



CONSORCIO DISEÑOS
YUMBO

ESTUDIOS Y DISEÑOS TÉCNICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA VÍA CALLE DEL ESTUDIANTE DEL MUNICIPIO DE YUMBO, VALLE DEL CAUCA.



DISEÑO DE PAVIMENTO

Ing. Esp. CÉSAR AUGUSTO LEGUIZAMÓN ARIAS
MP. 01117-10890
cesar.leguizamon@uptc.edu.co
NOVIEMBRE DE 2025

CR 12 A # 3 A - 44 PISO 1
318 863 4258
consorciodisenosyumbo@gmail.com

**PROYECTANDO
CAMBIO**

EL



ÍNDICE DE MODIFICACIONES

ÍNDICE REVISIÓN	CAPITULO MODIFICADO	FECHA DE MODIFICACIÓN	OBSERVACIONES
0		NOVIEMBRE/2025	Emisión Inicial

ESTADO DE REVISIÓN Y APROBACIÓN

DOCUMENTO No.			1			
TITULO DOCUMENTO			DISEÑO DE PAVIMENTO			
CLASE DE DOCUMENTO			DOCUMENTO contractual			
A P R O B A C I O N	NUMERO DE REVISIÓN		0	1	2	3
	Responsable por elaboración	Nombre	CÉSAR LEGUIZAMÓN			
		Firma				
		Fecha	NOVIEMBRE/2025			
	Responsable por revisión	Nombre				
		Firma				
		Fecha				
	Control de calidad	Nombre				
		Firma				
		Fecha				
	Responsable por Aprobación	Nombre				
		Firma				
		Fecha				





CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	6
OBJETIVOS.....	7
OBJETIVO GENERAL.....	7
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
1. GENERALIDADES.....	8
1.1. LOCALIZACIÓN.....	8
1.2. ALCANCE	9
2. CONSIDERACIONES DEL DISEÑO ESTRUCTURAL.....	10
3. ANÁLISIS DEL TRANSITO	11
4. DETERMINACION DE PARAMETROS PARA DEFINIR D(cm).	12
5. SELECCIÓN DEL ESPESOR Y DIMENSIONES DE LA LOSA.....	15
6. MECANICA DE PAVIMENTOS RIGIDOS.....	17
7. CALCULO DE PASADORES Y BARRAS DE ANCLAJE	24
8. TIPOS DE PAVIMENTO PARA LA CICLO-BANDA.....	28
8.1. TIPO DE SUPERFICIE DE RODADURA	28
8.2. RODADURAS RECOMENDABLES EN FUNCIÓN DE LA TIPOLOGÍA DE LA VÍA PARA BICICLETAS.....	29
8.3. RECOMENDACIONES DE APLICACIÓN.....	29
8.3.1. MEZCLAS BITUMINOSAS	29
8.3.2. CONCRETO.	30
8.3.3. ADOQUÍN Y BALDOSA.....	30
8.3.4. GRAVILLA COMPACTADA.....	31
9. CONCLUSIONES.	32
10. RECOMENDACIONES.	34



LISTA DE TABLAS.

Tabla 1. Factores de equivalencia de vehículos comerciales.	11
Tabla 2. Resumen de factores de equivalencia.....	11
Tabla 3. Categorización del tránsito.	12
Tabla 4. Categorización de la subrasante.	13
Tabla 5. Tipo de material de soporte.....	13
Tabla 6. Resistencia del concreto según %VC.....	14
Tabla 7. Categorización de la resistencia del concreto.	14
Tabla 8. Espesores de losa para tránsito T2.	15
Tabla 9. Longitud de losas.	16
Tabla 10. Esfuerzos por fricción.....	17
Tabla 11. Cálculo del módulo de reacción efectivo, ASMOD.	19
Tabla 12. Esfuerzos por temperatura TRAMO VEHÍCULAR.....	20
Tabla 13 Esfuerzos por temperatura INTERSECCIONES.	20
Tabla 14 Esfuerzos debido a las cargas TRAMO VEHÍCULAR.	21
Tabla 15 Esfuerzos debido a las cargas INTERSECCIONES.....	22
Tabla 16. Resumen de valores de servicio.	22
Tabla 17. Chequeo de esfuerzos y deflexiones.....	23
Tabla 18. Características de dovelas.	25
Tabla 19 VALORACIÓN DE SOLUCIONES TIPO DE SUPERFICIE DE RODADURA.....	28
Tabla 20 RODADURAS RECOMENDABLES SEGÚN EL TIPO DE CICLO-INFRAESTRUCTURA.....	29

LISTA DE ILUSTRACIONES.

Ilustración 1. LOCALIZACIÓN DEL MUNICIPIO DE LA UNIÓN	8
Ilustración 2 LOCALIZACIÓN DE CORREDOR VIAL	9





CONSORCIO DISEÑOS

Y U M B O

Ilustración 3. Esquema de juntas de construcción.	10
Ilustración 4. Distribución de dovelas.	25
Ilustración 5. Modelo estructural.....	26
Ilustración 6. Esquema de diseño.	26
Ilustración 7 MODULACIÓN ZONA GENERAL DEL TRAMO DE DISEÑO	27
Ilustración 8 MODILACIÓN INTERSECCIONES.....	27

LISTA DE ECUACIONES.

Ecuación 1. Módulo de rotura del concreto.	14
Ecuación 2. Módulo de reacción de la subrasante.	18
Ecuación 3. Modulo dinámico del concreto.	18



INTRODUCCIÓN

El presente documento desarrolla el análisis, diseño y verificación estructural del pavimento rígido proyectado para la Calle del Estudiante, un corredor vial de alta relevancia dentro del municipio de Yumbo, Valle del Cauca. Esta vía constituye un eje fundamental de conectividad, ya que articula el sur del casco urbano desde la carrera 12 con el sector norte hasta el río Yumbo, permitiendo la movilidad de tráfico mixto, incluidos vehículos de carga asociados a la dinámica industrial del municipio.

Dado que Yumbo es reconocido como la capital industrial del Valle, su infraestructura vial soporta de manera permanente flujos significativos de transporte comercial. En este contexto, el diseño del pavimento debe responder a las exigencias operativas del tránsito, a las condiciones geotécnicas locales y a los lineamientos normativos establecidos por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS). Por ello, el estudio incorpora la caracterización de la localización del proyecto, el análisis del tránsito actual y proyectado, la evaluación de la subrasante y los materiales de soporte, así como la selección de los parámetros de ingeniería requeridos para estimar los espesores y dimensiones óptimas de la losa de concreto.

El capítulo comprende además la aplicación de herramientas especializadas como CEDEL y ASMOD para el cálculo de esfuerzos, deflexiones, módulo de reacción y comportamiento térmico, garantizando que la estructura propuesta cumpla con los valores admisibles establecidos por la normativa. De igual forma, se definen los elementos de transferencia de carga dovelas y barras de anclaje que aseguran el adecuado desempeño del pavimento frente a las solicitudes generadas por el tránsito pesado.

De esta manera, los capítulos presentados constituyen la base conceptual y técnica que sustenta el diseño final del pavimento rígido, garantizando su funcionalidad, durabilidad y capacidad estructural para atender las necesidades actuales y futuras de movilidad en este corredor vial estratégico del municipio de Yumbo.



OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL

Determinar las dimensiones, cantidades y características de las capas que conforman el diseño estructural de pavimento, teniendo en cuenta las solicitaciones de carga y la resistencia del suelo de apoyo o fundación de la zona del proyecto.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Cuantificar y analizar los espesores de las capas que conforman la estructura de pavimento a implementar.
- Aplicar la mecánica de pavimentos a la estructura calculada para optimizar los valores en función de los espesores y la resistencia de los materiales de cada capa que conforman la estructura a construir.



1. GENERALIDADES

1.1. LOCALIZACIÓN

Yumbo es un municipio colombiano ubicado en el departamento de Valle del Cauca. Se sitúa al norte de la ciudad de Santiago de Cali, a tan solo 10 minutos y 12 kilómetros de su casco urbano. Es uno de los 42 municipios que conforman el departamento de Valle del Cauca y forma parte del Área metropolitana del Sur Occidente de Colombia. Es conocido como la capital industrial del Valle debido a las más de 2000 fábricas asentadas en su territorio.

La cabecera municipal se encuentra dividido en 4 comunas (en la que se encuentra los 23 barrios) y tiene bajo su jurisdicción varios centros poblados, que, en conjunto con otras veredas, constituye los corregimientos de: EL PEDREGAL, SAN MARCOS y SANTA INES.

La calle del estudiante objeto de estudio es un corredor vial de gran importancia en el municipio de Yumbo debido a que conecta el sur del municipio desde la carrera 12 hasta el río Yumbo localizado en el norte de la cabecera municipal.

