PAVIMENTACIÓN DE VÍAS EN BARRIOS DE LAS COMUNAS 1, 4, 5 Y 9 EN EL MUNICIPIO DE MONTERÍA DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA

ELABORADO POR:

JORGE ANTONIO GONZÁLEZ AYUS
INGENIERO CIVIL
ESPECIALISTA EN INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES

SEPTIEMBRE DE 2024

Tabla de contenido

Tabla de contenido 1
Introducción 1
1. Objetivos 2
1.1 Objetivo general 2
1.2 Objetivos específicos 2
2. Generalidades del proyecto 3
2.1 Localización del proyecto 3
2.2 Descripción del proyecto 4
3. Metodología 5
3.1 Trabajo de campo geotécnico 5
3.2 Caracterización vehicular 5
3.3 Diseño de estructura de pavimento 8
3.1.1 Método Portland Cement Association [PCA]para diseño de pavimentos de concreto 8
3.1.1.1 Análisis de fatiga 9
3.1.1.2 Análisis de Erosión 9
3.1.2 Variables de diseño método Portland Cement Association [PCA] 9
4.0 Resultados 10
4.1 Caracterización geotécnica 10
4.1.1 Descripción de la subrasante 10
4.1.2 Valor de capacidad relativa de soporte 10
4.1.3 Mejoramiento de la subrasante 11
4.2 Estudio de tránsito 14
4.3 Espesores de estructura de pavimento 16
4.3.1 Conformación de la subbase granular 16
4.3.2 Diseño Estructura de pavimento rígido 18
4.4 Geometría de losas de concreto hidráulico 20
4.5 Diseño de juntas 24
4.6 Sello de juntas 27
4.7 Drenajes 28
5.0 Conclusiones 29

6.0 Recomendaciones..... 31
7.0 limitaciones del estudio..... 36
8.0 Bibliografía 37
ANEXOS 38

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tramos viales para diseñar....3
Tabla 2. Estimación del factor carril....7
Tabla 3. Estimación de K_3 para la proyección de tráfico....8
Tabla 4. Capacidad relativa de soporte de diseño – Muestras de CBR....11
Tabla 5 Espesores de relleno existente y espesor remante....12
Tabla 6. Repeticiones esperadas en el periodo de diseño para barrios de la comuna 1 (Holanda y Republica de Panamá)....14
Tabla 7. Repeticiones esperadas en el periodo de diseño para barrios de la comuna 5 (Chuchurubí, Chambacú, Balboa, Lacharme)....14
Tabla 8. Repeticiones esperadas en el periodo de diseño para barrios de la comuna 5 (Risaralda, La Victoria, Obrero, 14 de Julio, La Julia y Urbina.)....15
Tabla 9. Repeticiones esperadas en el periodo de diseño para barrios de la comuna 9 (Mocarí e INEM)....15
Tabla 10. Repeticiones esperadas en el periodo de diseño para barrios de la comuna 4 (Pablo VI, Villa Margarita, Alfonso López, 2 de Septiembre, Los Araújos, Nueva Esperanza, Villa Melissa, Furatena y Los Robles I)....15
Tabla 11. Franjas granulométricas del material subbase granular....16
Tabla 12. Módulo de reacción conjunto SBG-SBR....17
Tabla 13. Resultados de diseño de espesor de losa....19
Tabla 14. Longitud máxima de losas en función del ancho de carril para losas de 200 mm de espesor y 40 kgf/cm^2....21
Tabla 15. Longitud máxima de losas en función del ancho de carril para losas de 190 mm de espesor y 40 kgf/cm^2....21
Tabla 15. Característica de acero de juntas transversales....26
Tabla 16. Característica de acero de juntas longitudinales....26
Tabla 17. Espesores de estructura de pavimento tramos viales comunas 6 y 4....29

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del sector 4
Figura 2. Categorización de camiones 6
Figura 3. Relación entre clasificación de suelo y los valores de CBR y módulo de reacción de la subrasante ..... ¡Error! Marcador no definido.
Figura 4. Representación gráfica de la construcción de la junta de expansión en pozos de Inspección centrados.....22
Figura 5. Representación gráfica de la construcción de la junta de expansión en pozos de Inspección centrados (Segunda alternativa). 22
Figura 6. Representación gráfica de la construcción de la junta de expansión en pozos de inspección no centrados. 23
Figura 7. Esquema de refuerzos para losa con dos o más pozos de inspección 23
Figura 8. Acero de refuerzo en ambas caras de la losa.....23
Figura 10. Representación esquemática de barras longitudinales y transversales 24
Figura 10. Esquema de colocación de acero de refuerzo en juntas transversales 25
Figura 11. Estructura de pavimento definitiva 26
Figura 12. Estructura de pavimento definitiva ..... ¡Error! Marcador no definido.
Figura 13. Detalle constructivo de bordillo prefabricado y vaciado “in situ” 34

Introducción

En el presente informe se presentan los resultados del diseño de espesores de la estructura de pavimento rígido a través del método de Portland Cement Association [PCA] en los tramos viales urbanos correspondientes al grupo de prioridad 2 de las comunas 1, 4, 5 y 9 en el municipio de Montería, Departamento de Córdoba, para lo cual se requiere como insumo la caracterización de las propiedades geomecánicas del suelo de soporte y la descripción de la carga vehicular proyectada en el periodo de diseño.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

- Determinar los espesores de subbase granular y capa de rodadura de la estructura de pavimento rígido en función de las características mecánicas del suelo natural de soporte y las cargas vehiculares en el periodo de diseño en los tramos viales urbanos correspondientes a las comunas 1,4,5 y 9, en el municipio de Montería, Córdoba, a través del método de diseño de la Portland Cement Association [PCA].

1.2 Objetivos específicos

- Determinar el espesor de subbase granular de la estructura de pavimento rígido en función del aporte que genera al conjunto Subbase – subrasante.
- Determinar el espesor de la capa de rodadura en concreto hidráulico en función de la respuesta mecánica del conjunto subbase – subrasante.
- Determinar la geometría de las losas de concreto hidráulico que conforman la capa de rodadura de la estructura de pavimento rígido.

2. Generalidades del proyecto

2.1 Localización del proyecto

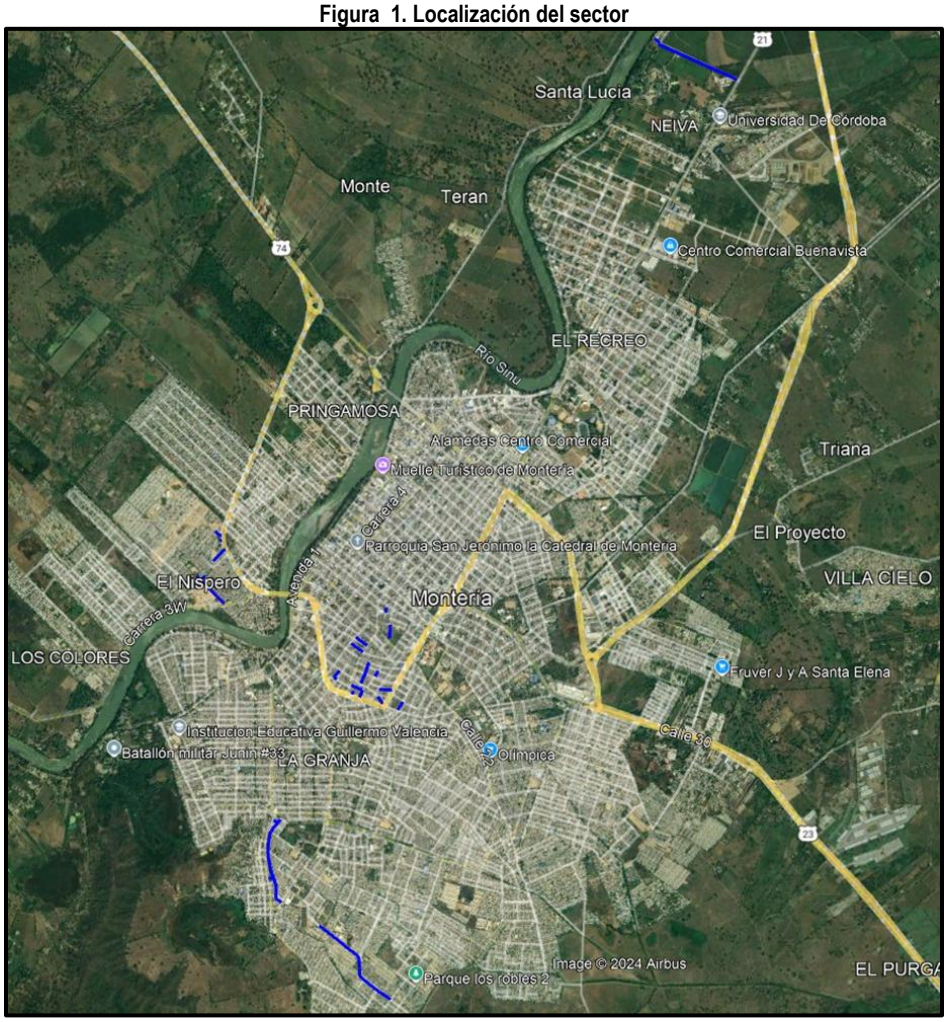
El proyecto en consideración se localiza en la zona urbana del Municipio de Montería, en el Departamento de Córdoba. Este estudio presenta como objeto diseñar la estructura de pavimento rígido de los tramos viales urbanos correspondientes a las comunas 1, 4, 5 y 9. A continuación, se muestra una relación de las vías y una imagen del sector:

Tabla 1. Tramos viales para diseñar

Comuna	Barrios	Descripción
1	Holanda y Republica de Panamá	Calle 16A entre carrera 3W y carrera 7AW
		Carrera 7W entre calle 16A y calle 17
		Carrera 7AW entre calle 18 y calle 20
		Carrera 8W entre calle 20 y calle 19
		Calle 19A entre calle 20 y carrera 8AW
5	Chuchurubí, Chambacú, Balboa y Lacharme.	Carrera 9A entre calle 23 y calle 24
		Carrera 10 entre calle 22 y calle 22C
		Calle 17A entre carrera 8B y carrera 9
		Calle 18 entre carrera 8B y carrera 9
		Carrera 8C entre calle 14 y calle 15
		Calle 14 entre carrera 8C y carrera 8D
	Risaralda, La Victoria, Obrero, 14 de Julio, La Julia y Urbina.	Carrera 11 entre calle 15 y calle 16B
		Carrera 12 entre calle 16 y calle 16A
		Calle 14 entre carrera 9 y carrera 12
		Carrera 12 entre avenida circunvalar y calle 14
		Carrera 11 entre avenida circunvalar y calle 14
		Calle15 entre avenida circunvalar y calle 15
		Calle 15A entre carrera 13 y carrera 14
		Carrera 14B entre calle 13 y calle 15A
9	Mocarí e INEM	Calle 1 entre carrera 2 y la vía Montería - Cereté
		Calle 94 entre calle 93 y carrera 2A
		Calle 95 entre carrera 4 y la vía Montería - Cereté
4	Pablo VI, Villa Margarita, Alfonso López, 2 de Septiembre, Los Araujos y Nueva Esperanza	Calle 4 entre carrera 8F y carrera 8G
		Carrera 8G entre calla 4 y carrera 9
		Calle 6A sur entre carrera 8F y carrera 8G

