Febrero de 2024



DISEÑO DE PAVIMENTOS

VÍA HOSPITAL DE YOLOMBÓ

INFO 008-2024

INFORME FINAL

INVIGEO S.A.S.
Celular: *300 211 69 82*
Correo: *proyectos.invigeo@gmail.com*
Dirección: *Calle 31A No. 65F - 52*

REGISTRO DE MODIFICACIONES

Revisión		Descripción de las modificaciones
No.	Fecha	

Elaborado por: _____

Santiago Muñoz Roldán

Ingeniero Civil

M.P 05202-315137 ANT

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 7

1.1. Objetivo general. 7

1.2. Objetivos específicos. 7

2. GENERALIDADES DEL PROYECTO 9

3. METODOLOGÍA DE DISEÑO 10

4. ASPECTOS GEOTÉCNICOS 12

4.1. Reconocimiento de la vía existente 12

4.2. Conteos vehiculares 12

4.3. Exploración del subsuelo 13

4.4. Ensayo de Penetración Dinámica de Cono (PDC). 16

4.5. Ensayos de laboratorio 17

4.6. Nivel freático 17

5. VARIABLES DE DISEÑO – PAVIMENTO RÍGIDO 18

5.1. Capacidad de soporte de la subrasante 18

5.2. Tránsito de diseño 21

5.3. Módulo de rotura del concreto 22

5.4. Otras variables 22

6. ESTRUCTURA FINAL 24

6.1. Estructura final 24

6.2. Diseño de juntas de pavimentos 24

6.2.1. Tipos de juntas 25

6.2.2. Espaciamiento entre juntas 26

6.2.3. Transmisión de cargas 26

6.3. Barras de anclaje 28

6.4. Distribución de acero 30

6.5. Refuerzo de losas 31

7. MATERIALES 32

7.1. Materiales granulares 32

7.2. Concreto 32

7.3. Acero 32

7.3.1. Pasadores o barras pasajuntas 32

7.3.2. Barras de amarre 33

7.4. Productos para juntas 33

8. DRENAJE Y SUBDRENAJE 35

9. CONCLUSIONES 36

10. LIMITACIONES 37

11. BIBLIOGRAFÍA 38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del proyecto – Fuente: Elaboración propia. 9

Figura 2. Patologías de pavimentos existentes 12

Figura 3. Localización de la estación de conteo 13

Figura 4. Registro fotográfico de exploración de campo 14

Figura 5. Mapa de exploración geotécnica. Fuente: Elaboración propia. 15

Figura 6. Estratigrafía de los sondeos ejecutados 15

Figura 7. Registro fotográfico ensayo de PDC 16

Figura 8. Comparación de resultados de ensayos de CBR y PDC. 19

Figura 9. Determinación del CBR de diseño – Hospital de Yolombó 19

Figura 10. Correlación entre CBR y módulo de reacción de la subrasante 20

Figura 11. Esquema de estructura de pavimento – Hospital de Yolombó 24

Figura 12. Detalle de junta transversal 28

Figura 13. Detalle de construcción de junta 28

Figura 14. Barras de amarre 30

Figura 15. Distribución de barras en las losas de pavimento 30

Figura 16. Detalle de losa especial reforzada 31

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Localización de sondeos 14

Tabla 2. Resumen ensayos de clasificación 17

Tabla 3. Resultados de ensayos de CBR 17

Tabla 4. Percentiles para determinar el CBR de diseño 18

Tabla 5. Mejoramiento de módulo de reacción 21

Tabla 6. Cálculo de repeticiones esperadas para cada tipo de vehículo – Periodo de diseño de 20 años 21

Tabla 7. Configuración del tránsito para diseño por el método PCA - Periodo de diseño de 20 años 22

Tabla 8. Dimensión de las dovelas, según el espesor de losa 27

Tabla 9. Requisitos para el material de sello en pavimentos de concreto hidráulico 34

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Memorias de cálculo BS-PCA

1. INTRODUCCIÓN

Por solicitud del ingeniero Sergio Ríos de la firma R&U Ingenieros, se realizó el diseño de pavimentos necesario para la vía del hospital de Yolombo ubicado en la dirección Carrera 24 N.º 13 – 466, en una de las entradas del municipio de Yolombó en el departamento de Antioquia, para lo cual se realizaron las investigaciones y análisis pertinentes para presentar alternativas de estructura de pavimento óptima para soportar las diferentes cargas que se presenten durante el periodo de diseño del proyecto, adicionalmente se realizaron estudios de suelos que soporten los diseños estipulados, incluyendo una exploración geotécnica y una caracterización geológica del subsuelo.

En este informe se presentan los resultados del estudio efectuado, incluyendo el resumen de las exploraciones de campo y los resultados de los ensayos de laboratorio ejecutados, se indican las condiciones geológicas y geotécnicas y se exponen además los análisis realizados. Finalmente, se presentan las intervenciones necesarias para satisfacer el tránsito de diseño, en función de las condiciones del subsuelo, por medio de materiales granulares y concreto hidráulico, para la conformación de la estructura de pavimento flexible.

1.1. Objetivo general.

El objetivo general de este informe es presentar los resultados de los trabajos de campo y características geotécnicas del sitio, y las intervenciones a realizar para aportar un diseño estructural óptimo, para las diferentes cargas que se puedan presentar en el pavimento a diseñar.

1.2. Objetivos específicos.

La finalidad del diseño de pavimentos es proporcionar las estructuras específicas e intervenciones a realizar para la ejecución de la estructura flexible, para los cuales fue necesario realizar las siguientes actividades:

- Visitas de campo y reconocimiento geotécnico de la zona.
- Exploración de campo mediante la elaboración de apiques.
- Ejecución de ensayos de campo, tipo Penetración Dinámica de Cono (PDC).
- Descripción visual realizada en campo de las muestras obtenidas.
- Caracterización física de los materiales que conforman cada estrato identificado, mediante la realización de ensayos de laboratorio sobre las muestras más representativas.
- Análisis del tránsito vehicular.
- Definición de materiales.
- Definición de estructura de pavimento.
- Recomendaciones de carácter constructivo.

Lo anterior desarrollado de conformidad con las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras de 2013, elaborado por el Instituto Nacional de Vías – INVIAS.

2. GENERALIDADES DEL PROYECTO

El proyecto se localiza en el municipio de Yolombó, en la entrada del municipio en el Hospital de Yolombó, exactamente en las coordenadas Magna Colombia Bogotá Norte: 1.220.693,013, Oeste: 895.964,222. Ver Figura 1.

El proyecto en cuestión tiene como objetivo la reconstrucción de la vía del hospital de Yolombó, en la que se pavimentará la vía para mejorar la circulación de vehículos en el hospital, por lo que se requirió la ejecución de un estudio de suelos que contenga la información que permita caracterizar geológica y geotécnicamente los materiales del subsuelo que complementen la realización de un adecuado diseño del pavimento para la obra proyectada.