Ilustración 1. LOCALIZACIÓN DEL MUNICIPIO DE LA UNIÓN



Fuente: <https://es.wikipedia.org>.

Ilustración 2 LOCALIZACIÓN DE CORREDOR VIAL



Fuente: Google Earth Pro.

1.2. ALCANCE

El presente estudio abarca el análisis, diseño y verificación estructural del pavimento rígido proyectado para la Calle del Estudiante en el municipio de Yumbo, Valle del Cauca. Comprende la recopilación, evaluación y aplicación de los parámetros geotécnicos, de tránsito y materiales necesarios para garantizar que la estructura propuesta cumpla con las especificaciones y lineamientos establecidos por el Manual de Diseño de Pavimentos Rígidos del INVIAS.



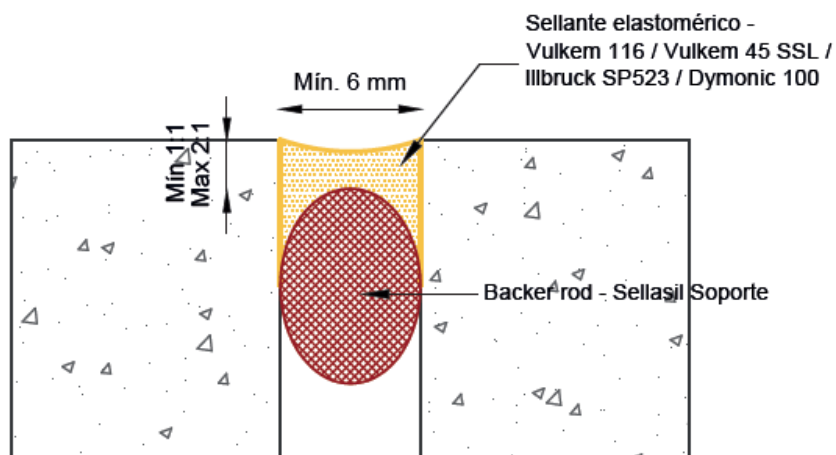
2. CONSIDERACIONES DEL DISEÑO ESTRUCTURAL.

Se adoptó lo estipulado en la Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto para bajos, medios y altos volúmenes de tránsito del INVIAS. Se propone inicialmente una estructura con espesor inicial de 150 mm para una serviabilidad final de 2.0 y un tránsito de diseño de 4' 124 898 ee de 8,2 ton c/d p/d. considerando el nivel de tránsito del sector, se propone acero de refuerzo tipo dovelas y barras de anclaje para hacer que el conjunto trabaje monolíticamente.

Para la adecuación y empalme con la vía actual, se debe realizar la limpieza y remoción del material sobrante adyacente al punto de empalme. Una vez se adecue el terreno y se disponga el material de soporte de la losa, se implementan las juntas transversales de construcción y aislamiento, y se procede a realizar el sellado con un sello Elasto-Plástico que presenta una capacidad de deformación entre el 12,5% y 25% como se indica en la ilustración 3.

Para este tipo de juntas es recomendable la instalación de una franja de caucho de neopreno para un ancho de 0.6 centímetros con una capa de ligante asfáltico como material sellante entre 6 y 12 milímetros de profundidad. No se especifican profundidades de corte ya que las juntas de construcción, son el empalme entre losas construidas en jornadas diferentes, por lo cual, tienen un corte total ortogonal al sentido de flujo.

Ilustración 3. Esquema de juntas de construcción.



Fuente: Guía básica para diseño de juntas de pavimentos en concreto.



3. ANÁLISIS DEL TRANSITO

Para el cálculo del tránsito de diseño se deben tener en cuenta los factores de equivalencia en función de un espesor supuesto de losa y la servisiabilidad final para cada tipo de vehículo.

En la tabla 1 se dan los factores de equivalencia de carga obtenidos. Para el análisis del tránsito se utilizarán los FE hallados a continuación para un $P_t=2$ según interpolación dada en la hoja de Excel creada. En este caso tomamos como ejemplo para un D supuesto= 150 (mm).

Tabla 1. Factores de equivalencia de vehículos comerciales.

FE	ESPESOR mm $P_t=2$								
	150	175	200	225	250	275	300	325	350
BUS	0.986	0.983	0.98	0.979	0.979	0.979	0.979	0.979	0.979
	150	175	200	225	250	275	300	325	350
C2P	0.344	0.336	0.329	0.327	0.326	0.325	0.325	0.325	0.325
	150	175	200	225	250	275	300	325	350
C2G	2.632	2.625	2.651	2.679	2.699	2.708	2.708	2.709	2.718
	150	175	200	225	250	275	300	325	350
C3-C4	9.093	8.831	8.863	8.8735	9.356	9.5255	9.618	9.6805	9.7035
	150	175	200	225	250	275	300	325	350
C5	14.618	14.232	14.361	14.753	15.128	15.361	15.491	15.575	15.617
	150	175	200	225	250	275	300	325	350
C6	12.846	12.534	12.626	12.731	13.273	13.478	13.59	13.667	13.69

Fuente: elaboración propia.

Luego de calcular los factores de equivalencia de cada uno de los tipos de eje se realiza la sumatoria para determinar los factores de equivalencia por tipo de vehículo de acuerdo al número de ejes que posea cada tipología de vehículo. En la siguiente tabla se muestra en resumen la sumatoria de los respectivos ejes para cada vehículo. Cabe resaltar que para el caso de la familia C3-C4 se calculó el factor individual y se realizó un promedio entre los dos que es valor que se relaciona en la tabla.

Tabla 2. Resumen de factores de equivalencia.

TIPO DE VEHÍCULO		FE
BUSES	Bus	-
	Bus Metropolitano	0.986
C2P	C2P	0.344
C2G	C2G	2.632
C3 y C4	C3	9.093
	C2S1	
	C4	
	C3S1	
	C2S2	
C5	C3S2	14.618
>C5	>C5	12.846

Fuente: elaboración propia.





CONSORCIO DISEÑOS YUMBO

Con el tránsito equivalente diario total proyectado, se procede a afectar este por el porcentaje de tránsito atraído y tránsito generado y se obtiene un total de tránsito equivalente de diseño de **4' 124 898** ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño para un periodo de diseño de 10 años (ESTUDIO DE TRÁNSITO DE ESTE PROYECTO).

Según el manual de diseño de pavimentos rígidos del Invias, se clasifica como un tránsito de diseño **T2**, teniendo en cuenta la condición más crítica entre el tipo de vía (Vt), tránsito promedio diario semanal (TPDS:994) y el número de ejes equivalentes de 8,2 toneladas en el carril de diseño en el periodo de diseño.

Tabla 3. Categorización del tránsito.

Categoría	Tipo de Vía	TPDs	Ejes acumulados de 8.2 t
T ₀	(Vt) – (E)	0 a 200	< 1'000.000
T ₁	(Vs) – (M ó A) – (CC)	201 a 500	1'000.000 a 1'500.000
T ₂	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	501 a 1.000	1'500.000 a 5'000.000
T ₃	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	1.001 a 2.500	5'000.000 a 9'000.000
T ₄	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	2.501 a 5.000	9'000.000 a 17'000.000
T ₅	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	5.001 a 10.000	17'000.000 a 25'000.000
T ₆	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	Más de 10.001	25'000.000 a 100'000.000

Tabla 3-1. Categorías de tránsito para la selección de espesores

Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos rígidos, Invias.

4. DETERMINACION DE PARAMETROS PARA DEFINIR D(cm).

A continuación, se presentan los valores de los parámetros de entrada para definir un espesor inicial de losa.

- **La subrasante:**

Para el diseño del pavimento según el Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto para bajos, medios y altos volúmenes de tránsito del INVIAS, se tendrán cinco clases de suelo tal y como se indica en la Tabla 3-2, en la cual, la clasificación se hace con base en la Relación de Soporte de California del suelo -CBR evaluada según la Norma INVE-148-07. Estos valores se correlacionan con el Módulo de Reacción de la subrasante -k- que es el parámetro usado en las ecuaciones de diseño.

De acuerdo con el estudio de suelos se tiene un CBR%=2.2 basado en 5 apiques y ensayos de Penetrómetro Dinámico de Cono PDC realizados a lo largo del tramo de diseño. Por lo anterior, la variable del suelo se clasifica como un **S2**, según la tabla 3.2 del manual del INVIAS mostrada a continuación:



Tabla 4. Categorización de la subrasante.

Clase o Tipo	CBR (%)	Módulo resiliente (kg/cm ²)
S1	< 2	< 200
S2	2 - 5	200 – 500
S3	5 - 10	500 – 1.000
S4	20 - 10	1.000 – 2.000
S5	> 20	> 2.000

Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos rígidos, Invias.

