ING. WALTER ALFONSO PAUTT TORRES
ESPECIALISTA EN VÍAS Y TRANSPORTE
M.P 0820226680 ATL

DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO

OBJETO: CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO RÍGIDO EN CALLES Y CARRERAS DEL MUNICIPIO DE CALAMAR, BOLÍVAR

ALCALDIA MUNICIPAL DE CALAMAR

FECHA: OCTUBRE DEL 2024

ING. WALTER ALFONSO PAUTT TORRES
ESPECIALISTA EN VÍAS Y TRANSPORTE
M.P 0820226680 ATL

TABLA DE CONTENIDO

- TRANSITO DEL PROYECTO
- TRANSITO PROMEDIO DIARIO
- COMPONENTES DEL TRÁNSITO
- PERÍODO DE DISEÑO
- FACTOR DE DISTRIBUCIÓN DIRECCIONAL
- CALCULO DEL ESPECTRO DE CARGAS
- INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA
- PERFILES DE SUELO
- CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE
- POTENCIAL EXPANSIVO DE LA SUBRASANTE
- MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE
- DISEÑO DE ALTERNATIVAS DE PAVIMENTACION
- DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO, METODOLOGIA AASHTO 1993
- SERVICIABILIDAD
- COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN DE CARGA J
- COEFICIENTE DE DRENAJE CD
- DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO, METODOLOGÍA PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA)
- PARÁMETROS DE DISEÑO
- ESPESORES DE DISEÑO
- DISEÑO DE JUNTAS PAVIMENTO RIGIDO
- RECOMENDACIONES DE CONSTRUCCION
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

TRANSITO DEL PROYECTO

Para estas vías de orden local, se adoptará el nivel de tránsito de acuerdo a los datos reportados por el INVIAS, las recomendaciones del DNP y a la experiencia de este consultor en este tipo de proyectos. De acuerdo a lo anterior, el tránsito de diseño para estas vías es el siguiente.

TRANSITO PROMEDIO DIARIO

De acuerdo con los datos reportados por el INVIAS, las vías internas el municipio de Calamar, presenta un tránsito promedio diario entre 0 y 500 vehículos diarios.

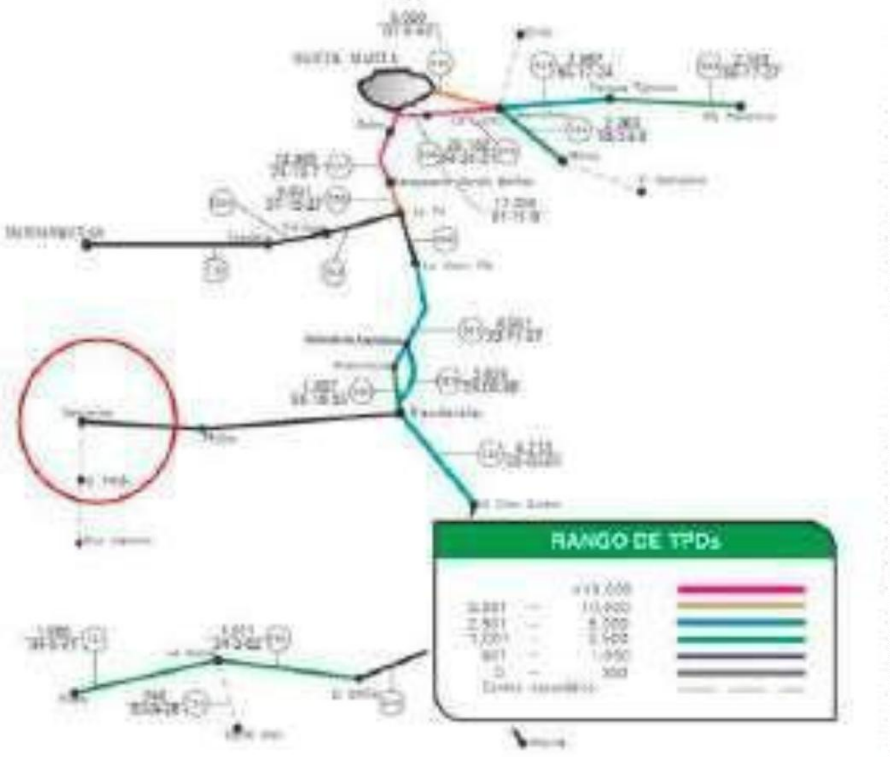


Figura No. 3. TPD INVIAS.

Por otra parte, el DNP en la guía de diseño recomienda emplear un TPD máximo de 1000 vehículos, con una distribución típica para vías con estas características.

Por último, esta consultoría adopta un TPD de 250, el cual se encuentra en el rango presentado por el INVIAS, y es conservador con relación al presentado por el DNP.

COMPONENTES DEL TRÁNSITO

Con el fin de obtener el tránsito promedio futuro, se establecen las componentes de tránsito, que se presentarán como consecuencia de la intervención realizada.