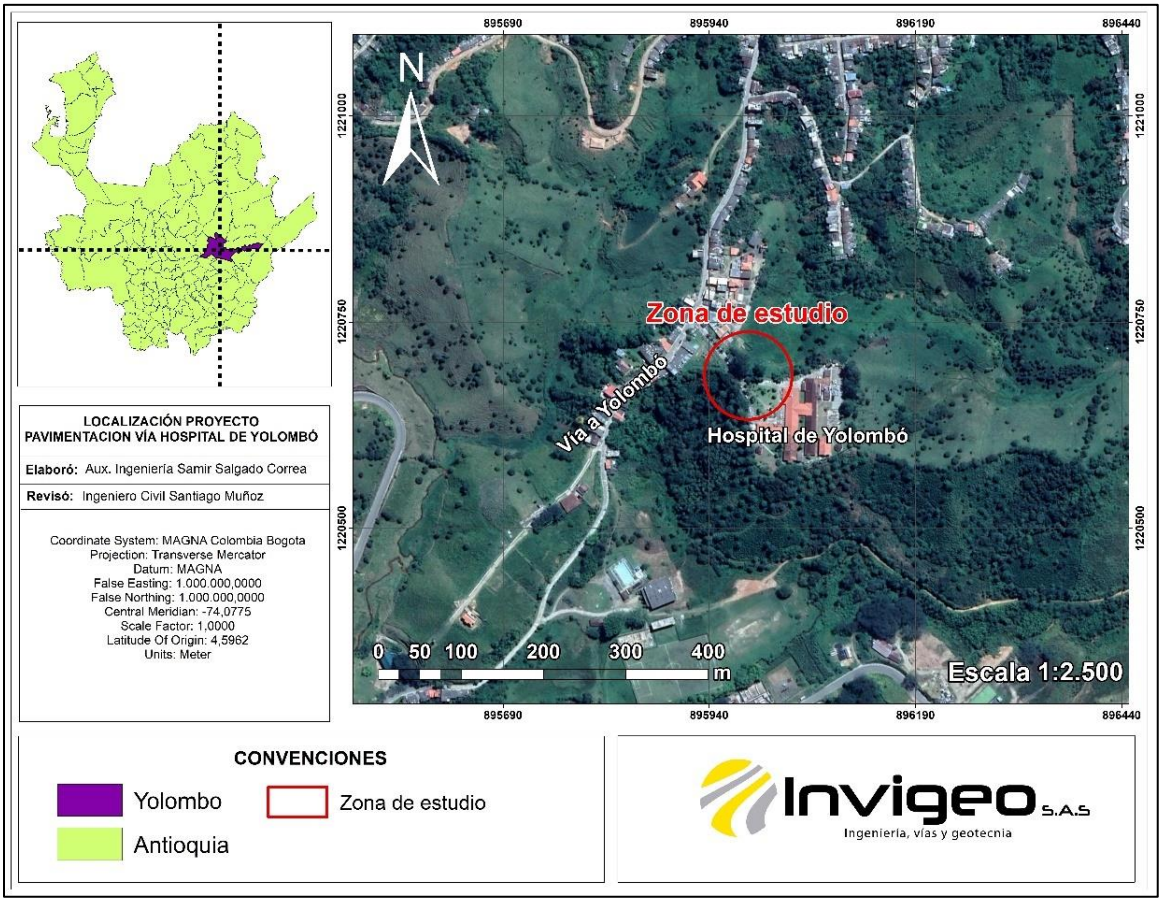


Figura 1. Localización del proyecto –

Fuente: Elaboración propia.

3. METODOLOGÍA DE DISEÑO

Para el diseño de espesores de pavimentos rígidos, se usará en método PCA (Portland Cement Association), usando el software BS-PCA.

Para el diseño estructural del pavimento rígido se usará el procedimiento de diseño propuesto por la PCA – Portland Cement Association, el cual es aplicable a los diversos tipos de pavimentos rígidos: de concreto simple, de concreto simple con varillas de transferencia de carga (pasadores), de concreto reforzado y con refuerzo continuo.

Los pavimentos de concreto simple con varillas de transferencia de carga, se constituyen sin acero de refuerzo; sin embargo, en ellos se disponen varillas lisas en cada junta de contracción, las cuales actúan como dispositivos de transferencia de cargas, requiriéndose también que las losas sean cortas para controlar el agrietamiento.

El procedimiento de diseño de la PCA, incluye dos criterios principales de diseño:

- Criterio de fatiga: Para mantener los esfuerzos del pavimento producidos por la acción repetida de las cargas, dentro de límites de seguridad, y con ello prevenir la fatiga por agrietamiento.
- Criterio de erosión: Para limitar los efectos de la deflexión del pavimento en los bordes de las losas, juntas y esquinas, y controlar así la erosión de la fundación y de los materiales de las bermas. Este criterio de erosión es necesario, puesto que algunas formas de falla del pavimento, tales como el bombeo, el desnivel entre losas y el deterioro de las bermas, son independientes de la fatiga.

Además, el procedimiento de diseño tiene las siguientes consideraciones:

- Resistencia a la flexión del concreto (Módulo de rotura, MR).
- Resistencia de la subrasante o del conjunto subrasante – subbase (k).
- Los tipos, frecuencias y magnitudes de las cargas por eje esperadas.

- El período de diseño, que usualmente se toma como 20 años, pudiendo ser mayor o menor.
- Transferencia de cargas en juntas transversales (Uso de dovelas – barras de transferencia de cargas).
- Transferencia de cargas en los bordes (Consideración de confinamiento en los extremos del pavimento: bermas o sobreanchos de calzada).
- Factor de seguridad de cargas.
- Factor de mayoración de repeticiones.

El objetivo del diseño es definir una dimensión a la losa que garantice un comportamiento satisfactorio de ellas para resistir los esfuerzos generados por la aplicación de cargas externas, controlando los dos criterios de diseño mencionados anteriormente: fatiga y erosión.

Adicionalmente, para la elaboración del estudio de suelos complementario se realizó una visita de campo a la zona de interés, en donde se reconocieron las características geológicas, geomorfológicas y morfodinámicas del sitio, así como un primer acercamiento al análisis geotécnico a partir de las muestras extraídas de campo. Se realizó la exploración del subsuelo mediante la ejecución de cuatro (4) apiques, de 1,50 metros de profundidad cada uno, con muestreo para ensayos de CBR y clasificaciones, y ensayos de PDC en cada uno de los apiques. Las muestras recuperadas fueron descritas visualmente, según la norma de ensayo INV. E-102 (INVIAS 2013), con el fin de definir una caracterización geológica de los materiales pertenecientes al subsuelo de la vía en cuestión.

Una vez realizada la exploración de campo, las muestras fueron debidamente empacadas y transportadas al laboratorio de suelos, para definir sus características físicas, mediante la realización de ensayos sobre las muestras representativas de cada estrato encontrado en el sitio.

4. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

Se presenta un resumen de los trabajos de campo ejecutados para los diferentes análisis necesarios para el diseño de pavimentos.

4.1. Reconocimiento de la vía existente

Actualmente la vía en estudio se encuentra pavimentada en estructura rígida, pero estas cuentan con un alto grado de deterioro, en donde son muy evidentes las distintas patologías.



Figura 2. Patologías de pavimentos existentes

4.2. Conteos vehiculares

Se determinó para este proyecto que se requería de una estación de conteo en el eje vial del hospital de Yolombó, debido a que la remodelación de la vía se hará precisamente en esa zona. Esta estación de conteo se localizó en la entrada al hospital.



Figura 3. Localización de la estación de conteo

Los resultados y análisis de los conteos vehiculares se pueden ver a detalle en el estudio de tránsito ejecutado para el presente proyecto.

4.3. Exploración del subsuelo

Para la correcta caracterización de los materiales que conforman el área de estudio, se realizaron un total de cuatro (4) apiques a una profundidad de hasta 1,50 metros, se obtuvieron muestras de bolsa y CBR, para la ejecución de ensayos de laboratorio con el fin de determinar las diferentes propiedades de los diferentes estratos.

A continuación, se presenta un registro fotográfico de los trabajos de campo ejecutados en cada uno de los sondeos.



Figura 4. Registro fotográfico de exploración de campo

Se presentan las coordenadas de los sondeos ejecutados.

Tabla 1. Localización de sondeos

Sondeo	Coordenadas	
	X	Y
AP-1	895.932,809	1.220.735,386
AP-2	895.964,559	1.220.693,423
AP-3	895.989,430	1.220.650,772
AP-4	896.023,191	1.220.653,312

A continuación, en la Figura 5, se presenta la ubicación de los sondeos realizados, dentro del área de interés.