- Material de soporte para el pavimento:**

Se deben tener en cuenta tres tipos de soporte para el pavimento, como se indica en el Manual del INVIAE en la Tabla 3-3, y generalmente su efecto sobre la capacidad de soporte del suelo de la subrasante. El material de soporte del pavimento puede ser de tipo suelo natural, bases granulares (Artículo INV-330-07), bases estabilizadas con cemento (Artículo INV-341-07), de 150 mm de espesor.

En este caso no es necesario implementar material de soporte al pavimento ya que se tiene un CBR% de 6, lo cual indica las buenas condiciones de resistencia del terreno natural. Para efectos constructivos y de facilidades en el drenaje, se implementará una capa de apoyo para la losa diseñada; la cual tendrá un espesor de 15 centímetros y deberá cumplir con las características de los materiales de agregado tipo base granular de acuerdo a los parámetros estipulados en el artículo 330 de las especificaciones técnicas del INVIAE.

Tabla 5. Tipo de material de soporte.

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

Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos rígidos, Invias.

- Características del concreto:**

Para los diseños de los pavimentos se escogieron 4 calidades de concreto. Las resistencias a la flexo-tracción se evalúan a los 28 días y se miden con base en el ensayo Resistencia a la flexión del concreto por el método de la viga simple cargada en los tercios de la luz (Norma INV E414-07).

De la tabla siguiente clasificamos el Módulo de Rotura del concreto según su resistencia a la flexo-tracción. Teniendo en cuenta la resistencia que debe alcanzar el concreto para un tránsito diario de camiones de 994 según los datos registrados en los aforos para la resistencia a flexión es de 4.0 como lo indica la tabla siguiente:



Tabla 6. Resistencia del concreto según %VC.

Calidad del Concreto	Número de camiones por día			
	> 300	150 –300	25 – 150	< 25
A flexión (MPa)	4.5	4.2	4.0	3.8

Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos rígidos, Invias.

Se tiene que la resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 380 \text{ Kg/cm}^2$, entonces usando la siguiente expresión por correlación se obtiene el Módulo de Rotura MR del concreto:

Ecuación 1. Módulo de rotura del concreto.

$$Sc = 2.2(f'_c)^{0.5}$$

Calculando se tiene entonces:

$$Sc = 42.9 \text{ Kg/cm}^2 = 4.2 \text{ MPa}$$

Para un módulo de rotura del concreto de 42 kg/cm^2 , se adopta un valor de **MR3**. Entrando en la Tabla siguiente se obtiene:

Tabla 7. Categorización de la resistencia del concreto.

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

Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos rígidos, Invias.

- Transferencia de carga entre losas y confinamiento lateral:**

Los factores que influyen en la determinación del espesor de las losas de concreto según el manual del INVIAS están en función de la presencia o ausencia de las dovelas y de los elementos confinantes, que para efectos prácticos se denominan genéricamente como bermas. En el manual no se contempla el uso de acero para reforzar las losas, solo se tendrá acero en las dovelas y en las barras de anclaje.

El acero de las dovelas en las juntas transversales es liso y con diámetros de más de 15 mm y el de las barras de anclajes es corrugado y con diámetros menores a los 15 mm.





De acuerdo con las solicitudes de carga y el evidente flujo de vehículos pesados por el tramo de análisis, se construirá un pavimento con dovelas o pasadores y barras de transferencia, con bordillo y sin bermas.

5. SELECCIÓN DEL ESPESOR Y DIMENSIONES DE LA LOSA

Una vez determinadas las variables necesarias para escoger la tabla de diseño y definir el espesor de la losa de concreto, a continuación, se resumen los códigos de entrada:

- Subrasante: S2
- Tránsito de diseño: T2
- Características del concreto: MR2
- Dovelas, Bermas

En la siguiente tabla se expresan los valores de los espesores de losa de concreto en centímetros (cm), de acuerdo con la combinación de variables donde el tránsito de diseño T2 representa el factor principal de elección.

Tabla 8. Espesores de losa para tránsito T2.

		Tránsito T2																			
		S1				S2				S3				S4				S5			
		D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B
SN	MR1	25	29	25	29	24	28	24	28	22	26	22	26	22	25	22	25	21	25	22	25
	MR2	24	28	25	28	24	27	24	27	22	25	22	25	21	24	22	24	21	24	22	24
	MR3	24	27	25	27	24	28	26	28	21	24	22	24	20	23	22	23	20	23	22	23
	MR4	22	26	25	26	23	27	26	27	20	23	22	24	19	22	22	23	19	22	22	23
BG	MR1	24	28	24	28	23	27	23	27	22	25	22	25	21	25	22	25	21	24	21	24
	MR2	23	27	23	27	23	26	23	26	21	24	22	24	21	24	22	24	20	23	21	23
	MR3	22	26	23	26	23	27	25	27	20	24	22	24	20	23	22	23	20	23	21	23
	MR4	21	25	23	25	22	26	25	26	19	23	22	23	19	22	22	23	19	22	21	23
BEC	MR1	21	24	21	24	21	24	21	24	19	22	21	22	19	22	20	22	19	21	20	22
	MR2	20	23	21	23	20	23	21	23	19	21	21	22	18	21	20	22	18	20	20	22
	MR3	19	23	21	23	20	23	23	24	18	21	21	22	18	20	20	22	17	20	20	22
	MR4	18	22	21	23	19	22	23	24	17	20	21	22	17	19	20	22	17	19	20	22

Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos rígidos, Invias.

De acuerdo con la tabla anterior, el espesor de la losa de pavimento debe ser de 23 centímetros.





CONSORCIO DISEÑOS YUMBO

- Cálculo de las dimensiones de la losa

Ancho de la losa (A). De acuerdo con las condiciones existentes de vía se establece un ancho de calzada de 7 metros, por tanto, el ancho de la losa corresponde a 3.2 metros. En el manual de diseño geométrico de carreteras del INVIAS se especifican los anchos mínimos de calzada en función del tipo, velocidad y terreno de la vía.

Largo de la losa (L). Para determinar el largo de la losa, se evaluarán tres criterios que a continuación se establecen.

- Criterio 1. Losa ideal. $A = L$
- Criterio 2. Criterio del espesor. $L = 25 \cdot D$
- Criterio 3. AASHTO. $L = 1.25 \cdot A$.

Además de lo anterior la losa debe cumplir con el criterio de esbeltez RE, que corresponde a la relación entre el largo sobre el ancho de la losa; para que se satisfaga este parámetro, dicha relación debe ser menor a 1.25. En la siguiente tabla se relacionan los resultados del cálculo.

Tabla 9. Longitud de losas.

CRITERIO	ANCHO	LARGO	RE	Observación
1	3.2	3.2	1.00	Cumple
2	3.2	5.75	0.56	Cumple
3	3.2	4	0.80	Cumple

Fuente: elaboración propia.

Para un espesor de losa dado y un ancho de carril de 3.2 metros se adopta una longitud de losa de 4 metros.



6. MECANICA DE PAVIMENTOS RIGIDOS

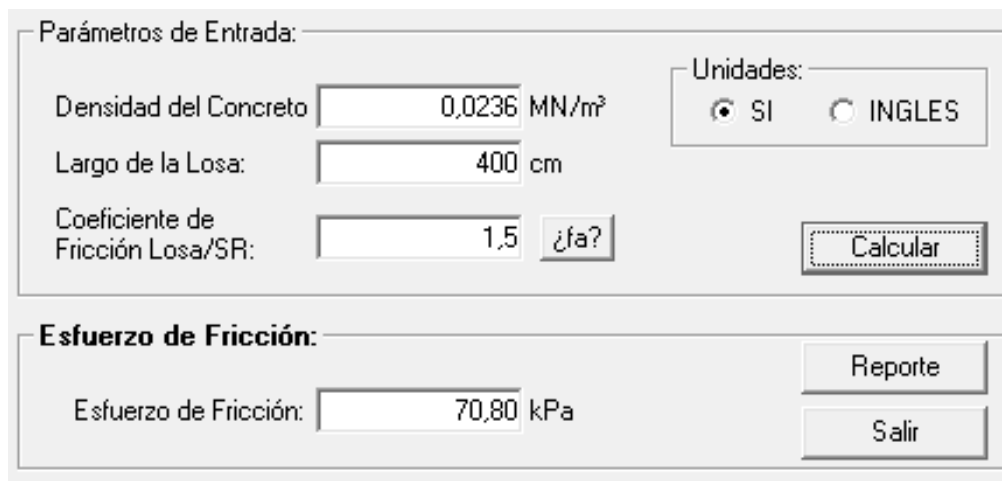
- Valores de servicio.

