



INFORME DE DISEÑO PARA LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN CONCRETO
HIDRAULICO DE COREDORES VIALES DEL MUNICIPIO DE MAICAO, EN EL
DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA

Enero de 2024

Contenido

INTRODUCCIÓN	3
1. OBJETIVOS DEL INFORME	5
2. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	7
3. GEOLOGÍA Y ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS DE LA REGIÓN	10
4. ANÁLISIS Y PROYECCIÓN DEL TRÁNSITO	17
5. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA	20
6. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	33
6.1 Metodología de la PCA	33
6.1.1 Módulo de Reacción del apoyo de la losa (k)	35
6.1.2 Tránsito	36
6.1.3 Transferencia de Carga	36
6.1.4 Factor de seguridad de carga y repeticiones	36
6.2 Metodología del Instituto Nacional de Vías	38
6.3 Metodología de Elementos Finitos	43
7. FUENTES DE MATERIALES Y CARACTERIZACIÓN	46
8. MODULACIÓN DE LOSAS	55
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
LIMITACIONES	71
BIBLIOGRAFÍA	72
ANEXOS	73

INTRODUCCIÓN

Un Plan de Desarrollo Municipal tiene entre unos de sus objetivos la movilidad en su sentido más amplio, y no solo como el tránsito de vehículos por arterias pavimentadas, sino todas las formas que los habitantes, en especial los de la zona de influencia de las carreras 1ª entre calles 23 y 24; carrera 18 entre calles 22 y 24; carrera 18 entre calles 16 y 20; carrera 1C entre calle 14 y 16; carrera 2 entre calle 13 y 16; carrera 31 entre calle 22 y 24; calle 14 entre carrera 1C y carrera 2; calle 23 entre carreras 26 y 31; calle 23 entre carreras 1A y carrera 1B, del municipio de Maicao, utilizan para desplazarse por el espacio público.

El proyecto de pavimentación de estos corredores urbanos en una longitud total aproximada de 2095 metros lineales va a mejorar el transporte urbano de pasajeros residentes en esas zonas de influencia, servicio este que en la actualidad se ha visto mermado por el estado y calidad actual de la superficie de rodadura en terreno destapada de esas calles y carreras del referido sector.

Así mismo dentro de otras de las políticas normalmente contempladas en un Plan de Desarrollo Municipal, se apuesto por lo general a la consecución y ampliación de los indicadores de metros lineales de pavimentación, que ira a representar además de una valorización de las viviendas de la población beneficiadas en el área de influencia de los proyectos, un entorno ambiental más agradable y a una disminución de los porcentajes de las necesidades insatisfechas de la región.

Es por ello que mediante la recopilación de información basada en la exploración e investigación del subsuelo y reportes de laboratorios entre otros, se establecieron las condiciones actuales de los corredores viales en comento, además de identificar factores influyentes en el proyecto de diseño de la estructura de pavimento, tales como demanda del tránsito, factores ambientales, geológicos y condiciones de la subrasante, de tal manera que permitan garantizar un modelo estructural que brinde seguridad vial y satisfacción a los usuarios, con criterios de eficiencia y economía.

Este proyecto particular de pavimentación además de beneficiar las condiciones de movilidad del sector y a la disminución de los tiempos de recorridos a los servicios fundamentales de la comunidad, contribuyó a un incremento sustancial en la

calidad de vida de la comunidad circundante y de influencia de los referidos corredores viales.

Para el diseño de la estructura de pavimento, se ha contemplado una estructura de pavimento de tipo rígido, caracterizada por losas de concreto hidráulico, apoyadas sobre una capa de material granular, con el fin de establecer y garantizar una superficie de soporte uniforme y homogéneo.

En la determinación del espesor de la losa de concreto hidráulico, se hará uso de la metodología de la Portland Cement Association, de amplia difusión en Latinoamérica, así como la metodología establecida en el Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito, del Instituto Nacional de Vías y un análisis final por Elementos Finitos.

En el diseño se controlan los criterios de la fatiga para impedir agrietamiento en la losa por los esfuerzos producidos en el pavimento debido a las cargas y a factores ambientales, así como el criterio de erosión para limitar la delinción en los bordes de la losa. La tipología de esta clase de estructura de pavimento permite que la carga vehicular, por la alta rigidez del concreto hidráulico, sea distribuida en una gran área de su superficie, lo que minimiza los esfuerzos actuantes en las capas subyacentes a la losa de concreto hidráulico.

1. OBJETIVOS DEL INFORME

1.1 Objetivo General

Determinar una estructura de pavimento que cumpla los estándares de calidad y funcionalidad exigidos, considerando una superficie de rodadura de tipo rígido, constituida por una losa de concreto hidráulico apoyada directamente sobre una capa uniforme y homogénea de característica granulares y calidades establecidas en el Artículo 320 de las Especificaciones Generales de Construcción del Instituto Nacional de Vías, versión 2022.

1.2 Objetivo Específico

Evaluar detalladamente los parámetros geotécnicos de los suelos localizados en los corredores viales antes relacionados y definir el y/o espesores de la losa de concreto hidráulico, de acuerdo con las solicitudes del tránsito esperado y a las características de resistencia a los 28 días del concreto a la flexo tracción.

1.3 Alcance

El estudio para el diseño de las estructuras de pavimentos en superficie de concreto hidráulico correspondientes a corredores viales urbanos de carrera 1ª entre calles 23 y 24; carrera 1B entre calles 22 y 24; carrera 1C entre calles 16 y 20; carrera 1D entre calles 14 y 16; carrera 2 entre calles 13 y 16; carrera 31 entre calle 22 y 24; calle 14 entre carrera 1C y carrera 2; calle 23 entre carreras 26 y 31; calle 23 entre carreras 1A y carrera 1B del municipio de Matco, se tiene como alcance los siguientes aspectos principales:

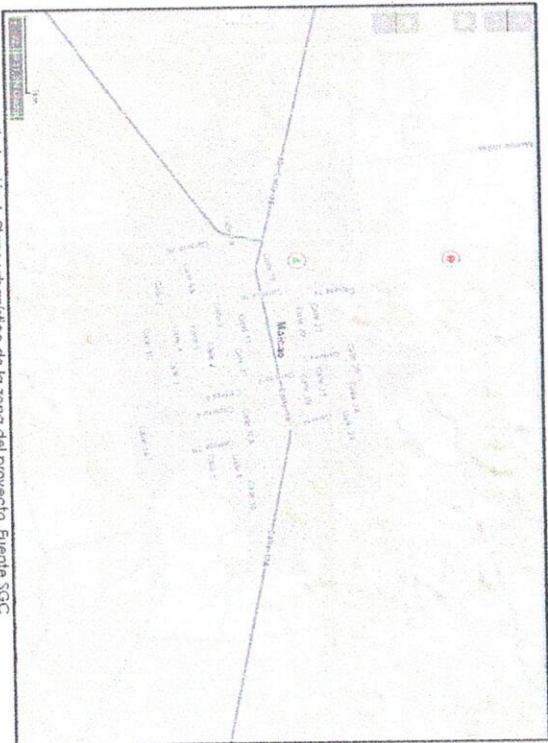
- ⇒ Determinación del perfil de suelos de la subrasante, para así estipular los materiales predominantes que conforman la superficie de apoyo de la estructura de pavimento a soportar.
- ⇒ Realizar una descripción completa del perfil estratigráfico existente en el corredor vial, mediante la ejecución de diez (10) picajes exploratorios hasta una profundidad de 1.50 m. que permita conocer los tipos de suelos y sus

características resistentes que puedan llegar a ser afectados por las cargas del tránsito.

- ⇒ Definir de la investigación de campo y de laboratorio, las variables necesarias para el diseño de espesores de la estructura del pavimento, en conjunto con el tránsito y los materiales de construcción de acuerdo con las especificaciones y normas vigentes del Instituto Nacional de Vías.
- ⇒ Ante la presencia de suelos potencialmente expansivos y/o colapsables y/o dispersivos y/o materiales de rellenos constituidos por escombros de construcciones, indicar claramente su ubicación y presentar las recomendaciones sobre el tratamiento durante la construcción de la estructura del pavimento.
- ⇒ Efectuar las recomendaciones necesarias para la colocación y conformación de la estructura de pavimento.

2. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCION DEL PROYECTO

El proyecto se encuentra localizado en la zona urbana del municipio de Matuco, el cual limita al norte con los municipios de Urbía y Manacure, al este y sur con la República de Venezuela y al suroeste con los municipios de Albania y Riachacho, del cual se encuentra de este último a 76 kilómetros de distancia de la cabecera municipal.



El municipio tiene una extensión de 1.825 km² y se encuentra conformado por 5 comunas, 89 barrios y tres (3) corregimientos correspondientes a Carpioja, La Matayura y Paragachón.

Su ubicación geográfica se encuentra en las coordenadas 11°22' 40" N y 72°14' 29" O, altitud media 52 m.s.n.m y una población estimada según el portal de Wikipedia para el año 2023 de 194.675 habitantes, de los cuales 126.300 se encuentran asentados en la zona urbana y una densidad poblacional de 69,45 habitantes/km².

El proyecto de construcción contempla la pavimentación de los corredores viales urbanos de las carreras 1ª entre calles 23 y 24; carrera 1B entre calles 22 y 24; carrera 1B entre calles 16 y 20; carrera 1C entre calle 14 y 16; carrera 2 entre calle 13 y 16; carrera 31 entre calle 22 y 24; calle 14 entre carrera 1C y carrera 2; calle 23 entre carreras 26 y 31; calle 23 entre carreras 1A y carrera 1B del municipio de Mocoa y para el cual se tiene proyectado una sección vehicular constituida por una calzada en concreto hidráulico, de ancho promedio de 7,00 m, confinada por bordillos y ordenes de promedio de 1,00 m respectivamente.

La puesta en marcha de este proyecto hace parte del programa de mejoramiento vial urbano mediante la reposición de pavimento que incidirá en las condiciones de transitableidad interna en los corredores urbanos de la zona, lo que va a incidir significativamente en los indicadores de gestión por resultados para la administración municipal y de beneficio significativo para la comunidad.

3. GEOLOGIA Y ASPECTOS CLIMATOLOGICOS DE LA REGION

3.1 Geología

Según el Plan de Manejo Ambiental de Agua Subterránea, su administración y aprovechamiento en el municipio de Mocoa, La Guajira elaborado por la Corporación Ambiental de la Guajira (Corporaguajira), "El municipio de Mocoa por encontrarse localizado en la zona denominada Media Guajira presenta características geológicas determinadas principalmente por pertenecer al periodo caracénico Cuaternario donde prevalecen los depósitos fluviales lacustres, geológico Cuaternario donde prevalecen los depósitos fluviales lacustres, glaciales, marinos, vulcanos clásticos, coluviales, eólicos y delatoccos.

Dentro del periodo Terciario prevalecen los sedimentos lacustres o del ambiente logunar, principalmente conglomerados, pequeños zonas de piegarientos y localmente mantos de carbón; el periodo Cretáceo, también hace presencia en el territorio del municipio dentro del cual sobresalen sedimentos epicontinentales como lutitas negras y calizas en el área de la coralliera. Del periodo Terciario en Mocoa existen sedimentos de lava y piroclásticos marinos continentales.

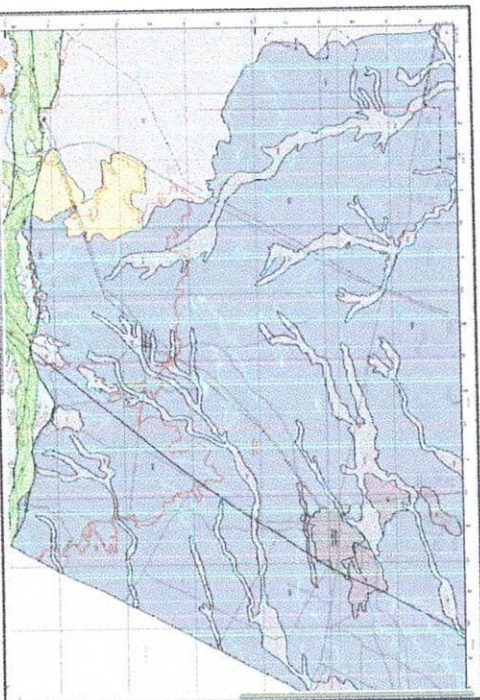


Figura 3. Geología de la zona de estudio. Plancha 15-15 Bis. Servicio Geológico Colombiano

En el área de estudio se presentan rocas desde el Cretáceo hasta el Cuaternario. Las unidades más antiguas se encuentran en el límite sur del municipio de Maicao, y constituyen la Serranía del Perijá, donde se pone en contacto las rocas del Mesozoico (el sur) con rocas del Terciario y Cuaternario al norte. Las rocas del Cretáceo se conocen como Grupo Calicheo (Ksc) y están conformadas por rocas sedimentarias, principalmente calizas de color negro a gris, macizas y compactas. Las rocas de edad Terciario corresponden a la Formación Mangú (Tm). Son arcillitas arenosas semicompactas, intercaladas con areniscas de grano medio a grueso y conglomerados semicompactos, con cantos hasta de cinco centímetros de origen ígneo, encerrados en una matriz arenosa arcillosa".

3.2 Estratigrafía

En términos generales, tal como se evidencia en el mapa geológico de Colombia 2023, el territorio del municipio de Maicao se encuentra conformados por depósitos aluviales y de llanuras aluviales, (Q-al, código 189 en el mapa), que cubren las copas de la Edad Terciaria, conformando una gran llanura con sedimentos de tipo arcillo-arenoso, semiconsolidados a no consolidados de origen aluvial y en parte eólico que cubren las unidades paleógenas y se encuentran distribuidas a lo largo del valle de los ríos Carrizpa y Paraguachón. Se estima un espesor de 60 metros (Espitia, 2003).

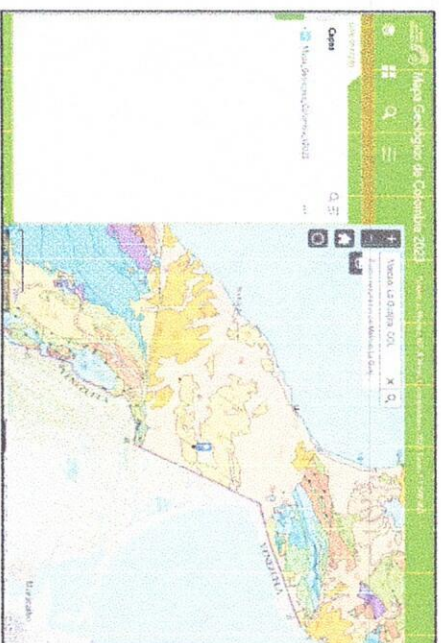


Ilustración 4. Estratigrafía región de Maicao. Servicio Geológico Colombiano

Así mismo predominio de depósitos acumulados de arenas eólicas Loes, (Q-e, representado por código 183 en el mapa), de poco espesor, formados por arena de tamaño medio, de color amarillo grisáceo a amarillo rojizo, compuesto holumentemente por granos de cuarzo bien seleccionados y redondeados (Lockwood, 1965) y pueden alcanzar hasta 20 metros de espesor.

3.3 Geología Estructural

En la región del proyecto, la falla de Oca es el rasgo estructural más importantes, tal como se muestra en el mapa del sistema geológico colombiano, presentando una dirección E-W de desplazamiento lateral derecho y delimita el extremo norte de la Sierra Nevada de Santa Marta, así como la Serranía del Perijá.

