Inexperiencia en la utilización de geomallas colocadas como refuerzo en la estructura de pavimento de la calzada Norte-Sur, la geomalla encontrada en este costado presentaba problemas de deterioro y a su vez impedía la adherencia que debería existir entre la carpeta superior y la inferior.
 2. Espesores deficientes colocados en la capa de pavimento de calzada Sur-Norte.
 3. Problemas de compactación en las capas inferiores de la calzada Sur-Norte
 4. Base granular con exceso de finos colocada en la calzada Sur-Norte
 5. Fallas por fatiga debido al exceso de vacíos encontrados en el concreto asfáltico de la calzada Sur-Norte.

- ❖ Según análisis de soporte de carga, hecho a partir de la ecuación propuesta por AASHTO, se presentaron problemas de espesores insuficientes en las capas de la calzada Sur-Norte, para el soporte del tránsito actual.

- ❖ La calzada Norte-Sur presenta dimensiones suficiente para el soporte del tránsito que por ella circula, sin embargo la falta de liga entre la capa de refuerzo y la carpeta antigua, aceleró la fatiga de la carpeta asfáltica superior colocada como refuerzo.

- ❖ Se presentan asentamientos en la carpeta asfáltica de la calzada sur- norte a lo largo de las conducciones hidráulicas y de cableado debido a problemas de capacidad de soporte de los materiales utilizados como rellenos en este costado.

- ❖ En el análisis de fatiga realizado mediante la ecuación propuesta por el instituto del asfalto, a las muestras extraídas de las calzadas Norte-Sur y Sur-Norte bajo condiciones de ligadura observadas en campo, se observó que las dos

estructuras presentaron baja capacidad de soporte de repeticiones de carga. Sin embargo la estructura de la calzada Norte-Sur soportó mayor cantidad de repeticiones, esto demuestra el grado de deterioro observado en campo con respecto a la estructura Sur-Norte.

BIBLIOGRAFÍA

1. Heukelom, W, and Klomp, A.J.G “Dynamic Testing as Means of Controlling Pavements During After Construction,” Proceedings of the First International Conference on Structural Design of Asphalt Pavement, University of Michigan, 1962.
2. YANG H HUANG. Pavement analysis and Design. Fatigue characteristics Cap 7. Prentice Hall. 1993 by prentice –Hal.Inc.
3. MONTEJO. FONSECA Alfonso. Ingeniería de pavimentos para carreteras. 2ª Edición. 2001 cap 2. cap 5. Universidad Nacional.
4. INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Normas de ensayos de materiales para carreteras. Santa fe de Bogotá D.C 1998.Tomo II. I.N.V.E 213-217-220.
5. SECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA, Orden de interventoría No 024 2002.
6. DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES. Ministerio de Obras Publica. Bogota Enero 1971.
7. TESIS DE GRADO. Correlación de los valores de resistencia a la penetración cónica DCP y el valor de la penetración de soporte CBR de suelos para la región geológica del área local de Valledupar. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga 2003.

ANEXOS

ANEXO 1 Deflexiones tomadas en campo con viga belkelman en la carrera 33 con calles 52 y 56.

1.1 Sentido norte - sur (costado derecho).

ABSCISA	DEFLEXION		RADIO DE
	D0[mm]	D25(mm)	CURVATURA
K0+000	0,8738	0,1016	40,4709
K0+015	0,2438	0,1016	219,6991
K0+030	0,3353	0,2032	236,5990
K0+045	0,0610	0,0508	3.075,7874
K0+060	0,3861	0,2134	180,9287
K0+075	0,3556	0,1016	123,0315
K0+090	0,3353	0,2540	384,4734
K0+105	0,3251	0,3048	1.537,8937
K0+120	0,0102	0,2540	-128,1578
K0+135	0,4978	0,2235	113,9181
K0+150	0,3658	0,1930	180,9287
K0+165	0,2337	0,1118	256,3156
K0+180	0,5182	0,1930	96,1184
K0+195	0,2642	0,2134	615,1575
K0+210	0,0914	0,1219	-1.025,2625
K0+225	0,0203	0,0711	-615,1575
K0+240	0,4166	0,1727	128,1578
K0+255	0,3556	0,1524	153,7894
K0+270	0,1016	0,0305	439,3982
K0+285	0,1829	0,1219	512,6312
K0+300	0,2540	0,1118	219,6991
K0+315	0,2743	0,2540	1.537,8937
K0+330	1,7272	1,2192	61,5157
K0+345	2,4384	0,3962	15,3024
K0+360	0,3454	0,4064	-512,6312

1.2 Sentido norte - sur (costado izquierdo).

ABSCISADO	DEFLEXION		RADIO DE
	D0(mm)	D25(mm)	CURVATURA
K0+00	0,7315	0,2032	59,1498
K0+07,5	0,0102	0,0203	-3.075,7874
K0+022,5	0,0610	0,1016	-768,9469
K0+037,5	0,1930	0,2032	-3.075,7874
K0+052,5	0,3556	0,3658	-3.075,7874
K0+067,5	0,2032	0,4267	-139,8085
K0+082,5	0,2540	0,3556	-307,5787
K0+097,5	0,4775	0,4572	1.537,8937
K0+112,5	0,4572	0,4978	-768,9469
K0+127,5	0,3861	0,3048	384,4734
K0+142,5	0,1524	0,2032	-615,1575
K0+157,5	0,3353	0,1016	133,7299
K0+172,5	0,3048	0,3556	-615,1575
K0+187,5	0,0406	0,2540	-146,4661
K0+202,5	0,3150	0,1930	256,3156
K0+217,5	0,1626	0,2134	-615,1575
K0+232,5	0,3048	0,2235	384,4734
K0+247,5	0,1219	0,2032	-384,4734
K0+262,5	0,2235	0,1219	307,5787
K0+277,5	0,2337	0,1524	384,4734
K0+292,5	0,2438	0,3048	-512,6312
K0+307,5	0,0914	0,1016	-3.075,7874
K0+322,5	0,1016	0,1524	-615,1575
K0+337,5	0,2337	0,4064	-180,9287
K0+352,5	0,5385	0,4064	236,5990