Para esto se emplea la herramienta CEDEL, en la cual se pueden determinar los estados de esfuerzo en servicio de la losa, para emplear la herramienta es necesario alimentarla de algunos parámetros relacionados al diseño trabajado que se ya se han determinado en pasos anteriores. En la siguiente tabla se muestran los valores:

Se calculan los esfuerzos en el interior, la esquina y el borde de la losa y se verifican los esfuerzos por fricción, alabeo causado por cambios de temperatura y los esfuerzos inducidos por las cargas de tránsito. En las tablas siguientes se muestra los resultados obtenidos usando el programa CEDEL, para la unidad de diseño definida:

Para el cálculo del esfuerzo por fricción se ingresan los datos basados en el coeficiente de fricción de la losa para un terreno natural y una densidad de concreto de 2.4 ton/m³.

Tabla 10. Esfuerzos por fricción.



The screenshot shows the 'Parámetros de Entrada' (Input Parameters) window of the CEDEL software. It contains the following fields and controls:

- Parámetros de Entrada:**
 - Densidad del Concreto: 0,0236 MN/m³
 - Largo de la Losa: 400 cm
 - Coefficiente de Fricción Losa/SR: 1,5
- Unidades:**
 - SI (selected)
 - INGLES
- Buttons:** 'Calcular' (Calculate), 'Reporte' (Report), and 'Salir' (Exit).
- Output:** 'Esfuerzo de Fricción: 70,80 kPa' (Friction Stress: 70,80 kPa).

Fuente: elaboración propia con ayuda de CEDEL.

Para el cálculo de los esfuerzos de alabeo por acción de la temperatura, se deben tener en cuenta los siguientes datos de entrada:

Inicialmente se procede a calcular el valor del módulo de reacción efectivo producto de la combinación de las resistencias de la subrasante y la subbase granular propuesta. Para este cálculo mediante el programa ASMODO, se necesitan los siguientes datos:





- Modulo resiliente de la subrasante:

$$Mr = 10 * CBR = 10 * 2.2 = 22.2 \text{ MPa}$$

- Módulo de reacción de la subrasante:

Ecuación 2. Módulo de reacción de la subrasante.

$$K = 0.25 + 5.15 * \log (CBR) = \text{kg/cm}^2$$

$$K = 0.25 + 5.15 * \log (2.2) = 2.01 \text{ kg/cm}^2 = 20.1 \text{ MPa}$$

- Modulo resiliente de la base granular: Para una base granular propuesta con un CBR% mínimo del 80% según las normas y especificaciones del Invias, se tiene \

$$Mr = 1061 \text{ kg/cm}^2 = 104.02 \text{ MPa}$$

- Espesor de losa: 230 mm
- Espesor de capa de base granular: 150 mm
- μ = relación de poisson del concreto = 0.15
- $E_c = 23889.2 \text{ MPa}$.
-

Ecuación 3. Modulo dinámico del concreto.

$$E_c = 12500(f_y)^{0.5}$$

$$E_c = 243669.9 \text{ kg/cm}^2 = 23889.2 \text{ MPa}.$$

- $\Delta T = 2.5^\circ \text{F/pulg} = 0.98^\circ \text{C/cm}$.





Tabla 11. Cálculo del módulo de reacción efectivo, ASMOD.

**MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE
METODO AASHTO 1993**

Unidades: ☐ U.S. ☒ S.I.

Módulo Resiliente de la Subrasante, Mr: MPa

Módulo de Reaccion de la Subrasante, Ks: MPa/m

Espesor de la Subbase Granular, Dsb: mm

Módulo de la Subbase Granular, Esb: MPa

☐ Estrato Rocoso

Espesor Estimado Losa de Concreto, D: mm

Pérdida de Soporte, Ls:

Módulo de Reacción Compuesto, Kc: MPa/m

Valores de K (MPa/m)		Daño Relativo Ur
Ks	78,6	85,6
Kc	46,1	102,7

Daño Relativo Promedio, $\bar{U}_r$:

Módulo de Reacción Promedio, $\bar{K}_c$: MPa/m

Módulo Efectivo de Reacción, Kef: MPa/m

Fuente: elaboración propia con ayuda de ASMOD.

Luego para un módulo de reacción efectivo de 7.1 MPa, el esfuerzo por alabeo es:



Tabla 12. Esfuerzos por temperatura TRAMO VEHÍCULAR.

Parámetros de Entrada:

Espesor de la Losa:	230 mm	Unidades:	☒ SI ☐ INGLES
Mód. Reacción SR:	19,1 MPa/m ¿k?	Diferencial de Temp.:	0,98 °C/cm
Mód. Elas. Concreto:	23889,2 MPa	Largo de la Losa (Lx):	400 cm
μ del Concreto:	0,15	Ancho de la Losa (Ly):	320 cm
Coe. Dilatacion T°:	9.0E-06 /°C	Radio de Carga:	15 cm

Radio de Rigidez Relativa, ℓ : 106,72 cm Calcular

Esfuerzos de Alabeo:

Relaciones de Alabeo:	Coeficientes de Alabeo:	Esfuerzo Esquina Losa (Bradbury):
Lx/ ℓ : 3,748	Cx: 0,3669	σ_t : 7124,78 kPa
Ly/ ℓ : 2,998	Cy: 0,1809	

Esfuerzo Borde de la Losa (Bradbury):	Esfuerzo Interior de la Losa (Westergaard):
Dirección X: 8889,94 kPa	Dirección X: 9767,12 kPa
Dirección Y: 4382,80 kPa	Dirección Y: 5847,87 kPa

Fuente: elaboración propia con ayuda de CEDEL.

Tabla 13 Esfuerzos por temperatura INTERSECCIONES.

Parámetros de Entrada:

Espesor de la Losa:	230 mm	Unidades:	☒ SI ☐ INGLES
Mód. Reacción SR:	19,1 MPa/m ¿k?	Diferencial de Temp.:	0,98 °C/cm
Mód. Elas. Concreto:	23889,2 MPa	Largo de la Losa (Lx):	400 cm
μ del Concreto:	0,15	Ancho de la Losa (Ly):	300 cm
Coe. Dilatacion T°:	9.0E-06 /°C	Radio de Carga:	15 cm

Radio de Rigidez Relativa, ℓ : 106,72 cm Calcular

Esfuerzos de Alabeo:

Relaciones de Alabeo:	Coeficientes de Alabeo:	Esfuerzo Esquina Losa (Bradbury):
Lx/ ℓ : 3,748	Cx: 0,3669	σ_t : 7124,78 kPa
Ly/ ℓ : 2,811	Cy: 0,1443	

Esfuerzo Borde de la Losa (Bradbury):	Esfuerzo Interior de la Losa (Westergaard):
Dirección X: 8889,94 kPa	Dirección X: 9631,30 kPa
Dirección Y: 3497,70 kPa	Dirección Y: 4942,40 kPa

Fuente: elaboración propia con ayuda de CEDEL.





CONSORCIO DISEÑOS YUMBO

Para el cálculo de los esfuerzos y deflexiones debidas a las cargas se solicitan los siguientes datos de entrada:

- Carga aplicada en Newtons = 40207 N
- $S_r = k$ efectivo = 19.1 MPa
- Radio de carga = $a = 10.8$ cm
- $E_c = 23889.2$ MPa
- μ = relación de poisson del concreto = 0.15

Tabla 14 Esfuerzos debido a las cargas TRAMO VEHICULAR.

Parámetros de Entrada:		Unidades:
Espesor de la Losa:	230 mm	☒ SI ☐ INGLES
Carga Aplicada:	40207 N	
Radio de Carga:	10.8 cm <input <="" td="" type="text" value="¿a?"/> <td>Mód. Elas. Concreto: 23889 MPa</td>	Mód. Elas. Concreto: 23889 MPa
Mód. Reacción SR:	7.1 MPa/m <input <="" td="" type="text" value="¿k?"/> <td>μ del Concreto: 0.15</td>	μ del Concreto: 0.15
Radio de Rigidez Relativa, ℓ :		136.68 cm
Calcular		

Borde de la Losa de Concreto:		
West. (1926-1948) - Ioannides (1985):	Loseberg (1960):	Westergaard:
Esfuerzo Círculo: 2702.4 kPa	Esfuerzo Círculo: 2725.7 kPa	Esfuerzo: 2043.7 kPa
Esfuerzo Sem.C: 3101.3 kPa	Esfuerzo Sem.C: 3099.0 kPa	
Deflex. Círculo: 1.222E+00 mm	Deflex. Círculo: 1.227E+00 mm	Kelley (1939):
Deflex. Sem.C: 1.270E+00 mm	Deflex. Sem.C: 1.276E+00 mm	Esfuerzo: 2168.3 kPa

Esquina de la Losa de Concreto:		
Westergaard (1926):	Ioannides (1985):	Spangler (1942):
Esfuerzo: 1668.0 kPa	Parámetro c: 19.138 cm	Esfuerzo: 2100.0 kPa
Deflexión: 3.036E+00 mm	Esfuerzo: 1726.5 kPa	
Momento Máx. a: 91.44 cm	Deflexión: 3.360E+00 mm	
	Momento Máx. a: 84.24 cm	
Goldbeck (1919) y Older (1924):	Bradbury (1938):	
Esfuerzo: 2280.2 kPa	Esfuerzo: 1782.9 kPa	
Pickett (1951):	Kelley (1939), Teller-Sutherland (1943):	
Esfuerzo: 2240.0 kPa	Esfuerzo: 2171.7 kPa	

Interior de la Losa de Concreto:	
Westergaard (1926-1939):	
Parámetro b: 11.226 cm	
Esfuerzo: 1299.6 kPa	
Deflexión: 3.774E-01 mm	

Reporte	Salir
--	--------------------------------------

Fuente: elaboración propia con ayuda de CEDEL.



