ÍNDICE DE MODIFICACIONES

REVISIÓN	SECCIÓN MODIFICADA	FECHA MODIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN

ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LAS VÍAS PROYECTO CICLORRUTA MIRADOR DEL CAUCA EN EL MUNICIPIO DE SANTA FE DE ANTIOQUIA - ANTIOQUIA

ESTUDIO DE GEOTECNIA PARA PAVIMENTO

DISEÑO: Ing. JUAN CARLOS LEON LARA

MEDELLIN, ENERO DE 2025

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO....1-3
INTRODUCCION....1-4
1. OBJETIVOS....1-5
1.1 ALCANCE....1-5
1.2 OBJETIVOS....1-5
1.2.1 Objetivo General....1-5
1.2.2 Objetivos Específicos....1-5
2. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO....2-6
2.1 Localización en Sudamérica....2-6
2.2 Localización del Proyecto....2-6
2.3 Localización Departamental....2-7
3. INFORMACIÓN EXISTENTE....3-8
3.1 Geología Regional....3-8
3.2 PREDIMENSIONAMIENTO DEL PAVIMENTO....3-10
4. TRABAJOS DE CAMPO....4-10
4.1 EXPLORACIÓN GEOTÉCNICO....4-10
5. CARACTERIZACION GEOMECANICA....5-11
5.1.1 Estudio de sectorización....5-11
5.1.2 Condiciones climáticas – pluviografia y ambientales....5-14
5.1.3 Materiales viales propuestos....5-15
5.1.4 Transito....5-16
5.1.5 CBR de diseño....5-16
TABLA 8 DATOS DE CBR....5-16
CBR de Diseño Metodología AASHTO....5-17
5.2 Diseño metodología Manual de Diseño de Pavimentos Asfáltico con Bajos Volúmenes de Transito del INVIAS.....5-18
5.3 Estructura de Diseño Preliminar....5-18
5.4 Consideracion de material existente....5-19
6. DISEÑO DE PAVIMENTO METODO AASTHO....6-20
6.1 Materiales....6-20
6.2 Módulos de Diseño....6-21
6.2.1 Estructura de Diseño Definitiva – Verificación Elástica....6-25
7. CONCLUSIONES – RECOMENDACIONES....7-29

INTRODUCCION

Se pretende realizar la construcción de proyecto ciclorruta Mirador del Cauca en el municipio de Santa Fe de Antioquia – Antioquia, para lo que se ha contratado a la empresa De Desarrollo Urbano, para que lleve a cabo los ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA CICLORRUTA MIRADOR DEL CAUCA EN EL MUNICIPIO DE SANTA FE DE ANTIOQUIA – ANTIOQUIA.

Dentro del objeto de la obra y como principales actividades a realizar esta: Pavimentación de aproximadamente 0.6 km de vía.

La vía a pavimentar consiste en una variante de menor longitud de la vía utilizada actualmente, y que se encuentra en estado de carpeta de rodadura en afirmado. En aras de la economía se prevé utilizar el corredor existente y conservando la clasificación de la vía, pero manteniendo los estándares de seguridad suficiente para evitar altos niveles de accidentalidad. Es igualmente importante son las consideraciones prediales y el uso de la tierra, evitando la compra de predios y la afectación directa a viviendas o poblaciones.

Este volumen tiene la finalidad de dar cumplimiento a los requerimientos para el diseño de la estructura del pavimento, tomando como base las condiciones geológicas de la zona, las características geomecánicas de los suelos y las condiciones medioambientales predominantes en la región así como los materiales mas característicos y las condiciones de carga impuestas por el trafico automotor que opera (y operará) en la vía, para que el proyecto sea económico y factible de construir en el futuro inmediato.

1. OBJETIVOS

1.1 ALCANCE

Como criterio general, se tratar de establecer y/o comprobar los parámetros de diseño para la ejecución de la obra en lo relativo a geotecnia para pavimentos en base a lo establecido en los términos de referencia.

En lo referente la vía se clasifica como de bajo tráfico, los términos de referencia establecen que en vías terciarias o de bajos tránsitos, la investigación geotécnica deberá realizarse según las indicaciones y consideraciones contempladas en el capítulo 3 del “Manual de diseño de pavimentos asfálticos con bajos volúmenes de tránsito” para vías en las cuales el tráfico esperado sea menor a 0.5 * 106 ejes equivalentes. El procedimiento de investigación consistirá en la realización de apiques a intervalos y profundidades definidos por el contratante.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Ejecutar los Estudios y Diseños para definir la estructura del pavimento que soporte las cargas de transito estimada en el periodo de diseño de acuerdo a las condiciones de materiales de la región y medioambientales.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Determinar unidades homogéneas en el aspecto geotécnico
2. Definir características de los materiales viales
3. Definir el espesor de las distintas capas de la estructura del pavimento.
4. Dar recomendaciones en el aspecto constructivo.

2. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto vial se localiza sobre las vías proyecto Ciclorruta Mirador del Cauca, Antioquia, El tramo directamente afectado tiene una longitud aproximada de 0.6 km con una altimetría de aproximadamente 1000 m.s.n.m.m.

2.1 LOCALIZACIÓN EN SUDAMÉRICA

En el siguiente esquema se muestra la localización de Colombia en el ámbito suramericano



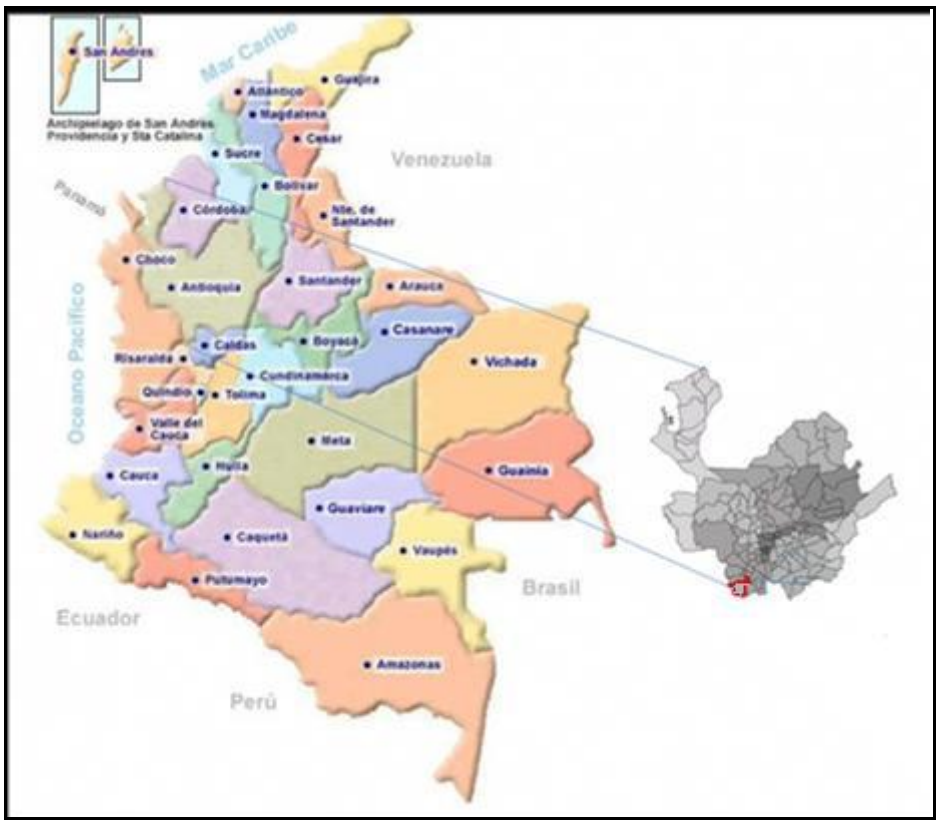
Colombia, de 1.141.748 km2 de extensión, está situada al Noroeste de América del Sur, es el cuarto país en tamaño de la región, limita al norte con aguas jurisdiccionales de Honduras, Jamaica y Haití, al este con Venezuela y Brasil, al sur con Perú y Ecuador, al oeste con aguas jurisdiccionales de Costa Rica y Panamá, y al noroeste con Panamá.