1.3 Sentido sur - norte (costado derecho).

ABSCISADO	D0(mm)	D25(mm)	RADIO DE CURVATURA
K0+00	0,8636	0,8128	615,1575
K0+07,5	0,3353	0,0305	102,5262
K0+022,5	0,6807	0,6096	439,3982
K0+037,5	0,5893	0,3556	133,7299
K0+052,5	0,7112	0,4064	102,5262
K0+067,5	0,4775	0,4064	439,3982
K0+082,5	0,4775	0,3048	180,9287
K0+097,5	0,1219	0,3048	-170,8771
K0+112,5	0,2845	0,3556	-439,3982
K0+127,5	0,2438	0,2540	-3.075,7874
K0+142,5	0,2438	0,2032	768,9469
K0+157,5	0,8941	0,6096	109,8496
K0+172,5	0,7823	0,4572	96,1184
K0+187,5	1,0770	0,6096	66,8649
K0+202,5	0,4572	0,2946	192,2367
K0+217,5	0,7315	0,4775	123,0315
K0+232,5	0,3251	0,5080	-170,8771
K0+247,5	0,7518	0,4166	93,2057
K0+262,5	0,5893	0,3759	146,4661
K0+277,5	0,6604	0,5486	279,6170
K0+292,5	0,5690	0,2235	90,4643
K0+307,5	0,7925	0,5080	109,8496
K0+322,5	0,6604	0,3048	87,8796
K0+337,5	0,4064	0,5080	-307,5787
K0+352,5	0,6909	0,3048	80,9418

1.4 Sentido sur - norte (costado izquierdo).

ABSCISADO	DEFLEXION		RADIO DE CURVATURA
	D0(mm)	D25(mm)	
K0+000	1,7374	1,4224	99,2189
K0+015	3,2106	0,3048	10,7545
K0+030	0,6299	0,5080	256,3156
K0+045	0,3658	0,2032	192,2367
K0+060	0,9754	0,9347	768,9469
K0+075	0,2540	0,3048	-615,1575
K0+090	0,3251	0,2540	439,3982
K0+105	0,2743	0,2032	439,3982
K0+120	0,3556	0,2946	512,6312
K0+135	0,4470	0,7112	-118,2995
K0+150	0,9652	0,8636	307,5787
K0+165	0,2337	0,4064	-180,9287
K0+180	0,6502	0,5080	219,6991
K0+195	0,1829	0,2743	-341,7542
K0+210	0,1626	0,3556	-161,8835
K0+225	0,4064	0,3048	307,5787
K0+240	0,8534	0,4267	73,2330
K0+255	0,5486	0,5893	-768,9469
K0+270	0,2845	0,3962	-279,6170
K0+285	0,0711	0,2032	-236,5990
K0+300	0,0406	0,1626	-256,3156
K0+315	0,0102	0,1118	-307,5787
K0+330	0,0914	0,1016	-3.075,7874
K0+345	0,1219	0,1524	-1.025,2625
K0+360	0,8128	0,1016	43,9398

ANEXO 2 Resumen volúmenes horarios de tráfico de la zona.

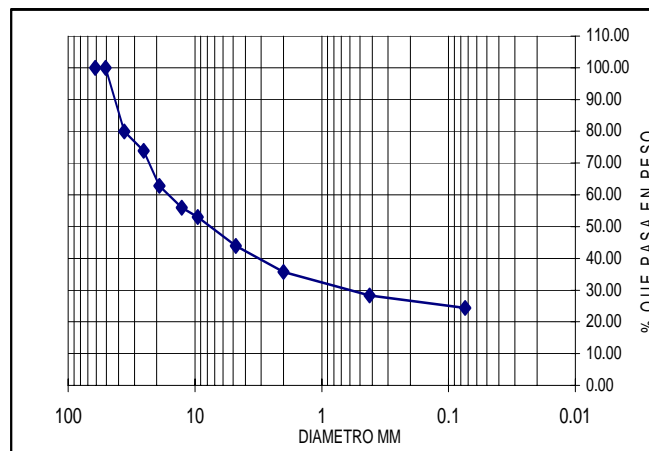
PERIODO	AUTOS	TAXIS	BUSES	CAMIONES	MOTOS	TOTAL MIXTOS	TOTAL EQUIVALENTES
06:00 - 07:00	128	122	65	0	61	376	411
06:15 - 07:15	152	170	73	0	74	469	505
06:30 - 07:30	179	201	78	0	98	556	585
06:45 - 07:45	178	219	71	3	123	594	608
07:00 - 08:00	197	247	77	4	138	663	677
07:15 - 08:15	214	262	80	4	149	709	721
07:30 - 08:30	205	274	81	5	144	709	726
07:45 - 08:45	233	290	93	2	157	775	793
08:00 - 09:00	230	281	92	3	145	751	775
12:00 - 13:00	430	325	130	2	196	1.083	1.118
12:15 - 13:15	403	280	107	0	167	957	981
12:30 - 13:30	344	252	82	2	144	824	837
12:45 - 13:45	260	193	43	2	115	613	602
13:00 - 14:00	170	157	20	4	95	446	425
17:00 - 18:00	339	275	83	6	229	932	910
17:15 - 18:15	391	277	72	3	247	990	943
17:30 - 18:30	413	260	70	2	248	993	942
17:45 - 18:45	428	259	74	1	247	1.009	961
18:00 - 19:00	414	273	73	2	242	1.004	959

Fuente: Metrolínea.

