

DISEÑO DE PAVIMENTO



Análisis estructural de la estructura de pavimento

MAYO DE 2025





Análisis estructural de la estructura de pavimento

CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Información general del proyecto

2 INTRODUCCIÓN A LOS PAVIMENTOS

2.1 Función de los pavimentos

2.2 Factores que influyen en la selección del tipo de pavimento

2.2.1 Características del tráfico y su tasa de crecimiento esperado

2.2.2 Terreno natural

2.2.3 El clima

2.2.4 Disponibilidad de recursos

3 DETERMINACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO

3.1 Método AASHTO

3.1.1 Variables de diseño

3.1.2 Consideraciones para el diseño

3.1.2.1. Serviciabilidad o índice de servicio actual

3.1.2.2. Confiabilidad

3.1.2.3. Tránsito

3.1.2.4. Coeficiente de transferencia de carga

3.1.2.5. Propiedades del concreto

3.1.2.6. Módulo de reacción del suelo

3.1.2.7. Coeficiente de drenaje (Cd)

3.1.3 Resumen de parámetros

3.1.4 El proceso iterativo

3.1.5 Resultado

4 ESTRUCTURA PROPUESTA

4.1 Modulación del pavimento

5 RECOMENDACIONES TÉCNICAS Y DETALLES CONSTRUCTIVOS

5.1 Materiales y Equipo

5.2 Barras de amarre

5.3 Juntas

5.4 Control de calidad



6 DESLINDE DE RESPONSABILIDAD

7 BIBLIOGRAFÍA

1 INTRODUCCIÓN

Como parte de los trabajos para mejorar la movilidad del tránsito dentro de la ciudad se lleva a cabo la rehabilitación de la vialidad Rehabilitación de Carril Lateral de la Av. Prolongación Hidalgo, con concreto hidráulico, tramo Av. Paseo de Bugambilias a la calle Paseo de Primavera, con una longitud aproximada de 80 metros en el municipio de Villa de Álvarez del Estado de Colima.

1.1 Información general del proyecto

Considerando la problemática reportada por la ciudadanía y las evidencias que se recolectaron de las afectaciones generadas por el escurrimiento pluvial que se presenta en la Av. Prolongación Hidalgo, de manera específica en el Tramo comprendido desde Av. Paseo de Bugambilias a la calle Paseo de Primavera, se concluye en que es necesario ejecutar acciones inmediatas para mitigar la problemática y ofrecer a la población condiciones más seguras en la zona, mismas que se consideran indispensables y urgentes para disminuir los daños a la infraestructura y los riesgos para la población que como vecinos o transeúntes inciden en la zona.



2 INTRODUCCIÓN A LOS PAVIMENTOS

2.1 Función de los pavimentos

El pavimento deberá resistir y transmitir carga, por lo cual deberá considerarse el comportamiento de la estructura tomando en cuenta las características del suelo; tipo e intensidad de tráfico y su tasa de crecimiento esperada estimada; con la finalidad de que las cargas no provoquen deformaciones y/o agrietamientos superiores a las esperadas para la vida útil calculada.

El pavimento deberá resistir los efectos que el ambiente pueda tener en su estructura. Los agentes ambientales actúan permanentemente sobre la superficie del pavimento causando alteraciones de los materiales que lo conforman. Los principales elementos ambientales que se usualmente se consideran en el diseño del pavimento son las temperaturas extremas y el agua.

Deberá brindar una superficie de rodamiento uniforme y lo suficientemente lisa que brinde una conducción confortable que preserve y alargue la vida útil de los vehículos; empero, dicha superficie lisa deberá ser siempre antideslizante cuando esta esté mojada.

