

ESTUDIO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS

**MEJORAMIENTO DE LA VÍA
YOTOCO -BUENOS AIRES -EL DORADO
EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES -
CASCO URBANO DE YOTOCO Y DE UN
TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -CORDOBITAS
EN YOTOCO VALLE DEL CAUCA**

febrero de 2023

Iniciativa presentada por:

AGROCOLSA S.A. SOCIEDAD CIVIL, NIT 805.021.816-3

AGRÍCOLA COLOMBIANA S.A., NIT 890.315.430-6

PRODUCTORA NACIONAL AVÍCOLA S.A., NIT 890.321.213-9

ALIANZA FIDUCIARIA, NIT 860.531.315-3

**CONSULTORÍA
ELSA CAMPO LÓPEZ
INGENIERA CIVIL**



TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	8
2	OBJETIVOS	8
2.1	OBJETIVOS GENERALES	8
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
3	GENERALIDADES DEL PROYECTO	9
3.1	GENERALIDADES DEL MUNICIPIO	9
3.2	CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR Y DE LA ESTRUCTURA	10
3.3	DISEÑO GEOMÉTRICO	12
3.4	VEHÍCULO DE DISEÑO	12
3.5	PERIODO DE DISEÑO	13
4	TRÁNSITO	14
4.1	TRANSITO PROMEDIO DIARIO (TPD)	14
4.2	PRONOSTICO DEL TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO (TPD) FUTURO	14
4.3	TRANSITO PROMEDIO DIARIO (TPD)	14
4.4	ESPECTRO DE CARGAS	15
5	EVALUACIÓN DE LA SUBRASANTE	16
5.1	DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE (K)	17
5.2	MÓDULO RESILIENTE DE LA SUB-RASANTE (MR)	17
6	METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON SUELOS DE MEJORAMIENTO	18
6.1	MATERIAL DE MEJORAMIENTO PARA LA ZONA PARTICULAR N°1	18
6.2	MATERIAL DE MEJORAMIENTO PARA LA ZONA PARTICULAR N°2	20
7	DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO	23
7.1	ESPESOR INICIAL DEL PAVIMENTO	23
7.2	MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE Y MÓDULO COMBINADO	24
7.2.1	Con Sub-Base Granular	24
7.2.1.1	Unidad de diseño N°1 del Tramo N°1 (K2+570 AL K5+400)	24
7.2.1.2	Unidad de diseño N°2 del Tramo N°1 (K5+400 AL K10+298)	24
7.2.1.3	Unidad de diseño N°1 del Tramo N°2 (K0+000 AL K0+834.28)	24
7.3	TRANSFERENCIA DE CARGA Y SOPORTE LATERAL	24
7.4	MÓDULO DE ROTURA DEL CONCRETO (MR)	25
8	RESULTADOS DEL DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO	26
8.1	MÉTODO DE LA PCA: UNIDAD DE DISEÑO N°1 DEL TRAMO N°1 (K2+570 AL K5+400)	26
8.1.1	Chequeo de la estructura	31

8.1.1.1	Dimensiones	31
8.1.1.2	Esfuerzos por cambio uniforme de temperatura	31
8.1.1.3	Esfuerzos por acción de las cargas	32
8.2	MÉTODO DE LA PCA: UNIDAD DE DISEÑO N°2 DEL TRAMO N°1 (K5+400 AL K10+298)	33
8.2.1	Chequeo de la estructura	39
8.2.1.1	Dimensiones	39
8.2.1.2	Esfuerzos por cambio uniforme de temperatura	39
8.2.1.3	Esfuerzos por acción de las cargas	40
8.3	MÉTODO DE LA PCA: UNIDAD DE DISEÑO N°1 DEL TRAMO N°2 (K0+000 AL K0+834.28)	41
8.3.1	Chequeo de la estructura	46
8.3.1.1	Dimensiones	46
8.3.1.2	Esfuerzos por cambio uniforme de temperatura	46
8.3.1.3	Esfuerzos por acción de las cargas	47
8.4	CONSIDERACIONES	47
8.4.1	Dimensiones superficiales de las losas	47
8.4.2	Mecanismos de transmisión de carga	48
8.4.3	Tipo de juntas recomendadas	48
8.4.3.1	Junta transversal de contracción	48
8.4.3.2	Junta transversal de construcción	49
8.4.3.3	Juntas de expansión	50
8.4.4	Casos especiales de construcción	51
8.4.5	Refuerzos de las losas	52
8.4.6	Sellado de juntas	52
8.4.7	Armadura de refuerzo	53
9	DISEÑO DE PAVIMENTO TIPO FLEXIBLE MÉTODO AASTHO	54
9.1	OBJETIVOS	54
9.1.1	Objetivo general	54
9.1.2	Objetivos específicos	54
9.2	ANÁLISIS DE TRANSITO	54
9.2.1	Determinación del número de ejes equivalentes	54
9.3	DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE	55
9.3.1	Tránsito	56
9.3.2	Serviciabilidad	56
9.3.3	Confiabilidad	56
9.3.4	Caracterización de los materiales	57
9.3.5	Condiciones de drenaje	57
9.3.6	Determinación de espesores	58
9.3.7	Calculo de esfuerzos y deformaciones	59
9.3.8	Parámetros admisibles de diseño	60
9.3.8.1	Análisis en la carpeta asfáltica, (control de fatiga o agrietamiento)	60
9.3.8.2	Análisis en la subrasante, (control de ahuellamiento)	60
9.4	RESULTADOS DEL DISEÑO EN PAVIMENTO FLEXIBLE	62

9.4.1	Unidad de diseño N°1 del Tramo N°1 (K2+570 AL 5+400)	62
9.4.2	Unidad de diseño N°2 del Tramo N°1 (K5+400 AL K00+300)	66
9.4.3	Unidad de diseño N°1 del Tramo N°2 (K0+000 AL K0+834.28)	71
10	DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE UTILIZANDO EL MANUAL DE DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS EN VÍAS CON MEDIOS Y ALTOS VOLÚMENES DE TRANSITO DEL 2015	75
10.1	RANGOS DE TRÁNSITO CONSIDERADOS EN EL CATÁLOGO DE ESTRUCTURAS	75
10.2	CONSIDERACIONES DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO DE TEMPERATURA SOBRE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.	76
10.3	MÓDULO RESILIENTE DE LA SUBRASANTE.	77
10.4	CARTAS DE DISEÑO	77
10.5	CRITERIOS Y MATERIALES UTILIZADOS EN LA DETERMINACIÓN DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS ESTRUCTURALES DEL MANUAL DE DISEÑO.	78
10.6	RESULTADOS DEL DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE	79
10.6.1	Unidad de diseño N°1 del Tramo N°1 (K2+570 AL K5+400)	79
10.6.2	Unidad de diseño N°2 del Tramo N°1 (K5+400 AL K10+298)	80
10.6.3	Unidad de diseño N°1 del Tramo N°2 (K0+000 AL K0+834.28)	82
11	CAPAS GRANULARES	84
11.2	SUB-BASE	84
11.1	BASE	85
11.2	CARPETA ASFÁLTICA	87
11.3	CALCULO DE LA MEZCLA (MÉTODO SHELL)	88
12	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	89
12.1	RECOMENDACIONES PARA PAVIMENTO RÍGIDO	91
12.2	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS	92
12.3	RECOMENDACIONES PARA PAVIMENTO FLEXIBLE	93

Listado de Tablas

Tabla 1 Tramos del sector en estudio- Fuente El Autor	11
Tabla 2 Tránsito promedio diario-Fuente: Información: Volumen I, Estudio de tránsito, capacidad y niveles de servicio, Tabla: El Autor	14
Tabla 3 Tránsito promedio diario (TPD) futuro- Fuente: Elaboración propia	14
Tabla 4 Parámetros para el cálculo del número de repeticiones esperadas cada año por tipo de eje en el carril de diseño- Fuente: Elaboración propia	14
Tabla 5 Cálculo del número de repeticiones esperadas cada año por tipo de eje en el carril de diseño- Fuente: Elaboración propia	15
Tabla 6 Espectro de cargas para la vía- Fuente: Elaboración propia	15
Tabla 7 Valores de CBR con inmersión para cada tramo- Fuente: Elaboración propia	16
Tabla 8 Valor de CBR de diseño adoptado para cada unidad de diseño- Fuente: El Autor	16
Tabla 9 Valor de CBR adoptado para las zonas particulares- Fuente Tabla El Autor	17
Tabla 10 Módulo de reacción K de la subrasante para cada tramo de vía- Fuente: Elaboración propia	17
Tabla 11 Modulo resiliente de la subrasante natural para cada unidad homogénea de diseño- Fuente El Autor	17
Tabla 12 Determinación de plataformas de trabajo mediante la formulación de Ivannov para el CBR de diseño seleccionado para la zona particular N°1 de la unidad de diseño N°2 del tramo N°1- Fuente: Elaboración propia	19
Tabla 13 Material de mejoramiento con un CBR>10% para la zona particular N°1 de la unidad de diseño N°2 del tramo N°1- Fuente: Elaboración propia	19
Tabla 14 Capa de mejoramiento adicional para cumplir con el espesor de material de mejoramiento requerido para la zona particular N°1 de la unidad de diseño N°2 del tramo N°1- Fuente: Elaboración propia	20
Tabla 15 Determinación de plataformas de trabajo mediante la formulación de Ivannov para el CBR de diseño seleccionado para la zona particular N°2 de la unidad de diseño N°2 del tramo N°1- Fuente: Elaboración propia	21
Tabla 16 Material de mejoramiento con un CBR>10% para la zona particular N°2 de la unidad de diseño N°2 del tramo N°1- Fuente: Elaboración propia	21
Tabla 17 Capa de mejoramiento adicional para cumplir con el espesor de material de mejoramiento requerido para la zona particular N°2 de la unidad de diseño N°2 del tramo N°1- Fuente: Elaboración propia	22
Tabla 18 Resultados de la modelación con MR-4.2 con para la unidad de diseño N°1 del tramo N°1- Fuente: Elaboración propia	30
Tabla 19 Dimensiones máximas de la losa para la unidad de diseño N°1 del tramo N°1- Fuente: El Autor	31
Tabla 20 <i>Esfuerzo de borde externo o_{bx} para la unidad de diseño N°1 del tramo N°1- Fuente: El Autor</i>	31
Tabla 21 <i>Esfuerzo de borde interno o_{bi} para la unidad de diseño N°1 del tramo N°1- Fuente: El Autor</i>	32
Tabla 22 Resultados de la modelación con MR-4.2 con para la unidad de diseño N°2 del tramo N°1- Fuente: Elaboración propia	37
Tabla 23 Dimensiones máximas de la losa para la unidad de diseño N°2 del tramo N°1- Fuente: El Autor	39
Tabla 24 <i>Esfuerzo de borde externo o_{bx} para la unidad de diseño N°2 del tramo N°1- Fuente: El Autor</i>	39
Tabla 25 <i>Esfuerzo de borde interno o_{bi} para la unidad de diseño N°2 del tramo N°1- Fuente: El Autor</i>	40
Tabla 26 Resultados de la modelación con MR-4.2 con para la unidad de diseño N°1 del tramo N°2- Fuente: Elaboración propia	45

Tabla 27 Dimensiones máximas de la losa para la unidad de diseño N°1 del tramo N°2- Fuente: El Autor	46
Tabla 28 <i>Esfuerzo de borde externo obx para la unidad de diseño N°1 del tramo N°2-</i> Fuente: El Autor	46
Tabla 29 <i>Esfuerzo de borde interno obi para la unidad de diseño N°1 del tramo N°2-</i> Fuente: El Autor	47
Tabla 30 Coeficiente de serviciabilidad para diferentes vías- Fuente: El Autor	56
Tabla 31 Calidad de drenaje- Fuente: El Autor	57
Tabla 32 Calidad y coeficiente de drenaje- Fuente: El Autor	58
Tabla 33 Coeficientes adoptados para diseño- Fuente: El Autor	58
Tabla 34 Espesores mínimos recomendados- Fuente: El Autor	58
Tabla 35 Esfuerzos calculados con programa Depav.- Fuente: El Autor	61
Tabla 36 Rangos de tránsito considerados en el manual.- Fuente: El Manual de diseño de Pavimentos de Vías con medios y altos volúmenes de tránsito	76
Tabla 37 Tabla 4.17- Categoría de subrasante.- Fuente: El Manual de diseño de Pavimentos de Vías con medios y altos volúmenes de tránsito	77
Tabla 38 Tabla 6.3- Parámetros y rangos contemplados en las cartas de diseño.- Fuente: El Manual de diseño de Pavimentos de Vías con medios y altos volúmenes de tránsito	78
Tabla 39 Materiales empleados en el catálogo de estructuras.- Fuente: El Manual de diseño de Pavimentos de Vías con medios y altos volúmenes de tránsito	78
Tabla 40 Tipos de mezclas asfálticas utilizadas en las estructuras de pavimento.- Fuente: El Manual de diseño de Pavimentos de Vías con medios y altos volúmenes de tránsito	79
Tabla 41 Tipos de las capas de base y sub base de las estructuras de pavimento.- Fuente: El Manual de diseño de Pavimentos de Vías con medios y altos volúmenes de tránsito	79
Tabla 42 Carta N°5 manual de diseño del INVIAS para la unidad de diseño N°1 del tramo N°1.- Fuente: El Manual de diseño de Pavimentos de Vías con medios y altos volúmenes de tránsito	79
Tabla 43 Estructuras de pavimento recomendada según carta N°5 del Manual de Diseño de Pavimentos INVIAS para la unidad de diseño N°1 del tramo N°1- Fuente: El Manual de diseño de Pavimentos de Vías con medios y altos volúmenes de tránsito	80
Tabla 44 Carta N°5 manual de diseño del INVIAS para la unidad de diseño N°2 del tramo N°1.- Fuente: El Manual de diseño de Pavimentos de Vías con medios y altos volúmenes de tránsito	80
Tabla 45 Estructuras de pavimento recomendada según carta N°5 del Manual de Diseño de Pavimentos INVIAS para la unidad de diseño N°2 del tramo N°1- Fuente: El Manual de diseño de Pavimentos de Vías con medios y altos volúmenes de tránsito	81
Tabla 46 Carta N°5 manual de diseño del INVIAS para la unidad de diseño N°1 del tramo N°2.- Fuente: El Manual de diseño de Pavimentos de Vías con medios y altos volúmenes de tránsito	82
Tabla 47 Estructuras de pavimento recomendada según carta N°5 del Manual de Diseño de Pavimentos INVIAS para la unidad de diseño N°1 del tramo N°2- Fuente: El Manual de diseño de Pavimentos de Vías con medios y altos volúmenes de tránsito	82
Tabla 48 Requisitos de los agregados para sub-bases granulares- Fuente: Artículo 320, Sub-base granular	84
Tabla 49 Franjas granulométricas del material de sub-base granular- Fuente: Artículo 320, Sub-base granular	84
Tabla 50 Requisitos de los agregados para bases granulares - Fuente: Artículo 330, Base granular	85
Tabla 51 Franjas granulométricas del material de Base granular - Fuente: Artículo 3230, Base granular	86
Tabla 52 Espesores de la estructura recomendada para cada tramo - Fuente: El Autor	89

Iniciativa presentada por:
AGROCOLSA S.A. SOCIEDAD CIVIL, NIT 805.021.816-3
AGRÍCOLA COLOMBIANA S.A., NIT 890.315.430-6
PRODUCTORA NACIONAL AVÍCOLA S.A., NIT 890.321.213-9
ALIANZA FIDUCIARIA, NIT 860.531.315-3

MEJORAMIENTO DE LA VÍA
YOTOCO –BUENOS AIRES –EL DORADO EN EL SECTOR
CRUCERO BUENOS IRES –CASCO URBANO DE YOTOCO Y DE
UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS –CORDOBITAS EN YOTOCO
VALLE DEL CAUCA

Listado de Ilustraciones

Ilustración 1 Localización geopolítica del Municipio de Yotoco- Fuente Wikipedia, la enciclopedia libre.	9
Ilustración 2 Ubicación del sitio de proyecto en el marco regional del Valle del Cauca y su relación con las poblaciones cercanas más importantes- Fuente Google Earth	10
Ilustración 3 Ubicación de los tramos en estudio dentro del área de influencia del Municipio de Yotoco- Fuente Google Earth	12
Ilustración 4 Esquema del vehículo de diseño para la vía de acceso- Fuente El Interesado	13
Ilustración 5 Dimensionamiento de la estructura de pavimento rígido para la undiad de diseño N°1 del tramo N°1 (Dimesiones en cm)- Fuente El Autor	30
Ilustración 6 Dimensionamiento de la estructura de pavimento rígido para la undiad de diseño N°2 del tramo N°1 (Dimesiones en cm)- Fuente El Autor	37
Ilustración 7 Dimensionamiento de la estructura de pavimento rígido para la zona particular N°1 de undiad de diseño N°2 del tramo N°1 (Dimesiones en cm)- Fuente El Autor	38
Ilustración 8 Dimensionamiento de la estructura de pavimento rígido para la zona particular N°2 de undiad de diseño N°2 del tramo N°1 (Dimesiones en cm)- Fuente El Autor	38
Ilustración 9 Dimensionamiento de la estructura de pavimento rígido para la undiad de diseño N°1 del tramo N°2 (Dimesiones en cm)- Fuente El Autor	45
Ilustración 10 Corte y sellado de junta de contracción transversal con pasadores	48
Ilustración 11 Corte y sellado de junta transversal de construcción con pasa juntas tipo C	50
Ilustración 12 Junta de expansión con dovela tipo 1	50
Ilustración 13 Junta de expansión sin dovelas (tipo 2)	51
Ilustración 14 Disposición típica de acero de refuerzo en casos especiales	51
Ilustración 15 Localización en planta pasadores de carga	53
Ilustración 16 Localización pasadores de carga	53
Ilustración 17 Modelo de estructura de pavimento flexible	59
Ilustración 18 Dimensionamiento de la estructura en pavimento flexible para la unidad de diseño N°1 del tramo N°1	65
Ilustración 19 Dimensionamiento de la estructura en pavimento flexible para la unidad de diseño N°2 del tramo N°1	69
Ilustración 20 Dimensionamiento de la estructura en pavimento flexible para la zona particular N°1 de la unidad de diseño N°2 del tramo N°1- Fuente: El Autor	69
Ilustración 21 Dimensionamiento de la estructura en pavimento flexible para la zona particular N°2 de la unidad de diseño N°2 del tramo N°1- Fuente: El Autor	70
Ilustración 22 Dimensionamiento de la estructura en pavimento flexible para la unidad de diseño N°1 del tramo N°2- Fuente: El Autor	74

VOLUMEN V

DISEÑO DE PAVIMENTOS

1 INTRODUCCIÓN

La vía terciaria que comunica al casco urbano de Yotoco con el crucero Buenos Aires y a las veredas Alto El Oso - Crucero- Buenos Aires- Alto del Chinche en el municipio de Yotoco presenta actualmente una deficiente infraestructura vial, lo que ha generado inconvenientes para la movilización de habitantes y recursos provenientes tanto de afuera como dentro de la región, por lo tanto, se hace necesario la realización de un mejoramiento de la vía con el fin de ayudar a la movilidad del sector.

Atendiendo esta necesidad y en su afán de mejorar la calidad de vida de los lugareños se ha decidido efectuar el estudio de suelos para diseñar una estructura de pavimento y mejorar de esta manera dos tramos de vía, uno de aproximadamente 7700 m y otro de 800 m con el único objetivo de agilizar la movilidad vial y mejorar la circulación vehicular del sector.

En este informe se presentan los resultados de la exploración de campo y los ensayos de laboratorio realizados sobre las muestras extraídas, además, se presentan las condiciones geotécnicas del sitio, y las debidas recomendaciones y conclusiones.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GENERALES

Adelantar el diseño de pavimentos, para el mejoramiento de dos (2) tramos de la vía: Tramo 1 entre el PR2+570 al PR10+298 entre el casco urbano de Yotoco y en Crucero Buenos Aires y el Tramo2 entre el PR0+000 al PR0+834.28 equivalentes al PR2+660 al PR3+498 de la vía muñecos-cordobitas en el municipio de Yotoco, en el departamento del Valle del Cauca.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar física y mecánicamente el suelo de apoyo existente, mediante la realización de ensayos tipo C.B.R, granulometría, humedad y límites de Atterberg.
- Realizar una exploración de campo con ejecución de apiques a cielo abierto, y extracción de muestras para análisis en laboratorio.
- Determinar la capacidad de soporte de la sub rasante mediante pruebas de soporte california CBR.
- Establecer la estratigrafía del sub-suelo en el sitio del proyecto y determinar la profundidad de las aguas libres subterráneas.

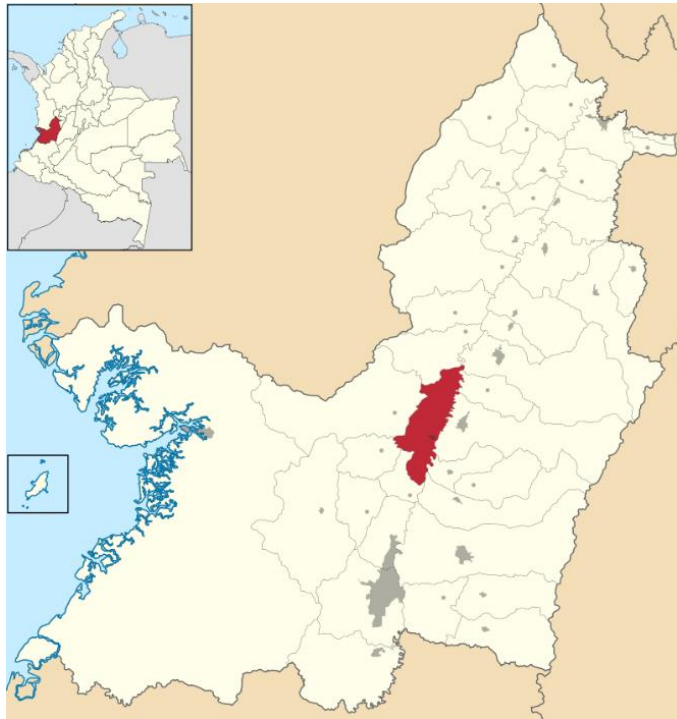
- **Análisis de los resultados obtenidos en campo y laboratorio.**

3 GENERALIDADES DEL PROYECTO

3.1 GENERALIDADES DEL MUNICIPIO

El municipio de Yotoco se encuentra localizado en la subregión del centro del Departamento del Valle del Cauca, en las coordenadas 3°51'37" Norte y 76°23'00" Oeste, a unos 75 km de Cali. Tiene 16.263 habitantes, de acuerdo al censo del DANE elaborado en el año 2005. Su extensión territorial es de 873 Km²., cuenta con una altitud media de 972 m sobre el nivel del mar, su temperatura promedio es de 29 °C.

Ilustración 1 Localización geopolítica del Municipio de Yotoco- Fuente Wikipedia, la enciclopedia libre.



Yotoco es un municipio del Valle del Cauca (Colombia) ubicado en la subregión del Centro. Es conocido como El Rey de los vientos y fue fundado en 1622 a orillas del río que lleva su nombre. Dista de Cali 75 km aproximadamente, se destacan como referentes arquitectónicos y turísticos La Hacienda Hato Viejo declarada monumento nacional desde 1996 y la Laguna el Sonso.

El territorio de Yotoco está dividido en dos zonas diferentes: una plana, perteneciente al Valle del río Cauca y otra montañosa, al occidente, que hace parte de la vertiente oriental de la cordillera Occidental. Entre los accidentes orográficos se destacan los Altos de Corazón, El Jardín, Guacas, La Cecilia, La Florida, Paloalto, Pan de Azúcar y púlpito.

Limita por el norte con el municipio de Riofrío, por el oriente con San Pedro, Buga y Guacarí, por el sur con el municipio de Vijes, por el occidente con Calima Darién y Restrepo. Dista de Cali 75 km y se comunica por carretera con Buga, Riofrío, Vijes, Calima Darién y Restrepo. La parte que le corresponde del río Cauca es navegable. Sus tierras están distribuidas en pisos térmicos, cálido, medio y frío, regadas por el río Cauca y los ríos Mediacanoa, piedras, Volcán y Yotoco, además de variadas corrientes menores.

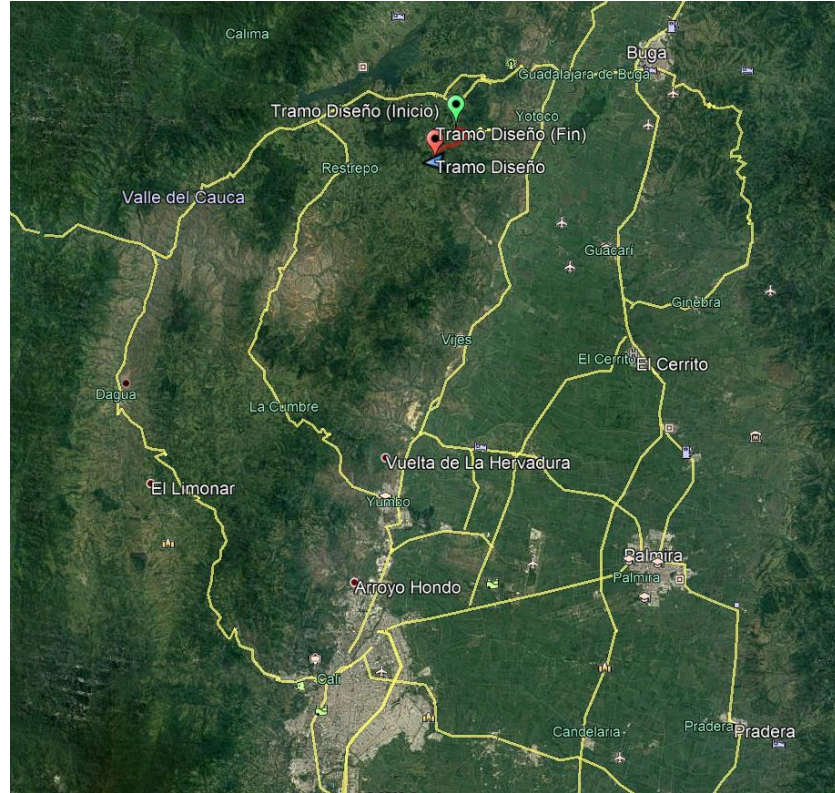
3.2 CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR Y DE LA ESTRUCTURA

El tramo de proyecto se encuentra localizado en jurisdicción de Municipio de Yotoco, en el Departamento del Valle del Cauca, y hace parte de las vías dentro de la jurisdicción Municipal que dan comunicación a diferentes sectores con la cabecera del Municipio. En la ~~ubicación~~ se aprecia la ubicación del tramo en estudio en relación con la red vial de este sector en el Departamento del Valle del Cauca. El proyecto se desarrolla entre la Vereda Muñecos, la Vereda Buenos Aires y finaliza en la conexión a la Vereda Hato Viejo.

La vía objeto de estudio se encuentra dentro de las vías en jurisdicción de Municipio de Yotoco, y aporta un tramo de tránsito desde y hacia la vía Loboguerrero-Mediacanoa, y tránsito desde y hacia la vía Yumbo-Mediacanoa en conexión con el paso urbano de la cabecera del Municipio de Yotoco.

Yotoco en su posición privilegiada en el centro del Valle del Cauca en el cruce Buga – Loboguerrero – Buenaventura y Cali – Yumbo – Buga o Buenaventura es un punto estratégico dentro del corredor logístico de cara al pacífico.