Las coordenadas geográficas generales del País son: Latitud 4º 35’ 56” al Norte y Longitud 72º 04’ 51.30” al Oeste.

2.2 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto esta ubicado en la zona occidental del Departamento de Antioquia, entre las coordenadas geográficas 06°30’14” N y 75°44’51” W.

Localización en Colombia

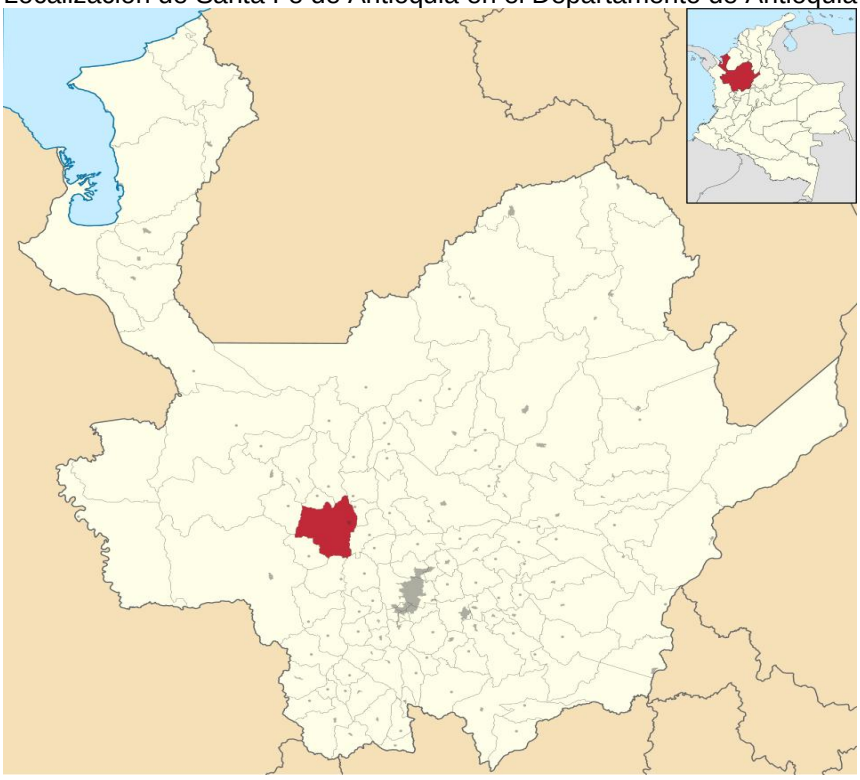


2.3 LOCALIZACIÓN DEPARTAMENTAL

Santa Fe de Antioquia es un municipio de Colombia, ubicado en la subregión Occidente de Antioquia, departamento del que fue capital hasta el 17 de abril de 1826. Limita por el norte con los municipios de Giraldo y Buriticá; por el nororiente con los municipios de Buriticá, Liborina y Olaya; por el oriente con los municipios de Olaya y Sopetrán; por el sur con los municipios de Ebéjico, Anzá y Caicedo; y por el occidente con los municipios de Caicedo, Abriaquí y Giraldo.

Santa Fe es monumento nacional por su admirable y hermosa arquitectura de la época colonial; posee siete iglesias y una gran cantidad de casas de los siglos XVI, XVII y XVIII. Hace parte de la Red de pueblos patrimonio de Colombia.

Localización de Santa Fe de Antioquia en el Departamento de Antioquia



3. INFORMACIÓN EXISTENTE

De ese estudio se tomo como información primaria la siguiente:

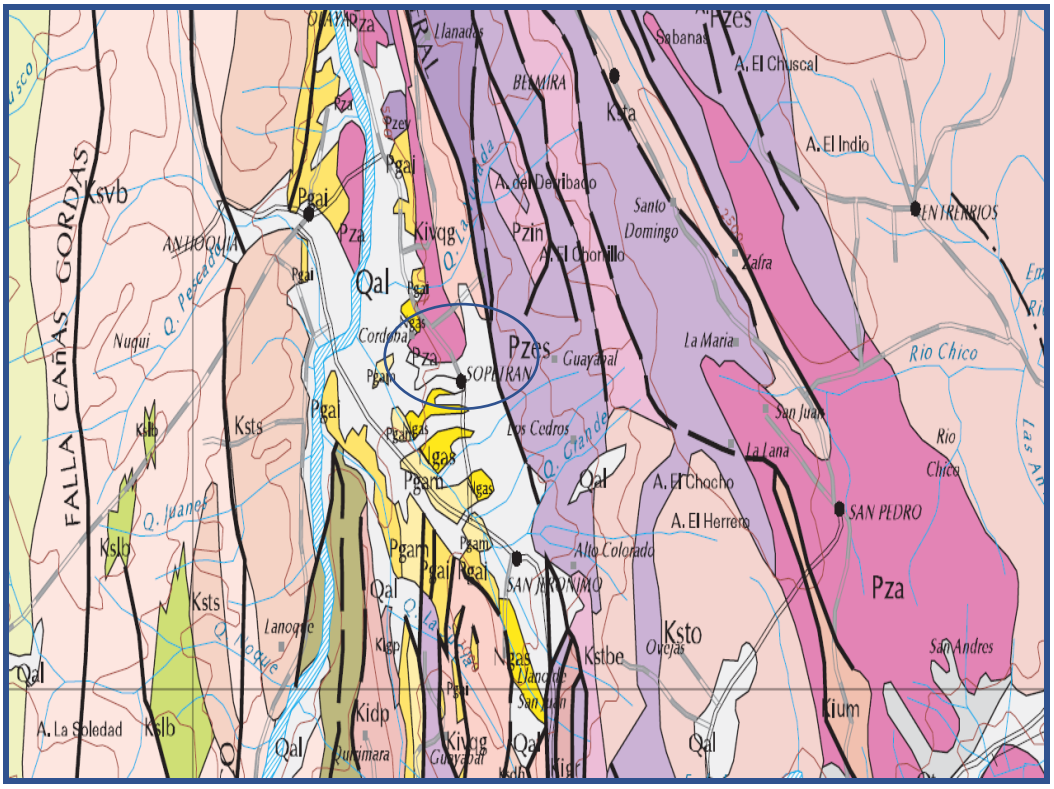
3.1 GEOLOGÍA REGIONAL

En el área predominan rocas sedimentarias cretáceas marinas y en menor proporción rocas ígneas volcánicas, que se postulan como generadas en una dorsal oceánica, y rocas ígneas intrusivas representativas del magmatismo terciario que afectó la Cordillera Occidental.