Tabla 15 Esfuerzos debido a las cargas INTERSECCIONES.

Parámetros de Entrada:

Espesor de la Losa: 230 mm

Carga Aplicada: 40207 N

Radio de Carga: 10,8 cm ¿a?

Mód. Reacción SR: 7,1 MPa/m ¿k?

Mód. Elas. Concreto: 23889 MPa

μ del Concreto: 0,15

Unidades: ☒ SI ☐ INGLES

Radio de Rigidez Relativa, ℓ : 136,68 cm

Calcular

Borde de la Losa de Concreto:

West. (1926-1948) - Ioannides (1985):

Esfuerzo Círculo: 2702,4 kPa

Esfuerzo Sem.C: 3101,3 kPa

Deflex. Círculo: 1,222E+00 mm

Deflex. Sem.C: 1,270E+00 mm

Loseberg (1960):

Esfuerzo Círculo: 2725,7 kPa

Esfuerzo Sem.C: 3099,0 kPa

Deflex. Círculo: 1,227E+00 mm

Deflex. Sem.C: 1,276E+00 mm

Westergaard:

Esfuerzo: 2043,7 kPa

Kelley (1939):

Esfuerzo: 2168,3 kPa

Esquina de la Losa de Concreto:

Westergaard (1926):

Esfuerzo: 1668,0 kPa

Deflexión: 3,036E+00 mm

Momento Máx. a: 91,44 cm

Ioannides (1985):

Parámetro c: 19,138 cm

Esfuerzo: 1726,5 kPa

Deflexión: 3,360E+00 mm

Momento Máx. a: 84,24 cm

Spangler (1942):

Esfuerzo: 2100,0 kPa

Goldbeck (1919) y Older (1924):

Esfuerzo: 2280,2 kPa

Bradbury (1938):

Esfuerzo: 1782,9 kPa

Pickett (1951):

Esfuerzo: 2240,0 kPa

Kelley (1939), Teller-Sutherland (1943):

Esfuerzo: 2171,7 kPa

Interior de la Losa de Concreto:

Westergaard (1926-1939):

Parámetro b: 11,226 cm

Esfuerzo: 1299,6 kPa

Deflexión: 3,774E-01 mm

Reporte **Salir**

Fuente: elaboración propia con ayuda de CEDEL.

En la Tabla siguiente se muestra el cuadro resumen de esfuerzos y deflexiones que se chequearán comparándolos con el esfuerzo admisible, σ_{adm} del concreto que se instalará en obra:

Tabla 16. Resumen de valores de servicio.

PUNTO	EFUERZOS KPa			ESFUERZO TOTAL (KPa)	DEFLEXIONES (mm)
	FRICCIÓN	CARGA	ALABEO		
ESQUINA	70.8	2100	7124.78	9295.58	3.036
BORDE	70.8	2044	8890	11004.8	1.22
		3101.3	4383	7555.1	1.27
INTERIOR	70.8	1299.6	9768	11138.4	3.77
		1299.6	5848	7218.4	

Fuente: elaboración propia.



Posteriormente se calcula el esfuerzo admisible en unidades de Kilo pascales así:

$$Sc = 2.2(420 \text{ Kg/cm}^2) 0.5 = 462 \text{ Kg/cm}^2 = 45306.73 \text{ KPa}$$

Una vez calculados los valores de servicio y admisibles se compran los datos obtenidos y se calcula el porcentaje de consumo para cada chequeo como se muestra a continuación:

Tabla 17. Chequeo de esfuerzos y deflexiones

PUNTO	EZFUERZOS KPa			ESFUERZO TOTAL (KPa)	DEFLEXIONES (mm)	ESFUERZO TOTAL (KPa)	% CONSUMO	% RESERVA
	FRICCIÓN	CARGA	ALABEO					
ESQUINA	70.8	2100	7124.78	9295.58	3.036	45306	20.52%	79.48%
BORDE	70.8	2044	8890	11004.8	1.22		24.29%	75.71%
		3101.3	4383	7555.1	1.27		16.68%	83.32%
INTERIOR	70.8	1299.6	9768	11138.4	3.77		24.58%	75.42%
		1299.6	5848	7218.4			15.93%	84.07%

Fuente: elaboración propia.

Con lo anterior se evidencia que el diseño de las dimensiones de las losas en conjunto con las características de los materiales a utilizar en la implementación de la estructura de pavimento, son adecuados y cumplen con los estándares de evaluación de la metodología utilizada según el INVIAS.

Se puede observar que los porcentajes de consumo son bajos para el caso de los esfuerzos medidos en el borde de la losa. Adicionalmente se recomienda el uso de acero de refuerzo tipo dovelas para la sección transversal y barras de anclaje a lo largo de la losa; lo cual mitigará y disminuirá en gran medida estos esfuerzos y deflexiones presentados en los bordes al transferir parte de la carga a las losas siguientes.



7. CALCULO DE PASADORES Y BARRAS DE ANCLAJE

Una vez evaluados los criterios de fatiga y deflexiones en los puntos solicitados, se procede a definir los espaciamientos y convenciones para la ubicación de las dovelas y las barras de anclaje.

- Barras de anclaje:**

De la tabla 6.1 del Manual de diseño para pavimentos rígidos del INVIAS, se definen los parámetros de diseño para las barras de anclaje donde se usará acero de $f_y = 280$ MPa, y teniendo en cuenta las recomendaciones del manual se define un diámetro del pasador de media pulgada.

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 $f_y= 187,5$ 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 $f_y= 280$ 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: Manual de Diseño de Pavimentos rígidos, Invias

- Dodelas:**

Para un espesor de losa: 230 mm. Entrando con este valor a la Tabla se tiene:



Tabla 18. Características de dovelas.

Espesor del pavimento	Diámetro del pasador		Longitud	Separación entre centros
	mm	Pulgada		
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: Manual de Diseño de Pavimentos rígidos, Invias

Diámetro de la barra, se adopta de 1 1/8" ò 35 mm

Ancho de carril = 3.5 m

Acero fy= 280 MPa

Longitud de la barra= 400 mm

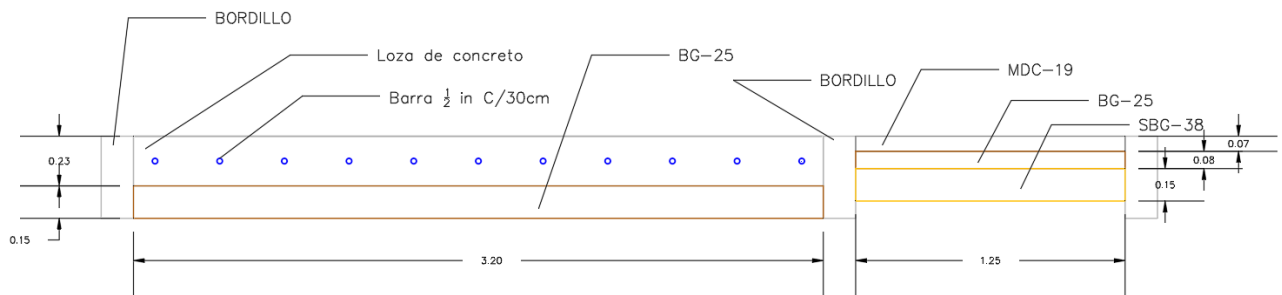
Separación entre los centros=300 m

NÚMERO DE DOVELAS

- $NE = 3.2 / 0.3 = 10.7$.
- $10 \times 0.3 = 3.0$ m
- $3.2 - 3.30 = 0.10 / 2 = 0.05$ m NO CUMPLE RECUBRIMIENTO MIN
- $10 \times 0.3 = 3.0$ m
- $3.2 - 3.0 = 0.20 / 2 = 0.1$ m CUMPLE RECUBRIMIENTO MIN

NÚMERO DE DOVELAS: **ND= 10+1 =11 Dovelas**

Ilustración 4. Distribución de dovelas.