Ilustración 2 Ubicación del sitio de proyecto en el marco regional del Valle del Cauca y su relación con las poblaciones cercanas más importantes- Fuente Google Earth



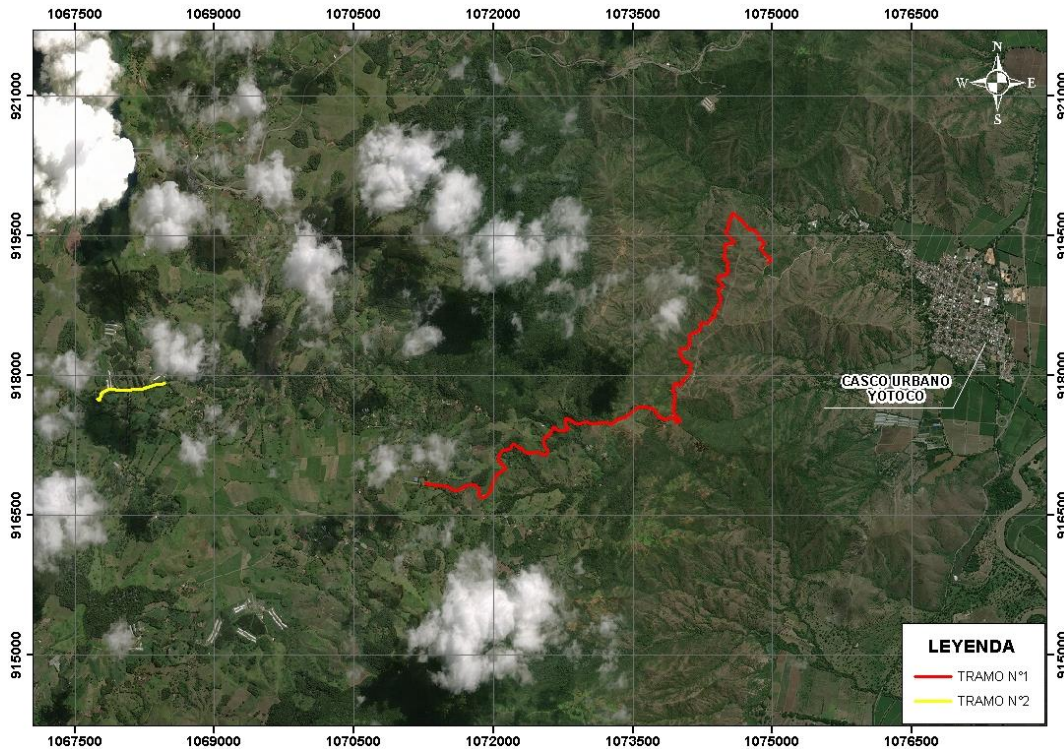
El sector de estudio corresponde a la vía que une las veredas Alto del Oso- Crucero Buenos Aires- Alto del Chinche y constituye aproximadamente 8.000 metros de longitud, distribuidos en dos (2) tramos diferentes.

Tabla 1 Tramos del sector en estudio- Fuente El Autor

Tramo N°	Abscisa inicio	Abscisa final	Longitud (m)
1	K2+570	K10+298	7728
2	K0+000	K0+834.28	834.28

Los tramos a intervenir cuenta con un camino en material tipo afirmado con anchos entre 3.5 -5.0 metros con un manejo regular de aguas de escorrentía mediante el uso de cunetas en tierra pero con falta de mantenimiento. La topografía del tramo N°1 es montañosa desde la abscisa K2+570 hasta el K9+550 con pendientes escarpadas (50-75%), mientras que desde el K9+550 hasta el K10+298 la topografía es colinada con pendientes fuertemente inclinadas (12-25%). En el tramo N°2 predomina una topografía plana a ondulada con pendientes <12%. Se evidencian algunas viviendas en las márgenes de los tramos y se observa cobertura de tipo pastos, arbustos y árboles de tamaño considerable en sus alrededores.

Ilustración 3 Ubicación de los tramos en estudio dentro del área de influencia del Municipio de Yotoco- Fuente Google Earth



3.3 DISEÑO GEOMÉTRICO

El diseño geométrico de los dos (2) tramos de vía que une a las veredas Alto El Oso- Crucero- Buenos Aires- Alto del Chinche en el municipio de Yotoco, está orientado a definir el trazado que facilite la circulación de los vehículos en el sentido longitudinal. En el sector en estudio transitarán vehículos de tipo autos, camiones pequeños y grandes, hasta camiones tipo C5 y C6. De acuerdo con el tipo de vehículos que transitarán se definieron los anchos de carril a usar:








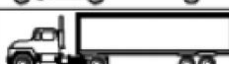





- El ancho de carril para vías principales: ≥ 5.4 m con radio de curvatura ≥ 6 m.
- Los tramos de vía deberán tener bordillo a cada lado, continuo.
- Las vías deben tener un bombeo del 2% transversal.

- El agua de escorrentía será conducida a las cunetas mediante el bombeo transversal y estas harán su entrega a las respectivas alcantarillas.

3.4 VEHÍCULO DE DISEÑO

Sobre los dos (2) tramos de la vía que une a las veredas Alto El Oso- Crucero- Buenos Aires- Alto del Chinche en el municipio de Yotoco, transitarán vehículos de tipo autobuses, buses y camiones desde el C2P hasta mayores al C5.

Ilustración 4 Esquema del vehículo de diseño para la vía de acceso- Fuente El Interesado

TIPO DE VEHICULO		ESQUEMA	TIPO DE VEHICULO		ESQUEMA
AUTOS			C3 Y C4	CAMION C3	
				CAMION C4	
				TRACTO-CAMION C2-S1	
BUSES	BUSETA			TRACTO-CAMION C2-S2	
	BUS			TRACTO-CAMION C3-S1	
	BUS METROPOLITANO			C5	TRACTO-CAMION C3-S2
C2-P	CAMION DE DOS EJES PEQUENO		> C5		TRACTO-CAMION C3-S3
C2-G	CAMION DE DOS EJES GRANDE				

3.5 PERIODO DE DISEÑO

Para los dos (2) tramos de la vía que une a las veredas Alto El Oso- Crucero- Buenos Aires- Alto del Chinche en el municipio de Yotoco, se consideró un periodo de diseño de 20 años.

4 TRÁNSITO

De acuerdo con el volumen I “ESTUDIO DE TRANSITO, CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO” realizado para el mismo proyecto, se presenta los siguientes valores de tránsito:

4.1 TRANSITO PROMEDIO DIARIO (TPD)

A continuación, se presenta el tráfico promedio diario ajustado del sector en estudio:

Tabla 2 Tránsito promedio diario-Fuente: Información: Volumen I, Estudio de tránsito, capacidad y niveles de servicio, Tabla: El Autor

TPD/TIPO VEHICULO	AUTOS	BUSES	BUSETAS	CAMIONES					
				C2P	C2G	C3	C4	C5	> C5
TPD (Prom)	91	0	11	31	0	0	0	0	0
% Distribución	68.23%	0.00%	8.51%	23.26%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

4.2 PRONOSTICO DEL TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO (TPD) FUTURO

Tabla 3 Tránsito promedio diario (TPD) futuro- Fuente: Elaboración propia

No. AÑOS PERIODO DE DISEÑO (n)	AÑO	AUTOS		BUSES		CAMIONES							TPD TOTAL (*)
		TASA	TPD	TASA	TPD	TASA	C2P	C2G	C3	C4	C5	> C5	
1	2022		91		11		31	0	0	0	0	0	133
2	2023	15.2%	104	15.2%	13	15.2%	36	0	0	0	0	0	153
3	2024	15.2%	120	15.2%	15	15.2%	41	0	0	0	0	0	176
4	2025	15.2%	139	15.2%	17	15.2%	47	0	0	0	0	0	203
5	2026	15.2%	160	15.2%	20	15.2%	54	0	0	0	0	0	234
6	2027	15.2%	184	15.2%	23	15.2%	63	0	0	0	0	0	270
7	2028	15.2%	212	15.2%	26	15.2%	72	0	0	0	0	0	311
8	2029	15.2%	244	15.2%	30	15.2%	83	0	0	0	0	0	358
9	2030	15.2%	281	15.2%	35	15.2%	96	0	0	0	0	0	412
10	2031	15.2%	324	15.2%	40	15.2%	111	0	0	0	0	0	475
11	2032	15.2%	374	15.2%	47	15.2%	127	0	0	0	0	0	547
12	2033	15.2%	430	15.2%	54	15.2%	147	0	0	0	0	0	631
13	2034	15.2%	496	15.2%	62	15.2%	169	0	0	0	0	0	727
14	2035	15.2%	571	15.2%	71	15.2%	195	0	0	0	0	0	837
15	2036	15.2%	658	15.2%	82	15.2%	224	0	0	0	0	0	965
16	2037	15.2%	758	15.2%	95	15.2%	258	0	0	0	0	0	1111
17	2038	15.2%	874	15.2%	109	15.2%	298	0	0	0	0	0	1280
18	2039	15.2%	1006	15.2%	125	15.2%	343	0	0	0	0	0	1475
19	2040	15.2%	1159	15.2%	145	15.2%	395	0	0	0	0	0	1699
20	2041	15.2%	1336	15.2%	167	15.2%	455	0	0	0	0	0	1958
20	2042	15.2%	1539	15.2%	192	15.2%	525	0	0	0	0	0	2255

4.3 TRANSITO PROMEDIO DIARIO (TPD)

Tabla 4 Parámetros para el cálculo del número de repeticiones esperadas cada año por tipo de eje en el carril de diseño- Fuente: Elaboración propia

PARÁMETRO	VALOR
TPD	133
Periodos de diseño en años (n)	20

PARÁMETRO	VALOR
Tasa de crecimiento anual (r)	15.2%
Ancho de calzada (B)	≥5.4 m
Factor direccional (FD)	1
Composición de vehículos comerciales	100%
Número de carriles por sentido	1
Factor de distribución por carril	1
Factor de distribución por sentido	0.8

Tabla 5 Cálculo del número de repeticiones esperadas cada año por tipo de eje en el carril de diseño- Fuente: Elaboración propia

No. AÑOS PERIODO DE DISEÑO (n)	AÑO	BUSES			CAMIONES																															
		TPD	SRS		TPD	C2P		C2G		C3		C4			C5			> C5																		
			3,5 Ton	8,2 Ton		SRS	SRD	SRS	SRD	SRS	TRD	SRS	SRS	TRD	TPD	6 Ton	22 Ton	TRD	TPD	6 Ton	22 Ton	TRD														
			1	2023		13	3803	3803	36	10399	10399	35	10220	10220	35	10220	10220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	29
2	2024	15	4381	4381	41	11981	11981	1	146	146	1	146	146	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
3	2025	17	5048	5048	47	13803	13803	1	161	161	1	161	161	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
4	2026	20	5815	5815	54	15903	15903	1	177	177	1	177	177	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	2027	23	6700	6700	63	18321	18321	1	194	194	1	194	194	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	2028	26	7719	7719	72	21108	21108	1	214	214	1	214	214	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	2029	30	8893	8893	83	24318	24318	1	235	235	1	235	235	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	2030	35	10245	10245	96	28017	28017	1	259	259	1	259	259	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	2031	40	11803	11803	111	32278	32278	1	285	285	1	285	285	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	2032	47	13599	13599	127	37187	37187	1	313	313	1	313	313	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	2033	54	15667	15667	147	42843	42843	1	344	344	1	344	344	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	2034	62	18050	18050	169	49359	49359	1	379	379	1	379	379	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	2035	71	20795	20795	195	56866	56866	1	417	417	1	417	417	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	2036	82	23958	23958	224	65515	65515	2	458	458	2	458	458	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	2037	95	27601	27601	258	75479	75479	2	504	504	2	504	504	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	2038	109	31799	31799	298	86959	86959	2	554	554	2	554	554	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	2039	125	36636	36636	343	100184	100184	2	610	610	2	610	610	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	2040	145	42208	42208	395	115422	115422	2	671	671	2	671	671	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	2041	167	48627	48627	455	132976	132976	3	738	738	3	738	738	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	2042	192	56023	56023	525	153201	153201	3	812	812	3	812	812	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL			399368	399368		1092117	1092117		17689	17689		17689	17689		0	0	0		0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

4.4 ESPECTRO DE CARGAS

De acuerdo con el cálculo de números de repeticiones esperadas cada año por tipo de eje en el carril de diseño de la vía, se tiene los siguientes espectros de carga:

Tabla 6 Espectro de cargas para la vía- Fuente: Elaboración propia

EJES SENCILLOS				EJES TÁNDEM		EJES TRÍDEM
3 Ton	3,5 Ton	6 Ton	8,2 Ton	11 Ton	22 Ton	24 Ton
1,092,117	399,368	35,586	399,368	17,689	17,897	208

5 EVALUACIÓN DE LA SUBRASANTE

De acuerdo al Volumen IV “ESTUDIO DE SUELOS” para el mismo proyecto realizado por la firma CITEC LTDA Ingeniera y Geotecnia, se obtuvo las unidades de diseño y su respectivo CBR de diseño.

En el lugar en estudio se realizaron treinta y dos (32) apiques para los dos (2) tramos, además, en cada uno de estos se tomó su respectiva muestra inalterada tipo CBR los cuales se ensayaron con cuatro (4) días de inmersión brindando los siguientes resultados.

Tabla 7 Valores de CBR con inmersión para cada tramo- Fuente: Elaboración propia

TRAMO N°	APIQUE N°	ABSCISA	CBR (%)		
			0.1 Pulg	0.2 Pulg	
1	1	K2+700	14.5	13.3	
	2	K2+982	13.5	11	
	3	K3+260	6.8	6.5	
	4	K3+570	5.1	5.3	
	5	K3+800	4.7	5	
	6	K4+030	8.5	6.7	
	7	K4+300	7.8	7.9	
	8	K4+615	11.5	15.3	
	9	K4+860	12	16	
	10	K5+135	10.2	10.2	
	11	K5+425	12.3	10.7	
	12	K5+625	3.7	4.1	
	13	K5+870	3.8	3.7	
	14	K6+095	10	10	
	15	K6+405	13	13.3	
	16	K6+650	5	5.7	
	17	K6+945	6	5.7	
	18	K7+225	7	7.3	
	19	K7+503	4.7	4.7	
	20	K7+700	9.8	9.7	
	21	K8+000	7	6.7	
	22	K8+295	3.2	3.7	
	23	K8+525	8.8	8.7	
	24	K8+740	0.7	0.7	
	25	K9+000	6	6.3	
	26	K9+330	6.3	6	
	27	K9+600	7.6	7.3	
	28	K9+835	1.7	1.8	
	29	K10+180	8.5	9.2	
	2	30	K0+150	6	5.5
		31	K0+450	7	7.5
		32	K0+750	5.8	5.1

Para el proyecto objeto de intervención, se tomarán tres unidades de diseño debido a la longitud de los tramos y la homogeneidad de las propiedades físico- mecánicas los suelos, topografía y drenaje.

Tabla 8 Valor de CBR de diseño adoptado para cada unidad de diseño- Fuente: El Autor

TRAMO N°	UNIDAD HOMOGÉNEA N°	ABSCISA		CBR DISEÑO ADOPTADO (%)
		INICIAL	FINAL	
1	1	K2+570	K5+400	6.1
	2	K5+400	K10+298	4.1
2	1	K0+000	K0+834.28	4.9

A lo largo de la unidad homogénea de diseño N°2 del tramo N°1 se encontraron dos sectores que cuentan con un valor de CBR inferior al 3%, estos serán denominados como zonas particulares y contarán con los siguientes valores de CBR de diseño:

Tabla 9 Valor de CBR adoptado para las zonas particulares- Fuente Tabla El Autor

TRAMO N°	ZONA PARTICULAR N°	ABSCISA		CBR DISEÑO ADOPTADO (%)
		INICIAL	FINAL	
1	1	K8+690	K8+790	0.7
	2	K9+785	K9+885	1.7

5.1 DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE (K)

Tabla 10 Módulo de reacción K de la subrasante para cada tramo de vía- Fuente: Elaboración propia

TRAMO N°	UNIDAD HOMOGÉNEA N°	ABSCISA		CBR DISEÑO ADOPTADO (%)	MÓDULO DE REACCIÓN K DE LA SUBRASANTE (MPa/m)
		INICIAL	FINAL		
1	1	K2+570	K5+400	6.1	46
	2	K5+400	K10+298	4.1	36
2	1	K0+000	K0+834.28	4.9	39

5.2 MÓDULO RESILIENTE DE LA SUB-RASANTE (MR)

Existen diversas correlaciones que describen la relación entre el índice del suelo y las propiedades de resistencia que pueden ser usadas en la estimación del Mr. Los modelos usados por la PCA, para la estimación de Mr según el CBR es el siguiente:

$$Mr = 1500 * CBR \left(\frac{Lb}{pulg^2} \text{ o } psi \right)$$

Tabla 11 Modulo resiliente de la subrasante natural para cada unidad homogénea de diseño- Fuente El Autor

TRAMO N°	UNIDAD HOMOGÉNEA N°	ABSCISA		CBR DISEÑO ADOPTADO (%)	Mr (Psi)
		INICIAL	FINAL		
1	1	K2+570	K5+400	6.1	9150
	2	K5+400	K10+298	4.1	6150
2	1	K0+000	K0+834.28	4.9	7350

6 METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON SUELOS DE MEJORAMIENTO

La unidad homogénea de diseño N°2 del tramo N°1 (K5+400 al K10+298) cuenta con valores de CBR superiores a los 3% pero se encontraron aproximadamente en las abscisas K8+740 y K9+835 valores de CBR inferiores al 3%, por lo tanto, se recomienda para estas zonas particulares realizar mejoramientos de tipo mecánico para estabilizar y aumentar la resistencia de las condiciones naturales del suelo de apoyo, ya que para estos casos los manuales de diseño, tanto internacionales como nacionales (manual de diseño de pavimentos para vías con bajos y medios y altos volúmenes de tránsito y los manuales para diseño de pavimentos en placa huella) lo sugieren. En estas condiciones, para establecer el CBR de diseño, se empleará el criterio de IVANNOV, que considera un material granular de mejoramiento nuevo en función del suelo de fundación para determinar el espesor mínimo o la resistencia final obtenida en conjunto (suelo de subrasante-suelo de mejoramiento). Por medio de este criterio se establece un módulo equivalente teniendo en cuenta los módulos elásticos o resilientes de la subrasante y de los materiales granulares considerados como capa de mejoramiento según el siguiente modelo matemático:

$$E_{eq} = \frac{E_{inf}}{1 - \left(\frac{2}{\pi}\right) * \left[1 - \left(\frac{1}{n}\right)^{3.5}\right] * \arctan \left[n * \left(\frac{h_{gr}}{2a}\right)\right]} \quad n = \left(\frac{E_{sup}}{E_{inf}}\right)^{0.4}$$

Donde:

E_{eq} : módulo elástico equivalente del conjunto subrasante – materiales granulares en psi.

E_{inf} : módulo resiliente de la subrasante en psi.

E_{sup} : módulo elástico de los materiales granulares en psi.

h_{sup} : espesor de los materiales granulares en cm.

a: radio del área cargada en cm.

Por criterio del especialista se busca que las zonas particulares alcancen un CBR de diseño igual a 4.1% con el fin de trabajar con el mismo CBR de diseño de la unidad homogénea N°2 del tramo N°1.

6.1 MATERIAL DE MEJORAMIENTO PARA LA ZONA PARTICULAR N°1

La zona particular N°1 se encuentra entre las abscisas K8+690 al K8+790 de la unidad de homogénea de diseño N°2 del tramo N°1 y cuenta con un valor de CBR igual al 0.7%, por lo tanto se requiere una capa de mejoramiento de mínimo 35 cm para alcanzar un CBR de diseño igual al 4.1%. La exigencia del CBR del material de mejoramiento es como mínimo del 10%, pero con toda seguridad este será realmente ligeramente mayor al 10%.

DETERMINACIÓN DE PLATAFORMAS DE TRABAJO MEDIANTE LA FORMULACIÓN DE IVANNOV

Tabla 12 Determinación de plataformas de trabajo mediante la formulación de Ivannov para el CBR de diseño seleccionado para la zona particular N°1 de la unidad de diseño N°2 del tramo N°1- Fuente: Elaboración propia

PLATAFORMA DE TRABAJO CBR=5%					
CBR CAPA INFERIOR (%)	CBR CAPA MEJORAMIENTO (%)	MODULO RESILIENTE Kg/cm2		RADIO DE CARGA (2a) cm	n
		CAPA INFERIOR	CAPA SUPERIOR		
0.7	5	144	477	30	1.62

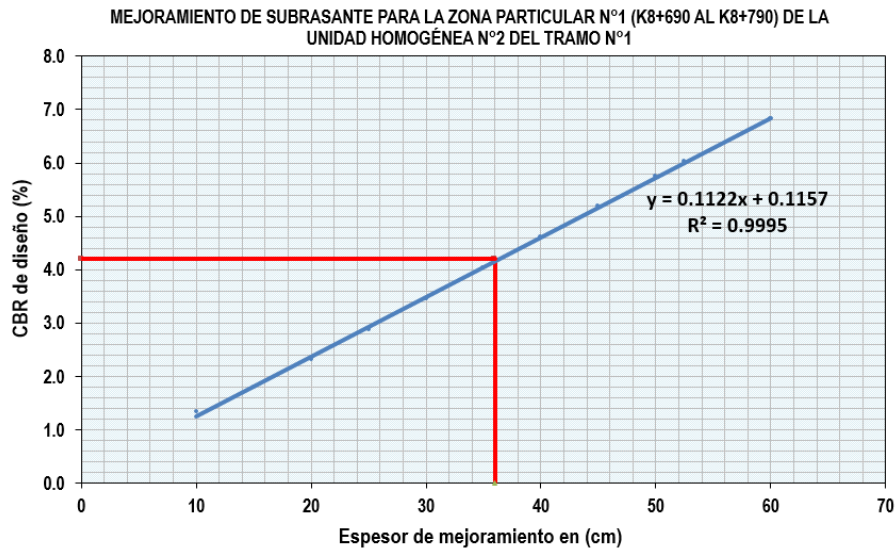
PLATAFORMA DE TRABAJO CBR=7%					
CBR CAPA INFERIOR (%)	CBR CAPA MEJORAMIENTO (%)	MODULO RESILIENTE Kg/cm2		RADIO DE CARGA (2a) cm	n
		CAPA INFERIOR	CAPA SUPERIOR		
0.7	10	144	729	30	1.91

PLATAFORMA DE TRABAJO CBR=15%					
CBR CAPA INFERIOR (%)	CBR CAPA MEJORAMIENTO (%)	MODULO RESILIENTE Kg/cm2		RADIO DE CARGA (2a) cm	n
		CAPA INFERIOR	CAPA SUPERIOR		
0.7	15	144	933	30	2.11

Tabla 13 Material de mejoramiento con un CBR>10% para la zona particular N°1 de la unidad de diseño N°2 del tramo N°1- Fuente: Elaboración propia

MATERIAL DE MEJORAMIENTO CON CBR>10%	ESPESOR MEJORAMIENTO (cm)	MODULO RESILIENTE COMBINADO (Kg/cm2)	CBR DE DISEÑO (%)
		10	213
	15	255	1.8
	20	298	2.3
	25	340	2.9
	30	380	3.4
	35	419	4.0
	40	455	4.6
	45	488	5.2
	50	520	5.8
	60	578	6.8
	52.5	535	6.0

Grafica 1 Determinación del espesor de mejoramiento para la obtención de un CBR de diseño igual o mayor a 10% para la zona particular N°1 de la unidad de diseño N°2 del tramo N°1- Fuente: Elaboración propia



De acuerdo con el método de Ivannov se recomienda emplear para la zona particular N°1 (K8+690 al K8+790) de la unidad de homogénea de diseño N°2 del tramo N°1 un espesor de material de mejoramiento con CBR $\geq 10\%$, igual a 35 cm. Con este material de mejoramiento se aumentará la capacidad de soporte de la subrasante de 0.7% a 4.1%.

Por motivos técnico- económico se sugiere hacer uso de un mínimo espesor de capa de mejoramiento que se traduce en menores volúmenes de excavación, corte, y suministro, transporte, conformación y compactación de material de mejoramiento, utilizando para su efecto la capa de afirmado existente, la cual cuenta con un espesor de aproximadamente 30 cm, por lo tanto, se sugiere colocar sobre la capa de afirmado actual tan solo 15 cm de mejoramiento como adicional.

Tabla 14 Capa de mejoramiento adicional para cumplir con el espesor de material de mejoramiento requerido para la zona particular N°1 de la unidad de diseño N°2 del tramo N°1- Fuente: Elaboración propia

CBR DE DISEÑO (%)	MATERIAL DE MEJORAMIENTO		
	MATERIAL DE MEJORAMIENTO REQUERIDO PARA AUMENTAR EL CBR DE DISEÑO (cm)	DE CAPA DE AFIRMADO EXISTENTE (cm)	CAPA DE MEJORAMIENTO ADICIONAL (cm) PARA CUMPLIR CON EL MATERIAL DE MEJORAMIENTO REQUERIDO TENIENDO EN CUENTA LA CAPA DE AFIRMADO EXISTENTE (cm)
0.7	35	30	15

6.2 MATERIAL DE MEJORAMIENTO PARA LA ZONA PARTICULAR N°2

La zona particular N°2 se encuentra entre las abscisas K9+785 al K9+885 de la unidad de homogénea de diseño N°2 del tramo N°1 y cuenta con un valor de CBR igual a 1.7%, por lo tanto se requiere una capa de ,mejoramiento de mínimo 22 cm para alcanzar un CBR de diseño igual al 4.1%. La exigencia del CBR del material de mejoramiento es como mínimo del 10%, pero con toda seguridad este será realmente ligeramente mayor al 10%.

DETERMINACIÓN DE PLATAFORMAS DE TRABAJO MEDIANTE LA FORMULACIÓN DE IVANNOV

Tabla 15 Determinación de plataformas de trabajo mediante la formulación de Ivannov para el CBR de diseño seleccionado para la zona particular N°2 de la unidad de diseño N°2 del tramo N°1- Fuente: Elaboración propia

PLATAFORMA DE TRABAJO CBR=5%					
CBR CAPA INFERIOR (%)	CBR MEJORAMIENTO (%)	MODULO RESILIENTE Kg/cm2		RADIO DE CARGA (2a) cm	n
		CAPA INFERIOR	CAPA SUPERIOR		
1.7	5	247	477	30	1.30

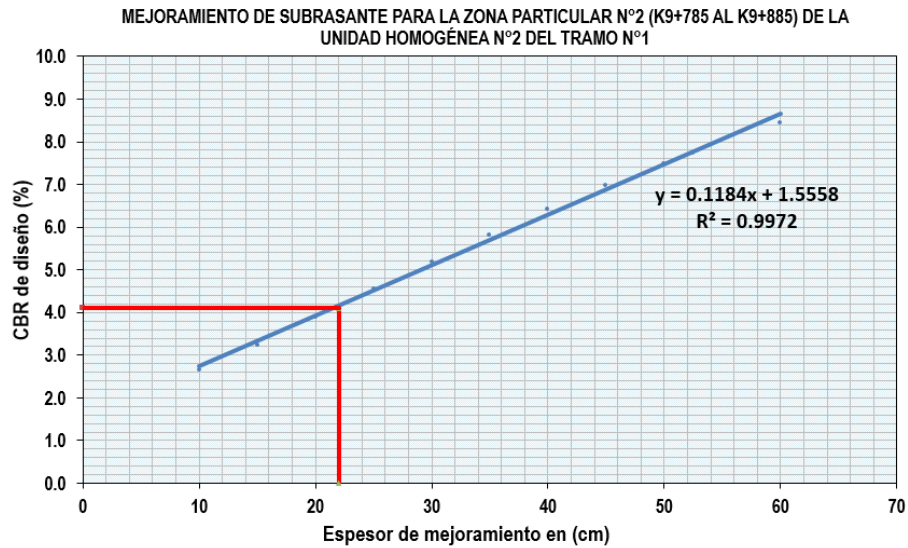
PLATAFORMA DE TRABAJO CBR=7%					
CBR CAPA INFERIOR (%)	CBR MEJORAMIENTO (%)	MODULO RESILIENTE Kg/cm2		RADIO DE CARGA (2a) cm	n
		CAPA INFERIOR	CAPA SUPERIOR		
1.7	10	247	729	30	1.54

PLATAFORMA DE TRABAJO CBR=15%					
CBR CAPA INFERIOR (%)	CBR MEJORAMIENTO (%)	MODULO RESILIENTE Kg/cm2		RADIO DE CARGA (2a) cm	n
		CAPA INFERIOR	CAPA SUPERIOR		
1.7	15	247	933	30	1.70

Tabla 16 Material de mejoramiento con un CBR>10% para la zona particular N°2 de la unidad de diseño N°2 del tramo N°1- Fuente: Elaboración propia

	ESPESOR MEJORAMIENTO (cm)	MODULO RESILIENTE COMBINADO (Kg/cm2)	CBR DE DISEÑO (%)
	MATERIAL DE MEJORAMIENTO CON CBR>10%	10	323
15		367	3.2
20		410	3.9
25		451	4.5
30		489	5.2
35		524	5.8
40		555	6.4
45		585	7.0
50		611	7.5
60		658	8.5
52.5		623	7.7

Grafica 2 Determinación del espesor de mejoramiento para la obtención de un CBR de diseño igual o mayor a 10% para la zona particular N°2 de la unidad de diseño N°2 del tramo N°1- Fuente: Elaboración propia



De acuerdo con el método de Ivannov se recomienda emplear para la zona particular N°2 (K9+785 al K9+885) de la unidad de homogénea de diseño N°2 del tramo N°1 un espesor de material de mejoramiento con CBR $\geq 10\%$, igual a 22 cm. Con este material de mejoramiento se aumentará la capacidad de soporte de la subrasante de 1.7% a 4.1%.