A un cuando los procesos geológicos locales o generales, tiene poca o escasa influencia practica en el comportamiento general del tramo (300 m), se puede establecer que n la zona los procesos geológicos son complejos dadas las formaciones diversas que se muestran, la geomorfología de montaña media y la hidrología que genera proceso que a lo largo del tiempo, con otros agentes externos o físicos, generan modificaciones y procesos que unido a la técnica y a la proximidad de fallas como las de Quirimana, Tonusco y Mistrató.

A nivel regional las rocas que conforman el área donde se localiza el proyecto de rehabilitación vial, son rocas metamórficas pertenecientes al Complejo Cajamarca, definido por Nelson, 1.957, y conformado por esquistos sericlticos, actinolÌticos, esquistos verdes, cuarcitas y mármoles, de edad paleozoica que constituyen una considerable área del oriente del departamento de Caldas. El dominio del Complejo Cajamarca en Caldas, se extiende desde el eje de la Cordillera Central en el oeste, hasta el cauce del Rio La Miel en el este; desde el límite con el departamento del Tolima al sur y hasta el límite norte con el departamento de Antioquia; en este considerable sector se tienen rocas metamórficas de muy bajo grado que conservan en parte la textura sedimentaria original; mármoles y rocas de silicatos de calcio; cuarcitas y esquistos de grano fino compuestos por cuarzo sacaroidal, y bandas micáceas; esquistos actinoliticos y cloríticos, a veces calcáreos de color verde predominante, localmente con intercalaciones de esquistos sericlticos; esquistos cuarzo-sericÌticos, grafitosos, pizarras y filitas los cuales localmente presentan intercalaciones de esquistos cloríticos; finalmente, gneises feldespáticos.

Grafica 1 Mapa Geológico de la Zona



Las principales formaciones son de origen ígneo intermedias y facies anfibolitas de origen metamórficos. La formación específica del sector del proyecto es Qal correspondiente a depósitos aluviales.

3.2 PREDIMENSIONAMIENTO DEL PAVIMENTO

En el estudio previo se hicieron varias sectorizaciones en donde el CBR de diseño vario 5% al 7.5%, resultando con estructuras de 7.5 cm de carpeta asfáltica, base granular entre 15 y 20 cms y subbase granular entre 15 cms. El transito de diseño fue de 1.05*106 ejes equivalentes a 8.2 ton.

4. TRABAJOS DE CAMPO

4.1 EXPLORACIÓN GEOTÉCNICO

La exploración de campo en el área de la geotecnia vial consistió de apiques cada 50 m hasta una profundidad de 1.2 m, en donde se definieron los distintos estratos constituyentes de la estructura actual del pavimento. De cada estrato se realizaron ensayos para clasificación de los suelos:

- Gradación
- Limite liquido
- Limite plástico

En las zonas con granulares se realizaron densidades de campo.
Igualmente, a nivel de subrasante se realizaron CBR “inalterados” en el caso de suelos granulares se realizaron CBR de laboratorio y densidad de campo para determinar el valor de CBR actuante.

En el anexo de este volumen se muestran los datos de campo.

5. CARACTERIZACION GEOMECANICA

Los estudios geotécnicos incluyen los aspectos que comprenden el estudio de la subrasante y el diseño del pavimento, para lo cual se identificaron sectores homogéneos desde los puntos de vista litológicos, de capacidad de soporte de la subrasante y de nivel de tránsito.
El presente informe muestra resultados de la vía en Mirador de Cauca, Santa Fe de Antioquia.

5.1.1 Estudio de sectorización

La exploración de campo se realizo tomando muestras de la subrasante con sondeos manuales, cada 50 m aproximadamente, se extrajeron muestras inalteradas para CBR. Se tomaron muestras en cada estrato para determinar la clasificación de los suelos y determinar sus condiciones de humedad natural. Esta exploración fue realizada directamente por la firma Gravas y Suelos SAS

Investigación de la subrasante. La exploración de la subrasante, se llevó a cabo mediante la ejecución de apiques, con una profundidad hasta 1.20 m, cada 50 m aproximadamente. De cada sondeo se tomaron muestras sobre las cuales se llevaron a cabo ensayos de consistencia, granulometría.

En el siguiente cuadro se resumen los datos obtenidos en la exploración.

TABLA 1
DATOS DE EXPLORACION

Sondeo No.	Abscisa	Muestra No.	Profundidad c(m)	HN %	LL %	LP %	IP %	Clasificación *USCS*
0	**Apique 01**	**2**						
			1.20	11.1	19	13.4	5.6	ML
1	**Apique 02**	**2**						
			1.20	12.4	17.5	13.4	4.1	SM
2	**Apique 03**	**2**						
			1.20	7.6	17.4	13.4	4.0	SC
3	**Apique 04**	**2**						
			1.20	9.0	20.6	7.2	7.2	SM
4	**Apique 05**	**2**						
			1.20	8.3	21.6	13.4	8.2	SM

De los registros de exploración de campo se muestra una primera capa de afirmado entre 20 y 25 cm, posteriormente, como subrasante se tiene materiales “granulares” o suelos producto de la meteorización de las rocas. Estos suelos están en una matriz arcillosa, con IP entre 4 y 9%.

Análisis de las condiciones de humedades: En la tabla No. 1 se observan las humedades naturales y las obtenidas de los ensayos de consistencias.

Las humedades naturales reportadas no son moderadas (entre el 7.5% y el 12.5%) con dato promedio del 8% e inferiores a las humedades del limite liquido, lo cual significa que existen suelos de consistencia media a baja y por su ubicación (del un alto porcentaje de muestras) entre el umbral del LL y LP es propio de suelos preconsolidados, los cual se explica por la acción del trafico vehicular que opera actualmente la vía y de los rellenos para mejoramiento de la superficie de rodadura.

Por correlación[1], se determina la compresibilidad de los suelos naturales así:

TABLA 2

Termino utilizado	Limite Liquido (LL)
Ligera a baja compresibilidad	0.30
Moderada a intermedia	31.5
Alta compresibilidad	51 y mayor

Igualmente se determina la plasticidad y resistencia en estado seco:

TABLA 3

Termino utilizado	Índice de plasticidad (IP)	Resistencia en estado seco
No plástico	0- 3	Muy baja
Ligeramente plástico	4-15	Ligera
Medianamente plástico	15 - 30	Mediana
Muy plástico	31 o mayor	Alta

En un alto porcentaje de las muestras ensayadas presentan compresibilidad moderada a intermedia y plasticidad ligera a mediana.

Clasificación de los suelos - sectorización: La estratigrafía del corredor nos muestra una alta homogeneidad en los suelos constituyentes de la subrasante o los suelos naturales y por condiciones de características de clasificación se observa que todos clasifican como SM Y SM-SC arena limosa o arcillosa, dependiendo del IP.

