



PRE-XVII CONGRESO ARGENTINO  
**de Vialidad y Tránsito**

8º EXPOVIAL ARGENTINA

3 AL 6 DE NOVIEMBRE 2014

HOTEL PANAMERICANO - Buenos Aires, Argentina



## Presentación del Manual ICPA

# Diseño y Construcción de Pavimentos de Hormigón

Autores: Ing. Diego Calo; Arq. Edgardo Souza; Ing. Eduardo Marcolini

Ing. Diego H. Calo

*Coordinador Departamento Técnico de Pavimentos*

X CONGRESO INTERNACIONAL ITS

X SIMPOSIO DEL ASFALTO

II SEMINARIO INTERNACIONAL DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN



X Congreso  
Internacional ITS



X SIMPOSIO  
DEL ASFALTO



[www.congresodevialidad.org.ar](http://www.congresodevialidad.org.ar)



# Programa: Manuales de Pavimentos

- **Objetivos:**
  - Generar publicaciones actualizadas sobre pavimentos de hormigón en sus diversas aplicaciones.
  - Actualizar la documentación técnica existente, adaptándola a las nuevas tecnologías disponibles a nivel local.
  - Incorporar las mejores prácticas en el diseño y construcción de pavimentos de hormigón.
  - Buscar el aporte de los diferentes actores del campo vial de nuestro país involucrados en el proyecto y ejecución de pavimentos de hormigón.



# Programa. Módulos

I<sup>er</sup> DOCUMENTO TÉCNICO: *Manual de Diseño y Construcción de Pavimentos de Hormigón.*

- Módulos



**Proyecto y Diseño Estructural**



**Tecnología del Hormigón y Materiales Componentes.**



**Prácticas Constructivas y de Mantenimiento.**

Cada Módulo fue dirigido por un Coordinador miembro del Departamento Técnico del ICPA



# Plan de Trabajo. Etapas

## I. CONFORMACIÓN DE ESTRUCTURA DE CONTENIDOS Y BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA

- Manuales o publicaciones similares locales y extranjeras.
- Trabajos técnicos e investigaciones recientes.
- Últimos avances.
- Experiencias de campo.
- Mejores Prácticas y Lecciones aprendidas.







# Plan de Trabajo. Etapas (continuación)

II. REDACCIÓN DE BORRADORES.

III. REVISIÓN Y DISCUSIÓN  
POR LA COMISIÓN DE  
PAVIMENTOS DEL ICPA.





# Plan de Trabajo. Etapas (continuación)

## IV. REVISIÓN Y CONSULTA A ESPECIALISTAS EXTERNOS

¿El manual cumple las expectativas del sector?

¿Sería necesario incorporar otros temas?

¿Es correcto el enfoque y tratamiento que se realiza de cada tema?



**REPARTICIONES PÚBLICAS**



**EMPRESAS CONSULTORAS**



**EMPRESAS  
CONSTRUCTORAS**



**UNIVERSIDADES Y  
ESCUELAS DE POSGRADO**



# Plan de Trabajo. Etapas (continuación)

## V. REVISIÓN Y EDICIÓN FINAL

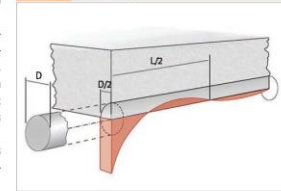
- Incorporación de nuevos temas.
- Incorporación de alternativas constructivas o de proyectos.
- Separación del capítulo de Juntas e incorporación de intersecciones a nivel y transiciones.
- Desagregado del Capítulo sobre Recubrimientos para elaborar una publicación específica sobre este tema.
- Destaque de los temas principales a través de llamadas de Alerta o Recomendaciones.

## VI. DISEÑO GRÁFICO Y EDITORIAL



- El tipo de agregado grueso empleado: el empleo de agregados triturados y de tamaño superior a 25 mm mejora las condiciones de transferencia de carga.
- La rigidez de la Base: cuanto mayor es, las deflexiones en las juntas son menores, por lo que resulta razonable esperar un mejor desempeño a largo plazo.
- Las condiciones de soporte en bordes (banquina rígida vinculada o ensanchamientos de carriles): generan una reducción de las deflexiones en juntas cuando el pavimento es solicitado.
- Las condiciones de drenaje: si son las adecuadas, es de prever un mejor comportamiento de este sistema también a largo plazo.