ANEXO 3 Ensayo de granulometría al material de base extraído en el carril s-n.

3.1 SONDEO 1

MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	gr	%	%	****	mm	gr	%	%
2 1/2"	61.25	0	0.00	100.00					
2"	50.8	0.00	0.00	100.00	10	2	98.52	8.21	35.72
1 1/2"	36.1	241.19	20.10	79.90	20	0.84	80.43		
1"	25.4	72.63	6.05	73.85	40	0.42	88.58	7.38	28.34
3/4"	19.05	132.40	11.03	62.82	60	0.25	60.16		
1/2"	12.7	82.12	6.84	55.98	100	0.149	54.87		
3/8"	9.52	35.50	2.96	53.02	200	0.074	47.52	3.96	24.38
No 4	4.75	109.18	9.10	43.92	PASA 200	*****	96.18		
SUMA	*****	673.02	56.08		SUMA	*****	526.26	19.55	
					TOTAL		1199		

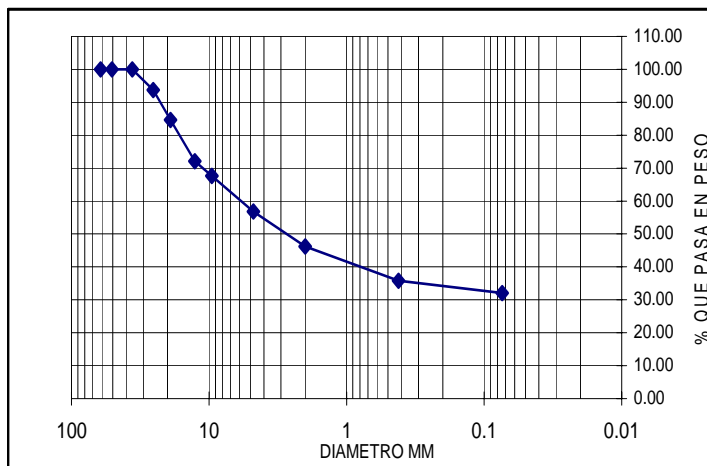


GRUPO SUELO DE PARTICULAS GRUESAS
SUB-GRUPO GRAVAS
 GRAVA LIMOSA (GM)

GRAVAS= 56.1 %
 ARENAS = 19.5 %
 FINOS= 24.4 %

3.2 SONDEO 2

MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO O RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	gr	%	%	****	mm	gr	%	%
2 1/2"	61.25	0	0.00	100.00					
2"	50.8	0.00	0.00	100.00	10	2	196.90	10.66	46.19
1 1/2"	36.1	0.00	0.00	100.00	20	0.84	157		
1"	25.4	115.40	6.25	93.75	40	0.42	192.6	10.43	35.76
3/4"	19.05	168.00	9.10	84.66	60	0.25	114.4		
1/2"	12.7	231.70	12.55	72.11	100	0.149	114.1		
3/8"	9.52	82.50	4.47	67.64	200	0.074	69.2	3.75	32.01
No 4	4.75	199.40	10.80	56.85	PASA 200	*****	203.30		
SUMA	*****	797.00	43.15		SUMA	*****	1047.50	24.84	
					TOTAL		1845		

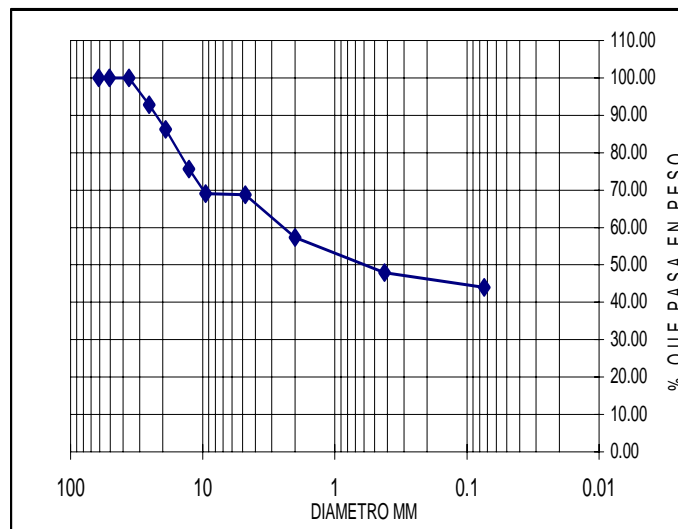


GRUPO SUELO DE PARTICULAS GRUESAS
 SUB-GRUPO GRAVAS
 GRAVA LIMOSA (GM)