Tránsito Normal: se estima a partir del tránsito actual, con la aplicación de una tasa de crecimiento debido al incremento continuo en los volúmenes de los vehículos. Para el presente proyecto se tuvo en cuenta los criterios de INVIAS en su manual de vías de bajos volúmenes y la experiencia de esta oficina, por lo anterior se adoptó una tasa crecimiento de 3%.

PERÍODO DE DISEÑO

Para la vía en estudio se ha considerado prudente adoptar un periodo de diseño estructural de veinte (20) años de pavimento rígido, atendiendo las recomendaciones de INVIAS en sus manuales de diseño, que considera las limitaciones de tipo operativo, de construcción y de mantenimiento.

FACTOR DE DISTRIBUCIÓN DIRECCIONAL

El factor de distribución direccional corresponde a la proporción del tránsito de vehículos comerciales que circulan en una dirección. Se trabaja con un factor direccional de 0,5 adoptado de las recomendaciones del INVIAS en sus manuales de diseño.

Tabla 1 Factor Direccional (Fd)

Ancho de la calzada	Tránsito de diseño	fd
Menos de 5m	Total en los dos sentidos	100
Igual o mayor de 5m y menor de 6m	3/4 del total en los dos sentidos	0.75
Igual o mayor de 6m	1/2 del total en los dos sentidos	0.50

Fuente: INVIAS

FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR CARRIL

Número de carriles en cada dirección	Factor de distribución para el carril de diseño (DC)	
	INVIAS	AASHTO 2002
1	1,00	1,0
2	0,90	0,9
3	0,75	0,6
4	0,25	0,4

Tabla No. 2. Factor Carril.
Fuente. INVIAS.

De acuerdo con la información anterior y las características de las vías, el factor de distribución carril es de 1,0.

$$Repeticiones\ Esperadas = TPDs * 365 * \left[\frac{(1+i)^n - 1}{\ln(1+i)}\right] * Fd$$

CALCULO DEL ESPECTRO DE CARGAS

Para el desarrollo del diseño de las alternativas de pavimento rígido, se realizó el cálculo del espectro de cargas por eje, basado en las cargas máximas estipuladas por el Ministerio de Transporte en la resolución 4100 de 2004. Se empleó un periodo de diseño de 20 años, recomendado por el INVIAS y que corresponde al mínimo de la vida útil esperada del pavimento. El tránsito a futuro se calculó mediante la siguiente expresión.

- TPD: Tránsito Promedio Diario
- n: Período de diseño 2019 a 2039
- i: Rata de crecimiento (3,0%)
- Fd: Factor Direccional (0,5

La distribución y peso de los vehículos se realizó teniendo en cuenta que sobre estas vías no circularan buses ni camiones de servicio público y estarán sometidas principalmente a la acción de vehículos livianos y como máximo circularan con baja frecuencia, algunos vehículos pesados como distribuidores de alimentos, bebidas, trasteos y de recolección de basura.

En la siguiente figura se puede observar la distribución del tránsito con la cual se realizó el cálculo del espectro de cargas.



A continuación, se presenta la distribución de vehículos, las cargas de diseño en términos de ejes equivalentes de 8.2 toneladas y el espectro de cargas para el diseño por la metodología PCA:

CALCULO DEL TRANSITO EQUIVALENTE DIARIO Y TOTAL				
VEHICULOS	PORCENTAJE	NUMERO DE VEHICULOS DIARIOS	FACTOR DAÑO	TRANSITO EQUIVALENTE DIARIO
VEHICULOS	%	250		
LIVIANOS	75.0%	188	0.00	15
CAMPERO	9.0%	22	0.30	45
CAMIONES	16.0%	40		10
C2P	11.0%	27	0.26	2
C2G	4.0%	10	3.47	
C3	1.0%	3	7.52	
TRANSITO EQUIVALENTE DIARIO				72
TRANSITO EQUIVALENTE TOTAL ACUMULADO				3.53E+05

Tabla No. 3. Calculo de Ejes Equivalentes.

ING. WALTER ALFONSO PAUTT TORRES
ESPECIALISTA EN VÍAS Y TRANSPORTE
M.P 0820226680 ATL

INFORMACION PARA CALCULO DE ESPECTRO DE CARGAS							
VEHICULOS	NUMERO DE VEHICULOS ACUMULADOS	SIMPLE RUEDA SIMPLE			SIMPLE RUEDA DOBLE		TANDEM
		2.5	4	6	6	11	22
VEHICULOS							
LIVIANOS	9.19E+05						
CAMPERO	1.08E+05		107,885		107,885		
CAMIONES							
C2P	1.32E+05	132,404			132,404		
C2G	4.90E+04			49,038		49,038	
C3	1.47E+04			14,712			14,712
Total	1,223,510	132,404	107,885	63,750	240,289	49,038	14,712

Tabla No. 4. Espectro de Cargas.