Fuente: elaboración propia.





A continuación, se presenta un esquema del modelo estructural adoptado:

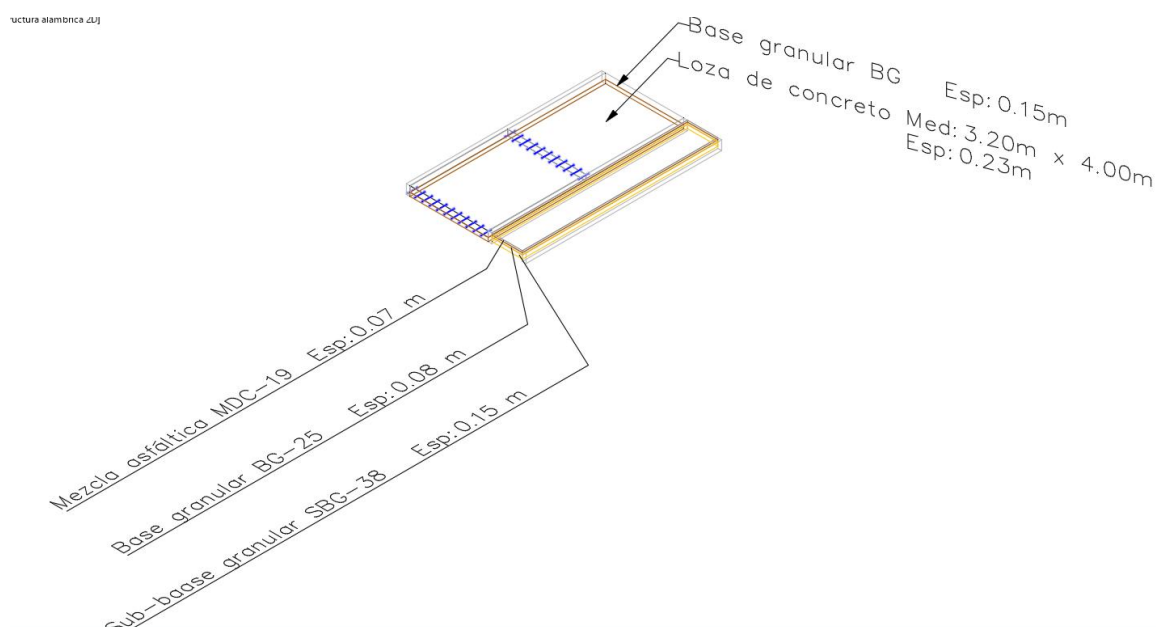
Ilustración 5. Modelo estructural.

LOSA DE CONCRETO	Espesor: 230 mm, f_y : 420 Kg/cm ² , μ : 0.15
BASE GRANULAR	Espesor: 150 mm, μ : 0.4
SUBRASANTE	%CBR: 2.2%, μ : 0.5

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, se presenta una tabla resumen y un esquema de las dimensiones finales de la losa y la separación entre dovelas y barras de transferencia.

Ilustración 6. Esquema de diseño.

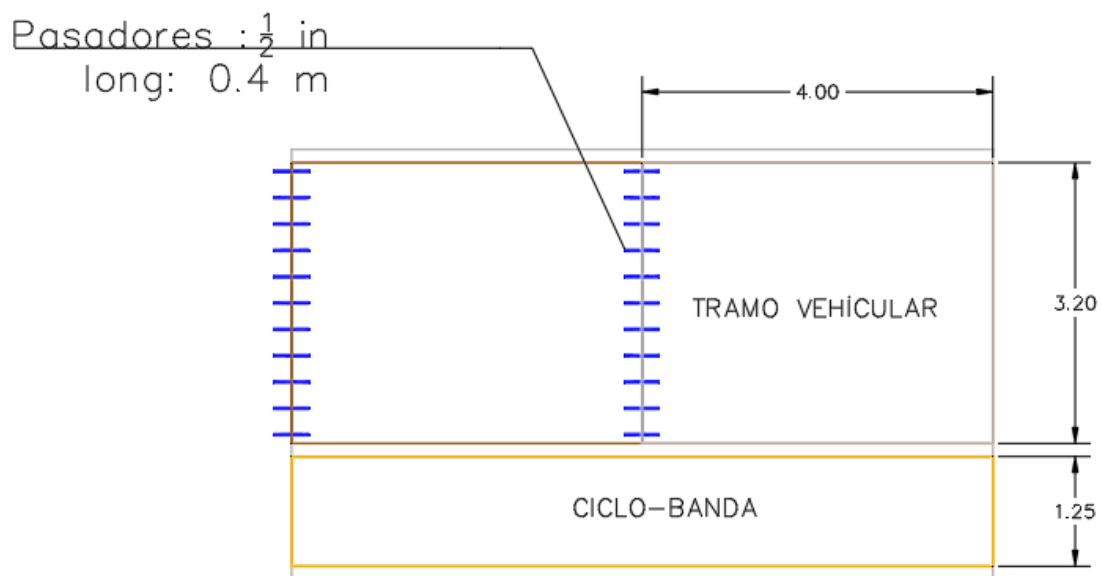


Fuente: elaboración propia.



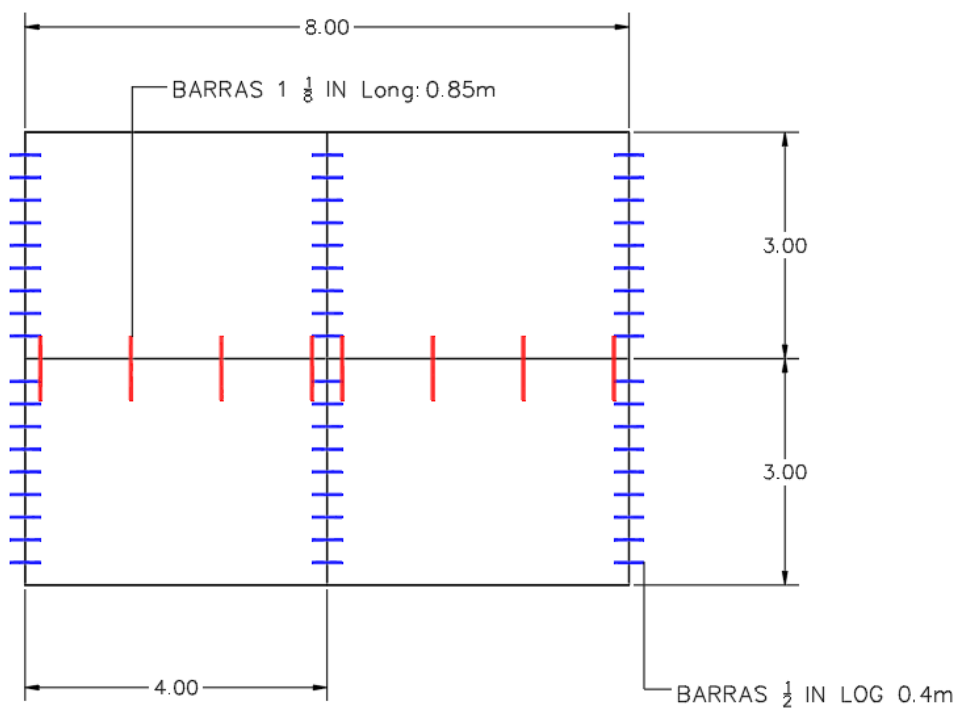


Ilustración 7 MODULACIÓN ZONA GENERAL DEL TRAMO DE DISEÑO



Fuente: elaboración propia.

Ilustración 8 MODULACIÓN INTERSECCIONES



Fuente: elaboración propia.



8. TIPOS DE PAVIMENTO PARA LA CICLO-BANDA

8.1. TIPO DE SUPERFICIE DE RODADURA

En el momento de elegir un pavimento de una vía para bicicletas hay que tener en cuenta una serie de criterios, como son la comodidad y seguridad para el usuario (rigidez, regularidad y adherencia de la superficie del pavimento, drenaje), la adecuación al entorno por donde va a discurrir la vía ciclista, así como los costos, tanto de construcción como de mantenimiento.