GRAVAS= 43.2 %
 ARENAS = 24.8 %
 FINOS= 32.0 %

3.3 SONDEO 3

MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	gr	%	%	****	mm	gr	%	%
2 1/2"	61.25	0	0.00	100.00					
2"	50.8	0.00	0.00	100.00	10	2	218.70	11.45	57.35
1 1/2"	36.1	0.00	0.00	100.00	20	0.84	157.3		
1"	25.4	137.16	7.18	92.82	40	0.42	180.3	9.44	47.91
3/4"	19.05	125.97	6.59	86.23	60	0.25	110.7		
1/2"	12.7	202.60	10.60	75.62	100	0.149	99.4		
3/8"	9.52	125.90	6.59	69.03	200	0.074	76	3.98	43.93
No 4	4.75	4.57	0.24	68.80	PASA 200	*****	173.10		
SUMA	*****	596.20	31.20		SUMA	*****	1015.50	24.86	
					TOTAL		1612		

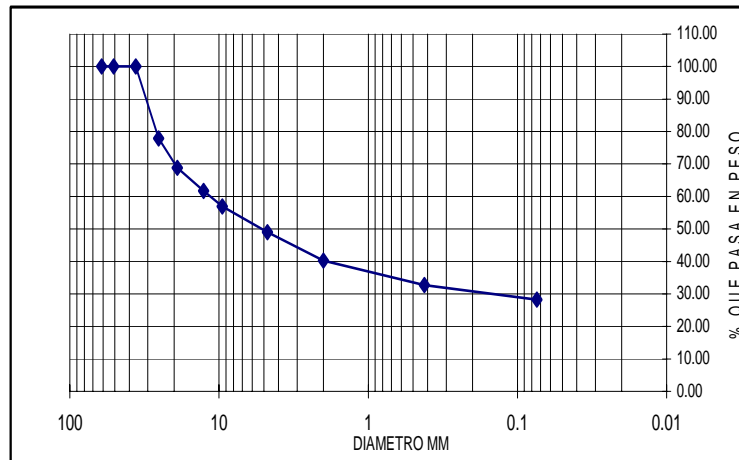


GRUPO SUELO DE PARTICULAS GRUESAS
 SUB-GRUPO GRAVAS
 GRAVA LIMOSA (GM)

GRAVAS= 31.2 %
 ARENAS = 24.9 %
 FINOS= 43.9 %

3.4 SONDEO 4

MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	gr	%	%	****	mm	gr	%	%
2 1/2"	61.25	0	0.00	100.00					
2"	50.8	0.00	0.00	100.00	10	2	111.10	8.67	40.30
1 1/2"	36.1	0.00	0.00	100.00	20	0.84	80		
1"	25.4	284.10	22.17	77.83	40	0.42	97.4	7.60	32.70
3/4"	19.05	115.40	9.00	68.83	60	0.25	71.1		
1/2"	12.7	90.80	7.08	61.75	100	0.149	69.9		
3/8"	9.52	61.10	4.77	56.98	200	0.074	56.8	4.43	28.27
No 4	4.75	102.70	8.01	48.97	PASA 200	*****	139.30		
SUMA	*****	654.10	51.03		SUMA	*****	625.60	20.70	
					TOTAL		1280		



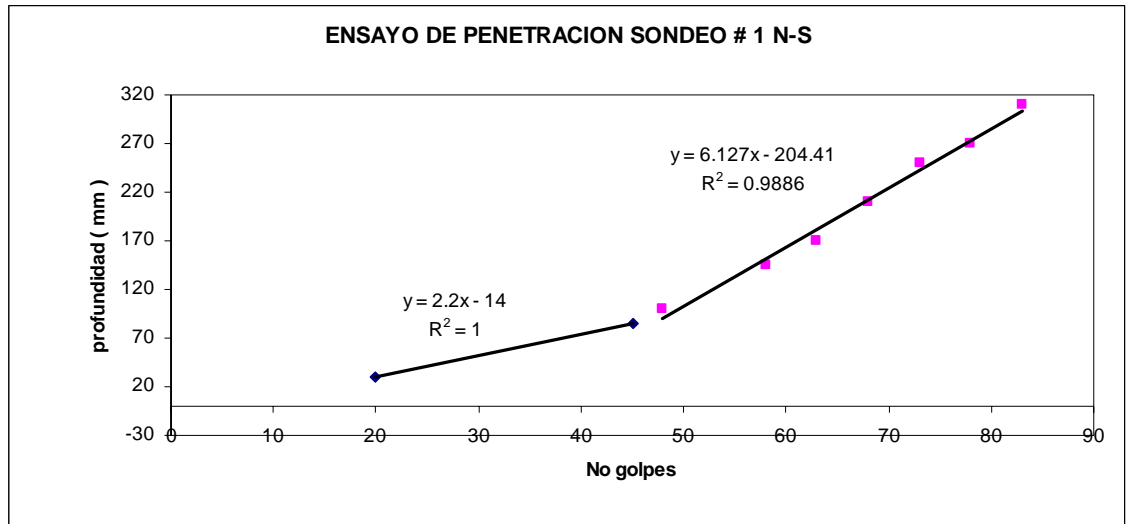
GRAVAS= 51.0 %
 ARENAS = 20.7 %
 FINOS= 28.3 %

GRUPO SUELO DE PARTICULAS GRUESAS
 SUB-GRUPO GRAVAS
 GRAVA LIMOSA (GM)