ING. WALTER ALFONSO PAUTT TORRES
ESPECIALISTA EN VÍAS Y TRANSPORTE
M.P 0820226680 ATL

INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA

Los trabajos de exploración de campo consistieron en la ejecución 3 apiques. Lo anterior con el fin de determinar la calidad de los materiales del subsuelo y sus características físicas y mecánicas. Para cada apique se describió la estratigrafía del suelo (espesor y descripción física de los materiales existentes) y se clasificaron las muestras obtenidas. La capacidad de soporte de la subrasante se determinó por medio de ensayos de CBR. La exploración se realizó a una profundidad 1.5 m, dando cumplimiento al mínimo (1.5 m) recomendado en los manuales de diseño del Instituto Nacional de Vías, INVIAS.

En la siguiente figura se ilustra la ubicación de los diferentes apiques realizados en la zona de estudio.

Ubicación especifica por apique:

- Apique #1, Cra 2, entre Cra 3 Y Cll 38 (10°14'35.59"N, 74°54'54.20"O)
- Apique #2, TRV 2B, entre CLL 11 Y CLL 15 (10°15'31.55"N; 74°55'1.28"O)
- Apique #3, Cll 34, entre Oriental y Cra 3 (10°14'37.02"N; 74°55'1.24"O)
- Apique #4, Cll 18, entre Cra 6 y Trv 3 (10°15'23.14"N; 74°54'56.96"O)
- Apique #5, Cll 33, entre Oriental y Trv 3 (10°14'40.92"N; 74°55'1.98"O)
- Apique #6, Cll 34, entre Oriental y Cra 3 (10°14'42.35"N; 74°54'56.01"O)

Para caracterizar el suelo explorado, se realizaron los siguientes ensayos con base en las normas del INVIAS 2013:

- Granulometría por Tamizado (INV E 123 - 13)
- Límite Líquido (INV E 125 - 13)
- Límite Plástico (INV E 126 - 13)
- Proctor Modificado (INV E 142 -13)
- CBR (INV E 148 – 13

Para evaluar la calidad de la subrasante como estructura de soporte del pavimento se realizaron seis (06) ensayos de relación de soporte de california mejor conocido como CBR, el cual mide la carga necesaria para penetrar un pistón de dimensiones determinadas a una velocidad previamente fijada en una muestra compactada de suelo después de haberla sumergido en agua durante cuatro días a la saturación más desfavorable. Para la ejecución de esta prueba se tomó como referencia la

norma I.N.V. E – 148. Una vez realizados los ensayos de laboratorio se obtuvieron como resultados valores de CBR que oscilan entre 1,0 y 1,5%. A continuación se muestran los resultados obtenidos del ensayo de CBR para cada una de las perforaciones.

A continuación se presenta un resumen de los resultados de laboratorio realizados a las muestras recolectadas en campo.

PERFILES DE SUELO

Los perfiles de suelo correspondientes a cada uno de los apiques mencionados se muestran en el informe geotécnico, en la gráfica siguiente se muestra el primer apique; todos ellos deben ser considerados en el diseño de la estructura del pavimento.

CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE

A continuación, se detalla los resultados obtenidos de los ensayos de CBR, para las diferentes perforaciones ejecutadas en la zona estudiada.

Tabla N° 4. Resultados CBR.

APIQUE	ESPESOR DEL ESTRATO (mts)	CBR (%)
Apique #1, Cra 2	*1 - 1,5*	*1,0*
Apique #2, TRV 2B	*1 - 1,5*	*1,1*
Apique #3, Cll 32	*1 - 1,5*	*1,2*
Apique #4, Cll 18	*1 - 1,5*	*1,2*
Apique #5, Cll 33	*1 - 1,5*	*1,2*
Apique #6, Cll 34	*1 - 1,5*	*1,0*

La capacidad portante de los suelos de la subrasante en términos de CBR, presenta valores entre 1.0 y 1.2 y teniendo en cuenta la cantidad de ensayos, esta consultoría adopta una capacidad de soporte, en términos de CBR, del 0.94% (percentil 85). Dado que la capacidad portante es muy baja, se recomienda realizar el mejoramiento mecánico para ello se presentan dos propuestas

1. Estabilización con Suelo Cemento.
2. Estabilización con afirmado

Estabilización con afirmado de 20cm y suelo cemento de 15 cm

POTENCIAL EXPANSIVO DE LA SUBRASANTE

Según la metodología propuesta por Holtz y Gibbs, la cual es recomendada por INVIAS, el potencial expansivo de la subrasante puede ser estimado con base en las características de plasticidad de los suelos bajo el siguiente criterio:

Potencial Expansivo	Límite Líquido (%)	Índice de Plasticidad (%)
Alto	> 60	> 35
Marginal	50 - 60	25 -35
Bajo	< 50	< 25

Tabla No. 9. Potencial Expansivo de los Suelos – INVIAS.

MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE

Teniendo en cuenta que el CBR existente es bajo (inferior a 5.0 %), se proponen mejoramientos con material de suelo cemento o de afirmado. Se recomienda que los resultados de CBR mejorados (subrasante – mejoramiento), deben estar como mínimo con CBR combinado 5%. Lo anterior, debido a que se ha encontrado que cimentaciones sobre subrasantes con capacidad inferior a ésta pueden presentar problemas de subrasante a mediano plazo.

Como mejoramiento de la subrasante, se recomienda la estabilización mecánica con 0.3 m de espesor en material de Suelo Cemento (CBR superior a 5%) o material afirmado (CBR Superior a 5%), con lo cual el espesor total de mejoramiento/estabilización sería el presentado en la siguiente tabla.

Parámetros del Modelo	
P (Kg)	2000
q (Kg/cm²)	7.03
a (cm)	9.52
n	2.07

$$E_{eq} = \frac{E_0}{1 - \frac{2}{\pi}\left(1 - \frac{1}{n^{3,5}}\right)\arctan\left(\frac{n * h}{2 * a}\right)}$$

$$n = \sqrt[2,5]{\frac{E_1}{E_0}} \qquad a = \sqrt{\frac{P}{\pi * q}}$$

Calculo de Mejoramiento de la Subrasante

Subrasante		Mejoramiento Piedra			Fundación Equivalente Rajón	
CBR (%)	Mr (MPa)	CBR (%)	E (MPa)	h (cm)	E_{eq} (MPa)	CBR_{eq} (%)
0.9	9.4	8	80	30	54	5.4

Tabla No. 10. Mejoramiento/Estabilización Propuestos – Capacidad Portante

DISEÑO DE ALTERNATIVAS DE PAVIMENTACION

Para el diseño del pavimento se propondrán dos alternativas en pavimento rígido. Se estima este tipo de pavimento como el más conveniente, por razones de durabilidad y mantenimiento, teniendo en cuenta las limitantes en este sentido que presentan las entidades encargadas de la administración vial en nuestro país.

Para el diseño se emplean la metodología AASHTO 1993 y PCA 1984, ampliamente utilizada en nuestro medio. Se proponen dos alternativas, las cuales se describen a continuación:

ALTERNATIVA 1

Se propone una alternativa empleando una losa de concreto hidráulico con MR de 3.8 MPa, apoyada sobre una capa de Sub base granular, en los espesores obtenidos del diseño.

ALTERNATIVA 2

Se propone una alternativa empleando una losa de concreto hidráulico con MR de 4.0 MPa, apoyada sobre una capa de Sub base granular, en los espesores obtenidos del diseño.

En este capítulo se presenta la metodología de diseño y los resultados obtenidos.

DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO, METODOLOGIA AASHTO 1993

Parámetros de Diseño

A continuación, se describen los parámetros adoptados para el diseño de la estructura del pavimento.

Confiabilidad

Se adoptó una confiabilidad de 75% de acuerdo a las recomendaciones del INVIAS en sus manuales de diseño.

Tabla 9 Confiabilidad Según Tipo de Vía

Table 2.2. Suggested Levels of Reliability for Various Functional Classifications

Functional Classification	Recommended Level of Reliability	
	Urban	Rural
Interstate and Other Freeways	85-99.9	80-99.9
Principal Arterials	80-99	75-95
Collectors	80-95	75-95
Local	50-80	50-80

NOTE: Results based on a survey of the AASHTO Pavement Design Task Force

Error Estándar Combinado

Dado que la metodología recomienda una desviación estándar entre 0.3 y 0.4, esta consultoría adopta un valor de desviación estándar de 0.39.

SERVICIABILIDAD

Siguiendo las recomendaciones del INVIAS para esta metodología de diseño, se adopta una serviciabilidad con un PSI inicial de 4.5 y un PSI final de 2.5.

Capacidad de la Subrasante

De acuerdo con la exploración geotécnica y los ensayos de laboratorio realizados al material de la zona, se determinó un valor de CBR de 5% luego de la estabilización de la subrasante natural con material tipo rajón.

Para determinar el módulo resiliente del material se empleó la siguiente formula, la cual es recomendada por el INVIAS en sus manuales de diseño.

$$M_r(psi) = 1500 * CBR$$

El valor del modulo resiliente para la estructura de pavimento es de 7000 PSI

Espesor de la Subbase Granular

Teniendo en cuenta los resultados de módulo resiliente de la subrasante obtenidos en el punto anterior y la experiencia de esta consultoría, se adopta un espesor de base granular de 0.20 m.

Módulo de Reacción

El módulo de reacción K de la subrasante se estima con el siguiente modelo el cual hace parte del nomograma de la AASHTO.

$$K = 22{,}168 * ln(CBR) + 3{,}5018$$

Dónde:

K: Resistencia de la subrasante, en MPa/m

El Módulo de Reacción K de la subrasante corresponde a un valor mínimo de 40 MPa/m.