	Villa Melissa, Furatena y Los Robles I	Doble calzada Villa Melisa entre carrera 12A y carrera 23A - Tramo 1
		Doble calzada Villa Melisa entre carrera 12A y carrera 23A - Tramo 2

Figura 1. Localización del sector



Fuente: Google (2024). [Montería, Colombia]. Google Earth. https://www.googleearth.com

2.2 Descripción del proyecto

El proyecto trata de la construcción de aproximadamente 5746 m de pavimento en concreto hidráulico, distribuidos en los tramos mostrados anteriormente. Como característica principal se evidencia la circulación en dos sentidos, con dos carriles, con un ancho de vía especifica en cada tramo vial. La anterior descripción se realiza con base en la información suministrada por el solicitante y la visita de campo.

3. Metodología

3.1 Trabajo de campo geotécnico

En primera instancia se realizaron treinta y tres (33) apiques o calicatas exploratorias ubicadas a lo largo de los tramos viales, con el fin de tomar muestras alteradas e "inalteradas" para realizar los respectivos ensayos de laboratorio y evaluar las características geotécnicas de cada una de las capas que conforman el soporte (subrasante) existente. Estos apiques se realizaron a una profundidad de 1.50 m, indicando la profundidad del nivel de agua freático NAF. Los apiques de identificaron con la letra "A" seguido de un número, el cual indica el orden en que se desarrollaron.

La información se encuentra consignada en el documento "***ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS EN BARRIOS DE LAS COMUNAS 1, 4, 5 y 9 EN EL MUNICIPIO DE MONTERÍA, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA***" desarrollado por Ing. Esp. **Robinson Martínez Sandoval en septiembre de 2024.**

3.2 Caracterización vehicular

Una de las variables de mayor importancia en el diseño de estructuras de pavimento es el Transito, el cual, se categoriza en vehículos livianos (autos) y vehículos comerciales (buses y camiones), siendo los vehículos comerciales los que generan los deterioros de la vida útil del pavimento durante el periodo de diseño. Por lo anteriormente expuesto se hace necesario estimar la cantidad de vehículos comerciales que transitan actualmente en la zona del proyecto, así mismo, estimar el crecimiento de la circulación de vehículos una vez las vías intervenidas entren en funcionamiento y de esta manera proyectar la circulación durante el periodo de diseño de la estructura de pavimento.

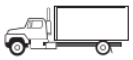
En este estudio es necesario tener en cuenta varios aspectos referidos a la clasificación de los vehículos, los factores de equivalencia de carga, distribución direccional y por carril y la proyección de las variables en la vida de diseño.

Para la caracterización de la carga vehicular, se desarrollaron conteos en diferentes puntos (estaciones de conteo) en adyacentes a las vías donde se proyecta la intervención, estos conteos se realizaron los días 5, 6 y 7 de septiembre. La supervisión de la actividad del conteo vehicular y el

procesamiento de la información estuvo a cargo del Ingeniero Civil Jorge González Ayus, especialista en ingeniería de vías terrestres.

Para la categorización de camiones se adopta la clasificación propuesta por el INVIAS, la cual se muestra a continuación:

Figura 2. Categorización de camiones

Designación	Configuración	Descripción
2		Camión de dos ejes Camión sencillo
3		Camión de tres ejes Dobletroque
3S2		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de dos ejes
3S3		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de tres ejes

Fuente: (INVIAS, 2008)

El tránsito promedio diario [TPD] se obtendrá con base en las estimaciones mencionadas anteriormente. Para la estimación del volumen ya sea de vehículos o ejes que circularan por los tramos viales a intervenir durante el periodo de diseño, bastará con determinar la composición vehicular en términos porcentuales y a partir de esta determinar la fracción de cada tipo de vehículo comercial.

En términos de número de ejes simples, tándem y trídem en el periodo de diseño se puede determinar así:

$$N_{ejes} = \frac{\#Ejes}{día} * \frac{K_2}{100} * K_3 * n * 365$$

Donde:

$\#Ejes$: número de ejes según determinada carga y configuración

K_2: factor carril

K_3: factor de proyección

n: periodo de diseño en años

365: número de días de un año

N_{ejes}: número acumulado de ejes según determinada carga y configuración.

Para la caracterización de la variable transito empleada en el método de diseño de pavimento rígido propuesto por Portland Cement Association - PCA (1984) se realiza la cuantificación a través de espectros de carga o del número de ejes pesados o comerciales de determinada carga y configuración. Dentro del procedimiento que realiza para la obtención del número de ejes esperados que circulen en el carril de diseño durante el periodo de diseño se requiere el valor del factor carril [k_2], el cual, depende del TPD y del número de carril en una dirección. A continuación, se muestra en la tabla 1, los valores k_2.

Tabla 2. Estimación del factor carril

TPD [vehículo/día]	Dos carriles en una dirección	Tres carriles en una dirección
	Factor carril, k2 [%]	
1000	100	-
2000	95	-
3000	91	78
4000	89	76
5000	87	74
6000	85	73
7000	84	72
8000	83	70
9000	82	69
10000	81	68
15000	78	65
20000	75	63
30000	72	59
40000	68	57
60000	-	54
80000	-	52

Fuente: (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2022)

Así mismo, dentro del procedimiento que realiza para la obtención del número de ejes esperados que circulen en el carril de diseño durante el periodo de diseño se requiere el valor del factor proyección [k_3], el cual, depende del crecimiento anual del tránsito y del periodo de diseño. A continuación, se muestra en la tabla 2, los valores k_3.

El uso de este factor es fundamental para la caracterización de la variable de tránsito utilizada en el método de diseño de pavimento rígido propuesto por la PCA.

Tabla 3. Estimación de K_3 para la proyección de tráfico

Tasa de crecimiento anual de tránsito, i [%]	Periodo de diseño, n = 20 años	Periodo de diseño, n = 40 años
	k3	
1.00	1.1	1.2
1.50	1.2	1.3
2.00	1.2	1.5
2.50	1.3	1.6
3.00	1.3	1.8
3.50	1.4	2
4.00	1.5	2.2
4.50	1.6	2.4
5.00	1.6	2.7
5.50	1.7	2.9
6.00	1.8	3.2

Fuente: (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2022)

3.3 Diseño de estructura de pavimento

Para la determinación de los espesores de losa de concreto hidráulico y sub base granular se procedió a través del uso de la metodología de diseño PCA. El espesor de losa y sub base granular será el que cumpla con los criterios de fatiga y erosión expuesto en el método de diseño [PCA]. A continuación, se enuncia los aspectos relevantes de cada metodología de diseño.

3.1.1 Método Portland Cement Association [PCA]para diseño de pavimentos de concreto

La metodología expuesta por la Portland Cement Association [PCA], la cual, considera el efecto de confinamiento lateral a través de bermas o la ausencia de este; así mismo, contempla como mecanismo de transferencia de carga entre losas dos alternativas: trabazón de agregados o pasadores. El método de la PCA para diseño de pavimentos rígidos considera dos criterios de diseño, los cuales se expondrán de manera corta a continuación:

3.1.1.1 Análisis de fatiga

Considera que la estructura de pavimento puede fallar por fatiga en el concreto hidráulico de las losas que conforman la capa de rodadura, producto de las repeticiones de la carga vehicular en el periodo de diseño. El daño acumulado por fatiga durante el periodo de diseño de obtendrá al comparar el número de repeticiones admisibles de una carga vehicular especifica con las repeticiones proyectadas para la misma carga vehicular. El consumo de fatiga que se obtiene al realizar la sumatoria de la relación entre repeticiones admisibles y repeticiones esperadas para todos los tipos de carga vehicular, el valor obtenido no deberá superar el 100% para ser admitido el diseño.

3.1.1.2 Análisis de Erosión

Considera que los pavimentos fallan por bombeo (lavado de finos), erosión en la fundación, o deterioro de las juntas. Las probables fallas enunciadas anteriormente están asociadas a la presencia de deflexiones. El daño acumulado por erosión durante el periodo de diseño de obtendrá al comparar el número de repeticiones admisibles por erosión de una carga vehicular especifica con las repeticiones proyectadas para la misma carga vehicular. El consumo de erosión que se obtiene al realizar la sumatoria de la relación entre repeticiones admisibles y repeticiones esperadas para todos los tipos de carga vehicular, el valor obtenido no deberá superar el 100% para ser admitido el diseño.

3.1.2 Variables de diseño método Portland Cement Association [PCA]

Para el diseño de los espesores de las diferentes capas que conforman la estructura de pavimento rígido se debe considerar las siguientes variables:

- Módulo de reacción de la subrasante
- Resistencia a la flexión del concreto hidráulico
- Confinamiento lateral de la estructura de pavimento
- Mecanismo de transferencia de carga entre losas
- Periodo de diseño
- Caracterización de cargas vehiculares.

4.0 Resultados

4.1 Caracterización geotécnica

4.1.1 Descripción de la subrasante

Para la caracterización de los tramos viales se realizaron treinta y tres (33) apiques o calicatas exploratorias ubicadas a lo largo de los tramos viales, a una profundidad de 1.50 m, a los cuales se les tomó muestras inalteradas cada vez que se evidenció cambio en las características físicas (color, textura, contenido de humedad, etc). A las muestras extraídas se les desarrollaron los siguientes ensayos:

- Humedad natural
- Peso unitario
- Límite líquido
- Límite plástico
- Gradación
- Capacidad relativa de soporte
- Expansión libre

Las características principales encontradas en los tramos viales, en el municipio de Montería, Córdoba se encuentran en las tablas 17 – 20, 26 – 30, 36 – 40, 46 – 49, 55 – 59, 65 – 70, 76 – 79, del documento ***ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS EN BARRIOS DE LAS COMUNAS 1, 4, 5 Y 9 EN EL MUNICIPIO DE MONTERÍA, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA***." desarrollado por Ing. Esp. Robinson Martínez Sandoval en septiembre de 2024".

