



El evento del Cemento, el Concreto y los Prefabricados



ANALISIS DE VIABILIDAD DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

***Jairo Alberto Espejo Molano
Consortio vial Helios
Colombia***

Agenda

- Introducción y Objetivo
- Juicio de expertos
- Matriz multicriterio
- Matriz técnica
- Matriz económica – financiera
- Matriz logística
- Conclusiones

Red Vial Nacional básica



Red vial 2035



Red vial de Colombia





Figura 1. Distribución de los materiales de rodadura por superficie de calzada que representan.

21/09/2018

Proyectos 1, 2, 3 y 4G



21/09/2018

Ing jairo a espejo m

8

Antecedentes uso concreto hidráulico en vías urbanas en Colombia



Figura 1. Fenómeno del ahuellamiento. Vía Calle 80, Bogotá, Colombia.

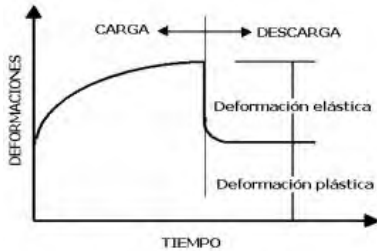


Figura 2. Comportamiento de materiales viscoelásticos.

Bogotá, calle 80

Cali

Medellín

Bucaramanga

Barranquilla

Cartagena

Pereira

Mio y Metrolínea



Transcaribe y Transmetro



21/09/2018

Ing jairo a espejo m

11

Metroplús, Megabus y Transmilenio



Juicio de expertos

Limitaciones

- Malas experiencias
- Visión corto plazo
- Costo inicial alto
- Falta logística (equipos) y personal capacitado
- Moda técnica
- Tiempo servicio trafico

Bondades

- Mejora seguridad vial
- Alternativa a largo plazo
- Buen desempeño cuando se diseñan, construyen y mantienen bien

Juicio de expertos

Limitaciones

- Fallas geológicas y geotécnicas
- Mas costoso que concreto asfaltico
- Erosión subbase
- Difícil IRI

Limitaciones

- Asfalto lo produce el Estado y el cemento el privado
- Tiempo reparación ca vs ch

Juicio de expertos



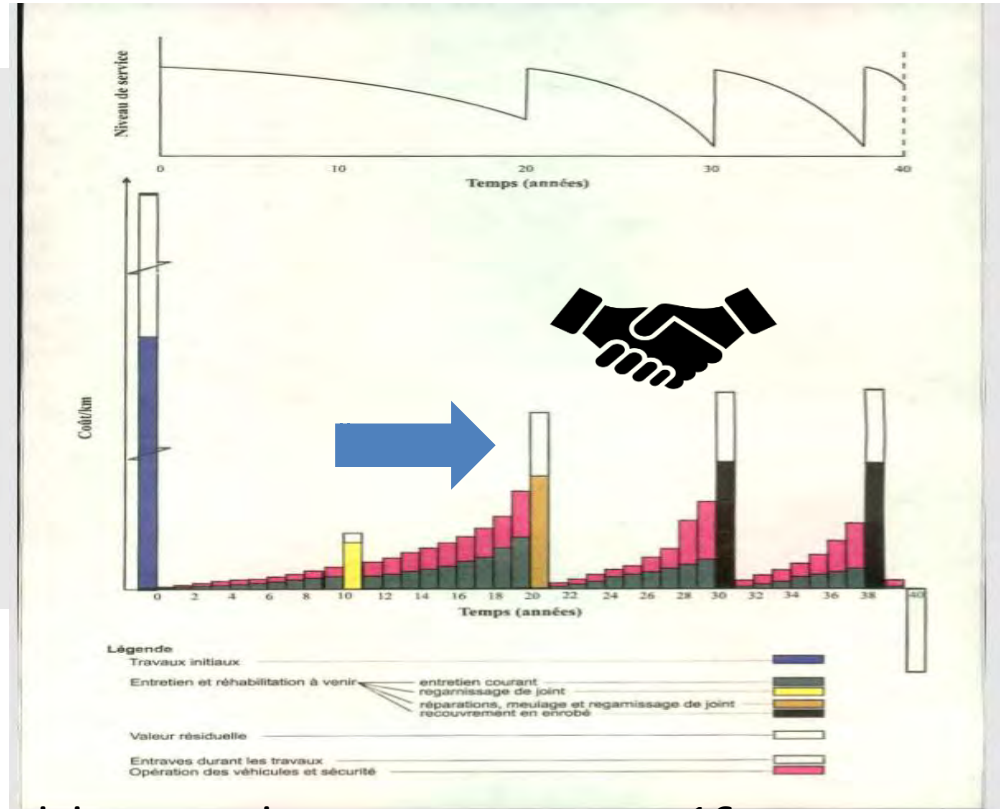
- Costoso
- Difícil arreglos
- Logística
- Mantenimiento
- No tengo experiencia
- Visión de corto plazo