2.2 Factores que influyen en la selección del tipo de pavimento

2.2.1 Características del tráfico y su tasa de crecimiento esperado

Uno de los aspectos más importantes que debemos de considerar al seleccionar la estructura de pavimento por construir, es la cantidad de vehículos que circularán por la vialidad, así como su composición. Debido a que los vehículos pesados, son los que se inducen los mayores esfuerzos a un pavimento es fundamental conocer su porcentaje. Incluso algunos métodos de diseño de pavimento descartan los vehículos ligeros como automóviles y motocicletas debido a que el daño que producen lo consideran despreciable. El daño generado por un camión tipo T3-S3 de 36 toneladas de peso equivale a 9,523 automóviles, sin embargo, al tratarse de una vialidad urbana se consideraron para el diseño los vehículos ligeros.

2.2.2 Terreno natural

Las propiedades del terreno natural donde se va a construir el pavimento es otro aspecto que influye de manera significativa en la elección del tipo de pavimento.

En zonas donde el suelo de apoyo es altamente deformable, es recomendable colocar una estructura que reacciones mejor a esas deformaciones; en este caso la estructura podría estar formada de varias capas de tipo granular, y una carpeta asfáltica o una capa de rodadura, es decir un pavimento del tipo flexible.



Análisis estructural de la estructura de pavimento

En zonas donde el suelo de apoyo tiene poca capacidad de soporte pero que no son deformables, se puede considerar colocar un pavimento de tipo rígido, ya que, debido a la naturaleza rígida de la estructura, esta disipa la mayoría de los esfuerzos inducidos por el tránsito, llegando solo una pequeña parte a la capa de apoyo.

2.2.3 El clima

El clima puede provocar efectos adversos a los materiales que conforman las distintas capas de la estructura de un pavimento. Los principales elementos del clima usualmente se contemplan en los métodos de diseño y se deben considerar en la selección del tipo de pavimento son las temperaturas extremas y el agua.

En lugares donde la temperatura varía de forma extrema, muy bajas por la noche y muy altas durante el día; el uso de materiales que soportan bajos gradientes térmicos, es decir rígidos, pudiera ser perjudicial para la integridad del pavimento, en cambio es recomendable el uso de aquellos que soportan amplia variación térmica sin sufrir daño, o que se refuerzan para tal fin, con el objetivo de disminuir las deformaciones.

El agua con el tiempo afecta en general a todos los tipos de pavimentos. Por lo general, dependiendo también del tipo de terreno natural y si la presencia del agua es por lluvia o por el nivel freático. Además, se deberá de considerar si la zona es susceptible inundaciones o si el pavimento estará sujeto a prolongados periodos de humedad.

2.2.4 Disponibilidad de recursos

Es importante conocer la cantidad y calidad de los materiales necesarios de acuerdo con el tipo de pavimento elegir. De igual forma se debe considerar la cercanía y la disponibilidad de la maquinaria, equipo y personal técnico calificado para ejecutar de manera correcta la construcción del pavimento.

El recurso económico, en otras palabras, el costo del pavimento. Al igual que con los recursos anteriores, la cantidad de dinero con el que se cuente para construir y conservar la vialidad es factor determinante en la elección del tipo de pavimento.



3 DETERMINACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO

3.1 Método AASHTO

3.1.1 Variables de diseño

El método AASHTO se basa en ecuaciones de regresión, desarrolladas a partir del estudio de los resultados obtenidos del comportamiento de estructuras de pavimento de espesores conocidos, sometidas a repeticiones de carga conocidas y sometidas a los efectos del medio ambiente. Considera un conjunto de variables o parámetros que permiten la determinación de los espesores de las capas a emplear en la estructura del pavimento, las cuales muestran en la siguiente ecuación:

$$\log_{10}(E18) = \left\{ \begin{array}{l} \text{Desviación Estándar Normal} \\ \text{Error Estándar Combinado} \\ \text{Espesor} \\ \text{Diferencia de Serviciabilidad} \\ \text{Serviciabilidad Final} \\ \text{Módulo de Ruptura} \\ \text{Coeficiente de Drenaje} \\ \text{Coeficiente de Transferencia de Carga} \\ \text{Módulo de Elasticidad} \\ \text{Módulo de Reacción} \end{array} \right. \left[\begin{array}{l} Z_r \times S_o + 7.35 \times \log_{10}(D+1) - 0.06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta \text{PSI}}{4.5-1.5} \right]}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} \\ + (4.22 - 0.32 \times \text{pt}) \times \log_{10} \left[\frac{S'_c \times C_d \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c/k)^{0.25}} \right]} \right] \end{array} \right]$$