Por motivos técnico- económico se sugiere hacer uso de un mínimo espesor de capa de mejoramiento que se traduce en menores volúmenes de excavación, corte, y suministro, transporte, conformación y compactación de material de mejoramiento, utilizando para su efecto la capa de afirmado existente, la cual cuenta con un espesor de aproximadamente 15 cm, por lo tanto, se sugiere colocar sobre la capa de afirmado actual tan solo 10 cm de mejoramiento como adicional.

Tabla 17 Capa de mejoramiento adicional para cumplir con el espesor de material de mejoramiento requerido para la zona particular N°2 de la unidad de diseño N°2 del tramo N°1- Fuente: Elaboración propia

CBR DE DISEÑO (%)	MATERIAL DE MEJORAMIENTO			
	MATERIAL MEJORAMIENTO REQUERIDO AUMENTAR EL DISEÑO (cm)	DE PARA CBR DE	CAPA DE AFIRMADO EXISTENTE (cm)	CAPA DE MEJORAMIENTO ADICIONAL (cm) PARA CUMPLIR CON EL MATERIAL DE MEJORAMIENTO REQUERIDO TENIENDO EN CUENTA LA CAPA DE AFIRMADO EXISTENTE (cm)
1.7	22		15	10

7 DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO

La modelación de este tipo de estructuras se hará con el método de la PCA.

El método PCA, tiene como base el conocimiento de varias teorías de pavimentos como Westergaard, Picket y Ray así como de elementos finitos. También la experiencia en el comportamiento de varias pruebas e investigaciones como la Arlington Test y diversos proyectos de la misma PCA. Derivado de lo anterior se generó finalmente este método de diseño.

Parte del método fue desarrollado interpretando los resultados del modelo de elementos finitos basados en el comportamiento de una losa de espesor variable y dimensiones finitas (180 x 144 pulgadas) a la cual se le aplicaron cargas al centro, de borde y de esquina, considerando diferentes condiciones de apoyo y soporte.

El método de diseño de la PCA considera dos criterios de evaluación en el procedimiento de diseño, el criterio de erosión de la sub-base por debajo de las losas y la fatiga del pavimento de concreto.

El criterio de erosión reconoce que el pavimento puede fallar por un excesivo bombeo, erosión del terreno de soporte y diferencias de elevaciones en las juntas. El criterio del esfuerzo de fatiga reconoce que el pavimento pueda fallar, presentando agrietamiento derivado de excesivas repeticiones de carga.

A diferencia del método AASHTO el método de diseño PCA, consideró un valor fijo de módulo de elasticidad del Concreto (E_c) = 4'000,000 psi que no lo hizo variar en relación con la resistencia a la flexión del concreto (MR), así como tampoco varió el coeficiente de poisson de 0.15.

Este método considera algunas limitaciones en los valores de módulo de reacción K del suelo, en donde el rango de valores para los que el método fue desarrollado oscila entre los 50 y 700 pci.

Una ventaja que se debe reconocer en el método de la PCA es que toma el tráfico real que estima circulará sobre el pavimento, sin convertirlo a Ejes Sencillos Equivalentes

7.1 ESPESOR INICIAL DEL PAVIMENTO

La elección de un espesor adecuado en el diseño es consecuencia de muchos factores involucrados en la modelación como el efecto por fatiga, erosión, calidad y espesor de la sub base, si lleva o no sub base, el confinamiento lateral, la existencia de bermas o ausencia de estas, la forma y grado como se transfiere las cargas, el tipo de carga a la que se somete la losa, etc.

Se ha realizado una estimación del espesor mínimo de la placa de concreto que va desde 18 cm hasta 20 cm para las tres unidades homogéneas de diseño y con base

en ello se sensibilizo el espesor para un módulo de rotura de 4.2 MPa, encontrando que se tiene una buena eficiencia para espesores entre 18.5 y 19 cm.

7.2 MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE Y MÓDULO COMBINADO

Para determinar el módulo de reacción K de soporte, se tendrá en cuenta el conjunto sub rasante / subbase granular seleccionada que proporcionará uniformidad al apoyo de las placas de pavimento (en el caso de pavimentos rígidos).

De esta manera conociendo el CBR de diseño, podemos inferir de este CBR el módulo de reacción K de la sub rasante y del conjunto establecido por la presencia de la sub base granular a colocar.

Bajo estas consideraciones y para manejo de la modelación y sensibilización hemos obtenido lo siguiente:

7.2.1 CON SUB-BASE GRANULAR

7.2.1.1 UNIDAD DE DISEÑO N°1 DEL TRAMO N°1 (K2+570 AL K5+400)

Para la unidad de diseño N°1 del tramo N°1 se obtuvo un CBR de diseño del 6.1%, por lo tanto, para este valor de CBR el módulo de reacción K de la subrasante es de 46 MPa/m, pero, mediante la inclusión de un material de sub base granular de 10 cm, el K combinado de la sub rasante será de 49.75 MPa/m.

7.2.1.2 UNIDAD DE DISEÑO N°2 DEL TRAMO N°1 (K5+400 AL K10+298)

Para la unidad de diseño N°2 del tramo N°1 se obtuvo un CBR de diseño del 4.1%, por lo tanto, para este valor de CBR el módulo de reacción K de la subrasante es de 36 MPa/m, pero, mediante la inclusión de un material de subbase granular de 15 cm, el K combinado de la sub rasante será de 43.52 MPa/m.

7.2.1.3 UNIDAD DE DISEÑO N°1 DEL TRAMO N°2 (K0+000 AL K0+834.28)

Para la unidad de diseño N°1 del tramo N°2 se obtuvo un CBR de diseño del 4.9%, por lo tanto, para este valor de CBR el módulo de reacción K de la subrasante es de 39 MPa/m, pero, mediante la inclusión de un material de subbase granular de 15 cm, el K combinado de la sub rasante será de 46.81 MPa/m.

7.3 TRANSFERENCIA DE CARGA Y SOPORTE LATERAL

El prever y elegir el tipo de juntas y bermas, el módulo de rotura del concreto, el valor K del conjunto, la distribución de la carga y el número de repeticiones dentro del diseño, el análisis de la modelación donde se observa quien controla el diseño si el de fatiga o el de erosión, nos lleva a definir si usamos o no pasadores de carga. Por las condiciones geométricas del proyecto, y su reducida sección transversal, la construcción de bermas para proteger las losas, es casi imposible, partiendo de este

hecho, la transferencia de carga se hará por medio de pasadores de carga y los espesores de los materiales de la estructura también se ven afectados.

7.4 MÓDULO DE ROTURA DEL CONCRETO (MR)

El módulo de rotura para las modelaciones se ha establecido en 4.2 MPa, una vez elegido el modulo con el cual se trabajara las losas, este se verificará mediante ensayos de resistencia a la flexión realizada sobre vigas estándar de sección 15 cm por 15 cm y 75 cm de longitud. Se realizará con tres o cuatro apoyos después de haber logrado su curado a 28 días.

8 RESULTADOS DEL DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO

8.1 MÉTODO DE LA PCA: UNIDAD DE DISEÑO N°1 DEL TRAMO N°1 (K2+570 AL K5+400)

BS-PCAA. Diseño de Pavimentos Rígidos [F:\Nueva carpeta\DROPBOX\Dropbox\CITEC 2022\1. ESTUDIOS DE SUELOS\28. YOTOCO\V. DIS... - □ ×

Opciones Fórmulas Espectro Sensibilidad Terminar

Descripción: CON CÓDIGO BPIN 20220214000023. TRAMO 1, UNIDAD HOMOGÉNEA N°1. PR 2+570 AL PR 5+400.

TRÁNSITO **Parámetros de Diseño PCA** **Parámetros de Diseño AASHTO**

Unidad Cargas: **Tn** Factor de Seguridad Carga: **1**
 Factor Mayoración Repeticiones: **1**

Ejes Simples Rueda Simple Ejes Simples Rueda Doble Ejes Tandem Rueda Simple Ejes Tandem Rueda Doble Ejes Tridem

#	Carga Eje	Repeticiones Esperadas
1	3	1092117
2	3.5	399368
3	6	35586
4		
5		
6		
7		
8		
9		

Geometría Eje
 Radio Carga [a]: **4635150** cm Ancho Eje [D]: **182.88** cm Aashto (Cálculo W82) Exponente: **4**
 Carga Referencia (kN): **65**

Factores
 Esfuerzo Equivalente: **1.885** Factor Esfuerzo: **0.4488** Factor Erosión: **2.8921**

Espectro de Cargas
 Guardar Abrir Imprimir Salir

BS-PCAA. Diseño de Pavimentos Rígidos [F:\Nueva carpeta\DROPBOX\Dropbox\CITEC 2022\1. ESTUDIOS DE SUELOS\28. YOTOCO\V. DIS... - □ ×

Opciones Fórmulas Espectro Sensibilidad Terminar

Descripción: CON CÓDIGO BPIN 20220214000023. TRAMO 1, UNIDAD HOMOGÉNEA N°1. PR 2+570 AL PR 5+400.

TRÁNSITO **Parámetros de Diseño PCA** **Parámetros de Diseño AASHTO**

Unidad Cargas: **Tn** Factor de Seguridad Carga: **1**
 Factor Mayoración Repeticiones: **1**

Ejes Simples Rueda Simple Ejes Simples Rueda Doble Ejes Tandem Rueda Simple Ejes Tandem Rueda Doble Ejes Tridem

#	Carga Eje	Repeticiones Esperadas
1	6	1092117
2	8.2	399368
3	11	17897
4		
5		
6		
7		
8		
9		

Geometría Eje
 Radio Carga [a]: **11.99** cm Ancho Eje [D]: **182.88** cm Aashto (Cálculo W82) Exponente: **4**
 Separación Liantas [s]: **30.48** cm Carga Referencia (kN): **80**

Factores
 Esfuerzo Equivalente: **1.885** Factor Esfuerzo: **0.4488** Factor Erosión: **2.8921**

Espectro de Cargas
 Guardar Abrir Imprimir Salir

BS-PCAA. Diseño de Pavimentos Rígidos [F:\Nueva carpeta\DROPBOX\Dropbox\CITEC 2022\1. ESTUDIOS DE SUELOS\28. YOTOCO\V. DIS...]

Opciones Fórmulas Espectro Sensibilidad Terminar

Descripción: :ON CÓDIGO BPIN 20220214000023. TRAMO 1, UNIDAD HOMOGENEA N°1. PR 2+570 AL PR 5+400.

TRÁNSITO **Parámetros de Diseño PCA** **Parámetros de Diseño AASHTO**

Unidad Cargas : **Tn** Factor de Seguridad Carga : **1**
 Factor Mayoración Repeticiones : **1**

Ejes Simples Rueda Simple | Ejes Simples Rueda Doble | Ejes Tandem Rueda Simple | Ejes Tandem Rueda Doble | Ejes Tridem

#	Carga Eje	Repeticiones Esperadas
1	22	17897
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

Geometría Eje
 Radio Carga [a] : **11.99** cm Ancho Eje [D] : **182.88** cm
 Separación Llantas [s] : **30.48** cm Separación Ejes [t] : **127** cm

Aashto (Cálculo W82)
 Exponente : **4**
 Carga Referencia (kN) : **146**

Factores
 Esfuerzo Equivalente : **1.6072** Factor Esfuerzo : **0.3827** Factor Erosión : **3.0143**

Espectro de Cargas
 Guardar Abrir
 Imprimir
 Salir

BS-PCAA. Diseño de Pavimentos Rígidos [F:\Nueva carpeta\DROPBOX\Dropbox\CITEC 2022\1. ESTUDIOS DE SUELOS\28. YOTOCO\V. DIS...]

Opciones Fórmulas Espectro Sensibilidad Terminar

Descripción: :ON CÓDIGO BPIN 20220214000023. TRAMO 1, UNIDAD HOMOGENEA N°1. PR 2+570 AL PR 5+400.

TRÁNSITO **Parámetros de Diseño PCA** **Parámetros de Diseño AASHTO**

Unidad Cargas : **Tn** Factor de Seguridad Carga : **1**
 Factor Mayoración Repeticiones : **1**

Ejes Simples Rueda Simple | Ejes Simples Rueda Doble | Ejes Tandem Rueda Simple | Ejes Tandem Rueda Doble | Ejes Tridem

#	Carga Eje	Repeticiones Esperadas
1	24	208
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

Geometría Eje
 Radio Carga [a] : **11.99** cm Ancho Eje [D] : **182.88** cm
 Separación Llantas [s] : **30.48** cm Separación Ejes [t] : **127** cm

Aashto (Cálculo W82)
 Exponente : **4**
 Carga Referencia (kN) : **225**

Factores
 Esfuerzo Equivalente : **1.209** Factor Esfuerzo : **0.2879** Factor Erosión : **3.1165**

Espectro de Cargas
 Guardar Abrir
 Imprimir
 Salir

BS-PCAA. Diseño de Pavimentos Rígidos [F:\Nueva carpeta\DROPBOX\Dropbox\CITEC 2022\1. ESTUDIOS DE SUELOS\28. YOTOCO\V. DIS... - □ ×

Opciones Fórmulas Espectro Sensibilidad Terminar

Descripción: :ON CÓDIGO BPIN 20220214000023. TRAMO 1, UNIDAD HOMOGENEA N°1. PR 2+570 AL PR 5+400.

TRÁNSITO **Parámetros de Diseño PCA** **Parámetros de Diseño AASHTO**

Resistencia K del Apoyo: 49.75 Mpa/m K Combinado

Espesor Losa [h1]: 18.5 cm

Longitud Losa [L]: 3.4 m

Ancho Losa [W]: 2.7 cm

Módulo de Elasticidad [E1]: 28000 Mpa

Densidad [s1]: 2.4 Tn/m3

Relación de Poisson [u1]: 0.15

Módulo de Rotura [Sc]: 4.2 Mpa

Coefficiente de Variación [CV] (%): 15

Ancho de Berma [D0]: 0 m

Factor de Trabazón de Agregados [AGG]: 0 Mpa

Con Pasadores

% Camiones al Borde: 0

Datos Ambientales

Diferencial Temperaturas [dT]: 10 oF

Coefficiente Térmico [alfa]: 5.500E-06 1/oF

% Tránsito para Alabeo: 0

Consumo Erosión (%): 7.5026

Consumo Esfuerzo (%): 85.3197

Espectro de Cargas

Guardar Abrir

Imprimir

Salir

BS-PCAA. Diseño de Pavimentos Rígidos [F:\Nueva carpeta\DROPBOX\Dropbox\CITEC 2022\1. ESTUDIOS DE SUELOS\28. YOTOCO\V. DIS... - □ ×

Opciones Fórmulas Espectro Sensibilidad Terminar

Descripción: :ON CÓDIGO BPIN 20220214000023. TRAMO 1, UNIDAD HOMOGENEA N°1. PR 2+570 AL PR 5+400.

TRÁNSITO **Parámetros de Diseño PCA** **Parámetros de Diseño AASHTO**

Número Ejes Equivalentes de 8.2Tn Carril de Diseño [W82]: 961,304 Ecuación AASHTO ESALF

Espesor del Pavimento para Cálculo de W82 [D]: 19 cm

Resistencia K del Apoyo [k]: 47.85 Mpa/m K Combinado

Módulo de Elasticidad Concreto [Ec]: 28000 Mpa

Módulo de Rotura [Mr]: 4.2 Mpa

% Confiabilidad: 90 Zr: -1.2816

Error Estándar Tránsito [So] (0.30 - 0.40): 0.29

Índice de Servicio Inicial [Po]: 3.5

Delta Índice de Servicio [dPSI]: 1.8

Coefficiente de Drenaje [Cd]: 0.9

Coefficiente Transmisión de Cargas Juntas [J]: 3

Espesor del Pavimento de Concreto [D] (cm): 18.0927

Espectro de Cargas

Guardar Abrir

Imprimir

Salir

DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS - METODO : PCA-84
 UNIVERSIDAD DEL CAUCA
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
 Software : BS-PCAA

Proyecto: [TRAMO 1. UNIDAD 1] MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO -BUENOS AIRES -EL DORADO EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES -CASCO URBANO DE YOTOCO Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -CORDOBITAS EN YOTOCO VALLE DEL CAUCA" CON CÓDIGO BPIN 20220214000023.
 TRAMO 1, UNIDAD HOMOGÉNEA N°1. PR 2+570 AL PR 5+400.

Datos :

Resistencia K del Apoyo : 49.75 Mpa/m
 Espesor Losa : 18.5 cm
 Espesor sub base granular : 10 cm
 Longitud Losa : 3.4 m
 Ancho Losa : 2.7 cm
 Modulo de Elasticidad : 28000 Mpa
 Densidad : 2.4 Tn/m³
 Relacion de Poisson : 0.15
 Modulo de Rotura : 4.2 Mpa
 Coeficiente de Variacion : 15%
 Ancho de Berma : 0 m
 Factor de Trabazon de Agregados : 0 Mpa
 Camiones al Borde : 0%
 Pasadores : SI
 Diferencial de Temperaturas : 10 oF
 Coeficiente Termico : 5.50E-06 1/oF
 Trafico para Alabeo : 0%
 Factor de Seguridad Cargas : 1
 Factor de Mayoración Repeticiones : 1

Resultados :

Carga Tn	Carga FS Tn	Repeticiones Esperadas	Esfuerzo Equival. psi	Repeticiones Admisib_Fatiga	Consumo Fatiga %	Repeticiones Admisi_Erosion	Consumo Erosion %
EJES SIMPLES RUEDA SIMPLE							
Esfuerzo Equivalente: 1.9 Factor Esfuerzo: 0.4629 Factor Erosion: 2.9277							
3.00	3.00	1,092,117	109.6	Inf	0.00	Inf	0.00
3.50	3.50	399,368	126.7	Inf	0.00	Inf	0.00
6.00	6.00	35,586	210.4	Inf	0.00	328,968,492	0.01
EJES SIMPLES RUEDA DOBLE							
Esfuerzo Equivalente: 1.9 Factor Esfuerzo: 0.4629 Factor Erosion: 2.9277							
6.00	6.00	1,092,117	210.4	Inf	0.00	328,968,492	0.33
8.20	8.20	399,368	282.2	10,347,935	3.86	11,111,811	3.59
11.00	11.00	17,897	371.9	23,383	76.54	1,622,472	1.10
EJES TANDEM RUEDA DOBLE							
Esfuerzo Equivalente: 1.6 Factor Esfuerzo: 0.3928 Factor Erosion: 3.0429							
22.00	22.00	17,897	315.2	363,619	4.92	729,060	2.45
EJES TRIDEM							
Esfuerzo Equivalente: 1.2 Factor Esfuerzo: 0.2944 Factor Erosion: 3.1358							
24.00	24.00	208	178.4	Inf	0.00	2,667,426	0.01
					-----	-----	
Total :					85.32	PCA-84:	7.50

▲DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS - METODO AASHTO
 UNIVERSIDAD DEL CAUCA
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
 Software : BS-PCAA

Proyecto: [TRAMO 1. UNIDAD 1] MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO -BUENOS AIRES -EL DORADO EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES -CASCO URBANO DE YOTOCO Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS - CORDOBITAS EN YOTOCO VALLE DEL CAUCA CON CÓDIGO BPIN 20220214000023.
 TRAMO 1, UNIDAD HOMOGÉNEA N°1. PR 2+570 AL PR 5+400.]

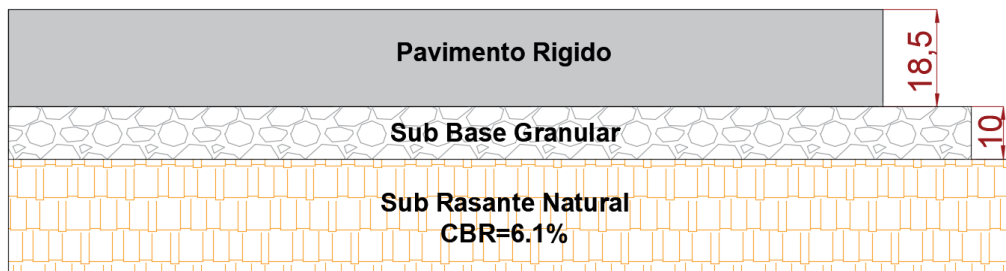
Datos :

Ejes Equivalentes 8.2 Tn Carril de Diseño [W82]: 961,304
 Resistencia K del Apoyo [k]: 47.85 Mpa/m
 Modulo de Elasticidad [Ec]: 28000 Mpa
 Modulo de Rotura [Mr] : 4.2 Mpa
 Confiabilidad : 90% Zr : -1.2816
 Error Estandar Transito [So]: 0.29
 Indice de Servicio Inicial [Po]: 3.5
 Delta Indice de Servicio [dPSI]: 1.8
 Coeficiente de Drenaje [Cd] : 0.9
 Coeficiente Transmision Cargas Juntas [J] : 3
 Espesor Losa [D] : 18.0927 cm

Tabla 18 Resultados de la modelación con MR-4.2 con para la unidad de diseño N°1 del tramo N°1- Fuente: Elaboración propia

MODELACIÓN DE LA UNIDAD DE DISEÑO N°	1
CBR DE DISEÑO	6.1%
SUB-BASE GRANULAR ESPESOR EN cm	10
MATERIAL DE MEJORAMIENTO EN cm	NO
GEOMALLA PAVCO ref. PBX 12	NO
GEOTEXTIL TEJIDO T2100	NO
MODULO DE ROTURA MR DEL CONCRETO EN Mpa	4.2
K DE LA SUBRASANTE EN MPa	46
K DE APOYO O DE CONJUNTO EN MPa	49.75
TRANSITO TIPO	TOTAL
DISTRIBUCIÓN DIRECCIONAL DEL TRANSITO	1.0
ESPESOR DE LOSA EN cm	18.5
BERMAS	Berma- cuneta
PASADORES	SI
FACTOR DE SEGURIDAD DE CARGA	1
CONSUMO DE FATIGA EN %	85
CONSUMO DE EROSIÓN EN %	7.5
APROBACIÓN	SI

Ilustración 5 Dimesionamiento de la estructura de pavimento rigido para la undiad de diseño N°1 del tramo N°1 (Dimesiones en cm)- Fuente El Autor



8.1.1 CHEQUEO DE LA ESTRUCTURA

8.1.1.1 DIMENSIONES

Siguiendo la recomendación:

$$\frac{L_{max}}{H} = (20 - 24) \text{ Depende de la rigidez de la sub rasante}$$

Tabla 19 Dimensiones máximas de la losa para la unidad de diseño N°1 del tramo N°1- Fuente: El Autor

SECCIÓN TRANSVERSAL	H(cm)	B(m)	L(m)
5.4	18.5	2.7	3.4

8.1.1.2 ESFUERZOS POR CAMBIO UNIFORME DE TEMPERATURA

Teniendo en cuenta que:

Espesor de la losa: 18.5 cm

Módulo de elasticidad del concreto: 281200 Kg/cm²

Módulo de reacción combinado de apoyo de la losa: 49.75 Mpa/m

Gradiente de temperatura durante el día: 0.5 c°/cm

Relación de poisson: 0.15

Coefficiente de dilatación térmica del concreto: 11.8*10⁻⁶/ oc

Diferencia de temperatura (ΔT):10 oc

Radio de carga: 13.06 cm

Carga por llanta eje simple: 3 Ton

- Radio de rigidez relativa:

$$I = \left(\frac{E * H^3}{12 * (1 - \mu^2) * K} \right)^{1/4}$$

$\rho = 41.79 \text{ cm}$

- Coeficientes de Bradbury:

$$\frac{Lx}{I} = 8.14$$

$$\frac{Ly}{I} = 6.46$$

$$Cx = 1.2$$

$$Cy = 0.84$$

- Esfuerzos de borde externo σ_{bx} e interior σ_{bi} :

$$\sigma_{bx} = \frac{(E * \alpha * \Delta T)}{2} * Cx$$

Tabla 20 Esfuerzo de borde externo σ_{bx} para la unidad de diseño N°1 del tramo N°1- Fuente: El Autor

B	σ_{bx}
2.7	19.91

Teniendo en cuenta que la relación de esfuerzos para este caso de 0% es inferior al módulo de rotura, indica que no hay fatiga y la sección es adecuada desde el punto de vista de dimensionamiento

$$\sigma_{bi} = \frac{(E * \alpha * \Delta T)}{2} * \frac{Cx + \mu * Cy}{1 - \mu^2}$$

Tabla 21 Esfuerzo de borde interno σ_{bi} para la unidad de diseño N°1 del tramo N°1- Fuente: El Autor

B	σ_{bi}
2.7	20.69

8.1.1.3 ESFUERZOS POR ACCIÓN DE LAS CARGAS

- Esfuerzo de borde:

$$\sigma_{bc} = \frac{0.803P}{h^2} \left[4 \text{Log} \left(\frac{I}{a} \right) + 0.666 \left(\frac{a}{I} \right) - 0.034 \right]$$

$$\sigma_{bc} = 15.45 \frac{Kg}{cm^2}$$

- Esfuerzo esquina:

$$\sigma_c = \frac{3P}{h^2} * \left[1 - \left(\frac{C}{I} \right)^{0.72} \right]$$

$$C = 1.772 * a$$

$$\sigma_c = 9.11 \frac{Kg}{cm^2}$$

Los esfuerzos en la losa, con las dimensiones de corte recomendadas cumplen con los esfuerzos admisibles, por lo tanto se considera la modulación de las losas acertadas con una longitud de 3.40m, para ancho de calzada de 5.4 metros.

8.2 MÉTODO DE LA PCA: UNIDAD DE DISEÑO N°2 DEL TRAMO N°1 (K5+400 AL K10+298)

BS-PCAA. Diseño de Pavimentos Rígidos [F:\Nueva carpeta\DROPBOX\Dropbox\CITEC 2022\1. ESTUDIOS DE SUELOS\28. YOTOCO.V. DISEÑ... - □ ×

Opciones Fórmulas Espectro Sensibilidad Terminar

Descripción: DN CÓDIGO BPIN 20220214000023. TRAMO 1, UNIDAD HOMOGÉNEA N°2. PR 5+400 AL PR 10+300.

TRÁNSITO **Parámetros de Diseño PCA** **Parámetros de Diseño AASHTO**

Unidad Cargas: Tn Factor de Seguridad Carga: 1
 Factor Mayoración Repeticiones: 1

Ejes Simples Rueda Simple Ejes Simples Rueda Doble Ejes Tandem Rueda Simple Ejes Tandem Rueda Doble Ejes Tridem

#	Carga Eje	Repeticiones Esperadas
1	3	1092117
2	3.5	399368
3	6	35586
4		
5		

Geometría Eje
 Radio Carga [a]: 4635150 cm Ancho Eje [D]: 182.88 cm
 Aashto (Cálculo W82) Exponente: 4 Carga Referencia (kN): 65

Factores
 Esfuerzo Equivalente: 1.8728 Factor Esfuerzo: 0.4459 Factor Erosión: 2.8904

Espectro de Cargas
 Guardar Abrir
 Imprimir
 Salir

BS-PCAA. Diseño de Pavimentos Rígidos [F:\Nueva carpeta\DROPBOX\Dropbox\CITEC 2022\1. ESTUDIOS DE SUELOS\28. YOTOCO.V. DISEÑ... - □ ×

Opciones Fórmulas Espectro Sensibilidad Terminar

Descripción: DN CÓDIGO BPIN 20220214000023. TRAMO 1, UNIDAD HOMOGÉNEA N°2. PR 5+400 AL PR 10+300.