- Es un buen negocio
- Visión de largo plazo
- Análisis del costo de ciclo de vida



Visión de inversión a corto plazo / largo plazo



21/09/2018

Ing jairo a espejo m

16

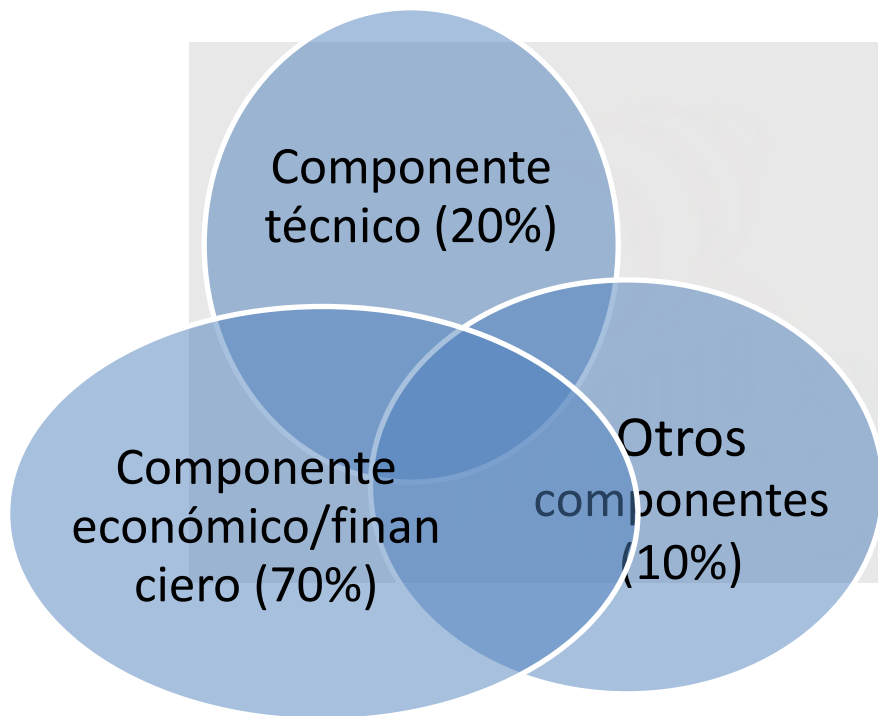
El modelo básico



$$VAN_s = -I_0 + \frac{BS_1 - CS_1}{1+i} + \frac{BS_2 - CS_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{BS_T - CS_T}{(1+i)^T}$$

$$VAN_r = -I_0 + \frac{p_1 q_1 - CP_1}{1+i} + \frac{p_2 q_2 - CP_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{p_T q_T - CP_T}{(1+i)^T}$$

Matriz multicriterio



Matriz multicriterio / Juicio de expertos		
Viable		>70%
media viable		>50% y <70%
No viable		<50%

Matriz técnica

MATRIZ ANALISIS VIABILIDAD USO CONCRETO HIDRAULICO. COMPONENTE TECNICO						
Parámetros a evaluar	Unidad	Ponderación (%)	UF1 valor	Ponderación	UF2 valor	Ponderación
1. Ejes acumulados de 8,2 t		20				
1,500,000 a 5,000,000	ejes	2,5	2,000,000	2,5		
5,000,001 a 9,000,000	ejes	5				
9,000,001 a 17,000,000	ejes	10				
17,000,001 a 25,000,000	ejes	15				
25,000,001 a 100,000,000	ejes	20			50,000,000	20
2. Subrasante		20				
Mr < 200	kg/cm2	20			190	20
Mr 200 - 500	kg/cm2	15				
Mr 501 - 1000	kg/cm2	10				
Mr 1001 - 2000	kg/cm2	5				
Mr > 2000	kg/cm2	2,5	3000	2,5		
3. Estabilidad volumétrica subrasante		20				
Hinchamiento potencial < 2	%	20			1,5	20
Hinchamiento potencial 2 a 4	%	10				
Hinchamiento potencial > 4	%	5	5	5		
4. Clima		20				
TMAP < 13	(°C)	5	11	5		
TMAP 13 - 20	(°C)	10				
TMAP 20 - 30	(°C)	20			25	20
5. Indicadores de servicio ANI 4G		20		12		20
Escalonamiento	mm	2	0		2	
Grietas	mm	2	2		2	
Desportillamiento de juntas	Unidad	2	2		2	
Juntas	%	2	2		2	
Eficiencia transferencia de carga	%	5	2		5	
IRI	mm/m	5	2		5	
Coefficiente de fricción transversal	Unidad	1	1		1	
Textura	mm	1	1		1	
Total		100		27		100
Viabilidad				Baja		Alta