El módulo de reacción del apoyo en conjunto con una subbase granular SBG (INVIAS, Articulo 320-13) se determina con la siguiente tabla, la cual muestra el incremento del módulo de reacción como consecuencia de la instalación de una subbase granular.

Valor de K para Subrasante		Valor de K para base Granular							
		100mm		150mm		225mm		300mm	
MPa/m	Lb/pulg^3	MPa/m	Lb/pulg^3	MPa/m	Lb/pulg^3	MPa/m	Lb/pulg^3	MPa/m	Lb/pulg^3
20	73	23	85	26	96	32	117	38	140
40	147	45	165	49	180	57	210	66	245
60	220	64	235	66	245	76	280	90	330
80	295	87	320	90	330	100	370	117	430

Tabla No. 12. Efecto de la Subbase Granular en los Valores del K (MPa/m)

Para un K de la subrasante de 40 MPa/m, empleando un espesor de 200 mm de subbase granular, le corresponde un K del conjunto subrasante – base de 54 MPa/m (190 pci).

Teniendo en cuenta los procedimientos constructivos, los cuales en la zona del proyecto pueden tener diferentes limitaciones, se adopta un módulo de reacción conservador para el apoyo del concreto hidráulico de 170 pci.

Módulo de Rotura del Concreto

Se establecieron dos alternativas de diseño con diferentes módulos de rotura del concreto, la primera alternativa emplea un concreto con MR de 3.8 MPa (551 psi) y la segunda alternativa con MR de 4.0 MPa (580 psi). La adopción de los valores de modulo para cada alternativa están acordes a las recomendaciones del INVIAS en sus manuales de diseño.

Resistencia a la Compresión del Concreto

La resistencia a la compresión (f'c) del concreto se estima en función del módulo de rotura (MR), usando la ecuación propuesta por la American Concrete Institute (ACI).

$$f'_c = \sqrt{\left(\frac{MR}{0.392}\right)^3} \text{ [MPa]}$$

Por lo tanto se tiene un valor de f'c de 30.2 MPa (4380.1 psi) para un MR de 3.8 MPa y un f'c de 32.6 MPa (4728.2 psi) para un MR de 4.0 MPa

Módulo de Elasticidad del Concreto

El módulo elástico del concreto hidráulico ha sido estimado con base en la siguiente relación, de acuerdo con el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente 2010, para el caso de cargas instantáneas y en caso de no contar con información del tipo de agregado del concreto hidráulico:

$$E_C = 3900 * \sqrt{f'c} \text{ [MPa]}$$

Se anota que la anterior ecuación también hace parte de los Manuales AASHTO 1993 e INVIAS 2010 para el Diseño de Pavimentos de Concreto. Se establece un valor de módulo de elasticidad de 21432 MPa (3.108.449 psi) para un MR de 3.8 y un valor de módulo de elasticidad de 22267 MPa (3.229.555 psi) para un MR de 4.0.

COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN DE CARGA J

Las recomendaciones del método en cuento al coeficiente de transmisión de carga presentan un rango entre 2.5 a 3.1 para pavimentos rígidos no reforzados con elementos de transmisión de cargas. Por lo anterior se adoptó un coeficiente j de 3, el cual está acorde con las recomendaciones del INVIAS en sus manuales de diseño.

COEFICIENTE DE DRENAJE CD

Dadas las condiciones de drenaje del proyecto y la experiencia de esta oficina, se adopta un coeficiente de Drenaje (Cd) de 0.9.

Numero de Ejes Equivalentes de 8.2 Toneladas.

Como se determinó en capítulos anteriores, el Numero de Ejes Equivalentes de 8.2 Toneladas para el carril de diseño es de 1x106 EALS.

Modelo Pavimento Rígido AASHTO 1993.

ING. WALTER ALFONSO PAUTT TORRES
ESPECIALISTA EN VÍAS Y TRANSPORTE
M.P 0820226680 ATL



Estructura obtenida

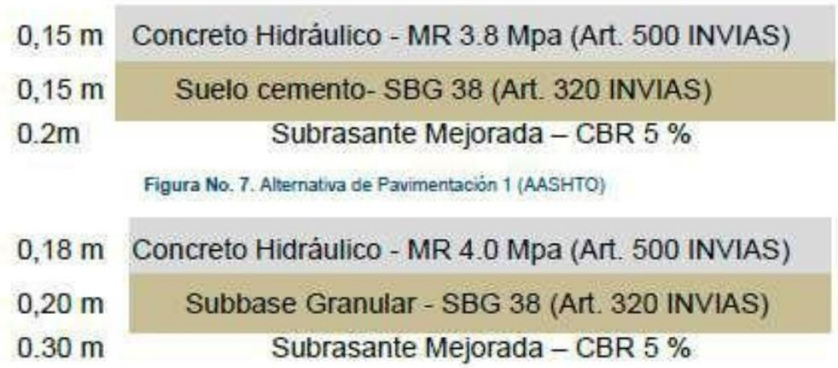


Figura No. 7. Alternativa de Pavimentación 1 (AASHTO)

ING. WALTER ALFONSO PAUTT TORRES
ESPECIALISTA EN VÍAS Y TRANSPORTE
M.P 0820226680 ATL

DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO, METODOLOGÍA PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA)

El procedimiento para determinar la intervención se basa en las solicitaciones del tránsito y en el periodo de diseño durante el cual, la estructura del pavimento reduce su capacidad de soportar cargas.