4.1.2 Valor de capacidad relativa de soporte

Para la medición de la capacidad relativa se tomó muestras inalteradas para la evaluación de la capacidad relativa de soporte [CBR] del suelo en condición natural. Para la obtención del valor de capacidad relativa de soporte del tramo vial se utilizó un promedio entre los valores de CBR de los apiques, para una condición sumergida, debido a las condiciones hidráulicas de la zona. En los tramos donde se encontró un espesor de material de lleno superior a 0.90m se tomó una muestra alterada representativa y se desarrolló el ensayo de CBR en laboratorio.

Tabla 4. Capacidad relativa de soporte de diseño – Muestras de CBR

Tramos viales	CBR [%]
Calle 16A entre carrera 3W y carrera 7AW	5.8
Carrera 7W entre calle 16A y calle 17	10.7
Carrera 7AW entre calle 18 y calle 20	3.3
Carrera 8W entre calle 20 y calle 19	5.8
Calle 19A entre calle 20 y carrera 8AW	4.9
Carrera 9A entre calle 23 y calle 24	2.7
Carrera 10 entre calle 22 y calle 22C	4.4
Calle 17A entre carrera 8B y carrera 9	4
Calle 18 entre carrera 8B y carrera 9	3.6
Carrera 8C entre calle 14 y calle 15	5.8
Calle 14 entre carrera 8C y carrera 8D	5.8
Carrera 11 entre calle 15 y calle 16B	Lab (20%)
Carrera 12 entre calle 16 y calle 16A	Lab (20%)
Calle 14 entre carrera 9 y carrera 12	5.3
Carrera 12 entre avenida circunvalar y calle 14	5.3
Carrera 11 entre avenida circunvalar y calle 14	5.3
Calle15 entre avenida circunvalar y calle 15	Lab (30%)
Calle 15A entre carrera 13 y carrera 14	4.9
Carrera 14B entre calle 13 y calle 15A	5.8
Calle 1 entre carrera 2 y la vía Montería - Cereté	8.89
Calle 94 entre calle 93 y carrera 2A	4.89
Calle 95 entre carrera 4 y la vía Montería - Cereté	8
Calle 4 entre carrera 8F y carrera 8G	7.6
Carrera 8G entre calla 4 y carrera 9	7.6
Calle 6A sur entre carrera 8F y carrera 8G	8
Doble calzada Villa Melisa entre carrera 12A y carrera 23A - Tramo 1	Lab (25%)
Doble calzada Villa Melisa entre carrera 12A y carrera 23A - Tramo 2	7.3

4.1.3 Mejoramiento de la subrasante

Este aspecto es fundamental para la evaluación de la propiedad mecánica del soporte del conjunto de las capas que servirán de apoyo a la losa de concreto hidráulico, así mismo, se realizó un evaluación del espesor de la capa de rodadura existente, con el objeto de revisar el aporte de esta como material de mejoramiento una vez se desarrolle la actividad de corte para la construcción de la capa de sub base y espesor de losa., es decir, se deberá tener en cuenta el aporte estructural del material

remanente en términos de resistencia mecánica. A continuación, se muestra en la tabla 5 los espesores de relleno existente y el espesor remanente al realizar un corte de 400 mm.

Tabla 5 Espesores de relleno existente y espesor remante

Tramos viales	Espesor de relleno existente [mm]	Espesor relleno después de corte de 400 mm promedio [mm]
Calle 16A entre carrera 3W y carrera 7AW	500	100
Carrera 7W entre calle 16A y calle 17	400	0
Carrera 7AW entre calle 18 y calle 20	600	200
Carrera 8W entre calle 20 y calle 19	500	100
Calle 19A entre calle 20 y carrera 8AW	450	50
Carrera 9A entre calle 23 y calle 24	630	230
Carrera 10 entrte calle 22 y calle 22C	350	-50
Calle 17A entre carrera 8B y carrera 9	850	450
Calle 18 entre carrera 8B y carrera 9	450	50
Carrera 8C entre calle 14 y calle 15	600	200
Calle 14 entre carrera 8C y carrera 8D	600	200
Carrera 11 entre calle 15 y calle 16B	1200	800
Carrera 12 entre calle 16 y calle 16A	1200	800
Calle 14 entre carrera 9 y carrera 12	800	400
Carrera 12 entre avenida circunvalar y calle 14	800	400
Carrera 11 entre avenida circunvalar y calle 14	800	400
Calle15 entre avenida circunvalar y calle 15	900	500
Calle 15A entre carrera 13 y carrera 14	700	300
Carrera 14B entre calle 13 y calle 15A	500	100
Calle 1 entre carrera 2 y la vía Montería - Cereté	400	0
Calle 94 entre calle 93 y carrera 2A	450	50
Calle 95 entre carrera 4 y la vía Montería - Cereté	500	100
Calle 4 entre carrera 8F y carrera 8G	350	-50
Carrera 8G entre calla 4 y carrera 9	350	-50
Calle 6A sur entre carrera 8F y carrera 8G	600	200
Doble calzada Villa Melisa entre carrera 12A y carrera 23A - Tramo 1	900	500
Doble calzada Villa Melisa entre carrera 12A y carrera 23A - Tramo 2	700	300

Con el objeto de homogenizar el soporte de las estructuras de pavimento proyectadas en los diferentes tramos viales, se estima 64 MPa/m como valor mínimo de K del conjunto de la combinación de sub base y material de mejoramiento, es decir, se deberá garantizar este valor ya sea a través del aporte estructural del material remanente una vez que este tenga un espesor considerable y un valor de capacidad relativa de soporte suficiente o a través de la colocación, conformación y compactación de una capa nueva de material granular.

El espesor de mejoramiento de subrasante en material granular existente deberá ser mínimo 400 mm, siempre que el espesor de material remanente sea menor a 400mm, ya que no se puede adicionar el material de mejoramiento encima del material remanente por temas geométricos (niveles) respecto a las viviendas adyacentes, así mismo, el valor de CBR mínimo deberá ser de 10%. La cota inferior del mejoramiento de la subrasante estará gobernada por la cota de acabado de la estructura de pavimento, la cual está sujeta al diseño geométrico de la vía, nivel de viviendas o a los cambios de pendiente longitudinal, es decir, a partir de la cota de acabado se debe descontar el espesor de la capa de rodadura (losa en concreto hidráulico), el espesor de la capa de subbase y los 400 mm de espesor mínimo del mejoramiento; para así determinar la cota de inicio del mejoramiento. Posteriormente se deberá comparar con la cota natural o actual del terreno, para así determinar si existe la necesidad de reajustar la estructura existente.

Si durante el proceso de excavación o corte se evidencia suelos saturados altamente deformables, se recomienda realizar un reemplazo con el objeto de mitigar deformaciones en la capa de soporte, el cual, consiste en la colocación de piedra gruesa (rajón) de mejoramiento en un espesor no inferior a 0,500m (500mm).

El proceso de reemplazo consiste en la colocación y posterior apisonamiento de piedra rajón, esto se debe realizar hasta que se evidencie un soporte firme y que no presente deformaciones excesivas. Seguidamente realizar un sello en la parte superior de la capa de piedra rajón, el cual consiste en colocar una capa en material granular con un espesor de 0,10m (100mm), lo cual busca cerrar los intersticios presentes entre las partículas de piedra rajón. Una vez finalizado el proceso de sello, se recomienda el paso de una volqueta sencilla cargada, con la finalidad de verificar la ausencia de las altas deformaciones observadas inicialmente.

4.2 Estudio de tránsito

La información se tomó del informe de tránsito elaborado por el Ingeniero Civil Jorge González Ayus, especialista en ingeniería de vías terrestres, del cual, se tomará la distribución porcentual de vehículos comerciales medida a través de los conteos desarrollados, así mimo, se hará uso de la información de TPDs consignada en el informe citado anteriormente. Las repeticiones esperadas en el periodo de diseño se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 6. Repeticiones esperadas en el periodo de diseño para barrios de la comuna 1 (Holanda y Republica de Panamá)

Cargas [ton]	Calle 16A entre carrera 3W y carrera 7AW	Carrera 7W entre calle 16A y calle 17	Carrera 7AW entre calle 18 y calle 20	Carrera 8W entre calle 20 y calle 19	Calle 19A entre calle 20 y carrera 8AW
	Repeticiones esperadas				
3.1	72862	36950	36262	36201	252183
6.0	102007	73900	65272	79642	180131
6.6	72862	36950	36262	36201	252183
11.0	72862	66510	50767	65162	64847
21.0	0	0	0	0	0
22.0	29145	7390	14505	14480	115284
24.0	0	0	0	0	0

Tabla 7. Repeticiones esperadas en el periodo de diseño para barrios de la comuna 5 (Chuchurubí, Chambacú, Balboa, Lacharme)

Cargas [ton]	Carrera 9A entre calle 23 y calle 24	Carrera 10 entre calle 22 y calle 22C	Calle 17A entre carrera 8B y carrera 9	Calle 18 entre carrera 8B y carrera 9	Carrera 8C entre calle 14 y calle 15	Calle 14 entre carrera 8C y carrera 8D
	Repeticiones esperadas					
3.1	0	7558	36422	22170	36950	36950
6.0	0	7558	36422	44340	51730	51730
6.6	0	7558	36422	22170	36950	36950
11.0	0	7558	36422	44340	51730	51730
21.0	0	0	0	0	0	0
22.0	0	0	0	0	0	0
24.0	0	0	0	0	0	0

Tabla 8. Repeticiones esperadas en el periodo de diseño para barrios de la comuna 5 (Risaralda, La Victoria, Obrero, 14 de Julio, La Julia y Urbina.)