MATRIZ ANALISIS VIABILIDAD USO CONCRETO HIDRAULICO. COMPONENTE TECNICO				PACIFICO 2									
Parámetros a evaluar	Unidad	Ponderación (%)	UF1 valor	Ponderación	UF2 valor	Ponderación	UF3 valor	Ponderación	UF4 valor	Ponderación	UF5 valor	Ponderación	
1. Ejes acumulados de 8,2 t		20											
1,500,000 a 5,000,000	ejes	2,5											
5,000,001 a 9,000,000	ejes	5											
9,000,001 a 17,000,000	ejes	10											
17,000,001 a 25,000,000	ejes	15											
25,000,001 a 100,000,000	ejes	20	97,800.000	20	97,800.000	20	97,800.000	20	97,800.000	20	97,800.000	20	
2. Subrasante		20											
Mr < 200	kg/cm2	20											
Mr 200 - 500	kg/cm2	15					400	15	290	15	330	15	
Mr 501 - 1000	kg/cm2	10	600	10	592	10							
Mr 1001 - 2000	kg/cm2	5											
Mr > 2000	kg/cm2	2,5											
3. Estabilidad volumétrica subrasante		20											
Hinchamiento potencial < 2	%	20											
Hinchamiento potencial 2 a 4	%	10					4	10	2,9	10	3,3	10	
Hinchamiento potencial > 4	%	5	6	5	5,92	5							
4. Clima		20											
TMAP < 13	(°C)	5											
TMAP 13 - 20	(°C)	10											
TMAP 20 - 30	(°C)	20	29,5	20	26	20	23,2	20	23,2	20	30	20	
5. Indicadores de servicio ANI 4G		20		8		8		12		15		12	
Escalonamiento	mm	2	0		0		1		1		1		
Grietas	mm	2	2		2		2		2		2		
Desportillamiento de juntas	Unidad	2	2		2		2		2		2		
Juntas	%	2	2		2		2		2		2		
Eficiencia transferencia de carga	%	5	0		0		3		3		3		
IRI	mm/m	5	0		0		3		3		3		
Coefficiente de fricción transversal	Unidad	1	1		1		1		1		1		
Textura	mm	1	1		1		1		1		1		
Total		100		63		63		77		80		77	
Viabilidad				Media		Media		Alta		Alta		Alta	

Matriz económica /financiera

				UF1		UF2
Parámetros a evaluar	Unidad	Ponderación (%)	valor	Ponderación	valor	
1 Costo construcción						
Pavimento flexible	\$		1000		900	
Pavimento semirrígido	\$		1100		1100	
Pavimento rígido	\$		1200	10	1250	
2 Costo mantenimiento						
Pavimento flexible	\$/año		50		45	
Pavimento semirrígido	\$/año		40		40	
Pavimento rígido	\$/año		10	20	15	
3 Costo total (1+2)						
Pavimento flexible	VPNf		1000000		850000	
Pavimento semirrígido	VPNs		950000		950000	
Pavimento rígido	VPNr		900000	20	925000	
4 Indicador		100	1,11		0,92	
VPNf/VPNr <0,90		0				
VPNf/VPNr 0,90-1,00		50			50	
VPNf/VPNr >1		100	100			
Total			100,00		50,00	
Viabilidad			alta		media	

Matriz logística y otros

MATRIZ ANALISIS VIABILIDAD. COMPONENTE OTROS							
Parámetros a evaluar	Unidad	Ponderación (%)	UF1	Ponderación	UF2	Ponderación	
			valor		valor		
1 Logística		70					
Planta de concreto		50	0	0	1	50	
transporte concreto		10	0	0	1	10	
acero refuerzo			0	0	1		
equipo colocación		10	0	0	1	10	
2 Velocidad construcción		20					
Pavimento flexible	día/km		500		500		
Pavimento semirrígido	día/km						
Pavimento rígido	día/km		250	15	250	15	
3 Cuadrillas mantenimiento		10					
Pavimento flexible			1	10			
Pavimento semirrígido							
Pavimento rígido			0	0	10	10	
4 Relacion normativa/longitud tramo							
Rn/Lt	<0,80						
Rn/Lt	0,80-0,99						
Rn/Lt	1						
Total				25		95	
Viabilidad				Baja		alta	