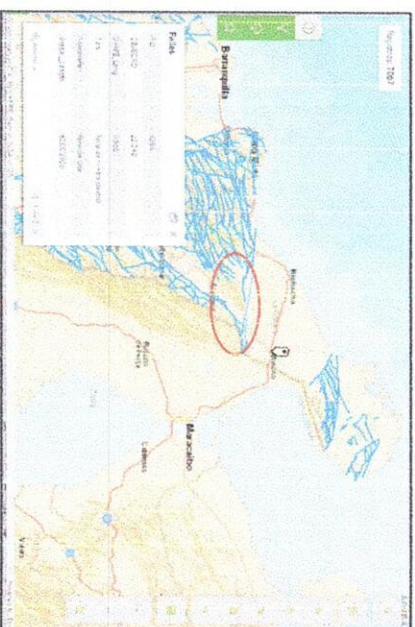


Ilustración 5. Ubicación de la falla de Oca. Mapa Geológico de Fallas. SGC

Esta falla se extiende aproximadamente por 265 kilómetros en territorio colombiano, donde se cruza con la falla Santa Marta-Bucaramanga y se prolonga hasta la costa oriental del Estado Falcón en Venezuela donde es cortada por la falla Boconó. Es una falla de tipo transcurrente cuyo rumbo promedio es N85,2°W +/- 7° y con una inclinación probablemente vertical a subvertical.

La falla de Oca presenta algunos rasgos que indican actividad neotectónica vertical asociada a una compresión sursuroeste, como son el desarrollo de valles lineales paralelos al trazo de la falla, drenajes reflejados, escarpes de fallas, los ríos Ranchería y Carrizpa varían su curso en la zona de falla, y se colocan casi paralelos al rumbo (Ortiz, et al. 1993)

3.3 Consideraciones Sísmicas

Teniendo en cuenta el mapa de amenazas sísmicas, establecido en la NSF-10, el municipio de Maticao, código 44430 (Gujaira) se encuentra localizado en una zona de amenaza sísmica intermedia y de acuerdo con dicho reglamento, los movimientos sísmicos de diseño corresponden a un Aa (aceleración pico efectivos en roca) de 0.15 y de un Av (velocidad horizontal pico efectiva) de 0.10.

El perfil de suelo típico es clasificado como "C", Así mismo el tipo de obra proyectado se encuentra clasificada en el Grupo de Uso I para estructuras de ocupación normal y el valor correspondiente a su coeficiente de importancia es de $I \approx 1.0$. Los valores de F_a , correspondiente para la zona de períodos cortos del espectro y F_v para la zona de períodos intermedios del espectro están representados en 1.0 y 1.3 respectivamente.

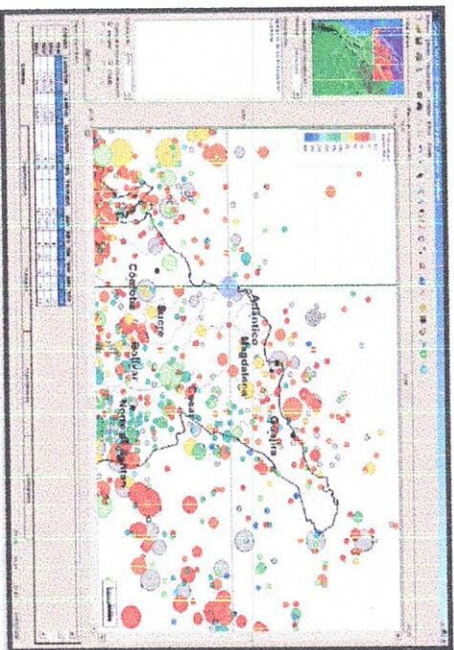


Ilustración 6. Eventos sísmicos ocurridos en la Costa Atlántica Fuente: RSN-C-INGEOMINAS 2006

Según el S.G.C el último evento sísmico con epicentro en el municipio de Maticao se registró en fecha 16/10/2021, con magnitud de 4.0 en la escala de Richter.

3.4 Aspectos Climáticos

Para los registros climáticos y demás parámetros ambientales relevantes, se acudió a la Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos del IDEAM a partir de la Estación 15085030 Escuela Agrícola de Carrizpa activa desde 1968 y de influencia en la zona del proyecto.

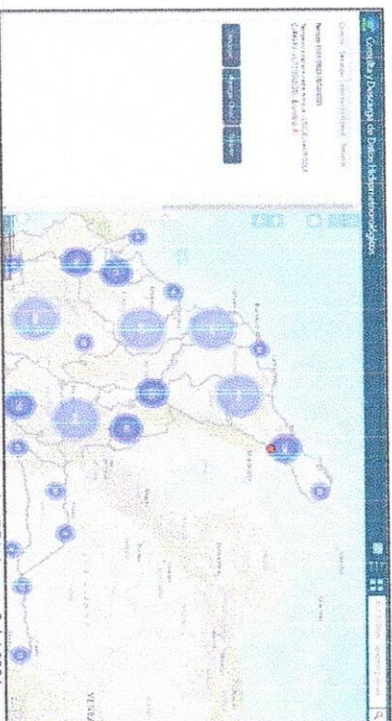


Ilustración 7. Consulta de información Estación 15085030. Fuente: IDEAM-enero 8 del 2024

Para el caso de las temperaturas, se presentan los registros del año 2023 y en donde se resalta la incidencia de las diferencias de temperaturas que se deben tener en cuenta en un análisis mecánico en la contribución de los esfuerzos debido al dilatación de las futuras losas.

Tabla 1. Registros de Temperatura

Mes	Temperaturas °C- Reporte 1-01-2023 a 31-12-2023			Diferencia de Temperatura °C
	Máxima	Media	Mínima	
Enero	30.74	25.51	22.77	7.97
Febrero	31.24	25.68	22.48	8.76
Marzo	31.28	26.70	23.44	8.04
Abril	33.20	27.81	24.14	9.06
Mayo	34.68	29.06	24.80	9.88
Junio	34.89	29.64	25.36	9.53
Julio	35.88	29.97	26.16	9.72
Agosto	38.16	30.45	25.76	12.4

Septiembre	35.11	29.34	25.35	9.76
Octubre	sin registro	sin registro	sin registro	*
Noviembre	32.67	27.98	24.98	6.77
Diciembre	31.75	27.53	24.76	6.92
Promedio Anual	33.65	28.15	24.55	9.03

Fuente: Eticocón 15085030 IDEAM

La precipitación es otro de los parámetros importantes, y se caracteriza en el municipio por su bajo régimen pluviométrico, debido muy seguramente a las altas temperaturas y si bien es cierto ha experimentado cambios significativos por los fenómenos climáticos cíclicos que en los últimos años se han presentado en el país. El registro de los valores mensuales correspondiente al periodo del 01-01-2023 al 31-12-2023, se indican en la tabla siguiente:

Tabla 2. Registro precipitación Eticocón 15085030

Precipitación mensual año 2023 (mm)											
Ene	Feb.	Mzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
9.5	10.4	38.6	112.6	139.9	51.1	12.6	93.9	296.2	*	178.6	15.6

Fuente: Eticocón 15085030 IDEAM

La precipitación acumulada del año 2023, sin contar con el registro del mes de octubre, fue de 959 milímetros y su denominación es catalogada en los meses de enero, febrero, julio y diciembre como "Escasa", mientras que, en el mes de septiembre pasado, su precipitación se consideró "Intensa", ya que se obtuvo registros por encima de los 281 milímetros.

Tabla 3. Tipo de precipitación.

Denominación	Precipitación diaria (mm/día)	Precipitación mensual (mm/mes)
Escasa	0-5	0-20
Ligero	6-10	21-40
Moderada	11-20	41-80
Fuerte	21.00-50.99	81.00-200.99
Muy Fuerte	51.00-89.99	201.00-280.99
Intensa	> 70.00	> 281.00

Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, 2008

Con relación a la humedad relativa, parámetro que está muy relacionado con las temperaturas, el registro disponible es como se señala en la tabla adjunta,

Tabla 4. Registro de Humedad Relativa

Humedad relativa año 2023 (%)											
Ene	Feb.	Mzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
100	98	98	100	100	98	100	95	90	*	92	90

Fuente: Eticocón 15085030 IDEAM

Para la información de la velocidad del viento, teniendo en cuenta que las tres (3) estaciones con influencia en la zona del municipio de Maicao, como son, la 15070160 Escuela Ceura (Pluviométrica), 15087080 Paraguaná (Utríngráfica) y 15085030 Escuela Agrícola Carripiá (Climática Ordinaria) no registran este tipo de parámetro, se acudió a los datos abiertos de la página de la NASA, que brinda información de cualquier punto del globo terrestre a partir de su localización de latitud y longitud en grados decimales y posee registros actualizados hasta el año 2022.

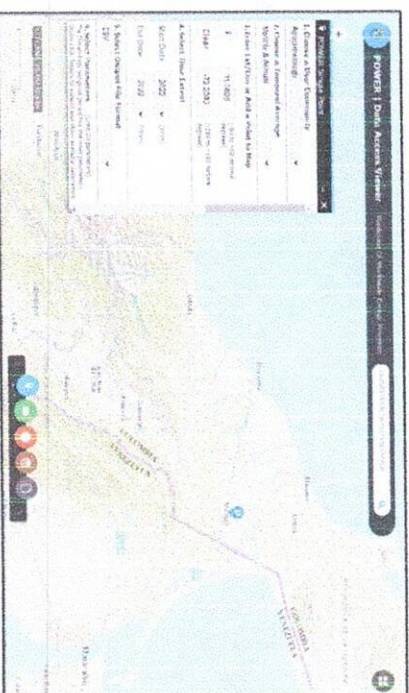


Ilustración 8. Registro para obtención de parámetro climático. Fuente: <https://power1arc.nasa.gov/data/access/viewer/>

Los registros obtenidos de la referida página se indican en la tabla siguiente,

Tabla 5. Registros mensuales de la velocidad del Viento

Velocidad del Viento (m/seg.)											
Ene	Feb.	Mzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
3.53	3.49	2.94	2.72	4.59	5.09	6.34	5.90	4.97	2.96	2.23	3.46

El promedio anual de la velocidad del viento es de 4.02 m/seg y según la escala de Beaufort (NOAA, 2008) su denominación corresponde a "Brisa Suave" por encontrarse en el rango de 3.4 -5.4 m/seg.

4. ANÁLISIS Y PROYECCIÓN DEL TRANSITO

Una de las variables más importantes en el diseño y comportamiento de una estructura de pavimento es el tránsito, donde el número y peso de los ejes son factores determinantes.

Para el análisis del tránsito, se consideró la información aportada de un aforo realizado durante tres (3) días en el periodo del 24 al 26 de diciembre del 2023 en uno de los corredores viales de mayor afluencia vehicular a pavimentarse y al cual se adjunta:

Tabla 6. Resultados de aforo vehicular (vehículos/día)

Aforos	Autos	Buses	C2P	C2G	C3-C4	C5	C6
DIA 1	234	60	7	0	2	0	0
DIA 2	208	55	14	0	1	0	0
DIA 3	149	43	5	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

El tráfico promedio diario semanal obtenido de 259 veh/día, son indicadores que los referidos corredores viales son de bajo volumen y su distribución porcentual es como sigue:

Tabla 7. Distribución del TPDs

TPD (v/día)	Distribución Porcentual (%)					
	Autos	Buses	Camiones	C2P	C2G	C3-C4
259	76.0	20.0	4.0	90.0	0.0	10.0

Fuente: Elaboración propia

La distribución de los cargos por eje asumida para el análisis del espectro de carga se fundamenta en las máximas autorizadas por el Ministerio de Transporte y que se consigna a continuación:

Tabla 8. Pesos máximo vehículos y ejes.

Tipo Vehículo	Peso Máximo (t)	Peso Ejes (t)			
		Direccional	Tosero	Tándem	
Bus	10.0	4.0	6.0	-	
C2P	8.0	2.8	5.2	-	
C2G	14.0	4.9	9.1	-	

C3-C4	28.0	8.4	19.6	-
C5	48.0	6.0	18.0	24.0
C6	52.0	7.8	18.2	26.0

Fuente Resolución 4100 Ministerio de Transporte

Para la proyección del número de repeticiones de cada tipo de eje y carga, el Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito, para un TPD menor de 500 vehículos/día, recomienda una tasa de crecimiento entre el 2% al 4%, resultado de un muestreo realizado en 28 estaciones de la red vial nacional. Para este caso en particular, la Consultoría propone asumir un valor del 3%.

El periodo de diseño considerado para este tipo de estructura es normalmente de veinte (20) años y teniendo en cuenta que se trata de una vía y/o colie con una sola calzada y un carril por sentido, su factor por carril de acuerdo con criterios de la PCA es de Factor carril = 1.0. Así mismo, como no se tiene aforo de la distribución direccional de los vehículos pasados, se recomienda en estos eventos asumir un Factor direccional del 50%.

La formulación para la proyección del tránsito es del tipo:

$$F_p = \frac{(1+r)^n - 1}{Ln(1+r)}$$

Donde:

F_p = factor de proyección

r = tasa de crecimiento (por ciento decimal)

n = periodo de diseño (años)

y en la determinación del número de vehículos comerciales en el carril de diseño durante el periodo de diseño, NV/C, la expresión es la siguiente:

$$NV/C = 365 \cdot TPD \cdot \%VC \cdot F_d \cdot F_{ca} \cdot F_p$$

- % vehículos comerciales (VC): 24.0%
- Factor de proyección: 27.2714
- Número de Vehículos comerciales diarios en el carril de diseño: 31

- Número de Vehículos comerciales en el carril de diseño durante el período de diseño: 310,517

Efectuado el análisis por cada mil (1000) vehículos comerciales, se tiene:

Tabla 9. Número de vehículos comerciales por día por carril

Vehículo	No. vehículos diarios/carril	N.V.C./día/carril/por cada 1000 vehículos comerciales
BUS	18	750
C2P	5	208
C2G	0	0
C3-C4	1	42
C5	0	0
TOTAL	24	1000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Número de ejes en el carril de diseño durante el período de diseño

Carga Eje (t)	Ejes por cada 1000 vehículos comerciales	Número de ejes en el carril de diseño/Período de diseño
	EJES SIMPLES RUEDA SIMPLE	
6.0	750	232,925
5.2	208	64,598
4.0	750	232,925
2.8	208	64,598
TOTAL	1,916	595,046
	EJES SIMPLES RUEDA DOBLE	
8.4	42	13,044
TOTAL	42	13,044
	EJES TANDEM	
19.6	42	13,044
TOTAL	42	13,044

FUENTE: Elaboración propia

Para el análisis del tránsito por la metodología del Manual de Pavimento de Concreto del Instituto Nacional de Vías, los cálculos utilizando los factores camión de la Universidad del Cauca (1996) reporto un tránsito de diseño de 328,564 ejes equivalentes acumulados de 8,2 toneladas en el carril de diseño durante el período de diseño.

5. CARACTERIZACIÓN GEOTECNICA

Es importante anotar, que una exploración geotécnica, debe estar encaminada a determinar, el origen de los suelos, la distribución granulométrica de las partículas constituyentes, la plasticidad, su capacidad de drenar, la compresibilidad, su resistencia al corte y la capacidad de soporte, aspectos estos que deben ser tratados a partir de ensayos directos o indirectos, dependiendo la magnitud del proyecto.