ANEXO 4 Ensayo penetración

SONDEO # 1 N-S

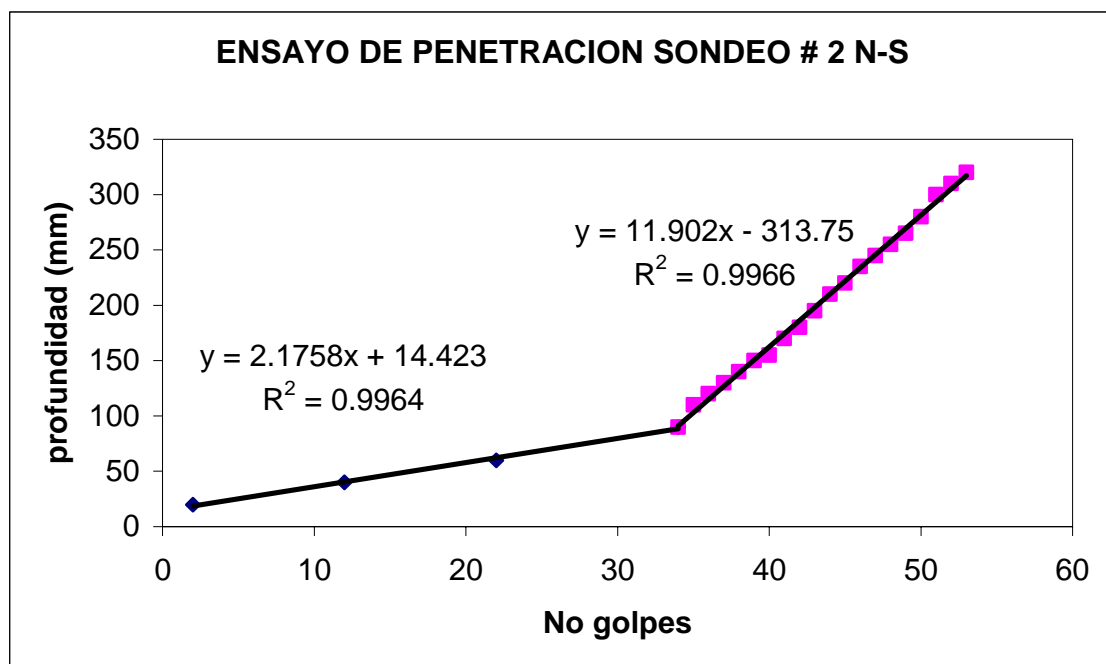
# GOLPES	PENETRACION		PENETRACION ACUMULADA	DCPI[mm/golpe]	CBR
0	0	0	0	2.2	8.69536122
20	3	30	30	2.2	8.69536122
45	5.5	55	85	2.2	8.69536122
48	1.5	15	100	6.1	5.20186592
58	4.5	45	145	6.1	5.20186592
63	2.5	25	170	6.1	5.20186592
68	4	40	210	6.1	5.20186592
73	4	40	250	6.1	5.20186592
78	2	20	270	6.1	5.20186592
83	4	40	310	6.1	5.20186592



*Las pendientes corresponden a los DCPI [mm/golpe] para cada capa.