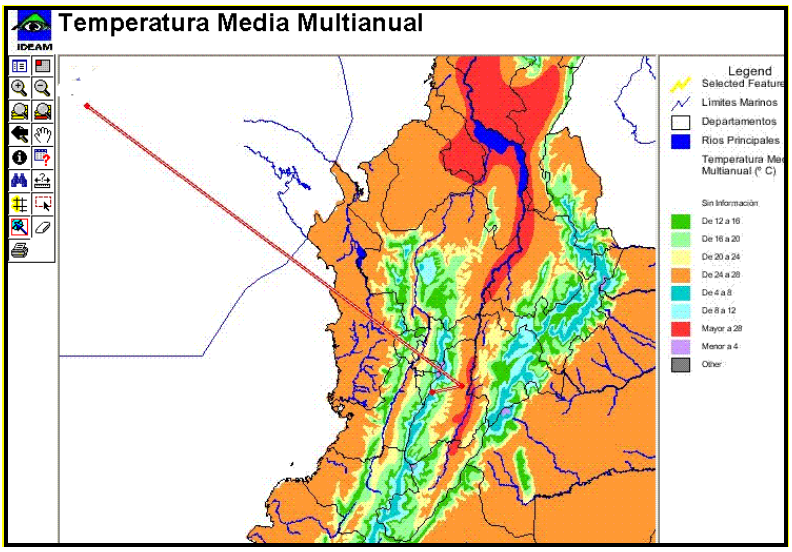
Condiciones de los drenajes y subdrenaje existentes: Se observan deficiencia de obras de drenaje y la ausencia total de subdrenajes; dada la alta pluviosidad de zona se puede esperar movimientos de aguas subsuperficial y subterránea, lo cual índice en la estabilizada de las laderas y en la resistencia de los suelos de fundación para pavimento.

[1] K. Terzaghi, Teoretical Soil Mechanic, John Wiley & Son, 1943

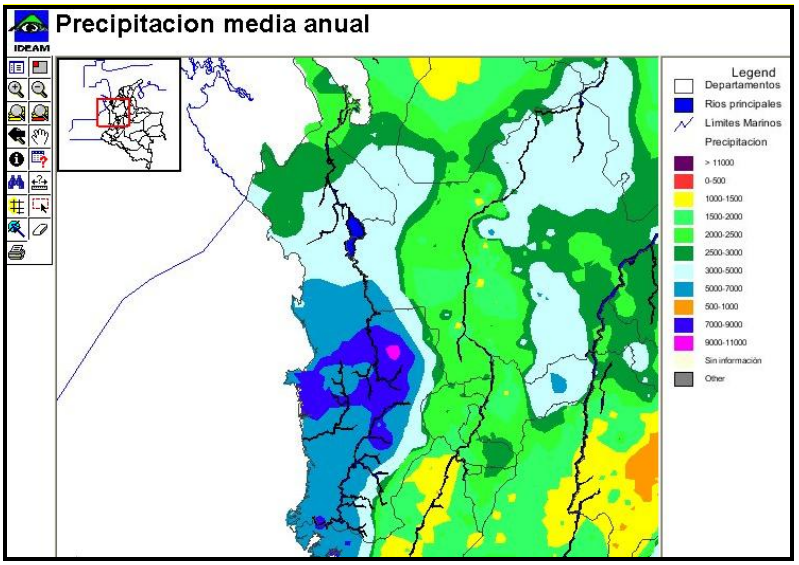
En las exploraciones no se detecto el nivel freático. No existen cunetas de desagüe y la topografía plana de la región dificulta el drenaje superficial y subterráneo.

5.1.2 Condiciones climáticas – pluviografia y ambientales

La temperatura media anual del municipio de Santa Fe De Antioquia es de 25ºC, según registros climatológicos de la zona.



La precipitación media anual es de 2250 mm de agua.



Se observa que la precipitación media anual es relativamente alta, al igual que los medios mensuales.

En este corredor se atraviesa una fuente de agua importante y caudalosa que entrega al Río Cauca y Tonusco y con cuyas avenidas normalmente produce taponamiento de la obra hidráulica (la cual es insuficiente para las características del fluido con material de arrastre), existe un Río importante con un comportamiento hidráulica de flujo mas estable y menor caudal. Quebrada La Tonusco.

5.1.3 Materiales viales propuestos

Los suelos SC o SM, se consideran apto como materiales viales de subrasante, por lo tanto, los suelos existentes no requieren de reemplazo o estabilización., por lo tanto, en este estudio solo se consideran como materiales para subrasante, desechando su utilización en rellenos o terraplenes.

Afirmado o rellenos: El material de rellenos se debe cumplir lo dispuesto en los artículos 300 y 311 de las especificaciones generales de construcción, además este material debe tener como mínimo un CBR de 15%.

Subbase: El material de subbase debe cumplir todo lo dispuesto en los artículos 300 y 320 de las especificaciones INVIAS y el CBR a una densidad del 95 % del Proctor modificado deberá ser mínimo 40%.

Base granular: Este material deberá cumplir todo lo establecido en los artículos 300 y 330-02, de las especificaciones INVIAS actualizadas, el CBR a una densidad del 95 del Proctor modificado deberá ser mínimo del 80%.

Carpeta asfáltica: dada las condiciones climáticas y de trafico de la región se debe garantizar un adecuado comportamiento de la carpeta asfáltica, y cumplir con lo establecido en la especificación 450-02 del INVIAS.

Geotextil: El geotextil a utilizar cumplirá funciones de separación y debe ser como mínimo de tipo NT-2000.

5.1.4 Transito

El tránsito en esta vía de Sopetrán se proyecta con un número de ejes equivalentes a 8.2 ton de 646.678. Debido a esas condiciones de trafico se debe diseñar utilizando el Manual de Medios a Altos Volúmenes de Transito del INVIAS o con una metodología adecuada que involucre los factores necesarios para garantizar un adecuada serviciabilidad y una suficiente capacidad de la estructura para soportar las solicitaciones esperadas.

5.1.5 CBR de diseño

De los estudios de exploración y ensayos tenemos para condiciones de “saturada” los siguientes datos:

TABLA 8 DATOS DE CBR

Sondeo	CBR (%)
1	12.1
2	PDC
3	13.6
4	PDC
5	13.1
Promedio	12.8

Debido a que la resistencia de los suelos de subrasante, en especial de los finos, se encuentra directamente asociada con las condiciones de humedad y densidad que ellos presentan, para el propósito de dimensionamiento del pavimento se recomienda determinar la resistencia de la subrasante bajo las condiciones mas húmeda que sea

de esperar una vez el pavimento haya sido puesto en servicio.[2]

CBR de Diseño Metodología AASHTO

La AASHTO[3] establece que el modulo de diseño sea el promedio de las distintas condiciones encontrada en la unidad de diseño y establece que de acuerdo a las condiciones de humedad y tráfico esperado se determine el valor de capacidad de soporte de a los siguientes pasos reseñados en la nota 5 pagina II-72:

1. Seleccionar un espesor de base determinado como solución probable.
2. Determine la perdida de serviciabilidad.
3. Determine la capacidad de soporte de la subrasante y de la base estimada.
4. Determine el número de ejes equivalentes a 8.2 para las condiciones de humedad establecidas (porcentual del total esperado).
5. Determinar los valores aceptables (admisibles) de numero de ejes equivalentes a 8.2 ton para cada época del año (o condiciones de humedad)
6. Calcular el valor de daños de cada época o condición de humedad.
7. Calcule el daño total y con el valor promedio estime el valor de capacidad de soporte de acuerdo a las distintas condiciones de humedad de la vía.