La exploración geotécnica como uno de los insumos para el diseño del pavimento fue adelantado por la firma INDALLEN SAS en el período comprendido entre el 28 de diciembre de 2023 y 05 de enero del año 2024 y se orientó a la ejecución de diez (10) apiques exploratorios sobre los corredores viales de la carrera 1ª entre calles 23 y 24; carrera 18 entre calles 22 y 24; carrera 1B entre calles 16 y 20; carrera 1C entre calle 14 y 16; carrera 2 entre calle 13 y 16; carrera 31 entre calle 22 y 24; calle 14 entre carrera 1C y carrera 2; calle 23 entre carreras 26 y 31; calle 23 entre carreras 1A y carrera 18 y que consistieron en una serie de ensayos de campo y de laboratorio tales como Granulometría (INV-E-123-2013), Límites líquidos (INV-E-125), Límites Plásticos (INV-E-126), Humedad Natural (INV-E-122) y Penetración Dinámica de Cono PDC (INV-E-172-2013), con el fin de caracterizar los suelos de subsuelo, determinando de esta forma la calidad relativa de éstos materiales de fundación y el análisis de su respuesta de comportamiento ante las sollicitaciones de carga, entorno climático y ambiental de la zona

La profundidad media de exploración se estableció en 1,50 metros por debajo de la superficie actual de rasante de las calles existentes y los resultados de cada uno de estos ensayos de caracterización se encuentran referenciados en los anexos del informe presentado por la firma INDALLEN SAS, el cual es base para los análisis subsiguientes

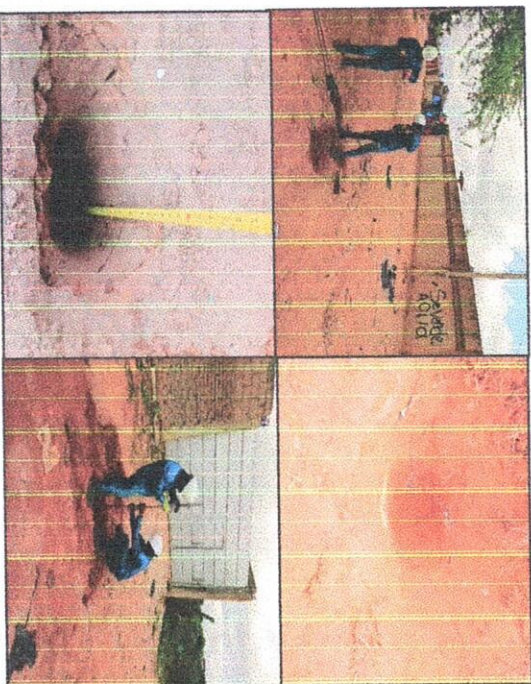
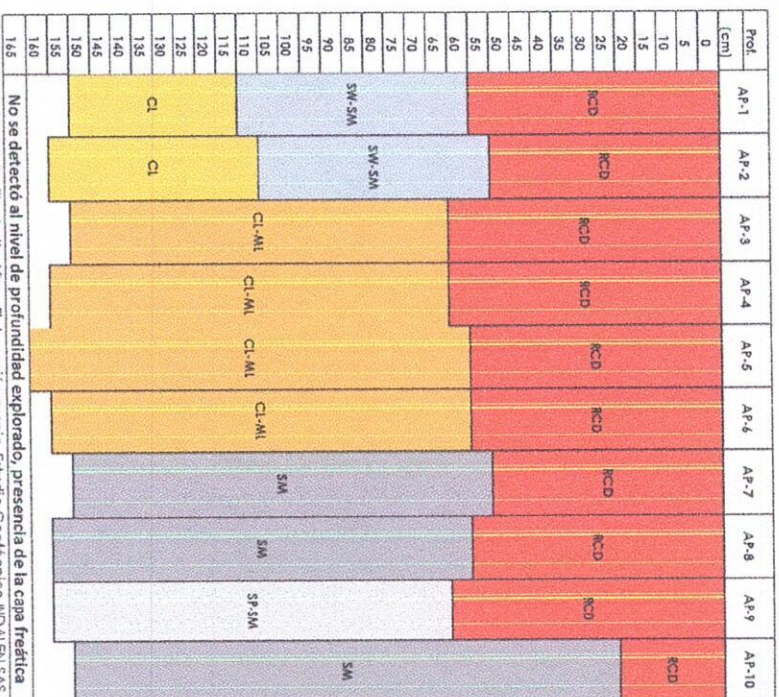


Ilustración 9. Apiques exploratorios. Fuente: Estudio Geotécnico-INDALEN SAS

5.1 Perfil Estratigráfico

El perfil estratigráfico muestra que superficie existente de los corredores viales se encuentran constituidos por rellenos de materiales producto del residuo de la demolición de construcciones (RCD) que fueron depositados a través del tiempo en espesores promedio de 0,40 a 0,50 m, a excepción en el muestreo del apique No. 10, en donde el espesor de este material depositado es de unos 0,20 m.

El 60% del material que subyace a estos materiales residuos de construcción se encuentran representados por materiales granulares clasificados como arenas limosas mal graduadas, con porcentajes que pasa el tamiz # 40 del orden entre el 30,4% al 96,8%, contenido de humedad natural mínimo del 2,8% hasta un valor máximo del 8,6%, y el 40% restante que actúan como soporte inmediato de esos residuos corresponden a arcillas limosas color café, con porcentajes del pasa 200 entre el 52,2 % al 59,8%.



5.2 Compresibilidad

El análisis de compresibilidad de los suelos con matriz arcillosa se correlacionó con la expresión de Skempton (1994) en función del límite líquido y que expresa, la siguiente formulación:

$$C_c = 0,009 * (LL - 10)$$

Es de anotar, que esta correlación presenta un mejor coeficiente de ajuste para suelos de compresibilidad media a baja de acuerdo a la investigación adelantada sobre correlación entre el límite líquido y el coeficiente de compresibilidad para arcillas de llanuras costeras como parte del proyecto Modelación mediante métodos numéricos del sistema de fundación del Viaducto al Gran Manglar, desarrollado en la Maestría en Geotecnia en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, año 2016 por el ingeniero Carlos Alberto Martínez Cepeda.

En nuestro caso particular, los resultados muestran valores de índices de compresibilidad para los estratos arcilloso-limosos CL-ML de 0,09 a 0,14 y para los arcillosos CL del orden de 0,23 a 0,25, indicadores de suelos con compresibilidad de ligera a baja para los primeros relacionados y de Moderada a Media para los suelos CL, basada en la correlación de la tabla adjunta,

Tabla 11. Compresibilidad de suelos arcillosos

Compresibilidad	Índice de Compresión	Límite Líquido (%)
Ligera a baja	0 a 0,19	0 a 30
Moderada a Media	0,20 a 0,29	31 a 50
Alta	0,40 o más	>51

Fuente: Sowers y Sower, London 1978

Los valores de la consistencia relativa de las muestras analizadas se sitúan entre 1,65 a 2,05, mayores que 1,00, lo que es indicador de que el suelo presenta una consistencia dura y tendrá un comportamiento rígido.

El perfil de humedad en la interfase de los rellenos existentes de RCD y el suelo subyacente se representan en la siguiente ilustración,

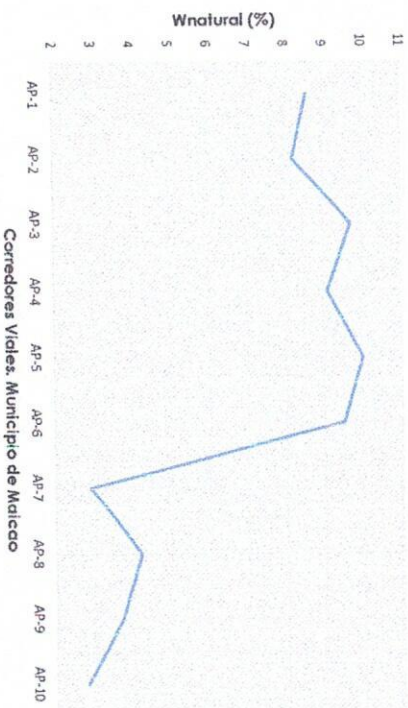


Ilustración 11. Perfil de humedad. Elaboración propia

Es importante anotar que los valores de humedad natural obtenidos se encuentran por debajo de los contenidos de límite plástico de las muestras analizadas y presente en los corredores viales urbanos explorados, porcentajes de humedad mínima para el cual el suelo puede ser amasado.

5.3 Plasticidad

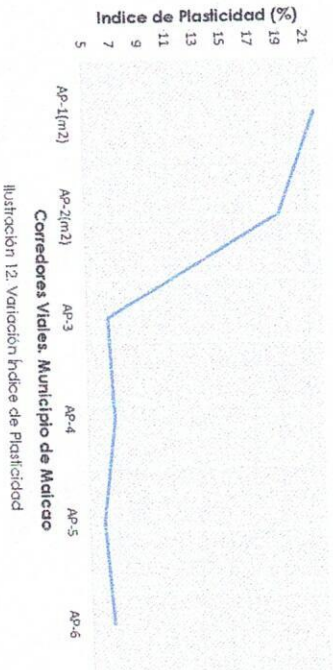
Con relación a las características de plasticidad de los suelos finos presente en los materiales explorados, su variación se encontró entre el 6% al 21,7%, esos valores representan suelos arcillosos "ligeramente a Medianamente plástico" y con característica de resistencia en estado seco tipo ligera, en gran proporción, según la correlación obtenida de la Teoretical Soil Mechanic.

Tabla 12. Correlación IP

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

Fuente: Teoretical Soil Mechanic

La representación gráfica de los valores de índice de plasticidad en cada uno de los estratos se ilustra a continuación,



5.4 Deformabilidad

Respecto a la deformabilidad de los suelos explorados con presencia de matriz arcillosa, aunque no se conocieron información de % de expansión en probetas de CBR, las correlaciones de investigaciones a partir de sus propiedades índices, como la expresión del U.S Army Corp of Engineer, en el que se obtiene un % de expansión libre, en función de sus propiedades índices (LL y W₁₉) del alrededor de 2.4% para los clasificados como CL-ML, valor que se encuentran ligeramente por encima de los límites establecidos en el Artículo 220 de las Especificaciones Generales de Construcción del Instituto Nacional de Vías.

5.5 Características Drenantes

En el análisis de la capacidad de drenar de los suelos explorados, se asume como referencias las correlaciones establecidas en el Manual de Cimentaciones para obras de carreteras del Instituto Nacional de Vías 2012 y en la que se tiene una estimación, para los suelos de características areno-limosos de 10% a 10%, con calificación de un mal drenaje y de 10% a 10% para los arcillosos con características de suelos prácticamente impermeables

Tabla 13. Característica de drenaje

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD k (cm/s)			
10 ²	Gravos limpios		Muy buen drenaje
10 ¹			
10 ⁰			
10 ⁻¹			
10 ⁻²	Arenas limpias mezclas grava-arena	Arcillas fisuradas y diferidas	Buen drenaje
10 ⁻³			
10 ⁻⁴			
10 ⁻⁵			
10 ⁻⁶	Arenas muy limas, limos y arena limosas		Mal drenaje
10 ⁻⁷			
10 ⁻⁸	Limos-arcillosos		Prácticamente impermeable
10 ⁻⁹			

Fuente: Manual de diseño de cimentaciones superficiales INV-2012

Referente al peso específico seco en estado natural de estos suelos, se pueden establecer a partir de correlaciones indirectas plasmados en muchos documentos de investigación, como el expresado por el Comité Alemán de Defensa, según tabla adjunta, y en la que asocia a suelos arcillosos, valores de peso específico de 1.8 t/m³ y para arenas limosas un peso específico de 1.9 t/m³ respectivamente.

Tabla 14. Valores de Pesos Específicos suelos

Clase de suelo	Peso Específico (t/m ³)		Valores de cálculo Resistencia final		Resistencia inicial
	Energido	Suave	Ángulo de rozamiento ϕ°	Cohesión c' (t/m ²)	
Arena suelta redondeada	1.8	1.0	30	-	-
Arena suelta angular	1.8	1.0	32.5	-	-
Arena semiblanca redondeada	1.9	1.1	32.5	-	-
Arena semiblanca angular	1.9	1.1	35	-	-
Grava sin arena	1.6	1.0	37.5	-	-
Grava gruesa angular	1.8	1.1	40	-	-
Suelos cohesivos					
Arcilla semidura	1.9	0.9	25	2.5	5-10
Arcilla dura	1.8	0.8	20	2	2.5-5
Arcilla moldeable	1.7	0.7	17.5	1	1-2.5
Massa glacial sólida	2.2	1.2	30	2.5	20-70
Arcilla cenicienta	2.1	1.1	27.5	1	5-10
Arcilla cenicienta-limosa blanda	1.9	0.9	27.5	-	1-2.5
Limo	1.8	0.8	27.5	-	1-5
Sedimento ligeramente orgánico	1.7	0.7	20	1	1-2.5
Sedimento muy orgánico, fuertemente orgánico, blando	1.4	0.4	14	1.5	1-2
Turba	1.1	0.1	15	0.5	-
Turba moderadamente preconsolidada	1.3	0.3	15	1	-

Fuente: Comité Alemán de Defensa, EAU-1970

5.6 Potencial de Colapso

Un análisis indirecto, del potencial de colapso de estos suelos, en función de parámetros del límite líquido y la densidad seca natural, obtenidos por correlaciones indirectas, indican que para el rango de los límites líquidos encontrados, entre 21.1% a 37.5%, según la gráfica adjunta

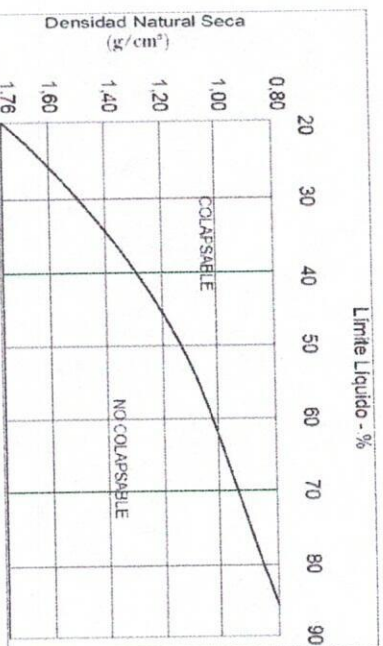


Ilustración 13. Colapso de suelo. Fuente: Manual de Criterios para Correlaciones INV 2012

los suelos analizadas, para las condiciones de pesos específicos de 1.8 t/m³ a 1.9 t/m³, la estimación establecida es que no son propensos a fenómenos de colapso.

5.7 Resistencias al corte no drenado

La resistencia al corte no drenado de estos suelos con matriz arcillosa se puede inferir a través de la correlación de Yimaz (2000) que se muestra a continuación,

$$S_u = e^{(0.026-1.211I)}$$

Donde:

S_u = Resistencia al corte no drenada, kg/cm²

I_L = Índice de liquidez del suelo

Para los suelos arcillo-limoso de baja plasticidad, la resistencia al corte no drenado el rango varía entre 2.25 a 3.66 kg/cm² mientras que para los suelos arcillosos de baja plasticidad detectados en los opiques 1 y 2, su resistencia al corte no drenado se sitúa en valores entre 1.42 a 2.25 kg/cm².

El resumen de los resultados de los ensayos practicados a las muestras alteradas obtenidas de los diez (10) opiques exploratorios en los distintos corredores viales referente del proyecto de pavimentación, se indican en la tabla siguiente.

Tabla 15. Resumen de exploración opiques

APIQUE No.	MUESTRA	PROF (m)	% Paso Tamiz			w%	LL	LP	IP	USC
			No. 4	No. 40	No. 200					
1	M-1	0.55-1.10	61.7	44.6	14.5	8.6	-	-	NP	SW-SM
	M-2	1.10-1.50	99.9	98.2	80.4	9.9	37.5	15.8	21.7	CL
2	M-1	0.50-1.05	60.7	43.3	12.5	8.2	-	-	NP	SW-SM
	M-2	1.05-1.55	99.9	98.0	84.5	4.0	35.4	13.9	19.0	CL
3	M-1	0.55-1.50	99.6	93.4	59.8	9.7	20.4	13.9	6.5	CL-ML
	M-2	0.55-1.55	99.5	92.7	55.8	9.1	21.1	14.2	6.9	CL-ML
4	M-1	0.50-1.60	99.5	92.1	52.2	10.0	22.3	16.3	6.0	CL-ML
	M-2	0.55-1.55	97.6	91.8	53.9	6.2	25.5	19.0	6.6	CL-ML
5	M-1	0.50-1.50	99.6	96.8	45.3	2.9	-	-	NP	SM
	M-2	0.55-1.55	96.0	90.3	30.6	11.2	4.2	-	NP	SP-SM
6	M-1	0.55-1.55	96.0	90.3	30.6	11.2	4.2	-	NP	SP-SM
	M-2	0.55-1.55	96.0	90.3	30.6	11.2	4.2	-	NP	SP-SM
7	M-1	0.55-1.55	96.0	90.3	30.6	11.2	4.2	-	NP	SP-SM
	M-2	0.55-1.55	96.0	90.3	30.6	11.2	4.2	-	NP	SP-SM
8	M-1	0.55-1.55	96.0	90.3	30.6	11.2	4.2	-	NP	SP-SM
	M-2	0.55-1.55	96.0	90.3	30.6	11.2	4.2	-	NP	SP-SM
9	M-1	0.55-1.55	96.0	90.3	30.6	11.2	4.2	-	NP	SP-SM
	M-2	0.55-1.55	96.0	90.3	30.6	11.2	4.2	-	NP	SP-SM
10	M-1	0.20-1.50	100.0	89.8	10.8	2.8	-	-	NP	SP-SM
	M-2	0.20-1.50	100.0	89.8	10.8	2.8	-	-	NP	SP-SM

Fuente: Estudio de suelos-INDELAN SAS

5.8 Características de rigidez del suelo natural

Dentro de las variables requeridas en el diseño de una estructura de pavimento rígido, es fundamental el conocimiento del módulo de reacción del suelo de subrasante el cual puede obtenerse mediante ensayos de placa de carga estática y/o dinámica; pero, por las dificultades que este tipo de ensayo conlleva y teniendo en cuenta la clasificación como nivel 3 de diseño para este proyecto en particular, la AASHTO recomendando obtener este parámetro mediante correlación con valores de CBR.