Figura 3-5: Distribución de tensiones en el hormigón. [UNR, 2005]



### PASADORES

La trabazón entre agregados, por sí sola, no provee suficiente transferencia de carga durante el período en servicio para aquellas situaciones en las que se prevea la circulación de moderados y altos volúmenes de vehículos pesados. Es por ello que, en tales casos, debe recurrirse a la colocación de pasadores con el fin de incrementar la transferencia de carga a largo plazo.

Los pasadores son barras de acero lisas colocadas en la junta transversal para transferir cargas, sin restringir el movimiento longitudinal de las losas. Colaboran en la disminución de tensiones y deflexiones en el hormigón y reducen el potencial de escalonamiento, bombeo y rotura de esquinas en las losas.

Deben utilizarse en pavimentos con tránsito pesado (en general, con espesores de calzada de 18 cm o superiores), donde no es suficiente la transferencia por trabazón de agregados.

El pasador debe ser de un diámetro suficiente como para reducir a un valor aceptable las tensiones de aplastamiento que se desarrollan en el hormigón en la zona de contacto con la barra de acero. Si dichos esfuerzos son muy elevados, la barra puede deteriorar el hormigón en la interfaz y por lo tanto, reducir progresivamente la eficiencia en la transferencia de carga de la junta.

Dado que el diámetro del pasador más conveniente depende principalmente del nivel de tránsito pesado, en la práctica suele establecerse a partir del espesor de diseño.

En la Tabla 3-1 se resumen las recomendaciones generales para la inclusión de pasadores en las juntas transversales.

Tabla 3-1: Características de los pasadores.

Tipo de hierro	Barra redonda lisa. Tipo I. AL-220.
Superficie	Lisa, libre de óxido y con tratamiento que impida la adherencia al hormigón en todo su largo.
Largo	45 cm.
Diámetro	25 mm para $e \leq 20$ cm. 32 mm para $20 \text{ cm} < e \leq 25$ cm. 38 mm para $e > 25$ cm.
Separación	30 cm de centro a centro, 15 cm de centro a borde.
Ubicación	Paralelo a la superficie del pavimento y al eje de calzada. Mitad del espesor de losa. Mitad a cada lado de la junta transversal.

Figura 3-6: Colocación con Canastos.





# Estructura

Capítulo I – INTRODUCCIÓN

Capítulo II – DISEÑO

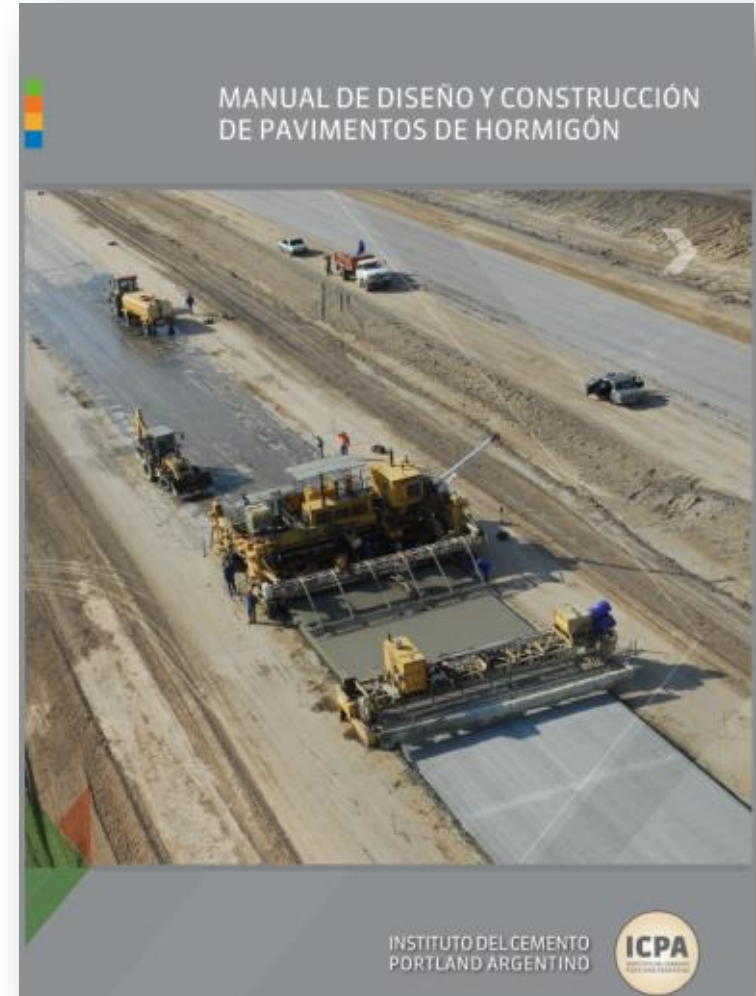
Capítulo III – JUNTAS, INTERSECCIONES Y TRANSICIONES