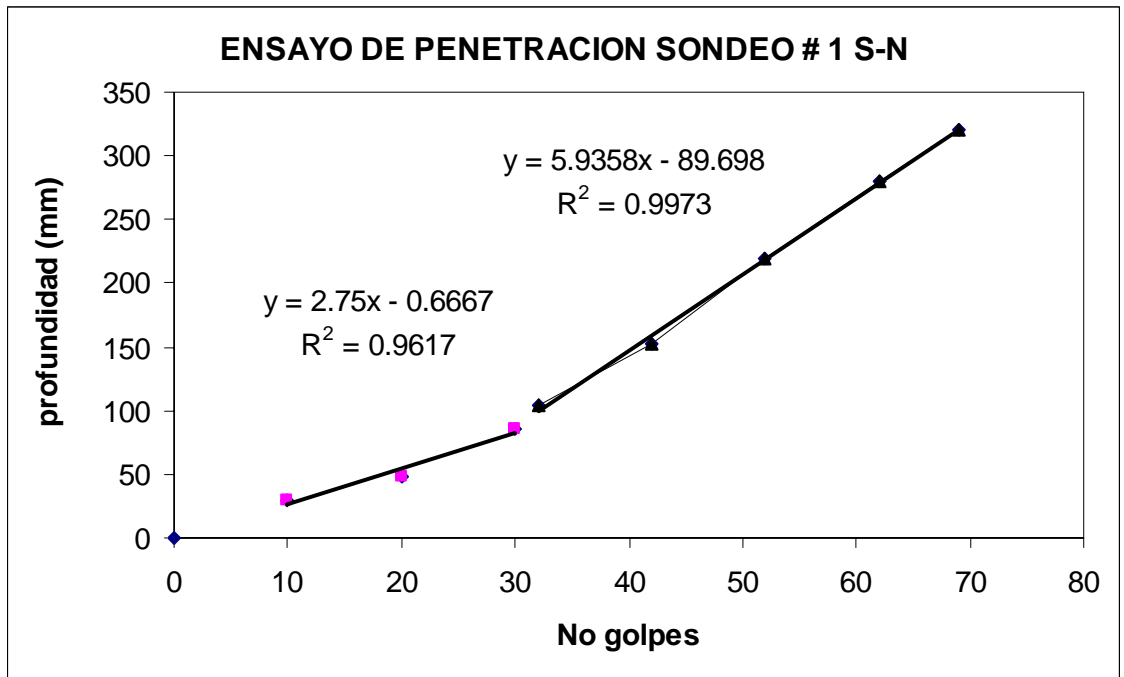
SONDEO # 2 N-S

# GOLPES	PENETRACION		PENETRACION ACUMULADA	PENETRACION ACUMULADA	
				DCPI[mm/golpe]	CBR
0	0	0	0	2.2	8.69536122
2	2	20	20	2.2	8.69536122
12	2	20	40	2.2	8.69536122
22	2	20	60	2.2	8.69536122
34	3	30	90	2.2	8.69536122
35	2	20	110	12	3.69932272
36	1	10	120	12	3.69932272
37	1	10	130	12	3.69932272
38	1	10	140	12	3.69932272
39	1	10	150	12	3.69932272
40	0.5	5	155	12	3.69932272
41	1.5	15	170	12	3.69932272
42	1	10	180	12	3.69932272
43	1.5	15	195	12	3.69932272
44	1.5	15	210	12	3.69932272
45	1	10	220	12	3.69932272
46	1.5	15	235	12	3.69932272
47	1	10	245	12	3.69932272
48	1	10	255	12	3.69932272
49	1	10	265	12	3.69932272
50	1.5	15	280	12	3.69932272
51	2	20	300	12	3.69932272
52	1	10	310	12	3.69932272
53	1	10	320	12	3.69932272

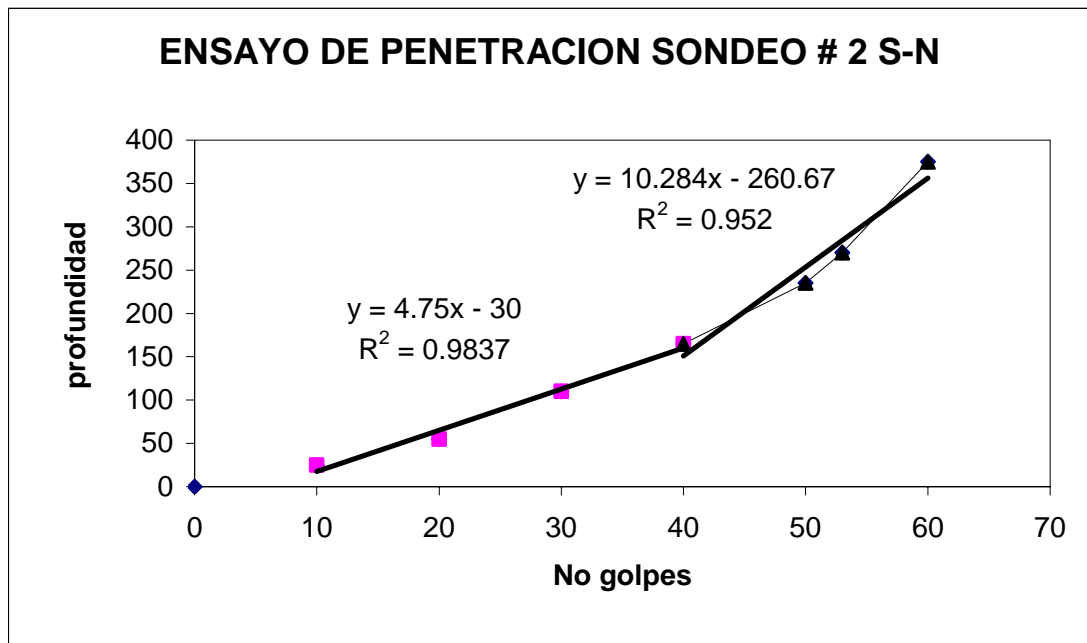


SONDEO # 1 S-N

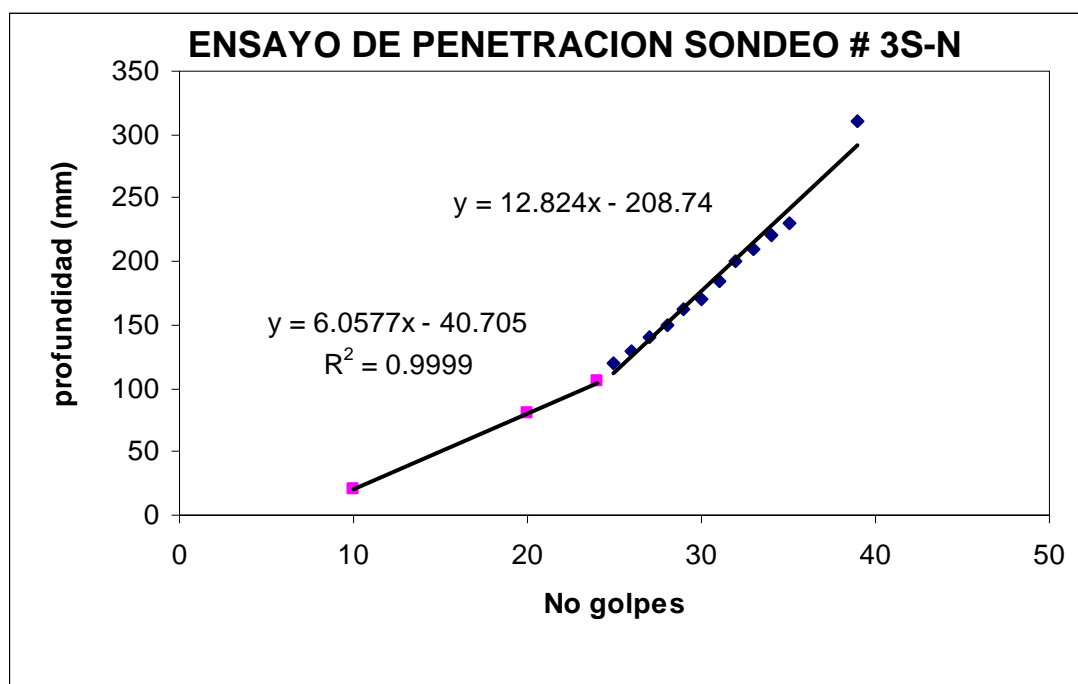
# GOLPES	PENETRACION	PENETRACION N	DCPI	CBR
0	0	0	2.75	7.77080743
10	30	30	2.75	7.77080743
20	18	48	2.75	7.77080743
30	37	85	2.75	7.77080743
32	20	105	5.9	5.2899652
42	47	152	5.9	5.2899652
52	68	220	5.9	5.2899652
62	60	280	5.9	5.2899652
69	40	320	5.9	5.2899652