Según el perfil estratigráfico de los corredores viales establecidos en el alcance del proyecto y referenciados en el Capítulo 2 del presente informe, existe la presencia de unos depósitos de residuos de materiales de construcción en un espesor promedio de 0.50 m, que inevitablemente deben ser sustituidos por materiales de CBR.

relleno seleccionado acorde al Artículo 220-22 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías. Este material de relleno seleccionado, que se recomienda en lo posible acreditar un CBR de laboratorio mínimo de 10%, va a constituirse en el suelo de subrasante sobre el cual se apoyará directamente las capas de subbase granular y la losa de concreto hidráulico a proyectarse. Sin embargo, se hace importante la caracterización de la rigidez del suelo natural, para lo cual se llevó a cabo la ejecución de diez (10) ensayos de Penetración Dinámica de Cono (PDC) y a través de la pendiente de penetración determinar por correlación los valores de CBR, según lo establece la norma INV-E-172-2013.

El resumen de estos resultados contenidos en el informe de suelos de la firma INDELAN SAS, se describen a continuación:

Tabla 16. Resumen ensayos de penetración dinámica de cono

PDC- No.	Pendiente (mm/golpe)	CBR (%)	USC
1	44.00	4.2	SW-SM
	44.10	4.2	CL
2	35.00	5.4	SW-SM
	36.00	5.3	CL
3	33.00	5.8	CL-ML
	35.00	5.4	CL-ML
4	25.00	7.9	CL-ML
	23.80	8.4	CL-ML
5	33.50	5.7	CL-ML
	37.60	5.0	CL-ML
6	44.00	4.2	CL-ML
	43.00	4.3	CL-ML
7	32.40	5.9	SM
	40.00	4.7	SM
8	33.30	5.8	SP-SM
	38.40	4.9	SP-SM
9	33.60	5.7	SP-SM
	38.20	4.9	SP-SM
10	26.80	7.3	SP-SM
	30.60	6.3	SP-SM

Fuente: Estudio de suelo-INDELAN SAS

Como puede observarse los valores de CBR son muy similares, por lo que para el criterio de diseño se puede asumir una sola unidad homogénea y obtener a partir de esa información un CBR de diseño del suelo natural.

A fin de determinar el CBR de diseño del suelo natural, se asumió el criterio de la media de la AASHTO representado en la siguiente formulación:

$$CBR_{diseño} = CBR_{promedio} - (Z_r \cdot \sigma)$$

Donde:

$CBR_{diseño}$ = valor representativo de la unidad de diseño (%)

$CBR_{promedio}$ = valor promedio de los CBR obtenidos (%)

Z_r = valor normal estándar para un Nivel de Confianza

σ = desviación estándar de los valores de CBR

Para un nivel de confiabilidad asumido del 80% corresponde un valor de Z_r en la curva de Gauss de 0,841 y con un CBR promedio calculado de los datos suministrados de 5,6%, se obtiene un valor de CBR diseño de:

$$CBR_{diseño} = 5,6\% - (0,841 \cdot 1,18) = 4,6\%$$

Para la condición de este CBR de la unidad de diseño la clasificación del suelo como subrasante Pobre a regular, como lo manifiesta el Ingeniero Hugo Rondón en el siguiente criterio:

Tabla 17. Clasificación de suelos de subrasantes

Valor de CBR (%)	Clasificación General
0-3	Muy pobre
3-7	Pobre a regular
7-20	Regular
20-50	Buena
> 50	Excelente

Fuente: Pavimento, Materiales, Construcción y Diseño. Pág 352

sin embargo, teniendo en cuenta que sobre este suelo natural se recomendando colocar una capa de relleno de material seleccionado en un espesor promedio de 0,50 m y con un CBR mínimo recomendado del 10% en reemplazo del depósito acumulado de materiales producto de residuos de construcción en la superficie actual de los corredores viarios, se va a tener un incremento del CBR de diseño, denominado CBR de mejoramiento, el cual es determinado mediante la formulación de IVANOV y que a continuación se describe:

$$E_g = \frac{E_0}{1 - \frac{2}{\pi} \left(1 - \frac{1}{\pi^{3/2}} \right) \arctan \left(\frac{\pi s}{2d} \right)}$$

$$n = \sqrt[12]{\frac{E_1}{E_0}}$$

Donde:

E_g = Módulo equivalente de subrasante mejorada ($\frac{kg}{cm^2}$)

E_0 = Módulo de elasticidad de la subrasante ($\frac{kg}{cm^2}$)

E_1 = Módulo de elasticidad del material de terraplen o relleno ($\frac{kg}{cm^2}$)

s = Espesor del material de relleno seleccionado (cm)

d = Radio del área cargada (cm)

El Módulo de cada capa se obtiene mediante la ecuación de la AASHTO que expreso:

$$M_r \left(\frac{kg}{cm^2} \right) = 130 \cdot CBR^{0,714}$$

Resolviendo las anteriores ecuaciones para un área de radio cargada de 15,2 cm, CBR del suelo natural de 4,6%, CBR del material de relleno seleccionado de 10%, espesor promedio de relleno de 50 cm, se obtiene un Módulo equivalente de la subrasante mejorada de 629,31 $\frac{kg}{cm^2}$, que utilizando de nuevo la ecuación de la AASHTO, se traduce en un CBR equivalente del 9,1%, valor este que representará el CBR de diseño de la subrasante y que tendrá una clasificación de característica regular por situarse en el rango del 7% al 20% según la tabla anterior.

6. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

El Pavimento es una estructura conformada por varias capas de materiales seleccionados, constituido entre la subrasante y la superficie de rodamiento. Los materiales que constituyen el pavimento deben cumplir ciertas especificaciones con el fin de resistir adecuadamente los esfuerzos transmitidos por los cargos repetitivos del tránsito y la acción del intemperismo; igualmente debe proporcionar una circulación cómoda y segura a los usuarios de la vía. Por consiguiente, del buen dimensionamiento de cada una de las capas que conforman la estructura, dependerá básicamente el desempeño funcional y duración de este durante su puesta en servicio.

6.1 Metodología de la PCA

Para el diseño de la estructura del pavimento rígido, se consideró la metodología de la Portland Cement Association (PCA) desarrollado por P. Fordyce y R. Packard publicado en 1984, y la establecida por el Instituto Nacional de Vías a través de su Manual de Pavimentos de Concreto.

La metodología de diseño de la PCA se fundamenta en dos (2) criterios fundamentales:

Criterio de fatiga, para mantener los esfuerzos que se generan en el pavimento por la acción de los cargos, incluidas las de alabeo y curvado de la losa, dentro de límites de seguridad y con ello prevenir la fatiga por agrietamiento.

El alabeo es la deformación cóncava hacia arriba de la losa debido a variaciones de su contenido de humedad con la profundidad. El efecto del alabeo es doble: Pérdida de soporte a lo largo de los bordes de la losa y restricción de los esfuerzos a compresión en el fondo de la losa. El curvado se refiere al comportamiento de la losa debido a las variaciones de temperatura. Durante el día, cuando la cara superior está más caliente que la parte inferior, se desarrollan esfuerzos restringidos de tensión en el fondo de la losa. Durante la noche, la distribución de temperatura es a la inversa y los esfuerzos de tensión restringidos se desarrollan en la superficie de la losa.

Usualmente el efecto combinado de los esfuerzos de alabeo y de curvado son substratados de los esfuerzos de carga, debido a que el contenido de humedad y temperatura en la parte inferior de la losa, exceden mayormente a los de la parte superior.

El uso del criterio por fatiga se origina en la hipótesis de Miner, que dice que la resistencia a la fatiga no consumida por las repeticiones de una carga está disponible para las repeticiones de otras cargas. La fatiga total consumida no debería exceder al 100%. El número permisible de repeticiones para una carga axial dada se determina en base a la relación de esfuerzos (esfuerzos de flexión dividido entre el módulo de rotura a los 28 días).

Criterio de erosión, para limitar los efectos de la deflexión de la estructura del pavimento en los bordes de las losas, juntas y esquinas y controlar la erosión del suelo de soporte. Muchas repeticiones de carga por eje pasado en las esquinas y bordes de la losa causan bombeo; erosión de los materiales de subrasante, subbase y banquetas de hormigón; vacíos debajo y al lado de la losa; y la falta de las juntas del pavimento, especialmente en pavimentos con juntas sin pasadores.

Los parámetros de diseño que constituyen la metodología se relacionan a continuación:

- ⇒ Resistencia del concreto a la flexión, establecido mediante el módulo de rotura, M_R .
- ⇒ Resistencia del suelo de subrasante, establecido mediante el módulo de reacción de la subrasante y correspondiente a resultados de ensayo de placa y cuantificado por el parámetro K .
- ⇒ Los pesos, frecuencias y tipos de cargos axiales de los vehículos comerciales que la estructura del pavimento soportará.
- ⇒ El periodo de diseño, que normalmente se considera de veinte (20) años.

Los valores de cada uno de estos parámetros establecidos para este proyecto particular se describen a continuación:

6.1.1 Módulo de Reacción del apoyo de la losa (K)

El Módulo de Reacción del apoyo de la losa (K) o Módulo de Reacción del conjunto Granular/Subrasante, se obtiene mediante las respectivas correlaciones entre la capacidad de soporte CBR de la subrasante y el Módulo de Reacción K_{rt}.

Dadas las características del material de subrasante para los tramos de los apiques # 1 al # 10 se tiene un CBR de la capa mejorada a través de la expresión de IVANOV, del 9.1%, en el cual se incluye los 500 mm de material de relleno seleccionados y que representa de acuerdo con la correlación de O'Riherthy C. (gráfica adjunta) un módulo de reacción de subrasante, K_{rt} de 50 Mpa/m.

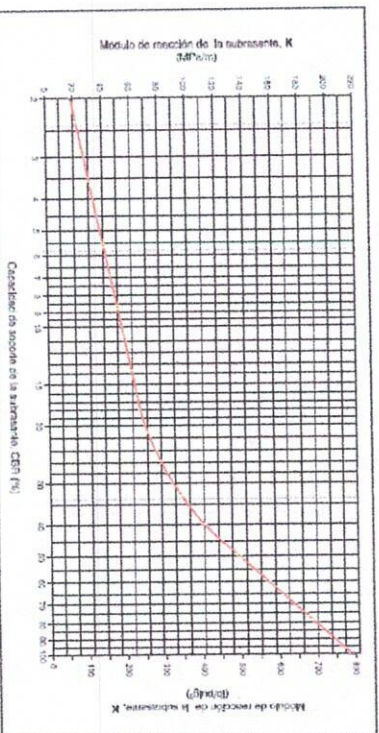


Ilustración 14. Relación CBR % y valor de K. Fuente Highway Segunda Edición Londres 1974

Teniendo en cuenta la colocación de una capa de subbase granular, con requerimientos de calidad establecido en el Artículo 320-22 y/o actualizadas de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías, de 150 mm que además de servir como una superficie homogénea de apoyo a la losa de concreto hidráulico y contribuir a prevenir el fenómeno de erosión del material de soporte, el módulo del conjunto losa-subbase contribuirá a un incremento en la capacidad de soporte del pavimento. En la tabla 18, se interpola el incremento en el módulo de reacción del apoyo de la losa K_o en un valor aproximado de 56.55 Mpa/m.

Tabla 18. Efecto de la subbase granular sobre los valores de K

VALOR DE K PARA LA SUBRASANTE	VALOR DE K PARA LA SUBBASE GRANULAR				
	150 mm	225 mm	300 mm	375 mm	450 mm
Mpa/m	Mpa/m	Mpa/m	Mpa/m	Mpa/m	Mpa/m
Lb/plg²	Lb/plg²	Lb/plg²	Lb/plg²	Lb/plg²	Lb/plg²
20	26	32	38	44	50
40	49	57	66	75	84
60	66	76	86	96	106
80	80	90	100	110	120

Fuente Portland Cement Association

6.1.2 Tránsito

Para la aplicación de la metodología de la PCA-84, es fundamental la determinación del Espectro de Carga correspondiente al periodo de diseño. La determinación del número de repeticiones esperadas por cada tipo de eje (simple, tandem y tridem) se puede observar en la Tabla 10 del presente documento.

6.1.3 Transferencia de Carga

Para el diseño del pavimento se ha considerado que las losas estarán dotadas de pasadores de cargas para transferencias de cargas, constituidas por barras lisas y localizadas en las juntas transversales.

6.1.4 Factor de seguridad de carga y repeticiones

El método de diseño considera que las cargas y repeticiones deben ser mayoradas por un factor de seguridad que pueden ser del orden de 1.0 para vías de bajo volumen de tráfico pesado, 1.1 para calles y vías arteriales con volumen de tráfico moderado, y un factor de 1.2 para vías principales con altos volúmenes de tráfico pesado. Dadas las condiciones particulares de este proyecto el factor de seguridad de carga y mayoración de repeticiones se asume de 1.0 para carga y 1.2 para el de repeticiones.

6.1.5 Efecto Berma

El esfuerzo más crítico en el pavimento rígido se produce cuando las llantas de los vehículos están colocadas cerca al borde del pavimento. Cuando una berma de

concreto se liga al carril, generándose una distancia de por lo menos 0,60 m, entre las llantas y cada uno de los bordes de la losa (interno-externo), la magnitud del esfuerzo crítico se reduce considerablemente. Para las condiciones particulares establecidas en el proyecto la consideración del diseño es sin efecto de bermas.

6.1.6 Módulo de Rotura de la losa (MR)

Para el diseño del pavimento se estableció el Módulo de Rotura de la losa de concreto hidráulico, a los veintiocho (28) días de curado controlado en 4,2 Megapascal (42 kg/cm²), siguiendo la recomendación de la AASHTO para calles urbanas secundarias, como se indica:

Tabla 19. Módulos de rotura recomendados

Tipo de Pavimento	Kg/cm ²	psi
Autopistas	48,0	682,7
Carreteras	48,0	682,7
Zonas industriales	45,0	640,1
Urbanas principales	45,0	640,1
Urbanas secundarias	42,0	597,4

Fuente AASHTO

6.1.7 Módulo de Elasticidad del concreto

Este parámetro está relacionado con la calidad del concreto y su determinación se realiza por la norma ASTM C469, sin embargo su valor se puede estimar mediante correlaciones como la sugerida por la AASHTO en función del módulo de rotura y que se detalla a continuación:

$$E_c (\text{psi}) = 6,750 \cdot MR$$

Para el módulo de rotura asumido de 42 Kg/cm², el módulo de elasticidad correspondiente es de 27,905 Megapascal (4,050,000 psi).