Aunque el tránsito de bicicletas tiene menores exigencias en cuanto a cargas que la circulación de vehículos motorizados, la vía ha de soportar al menos las correspondientes a la maquinaria de construcción y los tránsitos esporádicos o habituales previstos para el acceso y los servicios de urgencia, conservación y limpieza. La comodidad y también la seguridad del ciclista requieren una superficie uniforme, exenta de baches y con las menores discontinuidades posibles. La seguridad exige que el pavimento tenga una textura superficial adecuada, ofreciendo resistencia al deslizamiento en cualquier circunstancia, fundamentalmente cuando exista agua y en trayectorias curvas. La calidad del pavimento ha de ser coherente con la función de la vía ciclista y su ubicación, es decir, su posición en la jerarquía de la red y del entorno en que se enmarque.

Tabla 19 VALORACIÓN DE SOLUCIONES TIPO DE SUPERFICIE DE RODADURA

	MEZCLAS BITUMINOSAS	CONCRETO	ADOQUÍN / BALDOSA	GRAVILLA COMPACTADA
Adherencia	●●●	●●●	●●●	●
Resistencia rodadura	●●●	●●	●	○
Resistencia a la erosión	●●●	●●●	●●●	○
Regularidad superficial	●●●	●●	●	○
Costo de construcción	●	●●	○	●●●
Costo de mantenimiento	●●	●●	●	●
Compatibilidad con los vehículos motorizados	●●●	●●●	●	○
○ Mala, ● Regular, ●● Aceptable, ●●● Buena				

Fuente: Guía ciclo infraestructura de Colombia





8.2. RODADURAS RECOMENDABLES EN FUNCIÓN DE LA TIPOLOGÍA DE LA VÍA PARA BICICLETAS

Para la gran mayoría de las vías para bicicletas las mezclas bituminosas son la mejor superficie del pavimento disponible debido a la reducida resistencia de la rodadura, la regularidad de la superficie, así como la buena adherencia. Únicamente en entornos específicos pueden prevalecer otros criterios como la adaptación a las características del medio ambiente construido o natural o el nivel de intrusión. Asimismo, hay grupos de usuarios específicos (deportistas de montaña) que suelen dar preferencia a pavimentos de carácter más natural.

Tabla 20 RODADURAS RECOMENDABLES SEGÚN EL TIPO DE CICLO-INFRAESTRUCTURA.

RODADURAS	CICLORRUTA	CICLOBANDA-CALZADA	CICLOBANDA-ANDÉN	CALZADA COMPARTIDA
Asfalto	●●●	●●●	●●	●●
Concreto	●●	●	●	●●
Adoquín	●	●	●●●	●●
Baldosa	●	○	●●●	○
Gravilla compactada	●*	○	○	○

○ Desaconsejable, ● Menos recomendable, ●● Adecuado, ●●● Óptimo.

* opción adecuada en vías por zonas verdes y espacios naturales

Fuente: Guía ciclo infraestructura de Colombia

8.3. RECOMENDACIONES DE APLICACIÓN

8.3.1. MEZCLAS BITUMINOSAS

La superficie del pavimento consiste en una mezcla bituminosa en caliente colocada sobre una capa de material granular. El grosor de las capas depende del volumen de tránsito previsto, de su composición y de la calidad de la explanada sobre la que se asienta. En algunas ciudades se emplean colores como rojo y el verde para pigmentar la mezcla con el fin de diferenciar claramente la vía para bicicletas, aunque el aglomerado negro es más económico. Cuando el pavimento es de color negro, la solución más barata consiste en extender una sola capa de al menos 5 cm de aglomerado sobre la base de gravilla compactada. En este sentido, es importante un diseño coherente que permita realizar la identificación clara de la infraestructura en todo el recorrido.





CONSORCIO DISEÑOS

YUMBO

Las mezclas bituminosas son la superficie del pavimento más recomendable para vías para bicicletas interurbanas de uso cotidiano o para las rutas principales a nivel regional o departamental. La relación costo-beneficio es muy buena y, si están bien ejecutadas, su durabilidad es alta. Las mezclas con color encarecen y complican la ejecución ya que no suele haber existencias de aglomerado que no sea negro y hay que fabricarlo expresamente. Desde el punto de vista del mantenimiento, el costo es aceptable, pero, al tratarse de un pavimento continuo, las reparaciones se distinguen del resto, con lo que estéticamente el resultado puede no ser a la larga tan bueno.

8.3.2. CONCRETO.

La solución consiste en una losa de concreto en masa (o con placas prefabricadas), tendido directamente sobre la explanación o sobre una capa de material granular (grava). Una solera de concreto con un buen acabado superficial puede constituir un pavimento adecuado para una vía para bicicletas, fundamentalmente por el hecho de ser liso. A este respecto, en el caso del concreto hay que prestar atención al tratamiento superficial que se aplique, ya que la adherencia final dependerá en gran medida de este aspecto. Para ello, es recomendable que la superficie presente una textura mínimamente rugosa que garantice la adherencia en caso de lluvia.

El espesor de la solera puede oscilar entre los 10 y 15 cm, en función de las características de la base, la explanación y el tipo de tránsito previsto. La superficie resultante presenta resistencia a la rodadura y al deslizamiento muy adecuadas, pero en su contra está la necesidad de realizar juntas de dilatación para evitar fisuras. Estas juntas pueden suponer una mayor o menor incomodidad para el ciclista en función de la calidad de su ejecución. El costo de mantenimiento de este tipo de superficie del pavimento es bajo y muy inferior (en caso de un espesor de 10 cm) al del pavimento bituminoso. Como en el caso del aglomerado, al tratarse de un pavimento continuo, las reparaciones no se pueden igualar y quedan muy marcadas.

Su aplicación se recomienda en tramos singulares del ciclo red (por ejemplo, tramos con fuertes pendientes o con una mayor probabilidad de erosión en espacios naturales), donde se pretende lograr una mayor integración de la vía para bicicletas de la que se pueda obtener con una mezcla bituminosa.

8.3.3. ADOQUÍN Y BALDOSA

Son pavimentos que se realizan extendiendo sobre la capa de base, o directamente sobre la explanación, una cama de mortero (mezcla de cemento, arena y agua) de 3 cm de espesor sobre la que se asientan los adoquines o baldosas, generalmente de concreto prefabricado, rellenando posteriormente sus





CONSORCIO DISEÑOS

YUMBO

juntas con arena. Estos tipos de pavimentos requieren la ejecución de un bordillo o encintado para que las piezas de borde no se desplacen. En el caso de adoptar una solución con baldosas, es muy importante elegir bien los espesores de las piezas en función de su tamaño y del tipo de tránsito que vayan a soportar. En cualquier caso, no se recomiendan espesores de menos de 5 cm.

El costo de construcción y mantenimiento es superior al del aglomerado asfáltico y al del concreto. Sin embargo, en el caso de la pavimentación con piezas, adoquines o baldosas, se trata de un sistema industrializado que permite, en caso de deterioro, la reposición de elementos dañados recuperando el aspecto y las características originales. Este tipo de pavimentos son adecuados para lograr una mejor integración de la ciclo-infraestructura en zonas urbanas, pero hay que garantizar una buena ejecución y elegir bien el material de pavimentado para no penalizar la circulación en bicicleta por este tipo de superficies. En la actualidad existe una amplia oferta de piezas de pavimentación sin bisel en los bordes, de manera que es posible lograr una superficie lisa y una continuidad muy alta.

8.3.4. GRAVILLA COMPACTADA

El uso de la gravilla compactada ofrece una superficie de aspecto "natural" con costos bajos. La rodadura es suave, pero no muy adherente, y muy sensible a los procesos erosivos, en especial si existen pendientes fuertes. Las superficies del pavimento de gravilla compactada necesitan una revisión anual de la calidad del pavimento y frecuentes obras de mantenimiento.

Este tipo de pavimento se puede mejorar añadiendo un estabilizante de suelo que crea una membrana impermeable sin modificar el color natural de la superficie. La estabilización permite un mejor drenaje que aumenta su durabilidad.

Hay que limitar el uso de la gravilla compactada a zonas ambientalmente sensibles o donde es necesario integrar la vía ciclista en el entorno. Asimismo, puede ser la mejor opción para recorridos donde predomine el desplazamiento en bicicleta de montaña. En caso de optar por la gravilla compactada hay que excluir el tránsito motorizado, ya que el peso de vehículos pesados acelera el deterioro de la superficie del pavimento. Por todas estas razones, no es un pavimento adecuado para el uso cotidiano ni para los ejes principales de las vías departamentales o regionales.