SONDEO # 2 S-N				
# GOLPES	PENETRACION	PENETRACIO N	DCPI	CBR
0	0	0	4.75	5.90049009
10	25	25	4.75	5.90049009
20	30	55	4.75	5.90049009
30	55	110	4.75	5.90049009
40	55	165	4.75	5.90049009
50	70	235	10.28	3.99917459
53	35	270	10.28	3.99917459
60	105	375	10.28	3.99917459



Sondeo # 3 S-N				
# Golpes	Penetración	Penetración acumulada	DCPI	CBR
0	0	0	0.99	130.014.797
10	20	20	0.99	130.014.797
20	60	80	0.99	130.014.797
24	25	105	0.99	130.014.797
25	15	120	12.82	357.816.425
26	10	130	12.82	357.816.425
27	10	140	12.82	357.816.425
28	10	150	12.82	357.816.425
29	12	162	12.82	357.816.425
30	8	170	12.82	357.816.425
31	15	185	12.82	357.816.425
32	15	200	12.82	357.816.425
33	10	210	12.82	357.816.425
34	10	220	12.82	357.816.425
35	10	230	12.82	357.816.425
39	80	310	12.82	357.816.425



*Las pendientes corresponden a los DCPI [mm/golpe] para cada capa.

ANEXO 5 Resultado del análisis de solidez con sulfato a los agregados de base del tramo oriental (S-N).

TAMIZ	W RETENIDO	%RETENIDO
3/4	1152.60	55.68
1/2	582.50	28.14
3/8	334.80	16.17
SUMA	2069.9	100.0

TAMAÑO TAMICES		GRADACION MUESTRA	PESO FRACCION ANTES	PESO FRACCION DESPUES	PERDIDA	% QUE PASA EL TAMIZ DESPUES	PROMEDIO PESADO
PASANTE	RETENIDO	ORIGINAL %	DEL ENSAYO P1 (gr)	DEL ENSAYO P2 (gr)	gr	DEL ENSAYO .%PERDIDA REAL	%PERDIDA CORREGIDO
1 1/2	3/4	55.68	1152.60	1150.1	2.50	0.2	12.08
3/4	1/2	28.14	582.50	578.7	3.8	0.7	18.36
1/2	3/8	16.17	334.80	329.3	5.5	1.6	26.57
SUMA =		100.00	2069.9	2058.1	11.8	2.5	57.01

Perdida real por solidez utilizando sulfato de sodio 0.57 %

Norma: I.N.V. E - 220

ANEXO 6 Resultado ensayos porcentaje de vacíos de las muestras extraídas.

Costado N-S	Diámetro(mm)	A	B	C	Densidad Máx.	% Vacíos
#4	100	482.80	1943.80	2231.90	2.48	2.94
#3	100	467.90	1942.50	2222.70	2.49	2.48
#2	100	466.80	1942.00	2222.30	2.50	8.80
#1	100	488.00	1939.90	2230.20	2.47	6.52

A: Wseco

B: W con Agua

C: W agua+Mate

Norma: I.N.V. E - 736

Costado N-S	Diámetro(mm)	A	B	C	Densidad Máx.	% Vacíos
Superior	100	387.08	1943.80	2176.30	2.50	9.06
Inferior	100	770.40	1938.60	2394.50	2.45	9.94
superior	100	769.50	1945.40	2406.30	2.49	8.69
Inferior	100	467.90	1942.50	2222.70	2.49	9.53
Superior	100	315.89	1941.90	2132.80	2.53	8.72
Inferior	100	470.60	1940.20	2213.50	2.39	7.56
Superior	100	800.00	1938.70	2415.70	2.48	10.40

A: Wseco

B: W con Agua

C: W agua+Mate

- Las probetas extraídas en el costado oriental (S-N) se cortaron debido a que se observó que su porosidad no era uniforme en toda la briqueta.

El porcentaje de vacíos con aire de las mezclas asfálticas compactadas, fue calculado de la siguiente forma:

$$\text{Porcentaje De vacíos Con aire} = 100 \times \left[1 - \frac{\text{peso específico aparente}}{\text{específico teórico máximo}} \right]$$

Norma: I.N.V. E - 736

ANEXO 7 Ensayo peso específico aparente de mezclas asfálticas compactadas (bulk).