Figura 2 | Fórmula general del método AASHTO
Fuente: Manual de pavimentos de concreto de CEMEX (2010).



- Espesor
- Serviciabilidad o índice de servicio actual
- Tránsito
- Cálculo de TDPA
- Determinación de la tasa de crecimiento
- TDPA, tasa de crecimiento y clasificación vehicular de proyecto
- Transferencia de carga
- Módulo de Ruptura (MR)
- Módulo de Elasticidad del Concreto (Ec)
- Módulo de reacción del suelo (k)

3.1.2 Consideraciones para el diseño

3.1.2.1. Serviciabilidad o índice de servicio actual

Índice de serviciabilidad (PSI)	Calificación
5 - 4	Muy buena
4 - 3	Buena
3 - 2	Regular
2 - 1	Mala
1 - 0	Muy mala

Tabla 1 | Índice de servicio final (Pt)

Fuente: Elaboración propia con información de GDPS de la AASHTO, 1993

De acuerdo con el tipo de vialidad y de pavimento se ha considerado un índice inicial de 4 y un terminal de 1.5.

3.1.2.2. Confiabilidad

Clasificación funcional	Nivel de confiabilidad recomendado	
	Urbana	Rural
Autopistas y carreteras interestatales	85 - 99.9	85 - 99.9
Arterías principales	80 - 99	75 - 95
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Calles locales	50 - 80	50 - 80

Tabla 2 | Valores de "R" de confiabilidad, con diferentes clasificaciones funcionales.

Fuente: Elaboración propia con información de GDPS de la AASHTO, 1993

De acuerdo con el tipo de vialidad y de pavimento para este proyecto, se ha determinado que el nivel de confiabilidad a utilizar será del 80%.

La desviación estándar normal "ZR" que corresponde para la confiabilidad del proyecto de 80% es de -0.841.

En el caso de la rehabilitación de pavimentos asfálticos con el sistema White topping, el valor recomendado para la desviación estándar se considera de 0.39.

3.1.2.3. Tránsito

3.1.2.3.1 Cálculo de TDPA

Los datos correspondientes al aforo vehicular fueron proporcionados por el H. Ayuntamiento de Villa de Álvarez, el cual considera un total de 5,549 vehículos por día, este se detalla más adelante.

3.1.2.3.2 Determinación de la tasa de crecimiento

De misma manera, este valor se ha proporcionado por la dependencia, en donde se ha determinado tasa de crecimiento del 2.00%.

3.1.2.3.3 TDPA, tasa de crecimiento y clasificación vehicular de proyecto

La clasificación vehicular proporcionada se presenta a continuación.

TDPA		5,549		
TDPA	A	B	C2	C3
No. VEHÍCULOS	5,500	35	10	4
%	99.12%	0.63%	0.18%	0.07%

Tabla 3 | TDPA, clasificación vehicular y tasa de crecimiento de proyecto.

Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el H. Ayuntamiento de Villa de Álvarez.

Para la determinación del número de ejes equivalentes de diseño y de acuerdo con la información proporcionada por la contratante y a los resultados del análisis estadístico se consideró lo siguiente:

- TDPA compuesto: 5,549 vehículos
- Tasa de crecimiento anual (r) = 2.00%
- Coeficiente direccional (CD) = 0.5
- Coeficiente de carril (CC) = 1.0
- El periodo de diseño considerado para el diseño del pavimento es de 20 años.