A continuación, se describen los parámetros adoptados para el diseño de la estructura del pavimento.

PARÁMETROS DE DISEÑO

Factor de Seguridad de Carga y Repeticiones

El factor de seguridad se aplica al valor mayor del rango de carga considerado de acuerdo con los siguientes criterios:

- Para vías de múltiples carriles, tránsito ininterrumpido y elevados volúmenes de tránsito, FSC=1,20
- Para carreteras y vías arterias con moderado volumen de tránsito pesado, FSC=1,10
- Para caminos, calles residenciales y otros con escaso volumen de tránsito pesado, FSC=1,00

Dadas las características de las vías a diseñar, se adopta un factor de seguridad de carga de 1.0, el cual está acorde con las recomendaciones del método.

Espectro de Carga

Este insumo se ha determinado en el capítulo de tránsito y se muestra en la Tabla 3.

Tipo de Berma y Junta Transversal

Se ha considerado pasadores para la transferencia de carga.

Módulo de Rotura del Concreto

Se establecieron dos alternativas de diseño con diferentes módulos de rotura del concreto, la primera alternativa emplea un concreto con MR de 3.8 MPa y la segunda alternativa con MR de 4.0 MPa. La adopción de los valores de modulo para cada alternativa están acordes a las recomendaciones del INVIAS en sus manuales de diseño.

ESPESORES DE DISEÑO

Con base en los parámetros descritos anteriormente y siguiendo los lineamientos del método, se establece el dimensionamiento de las estructuras de pavimento, teniendo en cuenta los análisis de Fatiga y Erosión, mediante el empleo del programa BS-PCA de la Universidad del Cauca. En el Anexo No.1 se presentan las memorias de cálculo. En la siguiente tabla se resumen los resultados.

Espesores de Estructura (cm)			FS Carga	FS Repeticiones	MR (MPa)	Bermas	Pasadores	Consumos (%)	
CONC	S-CSBG	Total						Fatiga	Erosión
15	35	50	1	1	3.8	No	SI	59.8%	1.04%

Tabla No. 13. Espesores de Diseño Alternativa 1 – MR3.8

Espesores de Estructura (cm)			FS Carga	FS Repeticiones	MR (MPa)	Bermas	Pasadores	Consumos (%)	
CONC	SBG	Total						Fatiga	Erosión
18	20	38	1	1	4.0	No	SI	78.3%	1.66%

Tabla No. 14. Espesores de Diseño Alternativa 2 – MR4.0

Dónde; CONC: Losa de concreto hidráulico y BG: Sub Base Granular.

En las tablas anteriores, se puede observar que las estructuras diseñadas cumplen con los criterios de fatiga y erosión, con consumos inferiores al 100%.

DISEÑO ESTRUCTURA ESPACIO PÚBLICO - ANDENES

Para este tipo de estructuras, se aplica la metodología AASHTO 1993, con los criterios recomendados por el IDU, en su cartilla de andenes IDU y DAPD.

DISEÑO DE JUNTAS PAVIMENTO RIGIDO

Juntas Longitudinales

Se recomienda emplear barras de acero corrugado de fluencia mínima 4200 kg/cm2, diámetro de ½", espaciamiento cada 80 cm y en longitudes de 90cm.

Juntas Transversales

Se recomienda emplear barras de acero liso, con los siguientes requisitos mínimos según lo establecido en las normas INVIAS, para pavimentos de concreto.

Espesor de losa (cm)	Diámetro del pasador (pulg)	Longitud total (cm)	Separación entre centros (cm)
15	1"	35	30

Tabla No. 18. Características Juntas Transversales

A continuación, en las siguientes figuras, se presentan los detalles típicos de la construcción de juntas.