En el caso particular que nos ocupa se utiliza el valor promedio como CBR de diseño, esto para la metodología AASHTO o del Manual Colombiano de Diseño de Pavimentos en Vías con Bajo Volumen de Trafico.

Mr de Diseño para la subrasante:

Para este tipo de suelos se recomienda utilizar, a falta de ensayos dinámicos, la siguiente expresión para determinar el modulo resiliente de la subrasante

Mr (kg/cm2) = Ln(CBR) +16.87

Con lo cual se obtiene un modulo de la subrasante de 1943 kg/cm2

[2] Manual de diseño de Pavimentos de Medios y Altos Volúmenes de Trafico del INVIAS
[3] Aashto Guide for Design of Pavement Structures 1993

5.2 Diseño metodología Manual de Diseño de Pavimentos Asfáltico con Bajos Volúmenes de Transito del INVIAS.

Las soluciones presentadas por el Manual tienen una confiabilidad global del 90%, el índice de serviciabilidad final es 2.2 y la confiabilidad en el calculo de numero de ejes equivalentes a 8.2 ton debe darse en forma externa. En el presente diseño esa confiabilidad es del 95 %, de acuerdo a lo establecido en el volumen de Transito.

4.2.1 Parámetros de diseño

Periodo de Diseño: 10 años a partir de 2026, esperando se realicen mantenimientos periódicos a la vía antes de llegar a su índice de serviciabilidad mínimo (2.2) y en forma puntual en aquellos sitios en los cuales se observen deficiencias.

Clase de Transito: El numero de vehículos pesados en el primer año es 47, por lo tanto, el transito se clasifica como T3.

Hidrología - Temperatura: De acuerdo al IDEAM la precipitación media anual es de 2500 mm y la temperatura media anual de 20ºC en base a esto la subrasante por contenido de humedad es Categoría 2.

Resistencia de la Subrasante: El manual establece que la confiabilidad es del 90%, cuando se emplea los valores medios de resistencia de la subrasante y los climáticos. Por lo tanto, se utiliza el CBR promedio (o ponderado cuando los valores de las exploraciones no cubren áreas semejantes) en este caso el CBR de diseño es 12.8%. La categoría de la subrasante es S2

5.3 Estructura de Diseño Preliminar

Del catalogo de estructuras del Manual y con los parámetros de diseño determinan utilizar la carta No. 2.1.

La estructura recomendada por el manual es: 7.5 cm de mezcla asfaltico, 15 cm de base granular y 20 cm de subbase granular.

Debido a que la estructura se apoya sobre el material existente (material mejorado) no se requiere de capas adicionales.

Debido a que este sistema de diseño no considera, a nivel de subrasante, el aporte estructural de los materiales granulares existentes, y como carpeta de rodadura se tiene una MDC-19, la cual tiene menor durabilidad y aporte que las mezclas densas en caliente se establece como metodología de diseño el sistema AASTHO 93.

5.4 CONSIDERACION DE MATERIAL EXISTENTE

Debido a que en la exploración geotécnica se verifica espesores de materiales granulares existentes en la vía, sobre él se encuentra un afirmado con alto grado de deterioro se considera como aporte estructural de los granulares remanentes intermedios entre la subrasante y la nueva estructura.

El promedio se estima como espesor útil 20 cms de materiales remanentes correspondiente a un afirmado de la vía existente.

Para las capas granulares se utiliza en el presente informe las expresiones propuestas por Barker[4] y otros para calcular el modulo resiliente de aporte así:

Para subbase granular:

$$Esb = Esr(5.35\log h_{sb} + 0.62\log E_{sr} - 1.56(\log h_{sb}) * (\log E_{sr}) - 1.13)$$

E_{sr}: Modulo de la subrasante (Kg/cm^2)
E_{sb} : Modulo de la subbase granular (kg/cm^2)
E_{bg}: Modulo de base granular (kg/cm^2)
h_{sb} : Espesor de la subbase granular (cm)
h_{bg}. Espesor de la base granular (cm)

[4] BARKER W.R., BRABSTON W.N., CHOU Y.T “A general system for the structural design of flexible pavements” IV Conference. Ann Arbor 1977.

Obtenemos un modulo de aporte de los granulares intermedios de 1118 kg/cm^2

6. DISEÑO DE PAVIMENTO METODO AASTHO

6.1 Materiales

Los materiales a utilizar son:

Carpeta asfáltica tipo mdc-19
Base granular CRB >80%
Subbase granular CBR>30%
Relleno granular remante CBR>15%
Subrasante CBR>12.8%

En esta metodología, se considera como factor importante de diseño el índice de serviciabilidad y la perdida de serviciabilidad en transcurso de la vida útil del pavimento. Para efecto de este diseño se considera un índice inicial de 4.0 y un índice servicio final de 2.0, con lo cual se tiene

$$\Delta PSI = 4.0 - 2.0 = 2.0$$

La confiabilidad asumida debido al tipo de vía (secundaria) es de 90%, con un error estándar combinado de las predicciones de transito y comportamiento de 0.40 y una desviación estándar de 1.282.

El numero de ejes equivalentes a 8.2 ton en el periodo de diseño es de 658.800

El diseño estructural se basa en la determinación de los números estructurales de las distintas capas del pavimento, considerando las condiciones de drenaje coeficiente mi, considerando el aporte estructural de los materiales con un coeficiente ai y considerando los distintos espesores de las capas estructurales Di, con lo cual.

$SN=a_1*D_1+a_2*m_2*D_2+a_3*m_3*D_3+a_4*m_4*D_4$

O lo que es igual:

$SN = SN_1+SN_2+SN_3+SN_4$

Donde SN_1 corresponde a la carpeta asfáltica, SN_2 a la base granular, SN_3 a subbase granular y SN_4 a los materiales granulares remanentes.

6.2 Módulos de Diseño

De la Guía de Diseño se obtienen los valores de coeficientes estructurales de las distintas capas del pavimento

Modulo de la mezcla asfáltica: se adopta la metodología propuesta por Shell.