Cargas [ton]	Carrera 11 entre calle 15 y calle 16B	Carrera 12 entre calle 16 y calle 16A	Calle 14 entre carrera 9 y carrera 12	Carrera 12 entre avenida circunvalar y calle 14	Carrera 11 entre avenida circunvalar y calle 14	Calle15 entre avenida circunvalar y calle 15	Calle 15A entre carrera 13 y carrera 14	Carrera 14B entre calle 13 y calle 15A
	Repeticiones esperadas							
3.1	36239	43812	73060	73060	0	72599	0	158967
6.0	79726	36510	58448	58448	0	36299	0	93935
6.6	36239	43812	73060	73060	0	72599	0	158967
11.0	65231	36510	43836	43836	0	36299	0	50580
21.0	0	0	0	0	0	0	0	0
22.0	14496	0	14612	14612	0	0	0	43355
24.0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 9. Repeticiones esperadas en el periodo de diseño para barrios de la comuna 9 (Mocarí e INEM)

Cargas [ton]	Calle 1 entre carrera 2 y la vía Montería - Cereté	Calle 94 entre calle 93 y carrera 2A	Calle 95 entre carrera 4 y la vía Montería - Cereté
	Repeticiones esperadas		
3.1	30616	102359	103036
6.0	38269	58491	88316
6.6	30616	102359	103036
11.0	38269	51179	58877
21.0	0	0	0
22.0	0	7311	29439
24.0	0	0	0

Tabla 10. Repeticiones esperadas en el periodo de diseño para barrios de la comuna 4 (Pablo VI, Villa Margarita, Alfonso López, 2 de Septiembre, Los Araújos, Nueva Esperanza, Villa Melissa, Furatena y Los Robles I)

Cargas [ton]	Calle 4 entre carrera 8F y carrera 8G	Carrera 8G entre calla 4 y carrera 9	Calle 6A sur entre carrera 8F y carrera 8G	Doble calzada Villa Melisa entre carrera 12A y carrera 23A - Tramo 1	Doble calzada Villa Melisa entre carrera 12A y carrera 23A - Tramo 2
	Repeticiones esperadas				
3.1	15044	51349	87294	252802	252802
6.0	0	14671	80020	202242	202242
6.6	15044	51349	87294	252802	252802
11.0	0	14671	58196	72229	72229

21.0	0	0	0	0	0
22.0	0	0	21824	130012	130012
24.0	0	0	0	0	0

La proyección de repeticiones se desarrolló para un crecimiento del 4.0% anual.

En el anexo 2 del presente informe se muestra detalladamente el procedimiento para la obtención de los valores registrados en las tablas 6, 7, 8, 9 y 10.

4.3 Espesores de estructura de pavimento

4.3.1 Conformación de la subbase granular

El objeto de la construcción de la subbase granular es que las losas se apoyen sobre una capa uniforme y nivelada, con buen soporte y así prevenir el lavado de material, es decir, este no debe ser bombeable (de fácil lavado de finos), por lo cual debe tener como característica un límite liquido (LL) máximo de 25% y un índice de plasticidad (IP) inferior a 6%. Con el objeto de garantizar un adecuado acomodamiento de partículas durante el proceso de conformación y compactación de capa de subbase granular, el tamaño máximo de partículas del material a utilizar debe ser menor a un tercio del espesor de la capa. Adicional debe cumplir con alguna de las franjas granulométricas que se muestras a continuación las cuales fueron tomadas de la especificación de subbase granular INV 320-22 del INVIAS.

Tabla 11. Franjas granulométricas del material subbase granular

Tabla 320 — 3. Franjas granulométricas del material de subbase granular

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. *Standard*)								
	50,0	37,5	25,0	12,5	9,5	4,75	2,00	0,425	0,075
	2 Pulgadas	1 ½ Pulgadas	1 Pulgada	1/2 Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 10	Nro. 40	Nro. 200
	Pasa tamiz (%)								
SBG-50 (Nota)	100	70 — 95	60 — 90	45 — 75	40 — 70	25 — 55	15 — 40	6 — 25	2 — 15
SBG-38 (Nota)	-	100	75 — 95	55 — 85	45 — 75	30 —60	20 — 45	8 — 30	2 —15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	0 %	7 %				6 %			3 %

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

Fuente: *Norma INVIAS INVE – 320-22, 2022*

El proceso de compactación de la capa de subbase respectivamente deberá ser realizado por subcapas, de espesores no mayores a 0,150m (150 mm), en el caso, que el espesor sea mayor a esta dimensión. Se debe compactar cada subcapa por lo menos hasta alcanzar el 95% de la densidad seca máxima obtenida en el ensayo de compactación modificado realizado en el laboratorio

El material utilizado como subbase granular debe cumplir con los criterios de dureza, durabilidad, limpieza y resistencia descritos en la tabla 2 de la especificación de subbase granular INV 320-22 del INVIAS. Anexo a este informe se encuentran las especificaciones de Subbase (INV 311-22, INV 320 -22).

La estructura de pavimento a diseñar contempla el uso de subbase granular, a partir del espesor de esta se determina la respuesta del módulo de reacción del conjunto subbase – subrasante [kconjunto] el cual, es una variable de diseño de la estructura de pavimento. Este parámetro se obtuvo a partir del espesor de mejoramiento recomendado mínimo de 400 mm y de espesores de subbase de 200 mm.

Tabla 12. Módulo de reacción conjunto SBG-SBR

Tramos viales	Espesor mejoramiento [mm]	Espesor subbase [mm]	Kconjunto [MPa/m]
Calle 16A entre carrera 3W y carrera 7AW	400	200	66
Carrera 7W entre calle 16A y calle 17	400	200	67
Carrera 7AW entre calle 18 y calle 20	400	200	65
Carrera 8W entre calle 20 y calle 19	400	200	66
Calle 19A entre calle 20 y carrera 8AW	400	200	66
Carrera 9A entre calle 23 y calle 24	400	200	64
Carrera 10 entre calle 22 y calle 22C	400	200	66
Calle 17A entre carrera 8B y carrera 9	0	200	66
Calle 18 entre carrera 8B y carrera 9	400	200	65
Carrera 8C entre calle 14 y calle 15	400	200	66
Calle 14 entre carrera 8C y carrera 8D	400	200	66
Carrera 11 entre calle 15 y calle 16B	0	200	87
Carrera 12 entre calle 16 y calle 16A	0	200	87
Calle 14 entre carrera 9 y carrera 12	0	200	66
Carrera 12 entre avenida circunvalar y calle 14	0	200	66
Carrera 11 entre avenida circunvalar y calle 14	0	200	66
Calle15 entre avenida circunvalar y calle 15	0	200	109
Calle 15A entre carrera 13 y carrera 14	400	200	66

Carrera 14B entre calle 13 y calle 15A	400	200	66
Calle 1 entre carrera 2 y la vía Montería - Cereté	400	200	67
Calle 94 entre calle 93 y carrera 2A	400	200	66
Calle 95 entre carrera 4 y la vía Montería - Cereté	400	200	67
Calle 4 entre carrera 8F y carrera 8G	400	200	67
Carrera 8G entre calla 4 y carrera 9	400	200	67
Calle 6A sur entre carrera 8F y carrera 8G	400	200	67
Doble calzada Villa Melisa entre carrera 12A y carrera 23A - Tramo 1	0	200	98
Doble calzada Villa Melisa entre carrera 12A y carrera 23A - Tramo 2	400	200	67

En el anexo 1 del presente informe se expresa detalladamente el procedimiento para la determinación del valor de K del conjunto.

4.3.2 Diseño Estructura de pavimento rígido

Una vez determinadas las propiedades geomecánicas del suelo, así como la variable transito; se procedió a diseñar la estructura de pavimento correspondiente a la zona de estudio, teniendo en cuenta los diferentes parámetros que intervienen tales como el confinamiento, el modo de transferencia de carga, módulo de rotura a la flexión de la mezcla de concreto hidráulico a utilizar. Para el diseño de toda la estructura de pavimento se utilizó la metodología de la Portland Cement Association (PCA).

A continuación, se muestran los valores y condiciones de las diferentes variables de diseño:

- Módulo de reacción del conjunto sub base - subrasante: mayor a 65 MPa/m según las combinaciones de mejoramiento – subbase consignadas en la tabla 12.
- Resistencia a la flexión del concreto hidráulico: para un numero de camiones diario entre 25 y 150 la tabla 3.1 del anexo 3 del manual de diseño de pavimentos de concreto del INVIAS recomienda 40 kgf/cm^2 .
- Confinamiento lateral de la estructura de pavimento: No bermas
- Mecanismo de transferencia de carga entre losas: Dovelas
- Periodo de diseño: 20 años

- Factor de seguridad de carga: para un TPDs menor a 500 se considera nivel de tránsito NT1 para el cual, el método de diseño de PCA sugiere mayorar las cargas a través de un factor de 1.0
- Caracterización de cargas vehiculares: tabla 6, 7, 8, 9, 10 del presente informe.

A continuación, se muestran los resultados en cada una de las corridas de acuerdo con las condiciones enunciadas anteriormente:

Tabla 13. Resultados de diseño de espesor de losa

Tramos viales	Módulo de rotura, Mr [kgf/cm²]	Espesor de losa [mm]	Consumo de fatiga [%]	Consumo de erosión [%]
Calle 16A entre carrera 3W y carrera 7AW	40	200	88.728	4.019
Carrera 7W entre calle 16A y calle 17	40	200	77.779	2.414
Carrera 7AW entre calle 18 y calle 20	40	200	66.355	2.445
Carrera 8W entre calle 20 y calle 19	40	200	78.99	2.841
Calle 19A entre calle 20 y carrera 8AW	40	200	83.336	9.407
Carrera 9A entre calle 23 y calle 24	40	200	32.96	3.505
Carrera 10 entre calle 22 y calle 22C	40	190	30.176	0.363
Calle 17A entre carrera 8B y carrera 9	40	200	45.857	1.072
Calle 18 entre carrera 8B y carrera 9	40	200	56.68	1.302
Carrera 8C entre calle 14 y calle 15	40	200	62.353	1.514
Calle 14 entre carrera 8C y carrera 8D	40	200	62.353	1.514
Carrera 11 entre calle 15 y calle 16B	40	200	35.98	2.601
Carrera 12 entre calle 16 y calle 16A	40	190	62.106	1.661
Calle 14 entre carrera 9 y carrera 12	40	200	53.78	2.237
Carrera 12 entre avenida circunvalar y calle 14	40	200	53.789	2.237
Carrera 11 entre avenida circunvalar y calle 14	40	200	65.363	3.785
Calle15 entre avenida circunvalar y calle 15	40	190	31.86	1.59
Calle 15A entre carrera 13 y carrera 14	40	200	39.836	0.973
Carrera 14B entre calle 13 y calle 15A	40	200	62.311	4.301
Calle 1 entre carrera 2 y la vía Montería - Cereté	40	200	44.94	1.119
Calle 94 entre calle 93 y carrera 2A	40	200	63.053	1.985
Calle 95 entre carrera 4 y la vía Montería - Cereté	40	200	70.33	3.623
Calle 4 entre carrera 8F y carrera 8G	40	190	0	0
Carrera 8G entre calla 4 y carrera 9	40	190	55.53	0.729
Calle 6A sur entre carrera 8F y carrera 8G	40	200	69.311	3.112

Doble calzada Villa Melisa entre carrera 12A y carrera 23A - Tramo 1	40	200	27.07	8.695
Doble calzada Villa Melisa entre carrera 12A y carrera 23A - Tramo 2	40	200	89.48	10.51

En el anexo 3 del presente informe se muestra el proceso de obtención de los valores de consumo de fatiga y erosión para diferentes tramos viales, según la combinación de espesor de losas y parámetros de resistencia del soporte.