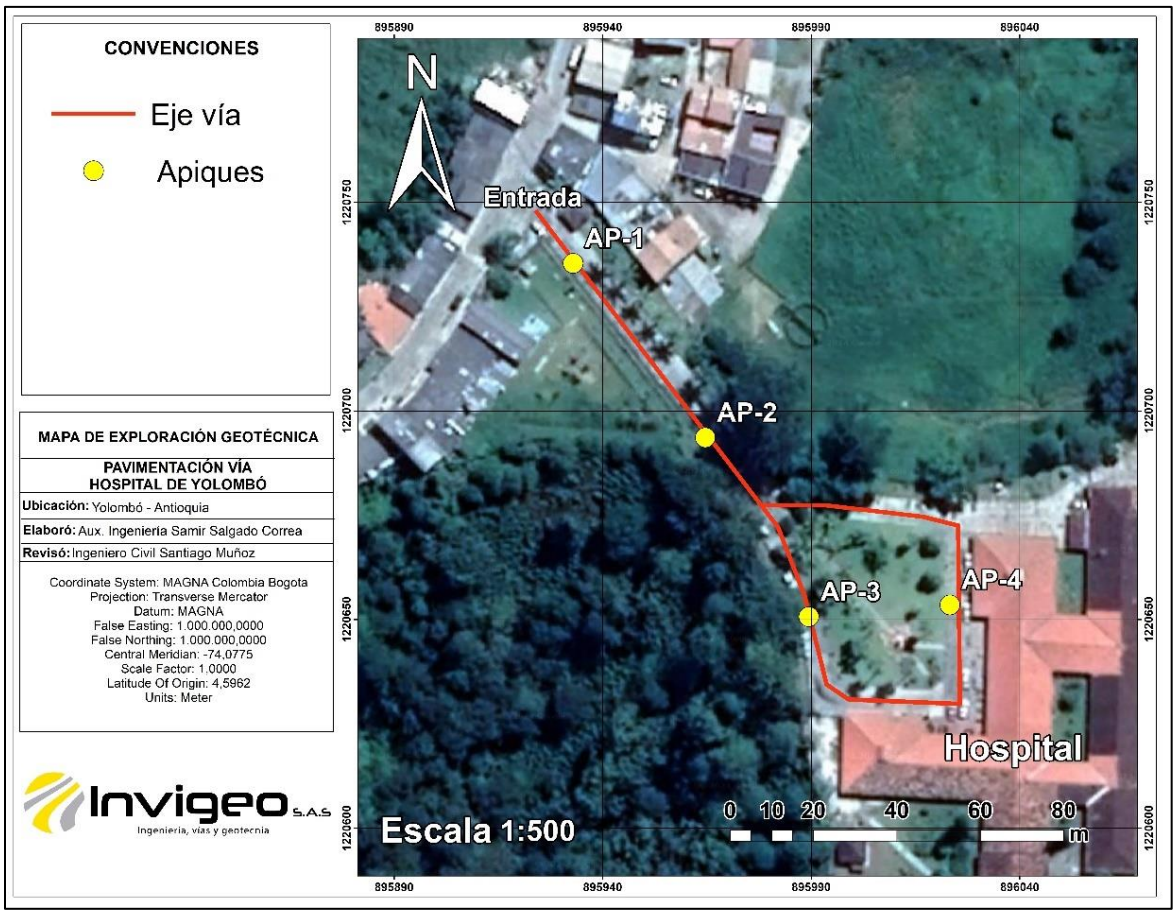


Figura 5. Mapa de exploración geotécnica.
Fuente: Elaboración propia.

A partir de los apiques ejecutados, se reconocieron los siguientes materiales:

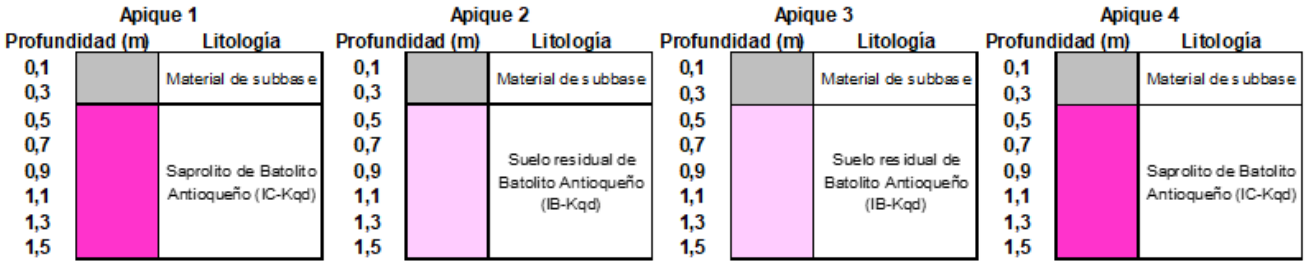


Figura 6. Estratigrafía de los sondeos ejecutados

En cada uno de los sondeos se recuperaron muestras de bolsas y en dos de ellos, se recuperaron muestras para realizar ensayos CBR, de las muestras de bolsa se ejecutarán ensayos de caracterización y clasificación.

En términos generales se encontró lo siguiente:

- Losa de concreto de 15 cm en alto grado de deterioro.
- Subbase granular, con deficiente compactación y con deficiencia de partículas arenosas y finogranulares a causa del lavado de la misma por las aguas lluvia.
- Subrasante arcillosa de baja compresibilidad.

4.4. Ensayo de Penetración Dinámica de Cono (PDC).

Se ejecutaron cuatro (4) ensayos de Penetración Dinámica de Cono (PDC), acorde a los procedimientos enumerados en la norma INVIAS INV E 172 – 13: Uso del penetró metro dinámico de cono en aplicaciones de pavimentos a poca profundidad, el cual es un método de ensayo que cubre la medida de la rata de penetración del PDC con un martillo de 8 kg, a través de un suelo inalterado o de materiales compactados. La rata de penetración puede ser relacionada con valores de resistencia in – situ, tales como el CBR. A continuación, se presenta un registro fotográfico de la ejecución del ensayo de Penetración Dinámica de Cono (PDC), sobre la vía a diseñar.



Figura 7. Registro fotográfico ensayo de PDC

4.5. Ensayos de laboratorio

Se presenta un resumen de los resultados de laboratorio ejecutados, los uales se pueden observar a detalle en el informe geotécnico realizado para el presente proyecto.

En la Tabla 2 se muestra un resumen de los ensayos de clasificación ejecutados, en donde se obtiene que el suelo se clasifica como arcillas de alta compresibilidad en la totalidad de las muestras ensayadas.

Tabla 2. Resumen ensayos de clasificación

Sondeo	w (%)	LL (%)	LP (%)	IP	%G	%A	%F	USC	AASHTO
AP1-M1	29,7	39	20	19	0,0	49,5	50,4	CL	A-6
AP2-M1	23,0	38	20	18	0,0	45,2	54,7	CL	A-6
AP3-M1	25,0	38	19	19	0,0	45,9	54,0	CL	A-6
AP4-M1	26,8	50	20	30	0,0	47,7	52,2	CL	A-6

Fueron ejecutados también ensayos de CBR sobre las muestras inalteradas recuperadas en los apiques, en donde las muestras fueron saturadas por 1 día con el fin de observar su comportamiento en sus condiciones más críticas de humedad en donde se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 3. Resultados de ensayos de CBR.

Sondeo	CBR inalterado (%)		CBR saturado (%)		Expansión (%)
	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"	
AP2-M1	18,2	19,8	12,0	14,6	0,0
AP3-M1	6,1	7,7	2,5	3,2	1,1

4.6. Nivel freático

Durante el proceso de exploración directa ejecutada a mediados del mes de febrero de 2024 en la vía del hospital de Yolombó, el nivel freático no fue detectado en ninguno de los sondeos hasta la profundidad explorada.

5. VARIABLES DE DISEÑO – PAVIMENTO RÍGIDO

A continuación, se enumeran las variables necesarias para el dimensionamiento de la losa de concreto a diseñar, mediante el software BS-PCA.

5.1. Capacidad de soporte de la subrasante

La resistencia de cada suelo se debe expresar en términos del módulo de reacción (k). Se permite la determinación de k por correlación con el CBR.

Para el presente diseño se determinó un CBR de diseño a partir de ensayos de Penetración Dinámica de Cono (PDC) y de ensayos de CBR, en donde la selección del CBR de diseño fue la resultante de realizar un análisis estadístico, llamado percentil.

El percentil a usar para determinar el CBR de diseño para este caso, es el recomendado por el instituto del asfalto, en función del número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas (variable tránsito) en el carril de diseño, definido en el numeral anterior.

Tabla 4. Percentiles para determinar el CBR de diseño

NUMERO DE EJES DE 8.2 TONELADAS EN EL CARRIL DE DISEÑO	PERCENTIL A SELECCIONAR PARA DETERMINAR EL CBR DE DISEÑO
$\leq 10^4$	60.0
$10^4 - 10^6$	75.0
$\geq 10^6$	87.5

Debido a que los ejes equivalentes calculados para las vías en estudio pertenecen al rango entre $10^4 - 10^6$, el percentil a usar para la estimación del CBR de diseño es de 75.