Capítulo IV – MATERIALES

Capítulo V – CONSTRUCCIÓN

Capítulo VI – CONTROL DE CALIDAD

Capítulo VII – REPARACIONES Y MANTENIMIENTO







# Contenidos

## Capítulo 01 – INTRODUCCIÓN

Descripción y alcance

Los pavimentos de hormigón

Tipos de pavimentos de hormigón

Componentes principales del sistema





# Contenidos

## Capítulo 02 – DISEÑO

Suelos de subrasante

Bases y subbases en pavimentos de hormigón

Drenaje subsuperficial

Estudios de tránsito

Resistencia del hormigón de calzada

Comportamiento de los pavimentos

Dimensionamiento de espesores de calzada

Método de la Portland Cement Association

Método AASHTO 1993

Método ACPA StreetPave



El presente capítulo brinda la información necesaria para efectuar un diseño adecuado de todos los elementos que componen la estructura de un pavimento simple con juntas. Se desarrollan en detalle las distintas variables, en estudio que afectan el comportamiento del mismo. También se introducen los métodos de diseño de espesores AASHTO (1993), el de la Portland Cement Association (PCA 1984) y el método ACPA StreetPave.

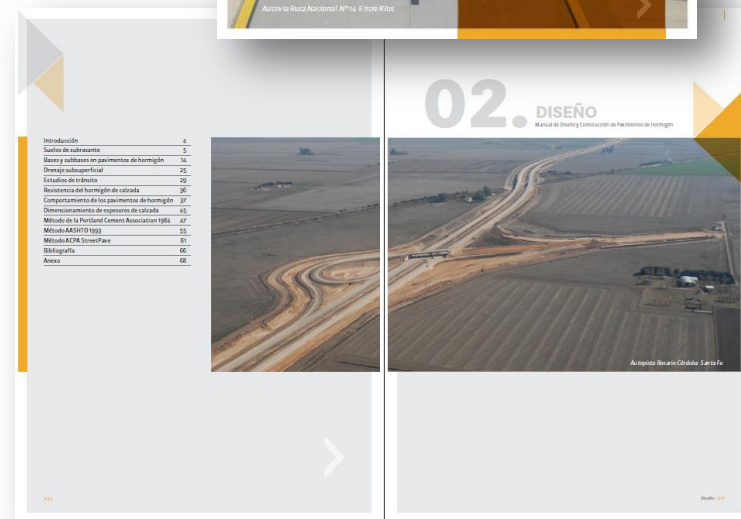
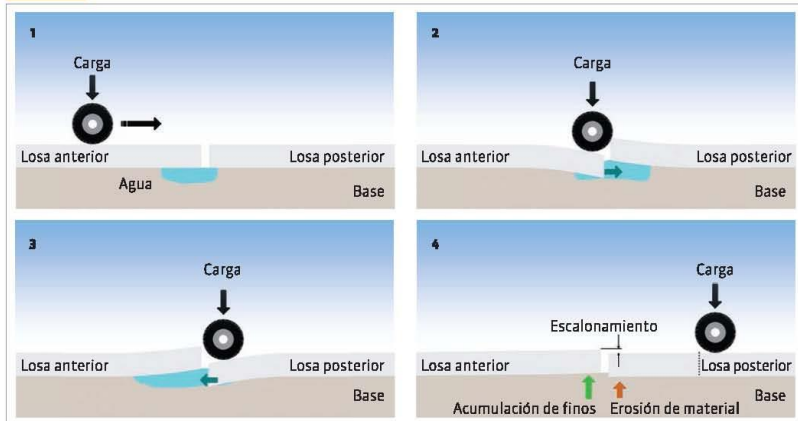


Figura 2-6: Proceso de pérdida de soporte por erosión y formación de escalonamiento.



de la losa posterior son bombeados nuevamente hacia la losa anterior y al exterior por las juntas y bordes de calzada.