Temperatura de las mezclas asfálticas (T_{mix}): se considera que las variaciones de la temperatura de la zona del proyecto tienen influencia directa sobre las características mecánicas y dinámicas de los materiales asfálticos (modulo de elasticidad dinámico). La temperatura media anual ponderada del aire en el sector de influencia es de 25 °C, la temperatura máxima más probable de la mezcla (en su fibra más profunda) de acuerdo a las características del sector (T_{mix}) es determinada por la expresión desarrollada de Witczak:

$$T_{mix} = T_a\left[1+\frac{1}{z+4}\right]-\left[\frac{34}{z+4}\right]+6$$

Ta : temperatura media anual en ºF

Z : medido en el tercio del espesor del pavimento en pulgada

De acuerdo a lo anterior T_{mix} = 27ºC

Índice de penetración y temperatura T_{800} del asfalto: Disponiendo de asfalto de Barrancabermeja en las cuales tenemos las siguientes características promedio:

- Penetración: 76 0.01 mm
- Punto de ablandamiento: 47.7 °C
- Del diagrama de Heukelom se determina el Índice de penetración es de –0.9

Para las mezclas promedio de las regiones tenemos:

Parámetro	Valor
Volumen de vació (Vv) %	4
Volumen de asfalto (Va) %	13
Viscosidad absoluta a 21ºC (106 poise)	3.11
Clasificación del asfalto	AC 20
Frecuencia de aplicación de carga (hz.)	10
Duración de la carga (seg.), para 10 cms de espesor de mezcla asfáltica	0.022
Temperatura media de la mezcla (ºC)	27
Temperatura de reblandecimiento (anillo y bola) ºC	48
Pasa 200 (%)	7.1
Retenido en tamiz ¾”	0
Retenido en tamiz 3/8”	22
Retenido en tamiz No. 4	45.

Utilizando las rutinas propuestas por la Shell y desarrolladas por Heukelon y Klomp, y la modifica por P. Ugé, determinando la rigidez del asfalto con el monograma de Van der Poel con el algoritmo desarrollado por Shahin y McCulloung, además se hace comprobación con la metodología propuesta por el Instituto del asfalto y la modificada por Witzack y calculando con el programa Módulos .5 desarrollado por la UNAM tenemos:

Método	Modulo (kg/cm^2)
Shell – Ugé	17,100
Shell – Heukelon	24,680
Instituto del asfalto	28,537
Witzack	29,327
Ins. Texa	25,179

Se toma el valor promedio como representativo: 24,964 $kgcm^2$

Coeficiente de drenaje. Considerando que los materiales granulares son limpios y de bajos IP, y que los niveles de exposición a niveles de saturación son con porcentaje entre 5-25%, se tiene los siguientes valores de coeficientes de drenaje:

TABLA 11

Base granular	1.2
Subbase granular	1.15
Rellenos	1

Coeficientes estructurales

TABLA 12

Capa	CBR (%) o Modulo (psi)	Coeficiente estructural	Coeficiente drenaje	Modulo (psi)
Concreto asfáltico	355,071	0.37		355,071
Base granular	80	0.135	1.3	28 500
Subbase granular	30	0.11	1.15	16 000
Remanente	15	0.09	1.	15 900

Utilizando el programa desarrollado por Dr. Fouad M. Bayomy de la University of Idaho, calculamos el número estructural necesario para toda la estructura con los siguientes datos:

Pi=4.0
Pf=2.0
Zr=1.280
So=0.40
N= 151,120
Mr=15090 psi subrasante

Tenemos:
SN=2.49

Espesores mínimos:

El espesor establecido para el material de relleno es de 30 cms. La Guía de diseño de AASHTO recomienda los siguientes espesores mínimos

TABLA 13

Capa	Espesor pulg	Espesor cm
Carpeta asfáltica	2.5	6.25
Base granular	4	10.16

Espesores de diseño.

Establecemos 10 cms como espesor de diseño de la carpeta asfáltica (por la categoría de la vía), espesores de la base granular 15 cm y determinamos el valor de la subbase granular.

Con los materiales ya establecidos se obtiene un numero estructural de 2.57, con lo cual no se requiere de subbase; situación consistente con la calidad de los materiales existentes y el transito de diseño.

Valor de subbase calculado: Los granulares remantes actúan como subbase, pero se requiere una estructura adicional de 20 cm

Chequeo del numero estructural de diseño:

El numero estructural de diseño calculado para la estructura propuesta es:

SN= 3.70, con lo cual se verifica la estructura propuesta.

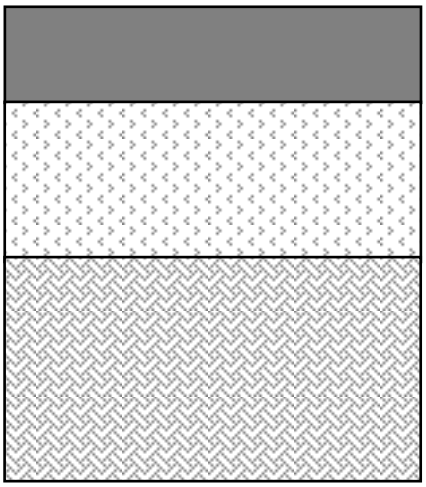
Chequeo de numero de ejes equivalentes a 8.2 ton

Utilizando el programa de la universidad de Idaho determinamos para las condiciones de diseño el numero de ejes equivalentes a 8.2 ton de la vida útil de la estructura propuesta:

N_{18}= 183,761

Lo cual verifica la estructura de diseño propuesta.

GRAFICA 1 ESTRUCTURA DE DISEÑO



6.2.1 Estructura de Diseño Definitiva – Verificación Elástica

De hecho, un método especifico de diseño, sea mecanicista o empírico, no requiere de verificación por otro sistema que involucra los parámetros de control o de incertidumbre en otros pasos del diseño o que corresponden a experiencias y mediciones distintas en cuanto a frecuencia y latitud. En cumplimiento a lo establecido en los términos de referencia hacemos un control, basado en teoría elástica multicapa y determinando ciertos parámetros en base a correlaciones (empírico – mecanicista).

Para validar (o mejor para comparar) el diseño y hacer los ajustes necesarios, utilizando metodología mecanicista, en donde se considera las características geomecánicas de los materiales y de la teoría elástica multicapa para determinar los esfuerzos actuantes de acuerdo a lo establecido en el presente estudio. Además, se establecerá las funciones de trasferencia en base a respetables estudios realizados por diversos entes investigadores del comportamiento de los pavimentos con concreto asfaltico asfálticos.

<u>Módulo elástico de subrasante y granulares:</u>

Se determino en base a los CBR de campo y el valor obtenido fue:

Mr = 1180 kg/cm^2

Para las capas granulares se utiliza en el presente informe las expresiones propuestas por Barker[5] y otros, así:

Para subbase granular:

$$Esb = Esr(5.35\log h_{sb} + 0.62\log E_{sr} - 1.56(\log h_{sb}) * (\log E_{sr}) - 1.13)$$

Para base granular:

$$Ebg = Esb * (8.05 * \log h_{bg} + 0.89 * \log Esb - 2.1 * (\log Esb) * (\log h_{bg}) - 2.21)$$

Donde:

E_{sr}: Modulo de la subrasante (Kg/cm^2)
E_{sb} : Modulo de la subbase granular (kg/cm^2)
E_{bg}: Modulo de base granular (kg/cm^2)
h_{sb} : Espesor de la subbase granular (cm)
h_{bg}. Espesor de la base granular (cm)

Como en todos los casos existen capas de material granular remanentes o existentes con espesores promedio de 20 se toma este valor como representativo sobre los materiales de subrasante, con lo cual se establecen cuatro capas así: subrasante, materiales granulares remantes, base y carpeta asfáltica.

Los resultados obtenidos son:

TABLA 14 MODULOS ELÁSTICO MATERIALES

Material	Espesor	Modulo (kg/cm^2)
Subrasante	-	503
Granulares existentes	30	1,118
Base	10	2,234

[5] BARKER W.R., BRABSTON W.N., CHOU Y.T “A general system for the structural design of flexible pavements” IV Conference. Ann Arbor 1977.