Obteniendo un total de cuatrocientos veintisiete mil setenta y tres (427,073.00) ejes equivalentes (ESALs).

Coeficiente de transferencia de carga

Para este diseño no se considera el uso de barras pasajuntas y barras de amarre, así mismo se considera que se cuenta con soportes lateral, por lo que el valor considerado para el coeficiente de transmisión de considerado es de 2.8. En la siguiente tabla se muestran los valores para este parámetro de acuerdo con la condición de la transferencia de cargas.

Millones de ESAL's	Con trabazón de agregados		Con pasajuntas	
	Con soporte lateral	Sin soporte lateral	Con soporte lateral	Sin soporte lateral
Menos de 0.3	2.8	3.2		
0.3 a 1.0	3.0	3.4		
1.0 a 3.0	3.1	3.6		
3 a 10	3.2	3.8	2.7	3.2
10 a 30	3.4	4.1		
>30	3.6	4.3		

Tabla 4 | Recomendación de la PCA para coeficiente modificados de AASHTO para el valor de transferencia de carga.

Fuente: Elaboración propia con datos de CEMEX tutorial de pavimentos.

3.1.2.5. Propiedades del concreto

Por el tipo de vialidad, se ha considerado un módulo de ruptura de 42 kg/cm². Por otra parte, en el caso del módulo de elasticidad se empleará un valor de 4,320,675 psi.

3.1.2.6. Módulo de reacción del suelo

Por parte de la dependencia se han realizado las pruebas pertinentes para obtener el valor del módulo de reacción del suelo, mediante las cuales se obtuvo un módulo de reacción de 300.70 psi.

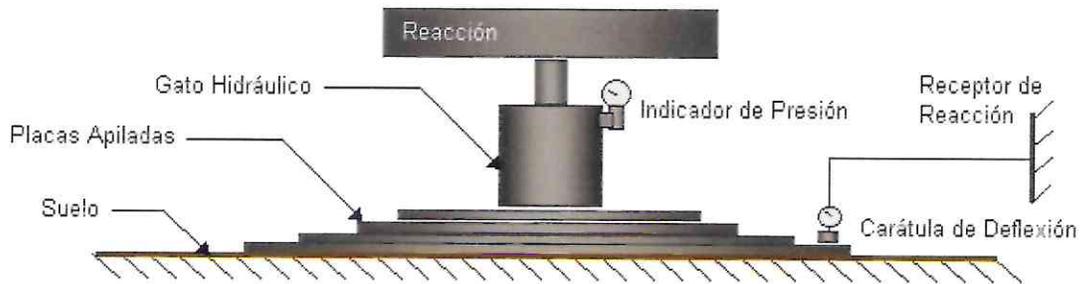


El módulo de reacción de suelo corresponde a la capacidad portante que tiene el terreno natural en donde se soportará el cuerpo del pavimento. El valor del módulo de reacción (K) se puede obtener directamente del terreno mediante la prueba de placa ASTM D1195 y D1196.

El valor de K representa el soporte (terreno natural y terraplen si lo hay) y se puede incrementar al tomar la contribución de la subbase.

Cuando se diseña un pavimento es probable que se tengan diferentes valores de K a lo largo del tramo por diseñar, el método AASHTO recomienda utilizar el valor promedio de los módulos K para el diseño estructural.

Prueba de placa



$$k \text{ (psi/in)} = \text{carga unitaria por placa} / \text{deflexión de la placa}$$

Figura 3 | Prueba de placa para la obtención del valor de K.
Fuente: CEMEX tutorial de pavimentos.