4. Este proceso en forma continua lleva a que exista una acumulación de material por debajo de la losa anterior y una pérdida de material de la posterior, lo cual hace que la losa anterior incremente su nivel y un asentamiento de la losa posterior. Esta elevación diferencial entre ambas losas, se denomina escalonamiento, que es uno de los principales responsables de la rugosidad en pavimentos rígidos.

La generación de escalonamiento se produce en un principio en la esquina externa de la losa, donde se desarrollan las mayores deflexiones cuando la losa es solicitada (1ª Etapa Figura 2-7).

A medida que avanza el deterioro, el escalonamiento comienza a ganar severidad, en tanto que si la banquina se encuentra pavimentada, es posible observar la aparición de finos en coincidencia con estas esquinas. Estas "lágrimas de finos" son la manifestación más evidente del fenómeno de erosión.

Luego, continuando la progresión de este fenómeno, se puede observar un incremento del escalonamiento y del depósito de finos sobre la banquina, así como la pérdida de soporte de la losa.

Finalmente, esta pérdida de soporte genera un funcionamiento inadecuado de la losa cuando es solicitada frente a cargas, propiciando la formación de una fisura transversal que habitualmente se ubica a una distancia de 1 m a 2 m de la junta.

### MEDIDAS PARA LA PREVENCIÓN DE LA PÉRDIDA DE SOPORTE POR EROSIÓN


Cuando se prevea la ocurrencia simultánea de los tres factores mencionados (material fino o erosionable, agua en la interfaz losa – apoyo, tránsito pesado) se encuentra aceptado que existe riesgo de pérdida de soporte por erosión, por lo que resulta imperiosa la adopción de medidas para prevenir este fenómeno.

Evidentemente, al requerir que estos factores se encuentren presentes en el sistema de manera simultánea, si se elimina uno de ellos el fenómeno no se pro-

duce. De cualquier forma, con el objetivo de aumentar la confiabilidad en el control de este fenómeno, resulta conveniente atacarlo desde los tres factores, de la siguiente manera:

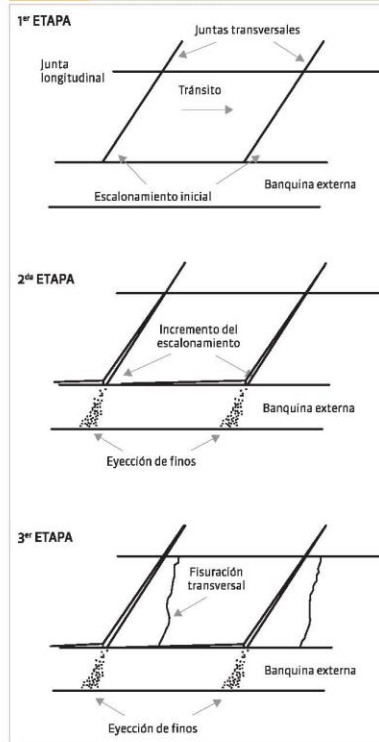
1. Proveer una base resistente a la erosión por bombeo de acuerdo con la exigencia establecida por el tránsito pesado previsto.
2. Minimizar el ingreso de agua a través de las juntas y fisuras del pavimento, y facilitar la eliminación del agua de infiltración.

3. Incorporar mecanismos de transferencia de carga adecuados y mejorar las condiciones de soporte en bordes, con el fin de reducir las deflexiones provocadas por las cargas en la esquina de losas y juntas del pavimento.



Una buena práctica para la prevención de la pérdida de soporte por erosión es verificar las medidas preventivas y el desempeño de pavimentos rígidos en la región, sujetos a similares condiciones de servicio a la del pavimento en estudio, con el fin de optimizar el empleo de recursos para el control de este fenómeno.

Figura 2-7: Pérdida de soporte por erosión.