TRÁNSITO **Parámetros de Diseño PCA** **Parámetros de Diseño AASHTO**

Unidad Cargas: Tn Factor de Seguridad Carga: 1
 Factor Mayoración Repeticiones: 1

Ejes Simples Rueda Simple Ejes Simples Rueda Doble Ejes Tandem Rueda Simple Ejes Tandem Rueda Doble Ejes Tridem

#	Carga Eje	Repeticiones Esperadas
1	6	1092117
2	8.2	399368
3	11	17897
4		
5		

Geometría Eje
 Radio Carga [a]: 11.99 cm Ancho Eje [D]: 182.88 cm Separación Liantas [s]: 30.48 cm
 Aashto (Cálculo W82) Exponente: 4 Carga Referencia (kN): 80

Factores
 Esfuerzo Equivalente: 1.8728 Factor Esfuerzo: 0.4459 Factor Erosión: 2.8904

Espectro de Cargas
 Guardar Abrir
 Imprimir
 Salir

Iniciativa presentada por:
 AGROCOLSA S.A. SOCIEDAD CIVIL, NIT 805.021.816-3
 AGRÍCOLA COLOMBIANA S.A., NIT 890.315.430-6
 PRODUCTORA NACIONAL AVÍCOLA S.A., NIT 890.321.213-9
 ALIANZA FIDUCIARIA, NIT 860.531.315-3

MEJORAMIENTO DE LA VÍA
 YOTOCO –BUENOS AIRES –EL DORADO EN EL SECTOR
 CRUCERO BUENOS IRES –CASCO URBANO DE YOTOCO Y DE
 UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS –CORDOBITAS EN YOTOCO
 VALLE DEL CAUCA

BS-PCAA. Diseño de Pavimentos Rígidos [F:\Nueva carpeta\DROPBOX\Dropbox\CITEC 2022\1. ESTUDIOS DE SUELOS\28. YOTOCO\V. DISEÑ... - □ ×

Opciones Fórmulas Espectro Sensibilidad Terminar

Descripción : DN CÓDIGO BPIN 20220214000023. TRAMO 1, UNIDAD HOMOGÉNEA N°2. PR 5+400 AL PR 10+300.

TRÁNSITO **Parámetros de Diseño PCA** **Parámetros de Diseño AASHTO**

Unidad Cargas : Tn Factor de Seguridad Carga : 1
 Factor Mayoración Repeticiones : 1

Ejes Simples Rueda Simple Ejes Simples Rueda Doble Ejes Tandem Rueda Simple Ejes Tandem Rueda Doble Ejes Tridem

#	Carga Eje	Repeticiones Esperadas
1	22	17897
2		
3		
4		
5		

Geometría Eje
 Radio Carga [a] : 11.99 cm Ancho Eje [D] : 182.88 cm Aashto (Cálculo W82) Exponente : 4
 Separación Lantas [s] : 30.48 cm Separación Ejes [t] : 127 cm Carga Referencia (kN) : 146

Factores
 Esfuerzo Equivalente : 1.5932 Factor Esfuerzo : 0.3793 Factor Erosión : 3.0108

Espectro de Cargas
 Guardar Abrir
 Imprimir
 Salir

BS-PCAA. Diseño de Pavimentos Rígidos [F:\Nueva carpeta\DROPBOX\Dropbox\CITEC 2022\1. ESTUDIOS DE SUELOS\28. YOTOCO\V. DISEÑ... - □ ×

Opciones Fórmulas Espectro Sensibilidad Terminar

Descripción : DN CÓDIGO BPIN 20220214000023. TRAMO 1, UNIDAD HOMOGÉNEA N°2. PR 5+400 AL PR 10+300.

TRÁNSITO **Parámetros de Diseño PCA** **Parámetros de Diseño AASHTO**

Unidad Cargas : Tn Factor de Seguridad Carga : 1
 Factor Mayoración Repeticiones : 1

Ejes Simples Rueda Simple Ejes Simples Rueda Doble Ejes Tandem Rueda Simple Ejes Tandem Rueda Doble Ejes Tridem

#	Carga Eje	Repeticiones Esperadas
1	24	208
2		
3		
4		
5		

Geometría Eje
 Radio Carga [a] : 11.99 cm Ancho Eje [D] : 182.88 cm Aashto (Cálculo W82) Exponente : 4
 Separación Lantas [s] : 30.48 cm Separación Ejes [t] : 127 cm Carga Referencia (kN) : 225

Factores
 Esfuerzo Equivalente : 1.1976 Factor Esfuerzo : 0.2851 Factor Erosión : 3.1112

Espectro de Cargas
 Guardar Abrir
 Imprimir
 Salir

Iniciativa presentada por:
 AGROCOLSA S.A. SOCIEDAD CIVIL, NIT 805.021.816-3
 AGRÍCOLA COLOMBIANA S.A., NIT 890.315.430-6
 PRODUCTORA NACIONAL AVÍCOLA S.A., NIT 890.321.213-9
 ALIANZA FIDUCIARIA, NIT 860.531.315-3

MEJORAMIENTO DE LA VÍA
 YOTOCO –BUENOS AIRES –EL DORADO EN EL SECTOR
 CRUCERO BUENOS IRES –CASCO URBANO DE YOTOCO Y DE
 UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS –CORDOBITAS EN YOTOCO
 VALLE DEL CAUCA

BS-PCAA. Diseño de Pavimentos Rígidos [F:\Nueva carpeta\DROPBOX\Dropbox\CITEC 2022\1. ESTUDIOS DE SUELOS\28. YOTOCO\V. DISEÑ...
 Opciones Fórmulas Espectro Sensibilidad Terminar

Descripción: DN CÓDIGO BPIN 20220214000023. TRAMO 1, UNIDAD HOMOGÉNEA N°2. PR 5+400 AL PR 10+300.

TRÁNSITO **Parámetros de Diseño PCA** **Parámetros de Diseño AASHTO**

Resistencia K del Apoyo: 43.52 Mpa/m K Combinado

Espeor Losa [h1]: 19 cm

Longitud Losa [L]: 3.4 m

Ancho Losa [W]: 2.7 cm

Módulo de Elasticidad [E1]: 28000 Mpa

Densidad [s1]: 2.4 Tn/m3

Relación de Poisson [u1]: 0.15

Módulo de Rotura [Sc]: 4.2 Mpa

Coefficiente de Variación [CV] (%): 15

Ancho de Berma [D0]: 0 m

Factor de Trabazón de Agregados [AGG]: 0 Mpa

Con Pasadores

% Camiones al Borde: 0

Capas: Una Capa

Datos Ambientales

Diferencial Temperaturas [dT]: 10 °F

Coefficiente Térmico [alfa]: 5.500E-06 1/°F

% Tránsito para Alabeo: 0

Consumo Erosión (%): 5.9711

Consumo Esfuerzo (%): 67.9833

Espectro de Cargas

Guardar Abrir

Imprimir

Salir

BS-PCAA. Diseño de Pavimentos Rígidos [F:\Nueva carpeta\DROPBOX\Dropbox\CITEC 2022\1. ESTUDIOS DE SUELOS\28. YOTOCO\V. DISEÑ...
 Opciones Fórmulas Espectro Sensibilidad Terminar

Descripción: DN CÓDIGO BPIN 20220214000023. TRAMO 1, UNIDAD HOMOGÉNEA N°2. PR 5+400 AL PR 10+300.

TRÁNSITO **Parámetros de Diseño PCA** **Parámetros de Diseño AASHTO**

Número Ejes Equivalentes de 8.2Tn Carril de Diseño [W82]: 961,304 Ecuación AASHTO ESALF

Espeor del Pavimento para Cálculo de W82 [D]: 19 cm

Resistencia K del Apoyo [k]: 47.85 Mpa/m K Combinado

Módulo de Elasticidad Concreto [Ec]: 28000 Mpa

Módulo de Rotura [Mr]: 4.2 Mpa

% Confiabilidad: 90 Zr: -1.2816

Error Estándar Tránsito [So] {0.30 - 0.40}: 0.29

Índice de Servicio Inicial [Po]: 3.5

Delta Índice de Servicio [dPSI]: 1.8

Coefficiente de Drenaje [Cd]: 0.9

Coefficiente Transmisión de Cargas Juntas [J]: 3

Espeor del Pavimento de Concreto [D] (cm): 18.0927

Espectro de Cargas

Guardar Abrir

Imprimir

Salir

Iniciativa presentada por:
 AGROCOLSA S.A. SOCIEDAD CIVIL, NIT 805.021.816-3
 AGRÍCOLA COLOMBIANA S.A., NIT 890.315.430-6
 PRODUCTORA NACIONAL AVÍCOLA S.A., NIT 890.321.213-9
 ALIANZA FIDUCIARIA, NIT 860.531.315-3

MEJORAMIENTO DE LA VÍA
 YOTOCO -BUENOS AIRES -EL DORADO EN EL SECTOR
 CRUCERO BUENOS AIRES -CASCO URBANO DE YOTOCO Y DE
 UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -CORDOBITAS EN YOTOCO
 VALLE DEL CAUCA

DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS - METODO : PCA-84
 UNIVERSIDAD DEL CAUCA
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
 Software : BS-PCAA

Proyecto: [TRAMO 1. UNIDAD 2] MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO -BUENOS AIRES -EL DORADO EN EL SECTOR
 CRUCERO BUENOS AIRES -CASCO UR-BANO DE YOTOCO Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -CORDOBITAS EN YOTOCO
 VALLE DEL CAUCA" CON CÓDIGO BPIN 20220214000023. TRAMO 1, UNIDAD HOMOGENEA N°2. PR 5+400 AL PR 10+300.

Datos :

Resistencia K del Apoyo : 43.52 Mpa/m
 Espesor Losa : 19 cm
 Espesor sub base granular : 15 cm
 Longitud Losa : 3.4 m
 Ancho Losa : 2.7 cm
 Modulo de Elasticidad : 28000 Mpa
 Densidad : 2.4 Tn/m3
 Relacion de Poisson : 0.15
 Modulo de Rotura : 4.2 Mpa|
 Coeficiente de Variacion : 15%
 Ancho de Berma : 0 m
 Factor de Trabazon de Agregados : 0 Mpa
 Camiones al Borde : 0%
 Pasadores : SI
 Diferencial de Temperaturas : 10 oF
 Coeficiente Termico : 5.50E-06 1/oF
 Trafico para Alabeo : 0%
 Factor de Seguridad Cargas : 1
 Factor de Mayoración Repeticiones : 1

Resultados :

Carga Tn	Carga FS Tn	Repeticiones Esperadas	Esfuerzo Equival. psi	Repeticiones Admisib_Fatiga	Consumo Fatiga %	Repeticiones Admisi_Erosion	Consumo Erosion %
-------------	-------------------	---------------------------	-----------------------------	--------------------------------	------------------------	--------------------------------	-------------------------

EJES SIMPLES RUEDA SIMPLE

Esfuerzo Equivalente: 1.9 Factor Esfuerzo: 0.4560 Factor Erosion: 2.8965

3.00	3.00	1,092,117	108.2	Inf	0.00	Inf	0.00
3.50	3.50	399,368	125.1	Inf	0.00	Inf	0.00
6.00	6.00	35,586	207.6	Inf	0.00	764,597,571	0.00

EJES SIMPLES RUEDA DOBLE

Esfuerzo Equivalente: 1.9 Factor Esfuerzo: 0.4560 Factor Erosion: 2.8965

6.00	6.00	1,092,117	207.6	Inf	0.00	764,597,571	0.14
8.20	8.20	399,368	278.4	21,715,759	1.84	14,525,789	2.75
11.00	11.00	17,897	366.9	29,312	61.06	2,008,690	0.89

EJES TANDEM RUEDA DOBLE

Esfuerzo Equivalente: 1.6 Factor Esfuerzo: 0.3909 Factor Erosion: 3.0230

22.00	22.00	17,897	315.8	351,748	5.09	822,527	2.18
-------	-------	--------	-------	---------	------	---------	------

EJES TRIDEM

Esfuerzo Equivalente: 1.2 Factor Esfuerzo: 0.2945 Factor Erosion: 3.1294

24.00	24.00	208	178.9	Inf	0.00	2,802,201	0.01
-------	-------	-----	-------	-----	------	-----------	------

 Total : 67.98 PCA-84: 5.97

Proyecto: [TRAMO 1. UNIDAD 2] MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO -BUENOS AIRES -EL DORADO EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES -CASCO URBANO DE YOTOCO Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -CORDOBITAS EN YOTOCO VALLE DEL CAUCA" CON CÓDIGO BPIN 20220214000023. TRAMO 1, UNIDAD HOMOGÉNEA N°2. PR 5+400 AL PR 10+300.

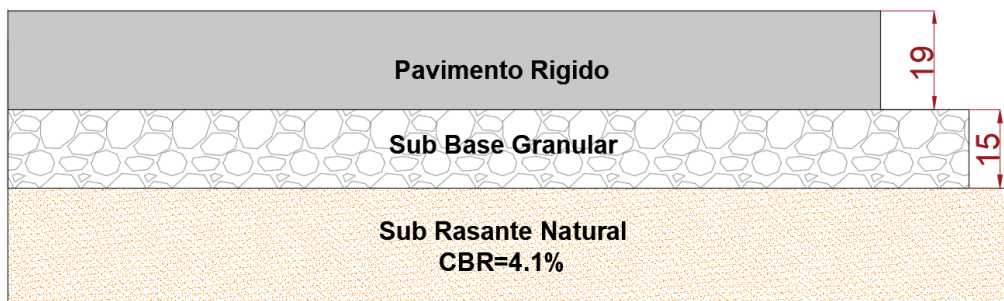
Datos :

Ejes Equivalentes 8.2 Tn Carril de Diseño [W82]: 961,304
 Resistencia K del Apoyo [k]: 47.85 Mpa/m
 Modulo de Elasticidad [Ec]: 28000 Mpa
 Modulo de Rotura [Mr] : 4.2 Mpa
 Confiabilidad : 90% Zr : -1.2816
 Error Estandar Transito [So]: 0.29
 Indice de Servicio Inicial [Po]: 3.5
 Delta Indice de Servicio [dPSI]: 1.8
 Coeficiente de Drenaje [Cd] : 0.9
 Coeficiente Transmision Cargas Juntas [J] : 3
 Espesor Losa [D] : 18.0927 cm

Tabla 22 Resultados de la modelación con MR-4.2 con para la unidad de diseño N°2 del tramo N°1- Fuente: Elaboración propia

MODELACIÓN DE LA UNIDAD DE DISEÑO N°	1
CBR DE DISEÑO	4.1%
SUB-BASE GRANULAR ESPESOR EN cm	15
MATERIAL DE MEJORAMIENTO EN cm	Únicamente para las zonas particulares
GEOMALLA PAVCO ref. PBX 12	NO
GEOTEXTIL TEJIDO T2100	NO
MODULO DE ROTURA MR DEL CONCRETO EN Mpa	4.2
K DE LA SUBRASANTE EN MPa	36
K DE APOYO O DE CONJUNTO EN MPa	43.52
TRANSITO TIPO	TOTAL
DISTRIBUCIÓN DIRECCIONAL DEL TRANSITO	1.0
ESPEJOR DE LOSA EN cm	19
BERMAS	Berma- cuneta
PASADORES	SI
FACTOR DE SEGURIDAD DE CARGA	1
CONSUMO DE FATIGA EN %	67.9
CONSUMO DE EROSIÓN EN %	5.9
APROBACIÓN	SI

Ilustración 6 Dimensionamiento de la estructura de pavimento rígido para la unidad de diseño N°2 del tramo N°1 (Dimensiones en cm)- Fuente El Autor

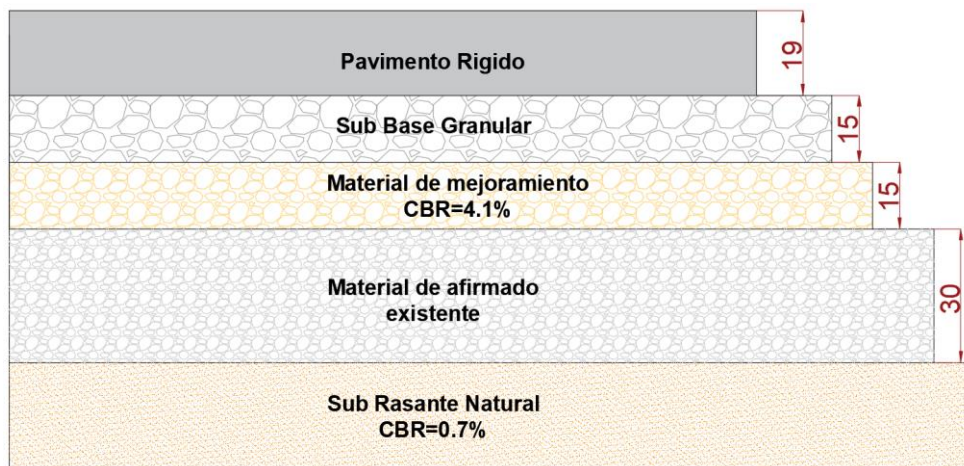


Dentro de la unidad de diseño N°2 del tramo N°1 se encuentran dos zonas particulares que cuentan con valores de CBR inferiores al 3%, por lo tanto, se recomienda para

estas zonas realizar mejoramientos de tipo mecánico para estabilizar y aumentar la resistencia de las condiciones naturales del suelo de apoyo.

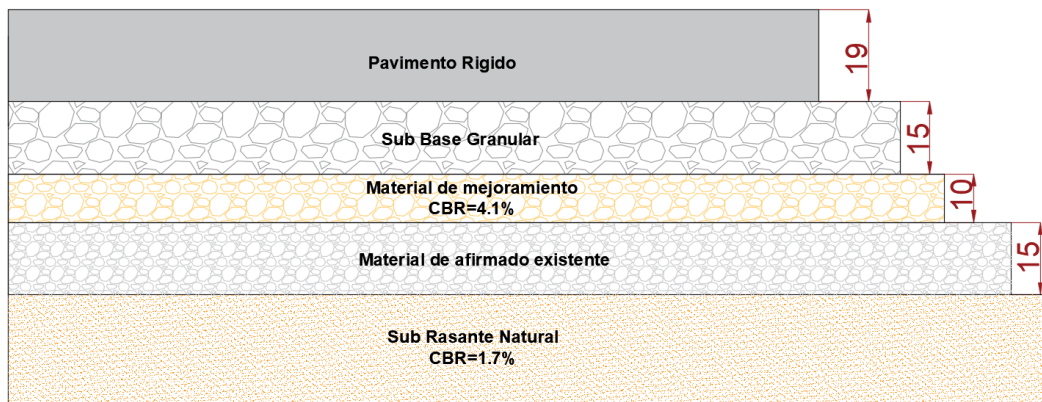
- Para la zona particular N°1 (K8+690 al K8+790) de la unidad de homogénea de diseño N°2 del tramo N°1 se recomienda un espesor de material de mejoramiento con CBR $\geq 10\%$, igual a 35 cm. Con este material de mejoramiento se aumentará la capacidad de soporte de la subrasante de 0.7% a 4.1%. Por motivos técnico- económico se sugiere colocar sobre la capa de afirmado actual tan solo 15 cm de mejoramiento como adicional.

Ilustración 7 Dimensionamiento de la estructura de pavimento rígido para la zona particular N°1 de unidad de diseño N°2 del tramo N°1 (Dimensiones en cm)- Fuente El Autor



- Para la zona particular N°2 (K9+785 al K9+885) de la unidad de homogénea de diseño N°2 del tramo N°1 se recomienda un espesor de material de mejoramiento con CBR $\geq 10\%$, igual a 22 cm. Con este material de mejoramiento se aumentará la capacidad de soporte de la subrasante de 1.7% a 4.1%. Por motivos técnico- económico se sugiere colocar sobre la capa de afirmado actual tan solo 10 cm de mejoramiento como adicional.

Ilustración 8 Dimensionamiento de la estructura de pavimento rígido para la zona particular N°2 de unidad de diseño N°2 del tramo N°1 (Dimensiones en cm)- Fuente El Autor



8.2.1 CHEQUEO DE LA ESTRUCTURA

8.2.1.1 DIMENSIONES

Siguiendo la recomendación:

$$\frac{L_{max}}{H} = (20 - 24) \text{ Depende de la rigidez de la sub rasante}$$

Tabla 23 Dimensiones máximas de la losa para la unidad de diseño N°2 del tramo N°1- Fuente: El Autor

SECCIÓN TRANSVERSAL	H(cm)	B(m)	L(m)
5.4	19	2.7	3.4

8.2.1.2 ESFUERZOS POR CAMBIO UNIFORME DE TEMPERATURA

Teniendo en cuenta que:

Espesor de la losa: 19 cm

Módulo de elasticidad del concreto: 281200 Kg/cm²

Módulo de reacción combinado de apoyo de la losa: 43.52 Mpa/m

Gradiente de temperatura durante el día: 0.5 c°/cm

Relación de poisson: 0.15

Coefficiente de dilatación térmica del concreto: 11.8*10⁻⁶/ oc

Diferencia de temperatura (ΔT):10 oc

Radio de carga: 13.06 cm

Carga por llanta eje simple: 3 Ton

- Radio de rigidez relativa:

$$I = \left(\frac{E * H^3}{12 * (1 - \mu^2) * K} \right)^{1/4}$$

$\rho = 44.09 \text{ cm}$

- Coeficientes de Bradbury:

$$\frac{Lx}{I} = 9.30$$

$$\frac{Ly}{I} = 7.27$$

$$Cx = 1.2$$

$$Cy = 0.84$$

- Esfuerzos de borde externo σ_{bx} e interior σ_{bi} :

$$\sigma_{bx} = \frac{(E * \alpha * \Delta T)}{2} * Cx$$

Tabla 24 Esfuerzo de borde externo σ_{bx} para la unidad de diseño N°2 del tramo N°1- Fuente: El Autor

B	σ_{bx}
2.7	19.91

Teniendo en cuenta que la relación de esfuerzos para este caso de 0% es inferior al módulo de rotura, indica que no hay fatiga y la sección es adecuada desde el punto de vista de dimensionamiento

Tabla 18 Esfuerzo de borde interno obi

$$\sigma_{bi} = \frac{(E * \alpha * \Delta T)}{2} * \frac{Cx + \mu * Cy}{1 - \mu^2}$$

Tabla 25 Esfuerzo de borde interno obi para la unidad de diseño N°2 del tramo N°1- Fuente: El Autor

B	σ_{bi}
2.7	22.51

8.2.1.3 ESFUERZOS POR ACCIÓN DE LAS CARGAS

- Esfuerzo de borde:

$$\sigma_{bc} = \frac{0.803P}{h^2} \left[4 \text{Log} \left(\frac{l}{a} \right) + 0.666 \left(\frac{a}{l} \right) - 0.034 \right]$$

$$\sigma_{bc} = 15.19 \frac{Kg}{cm^2}$$

- Esfuerzo esquina:

$$\sigma_c = \frac{3P}{h^2} * \left[1 - \left(\frac{C}{l} \right)^{0.72} \right]$$

$$C = 1.772 * a$$

$$\sigma_c = 9.26 \frac{Kg}{cm^2}$$

Los esfuerzos en la losa, con las dimensiones de corte recomendadas cumplen con los esfuerzos admisibles, por lo tanto se considera la modulación de las losas acertadas con una longitud de 3.40m, para ancho de calzada de 5.40 metros.

8.3 MÉTODO DE LA PCA: UNIDAD DE DISEÑO N°1 DEL TRAMO N°2 (K0+000 AL K0+834.28)

BS-PCAA. Diseño de Pavimentos Rígidos [F:\Nueva carpeta\DROPBOX\Dropbox\CITEC 2022\1. ESTUDIOS DE SUELOS\28. YOTOCO\V. DISEÑ... - □ ×

Opciones Fórmulas Espectro Sensibilidad Terminar

Descripción: :ON CÓDIGO BPIN 20220214000023. TRAMO 2, UNIDAD HOMOGÉNEA N°1. PR 0+000 AL PR 0+834.

TRÁNSITO **Parámetros de Diseño PCA** **Parámetros de Diseño AASHTO**

Unidad Cargas: **Tn** Factor de Seguridad Carga: **1**
 Factor Mayoración Repeticiones: **1**

Ejes Simples Rueda Simple | Ejes Simples Rueda Doble | Ejes Tandem Rueda Simple | Ejes Tandem Rueda Doble | Ejes Tridem

#	Carga Eje	Repeticiones Esperadas
1	3	1092117
2	3.5	399368
3	6	35586
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
**		

Geometría Eje
 Radio Carga [a]: **4635150** cm Ancho Eje [D]: **182.88** cm
 Aashto (Cálculo W82) Exponente: **4**
 Carga Referencia (kN): **65**

Factores
 Esfuerzo Equivalente: **1.8923** Factor Esfuerzo: **0.4505** Factor Erosión: **2.8932**

Espectro de Cargas
 Guardar Abrir
 Imprimir
 Salir

BS-PCAA. Diseño de Pavimentos Rígidos [F:\Nueva carpeta\DROPBOX\Dropbox\CITEC 2022\1. ESTUDIOS DE SUELOS\28. YOTOCO\V. DISEÑ... - □ ×

Opciones Fórmulas Espectro Sensibilidad Terminar

Descripción: :ON CÓDIGO BPIN 20220214000023. TRAMO 2, UNIDAD HOMOGÉNEA N°1. PR 0+000 AL PR 0+834.

TRÁNSITO **Parámetros de Diseño PCA** **Parámetros de Diseño AASHTO**

Unidad Cargas: **Tn** Factor de Seguridad Carga: **1**
 Factor Mayoración Repeticiones: **1**

Ejes Simples Rueda Simple | Ejes Simples Rueda Doble | Ejes Tandem Rueda Simple | Ejes Tandem Rueda Doble | Ejes Tridem

#	Carga Eje	Repeticiones Esperadas
1	6	1092117
2	8.2	399368
3	11	17697
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
**		

Geometría Eje
 Radio Carga [a]: **11.99** cm Ancho Eje [D]: **182.88** cm Separación Llantas [s]: **30.48** cm
 Aashto (Cálculo W82) Exponente: **4**
 Carga Referencia (kN): **80**

Factores
 Esfuerzo Equivalente: **1.8923** Factor Esfuerzo: **0.4505** Factor Erosión: **2.8932**

Espectro de Cargas
 Guardar Abrir
 Imprimir
 Salir

Iniciativa presentada por:
 AGROCOLSA S.A. SOCIEDAD CIVIL, NIT 805.021.816-3
 AGRÍCOLA COLOMBIANA S.A., NIT 890.315.430-6
 PRODUCTORA NACIONAL AVÍCOLA S.A., NIT 890.321.213-9
 ALIANZA FIDUCIARIA, NIT 860.531.315-3

MEJORAMIENTO DE LA VÍA
 YOTOCO –BUENOS AIRES –EL DORADO EN EL SECTOR
 CRUCERO BUENOS IRES –CASCO URBANO DE YOTOCO Y DE
 UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS –CORDOBITAS EN YOTOCO
 VALLE DEL CAUCA

BS-PCAA. Diseño de Pavimentos Rígidos [F:\Nueva carpeta\DROPBOX\Dropbox\CITEC 2022\1. ESTUDIOS DE SUELOS\28. YOTOCO\V. DISEÑ...

Opciones Fórmulas Espectro Sensibilidad Terminar

Descripción: CON CÓDIGO BPIN 20220214000023. TRAMO 2, UNIDAD HOMOGENEA N°1. PR 0+000 AL PR 0+834.

TRÁNSITO **Parámetros de Diseño PCA** **Parámetros de Diseño AASHTO**

Unidad Cargas: Tn Factor de Seguridad Carga: 1
 Factor Mayoración Repeticiones: 1

Ejes Simples Rueda Simple Ejes Simples Rueda Doble Ejes Tandem Rueda Simple Ejes Tandem Rueda Doble Ejes Tridem

#	Carga Eje	Repeticiones Esperadas
1	22	17897
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
**		

Geometría Eje
 Radio Carga [a]: 11.99 cm Ancho Eje [D]: 182.88 cm Aashto (Cálculo W82) Exponente: 4
 Separación Llantas [s]: 30.48 cm Separación Ejes [t]: 127 cm Carga Referencia (kN): 146

Factores
 Esfuerzo Equivalente: 1.6155 Factor Esfuerzo: 0.3846 Factor Erosión: 3.0164

Espectro de Cargas
 Guardar Abrir
 Imprimir
 Salir

BS-PCAA. Diseño de Pavimentos Rígidos [F:\Nueva carpeta\DROPBOX\Dropbox\CITEC 2022\1. ESTUDIOS DE SUELOS\28. YOTOCO\V. DISEÑ...

Opciones Fórmulas Espectro Sensibilidad Terminar

Descripción: CON CÓDIGO BPIN 20220214000023. TRAMO 2, UNIDAD HOMOGENEA N°1. PR 0+000 AL PR 0+834.