3.1.2.7. Coeficiente de drenaje (Cd)

El agua atrapada dentro de una estructura de pavimento es uno de los principales factores que afectan el desempeño del pavimento. Puede llevar a que los materiales pierdan resistencia, tanto los ligados como los no ligados. También puede producir asentamientos diferenciales. En la zona por el tipo de material, el tiempo en que tarda el agua en ser evacuada y el porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a humedades cercanas a la saturación. Por motivos de drenaje, de ubicación de la obra, etc. el coeficiente de drenaje adoptado es de 1.0.

CA

CAPACIDAD DE DRENAJE	% DE TIEMPO EN EL QUE EL PAVIMENTO ESTÁ EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD PRÓXIMOS A LA SATURACIÓN			
	MENOS DEL 1%	1 A 5 %	5 A 25 %	MÁS DEL 25 %
EXCELENTE	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
BUENO	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
REGULAR	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
MALO	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
MUY MALO	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

Tabla 5 | Coeficiente de drenaje.

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO (1993).

3.1.3 Resumen de parámetros

W_{18} = Número esperado ESALs = 427,073.00

Z_r = Desviación estándar normal = -0.841

S_o = Error estándar combinado = 0.39

D = Por determinar

ΔPSI = Diferencia de Serviciabilidad = 2.50

P_i = Índice de servicio inicial = 4.00

P_t = Índice de servicio terminal = 1.50

S'_c = Módulo de ruptura del concreto = 42 kg/cm² (597.4 psi)

C_d = Coeficiente de drenaje 1.0

J = Coeficiente de transferencia de carga = 2.8

E_c = Módulo de elasticidad del concreto = 4,320,675 psi

k = Módulo de reacción = 300.70 pci.

3.1.4 El proceso iterativo

Se requiere que el diseñador ingrese el volumen y el tipo de cargas, el índice de servicio final deseado (P_t), un estimado del espesor del pavimento requerido, etc. Si el espesor del pavimento asumido está dentro de cinco por ciento del espesor de diseño de pavimento, los resultados son razonables. Sin embargo, si el espesor del pavimento calculado es mayor que el cinco por ciento, los ESAL de diseño deben ser recalculados usando el último espesor de diseño, y el diseño se repite. En la práctica, calcular un nuevo ESAL probablemente no afectará significativamente el nuevo espesor del pavimento. Sin embargo, el proceso iterativo es técnicamente correcto.

3.1.5 Resultado

El resultado ha sido de 4.67 pulgadas (11.88 cm) como espesor mínimo, no obstante, se ha optado por utilizar un espesor recomendado de 12 centímetros de espesor.

EJES SENCILLOS EQS. DE 18 KIPS: 427,073.00 ESALS

EJES EQUIVALENTES SEGÚN TIPO DE VEHICULO		
TIPO DE VEHÍCULO	VACÍO	CARGADO
A2	5,455.20	1,080.44
B2	54,373.19	105,836.13
C2	0.00	165,186.43
C3	0.00	95,141.16

Datos del espesor del concreto:

Espesor mínimo (in):	4.67
Espesor mínimo (cm):	11.88
Espesor recomendado (cm):	12
Ejes equivalentes de 18 kips que resiste el espesor recomendado (ESALS):	448,688

Figura 4 | Cálculo de ESALs esperados.
Fuente: Elaboración propia con datos de CEMEX tutorial de pavimentos.



4 ESTRUCTURA PROPUESTA

Con base en los resultados obtenidos se concluye que la estructura de pavimento obtenida mediante el método de AASHTO es la más adecuada para la vialidad con los parámetros de diseño considerados. La estructura estará constituida por una losa de concreto hidráulico de 12 centímetros de espesor, con módulo de ruptura de 42 kg/cm². No se requiere de una subbase, ya que el elemento estructural del pavimento de concreto es desplantado sobre una carpeta de pavimento asfáltico, por lo que la carpeta asfáltica tendría esta función.

Además, la estructura propuesta, se consideró en el diseño barras de amarre, las cuales se describen a continuación, así como la modulación de las losas del pavimento.