### Capacidad soporte de la subrasante

Con el fin de evaluar el aporte estructural del suelo es necesario establecer cuál es su resistencia mecánica ante la presencia de cargas. Se debe advertir que la resistencia de un suelo varía con las condiciones de humedad, compactación y confinamiento. Debido a ello los ensayos resultarán más valiosos en la medida que se representen en el laboratorio las propiedades del suelo natural.

La resistencia de la fundación se cuantifica con el módulo de reacción de la subrasante "k". Se plantea entonces un modelo en el que la subrasante se encuentra representada por una serie de pequeños resortes, cuya constante corresponde a dicho valor y que luego se ve incrementado cuando se combina con las capas superiores (Figura 2-8).

Módulo de reacción (k): Este parámetro se determina a través del ensayo de plato de carga y tiene por objeto cuantificar la presión necesaria a ejercer sobre una placa de sección circular apoyada sobre el terreno hasta alcanzar una deformación determinada, que para el caso de pavimentos es de 13 mm. En la Figura 2-9 se representa esquemáticamente el equipo para realizar el ensayo según describen las normas ASTM D 1196-97 y AASTHO T222-81. La carga se aplica con la ayuda de un gato hidráulico apoyado en un camión que sirve como estructura de reacción. La deflexión se mide mediante extensómetros apoyados sobre un puente, cuyos soportes se deben encontrar fuera de la zona de influencia de la carga.



Según puede observarse en la Figura 2-36, a medida que se desplaza la carga hacia el interior de la losa, se produce una reducción muy significativa de las tensiones y deflexiones generadas. Para cuantificar el efecto se puede ver que, con una separación al borde de 60 cm, las tensiones y deflexiones que genera la carga es prácticamente la mitad de aquéllas que se producen con la carga en la posición crítica.

Según se representa en la gráfica, a medida que se incrementa la separación más allá de los 50 cm - 60 cm, el efecto resulta prácticamente despreciable, ya que por su separación al borde, las cargas se transforman desde el punto de vista estructural en internas.

**INFLUENCIA DEL EMPLEO DE PASADORES**

Según se comentó anteriormente, el empleo de pasadores permite transferir parte de la carga aplicada a la losa contigua.

Dado que en el caso de las tensiones, el punto crítico de aplicación de las cargas se encuentra alejado de las

juntas transversales del pavimento, el empleo de pasadores no tiene efecto significativo en el análisis de tensiones. En el caso de las deflexiones, en cambio, al coincidir la ubicación crítica con la esquina de la losa, el uso de pasadores afecta significativamente las deflexiones máximas generadas.

Para mostrar su influencia, en este caso se considera una situación idéntica a la planteada para el punto anterior, aunque considerando un único punto de aplicación de carga (en esquina de la losa) y dos condiciones de transferencia de carga distintas, Figura 2-37. El caso A considera una eficiencia en la transferencia del 0% (no se transfiere carga a la losa vecina), en tanto que el caso B corresponde a una eficiencia del 100% (se transfiere la mitad de la carga a la losa vecina). Según puede observarse, una buena eficiencia en la transferencia de carga permite reducir la deflexión crítica generada prácticamente a la mitad.

Figura 2-37: Esquema de funcionamiento de un pavimento sin y con pasadores.

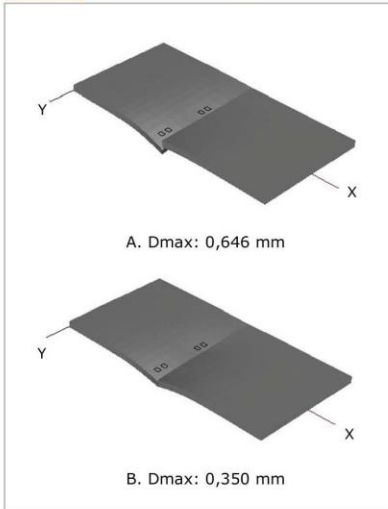
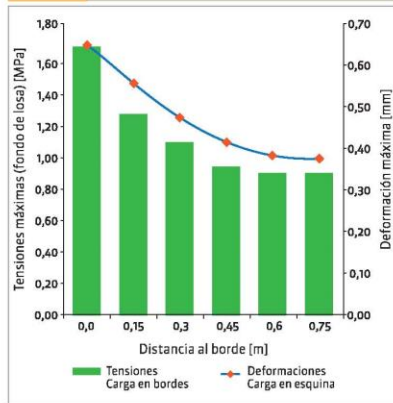


Figura 2-36: Variación de las tensiones máximas en el borde de la losa y de las deformaciones en la esquina, en función de la distancia al borde de las cargas.