Se presenta comparativamente los resultados de los ensayos de CBR y PDC para cada uno de los sondeos ejecutados y la determinación del CBR de diseño.

Se presenta comparativamente los resultados de los ensayos de CBR y PDC para cada uno de los sondeos ejecutados y la determinación del CBR de diseño.

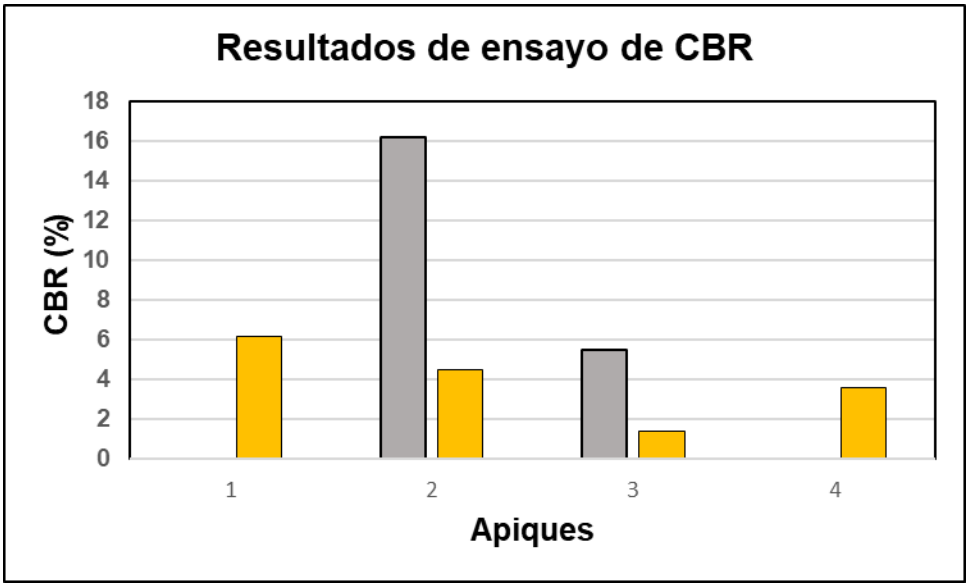


Figura 8. Comparación de resultados de ensayos de CBR y PDC.

A continuación, se presenta la determinación de los CBRs de diseño para la zona de estudio.

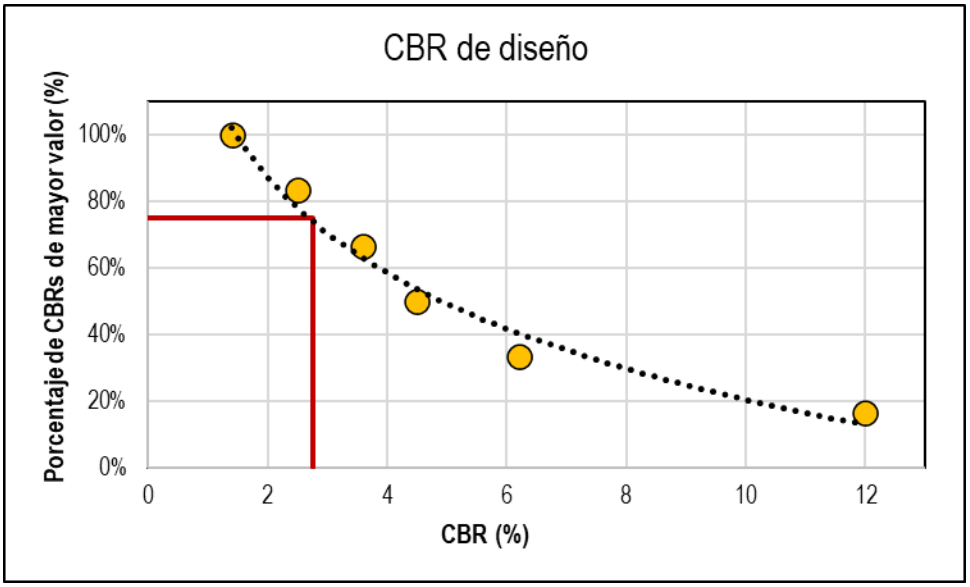


Figura 9. Determinación del CBR de diseño – Hospital de Yolombó

Así, se obtiene un CBR de diseño de 2.75% para la vía del hospital de Yolombó.

A partir de estos valores de CBR, es posible calcular el módulo de reacción (k) de la subrasante, por medio de la Figura 10.

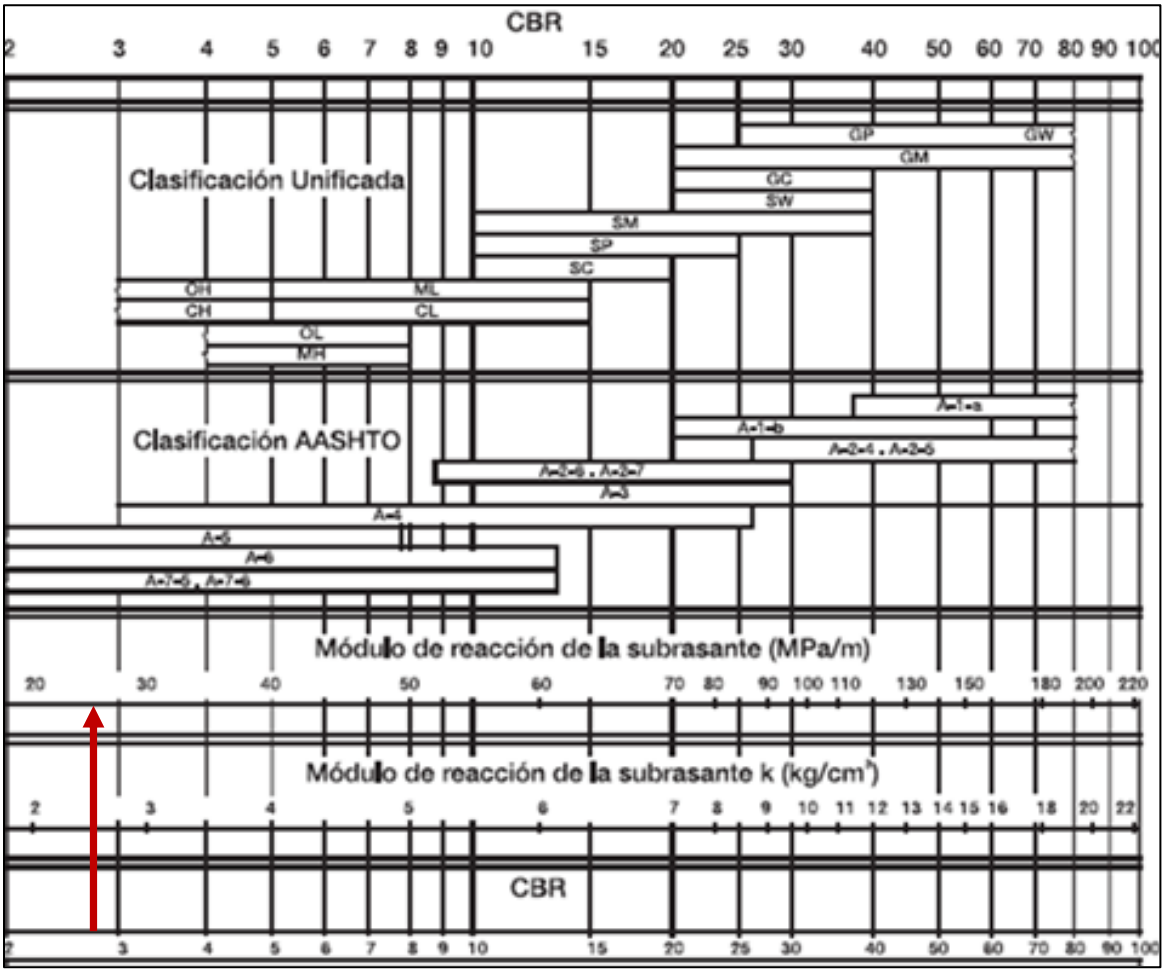


Figura 10. Correlación entre CBR y módulo de reacción de la subrasante

Como se muestra en la Figura 10, se puede calcular un Módulo de reacción de la subrasante de 25 MPa/m.