Figura No. 8. Detalle Construcción de Juntas

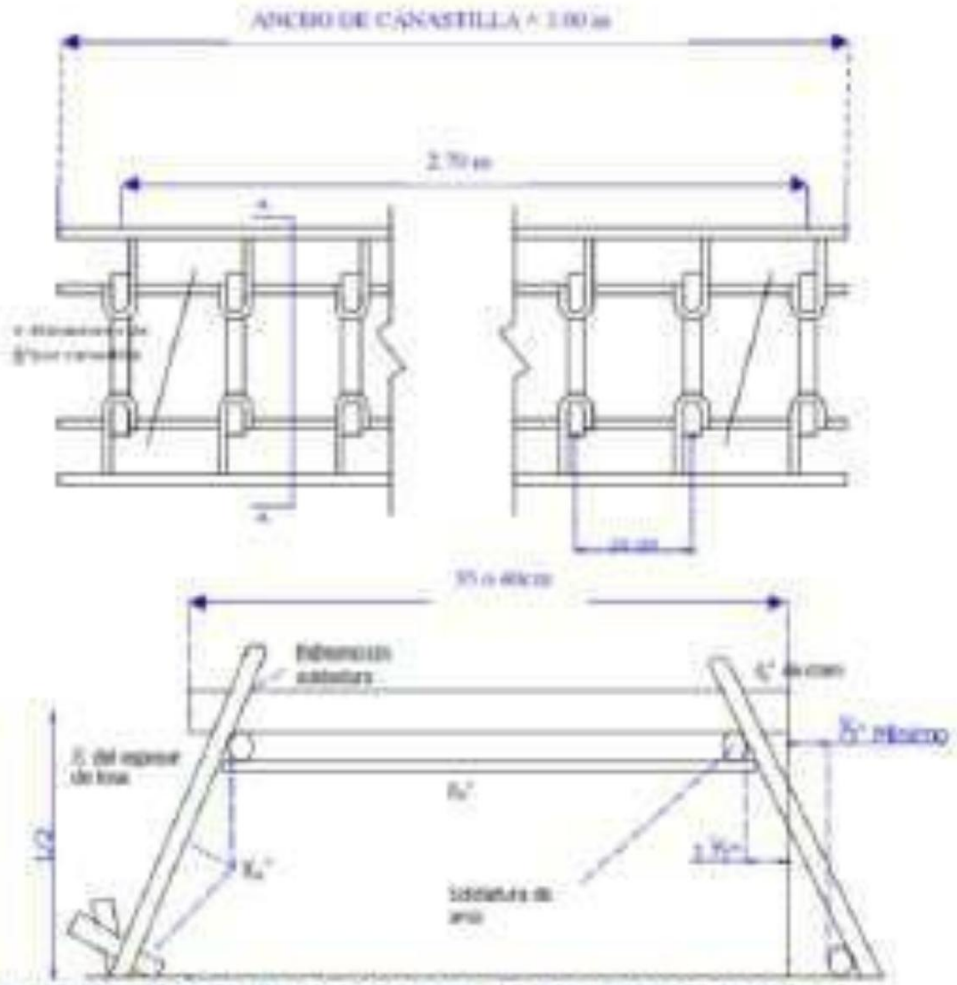


Figura No. 9. Detalle de Canasta de Pasadores de Carga

Espaciamiento de Juntas

El concreto hidráulico como superficie de rodadura, se encuentra sujeto a diferentes esfuerzos, entre los cuales se encuentran: cargas de tránsito, contracción y expansión del concreto (el concreto al endurecer ocupa menos volumen que cuando está fresco) y diferencias de temperatura o humedad entre la fibra superior y la inferior, entre otras.

Con el fin de contrarrestar estos esfuerzos, no es suficiente el proporcionar un espesor adecuado, sino proyectar juntas longitudinales y transversales que impiden

un fisuramiento temprano del concreto, estas juntas deben estar diseñadas técnicamente, mediante el empleo de los siguientes criterios:

Separación de juntas transversales en función del espesor de la losa:

S : Separación de la junta
D : Espesor del concreto hidráulico
21 : Para valores máximos de fricción entre la base y la losa
24 : Para valores normales de fricción entre la base y la losa

Según este análisis la separación entre juntas debe ser la siguiente:

Separación – máximos valores de fricción (m)	Separación – valores normales de fricción (m)
4.20	4.80

Tabla No. 19. Separación de losas en función del espesor

La relación largo / ancho debe encontrarse entre en un intervalo de 1,00 y 1,40; sin embargo, se recomienda no exceder a 1,20. Según este análisis la separación entre juntas debe ser 3.0 m (ancho de losa igual a 2,5 m).

- En función del radio relativo de rigidez (relación de la rigidez de la losa y la rigidez del suelo de soporte), la longitud de la losa debe ser máximo 5 veces este valor; mediante este cálculo se está considerando el esfuerzo de alabeo de la losa y el gradiente térmico existente entre la fibra superior e inferior de la losa

Donde,
E: Módulo de Elasticidad del concreto (psi)
H: Espesor de la losa (pulg)
μ: Relación de poisson del concreto
K: Módulo de reacción del terreno de soporte (psi/in)
Según este análisis, la separación entre juntas no debe exceder 3.9 m.

Teniendo en cuenta los criterios mencionados, se adopta una separación entre juntas de 3.00.