**Comportamiento frente a cargas ambientales**

Además del comportamiento frente a cargas de tránsito, debe considerarse que las condiciones ambientales tienen un efecto significativo en el desempeño del pavimento, según se resume a continuación:

- Las variaciones diarias y estacionales de temperatura generan continuas aperturas y cierres de las juntas transversales, resultando en permanentes fluctuaciones de la capacidad de transferencia de carga.
- Los gradientes de temperatura en la sección de la calzada modifican la forma de las losas, generando curvaturas que pueden ser cóncavas (esquinas hacia arriba), o convexas (levantamiento del centro).
- Los gradientes de humedad en la losa de hormigón generan alabeos cóncavos en las losas de pavimento.

Los cambios en la forma de las losas modifican su condición de apoyo, generando el desarrollo de tensiones, que se denominan de alabeo.

**INFLUENCIA DE LA RIGIDEZ DE APOYO**

En este caso, a diferencia de lo que ocurre en el comportamiento bajo cargas, cuando la base tiene menos rigidez, ésta es capaz de acompañar mejor los cambios de forma de las losas, por lo que las tensiones de alabeo resultan menores que para bases rígidas.

Para mostrar su influencia, se analiza una losa de hormigón sujeta a un gradiente de temperatura de 10 °C entre sus caras superior e inferior, considerando distinta rigidez de apoyo (Figura 2-38).

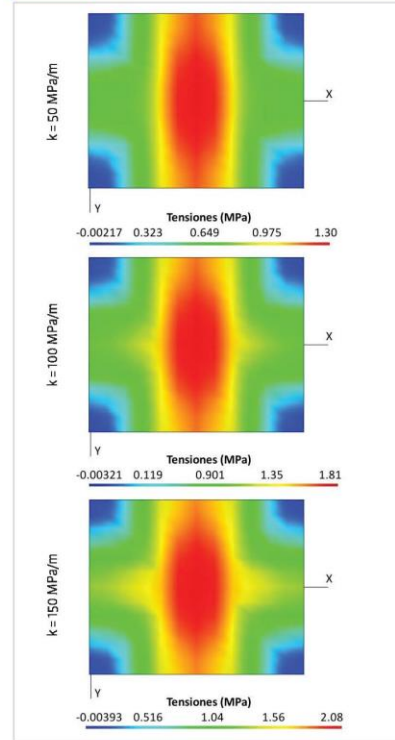
Según puede observarse en la Figura 2-39, a medida que se incrementa la rigidez de apoyo aumentan significativamente las tensiones de alabeo. Sin embargo, aparecen otros factores que tienen influencia en este fenómeno como el módulo de elasticidad del hormigón, su coeficiente de expansión térmica y las dimensiones de la losa.

Figura 2-38: Esquema de losa con alabeo por gradiente térmico.

Datos:

- Espesor: 25 cm.
- Largo: 4,50 m.
- Ancho: 3,65 m.
- ΔT: 10°C.
- E: 35 GPa.
- CET: 1,10 10<sup>-5</sup> 1/°C

Figura 2-39: Tensiones de alabeo para distinta rigidez de apoyo.