T 22°C

K= 1.0007

costado N-S	Diametro(mm)	h1	h2	h3	Hprome				Peso específico aparente a 22 ° C	Peso específico Aparente a 25 °C(g/cm3)	Peso unitario(g/cm3)
						A	B	C			
#4	100.00	51.00	51.50	51.40	51.30	929.60	932.30	545.80	2.41	2.41	2.40
#3	100.00	69.00	69.50		69.25	1211.20	1217.20	718.60	2.43	2.43	2.42
#2	100.00	62.00	61.90	61.00	61.63	1092.20	1096.40	617.60	2.28	2.28	2.28
#1						1324.00	1326.70	752.50	2.31	2.31	2.30

costado S-N	Diametro (mm)	h1	h2	h3	Hprome				Peso específico aparente a 22 ° C	Peso específico a 25 °C(g/cm3)	Peso unitario
						A	B	C			
Superior	100.00					801.90	803.10	450.70	2.28	2.28	2.27
Inferior	100.00	101.00	101.50	102.00	101.50	942.60	948.30	520.70	2.20	2.21	2.20
superior						773.60	775.50	435.50	2.28	2.28	2.27
Inferior	100.00	90.00	89.50	89.00	89.50	784.50	785.80	437.70	2.25	2.26	2.25
Superior						795.10	796.30	451.40	2.31	2.31	2.30
Inferior	100.00	102.00	103.80	102.50	102.77	973.80	977.10	535.10	2.20	2.20	2.20
Superior						1425.00	1435.10	792.50	2.22	2.22	2.21

Peso específico a 22°C = A / (B - C)

Donde:

A = Peso de la muestra seca al aire, g

B = Peso de la muestra sumergido, g

C = Peso de la muestra en agua, g

Norma: ASTM D-2041- AASHTO T-209

Peso específico a 25°C = Peso específico a 22°C * K

K

Donde:

K = Desviación estándar de 0.004

Peso unitario = Peso específico a 25°C * 0.

ANEXO 8 Propiedades mecánicas y físicas de la geomalla utilizada como refuerzo.

	DESCRIPCIÓN	NORMA	UNIDAD	BX 65
PROPIEDADES MECÁNICAS	Resistencia última MD(1) / TD(2)	ASTM D 6637	kN/m	72,00 / 68,0
	Elongación última MD(1) / TD(2)		%	13,0 / 12,9
	Resistencia @ 2% deformación MD / TD	ASTM D 6637	kN/m	12,1 / 12,0
	Resistencia @ 5% deformación MD(1) / TD(2)	ASTM D 6637	kN/m	19,0 / 18,2
	Módulo tangente inicial	ASTM D 6637	kN/m	710
	Resistencia disponible a Plastodeformación (Creep, F.S = 1,64 a 114 años) (3)	ASTM D 5262 GRI GS10	kN/m	41,46
PROPIEDADES FÍSICAS	Tipo de polímero			PET ⁴
	Resistencia a altas temperaturas (punto de ablandamiento)	ASTM D 276	°C	240
	Densidad mínima	ASTM D 5261	g/cm ³	1,39
	Masa	ASTM D 5261	g/m ²	480
	Tamaño de abertura (MD x TD)	MEDIDO	mm	22 x 22

Fuente: Catalogo de lafayette.

La efectividad en el mejoramiento de la vida útil de un pavimento utilizando este tipo de geomallas depende, del tipo de geomalla utilizado y de su colocación. El desempeño de este tipo de material es afectado por:

- Condiciones ambientales
- Daños durante su colocación
- Envejecimiento mediante degradación química y biológica

Para que la geomalla trabaje conjuntamente con la carpeta de asfalto se debe garantizar que los dos materiales se encuentren totalmente ligados, esto se logra mediante la aplicación de asfalto antes y después de colocar la geomalla, además se debe evitar el rompimiento de la misma durante su colocación y garantizar que esta quede totalmente extendida.

Tabla 3. Propiedades mecánicas de de algunos geotextiles utilizados como refuerzo entre la base y la capa granular.

	DESCRIPCIÓN	NORMA	UNIDAD	BX 30	BX 40	BX 60	BX 90
PROPIEDADES MECÁNICAS	Resistencia - (deformación) a la tensión método Grab (MD)1	ASTM D 4632	N - (%)	1.400 - (17,6)	1.480 - (15,9)	2.360 - (14,5)	N.A.
	Resistencia - (deformación) a la tensión método Grab (TD)2	ASTM D 4632	N - (%)	1.300 - (18,0)	1.469 - (15,2)	2.851 - (14,0)	N.A.
	Resistencia al punzonamiento	ASTM D 4833	N	415	535	953	1.225
	Resistencia al rasgado trapezoidal (MD)1	ASTM D 4533	N	529	625	846	1.558
	Resistencia al rasgado trapezoidal (TD)2	ASTM D 4533	N	505	612	987	1.640
	Resistencia al estallido Müllen Burst	ASTM D 3786	kPa	3.920	4.343	5.660	>9.000
	Resistencia - (deformación) a la rotura, tira ancha (MD)		kN/m - (%)	33,8 - (14,5)	40,8 - (12,9)	69,0 - (12,4)	110,0 - (12,6)
	Resistencia - (deformación) a la rotura, tira ancha (TD)	ASTM D 4595	kN/m - (%)	33,1 - (14,5)	42,0 - (12,2)	86,2 - (11,7)	120,4 - (12,3)
	Resistencia @ 2% deformación (MD/TD)		kN/m	NA	8,8 / 9,6	14,8 / 15,0	20,9 / 24,4
	Resistencia @ 5% deformación (MD/TD)		kN/m	NA	13,5 / 13,6	24,9 / 26,6	36,5 / 39,9
PROPIEDADES HIDRAULICAS	Tamaño de abertura aparente	ASTM D 4751	mm	0,212	0,42	0,42	0,42
	Permeabilidad	ASTM D 4491	cm/s	0,02	0,06	0,24	0,22
	Permitividad	ASTM D 4491	s-1	0,64	0,84	3,23	2,17
	Tasa de flujo	ASTM D 4491	l/min/m2	1.950	2.554	9.850	6.622

Fuente: Catalogo de lafayette.