TRÁNSITO **Parámetros de Diseño PCA** **Parámetros de Diseño AASHTO**

Unidad Cargas: Tn Factor de Seguridad Carga: 1
 Factor Mayoración Repeticiones: 1

Ejes Simples Rueda Simple Ejes Simples Rueda Doble Ejes Tandem Rueda Simple Ejes Tandem Rueda Doble Ejes Tridem

#	Carga Eje	Repeticiones Esperadas
1	24	208
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
**		

Geometría Eje
 Radio Carga [a]: 11.99 cm Ancho Eje [D]: 182.88 cm Aashto (Cálculo W82) Exponente: 4
 Separación Llantas [s]: 30.48 cm Separación Ejes [t]: 127 cm Carga Referencia (kN): 225

Factores
 Esfuerzo Equivalente: 1.2157 Factor Esfuerzo: 0.2895 Factor Erosión: 3.1196

Espectro de Cargas
 Guardar Abrir
 Imprimir
 Salir

Iniciativa presentada por:
 AGROCOLSA S.A. SOCIEDAD CIVIL, NIT 805.021.816-3
 AGRÍCOLA COLOMBIANA S.A., NIT 890.315.430-6
 PRODUCTORA NACIONAL AVÍCOLA S.A., NIT 890.321.213-9
 ALIANZA FIDUCIARIA, NIT 860.531.315-3

MEJORAMIENTO DE LA VÍA
 YOTOCO –BUENOS AIRES –EL DORADO EN EL SECTOR
 CRUCERO BUENOS IRES –CASCO URBANO DE YOTOCO Y DE
 UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS –CORDOBITAS EN YOTOCO
 VALLE DEL CAUCA

BS-PCAA. Diseño de Pavimentos Rígidos [F:\Nueva carpeta\DROPBOX\Dropbox\CITEC 2022\1. ESTUDIOS DE SUELOS\28. YOTOCO\V. DISEÑ...

Opciones Fórmulas Espectro Sensibilidad Terminar

Descripción: :ON CÓDIGO BPIN 20220214000023. TRAMO 2, UNIDAD HOMOGENEA N°1. PR 0+000 AL PR 0+834.

TRÁNSITO **Parámetros de Diseño PCA** **Parámetros de Diseño AASHTO**

Resistencia K del Apoyo: Mpa/m

Esesor Losa [h1]: cm

Longitud Losa [L]: m

Ancho Losa [W]: cm

Módulo de Elasticidad [E1]: Mpa

Densidad [s1]: Tn/m3

Relación de Poisson [u1]:

Módulo de Rotura [Sc]: Mpa

Coefficiente de Variación [CV] (%):

Ancho de Berma [D0]: m

Factor de Trabazón de Agregados [AGG]: Mpa Con Pasadores

% Camiones al Borde:

Capas:

Datos Ambientales

Diferencial Temperaturas [dT]: oF

Coefficiente Térmico [alfa]: 1/oF

% Tránsito para Alabeo:

Consumo Erosión (%): **5.7992**

Consumo Esfuerzo (%): **53.2829**

Espectro de Cargas

Guardar Abrir

Imprimir

Salir

BS-PCAA. Diseño de Pavimentos Rígidos [F:\Nueva carpeta\DROPBOX\Dropbox\CITEC 2022\1. ESTUDIOS DE SUELOS\28. YOTOCO\V. DISEÑ...

Opciones Fórmulas Espectro Sensibilidad Terminar

Descripción: :ON CÓDIGO BPIN 20220214000023. TRAMO 2, UNIDAD HOMOGENEA N°1. PR 0+000 AL PR 0+834.

TRÁNSITO **Parámetros de Diseño PCA** **Parámetros de Diseño AASHTO**

Número Ejes Equivalentes de 8.2Tn Carril de Diseño [W82]: Ecuación AASHTO ESALF

Esesor del Pavimento para Cálculo de W82 [D]: cm

Resistencia K del Apoyo [k]: Mpa/m

Módulo de Elasticidad Concreto [Ec]: Mpa

Módulo de Rotura [Mr]: Mpa

% Confiabilidad: Zr:

Error Estándar Tránsito [So] {0.30 - 0.40}:

Índice de Servicio Inicial [Po]:

Delta Índice de Servicio [dPSI]:

Coefficiente de Drenaje [Cd]:

Coefficiente Transmisión de Cargas Juntas [J]:

Esesor del Pavimento de Concreto [D] (cm): **18.1279**

Espectro de Cargas

Guardar Abrir

Imprimir

Salir

DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS - METODO : PCA-84
 UNIVERSIDAD DEL CAUCA
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
 Software : BS-PCAA

Proyecto: [TRAMO 2. UNIDAD 1] MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO -BUENOS AIRES -EL DORADO EN EL SECTOR
 CRUCERO BUENOS AIRES -CASCO UR-BANO DE YOTOCO Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -CORDOBITAS EN YOTOCO
 VALLE DEL CAUCA" CON CÓDIGO BPIN 20220214000023. TRAMO 2, UNIDAD HOMOGÉNEA N°1. PR 0+000 AL PR 0+834.

Datos :

Resistencia K del Apoyo : 46.81 Mpa/m
 Espesor Losa : 19 cm
 Espesor sub base granular : 15 cm
 Longitud Losa : 3.4 m
 Ancho Losa : 2.7 cm
 Modulo de Elasticidad : 28000 Mpa
 Densidad : 2.4 Tn/m³
 Relacion de Poisson : 0.15
 Modulo de Rotura : 4.2 Mpa
 Coeficiente de Variacion : 15%
 Ancho de Berma : 0 m
 Factor de Trabazon de Agregados : 0 Mpa
 Camiones al Borde : 0%
 Pasadores : SI
 Diferencial de Temperaturas : 10 oF
 Coeficiente Termico : 5.50E-06 1/oF
 Trafico para Alabeo : 0%
 Factor de Seguridad Cargas : 1
 Factor de Mayoración Repeticiones : 1

Resultados :

Carga Tn	Carga FS Tn	Repeticiones Esperadas	Esfuerzo Equival. psi	Repeticiones Admisib_Fatiga	Consumo Fatiga %	Repeticiones Admisi_Erosion	Consumo Erosion %
----------	-------------	------------------------	-----------------------	-----------------------------	------------------	-----------------------------	-------------------

EJES SIMPLES RUEDA SIMPLE

Esfuerzo Equivalente: 1.9 Factor Esfuerzo: 0.4505 Factor Erosion: 2.8932

3.00	3.00	1,092,117	106.8	Inf	0.00	Inf	0.00
3.50	3.50	399,368	123.4	Inf	0.00	Inf	0.00
6.00	6.00	35,586	204.9	Inf	0.00	824,351,039	0.00

EJES SIMPLES RUEDA DOBLE

Esfuerzo Equivalente: 1.9 Factor Esfuerzo: 0.4505 Factor Erosion: 2.8932

6.00	6.00	1,092,117	204.9	Inf	0.00	824,351,039	0.13
8.20	8.20	399,368	274.8	54,623,925	0.73	14,814,630	2.70
11.00	11.00	17,897	362.2	36,463	49.08	2,039,900	0.88

EJES TANDEM RUEDA DOBLE

Esfuerzo Equivalente: 1.6 Factor Esfuerzo: 0.3846 Factor Erosion: 3.0164

22.00	22.00	17,897	310.0	515,858	3.47	859,427	2.08
-------	-------	--------	-------	---------	------	---------	------

EJES TRIDEM

Esfuerzo Equivalente: 1.2 Factor Esfuerzo: 0.2895 Factor Erosion: 3.1196

24.00	24.00	208	175.5	Inf	0.00	3,021,052	0.01
-------	-------	-----	-------	-----	------	-----------	------

Total : 53.28 PCA-84: 5.80

▲DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS - METODO AASHTO
 UNIVERSIDAD DEL CAUCA
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
 Software : BS-PCAA

Proyecto: [TRAMO 2. UNIDAD 1] MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO -BUENOS AIRES -EL DORADO EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES -CASCO UR-BANO DE YOTOCO Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -CORDOBITAS EN YOTOCO VALLE DEL CAUCA" CON CÓDIGO BPIN 20220214000023. TRAMO 2, UNIDAD HOMOGENEA N°1. PR 0+000 AL PR 0+834.

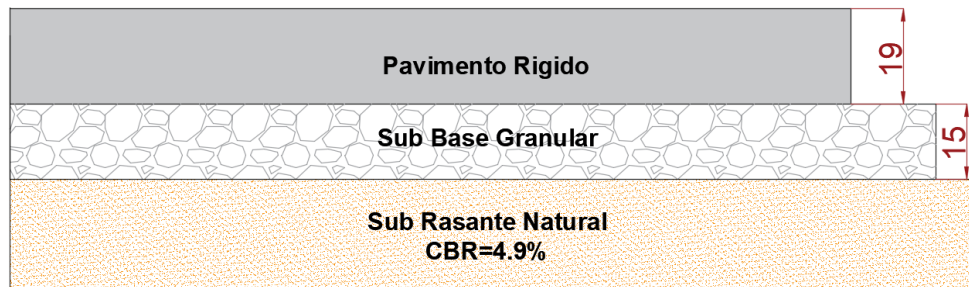
Datos :

Ejes Equivalentes 8.2 Tn Carril de Diseño [W82]: 961,304
 Resistencia K del Apoyo [k]: 46.81 Mpa/m
 Modulo de Elasticidad [Ec]: 28000 Mpa
 Modulo de Rotura [Mr] : 4.2 Mpa
 Confiabilidad : 90% Zr : -1.2816
 Error Estandar Transito [So]: 0.29
 Indice de Servicio Inicial [Po]: 3.5
 Delta Indice de Servicio [dPSI]: 1.8
 Coeficiente de Drenaje [Cd] : 0.9
 Coeficiente Transmision Cargas Juntas [J] : 3
 Espesor Losa [D] : 18.1279 cm

Tabla 26 Resultados de la modelación con MR-4.2 con para la unidad de diseño N°1 del tramo N°2- Fuente: Elaboración propia

MODELACIÓN DE LA UNIDAD DE DISEÑO N°	1
CBR DE DISEÑO	4.9%
SUB-BASE GRANULAR ESPESOR EN cm	15
MATERIAL DE MEJORAMIENTO EN cm	NO
GEOMALLA PAVCO ref. PBX 12	NO
GEOTEXTIL TEJIDO T2100	NO
MODULO DE ROTURA MR DEL CONCRETO EN Mpa	4.2
K DE LA SUBRASANTE EN MPa	39
K DE APOYO O DE CONJUNTO EN MPa	46.81
TRANSITO TIPO	TOTAL
DISTRIBUCIÓN DIRECCIONAL DEL TRANSITO	1.0
ESPESOR DE LOSA EN cm	19
BERMAS	Berma- cuneta
PASADORES	SI
FACTOR DE SEGURIDAD DE CARGA	1
CONSUMO DE FATIGA EN %	53.2
CONSUMO DE EROSIÓN EN %	5.7
APROBACIÓN	SI

Ilustración 9 Dimensionamiento de la estructura de pavimento rigido para la undiad de diseño N°1 del tramo N°2 (Dimensiones en cm)- Fuente El Autor



8.3.1 CHEQUEO DE LA ESTRUCTURA

8.3.1.1 DIMENSIONES

Siguiendo la recomendación:

$$\frac{L_{max}}{H} = (20 - 24) \text{ Depende de la rigidez de la sub rasante}$$

Tabla 27 Dimensiones máximas de la losa para la unidad de diseño N°1 del tramo N°2- Fuente: El Autor

SECCIÓN TRANSVERSAL	H(cm)	B(m)	L(m)
5.4	19	2.7	3.4

8.3.1.2 ESFUERZOS POR CAMBIO UNIFORME DE TEMPERATURA

Teniendo en cuenta que:

Espesor de la losa: 19 cm

Módulo de elasticidad del concreto: 281200 Kg/cm²

Módulo de reacción combinado de apoyo de la losa: 46.81 Mpa/m

Gradiente de temperatura durante el día: 0.5 c°/cm

Relación de poisson: 0.15

Coefficiente de dilatación térmica del concreto: 11.8*10⁻⁶/ oc

Diferencia de temperatura (ΔT):10 oc

Radio de carga: 13.06 cm

Carga por llanta eje simple: 3 Ton

- Radio de rigidez relativa:

$$I = \left(\frac{E * H^3}{12 * (1 - \mu^2) * K} \right)^{1/4}$$

$\rho = 43.29 \text{ cm}$

- Coeficientes de Bradbury:

$$\frac{Lx}{I} = 9.30$$

$$\frac{Ly}{I} = 7.27$$

$$Cx = 1.2$$

$$Cy = 0.84$$

- Esfuerzos de borde externo σ_{bx} e interior σ_{bi} :

$$\sigma_{bx} = \frac{(E * \alpha * \Delta T)}{2} * Cx$$

Tabla 28 Esfuerzo de borde externo σ_{bx} para la unidad de diseño N°1 del tramo N°2- Fuente: El Autor

B	σ_{bx}
2.7	19.91

Teniendo en cuenta que la relación de esfuerzos para este caso de 0% es inferior al módulo de rotura, indica que no hay fatiga y la sección es adecuada desde el punto de vista de dimensionamiento

$$\sigma_{bi} = \frac{(E * \alpha * \Delta T)}{2} * \frac{Cx + \mu * Cy}{1 - \mu^2}$$

Tabla 29 Esfuerzo de borde interno σ_{bi} para la unidad de diseño N°1 del tramo N°2- Fuente: El Autor

B	σ_{bi}
2.7	22.51

8.3.1.3 ESFUERZOS POR ACCIÓN DE LAS CARGAS

- Esfuerzo de borde:

$$\sigma_{bc} = \frac{0.803P}{h^2} \left[4 \text{Log} \left(\frac{I}{a} \right) + 0.666 \left(\frac{a}{I} \right) - 0.034 \right]$$

$$\sigma_{bc} = 15.01 \frac{Kg}{cm^2}$$

- Esfuerzo esquina:

$$\sigma_c = \frac{3P}{h^2} * \left[1 - \left(\frac{C}{I} \right)^{0.72} \right]$$

$$C = 1.772 * a$$

$$\sigma_c = 9.05 \frac{Kg}{cm^2}$$

Los esfuerzos en la losa, con las dimensiones de corte recomendadas cumplen con los esfuerzos admisibles, por lo tanto se considera la modulación de las losas acertadas con una longitud de 3.40m, para ancho de calzada de 5.40 metros.

8.4 CONSIDERACIONES

8.4.1 DIMENSIONES SUPERFICIALES DE LAS LOSAS

Con el objetivo de controlar la fisuración del concreto por efecto de la temperatura y por el efecto de las cargas se efectuó en el procedimiento de diseño el chequeo correspondiente dando como resultado geometrías de las losas así: ancho de 2.7 m dependiendo de la sección (para un ancho de calzada de 5.4 m), teniendo en cuenta el ancho de calzada, se considera el efecto berma que minimiza la invasión de carril hacia los bordes. Esta división en losas de dimensiones adecuadas se realiza para mantener la capacidad estructural y la calidad del pavimento; teniendo en cuenta que la estimación de esta geometría también se deben tener en cuenta dos criterios fundamentales.

La longitud máxima de las losas depende no solo de la geometría actual de la vía sino también de las obras de drenaje presentes, según esto se implementa los diferentes tipos de juntas dentro del pavimento evitando la proyección de losas vecinas. En cuanto a las losas implicadas con sumideros y cámaras de inspección, serán estrictamente reforzadas.

8.4.2 MECANISMOS DE TRANSMISIÓN DE CARGA

Se ha considerado, como mecanismo trasmisor de las cargas, pasadores lisos. Estos son necesarios, para lograr una buena transmisión de las cargas, y así lograr que los esfuerzos en los bordes de las losas, que son los más perjudiciales en un pavimento de concreto, logren ser transmitidos de una losa a su adyacente en una forma equitativa, teniendo como resultado que los esfuerzos se desarrollen con magnitudes similares. Las losas, se mantendrán unidas longitudinalmente, con barras de acero corrugado de $\frac{1}{2}$ " , de longitud 60cm y separadas centro a centro 90cm.

8.4.3 TIPO DE JUNTAS RECOMENDADAS

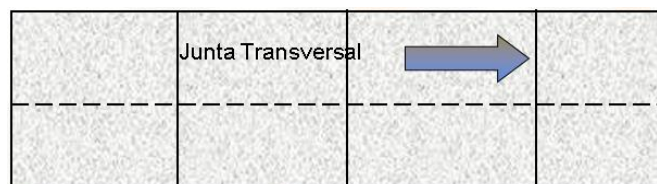
Las juntas son parte primordial del diseño de estructuras de concreto hidráulico, ya que actúan como planos de falla controlados generando además de un efecto estético agradable a la vista, condiciones funcionales adecuadas a lo largo de la vida útil de la estructura.

Para esta vía se propone la construcción de las siguientes juntas:

8.4.3.1 JUNTA TRANSVERSAL DE CONTRACCIÓN

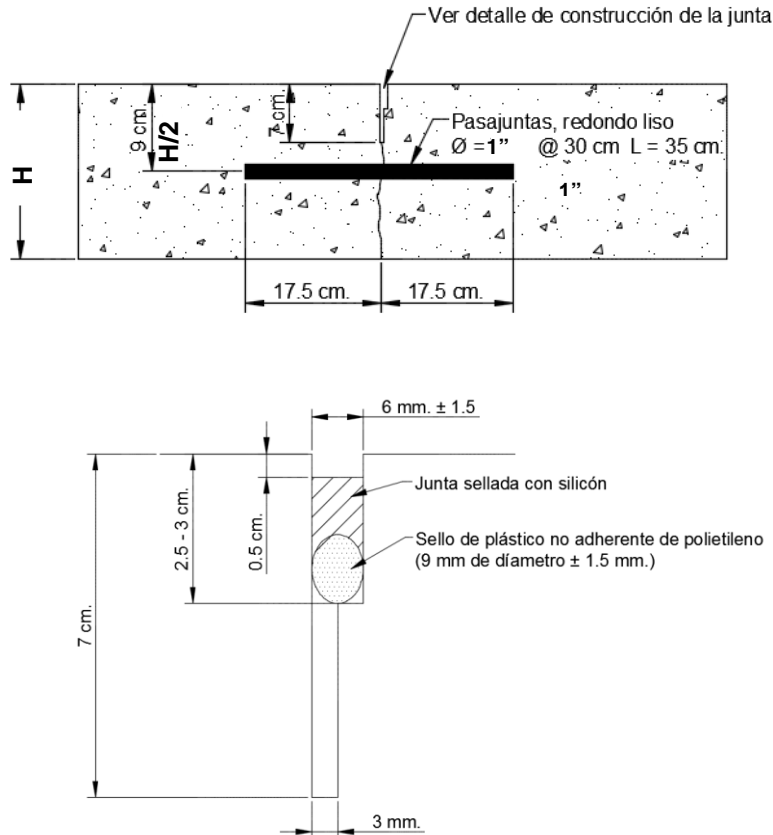
Las juntas transversales de contracción, son las encargadas de controlar las grietas transversales generadas por los esfuerzos de retracción durante el fraguado y los efectos producidos por alabeo de la losa. Considerando que la condición de carga se presenta en una dirección en el sentido del eje de la vía se recomienda el uso de barras de transferencia de carga en las juntas transversales. De acuerdo a las recomendaciones del ICPC, el diámetro de la barra, longitud y separación según las características de diseño son: Para un espesor de 19 cm, se recomienda como mínimo usar diámetros de pasador de 1" pulgada, con longitud de 35cm y separación entre barras de 30 cm centro a centro. En cuanto a las barras de amarre llevará como mínimo diámetro de 1/2 pulgada longitud de 60 cm y separación de 90 cm.

Ilustración 10 Corte y sellado de junta de contracción transversal con pasadores



Top][2D Wireframe]

D = Espesor de la losa de pavimento



8.4.3.2 JUNTA TRANSVERSAL DE CONSTRUCCIÓN

Las juntas transversales de construcción con pasa juntas (tipo C), son juntas que se realizan al finalizar los trabajos de colocación del concreto. Estas juntas deben coincidir con las juntas de contracción normalmente moduladas y alineada perpendicularmente al eje de la vía; estas juntas se construirán a tope, de acuerdo con lo indicado en el proyecto y se colocarán pasa juntas a todo lo ancho de la sección transversal.

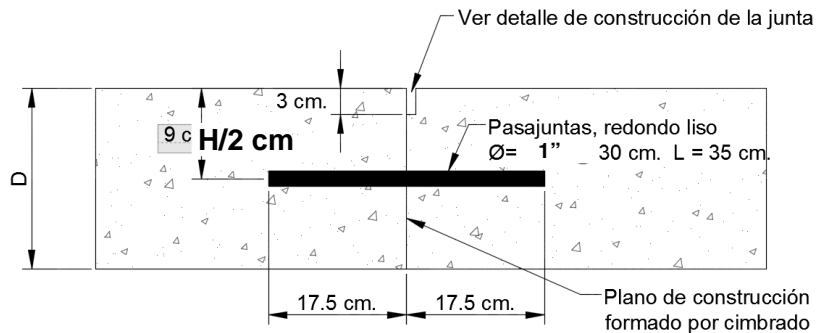
Cuando por causas de fuerza mayor sea suspendido el colado por más de 30 minutos, se procederá a construir una junta transversal de emergencia (Tipo D) con la que se suspenderá el colado hasta que sea posible reiniciarlo, a menos que según el criterio del interventor el concreto se encuentre todavía en condiciones de trabajabilidad adecuadas. La configuración de las juntas transversales de emergencia será exactamente igual que la de las juntas transversales de construcción programadas. (Tipo C).

En el caso de que se requiera reforzar dicha adherencia, se pueden utilizar aditivos epóxicos con el fin de garantizar la adherencia de concretos de diferentes edades. Estas juntas deben llevar barras de refuerzo corrugadas, ubicadas en el eje neutro.

El diámetro, la longitud y el espaciamiento se deben especificar con los mismos criterios de las juntas transversales.

Ilustración 11 Corte y sellado de junta transversal de construcción con pasa juntas tipo C

D = Espesor de la losa de pavimento

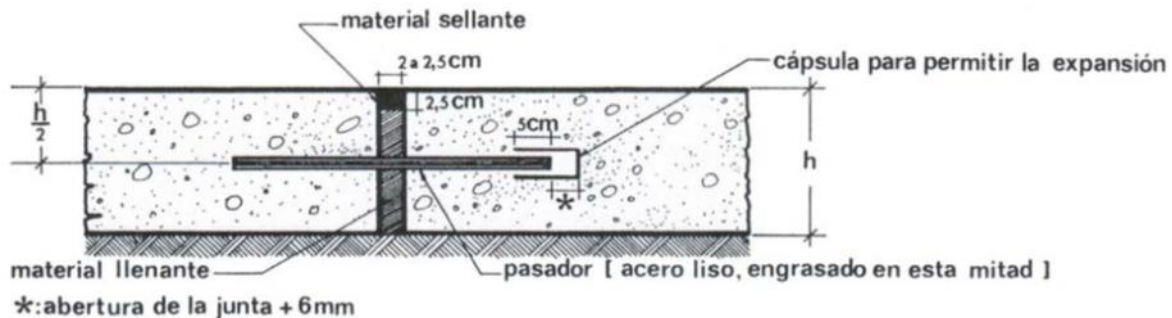


8.4.3.3 JUNTAS DE EXPANSIÓN

Son creadas para aislar una estructura fija, como son las cámaras de inspección, sumideros y otras estructuras que presenten diferente comportamiento al pavimento que se construye. Así mismo se deben utilizar donde se presenten cambios de dirección de la vía e intersecciones con otros pavimentos.

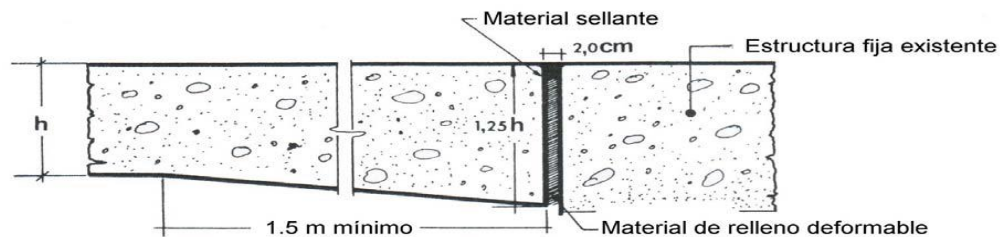
En los casos donde se presentan cambios de dirección de la vía, se presentará movimiento de las losas en dos direcciones, produciéndole esfuerzos, que deben ser controlados con la ayuda de juntas de expansión. Con el fin de incrementar la transferencia de carga y la eficiencia de la junta se deben usar pasadores de carga como indica la figura, ubicados en la mitad de la losa, además deben de ir engrasados para facilitar el movimiento.

Ilustración 12 Junta de expansión con dovela tipo 1



El otro tipo de junta de expansión es aquella que no tiene dispositivos de transferencia de cargas, el espesor de la losa se incrementa gradualmente en un 25 % en el último metro y medio, para reducir los esfuerzos en la junta como se muestra en la siguiente figura. En lo que respecta al sello, se siguen las mismas recomendaciones descritas para el primer tipo de junta de expansión. Generalmente este tipo de juntas se construye cuando se tiene una estructura fija rígida tal como un puente en el que no se ha previsto el colocado de barras pasa juntas con anterioridad.

Ilustración 13 Junta de expansión sin dovelas (tipo 2)

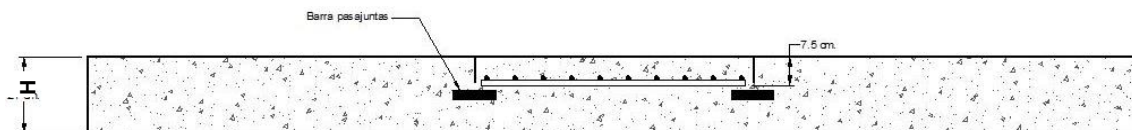


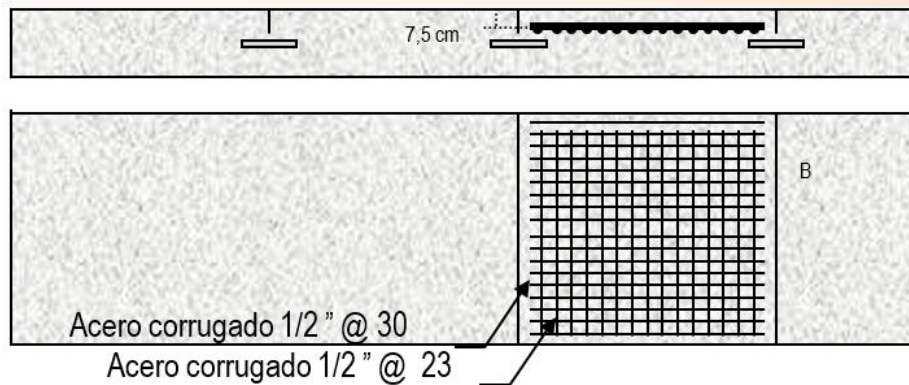
8.4.4 CASOS ESPECIALES DE CONSTRUCCIÓN

En muchas ocasiones, la modulación de las losas no se puede hacer con las dimensiones recomendadas o son de geometría compleja, caso típico en curvas, en intersecciones; en estos casos se hace conveniente reforzar la o las losas que se vean afectadas por este problema. Otra ocasión, se presenta cuando al paso de la vía por poblaciones, se encuentran cámaras de inspección de los alcantarillados o sumideros, dando como resultado losas con geometrías diferentes a las cuadradas.

Aquellas losas que sea necesario reforzar, se harán con barras de acero corrugado de $\frac{1}{2}$ " de diámetro, dispuestas con separación centro a centro de 23cm x 23cm o de 30cm distribuidos en el ancho de la losa y 23cm distribuidos en el largo de la losa a reforzar. La ubicación de la parrilla será a 7.50 cm con respecto a la superficie de la misma.