Matriz multicriterio

MATRIZ MULTICRITERIO						
			UF1		UF2	
Parámetros a evaluar	Unidad	Ponderación (%)	valor	Ponderación	valor	Ponderación
1 Componente tecnico		20	27	5,4	100	20
				0		0
				0		0
				0		0
				0		0
				0		0
				0		0
2 Componente economico/financiero		70	100	70	50	35
				0		0
				0		0
				0		0
				0		0
				0		0
				0		0
3 Componente otros		10	25	2,5	95	9,5
				0		0
				0		0
				0		0
Total				77,9		64,5
Viabilidad				Alta		Media

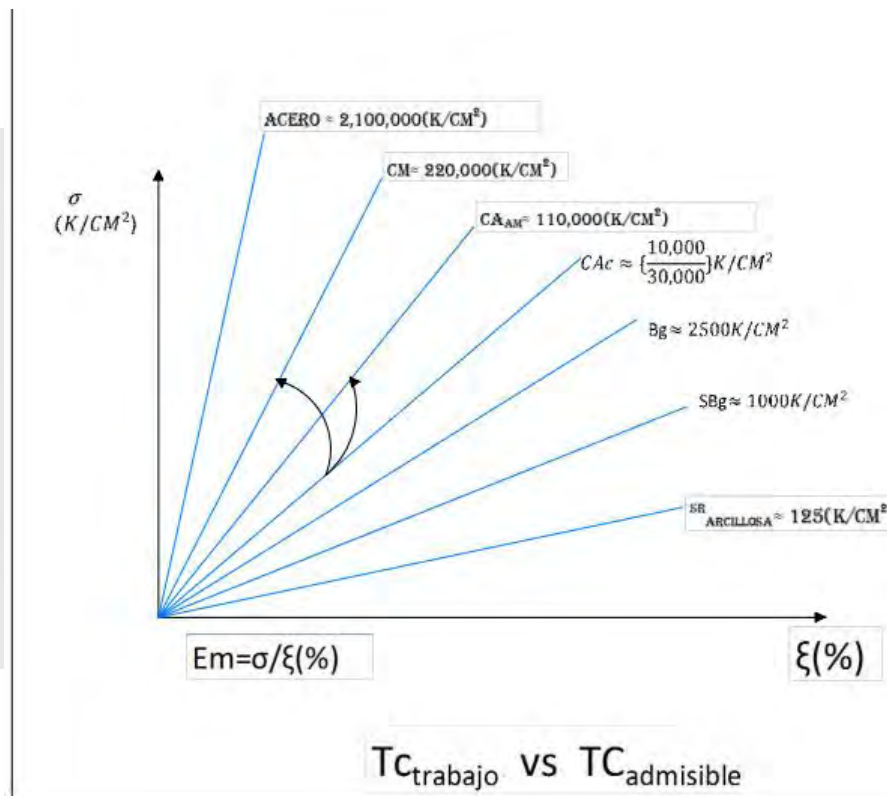
Conclusiones

- Se pueden desarrollar herramientas básicas para analizar la viabilidad del uso de concretos de hormigón. Ser lo menos subjetivo posible
- Con base en los resultados se pueden establecer estrategias múltiples, caso a caso

Conclusiones

- Con la Matriz multicriterio la idea es evaluar el pavimento mas apropiado
- Hacer una comparación justa a partir del análisis del costo de ciclo de vida, buscando el mejor rendimiento a largo plazo
- Evaluaciones ex-post facilitaran mejores y más poderosas herramientas de análisis









Túneles viales



Zonas de peaje y otras áreas viales



21/09/2018

Ing jairo a espejo m

31

Requisitos calidad en concesiones

Nombre del indicador	Frecuencia máxima de medición	Valor aceptación y tiempo máximo corrección	causa (s) probable
escalonamiento	semestral	< 5 mm / 6 meses	Erosión base, asentamiento diferencial de la subrasante, drenaje insuficiente
grietas	semestral	< 6 m ² / 1 mes	Falta apoyo losa, asentamiento base y/o de la subrasante, espesor losa insuficiente
Desportillamiento de juntas	mensual	< 30/km medido / 2 semanas	Defectos constructivos, desintegración concreto por mala calidad
Juntas	mensual	< 3% de la longitud del segmento / 1 mes	Producto sellado de mala calidad, o puesta inadecuada, Endurecimiento, despegado, fluencia, incrustaciones del material de sellado
Eficiencia transferencia de juntas	Cada dos años	>70% / 1 año	apoyo deficiente . Mal alineadas las barras
IRI	semestral	3,3.5 mm/m / 3 meses	Asentamientos diferenciales subrasante
Coefficiente de fricción transversal	semestral	>40 / 3 meses	Materiales poco resistentes al pulido
Textura	Semestral	>0.5 mm / 3 meses	Hormigón mal dosificado, mala calidad materiales, exceso mortero