Con el fin de mejorar las condiciones de apoyo de la placa de concreto, se recomienda usar una subbase, la cual mejora el módulo de reacción k, en función del espesor que se tenga, de acuerdo a la Tabla 5. El nuevo valor de k, se conoce por el nombre de “k combinado”.

Tabla 5. Mejoramiento de módulo de reacción

VALOR DE K PARA SUBRASANTE		VALOR DE K PARA SUBBASE K COMBINADA							
		100 mm		150 mm		225 mm		300 mm	
MPa/m	PCI	MPa/m	PCI	MPa/m	PCI	MPa/m	PCI	MPa/m	PCI
20	73	23	85	26	96	32	117	38	140
40	147	45	165	49	180	57	210	66	245
60	220	64	235	66	245	76	280	90	330
80	295	87	320	90	330	100	370	117	430

Finalmente, se obtiene un valor de k combinado de 38.2 MPa/m contando con un espesor de mejoramiento con subbase de 22.5 cm.

5.2. Tránsito de diseño

Al igual que para pavimentos flexibles, se debe calcular un tránsito que afectará la vía durante un periodo de diseño (para este caso, el periodo de diseño será 15 años y 20 años). La diferencia es que para pavimentos rígidos no se calculan ejes equivalentes, sino que se calcula el número de vehículos discriminando cada tipo de ejes y sus espectros de cargas.

A continuación, se presenta el cálculo de las repeticiones esperadas por tipo de vehículo y para cada año, para cada uno de los tramos viales.

Tabla 6. Cálculo de repeticiones esperadas para cada tipo de vehículo – Periodo de diseño de 20 años

AÑO	AÑO DE OPER.	TASA	TPD	REPETICIONES POR DÍA			REPETICIONES POR AÑO		
				AUTOS	C2P	C2G	AUTOS	C2P	C2G
2024	1	2%	251	210	39	2	38295	7204	308
2025	2	2%	256	214	40	2	39061	7349	314
2026	3	2%	261	218	41	2	39842	7495	320
2027	4	2%	266	223	42	2	40639	7645	327
2028	5	2%	272	227	43	2	41452	7798	333
2029	6	2%	277	232	44	2	42281	7954	340
2030	7	2%	283	236	44	2	43126	8113	347
2031	8	2%	288	241	45	2	43989	8276	354
2032	9	2%	294	246	46	2	44869	8441	361
2033	10	2%	300	251	47	2	45766	8610	368
2034	11	2%	306	256	48	2	46681	8782	375

AÑO	AÑO DE OPER.	TASA	TPD	REPETICIONES POR DÍA			REPETICIONES POR AÑO		
				AUTOS	C2P	C2G	AUTOS	C2P	C2G
2035	12	2%	312	261	49	2	47615	8958	383
2036	13	2%	318	266	50	2	48567	9137	391
2037	14	2%	325	271	51	2	49539	9320	398
2038	15	2%	331	277	52	2	50530	9506	406
2039	16	2%	338	282	53	2	51540	9696	415
2040	17	2%	345	288	54	2	52571	9890	423
2041	18	2%	351	294	55	2	53622	10088	431
2042	19	2%	358	300	56	2	54695	10290	440
2043	20	2%	366	306	58	2	55789	10495	449
TOTAL			6099	5098	959	41	930469	175048	7484

Las cargas con las cuales se trabajará son las máximas permitidas de acuerdo a la Resolución 4100 de 2004 del Ministerio de Transporte de la República de Colombia, en lo que concierne a vehículos tipo bus, camión C2P, camión C2G y camión C3.

Finalmente, se obtiene la siguiente configuración de tránsito como datos de entrada para el software de diseño, el cual necesita el número de repeticiones por tipo de eje y carga esperada en este.

Tabla 7. Configuración del tránsito para diseño por el método PCA - Periodo de diseño de 20 años

EJE SIMPLE	
CARGA (ton)	REPETICIONES
6	357581
11	7484

5.3. Módulo de rotura del concreto

Se refiere a la resistencia del concreto a usar en la construcción del pavimento rígido, el cual es obtenido mediante el procedimiento indirecto para determinar la resistencia a la tensión del ensayo a la flexión de una viga normalizada. Para este diseño se trabajará con un módulo de rotura de 4,0 MPa.

5.4. Otras variables

- No se considerará que el pavimento estará confinado en sus bordes por la inexistencia de bermas y/o sobreanchos de calzada.

- Se considerarán pasadores de carga, los cuales para este caso serán barras de acero lisas.
- Factor de seguridad de carga: 1.05
- Factor de mayoración de repeticiones: 1.05

6. ESTRUCTURA FINAL

A continuación, se presentan las estructuras finales calculadas para las condiciones de los suelos y el tránsito del proyecto, las cuales cumplen con los criterios de fatiga y erosión.

6.1. Estructura final

La estructura de la vía de ingreso al hospital de Yolombó, estará compuesta por una capa de material de subbase, el cual deberá cumplir con los requisitos establecidos en el Artículo 320 de las especificaciones INVIAS 2013 (Tipo SBG-50 o SBG-38), y deberá tener un espesor mínimo de 22.5 centímetros, debidamente compactados. Finalmente, las losas de concreto, las cuales deberán tener un módulo de rotura mínimo de 4,0 MPa, tendrán un espesor mínimo de 20.0 centímetros. Ver Figura 11.

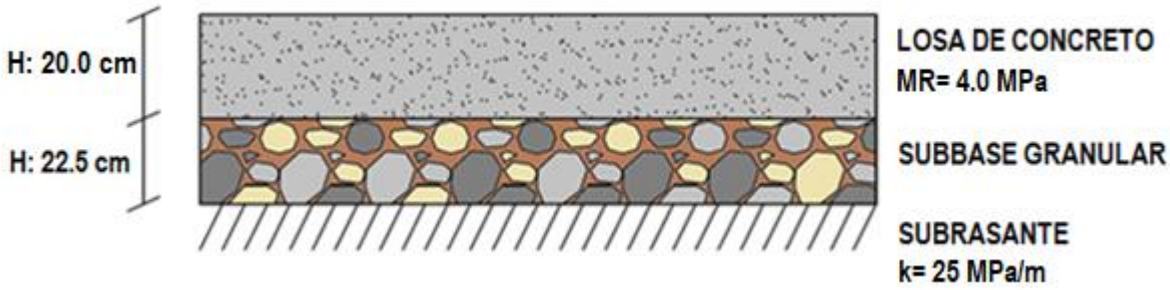


Figura 11. Esquema de estructura de pavimento – Hospital de Yolombó

Total Consumo por esfuerzo: 34,3 %

Total Consumo por Erosión: 0,2 %

6.2. Diseño de juntas de pavimentos

El diseño de las juntas tiene como objetivo controlar la fisuración del concreto y mantener la capacidad estructural y la calidad del pavimento con un bajo costo anual. En los pavimentos de concreto las juntas tienen las siguientes funciones:

- Controlar el agrietamiento transversal y longitudinal generado por la contracción restringida del concreto y por los efectos combinados del alabeo y de las cargas del tránsito.
- Dividir el pavimento en tramos lógicos para la construcción.
- Permitir los movimientos de la losa.
- Mantener la transferencia de cargas deseables.
- Proveer la caja para el material de sello.

Las juntas en los pavimentos de concreto son necesarias para controlar las grietas longitudinales y transversales. El agrietamiento resulta de los efectos combinados de la retracción por secado del concreto, de los cambios de temperatura y de humedad, de la fricción entre la losa y la base, de las cargas de tránsito aplicadas y de las características propias del concreto.

6.2.1. Tipos de juntas

Los tipos de juntas más comunes en los pavimentos de concreto son las siguientes:

- **Juntas transversales de contracción:** Son las juntas que se construyen 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. Estas juntas, generalmente, son perpendiculares a los bordes y a la línea central del pavimento
- **Juntas transversales de construcción:** Son las juntas que se generan al final del día o cuando se suspende la colocación del concreto. Estas juntas se deben localizar y construir en el lugar planeado siempre que sea necesario.
- **Juntas transversales de expansión:** Son juntas que se construyen en los sitios donde es posible que el movimiento del pavimento pueda generar daños a las estructuras adyacentes o al pavimento en sí mismo.