# Contenidos

## Capítulo 03 – JUNTAS, INTERSECCIONES Y TRANSICIONES

Diseño de juntas

Desarrollo natural de fisuras

Tipos de juntas

Separación entre juntas

Intersecciones a nivel

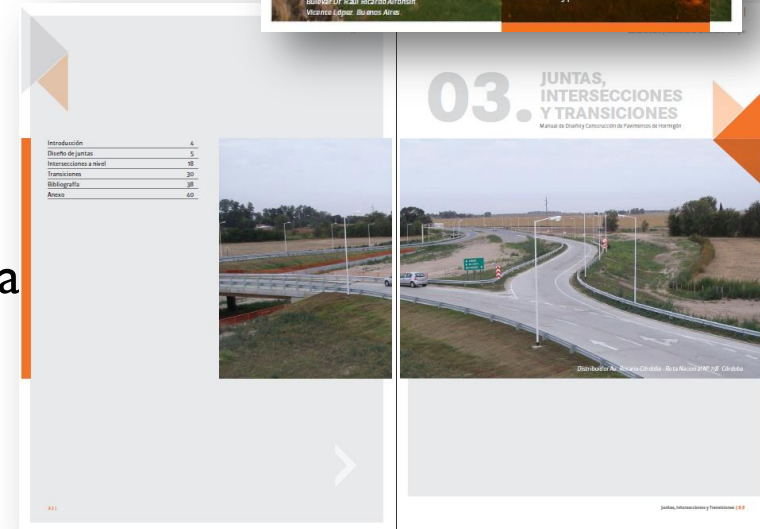
Consideraciones sobre diseño

Diseño de juntas

Determinación de la distribución de junta

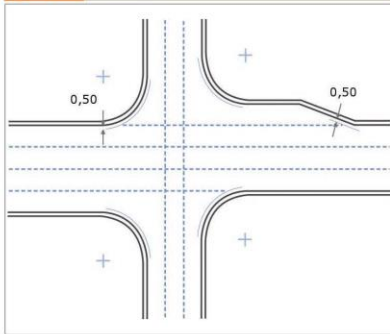
Rotondas

Transiciones



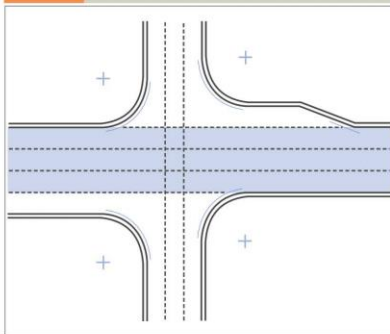
2. Trazar líneas auxiliares paralelas a 0,5 m desde los bordes del pavimento o cordones en aquellos sectores donde se producen cambios en el ancho del pavimento.
3. Dibujar las líneas que definen los carriles de cada una de las arterias que se intersectan.

Figura 3-27: Pasos 2 y 3.



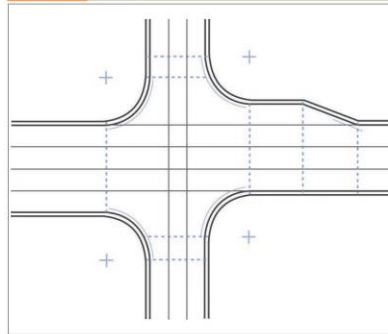
4. Definir la vía principal de pavimentación.

Figura 3-28: Paso 4.



5. Añadir juntas transversales en aquellos lugares donde cambia el ancho de calzada. Las que alcancen una línea auxiliar no deben extenderse. Aquellas juntas de la arteria transversal que se encuentren más alejadas de la principal, deben ser de dilatación (Tipo E).

Figura 3-29: Paso 5.



6. Agregar juntas transversales intermedias a las definidas en el paso anterior, manteniendo las separaciones máximas recomendadas.
7. Extender los bordes de ambas arterias para definir la "zona física de la intersección".
8. Revisar las distancias entre la "zona física de intersección" y las juntas adyacentes.
9. Si las separaciones son mayores que la máxima permitida, agregar juntas intermedias con espaciamientos uniformes. Estas juntas no deben extenderse más allá de las líneas auxiliares.

Figura 3-30: Paso 6.

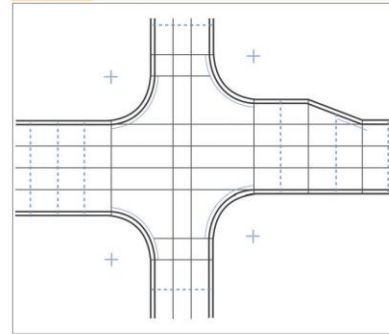


Figura 3-31: Paso 7.

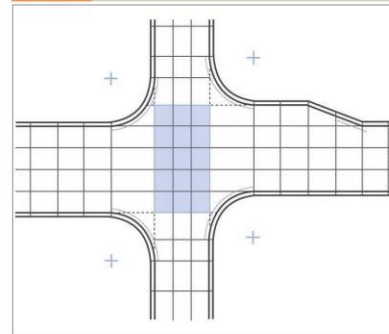


Figura 3-32: Paso 8.