6.1.8 Control por Fatiga y Erosión

Conforme a la metodología aplicada, el espesor de diseño de la losa de concreto, es aquel que para el cual los valores de consumo por fatiga y consumo por erosión, son inferiores al 100%.

6.1.9 Determinación del espesor de la losa

Para la determinación del espesor de la losa a partir de los parámetros antes relacionados y que se resumen en la tabla 20, se hace uso del software BS-PCA de licencia gratuita, desarrollado por el ingeniero Efraín Solano de la Universidad del Cauca, que facilita en forma iterativa la verificación de los consumos de fatiga y

de erosión a partir de los análisis de sensibilidad de los espesores de losos establecidos.

Tabla 20. Valores de parámetros para modelación

DATOS DE ENTRADA	VALOR	ESPEORES (mm)				CONSUMOS TOTALES (%)
		SUBBASE	LOSA	ESFUERZO	EROSIÓN	
Módulo de Reacción combinado (Mpa/m)	56,65	150	150	121,4	9,17	
Módulo de Rotura (Mpa)	4,2	150	180	0,84	1,64	
Pasadores	SI					
Efecto Bermas	No					
Factor Seguridad Carga	1,0					
Factor Mayoración	1,2					

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados obtenidos la estructura de pavimento recomendada por la metodología de la PCA consiste en una losa de espesor optimizada de 180 mm apoyada sobre un material tipo subbase granular de 150 mm la cual arroja un consumo total de esfuerzos del 0,84% y un consumo total por erosión de 1,64%. El espesor de losa inicial de concreto propuesto de 150 mm no satisface los criterios de la PCA, en la que establece que los consumos totales de esfuerzos y de erosión deben estar por debajo del 100%.

6.2 Metodología del Instituto Nacional de Vías

Esta metodología de diseño empírica tiene como fundamento el Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto para Vías con Bajos, Medios y Altos Volúmenes de Tráfico, la cual establece un catálogo de estructuras en función de las variables más importante que inciden en la determinación de espesores y cualidades de los copos de un pavimento.

Los parámetros de diseño que aborda la metodología se relacionan a continuación:

- ➔ Tráfico y periodo de diseño.
- ➔ Características de resistencia de los suelos de subrasante.
- ➔ Tipo de material de soporte para la estructura del pavimento.

- ⇒ Resistencia a la flexión del concreto a los 28 días (MR).
- ⇒ Transferencia de carga entre losas y confinamiento lateral.

Los valores de cada uno de estos parámetros establecidos para este proyecto particular son los que a continuación se describen.

6.2.1 TRANSITO DE DISEÑO

Esta variable, de acuerdo con lo establecido en el Capítulo 4 del presente informe y considerando el valor del número acumulado de ejes equivalentes de 8,2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño de veinte (20) años se encuentra representada en 328,564 de ejes equivalente, lo cual según la Tabla 3.1 del manual de diseño adjunto, categoriza el tránsito como **10**.

Categoría	Tipo de Vía	Trafo	Límite acumulado de 8.2.1
T9	(R) - (E)	D ≥ 320	< 1,000,000
T1	(R) - (E) - (C)	207 ≤ D < 320	1,000,000 ≤ 1,000,000
T2	(R) - (E) - (C) - (D)	607 ≤ D < 1,300	1,000,000 ≤ 1,000,000
T3	(R) - (E) - (C) - (D) - (E)	1,307 ≤ D < 2,500	1,000,000 ≤ 1,000,000
T4	(R) - (E) - (C) - (D) - (E) - (F)	2,507 ≤ D < 3,300	1,000,000 ≤ 1,000,000
T5	(R) - (E) - (C) - (D) - (E) - (F) - (G)	3,307 ≤ D < 4,000	1,000,000 ≤ 1,000,000
T6	(R) - (E) - (C) - (D) - (E) - (F) - (G) - (H)	4,007 ≤ D < 5,000	1,000,000 ≤ 1,000,000
T7	(R) - (E) - (C) - (D) - (E) - (F) - (G) - (H) - (I)	5,007 ≤ D < 6,000	1,000,000 ≤ 1,000,000
T8	(R) - (E) - (C) - (D) - (E) - (F) - (G) - (H) - (I) - (J)	6,007 ≤ D < 7,000	1,000,000 ≤ 1,000,000

Tabla 3.1. Categorías de tránsito para la selección de espesores

6.2.2 RESISTENCIA DE LA SUBRASANTE

En la metodología de diseño, el referido manual considera cinco (5) tipos de suelos de subrasantes como lo indica la Tabla 3.2, y en la cual su clasificación se efectúa con base en la Relación de Soporte de California del suelo-CBR, obtenido según la Norma INV-E-148-2013 y/o en forma indirecta a través del ensayo Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC), Norma INV-E-172-2013 y/o por intermedio de la clasificación del tipo de suelo, aspectos estos considerados en nivel de diseño tipo 3 según recomendaciones de la AASHTO; estos valores se correlacionan

Clase o Tipo	CBR (%)	Módulo resistente (Mn/cm)
S1	< 2	< 200
S2	2 - 5	200 - 500
S3	5 - 10	500 - 1,000
S4	10 - 20	1,000 - 2,000
S5	> 20	> 2,000

Tabla 3.2. Clasificación de la subrasante de acuerdo con su resistencia.

posteriormente con el Módulo de Reacción de la Subrasante-K- que es el parámetro usado en las ecuaciones de diseño.

El valor de CBR de diseño mejorado de 9,1% para los suelos de subrasante que corresponde a los sectores viales representados en los resultados de las exploraciones el valor medio de resistencia según criterio de la AASHTO 93, y de acuerdo con la metodología de diseño del Instituto clasifica como tipo **S3** para módulos resistentes entre 500 a 1,000 kg/cm².

6.2.3 TIPO DE MATERIAL SOPORTE DE LA LOSA

La metodología del Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito del Instituto Nacional de Vías considera tres tipos de soporte para el apoyo de la losa de concreto. Estos se encuentran indicados en la tabla 3.3 del referido manual y hacen referencia, al soporte como suelo natural (losa apoyada directamente sobre el terreno existente); Base Granular, cuando el soporte habilitado es un material granular seleccionados (características de subbase granular y/o base granular, de acuerdo con los artículos 320 y 330 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto versión 2022) y de BEC para base estabilizada con cemento.

Denominación	Descripción
SN	Subrasante Natural
BG	Base Granular
BEC	Base Estabilizada con Cemento

Tabla 3.3. Clasificación de los materiales de soporte para el pavimento de concreto.

Para el caso del proyecto, tal como se anotó en el capítulo anterior, se recomendando un soporte de apoyo constituido por un material tipo subbase granular, en un espesor de 0,15 m, es decir que el soporte de apoyo de la losa de concreto hidráulico es de tipo **BG**, lo anterior para contribuir a un soporte homogéneo de la losa y contribuir a reducir el fenómeno de erosión.

6.2.4 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO

La losa de concreto rígido sometida a la acción del trnsito experimenta esfuerzos de flexión mayores que los de compresión, por ello es necesario conocer la resistencia y la flexión a través del módulo de rotura del concreto (MR). El valor establecido inicialmente para el proyecto es de 4,2 Megapascal.

Descripción	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)
MR1	38
MR2	40
MR3	42
MR4	45

Tabla 3-4. Valores de resistencias a la flexotracción del concreto (Módulo de rotura).

Para el valor de Módulo de Rotura asumido, según la Tabla 3-4 del manual corresponde según la metodología de diseño, la clasificación de este pavimento como **MR3** (42 kg/cm² de resistencia a la flexión).

6.2.5 TRANSFERENCIA DE CARGA Y CONFINAMIENTO LATERAL

Hay dos factores que influyen en la determinación del espesor de las losas de concreto y son la presencia de doveles en las juntas de contracción y los confinamientos laterales que se establezcan en el pavimento.

La transferencia de carga es la aptitud de una junta para transmitir parte de la carga aplicada a una losa contigua, permitiendo reducir significativamente las tensiones y deflexiones generadas por acción de las solicitaciones. La misma puede efectuarse a través de las juntas transversales y los bordes de la calzada. Para este proyecto se asume la instalación de paradores en acero (doveles) para las juntas transversales y para los bordes confinamiento por intermedio de bordillos. Por lo tanto, en los catálogos de diseño, se escoge la opción de **D y no B**.

6.2.6 DETERMINACION DEL ESPESOR DE LA LOSA

Para la determinación del espesor de la losa de concreto, a partir de las variables antes establecidas, se hizo uso del catálogo de diseño de la tabla 4.1, para tránsito seleccionado T0 y el cual para una condición de apoyo de la losa del pavimento como **BG**, una capacidad de soporte del suelo de subrasante **S3** y a la presencia

de utilización de doveles, así como una resistencia a la flexión del tipo **MR3**, el espesor de diseño de la losa corresponde a 0,22 m.

ESPEORES DE LOSA DE CONCRETO (cm) DE ACUERDO CON LA COMBINACIÓN DE VARIABLES											
DISEÑO	DISEÑO	DISEÑO	DISEÑO	DISEÑO	DISEÑO	DISEÑO	DISEÑO	DISEÑO	DISEÑO	DISEÑO	DISEÑO
MR	MR	MR	MR	MR	MR	MR	MR	MR	MR	MR	MR
MR1	MR2	MR3	MR4	MR5	MR6	MR7	MR8	MR9	MR10	MR11	MR12
38	40	42	45	48	50	52	55	58	60	62	65
10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56
30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52
26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48
22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44
18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24

Tabla 4-1. Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables y T0 como factor principal

En la tabla de diseño, se puede observar que la utilización de una base estabilizada con cemento (BEC) arroja un espesor de losa de 0,19 m. Hoy que tener presente que, en la guía de diseño del Instituto, el espesor considerado como material de soporte es siempre de 150 mm, por lo que su sensibilidad al aumentar dicho espesor, no se refleja en el espesor de diseño de la losa, como si sucede en la metodología de la PCA.

El resumen de los espesores de diseño de losa de concreto hidráulico referente a los dos metodologías considera los siguientes resultados:

Tabla 21. Resumen de espesores de diseño

Metodología	Espesor inicial propuesto (mm)	Observaciones
PCA	130	Sin bermas
	190	Sin bermas
	220	Dovela y no bermas
INVIAS	190	Base estabilizada

Fuente: Elaboración propia

6.3 Metodología de Elementos Finitos

Para simular la respuesta de los sistemas de pavimento de hormigón articulado sometidos a carga por eje y efectos ambientales, específicamente lo que se relaciona con los gradientes térmicos positivos y negativos y sus efectos en el comportamiento de la estructura, la herramienta de análisis de elementos finitos en 3D, Everfe 2.26 desarrollado por el profesor Bill Davids de la Universidad de Maine, se convierte en un poderoso soporte para la toma de decisiones.

Tabla 22. Parámetros de entrada Everfe 2.26

Parámetro	Unidad	Valor
Longitud losa	mm	3900
Ancho losa	mm	3500
Espesor losa	mm	200
Envoltorio junta	°C	0
Espesor subbase granular	mm	150
Módulo Elasticidad concreto	Mpa	27.905
Relación de Poisson concreto	μ	0.15
Coefficiente dilatación	1/°C	1.1x10 ⁻⁴
Densidad del concreto	Kg/m ³	2.400
Módulo de la subbase	Mpa	132
Relación Poisson subbase	μ	0.40
Módulo reacción subrasante	Mpa/mm	0.0565
Carga eje SRD	kN	89
Diferencial de temperatura	°C	9.0
Diametro dovelas	pulgadas	1.0
Diametro acero junta longitudinal	pulgadas	1/2

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los simulaciones efectuadas para los gradientes de temperatura positiva (albedo convexo de la losa) y negativo (albedo cóncavo de la losa) los esfuerzos combinados de carga y temperatura en las posiciones críticas de actuación de la carga para espesores de losa de 180 mm y 200 mm se muestran en la tabla adjunta

Posiciones carga	Gradiente Positivo			Gradiente Negativo		
	T1=35°C	T2=26°C		T1=26°C	T2=35°C	
Tiración (Mpa)		Compresión (Mpa)	Deflexiones (mm)	Tiración (Mpa)	Compresión (Mpa)	Deflexiones (mm)
Borde	+2.74	-2.91	0.38	-	-	-
Esquina	-	-	-	+1.53	-1.65	0.380

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23. Esfuerzos y deflexiones en losa de espesor 180 mm

Tabla 24. Esfuerzos y deflexiones en losa de espesor 200 mm

Posiciones carga	Gradiente Positivo			Gradiente Negativo		
	T1=35°C	T2=26°C		T1=26°C	T2=35°C	
Tiración (Mpa)		Compresión (Mpa)	Deflexiones (mm)	Tiración (Mpa)	Compresión (Mpa)	Deflexiones (mm)
Borde	+2.42	-2.58	0.367	-	-	-
Esquina	-	-	-	+1.36	-1.56	0.342

Fuente: Elaboración propia

En la literatura distintos autores han propuesto modelos de fatiga que permiten establecer el número de repeticiones de carga (N_f) para determinar la vida útil de un pavimento rígido. Estas propuestas utilizan como variable la razón de esfuerzo (σ/MR), donde σ es el esfuerzo cíclico aplicado y MR es la máxima resistencia a la flexión estática.

En este caso particular, se han tomado como referencia los modelos de fatiga de diseño cero-mantenimiento desarrollado por Darter y Barenberg (1976, 1977); el modelo de fatiga diseño mecanístico calibrado por Darter y Barenberg de detritorio de Veic y Saxena (1969) basado en la pista de prueba AASHTO usando un índice de servicioabilidad como criterio de falla. Las ecuaciones de esos modelos se describen a continuación,

o Cero Mantenimiento

$$\log N_f = 16.61 - 17.61 \left(\frac{\sigma}{MR} \right)^2$$

o Mecánica colibrado

$$\log N_f = \left[\frac{-\left(\frac{\sigma}{MR}\right)^{-5.367} \log(1-p)}{0.0032} \right]^{-0.2276}$$

o Deterioro de Vesić y Saxena

$$N_f = 225,000 \left(\frac{\sigma}{MR}\right)^{-4}$$

Los resultados de la aplicación de los anteriores modelos de fatiga se adjuntan en la tabla siguiente:

Tabla 25. Resultados de modelos de fatiga

Modelo de fatiga	Repeticiones admisibles		Repeticiones esperadas de 80 kn
	Esposos propuestos (mm)	200	
Cero Mantenimiento	180	2,905,934	328,564
Mecánica colibrado	132,304	328,198	328,564
Deterioro Vesić	54,917	2,041,353	328,564

Fuente: Elaboración propia

Como puede observarse, para un espesor de losa 180 mm, las repeticiones admisibles en dos de los tres modelos de fatiga se encuentran por debajo de las repeticiones esperadas, lo que la probabilidad de falla por fatiga es significativa; sin embargo, para un espesor de losa de 200 mm, se cumple que las repeticiones admisibles son muchos mayores que las repeticiones esperadas de ejes de 80 kn, para un periodo de 20 años, a excepción del modelo mecánica colibrado, que en el factor de seguridad a la fatiga es prácticamente igual a 1.0; por lo que esta Consultoría, recomienda establecer un espesor de diseño definitivo para los corredores viales referidos en el alcance de 200 milímetros.

7. FUENTES DE MATERIALES Y CARACTERIZACIÓN

Los fuentes de materiales a ser utilizados para la construcción del pavimento hidráulico deben contar con los registros mineros y ambientales según los requerimientos legales que en la actualidad exigen las entidades del estado.

Para el caso particular de los materiales requeridos para la construcción de rellenos seleccionados, afirmados subbase y/o base granular, así como de los materiales solicitados para la elaboración de los concretos hidráulicos, se tiene conocimiento de fuentes de materiales como los localizadas en la zona de Pordosa, en la vía Matucó-Paradero, a una distancia aproximada de 35 kilómetros del proyecto; la cantera de Agreem, localizada en el corregimiento de Cuestecillos a una distancia de ocureo aproximada a 65 kilómetros del casco urbano del municipio; la cantera de la firma de Grodco, en inmediaciones del corregimiento de Monguí a una distancia aproximada de 102 kilómetros del proyecto.