4.4 Geometría de losas de concreto hidráulico

Para la modulación de las losas se adopta los criterios expuestos en las especificaciones generales de construcción de carreteras de INVIAS 2013, en el artículo 500 en el numeral **5.2.2.3 Refuerzo de losas**, se describe las siguientes situaciones en las cuales se debe colocar acero de refuerzo.

- Longitud de la losa (mayor dimensión en planta) superior a 24 veces el espesor de la misma.
- Losas con relación largo/ancho mayor a 1.40
- Losas de forma irregular (diferente a la rectangular o cuadrada).
- Losas con aberturas en su interior para acomodar elementos tales como pozos de inspección o sumideros.
- Losas en las cuales no coinciden las juntas con las de las losas adyacente.

Si bien no está explicito un criterio de relación largo/ ancho se infiere un valor máximo de 1.40, debido a que para valores inferiores no se requiere de refuerzo en las losas.

Sin embargo, en el Manual de diseño de pavimento de concreto de bajos, medio y altos volúmenes de tránsito, está especificado en el capítulo 6 Consideraciones sobre pavimentos especiales **"En general se recomienda que el espesor de cualquier losa para pavimentos de concreto no tenga menos de 13 cm de espesor y que la longitud de las losas no sea mayor a 25 veces el espesor ni mayor a 1,3 veces el ancho de la misma".**

En el presente diseño se adopta el criterio del manual de diseño de pavimentos de concretos del INVIAS, el cual expresa una relación larga – ancho máximo de 1.30. Así mismo, se verifica que la longitud de las losas sea el menor valor ente 24 veces el espesor [h] de esta y cinco (5) veces el radio de rigidez relativa [l]. En el anexo 4 del presente informe, se evidencia la verificación de estos criterios.

Para losas de 200 mm de espesor elaboradas con un modulo de rotura a flexión de 40 kgf/cm^2 el radio de rigidez relativa es de 720.72 mm. Por lo anterior utilizando el criterio de 24 veces el espesor de losa y cinco veces el radio de rigidez relativa se obtiene 4.80m y 3.60m respectivamente como dimensión máxima de losa. Seguidamente, ambos valores serán comparados con los determinados a partir de la relación largo de losa – ancho de carril, la cual, se varió desde 1.00 hasta 1.30. La información de la longitud máxima de losa en función del ancho de carril se muestra en la tabla 14.

Tabla 14. Longitud máxima de losas en función del ancho de carril para losas de 200 mm de espesor y 40 kgf/cm^2.

	Ancho de calzada, [m]				
L/Ac	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00
1.00	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50
1.10	2.75	3.03	3.30	3.58	3.60
1.20	3.00	3.30	3.60	3.60	3.60
1.30	3.25	3.58	3.60	3.60	3.60

Para losas de 190 mm de espesor elaboradas con un módulo de rotura a flexión de 40 kgf/cm^2 el radio de rigidez relativa es de 693.52 mm. Por lo anterior utilizando el criterio de 24 veces el espesor de losa y cinco veces el radio de rigidez relativa se obtiene 4.60m y 3.50m respectivamente como dimensión máxima de losa. Seguidamente, ambos valores serán comparados con los determinados a partir de la relación largo de losa – ancho de carril, la cual, se varió desde 1.00 hasta 1.30. La información de la longitud máxima de losa en función del ancho de carril se muestra en la tabla 15.

Tabla 15. Longitud máxima de losas en función del ancho de carril para losas de 190 mm de espesor y 40 kgf/cm^2.

	Ancho de calzada, [m]				
L/Ac	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00
1.00	2.50	2.75	3.00	3.25	3.5
1.10	2.75	3.00	3.30	3.5	3.5
1.20	3.00	3.30	3.5	3.5	3.5
1.30	3.25	3.5	3.5	3.5	3.5

Las losas con formas irregulares y que no cumplan con las condiciones descritas anteriormente se deben reforzar doblemente con barra de ½" pulgada de diámetro, cada 25 cm en ambos sentidos. Este refuerzo debe ser colocado a 6cm de la parte superior e inferior de la losa. En el anexo 4 de este informe se muestra de manera detallada el proceso para determinar el radio de rigidez relativa para ser comparado en los criterios de selección de longitud máxima de losas.

En los pozos de inspección, se debe ajustar la modulación de las losas manteniendo la relación de esbeltez, con el fin que la Junta transversal coincida con dichas estructuras y así prevenir las fisuras que aparecerán por retracción del concreto. Cuando la junta de expansión alrededor de las tapas de los pozos coincide con la junta transversal y la junta longitudinal se construye como se describe:

Figura 3. Representación gráfica de la construcción de la junta de expansión en pozos de Inspección centrados

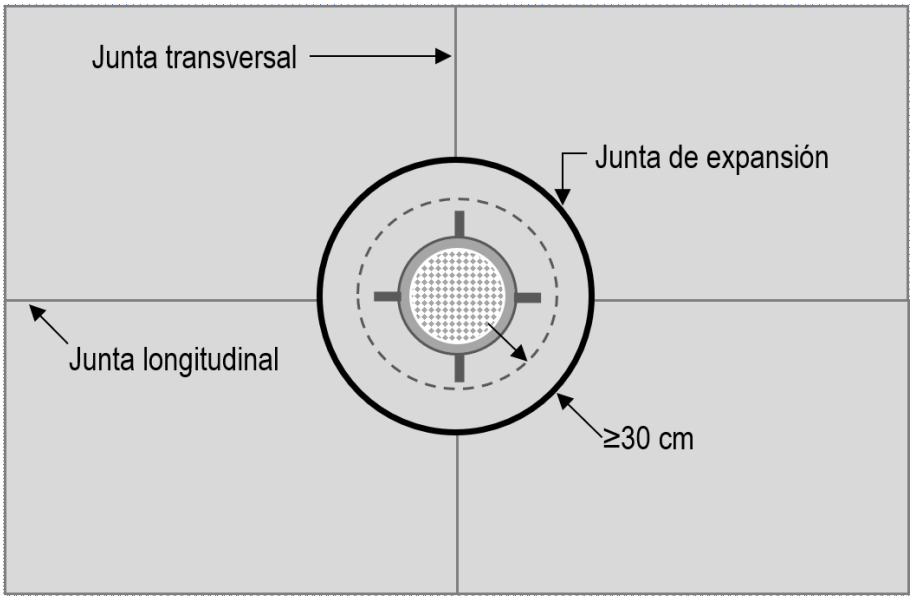
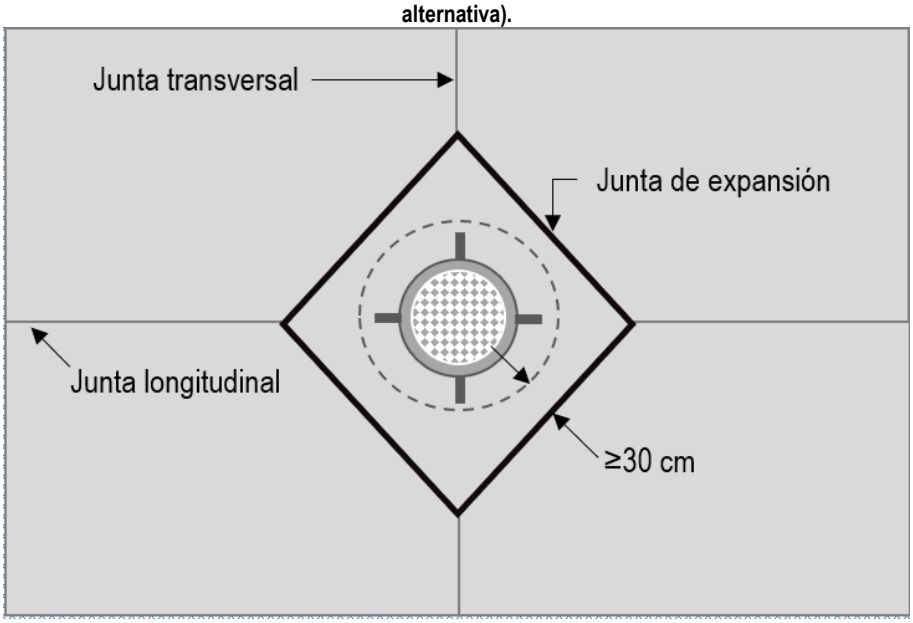
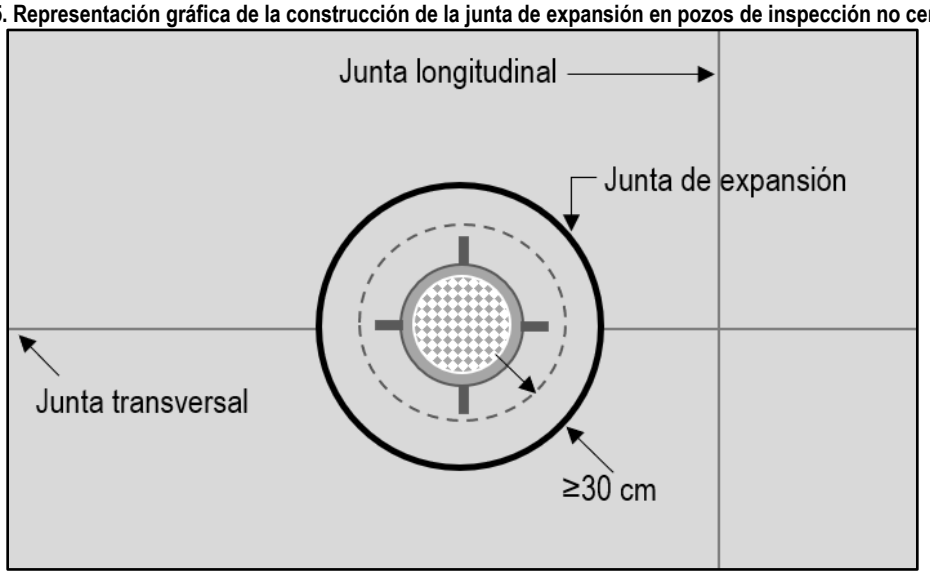


Figura 4.Representación gráfica de la construcción de la junta de expansión en pozos de Inspección centrados (Segunda alternativa).