Ilustración 14 Disposición típica de acero de refuerzo en casos especiales





8.4.5 REFUERZOS DE LAS LOSAS

Según las Normas del INVIAS en su artículo 500-07, al lugar de los requerimientos para refuerzo de losas y en sus numerales 500.2.2.3 y 500.4.10, expresa lo siguiente:

Los documentos del proyecto pueden requerir la colocación de una o dos parrillas de refuerzo en todas o algunas de las losas del proyecto, bien sea como parte integral del diseño o como sistema para controlar la aparición o el ensanche de grietas. Como guía general, se requerirá la colocación de, al menos, una parrilla de refuerzo en las losas que tengan las siguientes características:

- Longitud de la losa (mayor dimensión en planta) superior a 24 veces el espesor de la misma.
- Losas con relación largo/ancho mayor que 1.4.
- Losas de forma irregular (diferente de la rectangular o cuadrada).
- Losas con aberturas en su interior para acomodar elementos tales como pozos de inspección o sumideros.
- Losas en las cuales no coinciden las juntas con las de las losas adyacentes.

El acero de refuerzo de las losas estará constituido por barras corrugadas con límite de fluencia (f_y) de 420 MPa (4200 kg/cm²). Todos los detalles del refuerzo, como cuantía, distribución, localización, etc., deberán quedar claramente definidos en los documentos técnicos del proyecto.

Es pertinente que quien esté al frente de la construcción, establezca criterios de modulación debido a que según el sentido de avance de la construcción y la elección del carril a pavimentar, se presentarán obstáculos como cámaras de inspección y sumideros al centro, izquierda o derecha de la vía, con la consecuencia de que sea necesario reforzar las losas que se comprometan con esta eventualidad.

8.4.6 SELLADO DE JUNTAS

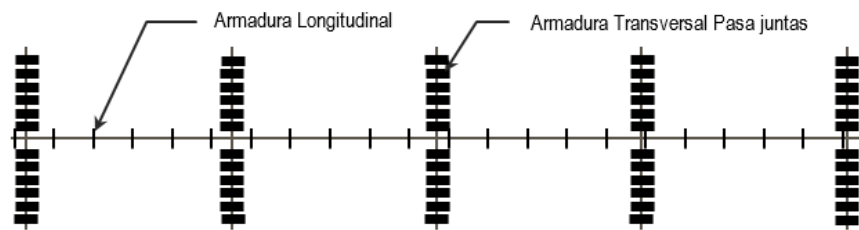
El sistema de sellado de juntas para pavimentos de Concreto debe garantizar la hermeticidad del espacio sellado, la adherencia del sello a las caras de la junta, la

resistencia a la fatiga por tracción y compresión, el arrastre por las llantas de los vehículos, la resistencia a la acción del agua, los solventes, los rayos ultravioletas, la acción de la gravedad y el calor, con materiales estables y elásticos.

8.4.7 ARMADURA DE REFUERZO

Se deben colocar el acero de refuerzo necesario para la construcción del pavimento de acuerdo al diseño del proyecto, el cual se utilizará como pasadores de cortante o pasa juntas o como barras de amarre.

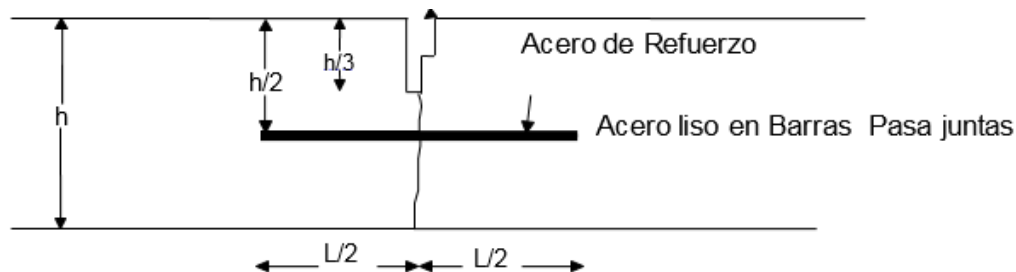
Ilustración 15 Localización en planta pasadores de carga



Las barras de amarre (Usadas en Juntas Longitudinales), las cuales se utilizan con el propósito de evitar el desplazamiento de las losas, deben ser de acero corrugado, y deben ubicarse en la mitad de la losa. En este caso serán barras corrugadas de $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro, longitud 60 cm y espaciadas cada 90 cm.

Las barras pasa juntas (Usadas en Juntas Transversales, de Construcción y en algunos casos de Expansión) se utilizan como mecanismos para garantizar la transferencia efectiva de carga entre las losas adyacentes. Las barras serán de acero liso, engrasado y deberán quedar ahogadas en las losas con las dimensiones y en la posición indicada, de acuerdo al proyecto.

Ilustración 16 Localización pasadores de carga



9 DISEÑO DE PAVIMENTO TIPO FLEXIBLE MÉTODO AASTHO

Como alternativa a la estructura de pavimento rígido sugerida para los tramos de vía, se propone una modelación estructural en pavimento asfáltico.

9.1 OBJETIVOS

9.1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar los espesores y calidades de las capas que se deben construir para soportar el tránsito de vehículos estimados para estos sectores.

9.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Modelar una estructura de pavimento flexible para las vías objeto de intervención que sea durable, económico, además de brindar comodidad.
- Determinar los espesores adecuados de las capas con el fin de no tener dificultades en el momento de su construcción y previniendo que en un futuro cercano no presente fallas.
- Generar conclusiones y recomendaciones constructivas.

9.2 ANÁLISIS DE TRANSITO

9.2.1 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES

En el numeral 7 se presenta el análisis realizado para la determinación del número de ejes equivalentes.

En este orden de ideas, se presenta a continuación la cuantificación del tránsito como 90% de flujo direccional sobre el carril de diseño, para la estructura en carpeta asfáltica tipo MDC19.

Mediante la siguiente ecuación, se calcula el número de ejes equivalentes de 8.2 T que circularán entre el año 2022 al 2031.

$$N = 365 \sum_{i=1}^n (TPDSi * Fdi)$$

Donde:

N: número de aplicaciones del eje de referencia en el carril de diseño.

TPDSi : tránsito promedio diario semanal de cada vehículo i en el carril de diseño y por sentido.

Fdi: factor de equivalencia de carga de cada vehículo “i”

Por su parte, el número de ejes equivalentes acumulados durante el periodo de diseño (20 años) se calcula con la siguiente expresión:

$$Na = N * \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

Donde:

Na: número acumulado de aplicaciones del eje de referencia durante el periodo de diseño

N: número de aplicaciones del eje de referencia en el carril de diseño en el año base

r: tasa de crecimiento anual del tránsito

n: número de años considerados como periodo de diseño

Finalmente, para el nivel de confianza adoptado (85%), el número acumulado de repeticiones del eje de referencia Na', será:

$$Na' = Na * 10^{0.05Zr}$$

Siendo Zr=-1.282 para una confiabilidad del 90%.

Ahora, teniendo en cuenta el número total de vehículos por cada categoría y su distribución de cargas por eje, se deduce el siguiente espectro de cargas para el diseño del pavimento flexible. Según el estudio de tránsito se ha estimado en 5.00×10^5 ejes equivalentes de 8.2 Tn.

9.3 DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

Se define en este capítulo, el dimensionamiento de la estructura del pavimento, en la modalidad de pavimento flexible en concreto asfáltico, usando carpeta asfáltica tipo MDC19 como alternativa para algunas vías que se han modelado en pavimento rígido, y otros tramos con modelación de pavimento flexible como única estructura.

Para efectos de diseño nos valemos del método de diseño AASTHO, para el cual se obtienen los espesores de cada capa componente de la estructura del pavimento y luego se hará un chequeo de esfuerzos y deformaciones para verificar el cálculo de dichos espesores. En caso de que no se cumpla con los valores admisibles se realizará el proceso de tanteo para determinar el dimensionamiento de la estructura requerida.

Para determinar el número estructural denominado en el contexto como “SN” que pueda soportar el nivel de carga solicitado, el método proporciona la siguiente ecuación:

$$\log N = Z_r * S_o + 9,36 \log(SN + 1) - 0,20 + \left[\frac{\log \left[\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} \right] + 2,32 \log MR - 8,07$$

donde:

N = tránsito en ejes equivalentes a 8,2Ton

Zr = desviación estandar normal

So = error normal

ΔPSI = dif entre el índice de serviciabilidad inicial y final

MR = modulo resiliente de la sub – rasante en $\frac{\text{Lb}}{\text{pulg}^2}$

SN = numero estructural indicativo del espesor total del pavimento

9.3.1 TRÁNSITO

Para el cálculo del tránsito, el método actual contempla los ejes equivalentes sencillos de 18000Lb o 8,2 tn, calculado dependiendo del porcentaje de distribución direccional (FD) y factor de distribución por carril (FC).

$$N^{\circ} \text{ de repeticiones de ejes de } 8.2 \text{ Ton} = 7.34 * 10^5$$

9.3.2 SERVICIABILIDAD

Serviciabilidad inicial: (Po) Po = 4.0

Serviciabilidad final: (Pt) Pt = 1.5

Tabla 30 Coeficiente de serviciabilidad para diferentes vías- Fuente: El Autor

TIPO DE VÍA	AASHTO
Autopista	2.5 – 3.0
Carretera	2.0 – 2.5

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

$$\Delta PSI = 2.5$$

9.3.3 CONFIABILIDAD

El método trata de lograr un cierto grado de confianza en el cálculo entregado, es decir el espesor total de la estructura, y asegurar que las diversas alternativas de selección estructural que se obtengan, duraran como mínimo el periodo de diseño. En el algoritmo de cálculo este parámetro se liga con la desviación estándar Zr y el error normal So asignado por efectos o errores en el cálculo del tránsito. El factor de confiabilidad del diseño tiene en cuenta las variaciones al azar, tanto en la predicción del tránsito como en la predicción del comportamiento y por lo tanto proporcionan un nivel de confianza (R) para que los tramos de pavimento sobrevivan al periodo por

el cual fueron diseñados. Con el nivel de confiabilidad que se le dé al diseño, se obtienen valores de variación en la predicción del comportamiento del pavimento S_o y los valores de desviación estándar Z_r .

R= 90% Confiabilidad

$Z_r = 1.282$ Desviación normal estándar

$S_o = 0.49$ Variaciones en la predicción del comportamiento del pavimento, (sin errores en la estimación del tránsito).

9.3.4 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

- **Resistencia de la subrasante:**

$CBR_{Diseño}$ = Dato obtenido en pruebas de CBR sumergido del sitio.

$$MR_{STE} = 2555 * (CBR)^{0.61}, PSI$$

- **Modulo elástico y coeficiente estructural:**

Modulo elástico = 34614 PSI, $a_1 = 0.32$

Coeficiente a_2 :

$$a_2 = 0.249 * (\log_{10} Base) - 0.977$$

$a_2 = 0.13$ (Sin embargo, el valor máximo para granulares comunes según los ábacos es de 0.13, valor con el cual se trabajará) y $M_r = 14617$ PSI

Coeficiente a_3 :

$$a_3 = 0.227 * (\log_{10} Subbase) - 0.839$$

$a_3 = 0.11$ y $M_r = 7699$ Psi

9.3.5 CONDICIONES DE DRENAJE

El parámetro de diseño (m_i) está asociado a las características del material drenante que depende de la calidad de drenaje y el % de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanas a la saturación.

Tabla 31 Calidad de drenaje- Fuente: El Autor

TIEMPO DE EVACUACIÓN	CALIDAD DE DRENAJE
2 Horas	Excelente

TIEMPO DE EVACUACIÓN	CALIDAD DE DRENAJE
1 Día	Bueno
1 Semana	Aceptable
1 Mes	Pobre
No Drena	Muy pobre

Tabla 32 Calidad y coeficiente de drenaje- Fuente: El Autor

CALIDAD DEL DRENAJE	% DE TIEMPO EN QUE LA ESTRUCTURA ESTÁ EXPUESTA A NIVELES DE HUMEDAD CERCANOS A LA SATURACIÓN			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1.4 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 0.20	1.2
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1
Aceptable	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.8
Pobre	1.15 - 1.05	1.08 - 0.80	0.80 - 0.60	0.6
Muy Pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.4

Tabla 33 Coeficientes adoptados para diseño- Fuente: El Autor

CAPA	M
Base granular	m2= 1
Sub-base	m3= 1

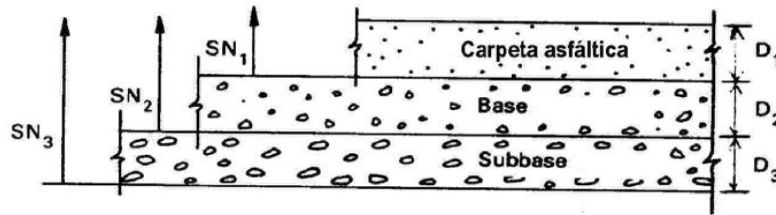
9.3.6 DETERMINACIÓN DE ESPESORES

A continuación, se presenta la tabla de espesores mínimos recomendados por la AASTHO. La estructura definitiva debe tener espesor de capas superiores o iguales a estas, dependiendo del tránsito. En este proyecto se tiene un tránsito equivalente de 5.00×10^5 .

Tabla 34 Espesores mínimos recomendados- Fuente: El Autor

N*10 ⁶	ESPESORES MÍNIMOS(PULG)	
	CONCRETO ASFÁLTICO. (PULG)	BASE GRANULAR (PULG)
<0.05	1 o TSD	4
0.05-0.15	2	4
0.15-0.5	2.5	4
0.5-2.0	3	6
2.0-7.0	3.5	6
>7.0	4	6

Para cada una de las estructuras considerando espesores mínimos de carpeta contemplados en la Ilustración 17. De igual manera se ajusta el dimensionamiento de la estructura con espesores requeridos de acuerdo a cada determinación del SN encontrado para cada capa donde debe cumplirse lo siguiente.



$$D^*_1 \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

$$SN^*_1 = a_1 D^*_1 \geq SN_1$$

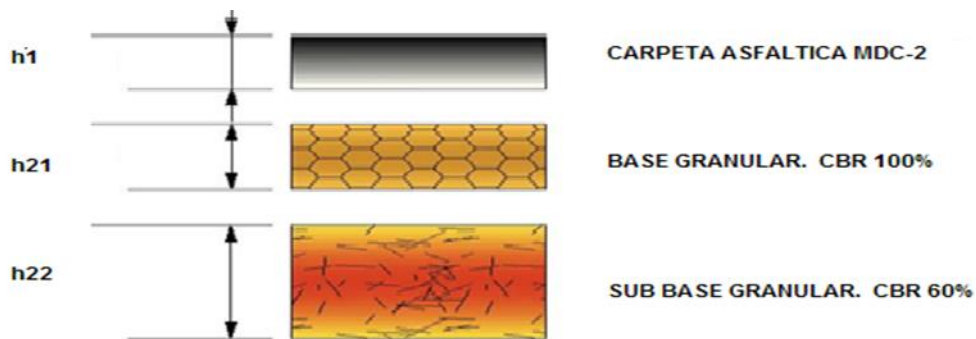
$$D^*_2 \geq \frac{SN_2 - SN^*_1}{a_2 m_2}$$

$$SN^*_1 + SN^*_2 \geq SN_2$$

$$D^*_3 \geq \frac{SN_3 - (SN^*_1 + SN^*_2)}{a_3 m_3}$$

Con este chequeo y las demás consideraciones del diseño, se estimó los espesores de cada una de las estructuras de cada tramo, según el siguiente modelo:

Ilustración 17 Modelo de estructura de pavimento flexible



9.3.7 CALCULO DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES

El cálculo de estos parámetros se realizó con el programa DEPAV, con el fin de verificar el comportamiento de la estructura propuesta por el método de la AASTHO.

Los siguientes son los datos de entrada para el diseño Racional:

- Radios de carga: 13.06 cm (Ejes simple)
- Presión de contacto: 5.6 Kg/cm²

- Distancia entre llantas: 39.18cm
- Transito esperado en término de ejes equivalentes $5.00 \cdot 10^5$ ejes equivalentes de 8.2tn.

Espesores de capas

- Modulo elástico de cada capa
- Relación de poisson de cada capa

Se consideran ligadas las interfaces entre capas, y análisis linealmente elástico.

Vehículo de diseño: transitarán vehículos de tipo autobuses, buses y camiones desde el C2P hasta mayores al C5.

Para el cálculo de los módulos de las capas granulares constituyentes de la estructura se hará con el criterio de Barcker para lo cual:

$$E_{capasup} = E_{capainf} * (1 + 7.18 \log(e_{capa})) - 1.56 * \log(E_{capainf}) * \log(e_{capa})$$

Dónde:

$E_{capasup}$ = modulo de la capa a calcular, sub base o base.

$E_{capainf}$ = modulo de la capa inferior, subrasante o sub base según el caso.

e_{capa} = espesor de la capa en consideración, sub base o base.

9.3.8 PARÁMETROS ADMISIBLES DE DISEÑO

9.3.8.1 ANÁLISIS EN LA CARPETA ASFÁLTICA, (CONTROL DE FATIGA O AGRIETAMIENTO)

- Según criterio SHELL

Deformación unitaria de tracción en la base de la carpeta

$$\epsilon_t = (0.856 * Vb + 1,08) * E^{-0.36} * (N/K)^{-0.2}$$

Teniendo en cuenta que:

N (No de repeticiones de ejes de 8.2 ton) = $5.00 \cdot 10^5$

E (Capa de cemento asfaltico) = $25000 \text{ Kg/cm}^2 = 2.5 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$

Vb (Volumen de asfalto) = 10.8%

K (Factor de calage): 10

$$\epsilon_t = 4.49 * 10^{-4}$$

9.3.8.2 ANÁLISIS EN LA SUBRASANTE, (CONTROL DE AHUELLAMIENTO)

- Según criterio SHELL:

Deformación vertical de compresión sobre la superficie de la subrasante:

$$\epsilon_z = 1.95 * 10^{-2} * N^{-0.25} \rightarrow NC = 90\%$$

Conociendo que:

N (No de repeticiones de ejes de 8.2 ton) = $5.00 \cdot 10^5$

$$\epsilon_z = 6.69 * 10^{-4}$$

- Según criterio de Dormon y Kerhoven:

Esfuerzo vertical de compresión:

$$epsv = \frac{0.007 * E3}{1 + 0.7 * \text{Log } N}$$

Dónde:

E3 (Modulo de la sub rasante)

N (No de repeticiones de ejes de 8.2 ton) = 5.00*10⁵

$$\sigma_z = 3.51 * 10^{-1} \text{ Kg/cm}^2$$

Los esfuerzos calculados con el programa DEPAV, se resumen como en la siguiente tabla:

Tabla 35 Esfuerzos calculados con programa Depav.- Fuente: El Autor

CALCULADOS DEPAV	
Et=	2.75E-04
Ez=	5.05E-04
epsv=	3.44E-01

9.4 RESULTADOS DEL DISEÑO EN PAVIMENTO FLEXIBLE

9.4.1 UNIDAD DE DISEÑO N°1 DEL TRAMO N°1 (K2+570 AL 5+400)

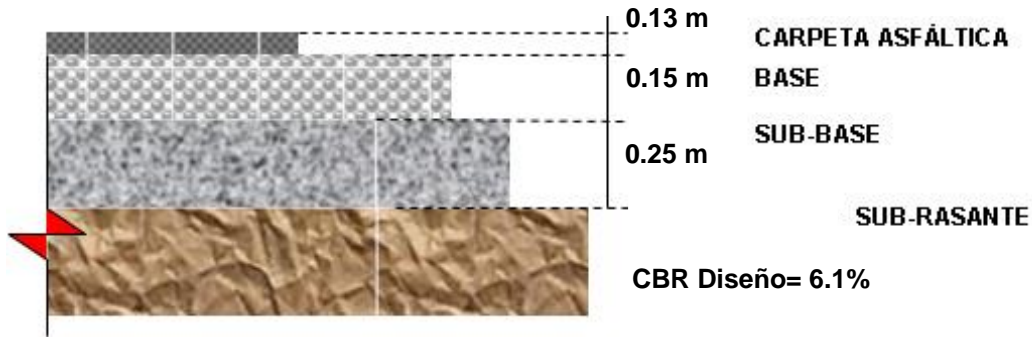
CONDICION PARA LA NUEVA ESTRUCTURA	TRAMO N°1. UNIDAD N°1 MEJORAMIENTO DE LA VIA YOTOCO -BUENOS AIRES -EL DORADO EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES -CASCO URBANO DE YOTOCO Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -CORDOBITAS EN YOTOCO VALLE DEL CAUCA" CON CÓDIGO BPIN 20220214000023.		
PROYECTO:	MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO -BUENOS AIRES -EL DORADO EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES -CASCO URBANO DE YOTOCO Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -CORDOBITAS EN YOTOCO VALLE DEL CAUCA" CON CÓDIGO BPIN 20220214000023.	FECHA: 8/09/2022	
TRAMO DISEÑADO:	UNIDAD HOMOGENEA N°1, TRAMO N°1		
SECTOR:	PR 2+530 AL PR 5+400,		
CONSTRUCTOR:			
INTERVENTORIA:			
SOLICITÓ:	AÑO INICIO 2023- AÑO FINAL 2033 (10 AÑOS)		
PERIODO DE DISEÑO:			
DISEÑO DE PAVIMENTO MÉTODO AASHTO			
R	85%	COEFICIENTES DE CAPA	
Z _R	-1.037	CONCRETO ASFÁLTICO	0.32
So	0.42	BASE GRANULAR	0.13
Po	3.5	SUBBASE GRANULAR	0.11
Pf	1.8	CAPA DE AFIRMADO	0
SN	2.91		
Módulo de la subrasante (psi)	7699		
N requerido	5.00E+05	CONCRETO ASFÁLTICO	1.00
N admisible	5.04E+05	BASE GRANULAR	1.00
		SUBBASE GRANULAR	1.00
		CAPA DE AFIRMADO	0.00
CONDICION ACTUAL DEL PAVIMENTO			
CAPA	ESPESOR (cm)	ESPESOR TOTAL (cm)	
CONCRETO ASFÁLTICO	13.0	53	
BASE GRANULAR	15.0		
SUBBASE GRANULAR	25.0		
CAPA DE AFIRMADO	0.0		
SN	3.46		
			CBR dis 6.1%
INGENIERO HUGO DAZA DELGADO.			

CONDICION PARA LA NUEVA ESTRUCTURA	TRAMO N°1. UNIDAD N°1 MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO -BUENOS AIRES -EL DORADO EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES -CASCO URBANO DE YOTOCO Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -CORDOBITAS EN YOTOCO VALLE DEL CAUCA" CON CÓDIGO BPIN 20220214000023.																												
FECHA: 8/09/2022																													
PROYECTO: TRAMO DISEÑADO: SECTOR: CONSTRUCTOR: INTERVENTORIA: SOLICITÓ: PERIODO DE DISEÑO:	MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO -BUENOS AIRES -EL DORADO EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES -CASCO URBANO DE YOTOCO Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -CORDOBITAS EN YOTOCO VALLE DEL CAUCA" CON CÓDIGO BPIN 20220214000023. UNIDAD HOMOGENEA N°1, TRAMO N°1 PR 2+530 AL PR 5+400, 0 0 0 AÑO INICIO 2023- AÑO FINAL 2033 (10 AÑOS)																												
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 5%; text-align: right;">E1:</td> <td style="width: 25%; background-color: #d9ead3; border: 1px solid black; text-align: center;">26000</td> <td style="width: 5%; text-align: right;">u1:</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">0.35</td> <td style="width: 5%; text-align: right;">h1=</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">13 cm</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">5.12 pl</td> </tr> <tr> <td>E21:</td> <td style="background-color: #f4cccc; border: 1px solid black;"></td> <td>u21:</td> <td style="text-align: center;">0.4</td> <td>h21=</td> <td style="text-align: center;">15 cm</td> <td style="text-align: center;">5.91 pl</td> </tr> <tr> <td>E22:</td> <td style="background-color: #cfe2f3; border: 1px solid black;"></td> <td>u22:</td> <td style="text-align: center;">0.4</td> <td>h22=</td> <td style="text-align: center;">25 cm</td> <td style="text-align: center;">9.84 pl</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">SUB RASANTE</td> <td>CBR=</td> <td style="text-align: center;">6.1</td> <td>E3:</td> <td style="text-align: center;">7699 PSI</td> <td style="text-align: center;">542.1928 kg/cm2</td> </tr> </table>		E1:	26000	u1:	0.35	h1=	13 cm	5.12 pl	E21:		u21:	0.4	h21=	15 cm	5.91 pl	E22:		u22:	0.4	h22=	25 cm	9.84 pl	SUB RASANTE		CBR=	6.1	E3:	7699 PSI	542.1928 kg/cm2
E1:	26000	u1:	0.35	h1=	13 cm	5.12 pl																							
E21:		u21:	0.4	h21=	15 cm	5.91 pl																							
E22:		u22:	0.4	h22=	25 cm	9.84 pl																							
SUB RASANTE		CBR=	6.1	E3:	7699 PSI	542.1928 kg/cm2																							
CBR SUB RASANTE: 6.10% <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">E3= 7699</td> <td style="width: 15%;">PSI</td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> </tr> <tr> <td>E22= 14617</td> <td>PSI</td> <td></td> <td style="text-align: right;">1029.4 km/cm2</td> </tr> <tr> <td>E21= 34614</td> <td>psi</td> <td></td> <td style="text-align: right;">2438 km/cm2</td> </tr> </table> <p style="margin-left: 40px;">K: 10 Factor de Calage</p> N: 5.00E+05 transito N8.2 Vb% = 10.8 E1= 2548000000 N/m2		E3= 7699	PSI			E22= 14617	PSI		1029.4 km/cm2	E21= 34614	psi		2438 km/cm2																
E3= 7699	PSI																												
E22= 14617	PSI		1029.4 km/cm2																										
E21= 34614	psi		2438 km/cm2																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;">ADMISIBLES</th> <th style="width: 33%;">CALCULADOS</th> <th style="width: 33%;">CALIFICA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Et= 4.84E-04</td> <td style="text-align: center;">Et= 2.98E-04</td> <td rowspan="3" style="text-align: center; vertical-align: middle;">O.K.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Ez= 7.33E-04</td> <td style="text-align: center;">Ez= 6.20E-04</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">epsv= 5.54E-01</td> <td style="text-align: center;">epsv= 3.33E-01</td> </tr> </tbody> </table>		ADMISIBLES	CALCULADOS	CALIFICA	Et= 4.84E-04	Et= 2.98E-04	O.K.	Ez= 7.33E-04	Ez= 6.20E-04	epsv= 5.54E-01	epsv= 3.33E-01																		
ADMISIBLES	CALCULADOS	CALIFICA																											
Et= 4.84E-04	Et= 2.98E-04	O.K.																											
Ez= 7.33E-04	Ez= 6.20E-04																												
epsv= 5.54E-01	epsv= 3.33E-01																												
INGENIERO HUGO DAZA DELGADO.																													

CONDICION DE LA ESTRUCTURA	TRAMO N°1. UNIDAD N°1 MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO -BUENOS AIRES -EL DORADO EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES -CASCO URBANO DE YOTOCO Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -CORDOBITAS EN YOTOCO VALLE DEL CAUCA" CON CÓDIGO BPIN 20220214000023.
	FECHA: 8/09/2022
PROYECTO:	MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO -BUENOS AIRES -EL DORADO EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES -CASCO URBANO DE YOTOCO Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -CORDOBITAS EN YOTOCO VALLE DEL CAUCA" CON CÓDIGO BPIN
TRAMO DISEÑADO:	UNIDAD HOMOGENEA N°1, TRAMO N°1
SECTOR:	PR 2+530 AL PR 5+400,
ABSCISA:	
CONSTRUCTOR:	0
INTERVENTORIA:	0
SOLICITÓ:	0
PERIODO DE DISEÑO:	AÑO INICIO 2023- AÑO FINAL 2033 (10 AÑOS)
CONDICION ACTUAL DEL PAVIMENTO	
Cálculo de SN1	
$M_{r_{base}}$	34614 PSI
Econcreto asfáltico	
$S_{N1} =$	1.61 $a_1 = 0.32$
D1=	5.11 > 2.5" min adopta 13 cm
$s_{N1} =$	1.61 > 1.61 SI
espesor carpeta	13 cm
Cálculo de SN2	
$M_{r_{sub-base}}$	14617 PSI
$S_{N2} =$	2.27 $a_2 = 0.13$
D2=	5.06 > 4" min adopta 15 cm
$s_{N2} =$	2.38 > 2.27 SI
Cálculo de SN3	
	7699 PSI
$S_{N3} =$	2.91 $a_3 = 0.11$
D3=	4.82 > 4" min adopta 25 cm
INGENIERO HUGO DAZA DELGADO.	