21/09/2018

Ing jairo a espejo m

32

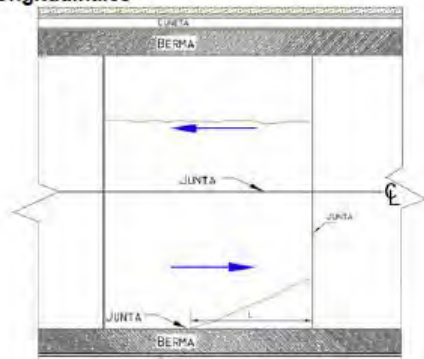
Posibles Causas Las principales causas de las grietas longitudinales son:

- Asentamiento de la base o la subrasante.
- Falta de apoyo de la losa, originado por erosión de la base.
- Alabeo térmico.
- Losa de ancho excesivo.
- Carencia de una junta longitudinal.
- Mal posicionamiento de las dovelas y/o barras de anclaje.
- Aserrado tardío de la junta.
- Contracción del concreto

Evolución probable Los deterioros con mayor probabilidad de ocurrencia como consecuencia de la evolución de las grietas longitudinales, son:

- Incremento de los escalonamientos.
- Fracturas múltiples en las losas.

Figura 6. Características de las Grietas longitudinales



Fotografía 3. Grieta longitudinal

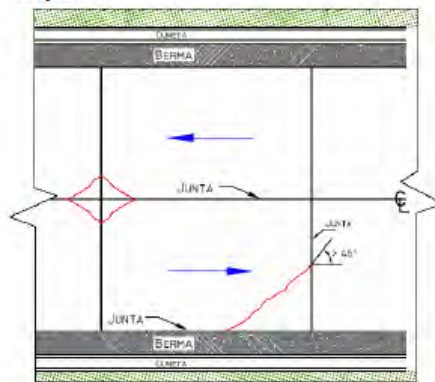


Posibles Causas Las principales causas de la formación de grietas de esquina son:

- Asentamiento de la base y/o la subrasante.
- Falta de apoyo de la losa, originado por erosión de la base.
- Alabeo térmico.
- Sobrecarga en las esquinas.
- Deficiente transmisión de cargas entre las losas adyacentes.

Evolución probable Se pueden generar o incrementar los escalonamientos y producir fracturas múltiples en las losas.

Figura 5. Vista en planta: Grieta de Esquina



Fotografía 2. Vista típica de una grieta de esquina

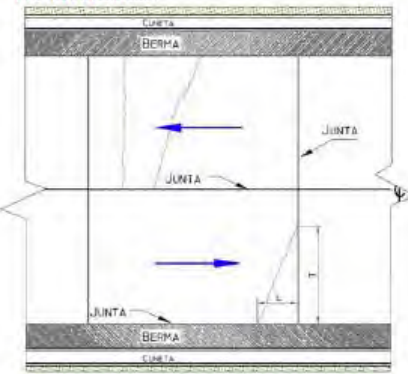


Posibles Causas Las principales causas de las grietas transversales, son:

- Asentamiento de la base o la subrasante.
- Losas de longitud excesiva.
- Junta de contracción aserrada o formada tardíamente.
- Espesor de la losa insuficiente para soportar las solicitaciones.
- Gradiente térmico que origina alabeos.
- Problemas de drenaje.
- Cargas excesivas

Evolución probable El daño con mayor probabilidad de aparición, como consecuencia de la evolución de las grietas transversales son las grietas en bloque, también puede haber escalonamiento por la entrada de agua.

Figura 7. Vista en Planta de las Grietas Transversales.



Fotografía 4. Vista típica de una Grieta Transversal.

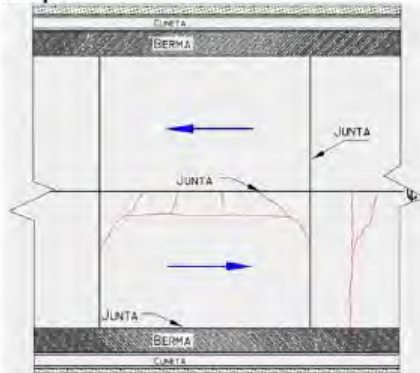


Posibles Causas La fracturación múltiple, puede ser causada por la repetición de cargas pesadas (fatiga de concreto), el equivocado diseño estructural y las condiciones de soporte deficiente. Es la

evolución final del proceso de fisuración, que comienza formando una malla más o menos cerrada; el tránsito y la continua flexión de las losas aceleran la subdivisión en bloques más pequeños, favoreciendo el desportillamiento de sus bordes. Pueden presentar diversas formas y aspectos, pero con mayor frecuencia son delimitados por una junta y una fisura⁷.