7.1 MATERIAL DE RELLENO SELECCIONADO

Para el reemplazo de los depósitos de los residuos de materiales de demolición que se encuentran en la superficie existente de los corredores viales del proyecto, se recomienda la utilización de materiales seleccionados que cumplan los requisitos de calidad especificados en el numeral 220.2.2.1 del Artículo 220 de las Especificaciones Generales de Construcción del Instituto Nacional de Vías versión 2022. Aunque la especificación establece un valor de CBR $\geq 5\%$, esta Consultoría recomienda la utilización de materiales con CBR mínimo del 10%.

Dentro del proceso constructivo, es importante tener en cuenta lo establecido en el numeral 220.4 Ejecución de los trabajos, así mismo, en el caso de espesores gruesos de rellenos, estos deben construirse en capas máxima de espesores de 0,15 m.

7.2 MATERIAL DE SUBBASE GRANULAR

Los materiales de subbase deben cumplir los requisitos de gradación y calidad que se solicitan en el Artículo 320-2022 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras y deben ser validados en su integridad por la firma contratista, independiente que el proveedor del mismo certifique la procedencia de calidad; estos característicos principales se adjuntan en las tablas siguientes:

Tabla 220 — 1. Uso típico de las diferentes clases de subbases granular

Clase de subbase granular	Nivel de tránsito
Clase A	N13
Clase B	N12
Clase C	N11

Según el nivel de tránsito de estas calles y/o vías locales, la clase de subbase granular recomendada es la de tipo Clase C y su franja granulométrica debe corresponder a algunas de las dos tipos exigidas en la tabla 320.3 del Artículo 320, de las Especificaciones antes mencionada,

Tabla 320 — 3 Fisiografías granulométricas del material de sustrato granular

Tipo de gradación	Tamaño (mm / U.S. Standard)								
	Pulgadas 2	37.5 1½	25.0 1	12.5 ½	9.5 ¾	4.75 No. 4	2.00 No. 10	No. 40	
S&G-50 (Nota)	100	70 - 95	60 - 90	45 - 75	40 - 70	25 - 65	15 - 40	6 - 25	2 - 15
S&G-38 (Nota)	-	100	75 - 95	55 - 65	45 - 75	30 - 60	20 - 45	6 - 30	2 - 15
Tolerancias en producción según la fórmula de trabajo (%)	0 %		7 %				6 %		3 %

Nota: el número indica el tamaño máximo, en milímetros, de las partículas en la gradación empleada

Los requerimientos de calidad se ciñen a lo establecidos en la tabla 320-2 del citado Artículo y deben ser aprobado previamente por la firma interventora.

Tabla 320 -- 2. Requisitos de los sugetados para subbases grupales

Tabela 320 – 2. Requisitos de desempenho para sub-bases granulares

Característica	Norma de ensaio N°	Sub-base granular		
		Classe A	Classe B	Classe C
Dureza (D)				
Desgaste na máquina de Los Angeles	E 218	50	50	50
- Granulometria A, máximo (%)				
- 500 revoluções				
Degradado por abrasão em el equipo Micro-Dewil	E 238	30	35	-
- Máximo (%)				
Durabilidade (C)				
Pedregos em ensaio de solicitação em impactos, máximo (%) (Nota):	E 220	12	12	12
- Solicitação de pedregos		18	18	18
- Solicitação de empilhamento				
Limpeza (F)				
Limite líquido, máximo (%)	E 125	25	25	25
Índice de plasticidade, máximo (%)	E 125 e E 126	6	6	6
Equivalência de areia, mínimo (%)	E 135	25	25	25
Conteúdo de argila de menor e purificação				
- Determinação, máximo (%)	E 211	2	2	2
Persistência do material (F)				
CEM (%) - porcentagem associada ao valor mínimo especificado na especificação	E 148	40	30	30
- Mistura comestível a quatro dias (a data de instalação)				
- mínimo				

Nota: Se puder variar o teor de durabilidade, empilhamento comestível a quatro dias e resistência

Nota: se puede variar el radio o de dificultad, empleando cualquiera de los dos sufixos indicados.

La ejecución de los trabajos en la construcción de esta actividad debe certificarse por la especificación en el numeral 320.4 de la citada Especificación y los condicionamientos para establecer estos por parte de la inventoría deben ajustarse a los requerimientos del numeral 320.5 de la referida Especificación.

7.3 AGREGADOS PARA CONCRETO HIDRAULICO

Para los materiales a ser utilizados en elaboración de los concretos hidráulicos, éstos deben satisfacer a plenitud los requerimientos de calidad establecidos en el Artículo 500-22 de la Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras y en igual sentido deben ser validados por la firma contratista, independiente de las certificaciones de calidad que pueda presentar el proveedor de dichos materiales. El ciento gils por utilizar debe ser de procedencia nacional y debidamente certificado por el proveedor a efectos de su aprobación por parte de la firma interventora y/o supervisión de los trabajos.

Dentro de los principales requerimientos a verificar en los agregados (arena y material triturado) se tienen los siguientes:

7.3.1 AGREGADO FINO

La fracción granulométrica, así como los requisitos de calidad del agregado fino debe cumplir los requisitos de la tabla 630-2 y 630-1 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras 2002, como se muestran

Tabla 630 — 2. Granulometría del agregado fino para concreto estructural

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. Standard)									
	75	4.75	2.36	1.18	0.600	0.300	0.150	0.075		
Pulgada	Nº 4	Nº 6	Nº 10	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100	Nº 200		
Unión	100	65 - 100	80 - 100	50 - 85	25 - 60	5 - 30	0 - 10	0 - 3		

Nota 1: para concretos que no están destinados a ser usados en el material más fino que el tamiz de 0.075 mm (Nº 200) debe ser de máximo cinco por ciento (5 %).

Nota 2: para fracciones de mayor tamaño que el material más fino, que el tamiz de 0.075 mm (Nº 200) debe ser de máximo cinco por ciento (5 %) para concreto de tipo de tránsito, cinco por ciento (5 %) para concreto de tipo de tránsito y cinco por ciento (5 %) para concreto de tipo de tránsito y cinco por ciento (5 %) para concreto de tipo de tránsito.

Tabla 630 — 1. Requisitos del agregado fino para concreto estructural

Características		Norma de ensayo		Requisito	
Composición		INV			
Granulometría:					
- Análisis granulométrico de los agregados finos		E-210		Ver Tabla 630-2	
- Materia que pasa tamiz de 0.075 mm (Nº 200)		E-214		2.3 - 3.1	
Módulo de finura (Nota 1)					
Durabilidad (C)					
Perdida en el ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%), (Nota 2)		E-220		10	
- Sulfato de sodio				15	
- Sulfato de magnesio					
Limpieza (F)		E-211		3	
Temperatura de curado y partículas detectables, máximo (%), (Nota 3)					
- Partículas livianas, máximo (%):		E-221		0.5	
- Cuando la apariencia superficial del concreto sea de importancia, máximo (%)				1.0	
- Todos los demás concretos, máximo (%)					
Contenido de materia orgánica (F)					
Color más oscuro permisible		E-212		(Igual al color de referencia o de la placa estándar no. 3)	

7.3.2 AGREGADO GRUESO

Dentro de los principales aspectos a verificar de este tipo de material, es que debe ser proveniente de producto de trituración y sus característicos de gradación y requisitos de calidad estarán enmarcados en los requerimientos establecidos en las tablas 500-1 y 500-2 del Artículo 500-22 de las Especificaciones y que a continuación se indican:

Tabla 500 — 1. Granulometría para el agregado grueso en concreto estructural

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. Standard)									
	75	150	37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.36	
Pulgada	Nº 2	Nº 4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 60	Nº 100	Nº 200	Nº 400	
Unión	100	60 - 100	35 - 70	0 - 15	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	

Nota 1: para fracciones de mayor tamaño que el material más fino, que el tamiz de 0.075 mm (Nº 200) debe ser de máximo cinco por ciento (5 %) para concreto de tipo de tránsito, cinco por ciento (5 %) para concreto de tipo de tránsito y cinco por ciento (5 %) para concreto de tipo de tránsito.

TABLA 500-2 Requisitos de ensayo, primer día de control mecánico

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Dureza (D)		
- Dureza en la máquina de Los Angeles máximo (%) - 500 revoluciones - 100 revoluciones	E-215	40 8
Deposición por abrasión en el equipo Nuevo Densel máximo (%)	E-238	30
Resistencia mecánica por el método de 10 % de tiras		
- Valor en seco, mínimo (kN) - Resistencia húmeda, mínimo (%)	E-224	90 75
Durabilidad (D)		
- Pérdida en el ensayo de solidez en sulfato, máximo (%) - Sufrido de succo - Sufrido de magrezo	E-220	12 18
Limpieza (F)		
Tenores de arena y partículas óxidas, máximo (%)	E-211	3
Partículas finas, máximo (%)	E-221	0,5
Características	Norma de ensayo INV	Requisito
Geometría de las partículas (F)		
Partículas tridimensionales mecánicamente limpias, máximo (%)	E-227	40
Índice de ablanamiento, máximo (%)	E-230	25
Índice de ablanamiento, máximo (%)	E-230	25
Características químicas (Q)		
Presencia de sulfatos de material combinado, expresado como SO ₃ , máximo (%)	E-233	1,0

Es importante señalar que la verificación de estos requisitos de calidad lo adelantien laboratorios certificados con registros de calibración de sus equipos actualizados y auditados por firmas especializadas para tal fin.

7.3.3 DISEÑOS DE MEZCLAS A LA FLEXO TRACCIÓN

Con el fin de cumplir con la hipótesis de diseño, el controlista antes de la ejecución de los trabajos debe adelantiar el diseño de la mezcla a la flexo-tracción de acuerdo a la norma INV-E-414-2013, mediante la utilización de viguetas que deben ser curadas a los 7, 14 y 28 días a fin de verificar el asentamiento y resistencia expresada en su valor de módulo de rotura a los 28 días y siguiendo los lineamientos normados en el numeral 500.4.3 del Artículo 500-22, de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías.

El intervinor deberá verificar que las mezclas de prueba se realicen con los materiales aprobados para la construcción de los losas. Así mismo, dentro del proceso del diseño de la mezcla, se puede adelantiar simultáneamente el diseño de la mezcla a la resistencia a la compresión a los 28 días, según procedimiento regulado en el numeral 500.4.5.3.2.1 del Artículo 500-22, con el fin de establecer para los materiales utilizados el factor de correlación de los dos tipos de resistencias y poder justificar el proceso de control de calidad de la resistencia de los concretos por intermedio de su resistencia a la compresión, de acuerdo con la formulación que establece la ACI:

$$MR = K \sqrt{f'c}$$

Donde:

MR = Módulo de Rotura a los 28 días (psi)

$f'c$ = Resistencia a la compresión a los 28 días (psi)

Una vez obtenido el valor de K en los diseños de mezclas respectivos adelantados en el laboratorio, el intervinor podrá utilizar durante la ejecución de los trabajos la fórmula de cilindros para la determinación de la resistencia a la compresión a los 28 días y con la expresión antes relacionada verificar la correspondencia con su resistencia en términos de su flexo-tracción. Independiente de este procedimiento, el intervinor deberá realizar en forma de control la elaboración de viguetas durante el proceso de control de calidad en la elaboración y suministro del concreto hidráulico utilizado en obra para ir verificando la confiabilidad.

Según los requisitos de diseño de la tabla 500-8, el módulo de rotura de la mezcla para el tipo de tránsito, según la Tabla 100-1 del Artículo 100 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías versión 2022 es de 3.8 Mpa, sin embargo, para el proyecto esta Consultoría propone para el concreto una resistencia a la flexión tracción de 4.2 Mpa, valor éste coherente con lo solicitado por la PCA y la AA-STHO y con el cual se adelantió la modelación del diseño de la estructura.

Característica	Norma de ensayo	Resultado
Módulo de ruptura a tensión (MR): - Tensión NT1 - Tensión NT2 - Tensión NT3	INV E-41-ANTC 2871	3,8 4,0 4,2
Adaptamiento interno: - Formas de delantales - Faja motorizada - Rueda lubricada - Rodillo vibratorio - Cintas de rodillo - Faja trasera	INV E-42-ANTC 386	0 7,5 ± 2,5 7,5 ± 2,5 16 - 100 120 - 125 175 ± 25

Es importante que, dentro del desarrollo del proceso constructivo, tanto el contratista como la interventoría y con la vigilancia de la supervisión por parte de la entidad contratante se lleve un registro de los ensayos de control de calidad, con las frecuencias mínimas que se solicitan en la tabla 500-9 de las Especificaciones y adjunto al presente informe,

Características	Norma de ensayo	Frecuencia
Composición (F)		
Granulometría	IN V E-215	1 por muestra
Modulo de ruptura	IN V E-213	1 por muestra
Dureza, agregado grueso (C)		
Densidad en laboratorio de Los Angeles	IN V E-218	1 por muestra
Deposición por batido en el equipo Marz-Davel	IN V E-208	1 por muestra
Resistencia mecánica por el método del 10 de cinco	IN V E-224	1 por muestra
Grav y volumen		
Durabilidad (C)		
Pérdidas en ensayo de absorción y sulfato magnésico	IN V E-220	1 por muestra
Resistencia de los agregados	Ver norma ASTM 1.4 (94)	Método 660 - 17
Limpieza (F)		
Impurezas en agregado grueso	IN V E-237	1 por muestra
Impurezas en arena y partículas finas	IN V E-211	1 por muestra
Partículas finas	IN V E-221	* al inicio del proyecto Y cada 2.5 meses
Material que pasa el tamiz de 0.075 mm (no 200)	IN V E-214	1 por muestra
Geometría de las partículas (F)		
Partículas irregulares, mecánicamente	IN V E-227	1 por muestra
Índice de abastecimiento y abastecimiento	IN V E-230	1 por muestra

Nota: La frecuencia como mínimo, un día (1) de la producción de agregados.

Para la evaluación del parámetro de resistencia se deben seguir los lineamientos que se establecen en el numeral 500.5.2.8.1 del Artículo 500-22 de dichas Especificaciones.

En igual sentido se debe prestar suma atención a la protección del concreto fresco durante la puesta en obra, así como a su proceso de curado, tal como se solicita en el numeral 500.4.6.9 que pueden incidir en los valores de resistencias a obtener de la mezcla en servicio.

8. MODULACIÓN DE LOSAS

La modulación de losas define la forma que tendrán los tableros de losas del pavimento y va a estar regida por las distancias de separación de las juntas transversales que a su vez depende del espesor del pavimento.

Existen criterios que permiten dimensionar los tableros de losas para inducir el agrietamiento controlado bajo los cortes de losas, entre los que se tienen:

a) En función del espesor de losa

La Portland Cement Association establece la separación de juntas transversales entre 21 y 24 veces el espesor de la losa, sin que ese espaciamiento de juntas no exceda los 4,5 m, tal como lo estipula la Norma ACI 360 en el Capítulo 5-2, actualizando la anterior versión de 1992 de dicho documento.