- Para la unidad homogénea N°1 del tramo N°1 (K2+570 al K5+400), con el dimensionamiento de la estructura se realizó una modelación por el sistema AASHTO considerando una carpeta de 13 cm, base granular de 15cm y una sub base granular de 25 cm, sub base.

Ilustración 18 Dimensionamiento de la estructura en pavimento flexible para la unidad de diseño N°1 del tramo N°1



9.4.2 UNIDAD DE DISEÑO N°2 DEL TRAMO N°1 (K5+400 AL K00+300)

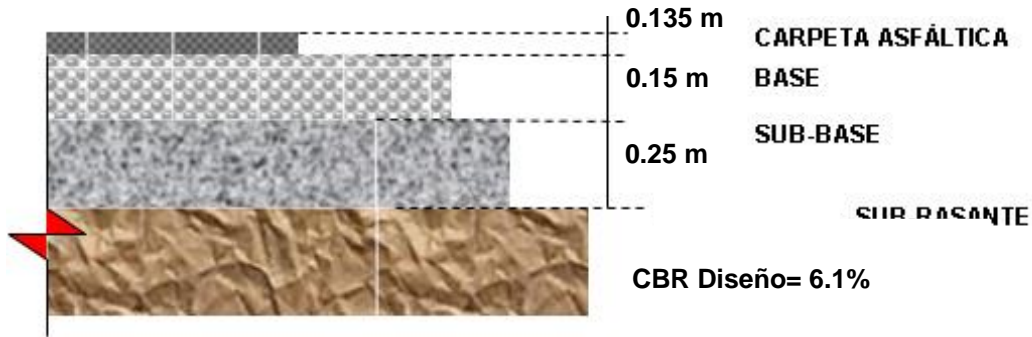
CONDICION PARA LA NUEVA ESTRUCTURA	TRAMO N°1. UNIDAD N°2 MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO -BUENOS AIRES -EL DORADO EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES -CASCO URBANO DE YOTOCO Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -CORDOBITAS EN YOTOCO VALLE DEL CAUCA" CON CÓDIGO BPIN	
		FECHA: 21/07/2022
PROYECTO:	MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO -BUENOS AIRES -EL DORADO EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES -CASCO URBANO DE YOTOCO Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -CORDOBITAS EN YOTOCO VALLE DEL CAUCA" CON CÓDIGO BPIN 20220214000023	
TRAMO DISEÑADO:	UNIDAD HOMOGENEA N°2, TRAMO N°1	
SECTOR:	PR 5+400 AL PR 10+300	
CONSTRUCTOR:		
INTERVENTORIA:		
SOLICITÓ:		
PERIODO DE DISEÑO:	AÑO INICIO 2023- AÑO FINAL 2033 (10 AÑOS)	
DISEÑO DE PAVIMENTO MÉTODO AASHTO		
DISEÑO DE PAVIMENTO MÉTODO AASHTO		
R	85%	
Z _R	-1.037	
So	0.42	
Po	3.5	
Pf	1.8	
SN	3.2	
Módulo de la subrasante (psi)	6042	
N requerido	5.00E+05	
N admisible	5.09E+05	
CONDICION ACTUAL DEL PAVIMENTO		
CONDICION ACTUAL DEL PAVIMENTO		
CAPA	ESPESOR (cm)	ESPESOR TOTAL (cm)
CONCRETO ASFÁLTICO	13.5	54
BASE GRANULAR	15.0	
SUBBASE GRANULAR	25.0	
GEOTEXTIL TEJIDO GT2100		
MEJORAMIENTO		
SN	3.55	
		CBR dis 4.1%
OBSERVACION: PARA LAS ZONAS PARTICUALRES SE RECOMIENDA COLOCAR EL GEOTEXTIL TEJIDO REF 2100 ENTRE EL MATERIAL DE AFIRMADO Y EL MATERIAL DE MEJORAMIENTO, PARA EVITAR ASENSO DE FINOS SUBRASANTE BAJA CAPACIDAD.		
INGENIERO HUGO DAZA DELGADO.		

CONDICION PARA LA NUEVA ESTRUCTURA	TRAMO N°1. UNIDAD N°2 MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO -BUENOS AIRES -EL DORADO EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES -CASCO URBANO DE YOTOCO Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -CORDOBITAS EN YOTOCO VALLE DEL CAUCA" CON CÓDIGO BPIN 20220214000023. EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES -CASCO URBANO DE YOTOCO Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -CORDOBITAS EN YOTOCO VALLE DEL CAUCA" CON CÓDIGO BPIN 20220214000023.		
		FECHA:	21/07/2022
PROYECTO:	MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO -BUENOS AIRES -EL DORADO EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES -CASCO URBANO DE YOTOCO Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -CORDOBITAS EN YOTOCO VALLE DEL CAUCA" CON CÓDIGO BPIN 20220214000023		
TRAMO DISEÑADO:	PR 5+400 AL PR 10+300		
SECTOR:	#;REF!		
CONSTRUCTOR:	0		
INTERVENTORIA:	0		
SOLICITÓ:	0		
PERIODO DE DISEÑO:	AÑO INICIO 2023- AÑO FINAL 2033 (10 AÑOS)		
DISEÑO DE PAVIMENTO MÉTODO AASHTO			
E1:	26000	u1: 0.35	h1= 13.5 cm 5.31 pl
E21:		u21: 0.4	h21= 15 cm 5.91 pl
E22:		u22: 0.4	h22= 25 cm 9.84 pl
SUB RASANTE MEJORADA	CBR= 4.1	E3:	6042 PSI 425.5011 kg/cm2
CBR SUB RASANTE NATURAL: 4.1%			
E3=	6042	PSI	
E22=	12358	PSI	870.3 km/cm2
E21=	30723	psi	2164 km/cm2
K:	10 Factor de Calage		
N:	5.00E+05 transito N8.2		
Vb% =	10.8		
E1=	2548000000 N/m2		
ADMISIBLES		CALCULADOS	CALIFICA
E1=	4.84E-04	E1= 2.98E-04	O.K.
Ez=	7.33E-04	Ez= 6.20E-04	
epsv=	4.35E-01	epsv= 3.33E-01	
INGENIERO HUGO DAZA DELGADO.			

CONDICION DE LA ESTRUCTURA	TRAMO N°1. UNIDAD N°2 MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO -BUENOS AIRES -EL DORADO EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES -CASCO URBANO DE YOTOCO Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -CORDOBITAS EN YOTOCO VALLE DEL CAUCA" CON CÓDIGO BPIN		
	FECHA:	21/07/2022	
PROYECTO:	MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO -BUENOS AIRES -EL DORADO EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES -CASCO URBANO DE YOTOCO Y DE UN TRAMO DE LA VÍA		
TRAMO DISEÑADO:	UNIDAD HOMOGÉNEA N°2, TRAMO N°1		
SECTOR:	PR 5+400 AL PR 10+300		
ABSCISA:			
CONSTRUCTOR:	0		
INTERVENTORIA:	0		
SOLICITÓ:	0		
PERIODO DE DISEÑO:	AÑO INICIO 2023- AÑO FINAL 2033 (10 AÑOS)		
CONDICION ACTUAL DEL PAVIMENTO			
Cálculo de SN1			
$M_{r_{base}}$	30723 PSI		
Econcreto asfáltico			
	$S_{N1} =$	1.7	$a1 = 0.32$
	$D1 =$	5.31	> 2.5" min adopta 13.5 cm
	$s_{N1} =$	1.70	> 1.7 SI
espesor carpeta			
Cálculo de SN2			
$M_{r_{sub-base}}$	12358 PSI		
	$S_{N2} =$	2.43	$a2 = 0.13$
	$D2 =$	5.61	> 4" min adopta 15 cm
	$s_{N2} =$	2.47	> 2.43 SI
Cálculo de SN3			
	$S_{N3} =$	3.2	$a3 = 0.11$
	$D3 =$	6.65	> 4" min adopta 25 cm
INGENIERO HUGO DAZA DELGADO.			

- Para la unidad homogénea N°2 del tramo N°1 (K5+400 al K10+298), con el dimensionamiento de la estructura se realizó una modelación por el sistema AASHTO considerando una carpeta de 13.5cm, base granular de 15cm y una sub base granular de 25 cm, sub base.

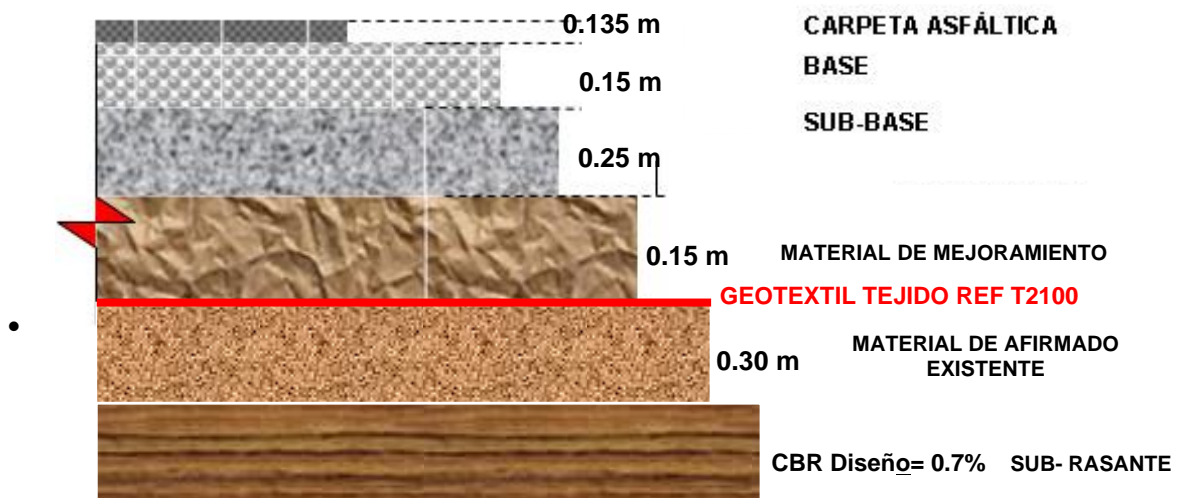
Ilustración 19 Dimensionamiento de la estructura en pavimento flexible para la unidad de diseño N°2 del tramo N°1



Dentro de la unidad de diseño N°2 del tramo N°1 se encuentran dos zonas particulares que cuentan con valores de CBR inferiores al 3%, por lo tanto, se recomienda para estas zonas realizar mejoramientos de tipo mecánico para estabilizar y aumentar la resistencia de las condiciones naturales del suelo de apoyo.

- Para la zona particular N°1 (K8+690 al K8+790) de la unidad de homogénea de diseño N°2 del tramo N°1 se recomienda un espesor de material de mejoramiento con CBR $\geq 10\%$, igual a 35 cm. Con este material de mejoramiento se aumentará la capacidad de soporte de la subrasante de 0.7% a 4.1%. Por motivos técnico- económico se sugiere colocar sobre la capa de afirmado actual tan solo 15 cm de mejoramiento como adicional.

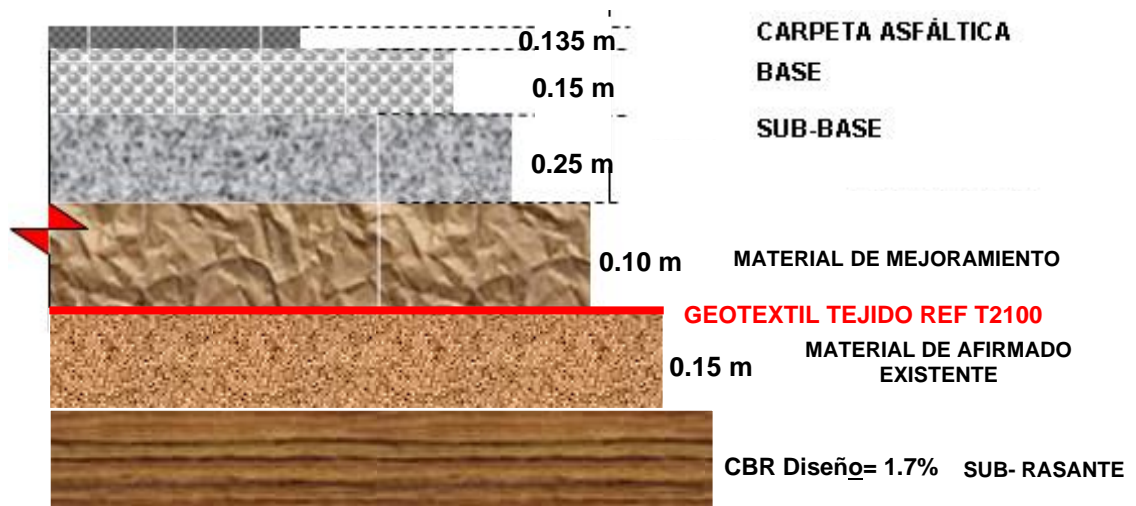
Ilustración 20 Dimensionamiento de la estructura en pavimento flexible para la zona particular N°1 de la unidad de diseño N°2 del tramo N°1 El Autor



- Para la zona particular N°2 (K9+785 al K9+885) de la unidad de homogénea de diseño N°2 del tramo N°1 se recomienda un espesor de material de mejoramiento con CBR

≥10%, igual a 22 cm. Con este material de mejoramiento se aumentará la capacidad de soporte de la subrasante de 1.7% a 4.1%. Por motivos técnico- económico se sugiere colocar sobre la capa de afirmado actual tan solo 10 cm de mejoramiento como adicional.

Ilustración 21 Dimensionamiento de la estructura en pavimento flexible para la zona particular N°2 de la unidad de diseño N°2 del tramo N°1- Fuente: El Autor



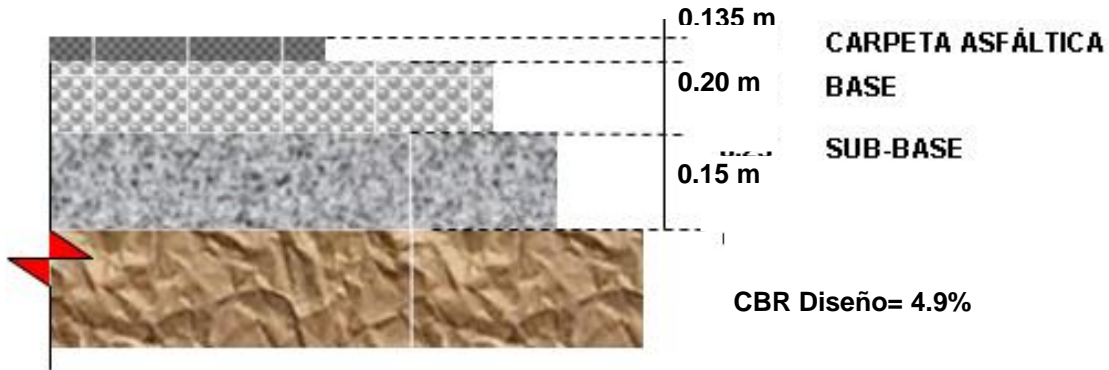
9.4.3 UNIDAD DE DISEÑO N°1 DEL TRAMO N°2 (K0+000 AL K0+834.28)

CONDICION PARA LA NUEVA ESTRUCTURA	TRAMO N°2. UNIDAD N°1. MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO -BUENOS AIRES -EL DORADO EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES -CASCO URBANO DE YOTOCO Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -CORDOBITAS EN YOTOCO VALLE DEL CAUCA" CON CÓDIGO BPIN 20220214000023.	
		FECHA: 21/07/2022
PROYECTO:	MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO -BUENOS AIRES -EL DORADO	
TRAMO DISEÑADO:	UNIDAD HOMOGENEA N°1, TRAMO N°2	
SECTOR:	PR0+000 AL PR 0+834	
CONSTRUCTOR:		
INTERVENTORIA:		
SOLICITÓ:		
PERIODO DE DISEÑO:	AÑO INICIO 2022- AÑO FINAL 2032 (10 AÑOS)	
DISEÑO DE PAVIMENTO MÉTODO AASHTO		
DISEÑO DE PAVIMENTO MÉTODO AASHTO		
R	85%	
Z _R	-1.037	
S _o	0.42	
P _o	3.5	
P _f	1.8	
SN	3.07	
Módulo de la subrasante (psi)	6736	
N requerido	5.00E+05	
N admisible	5.10E+05	
CONDICION ACTUAL DEL PAVIMENTO		
CAPA	ESPESOR (cm)	ESPESOR TOTAL (cm)
CONCRETO ASFÁLTICO	13.5	49
BASE GRANULAR	15.0	
SUBBASE GRANULAR	20.0	
SN	3.33	
		CBR dis 4.9%
INGENIERO HUGO DAZA DELGADO.		

CONDICION DE LA ESTRUCTURA	TRAMO N° 2. UNIDAD N° 1. MEJORAMIENTO DE LA VIA YOTOCO -BUENOS AIRES -EL DORADO EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES -CASCO URBANO DE YOTOCO Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -CORDOBITAS EN YOTOCO VALLE DEL CAUCA" CON CÓDIGO BPIN 20220214000023		
		FECHA:	21/07/2022
PROYECTO:	MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO -BUENOS AIRES -EL DORADO		
TRAMO DISEÑADO:	UNIDAD HOMOGENEA N°1, TRAMO N°2		
SECTOR:	PR0+000 AL PR 0+834		
ABSCISA:			
CONSTRUCTOR:	0		
INTERVENTORIA:	0		
SOLICITÓ:	0		
PERIODO DE DISEÑO:	AÑO INICIO 2022- AÑO FINAL 2032 (10 AÑOS)		
CONDICION ACTUAL DEL PAVIMENTO			
Cálculo de SN1			
$M_{r_{base}}$	31196 PSI		
Econcreto asfáltico			
	$S_{N1} =$	1.68	$a1 = 0.32$
	D1 =	5.25	> 2.5" min adopta 13.5 cm
	$S_{N1} =$	1.70	> 1.68 SI
espesor carpeta			
Cálculo de SN2			
$M_{r_{sub-base}}$	12624 PSI		
	$S_{N2} =$	2.41	$a2 = 0.13$
	D2 =	5.46	> 4" min adopta 15 cm
	$S_{N2} =$	2.47	> 2.41 SI
Cálculo de SN3			
		6736 PSI	
	$S_{N3} =$	3.07	$a3 = 0.11$
	D3 =	5.47	> 4" min adopta 20 cm
INGENIERO HUGO DAZA DELGADO.			

➤ Para la unidad homogénea N°1 del tramo N°2 (K0+000 al K0+834.28), con el dimensionamiento de la estructura se realizó una modelación por el sistema AASHTO considerando una carpeta de 13.5 cm, base granular de 20cm y una sub base granular de 15 cm, sub base.

Ilustración 22 Dimensionamiento de la estructura en pavimento flexible para la unidad de diseño N°1 del tramo N°2-
Fuente: El Autor



10 DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE UTILIZANDO EL MANUAL DE DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS EN VÍAS CON MEDIOS Y ALTOS VOLÚMENES DE TRANSITO DEL 2015

El Manual de diseño de Pavimentos de Vías con medios y altos volúmenes de tránsito tiene como finalidad proporcionar al país una herramienta actualizada, adaptada a los materiales y condiciones climáticas del país y acorde a las Especificaciones Generales de Construcción de carreteras y Normas de ensayo de materiales del año 2013, que le permita solucionar los problemas de pavimentos flexibles nuevos y reconstrucciones totales de una forma homogénea y con una suficiencia estructural que procure la racionalización y protección de las inversiones en pavimentación.

En el Manual se establecen condiciones de diseño como:

- **Selección del periodo de diseño a utilizar con base en el tránsito promedio diario (TPD) del año cero.**
- **Categorización de los proyectos según el volumen de tránsito.**
- **Niveles de confiabilidad según la categoría del proyecto.**
- **Nivel de profundización que se requiere en la evaluación de cada una de las variables que intervienen en el dimensionamiento de la estructura del pavimento.**
- **Criterios para dividir los proyectos en unidades homogéneas de diseño.**
- **Metodología de diseño mecánico empírica empleada.**

10.1 RANGOS DE TRÁNSITO CONSIDERADOS EN EL CATÁLOGO DE ESTRUCTURAS

A partir de un análisis de sensibilización de la influencia de la variación de los rangos del tránsito en el diseño estructural de pavimentos y guardando correspondencia con los rangos de tránsito establecidos por el INVIAS en otros manuales, se determinaron los siguientes rangos para fines del presente manual, expresados en número de ejes equivalentes de 80 kN, que circularán en el carril de diseño durante el periodo de diseño.

Tabla 36 Rangos de tránsito considerados en el manual.- Fuente: El Manual de diseño de Pavimentos de Vías con medios y altos volúmenes de tránsito

Designación de rangos de tránsito	Rangos de tránsito en ejes equivalentes
T1	500,000 < N ≤ 1,000,000
T2	1,000,000 < N ≤ 2,000,000
T3	2,000,000 < N ≤ 4,000,000
T4	4,000,000 < N ≤ 6,000,000
T5	6,000,000 < N ≤ 10,000,000
T6	10,000,000 < N ≤ 15,000,000
T7	15,000,000 < N ≤ 20,000,000
T8	20,000,000 < N ≤ 30,000,000
T9	30,000,000 < N ≤ 40,000,000

10.2 CONSIDERACIONES DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO DE TEMPERATURA SOBRE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.

Las variaciones diarias de temperatura no presentan una influencia significativa en los módulos resilientes de las capas no ligadas, pero estos cambios son muy importantes para las propiedades del asfalto, pues es un producto susceptible térmicamente y por lo tanto las mezclas asfálticas presentan un módulo dinámico diferente, según el clima del lugar donde se construirá la obra. El comportamiento de una mezcla es diferente para cada tipo de clima, a fin de considerar este efecto, el método a desarrollar propuesto por Shell Ltda. 1978, es un procedimiento para estimar una temperatura media anual ponderada del aire (TMAPn) en la región del proyecto, a partir de las temperaturas medias mensuales del aire (TMMA) y con ellas obtener unos factores de ponderación.

Otros autores (Sánchez y Campagnoli, 2016); consideran que en Colombia las variaciones de temperatura durante el año no son tan extremas como en zonas donde existen estaciones, por tal razón es suficiente con promediar las temperaturas promedio mensuales del aire (TMMA) para obtener la temperatura media anual promedio del aire (TMAP), de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$TMAP = \frac{\sum_{i=1}^{12} TMMA_i}{12}$$

Donde:

TMAP: Temperatura media anual promedio del aire, [°C].

TMMA_i: temperatura media mensual del aire del mes i, [°C].

i: Mes del año [1-12], enero = 1 y diciembre = 12.

La temperatura media anual promedio del aire (TMAP) es un dato con el cual se entra a seleccionar la estructura de pavimento en las cartas de diseño de este manual.

Para el municipio de Yotoco se ha establecido una TMAP de 24°C.

10.3 MÓDULO RESILIENTE DE LA SUBRASANTE.

Considerando que en Colombia ha sido una tradición la evaluación mecánica de la subrasante mediante la medición de CBR, y que desde hace varios años se dispone de metodologías más representativas, que permiten predecir con mayor certeza el comportamiento de los materiales de la estructura en servicio, es importante realizar esfuerzos para refinar la caracterización de la subrasante y de los materiales que se utilicen para construir las diferentes capas de la estructura, mediante la determinación de los módulos resilientes. Esta última metodología como se anotó anteriormente se sugiere para proyectos clasificados como categoría NT3 del INVIAS.

$$M_r = 2555 * (CBR)^{0.61}, \quad (Mr \text{ en PSI})$$

Según la tabla 4.17 del manual, la categoría de la sub rasante, los tramos de estudio se catalogan como S3 para la unidad de diseño N°1 del tramo N°1, S1 para la unidad de diseño N°2 del tramo N°1 y S3 para la unidad de diseño N°1 del tramo N°2.

Tabla 37 Tabla 4.17- Categoría de subrasante.- Fuente: El Manual de diseño de Pavimentos de Vías con medios y altos volúmenes de tránsito

Categoría de subrasante	Intervalo Módulo resiliente de diseño, M_{rd} (MPa)
S1	$35 \leq M_{rd} < 40$
S2	$40 \leq M_{rd} < 45$
S3	$45 \leq M_{rd} < 55$
S4	$55 \leq M_{rd} < 70$
S5	$70 \leq M_{rd} < 85$
S6	$85 \leq M_{rd} < 100$
S7	$100 \leq M_{rd} < 125$
S8	$M_{rd} \geq 125$

10.4 CARTAS DE DISEÑO

Con base en la información de: condiciones climáticas, niveles de tránsito, condiciones de resistencia de los suelos de subrasante y características de los materiales definidos para cada una de las capas, se diseñaron las secciones estructurales para las diferentes combinaciones de las variables, indicándose para las alternativas de diseño, los materiales y espesores correspondientes, que garantizan un buen diseño estructural.

Dentro del manual se establecieron siete (7) cartas de diseño, donde cada carta contempla los aspectos que se resumen en la Tabla 38.

Tabla 38 Tabla 6.3- Parámetros y rangos contemplados en las cartas de diseño.- Fuente: El Manual de diseño de Pavimentos de Vías con medios y altos volúmenes de tránsito

Carta No.	Rango de temperatura	Resistencia de subrasante	Rango de tránsito	Materiales Tabla 6.8.
1	T1: 4 a 10 °C	S1 a S8	T1 a T9	Variables
2	T2: 10 a 14 °C	S1 a S8	T1 a T9	Variables
3	T3: 14 a 18 °C	S1 a S8	T1 a T9	Variables
4	T4: 18 a 22 °C	S1 a S8	T1 a T9	Variables
5	T5: 22 a 26 °C	S1 a S8	T1 a T9	Variables
6	T6: 26 a 30 °C	S1 a S8	T1 a T9	Variables
7	T7: 30 a 36 °C	S1 a S8	T1 a T9	Variables

Los materiales y sus correspondientes siglas empleados se presentan a continuación.

Tabla 39 Materiales empleados en el catálogo de estructuras.- Fuente: El Manual de diseño de Pavimentos de Vías con medios y altos volúmenes de tránsito

Sigla	Material
MDC	Mezcla densa en caliente
MSC	Mezcla semidensa en caliente
MAM	Mezcla de alto módulo
BEE	Base estabilizada con emulsión
BG	Base granular sin estabilizar
SBG	Subbase granular
SC	Suelo cemento

10.5 CRITERIOS Y MATERIALES UTILIZADOS EN LA DETERMINACIÓN DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS ESTRUCTURALES DEL MANUAL DE DISEÑO.

Para la determinación de los materiales y espesores de las diferentes alternativas estructurales consideradas en el manual, se utilizó la siguiente metodología:

1. Teniendo en cuenta los parámetros de diseño, se realizó inicialmente el dimensionamiento de una estructura convencional con una capa de rodadura con espesor pleno de concreto asfáltico apoyada sobre capas granulares de base y sub base.
2. Considerando los valores de espesor pleno de concreto obtenidos en el paso anterior y los niveles de tránsito, se establecieron opciones de diseño estructural de una capa

asfáltica o fraccionamiento en dos capas asfálticas, tomando como referencia las recomendaciones de la U.S Department of Transportation Federal Highway Administration (FHWA) y la National Asphalt Pavement Association (NAPA), en su artículo “HMA Pavement Mix Type Selection Guide, 2001” y guardando correspondencia con los tamaños máximos de los agregados de las diferentes mezclas asfálticas y con las recomendaciones de espesores mínimos y tipo de materiales establecidos en las normas de construcción de INVIAS para las mezclas asfálticas de capas de rodadura, intermedia y base.

3. Las capas inferiores de las estructuras de pavimento, se diseñaron considerando las siguientes opciones de materiales.