Figura 5 | Sección de pavimento de la estructura propuesta.
Fuente: Elaboración propia

4.1 Modulación del pavimento

Suministro y colocación de varilla de amarre de 1/2" de 64 cm @ 76 cm en las juntas longitudinales de construcción, suministro y colocación de redondo liso de 3/4" de 41 cm @ 30 cm en junta de construcción con grasa (inicio y fin de colado).

Inducción de agrietamiento mediante corte de juntas por medio de cortadora con disco de diamante a una profundidad de 1/3 de espesor del pavimento (4 cm) en una modulación no mayor a 1.20 x 1.20m.



5 RECOMENDACIONES TÉCNICAS Y DETALLES CONSTRUCTIVOS

La construcción de Carpetas y carpetas ultradelgadas de concreto hidráulico cumplirá con lo establecido en las Normas aplicables de la Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transportes, del Título 007. Construcción de Carpetas y Carpetas Ultradelgadas de Concreto Hidráulico, de la Parte 2. Pavimentos, del Libro CSV.

Además, cabe recalcar que dependiendo de la condición de la superficie de la carpeta asfáltica se realizará o no el fresado de esta para la adherencia del concreto hidráulico.

5.1 Materiales y Equipo

Los materiales que se utilicen en la construcción de carpetas de concreto hidráulico cumplirán con lo establecido en las Normas aplicables de la Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transportes, del Título 06. Materiales para Carpetas de Concreto Hidráulico, de la Parte 4. Materiales para Pavimentos, del Libro CMT. Características de los Materiales, salvo que el proyecto indique otra cosa o así lo apruebe la dependencia.

Que el equipo que se utilice para la construcción de carpetas de concreto hidráulico será el adecuado para obtener la calidad especificada en el proyecto, en cantidad suficiente para producir el volumen establecido en el programa de ejecución. Tal como se menciona en la norma N-CTR-CAR-1.04.009/20 de la SICT, o lo que indique la dependencia.

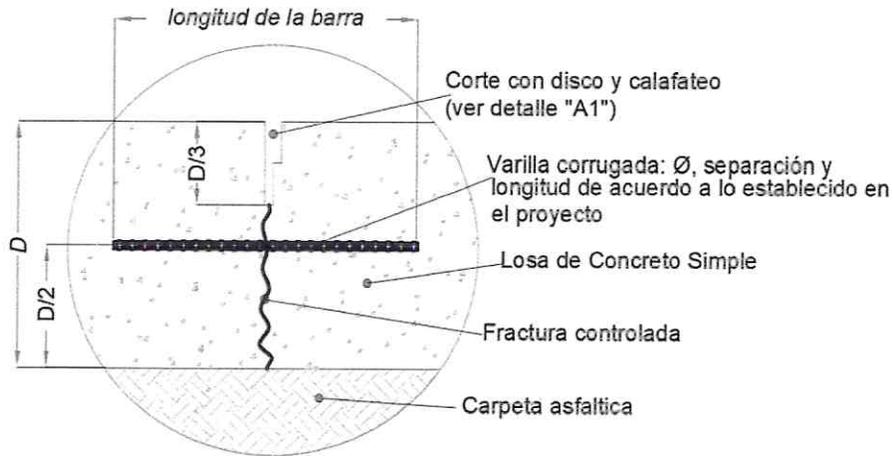
5.2 Barras de amarre

Las barras de amarre que se coloquen en las juntas longitudinales serán corrugadas, con las características indicadas en el proyecto y se hincarán o insertarán por vibración si se usa equipo de cimbra deslizante.