- **Juntas longitudinales de contracción:** Son las juntas que dividen los carriles y controlan el agrietamiento cuando se construyen dos o más carriles simultáneamente.
- **Juntas longitudinales de construcción:** Son las juntas que se generan longitudinalmente cuando los carriles se construyen con edades diferentes.

6.2.2. Espaciamiento entre juntas

Con el fin de dimensionar las losas del pavimento rígido, se deben tener en cuenta dos consideraciones principales. La primera de ellas es que tanto el largo como el ancho de estas deben ser entre 20 y 30 veces el espesor de esta. La segunda, es que la relación entre el largo y el ancho deberá estar entre 1.0 y 1.5.

Para este caso particular, en donde se tiene un espesor de 20 centímetros, se debe obtener un largo y un ancho de losa con dimensiones entre 4.0 y 6.0 metros. Estas son las medidas máximas para las losas; sin embargo, se deberán acomodar a la geometría de la vía.

En casos especiales, en donde las losas son irregulares, se recomienda reforzar las losas.

6.2.3. Transmisión de cargas

En los pavimentos rígidos se debe garantizar que las cargas sean transmitidas satisfactoriamente desde cada losa hacia las losas adyacentes a esta, por lo que se deben considerar elementos que permitan realizar esta actividad. Para este caso, se consideraron barras de acero lisas o dovelas.

Las dovelas son barras de acero lisas, insertadas en las juntas, para transferir cargas, sin restringir el movimiento horizontal. Las dovelas también permiten mantener el alineamiento horizontal y vertical. Puesto que las dovelas están en la mitad de la junta, los movimientos diarios y estacionales no afectan la transferencia de cargas a través de las juntas sin pasadores. Independientemente de la longitud

de las losas, las dovelas disminuyen la deflexión y los esfuerzos en el concreto y reducen el potencial del escalonamiento, el bombeo y las fallas de esquina.

La separación y longitud que deben tener las dovelas, las cuales dependen del espesor de la losa, se presentan a continuación.

Tabla 8. Dimensión de las dovelas, según el espesor de losa

Espesor de losa	Diámetro del pasador		Longitud total	Separación entre centros
mm	mm	pulg	mm	mm
100	12,7	1/2	250	300
110-130	15,9	5/8	300	300
140-150	19,1	3/4	350	300
160-180	22,2	7/8	350	300
190-200	**25,4**	**1**	**350**	**300**
210-230	28,6	1 1/8	400	300
240-250	31,8	1 1/4	450	300
260-280	34,9	1 3/8	450	300
290-300	38,1	1 1/2	500	300

Finalmente se obtienen dovelas con las siguientes especificaciones:

- Tipo de barra: Lisa No.8
- Longitud de barra: 35 cm
- Separación de barras: 30 cm

Las barras serán de acero redondo y liso, con límite de fluencia f_y mínimo de 280 MPa. Ambos extremos de los pasadores deberán ser lisos y estar libres de rebabas cortantes. En general, las barras deberán estar libres de cualquier imperfección o deformación que restrinja su deslizamiento libre dentro del concreto. Antes de su colocación los pasadores se deberán revestir con una capa de grasa u otro material que permita el libre movimiento de ellos dentro del concreto e impida su oxidación. El casquete colocado en las juntas de dilatación transversal deberá ser de metal u otro tipo de material aprobado y deberá tener una longitud suficiente para cubrir entre 50 mm – 75 mm del pasador.

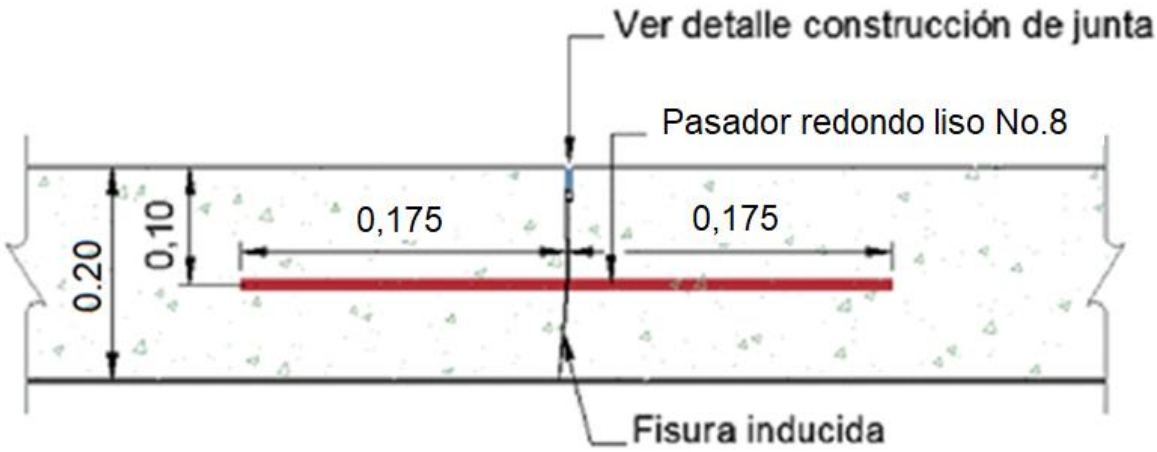


Figura 12. Detalle de junta transversal

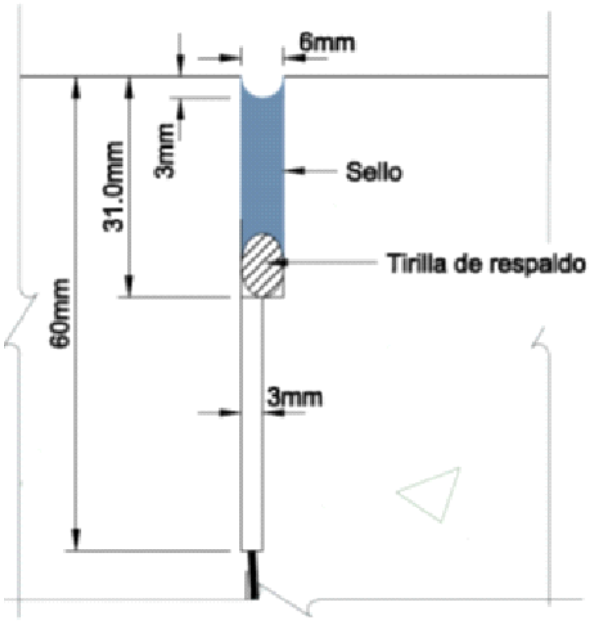


Figura 13. Detalle de construcción de junta

6.3. Barras de anclaje

Puesto que en nuestro medio los pavimentos se suelen construir por carriles, las juntas longitudinales son generalmente de construcción. En estas juntas se usan barras de anclaje, las cuales son corrugadas y tienen la función de mantener unidas las caras de estas, hasta el punto de anclarlas.

Las barras de anclaje se diseñan para resistir la fuerza de tracción generada por la fricción entre la losa del pavimento y la subrasante. La cantidad de acero se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$As = \frac{b * f * w}{f_s}$$

Donde:

As: Área de acero por unidad de longitud de junta.

b: Distancia entre la junta y el borde libre del pavimento

f: Coeficiente de fricción entre la losa y el suelo

w: Peso de la losa por unidad de área

f_s: Esfuerzo de trabajo del acero (0.67*fy)

La longitud de las barras debe ser tal que el esfuerzo de adherencia a cada lado de la junta iguale el esfuerzo de trabajo del acero. La longitud total se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$L = \frac{d * f_s}{2 * a} + 7.5$$

Donde:

d: Diámetro de la barra

f_s: Esfuerzo de adherencia

a: 0.1 f'c (para acero corrugado no debe ser mayor a 2.46 MPa)

Finalmente se obtienen barras de anclaje con las siguientes especificaciones:

- Tipo de barra: Corrugada No.4
- Longitud de barra: 65 cm
- Separación entre barras: 55 cm

Las barras serán de acero corrugado, con límite de fluencia f_y mínimo de 420 MPa. Estas nunca serán engrasadas o revestidas con ningún material que impida su adhesión con el concreto.