Cuando la junta de expansión alrededor de las tapas de los pozos no coincide con la junta longitudinal, se debe ajustar la modulación para que la junta transversal coincida con el eje del pozo:

Figura 5. Representación gráfica de la construcción de la junta de expansión en pozos de inspección no centrados.



Para el caso en que el pozo de inspección coincida con la junta Longitudinal, se ajusta la modulación, con el fin que la junta transversal coincida con el pozo. Así mismo cuando se tienen varios pozos de inspección, se debe remodular con el objeto de que estos coincidan dentro de la misma losa, la cual debe de ser reforzada mediante una parrilla.

Figura 6. Esquema de refuerzos para losa con dos o más pozos de inspección

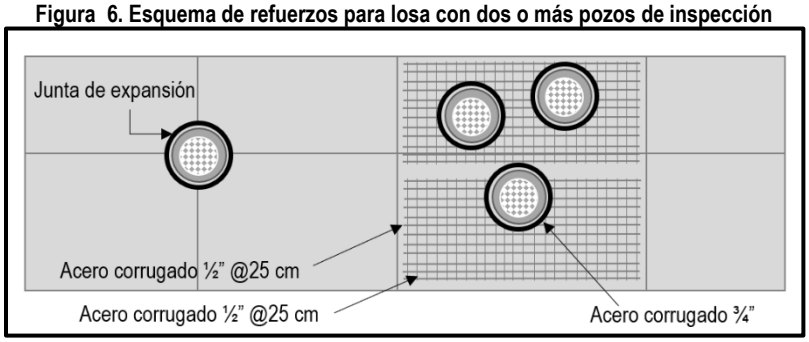
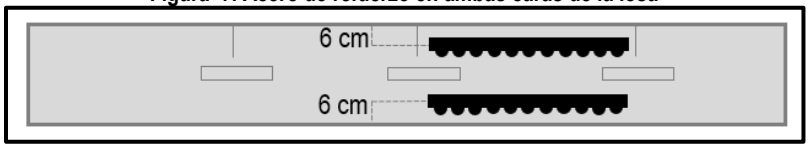


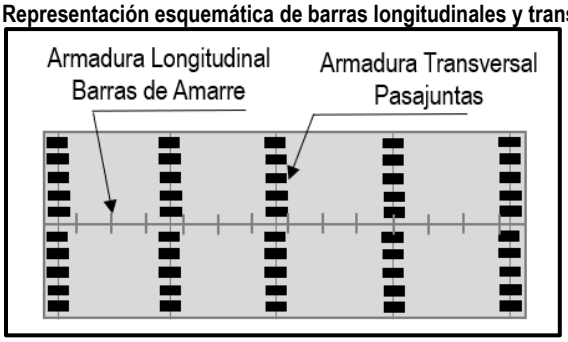
Figura 7. Acero de refuerzo en ambas caras de la losa



4.5 Diseño de juntas

Las juntas longitudinales las cuales se utilizan con el propósito de evitar el corrimiento y o desplazamiento de las losas, deben ser de acero corrugado, y deben quedar ahogadas en la mitad de la losa.

Figura 8. Representación esquemática de barras longitudinales y transversales



Cuando el pavimento que se construye no tiene confinamiento lateral, es necesario dotar las juntas longitudinales con barras de anclaje, para impedir el desplazamiento de las losas de un carril, respecto a las del otro. Los aceros, como se dijo deben cumplir con el Artículo INV 500-13 y lo que sea aplicable del Artículo 640-07, se admiten aceros con resistencia de 187,5 MPa (40000 psi) y 280 MPa (60000 psi). La selección del diámetro, separación, longitud y resistencia de las barras de anclaje se puede hacer según los criterios indicados.

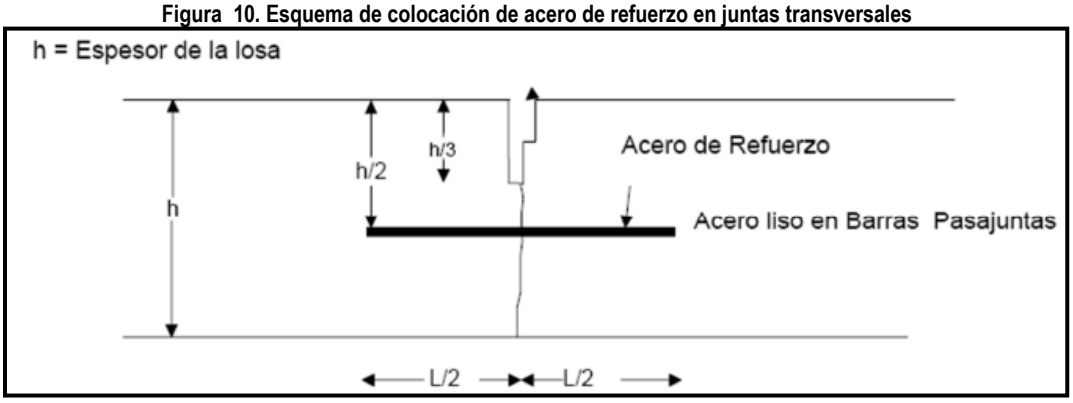
Figura 9.Acero de refuerzo de junta longitudinal

Espesor de losa (mm)	Barras de ϕ 9,5 mm (3/8")				Barras de ϕ 12,7 mm (1/2")				Barras de ϕ 15,9 mm (5/8")			
	Longitud (m)	Separación entre barras según el ancho del carril (m)			Longitud (m)	Separación entre barras según el ancho del carril (m)			Longitud (m)	Separación entre barras según el ancho del carril (m)		
		3,05 (m)	3,35 (m)	3,65 (m)		3,05 (m)	3,35 (m)	3,65 (m)		3,05 (m)	3,35 (m)	3,65 (m)
Acero de fy= 187,5 MPa (40,000 psi)												
150	0,45	0,80	0,75	0,65	0,60	1,20	1,20	1,20	0,70	1,20	1,20	1,20
175		0,70	0,60	0,55		1,20	1,10	1,00		1,20	1,20	1,20
200		0,60	0,55	0,50		1,05	1,00	0,90		1,20	1,20	1,20
225		0,55	0,50	0,45		0,85	0,85	0,80		1,20	1,20	1,20
250		0,45	0,45	0,40		0,85	0,80	0,70		1,20	1,20	1,10
Acero de fy= 280 MPa (60.000 psi)												
150	0,65	1,20	1,10	1,00	0,85	1,20	1,20	1,20	1,00	1,20	1,20	1,20
175		1,05	0,95	0,85		1,20	1,20	1,20		1,20	1,20	1,20
200		0,90	0,80	0,75		1,20	1,20	1,20		1,20	1,20	1,20
225		0,80	0,75	0,65		1,20	1,20	1,20		1,20	1,20	1,20
250		0,70	0,65	0,60		1,20	1,15	1,10		1,20	1,20	1,20

Fuente: *Londoño & Álvarez, 2008*

Las barras pasajuntas (Usadas en Juntas Transversales, de Construcción y en algunos casos de Expansión) se utilizan como mecanismos para garantizar la transferencia efectiva de carga entre las losas adyacentes. Las barras serán de acero liso, engrasado en ambos extremos y deberán quedar ahogadas en las losas con las dimensiones y en la posición indicada en la figura. Con un límite de fluencia (fy) mínimo de 420 MPa (60000 psi), de acuerdo con el Artículo INV 500-13 y el Artículo INV 640-13

Figura 10. Esquema de colocación de acero de refuerzo en juntas transversales



Fuente: *Asociación Colombiana de Productores de Concreto, 2013*

Figura 11.Acero de refuerzo de junta transversal

Espesor del pavimento	Diámetro del pasador		Longitud	Separación entre centros
	mm	Pulgada	mm	mm
0 - 100	13	1/2	250	300
110 - 130	16	5/8	300	300
140 - 150	19	3/4	350	300
160 - 180	22	7/8	350	300
190 – 200	25	1	350	300
210 – 230	29	1 1/8	400	300
240 - 250	32	1 1/4	450	300
260 - 280	35	1 3/8	450	300
290 - 300	38	1 1/2	500	300

Fuente: Londoño & Álvarez, 2008

Para el diseño propuesto el acero de las juntas transversales debe ser liso y con un límite de fluencia de 420 MPa con las siguientes características:

Tabla 16. Característica de acero de juntas transversales.

Espesor del pavimento [mm]	Diámetro del pasador [in]	Longitud [mm]	Separación entre centros [mm]
190 - 200	1	350	300

Por otra parte, el acero de las juntas longitudinales debe ser corrugado y con un límite de fluencia de 280 MPa con las siguientes características:

Tabla 17. Característica de acero de juntas longitudinales

Espesor de losa [mm]	Diámetro barra [in]	Separación [mm]	Longitud [mm]
190 - 200	½	1200	850

De manera esquemática se muestra en las figuras 12 y 13 la longitud máxima de losa y distribución final de la estructura de pavimento, en el caso particular de espesor de losa de 200 mm y anchos de vía de 5.0m y 6.0m respectivamente.