Modulo de la mezcla asfáltica: se adopta la metodología propuesta arriba el valor más probable para la mezcla de la región, en las condiciones climáticas y de carga aquí establecidas es de 24,954kg/cm^2.

Funciones de transferencia – valores admisibles

Deformación máxima admisible a tracción en la carpeta asfáltica

Formula Shell

$$\varepsilon_t = (0.856Vb + 1.08)(10^5 xSmix)^{-0.36} xNfat^{-0.2}$$

donde:

ε_t : Deformación unitaria admisible a tracción en la base de la carpeta asfáltica.

S_{mix} : Modulo dinámico de la mezcla asfáltica en kg/cm^2

$$Nfat = \frac{Nfdiseño}{ShiftFactor}$$

Vb: Volumen de asfalto en la mezcla asfáltica: 13%

Asumiendo un Shift Factor de 10

Tenemos un valor de $\varepsilon_t = -4.31x10^{-4}$ (mm/mm)

Deformación máxima admisible en la subrasante:

Para una confiabilidad del 85% tenemos la siguiente ecuación:

$$\varepsilon_z = \left[10^{-7} * N^{-1} * 1.95\right]^{0.25}$$

ε_z: Deformación unitaria admisible a compresión en la subrasante

Para los datos de diseño tenemos un valor de $\varepsilon_z = 1.06x10^{-3}$ (mm/mm)

Modelación Analítica:

Utilizando el programa Openpave, desarrollado por Open Sarve, se hace la modelación analítica para determinar los esfuerzos actuantes utilizando la teoría elástica multicapa.

Los resultados se anexan.

En el siguiente cuadro se comparan las deformaciones actualmente y las admisibles.

La deformación máxima horizontal en la fibra inferior de la carpeta asfáltica se da bajo la llanta externa y la deformación máxima vertical en la subrasante se da bajo el centro de las dos ruedas traseras del vehículo.

TABLA 15 DEFORMACIONES ADMISIBLE – ACTUANTE

Deformación a tracción en la fibra inferior de la C.A.		Deformación a compresión en la subrasante	
Actuante	Admisible	Actuante	Admisible
$-5.03x10^{-4}$	$-4.31x10^{-4}$	$1.2x10^{-3}$	$1.06x10^{-4}$

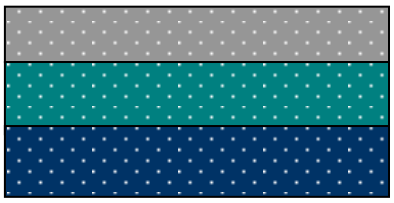
El diseño no cumple bajos las condiciones de chequeo establecidas y es la situación critica son los esfuerzos de comprensión en la subrasante y de tensión en la fibra inferior de la carpeta asfáltica. Por lo tanto, se puede predecir que se pueden presentar ahullamientos o roderas permanentes al finalizar el periodo de diseño, y/o fallas tipo piel de cocodrilo

AJUSTE A DISEÑO

Debido a que no chequea el esfuerzo a compresión y tensión de la estructura se modifica el espesor de base a 15 cms y de subbase a 15 cm

Deformación a tracción en la fibra inferior de la C.A.		Deformación a compresión en la subrasante	
Actuante	Admisible	Actuante	Admisible
$-4.36x10^{-4}$	$-4.31x10^{-4}$	$1.06x10^{-4}$	$1.06x10^{-4}$

FIGURA 2 Estructura de diseño definitivo



75 mm de carpeta asfáltica
mdc-2

150 mm de base granular CBR > 80%

150 mm de remanente granular CBR > 30%

7. CONCLUSIONES – RECOMENDACIONES

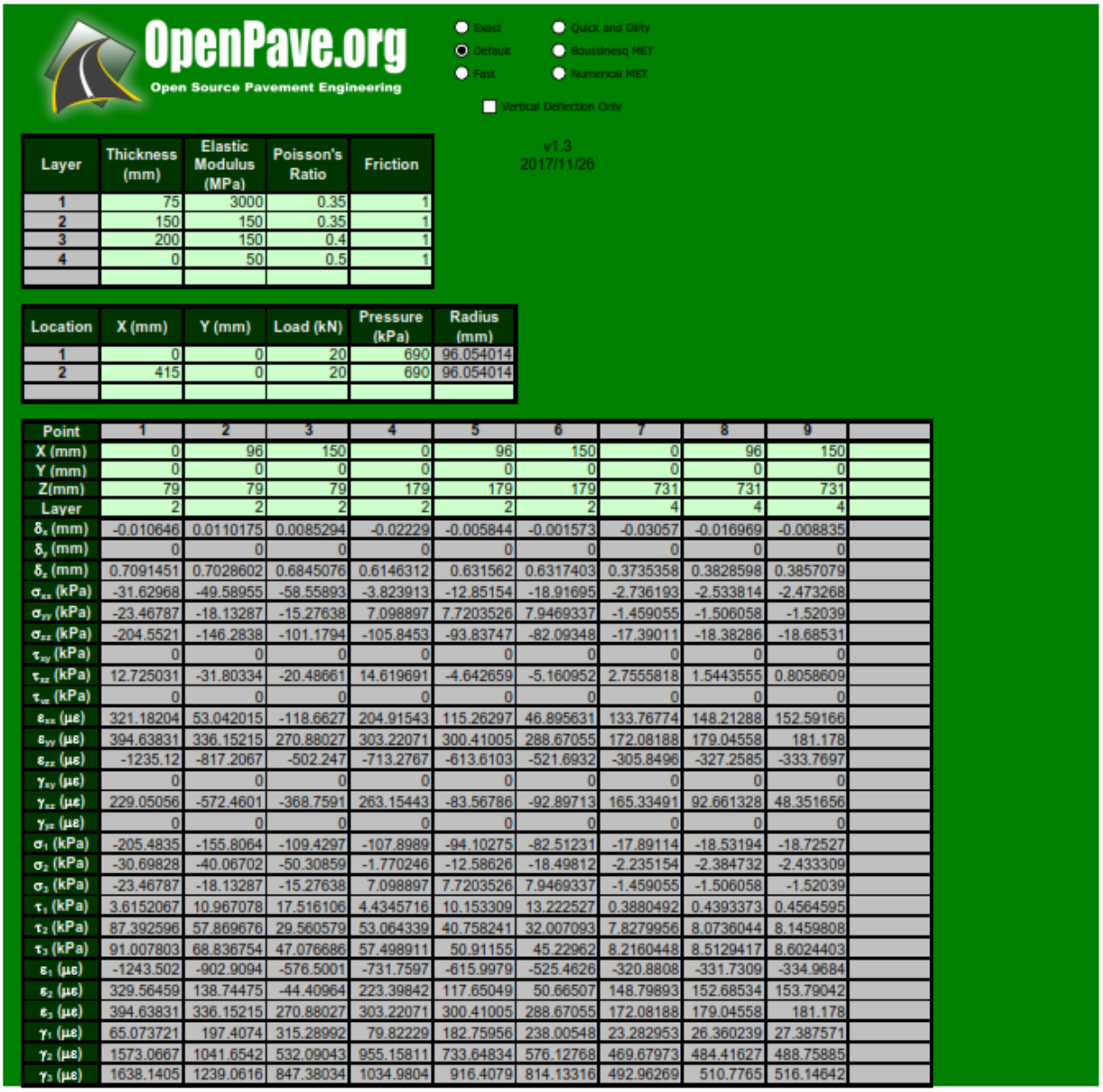
- La estructura de diseño a utilizar es: 7.5 cms de mezcla densa en caliente tipo mdc-19, 15 cm de base granular tipo INVIAS con CBR mínimo de 80%, a una densidad del 95% del Proctor modificado y 15 cm de subbase granular tipo INVIAS con densidad del 95% del Proctor modificado.
- Se deben colocar subdrenes y cunetas que garanticen la estabilizada de las capas estructurales del pavimento.
- Durante la construcción se debe velar porque los materiales cumplan con las especificaciones previstas.