Normalmente se utiliza el valor de 21, para losas de concreto apoyadas sobre subbases y/o bases estabilizadas y en la cual se genera mayor fricción, y 24 cuando las losas van a estar soportadas directamente por subbases y/o bases granulares. El Instituto Nacional de Vías recomienda los rangos entre 20 y 25 veces el espesor de la losa.

b) En función de la Relación de Espesores

La experiencia e investigaciones han demostrado un mejor comportamiento de los losas cuando su configuración modular es cuadrada, es por ello por lo que, bajo este criterio, se establece relaciones entre su longitud y ancho como la recomendada por el Instituto Nacional de Vías y que se indica

$$1.0 < \frac{L_{trg}}{Ancho} < 1.3$$

En este criterio, el ancho del carril, normalmente se encuentra predefinido en el proyecto.

c) Criterio de Rigidez Relativa

Es un concepto introducido por Westergaard que relaciona la rigidez de la losa de concreto con la rigidez de la subrasante sobre la cual se encuentra apoyada y expresado mediante la siguiente formulación,

$$I = \sqrt[4]{\frac{E * d^3}{12(1 - \mu^2) * k}}$$

Donde:

I = *Ratio de Rigidez Relativo*

E = *Módulo de Elasticidad del Concreto*

d = *Espesor de losa*

μ = *Relación de Poisson*

k = *Módulo de reacción de la subrasante*

La longitud de la losa (L) tiene estrecha relación con el incremento de los esfuerzos por dilatación debido a los gradientes térmicos (efecto de los temperaturas). El valor L/I debe oscilar entre 4 y 5.5 correspondiendo el menor valor a gradientes térmicos grandes, mientras que el mayor valor a menores gradientes térmicos. La PCA en su programa de diseño incorpora una relación de 5.5, valor éste que está del todo de la seguridad para gradientes térmicos menores a 20°C. Cuando la relación L/I , es mucho mayor que 5.5, la fisuración transversal de la losa ocurre más frecuente.

d) Criterio de Longitud máxima

Con el fin de reducir los problemas potenciales de fisuramientos asociados a la contracción del concreto, la PCA recomienda longitudes máximas de losa de 4.5 metros, mientras que el Instituto Nacional de Vías considera longitudes mayores a 3.60 m y menores a 5.0 metros.

La definición para la selección de la longitud de la losa va a depender del buen juicio y experiencia del Consultor, así como de comportamientos de modulaciones en estucturas de pavimentos en zonas de influencia del proyecto.

Para las condiciones iniciales del proyecto correspondientes a un ancho de carril de 3.5 m; espesor de losa de 0.20 m, módulo de reacción del conjunto de 56.65 Mpa/m, módulo de elasticidad del concreto de 4,050.00 psi y relación de Poisson de 0.15, los resultados de los criterios se muestran en la tabla adjunta.

Tabla 22. Longitud de losa

Criterio No.	Líteral	Longitud (cm)
1	a)	500
2	b)	400
3	c)	390
4	d)	390

Fuente: Elaboración propia

La modulación recomendada por esta Consultoría corresponde a longitud= 3,9 m y ancho = 3,5 m.

En el evento de modulación de losas irregulares (por fuera de las dimensiones establecidas) y/o relaciones de L/I se encuentre por encima de 5,50, se recomienda la colocación de malla electrosoldada y/o perfil de acero de $\frac{1}{2}$ " en doble sentido con separación de 0,30 m y colocada a una profundidad en el tercio del espesor de la losa, medido desde la superficie de la losa hacia el eje neutro, con el fin de minimizar la aparición de fisuramiento por la retracción del concreto.

8.1 DISEÑOS DE JUNTAS

8.1.1 Juntas Transversales de contracción

Las juntas transversales de contracción son aquellas que se constituyen transversalmente a la línea central del pavimento y están debidamente espaciadas para controlar la fisuración generada por la retracción y por los cambios de humedad y temperatura (albedo). La configuración de este tipo de junta se ilustra a continuación

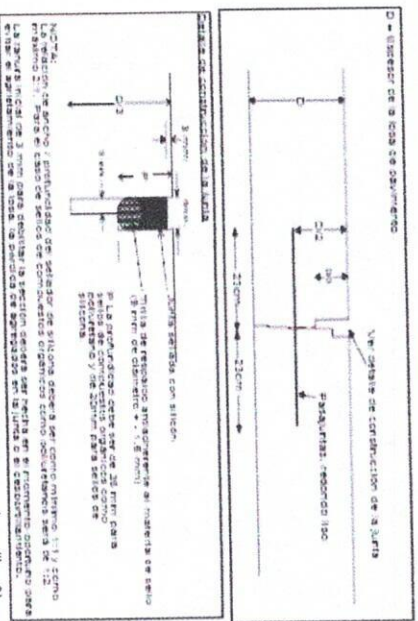


Ilustración 15. Corte y sellado de junta de contracción con pasadores (tipo B)

En las juntas transversales, según recomendaciones del manual y para un espesor de losa de entre 190 a 200 mm, la longitud y el diámetro de las dovelas (pasadores) a colocar la constituyen varillas lisas de 25,0 mm (1"), de 0,35 m de longitud, $f_y = 60.000$ psi, engrasadas para permitir los movimientos de la losa y separados centro a centros 300 mm, como lo indica la tabla 6.2 del Manual de Inviós.

Espesor del pavimento	Diámetro del pasador		Longitud	Separación entre centros
	mm	Pulgadas		
190 - 200	10	5/8	300	300
210 - 220	10	5/8	300	300
230 - 240	10	5/8	300	300
250 - 260	10	5/8	300	300
270 - 280	10	5/8	300	300
290 - 300	10	5/8	300	300

Es importante anotar, que la longitud total de las dovelas debe estar cubiertas con un material antideslizante, con el propósito de no resquebrajarse los desplazamientos horizontales de las losas. Así mismo, previamente los pasadores deben ser protegidos con una película anticorrosiva, tal como lo señala el numeral 500.2.2.2 del Artículo 500-22. Estos pasadores deben colocarse en la mitad del espesor de las losas, paralelos entre sí, al eje longitudinal de la vía.

Para garantizar una adecuada colocación de las dovelas se recomienda el uso de canastos pasajuntos con alfileres de 3/16", en el cual, en unos de sus extremos, debe llevar una soldadura de arco y el otro sin ningún tipo de soldadura. El ancho de la canastilla será ajustado a la sección del pavimento.

8.1.2 Juntas longitudinales de construcción

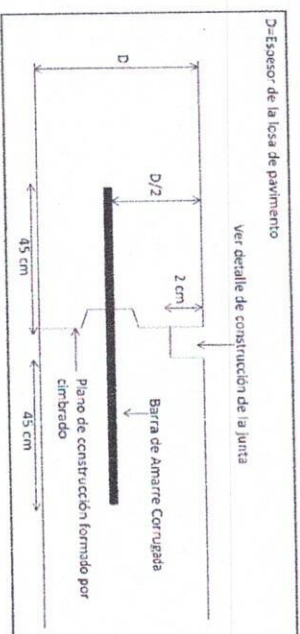
Estas juntas se deben localizar y construir en el lugar planeado. Las juntas longitudinales de construcción se realizan cuando se emplean dos franjas de pavimentación.

Según el espesor de la losa de 200 mm y un ancho de carril máximo propuesto para el proyecto de 3.50 m, se determina que las barras de anclaje a colocarse en las juntas longitudinales, como mínimo, son varillas de acero corrugado $f_y = 60,000$ psi, de 12.7 mm ($1/2"$) de 0.85 m, de longitud y colocadas a una separación entre centros de 1200 mm, según se establece en la tabla 6.1 del referido manual de pavimentos de concreto del Instituto Nacional de Vías

Tabla 6-1. Recomendación para las barras de anclaje

Espesor de losa (mm)	Barras de 12.7 mm (1/2")		Barras de 15.7 mm (1/2")		Barras de 19.0 mm (3/4")	
	Longitud (mm)	Separación entre centros (mm)	Longitud (mm)	Separación entre centros (mm)	Longitud (mm)	Separación entre centros (mm)
150	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
175	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
225	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
250	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
275	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
300	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
325	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
350	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
375	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
400	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
425	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
450	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
475	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
500	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
525	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
550	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
575	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
600	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
625	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
650	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
675	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
700	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
725	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
750	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
775	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
800	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
825	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
850	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
875	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
900	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
925	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
950	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
975	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,000	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,025	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,050	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,075	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,100	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,125	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,150	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,175	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,225	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,250	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,275	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,300	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,325	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,350	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,375	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,400	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,425	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,450	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,475	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,500	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,525	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,550	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,575	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,600	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,625	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,650	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,675	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,700	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,725	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,750	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,775	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,800	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,825	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,850	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,875	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,900	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,925	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,950	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,975	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
2,000	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200

La configuración de las juntas longitudinales de construcción con barras de amarre (Tipo A), es como se ilustra.



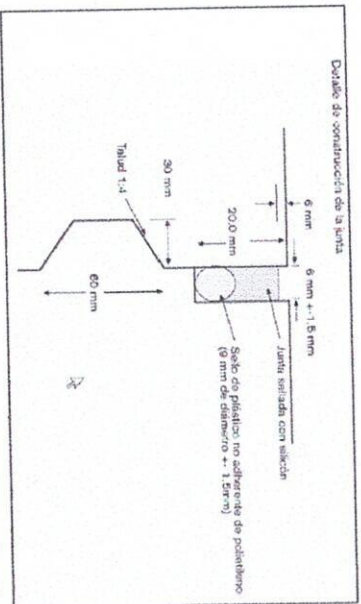


Ilustración 16. Corte y sellado de Junta Longitudinal de construcción (Tipo A)

8.1.3 Juntas de Expansión

Sólo son necesarios alrededor de estructuras fijas, como son las cajas de inspección, sumideros y otros estructuras que presentan 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.

Al comienzo y al final de la calzada o rehabilitar, en donde el pavimento llegue a empalmar con uno existente, se recomienda la construcción de juntas de expansión, en la cual se aumenta el espesor de los losos en el sitio de empalma en un 20% para absorber los esfuerzos de borde ocasionados por el tráfico.

El propósito de una junta de expansión determina, de alguna manera, la necesidad o no de la transferencia de carga. En los casos donde se presentan variaciones de dirección de la vía, una empujará a la otra, produciéndose esfuerzos, que deben ser contralados 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 dovelas como se observa en la figura siguiente, ubicados en la mitad de la losa, totalmente engastados para facilitar al movimiento. Las dimensiones más comunes de estas varillas son: diámetro de 1/8" del espesor de la losa, 450 mm de longitud y con separación entre varillas de 300 mm. Para este tipo de juntas, se pone un material

compresible que llene el espacio entre las caras de las losas (poliestireno expandido).

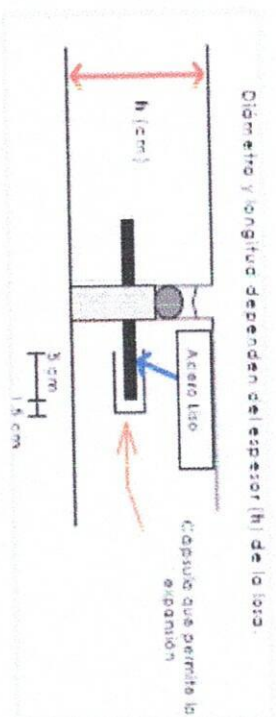


Ilustración 17. Junta de expansión con dovela

Para el caso, de empalmes de las losas de concreto con estructuras fijas como obras de drenajes existentes, caso de box-culvert, se debe proyectar una junta de expansión, tal como se detalla a continuación:

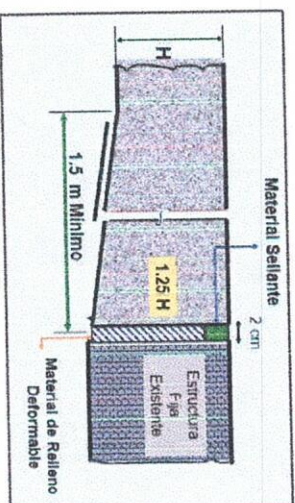


Ilustración 18. Detalle de junta de expansión con estructura fija

En donde H, representa el espesor de diseño de la losa y 1.25 H, el incremento de espesor final sobre la estructura fija, a fin de contribuir a la disminución de los esfuerzos de borde generados por el tráfico sobre esa zona. Es de anotar que esa longitud de transición del espesor debe ser como mínimo de 1.50 m.

Otra situación, muy común, es la presencia de manholes o pozos de alcantarillado sobre el eje de la calzada, para lo cual, en igual sentido se debe proyectar una junta de expansión, la cual debe ser ubicada de acuerdo como se indica,

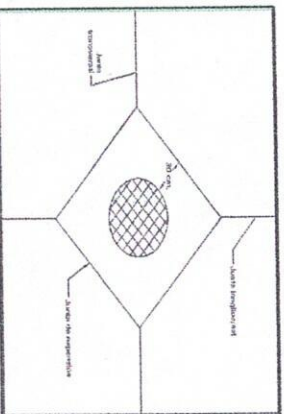


Ilustración 19. Detalle de junta de expansión sobre manholes

Alrededor de esa estructura, se recomienda que la losa de concreto debe ser provista de una doble perilla de refuerzo, constituida por varillas de $\frac{1}{4}$ " separadas cada 0.30 m en ambos sentidos respectivamente. Igual tratamiento se recomienda adelantarlo para losos irregulares que no se ajusten a la modulación diseñada. En los eventos, que la disposición de los manholes, se encuentren sobre el ancho del carril, y/o losas que la contengan debe ser reforzada, según el criterio adjunto

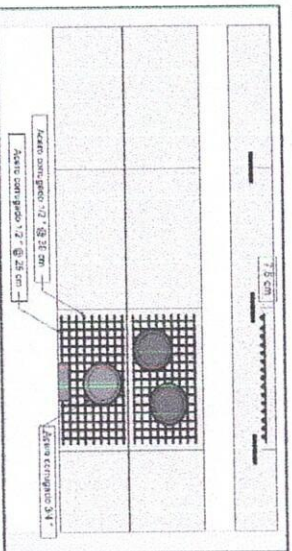


Ilustración 20. Detalle de refuerzo sobre grupos de manholes

Para situaciones de proyección de sumideros o rejillas de drenaje, la distribución de la junta de expansión debe acogerse al siguiente diseño:

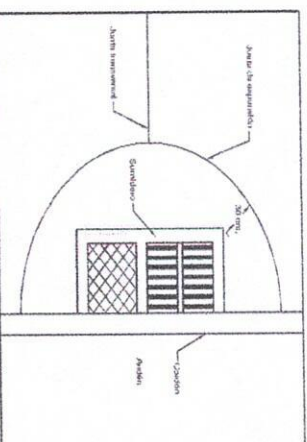


Ilustración 21. Detalle de junta de expansión en zona de rejillas

8.1.4 Recomendaciones para el corte y sellado de juntas

Después de aplicada membrana de curado de las losas, se procederá al corte de las juntas transversales y longitudinales, con discos adecuados para realizar los cortes en seco, o con discos de diamante que se refriegen con agua. El corte de las juntas deberá comenzar por las transversales de contracción, e inmediatamente después continuar con las longitudinales. Este corte deberá realizarse cuando el concreto presente las condiciones de endurecimientos propicias para su ejecución y antes de que se produzcan agrietamientos no controlados.

Se realizará un corte inicial con un ancho de 3 mm y a una profundidad de 1/3 del espesor de la losa de concreto con el fin de inducir la falla controlada. Posteriormente se realiza un ensanchamiento del corte para poder dejar el material de sello.

En el caso de que se regulara realizar los cortes de juntas en dos etapas, es decir, efectuar los cortes cada dos juntas, dejando las juntas intermedias sin cortar para posteriormente realizar el corte de las intermedias, el segundo corte, o sea el de las intermedias, deberá realizarse antes de 48 horas después del colado y si existe un alto riesgo de fisuración antes de las 24 horas.

Las ramras aserradas deberán inspeccionarse para asegurar que el corte se haya efectuado hasta la profundidad especificada. Con el fin de garantizar una perfecta adherencia del material sellante a las caras verticales de la caja, se deberá realizar una exhaustiva limpieza de toda materia extraña que se encuentre dentro de cualquier tipo de junta; para ello, se requerirá al lavado con agua a presión, sistema de chorro de arena y aire a presión, los cuales deberán ser aplicados siempre en una misma dirección, de preferencia en el mismo sentido de pendiente de la junta.

El uso de este procedimiento deberá garantizar la limpieza total de la junta y la eliminación de todos los residuos de corte. 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, que no exista arrastre del material de sello por acción de las llantas de los vehículos y adicionalmente deben cumplir con las condiciones especificadas anteriormente para los productos para juntas que se especifican.