5.3 Juntas

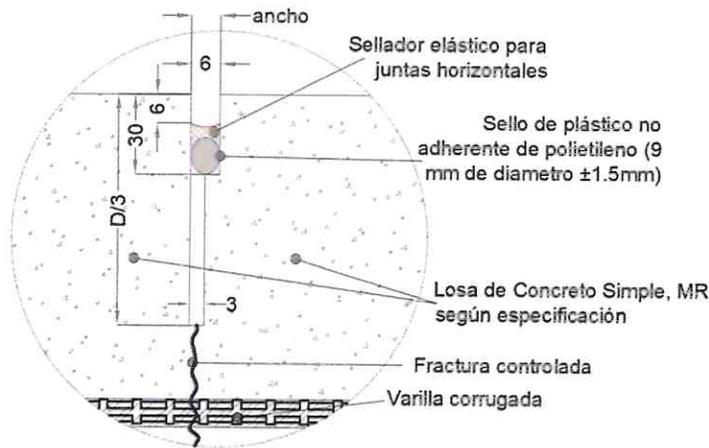
Una vez que el concreto haya endurecido lo suficiente para que no se desportille y antes de que se formen grietas naturales por contracción, se aserrará la carpeta para formar una junta como las mostradas en las Figuras de este documento. Dicho procedimiento se deberá basar en la normativa SICT.





JUNTA LONGITUDINAL
D= Espesor de la Losa

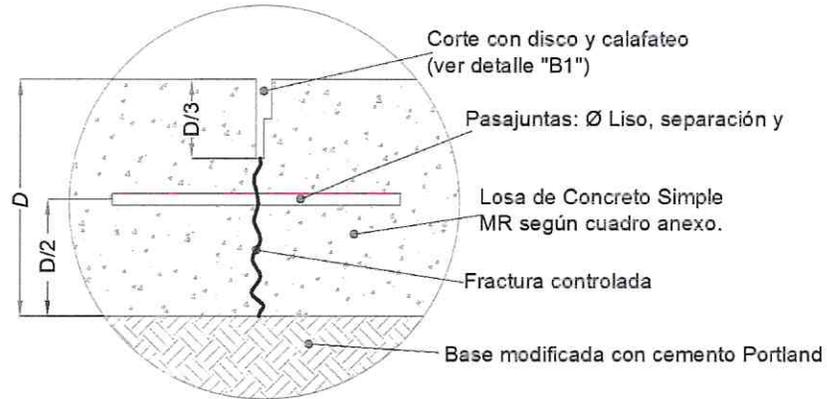
Figura 6 | Junta longitudinal.
Fuente: Elaboración propia.



DETALLE "A1" Construcción
D= Espesor de la Losa

Figura 7 | Detalle de junta longitudinal.
Fuente: Elaboración propia.

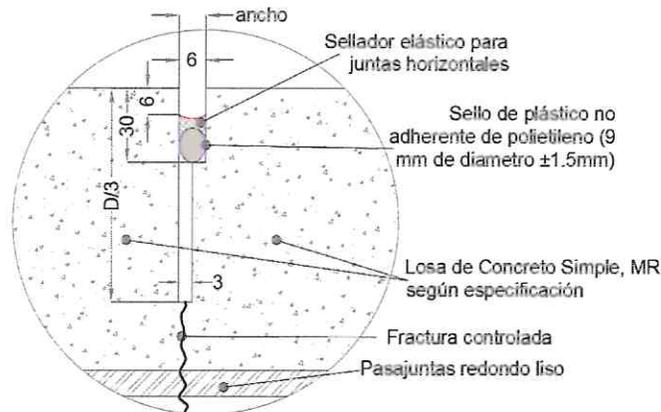
CA



JUNTA TRANSVERSAL
D= Espesor de la Losa

Figura 8 | Junta transversal.

Fuente: Elaboración propia.