9. CONCLUSIONES.

- El corredor vial objeto de estudio cumple una función estratégica dentro del municipio de Yumbo, al conectar sectores residenciales, institucionales e industriales, lo que exige una solución estructural capaz de soportar tránsito mixto con presencia significativa de vehículos pesados.
- El análisis del tránsito permitió determinar un tránsito equivalente de diseño de 4'124.898 ejes equivalentes de 8.2 toneladas para un periodo de 10 años, lo que clasifica la vía dentro de la categoría T2 según el Manual de Diseño de Pavimentos Rígidos del INVIAS. Esta condición demanda una estructura de pavimento de alta capacidad y eficiente transferencia de cargas.
- El concreto seleccionado corresponde a una categoría MR3, con un módulo de rotura adecuado para los niveles de carga registrados. La correlación entre la resistencia a compresión y el módulo de rotura garantiza un comportamiento satisfactorio frente a esfuerzos de flexión y fatiga.
- El espesor final adoptado para la losa fue de 23cm, resultado de la combinación de los parámetros de subrasante, tránsito de diseño, calidad del concreto y configuraciones de transferencia de carga. Este espesor permite cumplir con los límites de esbeltez y las condiciones estructurales establecidas por la normativa.
- Los análisis de esfuerzos y deflexiones realizados con CEDEL y ASMOD demostraron que la losa opera dentro de los rangos admisibles, presentando porcentajes de consumo bajos tanto en borde como en interior. Los esfuerzos derivados de fricción, alabeo térmico y cargas móviles se mantienen por debajo de los valores críticos del concreto diseñado.
- La implementación de barras de anclaje y dovelas es indispensable para garantizar la transferencia de carga entre losas, permitiendo un comportamiento monolítico de la estructura y reduciendo las deflexiones y tensiones especialmente en los bordes, donde se concentran mayores solicitaciones.
- En conjunto, los resultados demuestran que la estructura propuesta es técnicamente viable, cumple con las especificaciones del INVIAS y garantiza una solución durable y eficiente para las condiciones de carga y operación del corredor vial, aportando a la mejora de la movilidad y al fortalecimiento de la infraestructura urbana de Yumbo.
- Con base en la Guía ciclo infraestructura de Colombia, la selección del pavimento para una ciclo-banda debe priorizar la seguridad, comodidad, durabilidad y sostenibilidad económica de la infraestructura. Aunque las cargas generadas por bicicletas son menores que las del tránsito motorizado, el diseño debe considerar vehículos de mantenimiento y emergencias.
- Las mezclas bituminosas se consolidan como la alternativa más eficiente para la mayoría de las ciclo-infraestructuras debido a su baja resistencia a la rodadura, buena adherencia y adecuada relación costo-beneficio,





CONSORCIO DISEÑOS YUMBO

siendo especialmente recomendadas para ejes principales y vías interurbanas de uso cotidiano.

- El concreto representa una solución durable y de bajo mantenimiento para tramos específicos con mayores exigencias estructurales, como pendientes pronunciadas. Los pavimentos en adoquín o baldosa favorecen la integración urbana y paisajística, aunque implican mayores costos y requieren una ejecución cuidadosa. Por su parte, la gravilla compactada debe limitarse a entornos naturales o recreativos, ya que presenta menor durabilidad y mayores requerimientos de mantenimiento.
- Las mezclas bituminosas constituyen la solución técnicamente más adecuada para la mayoría de las tipologías de vías ciclistas, especialmente aquellas de carácter estructurante o interurbano, debido a su óptima relación costo-beneficio, baja resistencia a la rodadura y alta durabilidad cuando su ejecución es adecuada.
- El concreto es recomendable en tramos singulares que demanden mayor resistencia estructural o control frente a procesos erosivos, considerando la correcta ejecución de juntas de dilatación y tratamiento superficial para garantizar la adherencia.
- El uso de mezclas bituminosas en ciclo-bandas constituye la alternativa más eficiente y funcional para la mayoría de infraestructuras ciclistas, especialmente en ejes principales y vías de uso cotidiano. Este tipo de pavimento ofrece una superficie continua, uniforme y con baja resistencia a la rodadura, lo que mejora significativamente la comodidad y el desempeño del ciclista. Asimismo, garantiza adecuada adherencia y seguridad, incluso en condiciones de humedad, siempre que su diseño y ejecución cumplan con criterios técnicos apropiados.
- Desde el punto de vista estructural, aunque las bicicletas generan cargas reducidas, las mezclas bituminosas permiten soportar tránsito ocasional de vehículos de mantenimiento y emergencia. En términos económicos, presentan una favorable relación costo-beneficio, alta durabilidad y costos de mantenimiento razonables, lo que las convierte en la solución más recomendable frente a otras alternativas.
- El geotextil no tejido tipo T2000 es técnicamente adecuado y recomendado como capa de separación entre la subrasante y la estructura del pavimento, especialmente en suelos de baja capacidad portante o con problemas de drenaje, debido a su alta resistencia mecánica, adecuada permeabilidad y excelente capacidad de filtración, lo cual contribuye significativamente a mejorar la estabilidad estructural y el desempeño hidráulico del pavimento.



10. RECOMENDACIONES.

- Realizar un control riguroso de la calidad de los materiales utilizados en la construcción del pavimento, especialmente en la capa granular de apoyo y en el concreto, verificando periódicamente el cumplimiento de las especificaciones del INVIAS para garantizar la resistencia y durabilidad proyectadas.
- Implementar una supervisión técnica permanente durante la instalación de dovelas y barras de anclaje, asegurando la correcta alineación, recubrimiento y espaciamiento. Una colocación deficiente puede afectar la transferencia de carga y generar fallas prematuras en bordes o esquinas.
- Garantizar un adecuado manejo de juntas, incluyendo el sellado con materiales elastoplásticos de buena calidad y la colocación de bandas de neopreno, con el fin de evitar infiltraciones de agua, pérdida de soporte y deterioro acelerado por bombeo o erosión.
- Asegurar una preparación adecuada de la subrasante y la capa de apoyo, realizando compactaciones uniformes y verificaciones in situ de densidad y humedad, dado que la variabilidad en estas capas puede generar asentamientos diferenciales y aumentar las tensiones en la losa.
- Controlar estrictamente la nivelación y acabado del concreto, manteniendo una correcta pendiente transversal y longitudinal para garantizar la evacuación eficiente del agua y prevenir problemas de humedad y deterioro superficial.
- Monitorear el comportamiento térmico durante el colado del pavimento, especialmente en jornadas con altas temperaturas, para reducir el riesgo de fisuras por retracción y minimizar esfuerzos por alabeo térmico.
- Establecer un plan de mantenimiento preventivo, incluyendo sellado periódico de juntas, inspección de fisuras, limpieza de drenajes y control de vegetación en laterales. El mantenimiento preventivo prolonga la vida útil de la losa y evita intervenciones mayores y costosas.
- Limitar las cargas excesivas en el corredor durante los primeros días de curado, aplicando controles en la operación vehicular para evitar daños tempranos mientras el concreto alcanza su resistencia final.
- Para la zona destinada a la ciclo-banda, se recomienda la implementación de una estructura de pavimento flexible conformada por una capa de rodadura en mezcla densa en caliente tipo MDC-19 de 7 cm de espesor, una base granular BG-25 de 8 cm y una subbase granular SBG-38 de 15 cm. Esta propuesta estructural se define conforme a los lineamientos establecidos en la Guía ciclo infraestructura de Colombia, garantizando condiciones adecuadas de capacidad estructural, durabilidad, comodidad y seguridad para el tránsito ciclista.
- Se recomienda el uso de geotextil no tejido tipo T2000 como capa de separación entre la subrasante o terreno natural y la estructura





CONSORCIO DISEÑOS YUMBO

granular del pavimento (subbase o base), con el fin de evitar la migración de finos desde el suelo natural hacia las capas granulares, preservando la integridad estructural del sistema y manteniendo su capacidad portante a lo largo del tiempo. Este geotextil cumple funciones simultáneas de separación, filtración y estabilización, permitiendo el paso del agua y facilitando el drenaje interno de la estructura, mientras retiene las partículas finas del suelo, lo que contribuye a reducir la acumulación de presiones intersticiales y el riesgo de bombeo de finos.

- El uso del geotextil T2000 mejora el comportamiento mecánico del conjunto suelo–estructura al favorecer una distribución más uniforme de las cargas y limitar la deformación lateral del material granular, lo que se traduce en una mayor estabilidad, menor deformación permanente y mayor vida útil del pavimento. Su uso es especialmente recomendado en subrasantes de baja capacidad portante, suelos finos o con deficiencias de drenaje, y debe instalarse directamente sobre la subrasante previamente nivelada y libre de material orgánico o elementos punzantes, asegurando traslapes adecuados entre rollos y evitando el tránsito directo de equipos sobre el geotextil expuesto, para posteriormente colocar la capa granular correspondiente, garantizando así un adecuado desempeño estructural e hidráulico del sistema de pavimento.

Elaboro:

ing. Esp. CÉSAR AUGUSTO LEGUIZAMÓN ARIAS

MP: 01117-10890 CPITVC

NOVIEMBRE/2025