Preparo: Ing. Juan Carlos León Lara
Especialista en Pavimentos.

Anexo Resultado diseño de pavimento Método AASTHO

Ecuación AASHTO - 93 Pavimentos Flexibles	Sistema Ingles	S.I. (cm)
Numero de ejes equivalentes de 8.2 ton	680,000.00	
Serviciabilidad inicial	4.20	
Serviciabilidad final	2.40	
Modulo resiliente de la subrasante (psi)	15,901.00	
Confiabilidad	95.00	
Desviación estándar del error (So)	0.45	
Modulo mezcla densa en caliente (psi)	420,609.00	
Modulo base granular (psi)	29,000.00	
Modulo subbase granular (psi)	15,955.00	
Coeficiente de drenaje base granular	0.90	
Coeficiente de drenaje subbase granular	0.90	
Resultado de calculo coeficientes estructurales		
Desviación normal para la servicibilidad (Zr)	-1.645	
Coeficiente estructural mezcla densa	0.425	
Coeficiente estructural base granular	0.134	
Coeficiente estructural subbase granular	0.115	
Coeficientes estructurales asumidos		
Coeficiente estructural mezcla densa	0.400	
Coeficiente estructural base granular	0.137	
Coeficiente estructural subbase granular	0.109	
Calculos teorico de diseño		
Numero estructural requerido	**2.586**	
Espesor mezcla densa en caliente (pulg)	4.84	12.28
Espesor base granular (pulg)	4.38	11.14
Espesor subase granular (pulg)	0.03	0.08
Espesores asumidos diseño		
Espesor mezcla densa en caliente (pulg)	2.95	7.5
Espesor base granular (pulg)	5.91	15
Espesor subase granular (pulg)	7.87	20
Numero estructural diseño	2.682	
Numero de ejes equivalentes de 8.2 ton diseño	849,846	

Anexo Resultado diseño de pavimento Método Analítico



OpenPave.org
Open Source Pavement Engineering

Exact | Quick and Dirty
Default | Boussinesq MET
Fast | Numerical MET
Vertical Deflection Only

v1.3
2017/11/26

Layer	Thickness (mm)	Elastic Modulus (MPa)	Poisson's Ratio	Friction
1	75	3000	0.35	1
2	150	150	0.35	1
3	200	150	0.4	1
4	0	50	0.5	1

Location	X (mm)	Y (mm)	Load (kN)	Pressure (kPa)	Radius (mm)
1	0	0	20	690	96.054014
2	415	0	20	690	96.054014

Point	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
X (mm)	0	96	150	0	96	150	0	96	150	
Y (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Z(mm)	79	79	79	179	179	179	731	731	731	
Layer	2	2	2	2	2	2	4	4	4	
δ_x (mm)	-0.010646	0.0110175	0.0085294	-0.02229	-0.005844	-0.001573	-0.03057	-0.016969	-0.008835	
δ_y (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
δ_z (mm)	0.7091451	0.7028602	0.6845076	0.6146312	0.631562	0.6317403	0.3735358	0.3828598	0.3857079	
σ_{xx} (kPa)	-31.62968	-49.58955	-58.55893	-3.823913	-12.85154	-18.91695	-2.736193	-2.533814	-2.473268	
σ_{yy} (kPa)	-23.46787	-18.13287	-15.27638	7.098897	7.7203526	7.9469337	-1.459055	-1.506058	-1.52039	
σ_{zz} (kPa)	-204.5521	-146.2838	-101.1794	-105.8453	-93.83747	-82.09348	-17.39011	-18.38286	-18.68531	
τ_{xy} (kPa)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
τ_{xz} (kPa)	12.725031	-31.80334	-20.48661	14.619691	-4.642659	-5.160952	2.7555818	1.5443555	0.8058609	
τ_{uz} (kPa)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ε_{xx} (με)	321.18204	53.042015	-118.6627	204.91543	115.26297	46.895631	133.76774	148.21288	152.59166	
ε_{yy} (με)	394.63831	336.15215	270.88027	303.22071	300.41005	288.67055	172.08188	179.04558	181.178	
ε_{zz} (με)	-1235.12	-817.2067	-502.247	-713.2767	-613.6103	-521.6932	-305.8496	-327.2585	-333.7697	
γ_{xy} (με)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
γ_{xz} (με)	229.05056	-572.4601	-368.7591	263.15443	-83.56786	-92.89713	165.33491	92.661328	48.351656	
γ_{yz} (με)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
σ_1 (kPa)	-205.4835	-155.8064	-109.4297	-107.8989	-94.10275	-82.51231	-17.89114	-18.53194	-18.72527	
σ_2 (kPa)	-30.69828	-40.06702	-50.30859	-1.770246	-12.58626	-18.49812	-2.235154	-2.384732	-2.433309	
σ_3 (kPa)	-23.46787	-18.13287	-15.27638	7.098897	7.7203526	7.9469337	-1.459055	-1.506058	-1.52039	
τ_1 (kPa)	3.6152067	10.967078	17.516106	4.4345716	10.153309	13.222527	0.3880492	0.4393373	0.4564595	
τ_2 (kPa)	87.392596	57.869676	29.560579	53.064339	40.758241	32.007093	7.8279956	8.0736044	8.1459808	
τ_3 (kPa)	91.007803	68.836754	47.076686	57.498911	50.91155	45.22962	8.2160448	8.5129417	8.6024403	
ε_1 (με)	-1243.502	-902.9094	-576.5001	-731.7597	-615.9979	-525.4626	-320.8808	-331.7309	-334.9684	
ε_2 (με)	329.56459	138.74475	-44.40964	223.39842	117.65049	50.66507	148.79893	152.68534	153.79042	
ε_3 (με)	394.63831	336.15215	270.88027	303.22071	300.41005	288.67055	172.08188	179.04558	181.178	
γ_1 (με)	65.073721	197.4074	315.28992	79.82229	182.75956	238.00548	23.282953	26.360239	27.387571	
γ_2 (με)	1573.0667	1041.6542	532.09043	955.15811	733.64834	576.12768	469.67973	484.41627	488.75885	
γ_3 (με)	1638.1405	1239.0616	847.38034	1034.9804	916.4079	814.13316	492.96269	510.7765	516.14642	