Evolución probable La evolución más probable de las grietas en bloque es el deterioro total de la estructura y/o hundimientos.

Figura 9. Características de las grietas en bloque



Fotografía 6. Vista típica de las grietas en bloque

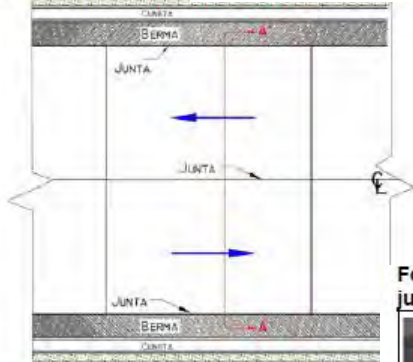


Posibles Causas Las principales causas de una separación de juntas longitudinales son:

- Contracción o expansión diferencial de losas debido a la ausencia de barras de anclaje entre carriles adyacentes.
- Desplazamiento lateral de las losas motivado por un asentamiento diferencial en la subrasante.
- Ausencia de bermas.
- Asentamiento diferencial de la subrasante.

Evolución probable El deterioro con mayor posibilidad de ocurrencia debido a la evolución de una separación de juntas longitudinales es la pérdida del perfil longitudinal; también puede haber bombeo debido a la entrada de agua en daño con severidad alta.

Figura 11. Separación de

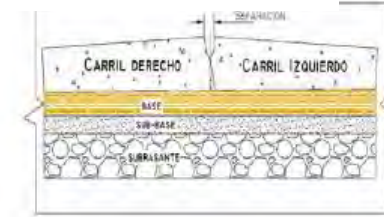


a. Vista en planta. Placas de Pavimento Rígido

Fotografía 8. Vista típica de una separación de junta longitudinal asociada a un hundimiento.



NOTA: Fotografía Tomada de "Catálogo Centroamericano de Tipos de Pavimento de Vías" Consejo de Ministros de Transporte de Centroamérica, Guatemala, 2003.



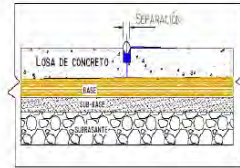
b. Vista en perfil: Detalle Separación de Juntas Longitudinales

Posibles Causas Las principales causas del deterioro de los sellos de las juntas, son:

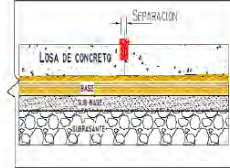
- Endurecimiento del sello: producto de mala calidad, envejecimiento.
- Perdida de adherencia entre el sello y la placa: producto de mala calidad, sellado mal colocado, caja mal diseñada, paredes sucias en el momento de aplicar el sello.
- Perdida de sello: producto de mala calidad, procedimiento de colocación deficiente, movimiento relativo excesivo entre losas aledañas, poca consistencia del material de sello.
- Extrusión del material del sello: exceso de sello, producto de mala calidad, procedimiento de colocación deficiente, incremento severo de temperatura que provoca el movimiento de las losas y el ablandamiento del material, puesta en servicio de la vía antes del fraguado del sello.
- Incrustación de material incompresible: ocasionada por la cercanía de bermas no pavimentadas o la caída de materiales de vehículos que transitan por la vía.
- Crecimiento de la vegetación: humedad en la junta.

Evolución probable El deterioro más probable de ocurrir debido a la evolución de la falla de sello es el desportillamiento y el bombeo.

Figura 12. Deterioro del Sello



a. Desconfinamiento del sello por pérdida de adherencia y levantamiento de la tirilla de respaldo



b. Pérdida progresiva del sello en ausencia de la tirilla de respaldo

Fotografía 9. Vista típica de un deterioro de sello.



Posibles Causas Las principales causas del desportillamiento de las juntas, son:

- Debilitamiento de los bordes de la junta debido a defectos constructivos.
- Desintegración del concreto, por mala calidad del material.
- Presencia de material incompresible en la junta, el cual al expandirse genera concentración de esfuerzos y la posterior falla ante el paso de vehículos.
- Mal procedimiento de corte de la junta.
- Aplicación de cargas antes de conseguir la resistencia mínima recomendada del concreto.

Evolución probable La evolución más probable del desportillamiento de las juntas es la entrada de agua a la base generando bombeo.