RECOMENDACIONES DE CONSTRUCCION

- Se recomienda reforzar las losas irregulares (geometrías superiores al 8% en su largo y ancho de la losa) con acero de refuerzo corrugado de φ½" cada 20cm en ambas Direcciones, ubicadas a 1/3 del espesor en la fibra superior e inferior, como medida de control de autofisuración del concreto.
- La separación entre juntas transversales no debe exceder el criterio del radio relativo de rigidez.
- El proceso constructivo de las juntas transversales reviste enorme cuidado. En primera instancia debe realizarse un primer corte dentro del tiempo oportuno llamado "ventana de corte", de tal manera de realizarlo en el momento justo de forma que ni se haga antes, que el concreto no soporte el peso de los equipos y se deforme, ni después que genere fisuración por retracción del concreto. Esta ventana de corte está sujeta a las condiciones climáticas, velocidad del viento, temperatura del concreto, etc. Es necesario llevar a cabo un tramo de prueba para definir el tiempo de la "ventana de corte" que puede estar entre 6 y 8 horas. Adicionalmente, se debe tener cuidado con la limpieza de la junta, adecuación de la junta y tipo de sello a colocar, factores importantes para garantizar la vida útil del sello.
- Se recomienda hacer control estricto de la superficie o nivelación del material granular con equipo topográfico, antes de instalar el concreto. Lo anterior con el fin de evitar dejar desniveles o depresiones que generen en el concreto esfuerzo de tensión inadmisible para el mismo.
- Se recomienda el paso de una volqueta sencilla cargada, con la finalidad de identificar zonas de consistencia baja las cuales deberán ser intervenidas de manera especial, en función del comportamiento observado, el cual corresponderá a la restitución del terreno de soporte por material granular de mejoramiento o piedra gruesa de mejoramiento o material remanente en un espesor no inferior a 50cm. Esta definición se realizará en obra, mediante el reconocimiento del personal del proyecto.

- Antes de instalar el concreto se recomienda la revisión del Módulo de Reacción K, con el fin de verificar las hipótesis del diseño. Para tal fin se propone realizar ensayos de placa controlada.
- Se recomienda no dar servicio al tráfico hasta que el concreto alcance una resistencia superior al 100% del valor de diseño.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Esta oficina adopto un valor de TPD de 250, el cual se encuentra en el rango presentado por el INVIAS, y es conservador con relación al presentado por el DNP para este tipo de vías.

La capacidad del suelo es baja (CBR inferior al 5%), por lo que se requieren intervenciones de estabilización o mejoramiento.

Se recomienda realizar una estabilización mecánica del material de subrasante material selecto o afirmado espesor mínimo de 0.2 m, que deberá cumplir con las siguientes características:

- **Deben proceder de fuentes aprobadas y deberán estar constituidas por cantos rodados o rocas sanas, compactas, resistentes y durables.**
- **Deben cumplir requisitos de granulometría; el tamaño máximo no deberá ser superior a 0.20 m; el porcentaje en peso de partículas que pasen el tamiz de 1",**
- **El desgaste en máquina de Los Ángeles, de acuerdo con la norma INV E – 219 el material por utilizar no podrá presentar un desgaste mayor de cincuenta por ciento (50%).**
- **El ensayo CBR del material deberá ser como mínimo del 5%, el cual fue adoptado en el diseño del pavimento.**

Se proponen dos alternativas de diseño de rígido, calculadas por las metodologías AASHTO 1993 y PCA 1984, de amplia utilización en el medio nacional. Se recomienda el empleo de una alternativa en pavimento rígido, por razones de durabilidad y facilidades de mantenimiento, teniendo en

cuenta las limitantes presupuestales de las entidades encargadas de la administración vial en nuestro país. Los espesores de diseño son los siguientes:

ALTERNATIVA 1

Espesores de Estructura (cm)		
CONC	SBG - SC	Total
15	35	50

Esta es la estructura con la que se recomienda trabajar.

- Para las zonas de espacio público, se proponen alternativas de pavimentación del tipo concreto de 21 Mpa, utilizando, con un espesor mínimo de 7 cm.
- Todos los materiales y actividades involucradas en la construcción deben cumplir con las especificaciones dispuestas por el INVIAS en sus documentos técnicos.
- Las alternativas propuestas han sido diseñadas para un período de análisis de 20 años acuerdo a recomendaciones del INVIAS; este periodo se cumplirá siempre y cuando se garantice un adecuado plan de mantenimiento asociado a intervenciones preventivas.
- Se recomienda revisar la necesidad de construir obras hidráulicas tales como geodrenes, filtros y sumideros, con el objeto de prevenir la penetración de agua en los suelos de subrasante y los efectos nocivos que esto genera en el comportamiento y durabilidad de las estructuras de pavimento.

WALTER ALFONSO PAUTT TORRES
C.C. 8.707.070
INGENIERO CIVIL
T.P.000226688ATL
ESPECIALISTA EN VÍAS Y TRANSPORTE

alcaldiadecalamarbol