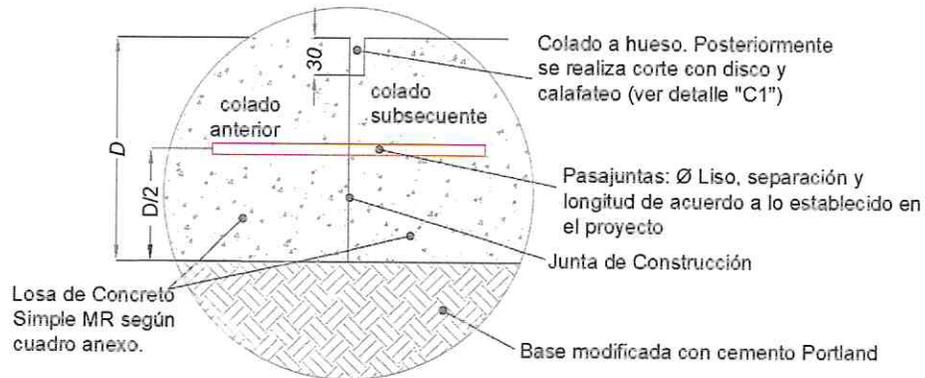


DETALLE "B1" Construcción de la junta
D= Espesor de la Losa

Figura 9 | Detalle de junta transversal.

Fuente: Elaboración propia.

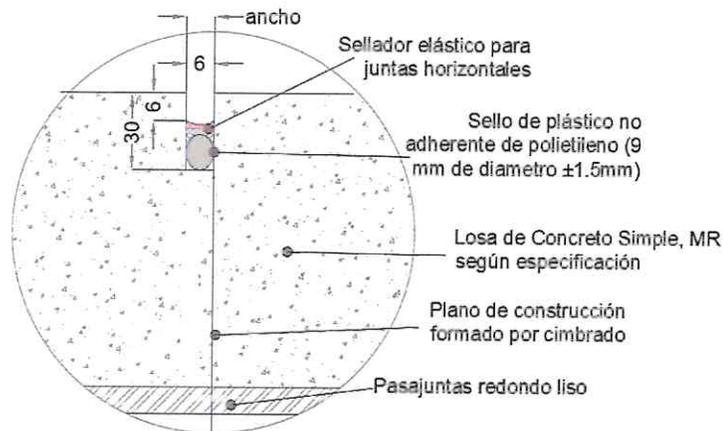




JUNTA TRANSVERSAL DE CONSTRUCCIÓN

D= Espesor de la Losa

Figura 10 | Junta transversal de construcción.
Fuente: Elaboración propia.



DETALLE "C1" JUNTA TRANSVERSAL DE CONSTRUCCIÓN

D= Espesor de la Losa

Figura 11 | Detalle de junta transversal de construcción.
Fuente: Elaboración propia.

C

5.4 Control de calidad

Se recomienda que durante la construcción de la obra se lleve un estricto control de calidad de los materiales y apego a los procedimientos constructivos indicados por la dependencia. Que, durante el colado, además de verificar la temperatura y el tiempo de mezclado del concreto, también se preste atención a la velocidad del viento y a la temperatura ambiente.

6 DESLINDE DE RESPONSABILIDAD

El constructor deberá de cumplir con los espesores indicados en este diseño, y distancias máximas en la construcción de las juntas longitudinales y transversales. Así mismo la construcción de las capas subyacentes a la losa de concreto, las capas de la estructura de pavimento, los materiales empleados, equipo y los procedimientos constructivos, deberán de cumplir con la normativa de la SICT vigente. Deberá de tener en cuenta un diseño adecuado de juntas de expansión o aislamiento en intersecciones, así como alrededor de elementos tales como alcantarillas, registros, brocales, etc. Deberá de tener en cuenta las condiciones climáticas al momento de la construcción, tales como lluvia, temperatura ambiente y velocidad del viento. Deberá de elaborar un programa de mantenimiento rutinario adecuado al servicio de la vialidad. Si una o más de estas condiciones se omiten, esta empresa no se hará responsable del mal funcionamiento o deficiencias que pudieran presentar la estructura de pavimento, así como la duración de su vida útil proyectada.

Atentamente



MAC. Ing. Carlos Amezcuca Gariel.