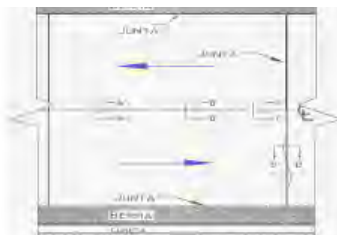
Fotografía 10. Vista típica de un desportillamiento con pérdida de bloques.



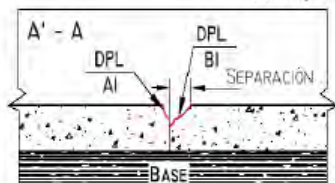
Posibles Causas Las principales causas del desportillamiento de las juntas, son:

- Debilitamiento de los bordes de la junta debido a defectos constructivos.
- Desintegración del concreto, por mala calidad del material.
- Presencia de material incompresible en la junta, el cual al expandirse genera concentración de esfuerzos y la posterior falla ante el paso de vehículos.
- Mal procedimiento de corte de la junta.
- Aplicación de cargas antes de conseguir la resistencia mínima recomendada del concreto.

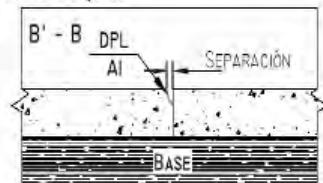
Evolución probable La evolución más probable del desportillamiento de las juntas es la entrada de agua a la base generando bombeo.



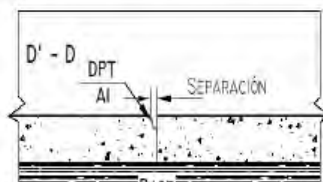
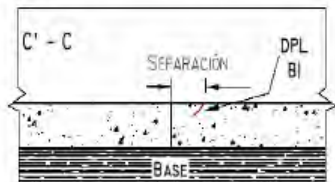
a. Vista en planta: Desportillamiento en juntas



b. Vista en perfil: Desportillamiento longitudinal afectando dos losas.



c. Vista de perfil: Desportillamiento longitudinal de una losa



e. Vista en planta: Desportillamiento transversal

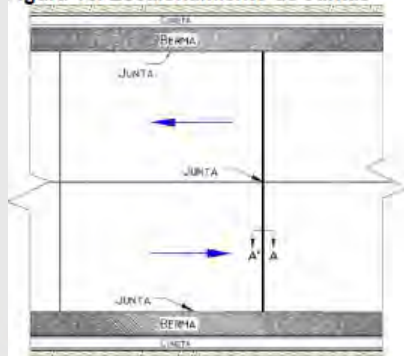
Posibles Causas Esta deficiencia es causada principalmente por el tránsito, que produce el desgaste superficial de los agregados, especialmente cuando la mezcla de concreto y/o agregados es de calidad deficiente y favorece la exposición de los mismos. La reducción de la fricción o resistencia al deslizamiento, puede alcanzar niveles de riesgo para la seguridad del tránsito. El pulimento de los agregados puede ser considerado cuando un examen visual revela que la rugosidad obre la superficie es muy reducida y se presenta una superficie suave al tacto.

Evolución probable El pulimento de la superficie del pavimento puede generar cabezas duras.

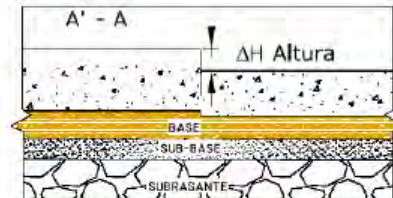
Fotografía 14. Vista típica de una vía con pulimento de losas de concreto.



Figura 16. Escalonamiento de Juntas



a. Vista en planta. Escalonamiento Junta Transversal.



b. Vista en perfil: Detalle del Escalonamiento

Posibles Causas Las principales causas del escalonamiento entre losas, son:

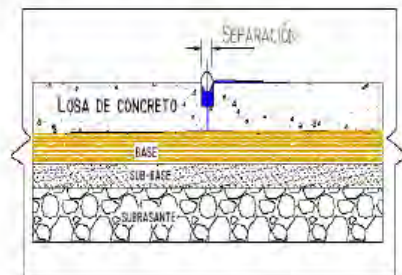
- Deficiencia en el traspaso de cargas entre las losas o trozos de losas.
- Erosión de la base en las inmediaciones de la junta o grieta.
- Asentamiento diferencial de la subbase ó subrasante.
- Falta de capacidad de soporte de la subrasante.

Evolución probable El escalonamiento de las juntas puede ocasionar fractura de la losa, si éste se combina con bombeo que implica pérdida del material de base.