El sello debe ser colocado siete (7) días después de la colocación del concreto, tiempo en el cual el pavimento de concreto no deberá ser abierto al tránsito ni se deberá colocar sobre el material que se pueda introducir en la junta. No se deberá transitar sobre el sello por lo menos 24 horas después de colocado. Previamente al vaciado del compuesto llanante, se coloca una fililla de respaldo presionándolo dentro de la junta con un insertador adecuado.

La profundidad para el disco insertador será 9 o 15 mm, dependiendo si el material es sílica o un material de compuestos orgánicos respectivamente. Al colocar el sello de sílica se debe cumplir con el factor de forma mínimo de 1/1 y máximo de 2/1 y si es de compuestos orgánicos se deberá cumplir con el factor de forma, como relación entre dimensiones ancho/profundidad, vaciándolo sin que quede menisco convexo, ni sobranes rebosantes. La superficie del sello debe quedar 3 mm por debajo del borde de la junta, y en ningún caso debe haber adherencia en tres puntos, por lo cual se asía el fondo de la caja del sello de la base del sello con la fililla de respaldo, lo cual controla el espesor del sello y produce economía evitando consumos innecesarios.

8.1.4 Recomendaciones para el curado del concreto

El curado consiste en propiciar y mantener un ambiente de apropiada temperatura y humedad contenido en el concreto, tanto en su interior, como en su superficie, de modo que este desarrolle el potencial de las propiedades que se esperan de él, especialmente el referido a su resistencia.

Garantizar un contenido mínimo de humedad en el concreto durante el periodo de curado es fundamental en el desarrollo de su estructura. Es importante, tener presente que un curado inadecuado o su ausencia puede provocar graves deterioros, tales como fisuración por retracción y secado en el hormigón joven, o desarrollo insuficiente de resistencia y menor durabilidad en el largo plazo. Por eso, se recomienda comenzar lo antes posible este proceso, tan pronto como el procedimiento de curado no dañe al hormigón. En el caso, que se llegue a utilizar el uso de películas de polietileno, se debe esperar el desarrollo de cierta resistencia de modo de no afectar la superficie del hormigón. Para el caso, de concretos elaborados con cementos tipo I, en climas con temperaturas ambientales superiores a los 4°C, el curado húmedo deberá cubrir un periodo mínimo de siete (7) días o el tiempo necesario para llegar al 70% de la resistencia especificada o la compresión o a la flexión, tal como lo amla Asocrato en su documento Tecnología del Concreto-Tomo 2.

Para determinar la tasa de evaporación del agua en el concreto durante su proceso de fraguado, y que puede incidir significativamente en la generación de microfisuras y fisuras por la contracción o retracción plástica del concreto, se hace uso del nomograma de Menzel, el cual se ilustra.

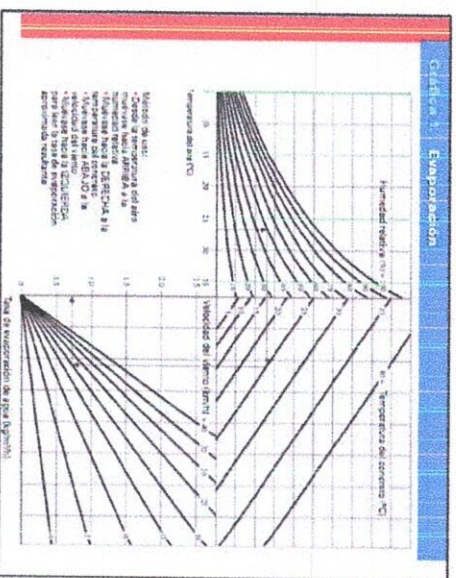


Ilustración 22. Nomograma de Menzel. Fuente PCA

Es de suma importancia el conocimiento de los parámetros climáticos al momento de la materialización de la construcción de los pisos de concreto. En los eventos, que la tasa de evaporación se encuentre para la fecha de la fundida del concreto mayor a 0.5 kg/m²/h, por las características de los parámetros ambientales imperante, se recomienda realizar algunas de las siguientes acciones o la combinación de varias de ellas como:

- Colocar contravientos o cerramientos para reducir la velocidad del viento, aprobado por el ingeniero interventor.
- Instalación de rociadores de agua, para aumentar la humedad relativa en el área de colocación.
- Reducción de la temperatura del concreto, mediante el rociado con agua a los agregados, y/o colocar los agregados a la sombra o en lugares cerrados.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. La estructura de pavimento recomendada, para cada uno de los corredores viarios relacionado en el alcance del proyecto, a partir de los análisis de diseños desarrollados en el presente documento y basados en metodologías empíricas, empíricas-mecanicistas y de elementos finitos, consiste en una losa de concreto hidráulico de espesor de 200 milímetros, módulo de rotura a los 28 días de 4.2 Megapascal, con sistema de transferencia de carga constituido por dovelas de diámetro liso de 1" y acero corrugado de amarre entre losa de 1/2" entre algunos de sus características esenciales y apoyada directamente en forma uniforme y homogénea sobre un material de subbase granular de espesor 150 milímetros que cumpla los requisitos de calidad establecidos en el Artículo 320-22 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías actualmente vigentes.

2. Teniendo en cuenta, que según el perfil estratigráfico, la superficie actual de los corredores viarios referenciados fueron constituidos a través del tiempo por materiales productos de residuos de construcción (RCD), se recomienda el retiro de estos depósitos de materiales que se encuentran en un espesor promedio de 0.50 metros, y su reemplazo por material de relleno seleccionado con CBR del orden del 10%, y características de calidad establecidas en el Artículo 220-22 de la actual Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías.

Así mismo, en la interfase de la capa de material de relleno seleccionado y la subbase granular, se recomienda el suministro e instalación de un geo sintético NT 2400 o similar con una resistencia a la tensión por encima de los 750 Newton según ensayo ASTM D 4632 y que actúe como separación para contrarrestar la migración de los finos del material de relleno hacia la capa de material granular.

3. La calidad y procesos constructivos de los materiales requeridos en la estructura de pavimento deberán cumplir a cabalidad con las especificaciones generales para construcción de carreteras emitidas por el Instituto Nacional de Vías, año 2022, en especial los referentes a los Artículos 220, 320 y 500 respectivamente. Para la validación de la resistencia de diseño propuesta de 4.2 Megapascal, se debe proceder para su comprobación la normatividad exigida en el ensayo INV-E-414-2013-Resistencia a la flexión del concreto usando una viga simplemente apoyada



NÉSTOR CALVO G.
INGENIERO EN OBRAS DE TERRENTES - INGO CIVIL



NÉSTOR CALVO G.
INGENIERO EN OBRAS DE TERRENTES - INGO CIVIL

y cargada en los tercios de la luz libre, ensayo este que se debe adelantar con los materiales previamente caracterizados y aprobados por la interventoría. Es importante, que en esta fase, se establezcan las mezclas de pruebas, de acuerdo a la relación agua/cemento obtenida en el diseño y se elaboren especímenes cilíndricos y viguetas para obtener sus resistencias a la compresión y flexión tracción simultáneamente, a fin de posteriormente, establecer los ajustes al parámetro K de correlación de estas dos resistencias y de acuerdo a la expresión de la ACI facilitar el proceso de control de calidad por intermedio de la resistencia a la compresión a los 28 días. No se aceptará en la validación de la resistencia de diseño, asumir los rangos de valores empírico de K que en fase de prediseño tiene establecido la ACI.

4. En el evento que, en el momento de la construcción, se lleguen a detectar fallas puntuales en la subrasante, éstos deben ser removidos hasta una profundidad por debajo de los 300 mm propuestos hasta que presente material sano y rellenarse con material de acuerdo con lo especificado en el numeral 2. La profundidad de sano, en estos eventos debe ser aprobado por la firma interventora.

5. Es importante que el diseño y la construcción de obras de drenaje y/o subdrenaje en el evento que se requieran, deben ser producto de un juicioso estudio de hidrología e hidráulica, en donde se determine los caudales de diseño de acuerdo a las áreas drenantes que tribuyen a la zona del proyecto y de la cual se obtendrán los tipos y secciones de diseño de cunetas, así como las alturas proyectadas de bordillos, teniendo en cuenta que por la topografía de la zona y ubicación de viviendas, las calzadas se consideraran con un comportamiento similar a una sección de canal revestido, con el establecimiento de sus pendientes transversales mínima de bombeo y demás parámetros que demandan estos tipos de canales. Así mismo si es del caso debe ejercerse un control sobre los aguas servidas de las viviendas adyacentes a los sectores a intervenir y en los eventos que durante el proceso constructivo en forma accidental se presenten rotura de tubería por acción de maquinaria y el agua sature la plataforma de trabajo, será procedente el reemplazo del área afectada por material seleccionado seco hasta la profundidad que el interventor y/o supervisor determine. Lo anterior contribuirá a garantizar la estabilidad de la estructura de pavimento a largo plazo.

6. Así mismo en el proceso constructivo se recomienda verificar las pendientes transversales y longitudes a fin de evitar estancamiento de agua que con el tiempo se infiltre sobre las juntas del pavimento, acelerando los procesos erosivos asociados a bombeo.

7. Se recomienda que en los sitios donde se llegue a tener previsto zonas de instalación de manholes y/o rejillas de drenajes, se provea de una junta de expansión, a fin de reducir la aparición de fisuras en esas zonas. En estos casos, así como en los casos que no cumplan las modulaciones, se debe proveer la colocación de una doble paño de acero, tal como se indica en los apartes del documento.

8. En el proceso de fundida del concreto se recomienda efectuarse en lo posible llevándolo a cabo en horas de la tarde con el fin de reducir los fenómenos de contracción del concreto durante su fraguado al igual que reducir el bombeo de los losos por las altas temperaturas que se presentan en horas del mediodía. En el caso de no tener otra opción, el contratista debe tomar las previsiones del caso para contrarrestar esta situación, que puede afectar la durabilidad de concreto por aparición temprana de fisuras.

Se sugiere dentro de la planeación de las fechas previstas para la colocación del concreto, que el contratista y/o interventor hagan uso de la herramienta Hiperpav III 3.3 para simular la generación de tensiones térmicas en las primeras horas de fraguado causante en la mayoría de los casos de fisuras tempranas, con sus efectos secundarios en la calidad y durabilidad de la estructura de concreto.

Richard, La Guajira
+57 3007283146



nestorcalvogumar@yaho.com

Richard, La Guajira
+57 3007283146



nestorcalvogumar@yaho.com

LIMITACIONES

El presente informe se basó en las condiciones de campo de las muestras obtenidas a distintas profundidades, mediante la ejecución de los apiques practicados en diferentes sitios del área, por la firma INDALÉN SAS; podrán presentarse condiciones del subsuelo no encontradas en la investigación, sin embargo, se considera que el alcance de los trabajos de campo y laboratorio fueron los adecuados para definir las condiciones del subsuelo en los sitios del proyecto. Si durante la construcción se encuentran diferencias en las condiciones del subsuelo establecidas como típicas en este informe, se deberán comunicar oportunamente para realizar los ajustes necesarios a las conclusiones y recomendaciones.

Néstor A. Calvo G.

16-Enero-2014

NESTOR A. CALVO GUZMAN
Magister en Ingeniería de Vías Terrestres
Universidad del Cauca
Ingeniero Consultor en Pavimentos

BIBLIOGRAFIA

- HIGUERA SANDOVAL, Carlos Hernando. Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras. Volumen II. 2011.
- HUANG, Yang H. Pavement Analysis and Design. Pearson Education. 2008. 792 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Especificaciones generales para la construcción de carreteras. 2013.
- , Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bolos, medios y otros volúmenes de tránsito.
- PLAN DE DESARROLLO MUNICIPIO DE MAICAO 2020-2023
- TAPIA GARCÍA, Miguel Ángel. Pavimentos. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.
- RONDON QUINTANA, Hugo Alexander. Pavimentos: Materiales, construcción y diseño. Ecoe Ediciones. Año 2015.
- MANUAL VIALIDAD DE CHILE. Criterios de diseños. Volumen No.3. Edición 2013

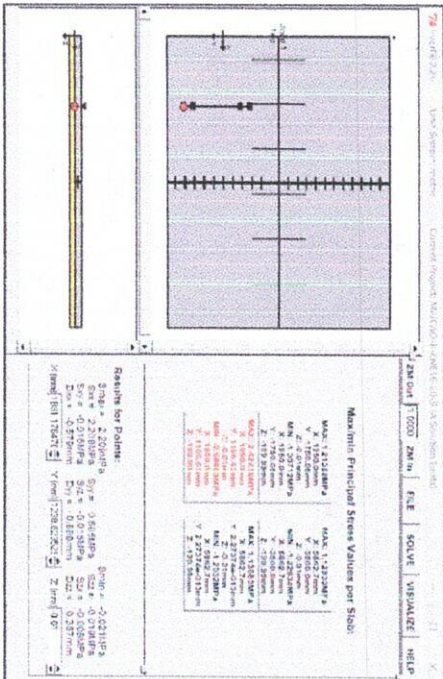
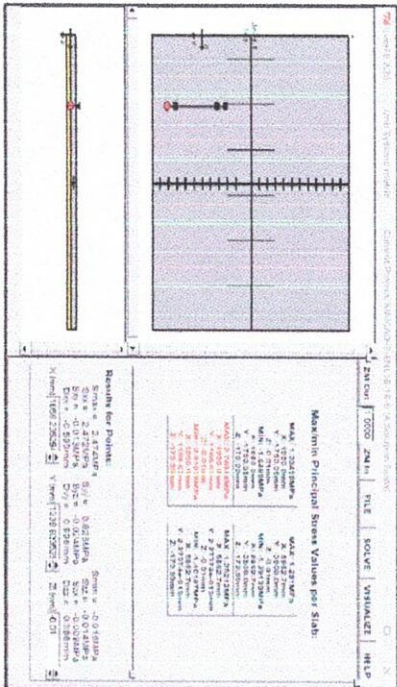
CONSUMOS DE ESFUERZOS Y EROSION METODOLOGIA PCA

ANEXOS

TRANSTO		Parámetros de Diseño PCA		Parámetros de Diseño AASHTO	
Sección de la Vía	15	Capas	Una Capa		
Espesor (cm)	15				
Longitud (m)	50				
Área (m²)	750				
Módulo de Elasticidad (N/m²)	27000				
Densidad (kg/m³)	24				
Presión de Porosidad (N/m²)	0.15				
Módulo de Elasticidad (N/m²)	4.2				
Coeficiente de fricción	15				
Área de Bases (m²)	0				
Factor de Tracción	0				
Área de Bases (m²)	0				
% Compresión de Bases	0				
		Datos Ambientales			
		Diferencia de Temperatura (°C)		20	
		Coeficiente de fricción (m)		0.5000	
		% Tracción para el eje		10	
		Consumo Energía (N):		9.1756	
		Consumo Esfuerzo (N):		121.468	

TRANSTO		Parámetros de Diseño PCA		Parámetros de Diseño AASHTO	
Sección de la Vía	15	Capas	Una Capa		
Espesor (cm)	15				
Longitud (m)	50				
Área (m²)	750				
Módulo de Elasticidad (N/m²)	27000				
Densidad (kg/m³)	24				
Presión de Porosidad (N/m²)	0.15				
Módulo de Elasticidad (N/m²)	4.2				
Coeficiente de fricción	15				
Área de Bases (m²)	0				
Factor de Tracción	0				
Área de Bases (m²)	0				
% Compresión de Bases	0				
		Datos Ambientales			
		Diferencia de Temperatura (°C)		20	
		Coeficiente de fricción (m)		0.5000	
		% Tracción para el eje		10	
		Consumo Energía (N):		1.6453	
		Consumo Esfuerzo (N):		0.8425	

ESFUERZOS MAXIMO POSICION CRITICA GRADIENTE DE TEMPERATURA POSITIVO



ESFUERZOS MAXIMO POSICION CRITICA GRADIENTE DE TEMPERATURA NEGATIVO