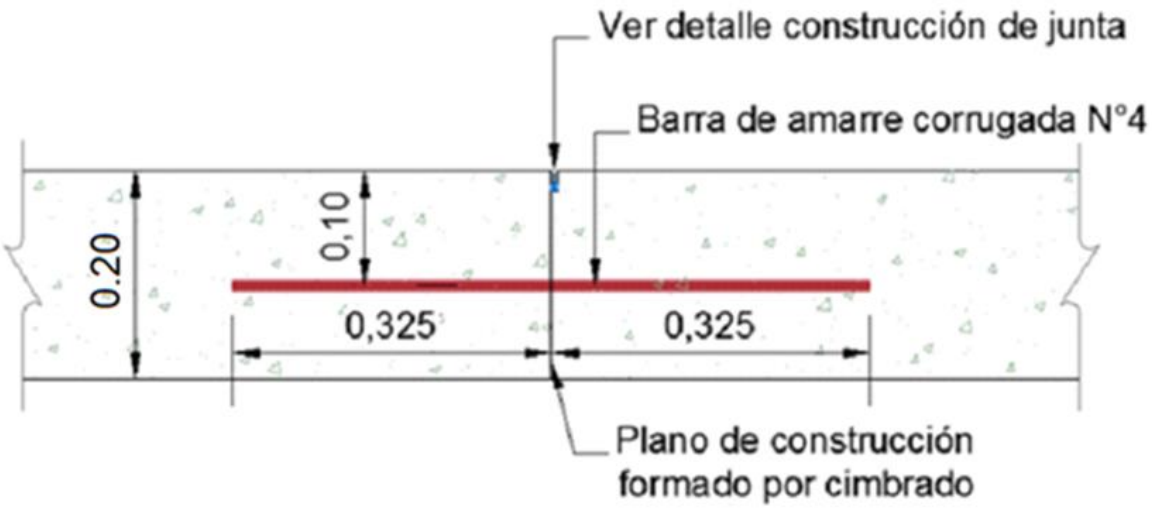


Figura 14. Barras de amarre

6.4. Distribución de acero

A continuación, se muestra la distribución de dovelas y barras de anclaje, en las losas de pavimento.

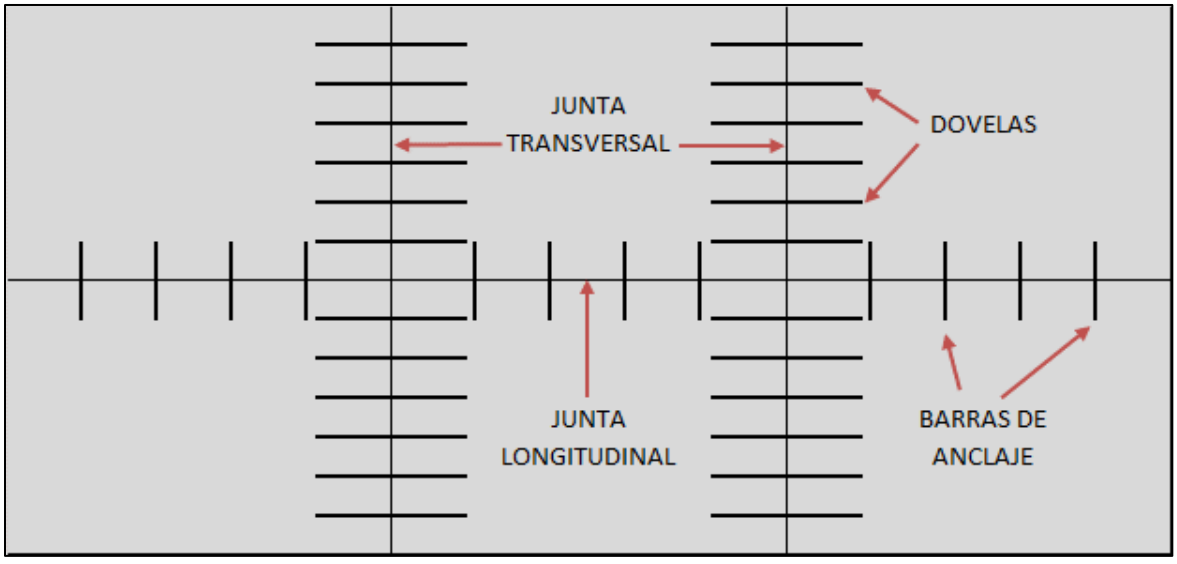


Figura 15. Distribución de barras en las losas de pavimento

6.5. Refuerzo de losas

Se requerirá su colocación cuando se tengan las siguientes características:

- Longitud de la losa superior a 24 veces el espesor de la misma.
- Losas con relación largo/ancho mayor a 1.5.
- Losas de forma irregular (diferente de la rectangular o cuadrada).
- Losas con abertura en su interior para instalación de elementos tales como pozos de inspección o sumideros.

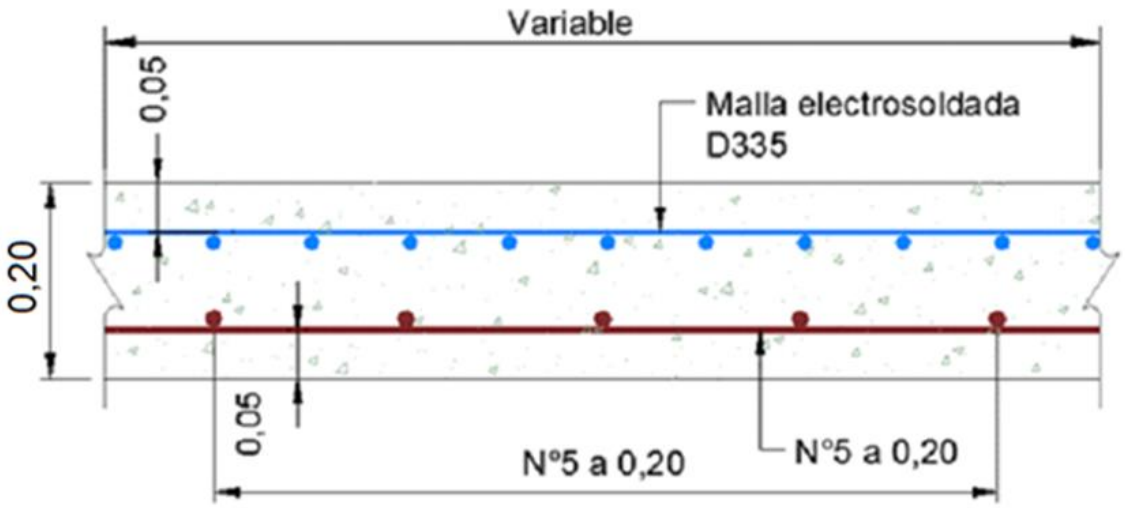


Figura 16. Detalle de losa especial reforzada

7. MATERIALES

Es necesario indicar que para los cálculos que se presentan se tiene como premisa que los materiales satisfacen las especificaciones INVIAS versión 2013.

7.1. Materiales granulares

Para efecto del cálculo de la estructura, se acude a las recomendaciones de la guía AASHTO, en relación con los módulos de las capas de sub-base, los cuales se relacionan a continuación:

- Subbase granular de CBR mínimo 30%: 16.000 psi = 1124 kg/cm^2

7.2. Concreto

El concreto estará conformado por una mezcla homogénea de cemento con o sin adiciones, agregados fino y grueso, y aditivos de ser requeridos. Estos materiales deberán cumplir con los requisitos establecidos por el INVIAS (2013).

- El concreto debe garantizar, como mínimo, una resistencia a la tracción por flexión de 4,0 MPa a los 28 días.
- El agua que se emplee para el curado deberá ser limpia y libre de aceites, ácidos, azúcar, materia orgánica y cualquier otra sustancia perjudicial al pavimento terminado.
- El curado se realizará mediante humedad, el material de cobertura podrá ser tela de fique o algodón, arena u otro producto de alta retención de humedad.

7.3. Acero

7.3.1. Pasadores o barras pasajuntas

Estos se colocarán en las juntas transversales.

- Las barras serán de acero redondo y liso, con límite de fluencia f_y mínimo de 280 MPa.