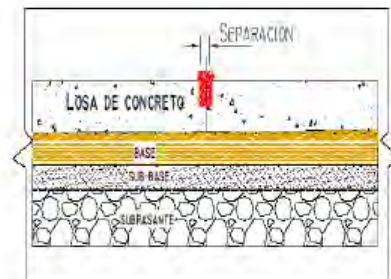
Fotografía 15. Vista típica de escalonamiento



Figura 12. Deterioro del Sello

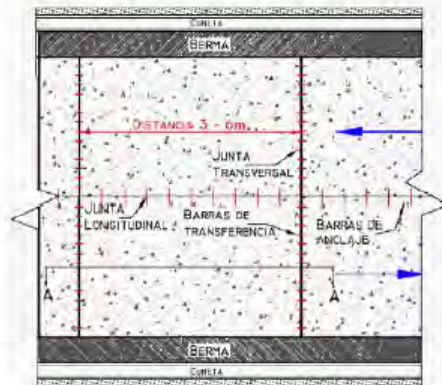


a. Desconfinamiento del sello por pérdida de adherencia y levantamiento de la tirilla de respaldo

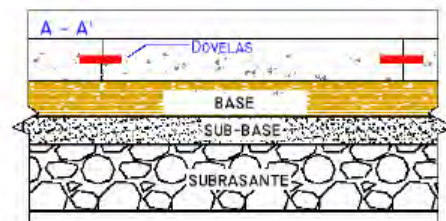


b. Pérdida progresiva del sello en ausencia de la tirilla de respaldo

Figura 1. Losas de Concreto Simple



a. Vista en planta



b. Vista en perfil (Sección A-A')

Siguiendo a Holtz y Gibbs (Bureau of reclamation de los EEUU) se presenta:

Potencial de expansión	Indice de plasticidad (%)
Muy alto	Mayor que 32
Alto	23 - 45
Medio	12 - 34
Bajo	Menor que 20

Es bueno, tener idea del cambio de volumen que pueden desarrollar las arcillas potencialmente expansivas, para lo cual se referencian los estudios hechos por McDowell, quien presenta una correlación entre la expansión volumétrica y el Índice de plasticidad, así:

Cambio de volumen (%)	Indice de plasticidad (%)
15	65
12	50
6	30
3	20

Zonas activa y pasiva

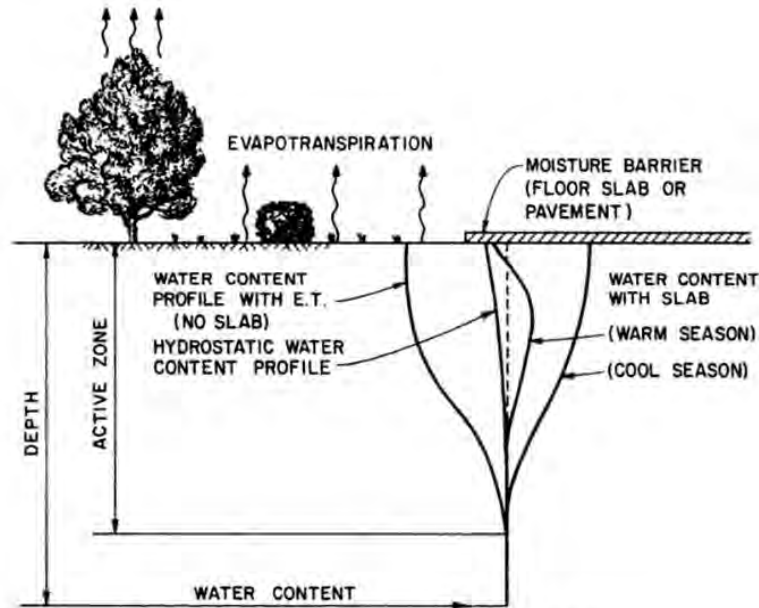
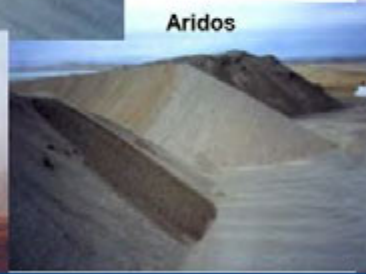


FIGURE 2.2. Water content profiles in the active zone.

Logística



TO en silos de 130 t



Aridos



Agua 30.000 l

Logística



DESCARGA DEL CONCRETO CONTROLADA

Logística



DESCARGA DEL CONCRETO



TERMINACION SUPERFICIAL DE CALZADA



COLOCACION DE PASADORES AUTOMATICA



FAJAS DE PAVIMENTACION TERMINADAS

Logística



Velocidad construcción



- Nuevos equipos
- Una sola pasada en ancho y espesor
- 150 a 1000 ml/día