Figura 12. Estructura de pavimento definitiva para ancho de calzada de 5.0m

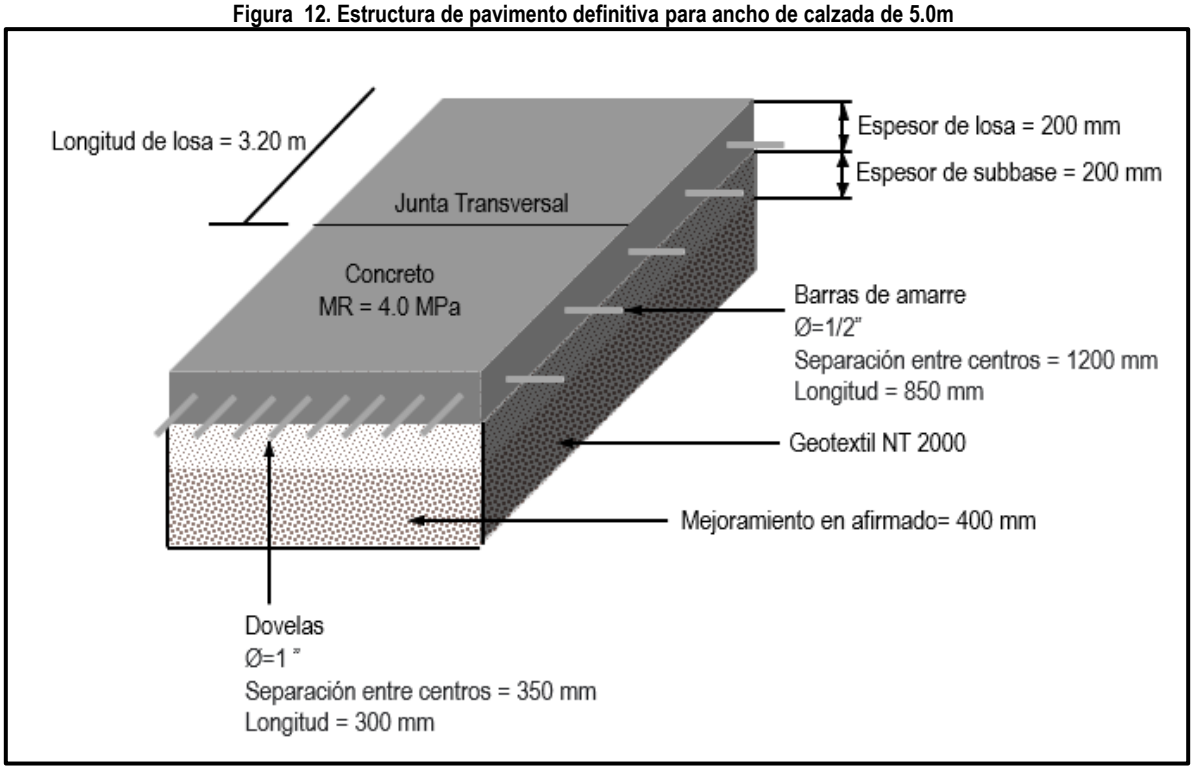
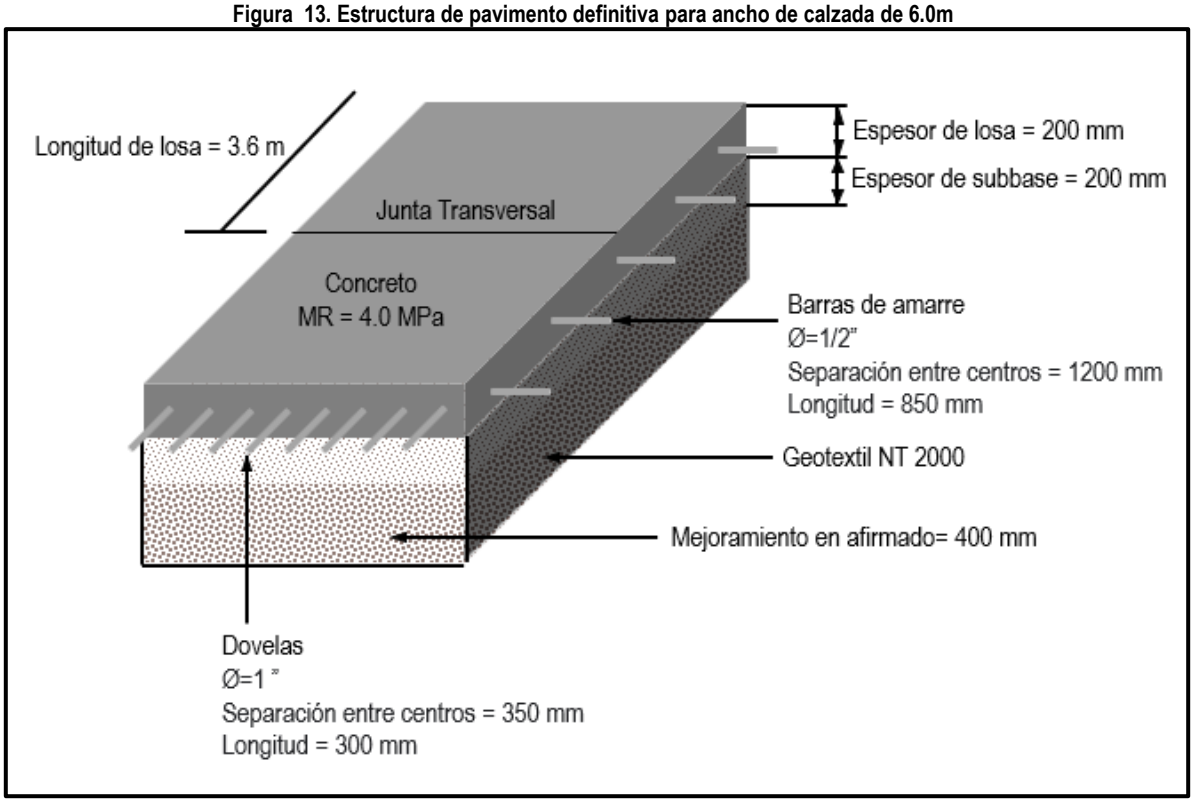


Figura 13. Estructura de pavimento definitiva para ancho de calzada de 6.0m



4.6 Sello de juntas

El sistema de sellado de juntas para pavimentos de Concreto debe garantizar la hermeticidad del espacio sellado, la adherencia del sello a las caras de la junta, la resistencia a la fatiga por tracción y compresión, el arrastre por las llantas de los vehículos, la resistencia a la acción del agua, los solventes, los rayos ultravioletas, la acción de la gravedad y el calor, con materiales estables y elásticos.

El espacio de la junta a sellar ha de estar seco y completamente limpio, lo que se puede lograr con lavado, barrido y luego soplado con compresor.

La junta transversal deber inducidas con platina y selladas con material bituminoso o de silicona. Deben cumplir con las siguientes características geométricas:

- Para juntas de 6mm de ancho, La profundidad del sello debe ser mínimo 6 mm y máximo 12 mm.
- La superficie del sello debe quedar 3 mm por debajo de la superficie de la losa.

4.7 Drenajes

En los sectores o tramos viales a pavimentar se recomienda un sistema de drenaje adecuado, pendientes transversales del 2.00% y longitudinales al menos de 0.50%, con el fin de evacuar las aguas de escorrentía producto de la precipitación pluvial, sin embargo, el valor de las pendientes está sujeto al diseño geométrico de la vía. El uso de sistemas de drenajes sub superficial no se considera dentro del alcance del presente informe, debido a que obedece al desarrollo de un análisis hidrológico e hidráulico.

5.0 Conclusiones

El diseño de los espesores de las nuevas estructuras de pavimento proyectadas se realizó a través del método de diseño propuesto por Portland Cement Association [PCA]. Las estructuras de pavimento diseñadas se analizaron para diferentes valores de módulo de reacción del conjunto sub base - subrasante, los cuales, resultaron de la combinación de un espesor de mejoramiento [400mm] y el valor mínimo de CBR del material de mejoramiento, el cual, se seleccionó un valor de 10%. Para el desarrollo de numérico de los resultados del módulo de reacción de la subrasante se utilizó la expresión de Ivanov. El espesor de la capa de apoyo subbase se analizó para un único valor de 200mm. La característica mecánica de la capa de rodadura se revisó un único valor de módulo de rotura a flexión de 40 kgf/cm^2.

El desarrollo del análisis de sensibilidad de las diferentes variables enunciadas anteriormente articuladas con la variable transito arrojo la siguiente estructura de pavimento:

Tabla 18. Espesores de estructura de pavimento tramos viales comunas 1, 4, 5 y 9

Municipio	Tramo vial	Módulo de rotura flexión de la mezcla de concreto hidráulico [kgf/cm^2.]	Espesor de concreto [mm]	Espesor de sub-base granular [mm]	Espesor mejoramiento [mm]
Montería	**Comunas 1, 4, 5 y 9**	40	190	200	400
Montería	**Comunas 1, 4, 5 y 9**	40	200	200	400

La selección de esta combinación de variables se realizó con base a los criterios de fatiga y erosión que propone le método de diseño PCA, el cual, expresa que no debe superar el 100%. En la tabla 13 del presente informe se evidencia los valores del consumo de fatiga y erosión de los diferentes tramos viales.

Para el dimensionamiento en planta (largo y ancho de losa) de la estructura de pavimento seleccionada se adoptó el criterio del manual de diseño de pavimentos de concretos del INVIAS, el cual expresa una relación largo – ancho máximo de 1.30. Así mismo, se verifica que la longitud de las

losas sea el menor valor ente 24 veces el espesor [h] de esta y cinco (5) veces el radio de rigidez relativa [l]. En el anexo 4 del presente informe, se evidencia la verificación de estos criterios.

Las losas con formas irregulares y que no cumplan con las condiciones descritas anteriormente se deben reforzar doblemente con barra de ½" pulgada de diámetro, cada 25 cm en ambos sentidos. Este refuerzo debe ser colocado a 6 cm de la parte superior e inferior de la losa. En el anexo 4 de este informe se muestra de manera detallada el proceso para evaluar el radio de rigidez relativa de las losas.

6.0 Recomendaciones

El proceso de compactación de esta capa deberá ser realizado por subcapas, de espesores no mayores a 0,15m (150 mm). Se debe compactar cada subcapa por lo menos hasta alcanzar el 95% de la densidad seca máxima obtenida en el ensayo de compactación modificado realizado al material de subbase en el laboratorio. El objeto de la construcción de la subbase granular es que las losas se apoyen sobre una capa uniforme y nivelada, con buen soporte y así prevenir el lavado de material, es decir, este no debe ser bombeable (de fácil lavado de finos), por lo cual debe tener como característica un límite liquido (LL) máximo de 25% y un índice de plasticidad (IP) inferior a 6%. Con el objeto de garantizar un adecuado acomodamiento de partículas durante el proceso de conformación y compactación de la capa de subbase granular, el tamaño máximo de partículas del material a utilizar debe ser menor a un tercio del espesor de la capa.

Adicional debe cumplir con alguna de las franjas granulométricas que se muestras a continuación las cuales fueron tomadas de la especificación de subbase granular INV 320-22 del INVIAS.