- Ambos extremos de los pasadores deberán ser lisos y estar libres de rebabas cortantes.
- En general, las barras deberán estar libres de cualquier imperfección o deformación que restrinja su deslizamiento libre dentro del concreto.
- Las barras serán ubicadas a la mitad del espesor de la losa.
- Antes de su colocación los pasadores se deberán revestir con una capa de grasa u otro material que permita el libre movimiento de ellos dentro del concreto e impida su oxidación.
- El casquete colocado en las juntas de dilatación transversal deberá ser de metal u otro tipo de material aprobado y deberá tener una longitud suficiente para cubrir entre 50 mm – 75 mm del pasador.

7.3.2. Barras de amarre

Estas se colocarán en las juntas longitudinales.

- Las barras serán de acero corrugado, con límite de fluencia f_y mínimo de 420 MPa.
- Las barras serán ubicadas a la mitad del espesor de la losa.
- Estas nunca serán engrasadas o revestidas con ningún material que impida su adhesión con el concreto.

7.4. Productos para juntas

- El material de sello podrá ser silicona o de aplicación en caliente.
- El sello de silicona deberá cumplir con lo establecido en la Tabla 9 de requisitos para material de sello en pavimentos de concreto.
- El sello de aplicación en caliente deberá cumplir con los requisitos establecidos en las especificaciones ASTM D 3405.
- El material de relleno para juntas de expansión deberá ser suministrado en piezas de la altura y el largo requerido, se podrá utilizar ocasionalmente dos piezas para completar el largo (nunca la altura). Los materiales por emplear

deberán cumplir con alguna de las especificaciones ASTM D 994, D 1751 ó D 1752.

- Las juntas deberán ser selladas pasados veintiuno (21) a veintiocho (28) días de edad del concreto y antes de que el pavimento sea abierto al tránsito.
- En el momento de aplicación del componente del sello, la temperatura ambiente deberá estar por encima de 5°C y no debe haber lluvia. Los requerimientos de temperatura se pueden obviar si así lo autoriza el interventor.
- La tirilla de respaldo deberá ser de espuma de polietileno extruida de celda cerrada y de diámetro aproximadamente 25% mayor que el ancho de la caja de la junta. Deberá cumplir con la especificación ASTM D 5249.

Tabla 9. Requisitos para el material de sello en pavimentos de concreto hidráulico

PROPIEDAD	NORMA DE ENSAYO	REQUISITO
Esfuerzo de tension a 150% de elongacion (7 dias de curado a 25°C+-5°C, y 45% a 55% de humedad relativa).	ASTM D 412	310 kPa maximo
Flujo a 25°C +- 5°C	ASTM D 792 (Metodo A)	No debera fluir del canal
Gravedad especifica	ASTM C 603 (1/8" @ 50 psi)	75 - 250 gm/min
Dureza a -18°C (7 dias de curado a 25°C +- 5°C)	ASTM C 2240	10 a 25
Resistencia al intempersimo despues de 5.000 horas de exposicion continua.	ASTM C 793	Sin agrietamiento, perdida de adherencia o superficies polvorientas por desintegracion
Superficie seca a 25°C +- 5°C, y 45% a 55% de humedad relativa	ASTM C 679	Menor de 75 minutos
Elongacion a la rotura despues de 21 dias de curado a 25°C +- 5°C, y 45% a 55% de humedad relativa	ASTM D 412	750 % minimo
Fraguado al tacto a 25°C +- 5°C, y 45% a 55% de humedad relativa	ASTM D 1640	Menos de 75 minutos
Vida en el contenedor a partir del dia de embarque		6 meses minimo
Adhesion a bloques de mortero	AASHTO T 132	345 kPa minimo
Capacidad de movimiento y adhesion. Extension de 100% a 18°C despues de 7 dias de curado al aire a 25°C +- 5°C, seguido por 7 dias en agua 25°C +- 5°C.	ASTM C 719	Ninguna falla por adhesion o cohesion despues de 5 ciclos.

8. DRENAJE Y SUBDRENAJE

Drenaje: Los pavimentos se proveerán de un sistema de drenaje adecuado conformado por el "bombeo" o pendiente transversal de al menos 2.0% descendente del eje hacia los bordes de la vía, con el fin de evacuar las aguas de escorrentía producto de la precipitación pluvial hacia las cunetas. Las aguas captadas por las cunetas se dispondrán a las alcantarillas de aguas lluvias mediante sumideros.

Subdrenaje y filtros: Si durante los movimientos de tierra para la conformación de la subrasante, aparecen afloramientos o surgencias de aguas, dadas las características de la zona, se recomienda la construcción de un sistema de filtros en aquellas zonas donde se construyan pavimentos nuevos, los filtros se conformarán con una sección de 0.40 x 0.80 m^2 envueltos en tela geotextil del tipo no tejido y se proveerán de tubería flexible perforada de al menos 4 pulgadas de diámetro.

Las aguas captadas por los filtros de dispondrán finalmente a la red local de alcantarillado de aguas lluvias.

Se ha considerado también la instalación de un bordillo lateral que permita el confinamiento de las losas, el cual podrá se prefabricado y cuyas dimensiones sean de 15 cm x 45 cm x 80 cm.

9. CONCLUSIONES

Las recomendaciones presentadas en este informe son adecuadas para garantizar el funcionamiento y la durabilidad de las obras proyectadas para la estructura en cuestión.

Los materiales encontrados en la fase de exploración pertenecen a un suelo descrito como arcilla de baja compresibilidad (CL), con plasticidad media a baja. Se recomienda fundar las estructuras de pavimento en el material arcilloso, no sin antes realizar un mejoramiento por medio de 22.5 cm de subbase granular.

El proceso constructivo debe ceñirse a las recomendaciones del Instituto Nacional de Vías – INVIAS 2013.

Es necesario resaltar que la vida útil de los pavimentos rígidos depende altamente de las obras de drenaje que se construyan paralelamente a la estructura, de tal forma que se evite el lavado del material granular.

10. LIMITACIONES

Las conclusiones y recomendaciones consignadas en el presente informe se basan en las investigaciones de campo y laboratorio que se describen en capítulos pertinentes y en la experiencia de los profesionales que participaron en los estudios.

Si durante las etapas de diseño y construcción se encuentran condiciones del subsuelo diferentes a las descritas como típicas en este informe se dará aviso oportuno al ingeniero encargado del estudio para complementar la información y las conclusiones y recomendaciones.

Durante la ejecución del estudio no se investigó la localización ni el estado de las redes de servicios públicos que pudieran existir en las vías.

Se recomienda que una copia del informe de suelos permanezca en la obra con el fin de agilizar las consultas del caso.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Especificaciones generales de construcción de carreteras, INVIAS 2013
- Normas de ensayo de materiales, INVIAS 2013
- Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito, INVIAS.
- Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras. Instituto Nacional de Vías (INVIAS), 2008.
- Guía de diseño de pavimentos AASHTO 93.

ANEXO 1

Memorias de cálculo BS-PCA

INVIGEO S.A.S.
Celular: *300 211 69 82*
Correo: *proyectos.invigeo@gmail.com*
Dirección: *Calle 31A No. 65F - 52*

DISENO PAVIMENTOS RIGIDOS - METODO PCA
UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
Software : BS-PCA

Datos :

Resistencia K del Apoyo	38,2 Mpa/m
Espesor Losa	200 mm
Modulo de Rotura	4 Mpa
Bermas	NO
Pasadores	SI
Factor de Seguridad Cargas	1,05
Factor de Mayoración Repeticiones	1

Resultados :

Carga Tn	Carga FS kN	Repeticiones Esperadas	Repeticiones Admisib_Fatiga	Consumo Fatiga %	Repeticiones Admisi_Erosion	Consumo Erosion %
EJES SIMPLES						
Esfuerzo Equivalente: 1,8	Factor Esfuerzo: 0,4560				Factor Erosion: 2,8320	
6,00	58,80	357.581	Inf	0,00	Inf	0,00
11,00	107,80	7.484	21.812	34,31	3.028.507	0,25
EJES TANDEM						
Esfuerzo Equivalente: 1,6	Factor Esfuerzo: 0,4030				Factor Erosion: 2,9780	
EJES TRIDEM						
Esfuerzo Equivalente: 1,2	Factor Esfuerzo: 0,3040				Factor Erosion: 3,1020	
				-------		-------
			Total :	34,31		0,25