Tabla 40 Tipos de mezclas asfálticas utilizadas en las estructuras de pavimento.- Fuente: El Manual de diseño de Pavimentos de Vías con medios y altos volúmenes de tránsito

Tipo de capa	Tipo de mezcla
Rodadura	MDC-19
Intermedia	MDC-25, MSC-25, MAM-25, BEE-25
Base (Asfáltica)	MDC-25, MSC-25, BEE-25

Tabla 41 Tipos de las capas de base y sub base de las estructuras de pavimento.- Fuente: El Manual de diseño de Pavimentos de Vías con medios y altos volúmenes de tránsito

Tipo de capa	Tipo de material
Capa de base	Base granular BG-25, BEE-25
Capa de Subbase	Subbase granular SBG-38, Mezcla suelo cemento A-25

10.6 RESULTADOS DEL DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

10.6.1 UNIDAD DE DISEÑO N°1 DEL TRAMO N°1 (K2+570 AL K5+400)

Tabla 42 Carta N°5 manual de diseño del INVIAS para la unidad de diseño N°1 del tramo N°1.- Fuente: El Manual de diseño de Pavimentos de Vías con medios y altos volúmenes de tránsito

Manual de Diseño
 de pavimentos Asfálticos en vías con Medios y Altos Volúmenes de Tránsito

Carta 5
 Temperatura media anual promedio del aire (TMAP) – TMAP 5: 22 A 26 [°C]
 Módulo Resiliente Subrasante de Diseño, M_{rD} [MPa]

N_{80kN} Millones	S1: $35 \leq Mr < 40$						S2: $40 \leq Mr < 45$									
		MDC-19	6	MDC-19	6	MDC-19	6	MDC-19	5	MDC-19	5	MDC-19	5			
T1: $0.5 < N \leq 1$	MDC-25	7.5	MDC-25	7.5	MDC-25	7.5	MDC-25	7.5	MDC-25	7.5	MDC-25	7.5				
	BG	20	BEE-25	18	BG	20	BG	20	BEE-25	18	BG	20				
	SBG	30	SBG	30	SC	25	SBG	30	SBG	30	SC	25				
T2: $1 < N \leq 2$	MDC-19	7.5	MDC-19	7	MDC-19	7.5	MDC-19	7.5	MDC-19	7.5	MDC-19	7.5				
	MDC-25	9	MAM-25	7.5	MDC-25	9	MDC-25	9	MDC-25	7.5	MDC-25	7.5				
	BG	20	BG	20	BEE-25	18	BG	20	BG	20	BEE-25	18	BG	20		
T3: $2 < N \leq 4$	MDC-19	7.5	MDC-19	7	MDC-19	7.5	MDC-19	7.5	MDC-19	7.5	MDC-19	7.5				
	MDC-25	10	MAM-25	9	MDC-25	10	MDC-25	9	MDC-25	9	MDC-25	9				
	BG	25	BG	25	BEE-25	22	BG	25	BG	25	BEE-25	22	BG	25		
	SBG	30	SBG	30	SBG	30	SC	25	SBG	30	SBG	30	SBG	30	SC	25

Según la carta N°5 del Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito para la unidad de diseño N°2 del tramo N°1 analizado como diseño de pavimentos flexible se presenta tres tipos de estructura como alternativas a la diseñada por el método de la AASHTO, como se indica en el siguiente cuadro resumen.

Tabla 45 Estructuras de pavimento recomendada según carta N°5 del Manual de Diseño de Pavimentos INVIAS para la unidad de diseño N°2 del tramo N°1- Fuente: El Manual de diseño de Pavimentos de Vías con medios y altos volúmenes de tránsito

N_{80kN} Millones	S1: $35 \leq Mr < 40$					
T1: $0.5 < N \leq 1$	MDC-19	6	MDC-19	6	MDC-19	6
	MDC-25	7.5	MDC-25	7.5	MDC-25	7.5
	BG	20	BEE-25	18	BG	20
	SBG	30	SBG	30	SC	25

10.6.3 UNIDAD DE DISEÑO N°1 DEL TRAMO N°2 (K0+000 AL K0+834.28)

Tabla 46 Carta N°5 manual de diseño del INVIAS para la unidad de diseño N°1 del tramo N°2.- Fuente: El Manual de diseño de Pavimentos de Vías con medios y altos volúmenes de tránsito

Manual de Diseño		Carta 5								
de pavimentos Asfálticos en vías con Medios y Altos Volúmenes de Tránsito		Temperatura media anual promedio del aire (TMAP) – TMAP 5: 22 A 26 °C								
		Módulo Resiliente Subrasante de Diseño, M_{rD} [MPa]								
Nexas Millones		S3: $45 \leq Mr < 55$			S4: $55 \leq Mr < 70$			S5: $70 \leq Mr < 85$		
		T1: $0.5 < N \leq 1$		MDC-19 5	MDC-19 5	MDC-19 5	MDC-19 5	MDC-19 5	MDC-19 5	MDC-19 5
		MDC-25 7.5	MDC-25 7.5	MDC-25 7.5	MDC-25 7.5	MDC-25 7.5	MDC-25 7.5	MDC-25 7.5	MDC-25 6	MDC-25 6
		BG 20	BEE-25 18	BG 20	BG 15	BEE-25 15	BG 15	BG 15	BG 15	BG 15
		SBG 30	SBG 30	SC 25	SBG 25	SBG 25	SC 20	SBG 20	SBG 20	SC 17
T2: $1 < N \leq 2$		MDC-19 7	MDC-19 7	MDC-19 7	MDC-19 7	MDC-19 7	MDC-19 7	MDC-19 7	MDC-19 7	MDC-19 7
		MDC-25 7.5	MDC-25 7.5	MDC-25 7.5	MDC-25 7.5	MDC-25 7.5	MDC-25 7.5	MDC-25 7.5	MDC-25 7.5	MDC-25 7.5
		BG 20	BEE-25 18	BG 20	BG 15	BEE-25 15	BG 15	BG 15	BG 15	BG 15
		SBG 30	SBG 30	SC 25	SBG 30	SBG 30	SC 25	SBG 25	SBG 25	SC 20
T3: $2 < N \leq 4$		MDC-19 7.5	MDC-19 7	MDC-19 7.5	MDC-19 7.5	MDC-19 7	MDC-19 7.5	MDC-19 7.5	MDC-19 7.5	MDC-19 7.5
		MDC-25 9	MDC-25 8	MDC-25 9	MDC-25 9	MDC-25 8	MDC-25 9	MDC-25 9	MDC-25 9	MDC-25 9
		BG 20	BG 20	BEE-25 18	BG 20	BG 20	BEE-25 18	BG 20	BG 20	BG 20
		SBG 30	SBG 25	SBG 25	SBG 25	SBG 25	SC 20	SBG 25	SBG 25	SC 18

Según la carta N°5 del Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito para la unidad de diseño N°1 del tramo N°1 analizado como diseño de pavimentos flexible se presenta tres tipos de estructura como alternativas a la diseñada por el método de la AASHTO, como se indica en el siguiente cuadro resumen.

Tabla 47 Estructuras de pavimento recomendada según carta N°5 del Manual de Diseño de Pavimentos INVIAS para la unidad de diseño N°1 del tramo N°2.- Fuente: El Manual de diseño de Pavimentos de Vías con medios y altos volúmenes de tránsito

N _{80kN} Millones	S3: 45 ≤ Mr < 55					
T1: 0.5 < N ≤ 1	MDC-19	5	MDC-19	5	MDC-19	5
	MDC-25	7.5	MDC-25	7.5	MDC-25	7.5
	BG	20	BEE-25	18	BG	20
	SBG	30	SBG	30	SC	25

11 CAPAS GRANULARES

11.2 SUB-BASE

Los agregados para la construcción de la sub base granular deberán satisfacer los requisitos indicados en el aparte 320.2 Materiales del Artículo 320-13 Sub-base granular.

Los agregados para la construcción de la sub-base granular deberán satisfacer los siguientes requisitos de calidad:

Tabla 48 Requisitos de los agregados para sub-bases granulares- Fuente: Artículo 320, Sub-base granular

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	SUB-BASE GRANULAR		
		CLASE C	CLASE B	CLASE A
Dureza (O)				
Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación A), máximo (%) - 500 revoluciones (%)	E-218	50	50	50
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	-	35	30
Durabilidad (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%) - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	12 18	12 18	12 18
Limpieza (F)				
Límite líquido, máximo (%)	E-125	25	25	25
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	6	6	6
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	25	25	25
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznable, máximo (%)	E-211	2	2	2
Resistencia del material (F)				
CBR (%): porcentaje asociado al valor mínimo especificado de la densidad seca, medido en una muestra sometida a cuatro días de inmersión, mínimo.	E-148	30	30	40

Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, el material que produzca el constructor deberá dar lugar a una curva granulométrica uniforme y sensiblemente paralela a los límites de la franja, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior de un tamiz adyacente y viceversa.

Tabla 49 Franjas granulométricas del material de sub-base granular- Fuente: Artículo 320, Sub-base granular

TIPO DE GRADACIÓN	TAMIZ (mm / U.S. Standard)								
	50.0	37.5	25.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.075
	2"	1 ½"	1"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
% PASA									
SBG-50	100	70-95	60-90	45-75	40-70	25-55	15-40	6-25	2-15
SBG-38	-	100	75-95	55-85	45-75	30-60	20-45	8-30	2-15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	0 %	7 %			6 %			3 %	

11.1 BASE

Los agregados para la construcción de la base granular deberán satisfacer los requisitos indicados en el aparte 330.2 Materiales del Artículo 330-13 Base granular.

Los agregados para la construcción de la sub-base granular deberán satisfacer los siguientes requisitos de calidad:

Tabla 50 Requisitos de los agregados para bases granulares - Fuente: Artículo 330, Base granular

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	BASE GRANULAR		
		CLASE C	CLASE B	CLASE A
Dureza (O)				
Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación A), máximo (%) - 500 revoluciones - 100 revoluciones	E-218	40 8	40 8	35 7
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	-	30	25
Evaluación de la resistencia mecánica por el método del 10 % de finos - Valor en seco, mínimo (kN) - Relación húmedo/seco, mínimo (%)	E-224	- -	70 75	90 75
Durabilidad (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%) - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	12 18	12 18	12 18
Limpieza (F)				
Límite líquido, máximo (%)	E-125	25	-	-
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	3	0	0
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	30	30	30
Valor de azul de metileno, máximo (Nota 1)	E-235	10	10	10
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznales, máximo (%)	E-211	2	2	2
Geometría de las Partículas (F)				
Índices de alargamiento y aplanamiento, máximo (%)	E-230	35	35	35
Caras fracturadas, mínimo (%) - Una cara - Dos caras	E-227	50 -	70 50	100 70
Angularidad de la fracción fina, mínimo (%)	E-239	-	35	35
Resistencia del material (F)				
CBR (%): porcentaje asociado al grado de compactación mínimo especificado (numeral 330.5.2.2.2); el CBR se medirá sobre muestras sometidas previamente a cuatro días de inmersión.	E-148	≥ 80	≥ 80	≥ 95

Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, el material que produzca el constructor deberá dar lugar a una curva granulométrica uniforme y sensiblemente paralela a los límites de la franja, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior de un tamiz adyacente y viceversa.

Tabla 51 Franjas granulométricas del material de Base granular - Fuente: Artículo 3230, Base granular

TIPO DE GRADACIÓN	TAMIZ (mm / U.S. Standard)							
	37.5	25.0	19.0	9.5	4.75	2.00	0.425	0.075
	1 ½"	1"	¾"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
% PASA								
BASES GRANULARES DE GRADACIÓN GRUESA								
BG-40	100	75-100	65-90	45-68	30-50	15-32	7-20	0-9
BG-27	-	100	75-100	52-78	35-59	20-40	8-22	0-9
BASES GRANULARES DE GRADACIÓN FINA								
BG-38	100	70-100	60-90	45-75	30-60	20-45	10-30	5-15
BG-25	-	100	70-100	50-80	35-65	20-45	10-30	5-15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	0 %	7 %			6 %			3 %

11.2 CARPETA ASFÁLTICA

Para la construcción de la carpeta, se escogió la mezcla asfáltica producida por la empresa Ingeniería de Vías (Planta de Galindez – Cauca) y mezcla de Perea y Cia en El Valle. La razón es que estas plantas tienen certificada su mezcla y es la más cercana al proyecto. Además, su trayectoria en el mercado data de más de tres décadas, donde con ella se ha pavimentado un alto porcentaje de vías del Cauca y del Valle del Cauca.

Nos interesa el módulo de elasticidad dinámico y relación de Poisson de la capa de rodadura tipo MDC-19 de la planta de Galindez, con el propósito de dimensionar la estructura. La caracterización de la mezcla asfáltica se encuentra anexa a este informe.

En los resultados del diseño de pavimento detalla el valor de los módulos dinámicos del asfalto, de la mezcla y las temperaturas de la misma, para carpetas de 10 y 11 cm. de espesor, consideradas para el diseño.

- **Cemento asfáltico envejecido: T800 = 48 °C Índice de penetración = -0.9**

Vagr. = 84.5 %

Vasf. = 11.5 %

Vvac = 4.0%

TOTAL = 100 %

Relación de Poisson : $\mu=0.35$

11.3 CALCULO DE LA MEZCLA (MÉTODO SHELL)

Asumiendo un espesor de capa asfáltica = 11 mm y para una temperatura W- MAAT igual a 24.3 °C se tiene que la temperatura de la mezcla es de 36.6 °C.

Considerando como velocidades de operación el rango de 40 a 60 km/h y adoptando para fines de dimensionamiento de pavimentos un tiempo de aplicación de cargas igual a 0.02 segundos se obtiene una frecuencia de 10 Hertz; además para una diferencia de temperaturas (T800-Tmezcla) igual a 11.4 °C y para un índice de penetración del asfalto igual a –0.9%, se obtiene un

Easfalto = 6.1×10^6 N/m².

Para un Easfalto = 6.1×10^6 N/m², un Vb=11.5% y para un Vg=84.5%, se concluye que el E de la mezcla = 2.1×10^9 N/m². (Ver módulos dinámicos de la mezcla)

Se considera $\eta = 0.35$

12 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para el proyecto objeto de intervención, se definieron tres unidades de diseño debido a la longitud de los tramos, a la homogeneidad de las propiedades físico- mecánicas los suelos, topografía y drenaje.

La unidad homogénea de diseño N°2 del tramo N°1 (K5+400 al K10+298) cuenta con valores de CBR superiores a los 3% pero se encontraron aproximadamente en las abscisas K8+740 y K9+835 valores de CBR inferiores al 3%, por lo tanto, se recomienda para estas zonas particulares realizar mejoramientos de tipo mecánico para estabilizar y aumentar la resistencia de las condiciones naturales del suelo de apoyo.

Por criterio del especialista se buscará que las zonas particulares alcancen un CBR de diseño igual a 4.1% con el fin de trabajar con el mismo CBR de diseño de la unidad homogénea N°2 del tramo N°1.

La zona particular N°1 se encuentra entre las abscisas K8+690 al K8+790 de la unidad de homogénea de diseño N°2 del tramo N°1 y cuenta con un valor de CBR igual al 0.7%, por lo tanto se requiere una capa de mejoramiento de mínimo 35 cm para alcanzar un CBR de diseño igual al 4.1%, pero por motivos técnico- económico se sugiere hacer uso de un mínimo espesor de capa de mejoramiento que se traduce en menores volúmenes de excavación, corte, y suministro, transporte, conformación y compactación de material de mejoramiento, utilizando para su efecto la capa de afirmado existente, la cual cuenta con un espesor de aproximadamente 30 cm, por lo tanto, se sugiere colocar sobre la capa de afirmado actual tan solo 15 cm de mejoramiento como adicional.

La zona particular N°2 se encuentra entre las abscisas K9+785 al K9+885 de la unidad de homogénea de diseño N°2 del tramo N°1 y cuenta con un valor de CBR igual al 1.7%, por lo tanto se requiere una capa de ,mejoramiento de mínimo 22 cm para alcanzar un CBR de diseño igual al 4.1%, pero por motivos técnico- económico se sugiere hacer uso de un mínimo espesor de capa de mejoramiento que se traduce en menores volúmenes de excavación, corte, y suministro, transporte, conformación y compactación de material de mejoramiento, utilizando para su efecto la capa de afirmado existente, la cual cuenta con un espesor de aproximadamente 15 cm, por lo tanto, se sugiere colocar sobre la capa de afirmado actual tan solo 10 cm de mejoramiento como adicional.

Para cada uno de los tramos se brindan dos opciones de pavimentos, uno rígido y otro en tipo flexible con la siguiente estructura:

Tabla 52 Espesores de la estructura recomendada para cada tramo - Fuente: El Autor

TRAMO N°	UNIDAD DE DISEÑO N°	ZONA PARTICULAR N°	ABSCISA INICIO	ABSCISA FINAL	CBR DE DISEÑO (%)	PAVIMENTO RIGIDO			PAVIMENTO FLEXIBLE AASTHO				PAVIMENTO FLEXIBLE CARTA 5							
						CONCRETO MR DE 4.2 (cm)	SUB-BASE (cm)	MATERIAL DE MEJORAMIENTO (cm)	TOTAL DISEÑO PAVIMENTO (cm)	CARPETA ASFALTICA (m)	BASE (cm)	SUB-BASE (cm)	MATERIAL DE MEJORAMIENTO (cm)	TOTAL DISEÑO (cm)	CARPETA ASFALTICA (m)	BASE (cm)	SUB-BASE (cm)	MATERIAL DE MEJORAMIENTO (cm)	TOTAL DISEÑO (cm)	
1	1	2	K2+570	K5+400	6.1	18.5	10	---	28.5	13	15	25	---	53	12.5	20	30	---	62.5	
			K5+400	K8+690	4.1	19	15	---	34	13.5	15	25	---	53.5	13.5	20	30	---	63.5	
			K8+690	K8+790	0.7	19	15	15	---	49	13.5	15	25	15	68.5	13.5	20	30	15	78.5
	2	1	K8+790	K9+785	4.1	19	15	---	34	13.5	15	25	---	53.5	13.5	20	30	---	63.5	
			K9+785	K9+885	1.7	19	15	10	---	44	13.5	15	25	10	63.5	13.5	20	30	10	73.5
			K9+885	K10+300	4.1	19	15	---	34	13.5	15	25	---	53.5	13.5	20	30	---	63.5	
2	1		K0+000	K0+834	4.9	19	15	---	34	13.5	15	20	---	48.5	12.5	20	30	---	62.5	

- El módulo de rotura del concreto será de 4.2 Mpa.
- Sub base granular tipo INVIAS con CBR preferiblemente >50%
- Material de mejoramiento con CBR = o > 10%
- El geotextil es básicamente para aislar la sub rasante del material de mejoramiento y no permitir que se contaminen los granulares por migración de materiales finos, además de propiciar un ligero aporte a la capacidad de soporte de la sub rasante.

Se recomienda la ejecución del proyecto en estructura de Pavimento Rígido considerando que, para un mismo período de diseño, cuando se suman todos los costos totales, resulta más económico teniendo en cuenta adicionalmente que se atienden vías con bajo mantenimiento rutinario de la superficie de rodadura. Por otra parte, el pavimento de concreto tiene una vida útil más larga que el pavimento asfáltico.

En cuanto a drenaje se refiere a pesar de que el sector presenta temperaturas intermedias, debe tenerse en cuenta que en épocas de invierno la lluvia se presenta de manera fuerte incidiendo de manera importante en la consistencia de los suelos existentes. Además, los tramos presentan topografía plana a ondulada lo cual implica un proceso de drenaje dificultoso y volúmenes de agua acumulada en periodos de tiempo relativamente largos. De esta manera es conveniente se dé celeridad a su construcción, con programas de mejoramiento compactación y colocación de la estructura del pavimento. Se aconseja que una vez colocada, conformada y compactada el material de sub-base granular, se proteja esta con un riego de asfalto o sencillamente cubrir esta con un material impermeable que permita tener la sub base granular en condición adecuada y plena para recibir así las losas de concreto. En este sentido es igualmente recomendable la estructura en pavimento rígido, toda vez que al ser menos susceptible de deformaciones, es menor probable la ocurrencia de charcos y presenta un buen drenaje para el agua lluvia; en este mismo sentido es menos probable que se presente hidropilano, lo que lo hace más seguro.

Para todos los tramos se recomienda la construcción de filtros sub-superficiales que permitan filtrar, captar conducir y evacuar controladamente los flujos de agua que lleguen a la vía o permanezcan en ella causando desperfectos en su estructura.

El drenaje vial es fundamental en la vida del pavimento. Se localizará y diseñará las obras adecuadas tendientes a controlar el agua que pueda modificar las propiedades de cada una de las capas estructurales. De esta manera, es necesario inspeccionar y verificar el diseño de cunetas, alcantarillas, descoles, encoles existentes, con el fin de evacuar en forma rápida y eficiente toda el agua que podría interferir en el buen funcionamiento mecánico de la estructura del pavimento.

Es importante que para un buen desempeño de la estructura del pavimento en general, se de garantía de que en los sitios donde se hayan designado excavaciones para construcción de alcantarillas y obras afines, los rellenos se hayan efectuado con la normatividad que rigen los procesos de compactación. Caso contrario, es de vital importancia que estos problemas se arreglen mejorando las condiciones de acomodo en cuanto a compactación se refiere.

De acuerdo con el diseño geométrico propuesto para el proyecto, no se contempla la construcción de bermas, si no que propone una sección transversal compuesta por dos carriles que suman un total de 5.4 m y berma- cuneta en cada extremo de 0.5m, finalizando con un bordillo.

Para la modelación del diseño del pavimento por el método del PCA no se contempló el uso de bermas pero si de pasadores debido a que la capa del pavimento obtenida y a criterio del especialista, no era recomendable colocar una capa de pavimento muy pequeña ya que actualmente en el sector suelen transitar vehículos de carga, especialmente cuando ocurre algún tipo de problemática sobre la vía Panamericana que obliga a los conductores a tomar esta ruta como alternativa de movilidad, además del tránsito atraído que se obtendrá una vez se finalice la construcción de la vía. Sin embargo, si es imprescindible el hacer uso de pasadores de transferencia de carga con el fin de evitar fisuras en el pavimento debido a los efectos de retracción, gradientes de temperatura y cargas del tráfico.

Respecto al uso de pasadores de transferencia de carga, son única y exclusivamente para las juntas transversales. Para las juntas longitudinales se hará uso de barras de acero corrugado de ½” de diámetro.

La calidad y construcción de los materiales considerados en la estructura de pavimento, deberán cumplir a cabalidad con las Especificaciones para Construcción de Carreteras emitidas por el Instituto Nacional de Vías en el año 2013, artículo 300.

12.1 RECOMENDACIONES PARA PAVIMENTO RÍGIDO

Para la construcción del pavimento es necesario preparar el terreno natural, la capa de subbase y la preparación de la mezcla de concreto para lograr la capacidad estructural de acuerdo al diseño planteado. Para este tipo de pavimento en particular los requisitos pueden variar considerablemente dependiendo del tipo de suelo de la subrasante, de las condiciones ambientales y de la cantidad de tráfico pesado. Cualquiera que sea el caso, el objetivo deberá ser el poder obtener una condición de apoyo uniforme para el pavimento durante toda la vida útil de este.

A continuación, se presentan sus principales pasos constructivos.

- Preparación y acabado (conformación y compactación) de la subrasante natural e inclusión de un material de mejoramiento para suplir deficiencias en la sub rasante, ya sea por mala calidad de la misma o para cubrir deficiencias en procesos constructivos de alcantarillados y domiciliarias, donde con

frecuencia se cambia de material de relleno y no se compacta de manera adecuada.

- Proporcionar una capa de sub-base granular o sub base tratada con cemento si así lo requiere, de espesor indicado según el caso, conformada y compactada debidamente según normatividad INVIAS.
- Colocación de formaletas.
- Instalación de juntas, Para las juntas transversales de contracción y expansión, es necesario colocar pasadores de carga, estos deben ser de acero liso de diámetro igual a 1 pulgada, una longitud de 35.0 cm y espaciados centro a centro 30 cm. Se recomienda pasadores más largos para evitar fisuraciones de punta, aumentando en 30cm su longitud. Las barras usadas en las Juntas Longitudinales, deben ser de acero corrugado de ½ pulgada de diámetro, longitud 60cms y espaciadas aproximadamente cada 90 cm, y distantes del vértice de la placa en no menos de 0.40m.
- Dosificación mediante diseño de mezclas de agregados, agua y cemento según módulo de rotura deseado.
- Mezclado y colocación del concreto, el espesor de las losas proyectadas de acuerdo con el diseño de cada unidad señalado en las secciones transversales definitivas de las estructuras de pavimento obtenidas, con módulo de rotura mínimo de 4.2 Mpa.
- Extendido, nivelado, texturizado y acabado del concreto.
- Programación de pre corte para inducción de la fisuración en y por la junta de expansión, y posterior sello de la junta.
- Para dar al servicio el pavimento rígido, se deben sellar las juntas y verificar que la resistencia del concreto esté cercana al módulo de rotura especificado, para evitar la fisuración después del proceso constructivo. Para lograr lo anterior se recomienda un buen curado del concreto y un programa de control de calidad.
- Para el buen desarrollo de la construcción del pavimento rígido, se ha de tener en cuenta las recomendaciones consignadas en las Normas Para Construcción de Carreteras en su aparte del Artículo 500-13.

12.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

Ventajas:

- Deterioro mínimo durante su vida útil.
- Menor mantenimiento.
- Deformación mínima en superficie.
- Índice de servicio alto durante su vida útil.
- Disminución de costos de operación.
- Mayor reflexión de la luz.
- Requiere menor estructura de soporte en comparación con un pavimento flexible.

Desventajas:

- **Costos altos en su etapa de construcción.**

12.3 RECOMENDACIONES PARA PAVIMENTO FLEXIBLE

El pavimento flexible se diseñó siguiendo el método de la AASTHO y la utilización del Manual de pavimentos asfálticos para vías de mediano y alto tránsito, dando como resultado una estructura con espesores que tienen en cuenta las deformaciones producidas en todos los niveles de la estructura, haciendo énfasis en la deformación por tracción en la fibra inferior de la carpeta y la deformación por compresión en la fibra superior del lleno de reemplazo propuesto y de la sub rasante. Se notó que el diseño estaba siendo controlado por las deformaciones producidas en la carpeta asfáltica para cualquier espesor de los materiales granulares propuestos y tránsito usado según el periodo de diseño, entonces para evitar que la capa de rodadura tenga problemas estructurales, se deben colocar los materiales de carpeta asfáltica, base asfáltica y granulares en los espesores recomendados.

El diseño establecido en este informe corresponde a las condiciones particulares del proyecto y específicamente a la zona donde se llevó a cabo la exploración de campo. Es una estructura que obedece a las características de los suelos encontrados, que brindan confianza frente a los cambios de resistencia que pueda tener la sub rasante durante el periodo de diseño.

Para las zonas particulares se recomienda colocar el geotextil tejido de referencia T2100 entre el material de afirmado y el material de mejoramiento para evitar el ascenso de finos de la subrasante baja.

El proceso constructivo es una actividad propia de quien ejecuta la obra lo que se enuncia en los siguientes apartes es lo que podría ser para el buen desarrollo de esta actividad encaminada a la ampliación y pavimentación de la calzada.

- **Iniciar en el sitio de trabajo los procedimientos apropiados de seguridad para control del tránsito.**
- **Localización y replanteo del sector o tramo a intervenir, con indicación de la línea de chaflanes.**
- **Excavación y remoción según dimensionamiento de estructura de pavimento definida y del diseño de rasante considerado. Se pretende en lo posible conservar el afirmado existente como material de mejoramiento, completando en los sitios que así lo requiera en los espesores indicados en cada uno de los tramos diseñados. De igual manera se contemplará el mejoramiento en los sitios donde sea necesario realizar ampliaciones para conformación de la banca, en los espesores indicados.**
- **Una vez se logren las cotas de excavación se procederá a realizar de ser posible la conformación y compactación de la sub rasante, para posteriormente sobre poner sobre la sub rasante natural, el material de mejoramiento, para posteriormente sobreponer la estructura de pavimento elegida para cada tramo. Ya sea la utilización de base y sub base granular**

considerada en los pavimentos de tipo flexible y sub base granular si se considera pavimento rígido. Cada una de ellas compactadas según normatividad vigente del INVIAS, artículo 220 y 230 del INVIAS. Para el material de mejoramiento se utilizará material seleccionado de tamaño máximo 3” y que posea un CBR de laboratorio mínimo del 10%.

- **Para efectos de colocar la capa de MDC19, se procederá de la siguiente manera. Una vez recibida la capa de base con las cotas del diseño y con la compactación requerida, se ha de imprimir y permitir su curado, para luego dar paso al extendido de la carpeta en una primera capa de 6cm de espesor, previa colocación de riego de liga en la superficie de corte de la carpeta existente. Posteriormente se construye la segunda capa de 5 a 6 cm para completar los 10, 11 o 12 cm del diseño según el tramo considerado. Cada capa debe estar ligada con la anterior.**
- **De igual manera este procedimiento se efectúa para la margen izquierda en el ancho que tenga que intervenirse.**

Cordialmente,

Hugo Edmundo Daza Delgado
Ingeniero Civil Especialista
mat #1920256456CAU