Tabla 320 — 3. Franjas granulométricas del material de subbase granular

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. *Standard*)								
	50,0	37,5	25,0	12,5	9,5	4,75	2,00	0,425	0,075
	2 Pulgadas	1 ½ Pulgadas	1 Pulgada	1/2 Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 10	Nro. 40	Nro. 200
	Pasa tamiz (%)								
SBG-50 (Nota)	100	70 — 95	60 — 90	45 — 75	40 — 70	25 — 55	15 — 40	6 — 25	2 — 15
SBG-38 (Nota)	-	100	75 — 95	55 — 85	45 — 75	30 —60	20 — 45	8 — 30	2 —15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	0 %	7 %				6 %			3 %

El material utilizado como subbase granular debe cumplir con los criterios de dureza, durabilidad, limpieza y resistencia descritos en la tabla 2 de la especificación de subbase granular INV 320-13 del INVIAS. Anexo a este informe se encuentran las especificaciones referenciadas para Afirmado y Subbase (INV 311-22, INV 320 -22).

Tabla 320 — 2. Requisitos de los agregados para subbases granulares

Característica	Norma de ensayo INV	Subbase granular		
		Clase A	Clase B	Clase C
Dureza (O)				
Desgaste en la máquina de Los Ángeles (Granulometría A), máximo (%): - 500 revoluciones	E-218	50	50	50
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%).	E-238	30	35	-
Durabilidad (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%). (Nota): - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	12 18	12 18	12 18
Limpieza (F)				
Límite líquido, máximo (%).	E-125	25	25	25
Índice de Plasticidad, máximo (%).	E-125 y E-126	6	6	6
Equivalente de arena, mínimo (%).	E-133	25	25	25
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%).	E-211	2	2	2
Resistencia del material (F)				
CBR (%): porcentaje asociado al valor mínimo especificado de la densidad seca, medido en una muestra sometida a cuatro días (4 d) de inmersión, mínimo.	E-148	40	30	30

Así mismo, si fuera necesario desarrollar la construcción de la capa de mejoramiento, este procedimiento consiste en conformar una capa de espesor de 400 mm en material granular. Para la conformación del mejoramiento se realizará un proceso de compactación, el cual deberá ser realizado por subcapas, de espesores no mayores a 0,150m (150 mm). Se debe compactar cada subcapa por lo menos hasta alcanzar el 95% de la densidad seca máxima obtenida en el ensayo de compactación modificado realizado al material de mejoramiento granular en el laboratorio. El material de mejoramiento debe tener un valor de CBR mínimo de10% y además debe cumplir con las especificaciones descritas en el artículo INV 300 -22 y INV 311 – 22 de la norma INVIAS.

.

Tabla 311 — 1. Requisitos de los agregados para afirmados

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Dureza (O)		
Desgaste en la máquina de Los Ángeles a quinientas (500) revoluciones (Granulometría A), máximo (%): - NT1 - NT2 - NT3	E-218	 50 30 30
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%). (Nota): - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	 12 18
Limpieza (F)		
Límite líquido, máximo (%).	E-125	35
Índice de Plasticidad (%).	E-125 y E-126	4 – 9
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%).	E-211	2
Contracción lineal.	E-127/E-129	Tabla 311 — 3

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Resistencia del material (F)		
CBR (%): porcentaje asociado al grado de compactación mínimo especificado (numeral 311.5.2.2.2); el CBR se debe medir sobre muestras sometidas previamente a cuatro días (4 d) de inmersión.	E-148	≥ 15

Tabla 311 — 2. Franjas granulométricas del material de afirmado

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. *Standard*)							
	37,5	25,0	19,0	9,5	4,75	2,00	0,425	0,075
	1 ½ Pulgadas	1 Pulgada	3/4 Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 10	Nro. 40	Nro. 200
	Pasa tamiz (%)							
A-38	100	-	80 — 100	60 — 85	40 — 65	30 — 50	13 — 30	9 — 18
A-25	-	100	90 — 100	65 — 90	45 — 70	35 — 55	15 — 35	10 — 20
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	0 %	7 %			6 %			3 %

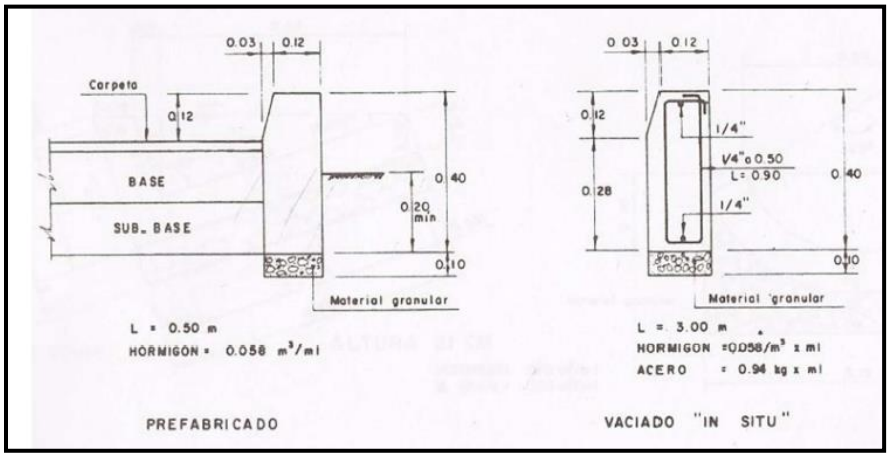
Tabla 311 — 3. Relaciones que debe cumplir el material de afirmado

Relación	Requisito
$\frac{\%\ pasa\ tamiz\ nro.200}{\%\ pasa\ tamiz\ No.10}$	0,20 – 0,45
$\frac{\%\ pasa\ tamiz\ nro.200}{\%\ pasa\ tamiz\ No.\ 40}$	≤ 2/3
{(% pasa tamiz de 1 pulgada) - (% pasa tamiz nro. 10)} × {% pasa tamiz nro. 4}	16 – 34
(% de contracción lineal) × (% pasa tamiz nro. 40)	100 – 240

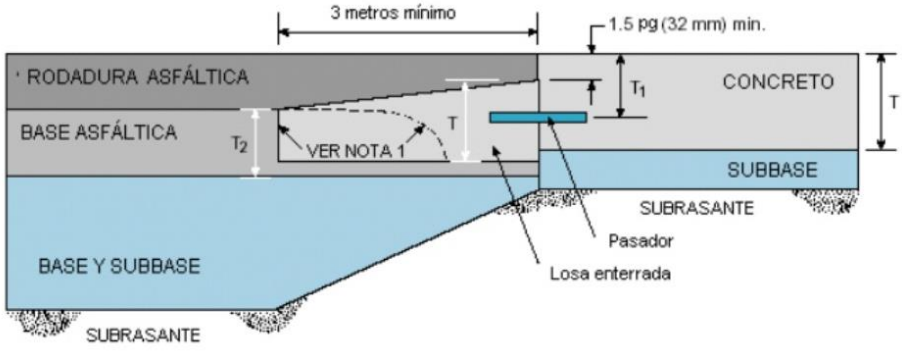
Las losas de la capa de rodadura deben ser elaboradas con una mezcla de concreto hidráulico, que presente como característica principal en estado endurecido, un valor módulo de rotura a la flexión de 40 kg/cm^2 a 28 días.

Si requieren bordillos estos pueden ser prefabricados (sin refuerzo) o fundidos in situ (con refuerzo), con un ancho de 0,15m (150mm) y altura 0,50m (500mm). En el caso que sea fundido "in situ" el bordillo, este deberá llevar dilataciones cada 0.80m (800mm) de tal modo que, de una apariencia de bordillo prefabricado. Los bordillos deben tener una pendiente longitudinal similar a la del eje de la vía (0,50%). La mezcla de concreto hidráulico debe tener como requerimiento de resistencia a la compresión 17.50 MPa.

Figura 1. Detalle constructivo de bordillo prefabricado y vaciado "in situ"



En caso de que llegase a presentar una transición de pavimento flexible a pavimento rígido se recomienda desarrollar el proceso constructivo descrito en la siguiente imagen:



Fuente: *(Sánchez, 2016, diapositiva 91)*

Donde:

T: espesor de diseño del pavimento rígido

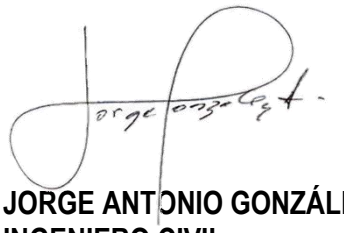
T_1: (T + 1.5") /2 o T_1: (T + 75mm) /2

T_2: T-4.5" pero no menor de 6" o T_2: T-115 mm, pero no menor de 150 mm

Nota 1. "Extender y compactar la capa de base asfáltica al menos 1 metro, como lo muestra la línea punteada. Cortar la base asfáltica compactada hasta la línea sólida vertical, para formar la losa enterrada. Usar esta cara vertical como formaleta para construir la losa enterrada"

7.0 limitaciones del estudio

Las recomendaciones realizadas en el presente informe se basan en las condiciones de campo observadas, los resultados de laboratorio y el análisis de ingeniería anteriormente descrito. Si durante la ejecución llegaran a presentarse condiciones diferentes a las enunciadas y asumidas como típicas, o surgiese cualquier dificultad imprevista, esta situación deberá ser informada oportunamente a fin de realizar los ajustes y evaluaciones pertinentes.



JORGE ANTONIO GONZÁLEZ AYUS
INGENIERO CIVIL
ESPECIALISTA EN INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES
TP. 22202-110769COR

8.0 Bibliografía

Asociación Colombiana de Productores de Concreto. (2013). *Especificaciones, diseño y construcción Pavimentos de Concreto Hidraulico.* Bogota: Asocreto.

CORONADO, C., VILLAFAÑE, R., & RIOS, L. (s.f.). *Resistencia de los Suelos a la licuación. .* Colombia.

Das, B. M. (2001). *Principios de Ingeniería de cimentaciones* (Cuarta ed.). México: International Thomson Editores.

DAS, B. M. (2001). *Principios de Ingeniería de cimentaciones.* México: International Thomson.

Earth, G. (2016).

ECOPETROL. (2002). *Interpretación de Radar Sinú- San Jacinto.*

INVIAS. (2007). *NORMA INV E 132-07.* Bogotá, Colombia .

INVIAS. (2008). *Manual de diseño de pavimentos de concreto para bajos, medios y altos volúmenes de tránsito.* (ICPC, Ed.) INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO.

Londoño, C., & Álvarez, J. (2008). *Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto.* Medellin: ICPC.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR10). *TITULO H*, H-49.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR10). *TITULO A*.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR10). *PREFACIO*, vi-v.

Rondón Quintana, H. A., & Reyes Lizcano, F. A. (2022). *PAVIMENTOS Materiales, construcción y diseño.* Bogotá: ECOE EDICIONES.

ANEXOS