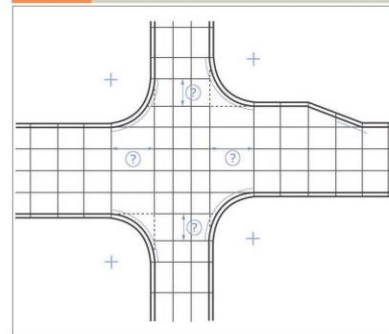
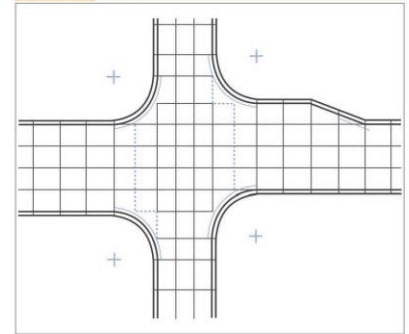
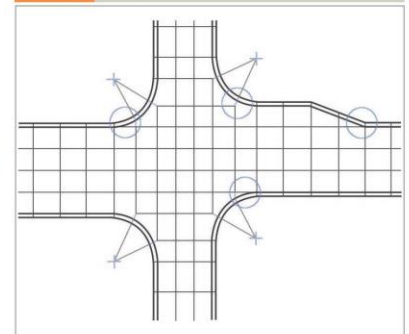



Figura 3-33: Paso 9.



10. Trazar líneas desde los centros de la curva a los puntos definidos por la "zona física de intersección" y a cualquier junta intermedia alrededor de la misma. Agregar juntas a lo largo de estos radios. En aquellos casos en que la forma y el tamaño de las losas no se ajustan a las recomendaciones, analizar y resolver dichos puntos conflictivos en forma individual.

Figura 3-34: Paso 10.



 Es común que en la resolución de la distribución de juntas en intersecciones, algunas losas no cumplan el requisito de esbeltez máxima (relación de lados <math>1,25</math>). En estos casos se recomienda incorporar armadura distribuida para el control de fisuración en una cuantía superior o igual al 0,05 %. En los planos se identifican estas losas mediante el signo numeral (#). Ver Figura 3-38.



### Transición con pavimento flexible

Básicamente existen dos problemas que pueden surgir en las intersecciones de un pavimento de hormigón y uno de concreto asfáltico, a saber:

- 1) Posible generación de deterioros en la zona de empalme de ambos pavimentos, debido a que existe un cambio abrupto en la rigidez del pavimento, que puede derivar en deformaciones sobre la superficie del pavimento flexible y la generación de fallas en el rígido.
- 2) Crecimiento de losas, fenómeno mediante el cual las losas migran hacia el pavimento flexible, empujando la estructura asfáltica y originando crestas o lomadas en cercanías a la zona de empalme.

Para este tipo de situaciones se presentan distintas soluciones alternativas. La primera de ellas consiste en ejecutar un sobre-espesor de hormigón en coincidencia con la unión con el pavimento flexible, según se representa gráficamente mediante la Figura 3-52. El incremento de espesor cumple en este caso dos funciones. Por un lado, aumenta la capacidad estructural del pavimento rígido en la zona de unión, compensan-

do la falta de transferencia de carga con el pavimento contiguo, en tanto que además incrementa la superficie que resiste el empuje por parte del pavimento flexible, previniendo el crecimiento de losas.

Otra alternativa es ejecutar una losa de transición entre ambas estructuras. En esta losa de transición se materializa una estructura mixta asfalto-hormigón, que permite una transición gradual entre ambas estructuras y posibilita un mejor comportamiento general en el pavimento rígido y flexible (ver Figura 3-53).

En estos casos, para evitar el reflejo de fisuras en el pavimento flexible, se debe efectuar un borde biselado en la parte inferior de la losa de transición.

En cuanto a la base del pavimento, éste debe extenderse aproximadamente 1,50 m por debajo del pavimento flexible, para asegurar un cambio gradual y uniforme.

En lo que concierne al fenómeno de crecimiento o empuje de losas, para este caso la American Concrete Pavement Association recomienda [ACPA TB019P. 1997] incorporar barras de unión en las primeras tres juntas transversales de contracción, con el fin de mantener-

Figura 3-53: Transición pavimento de hormigón – pavimento de asfalto.

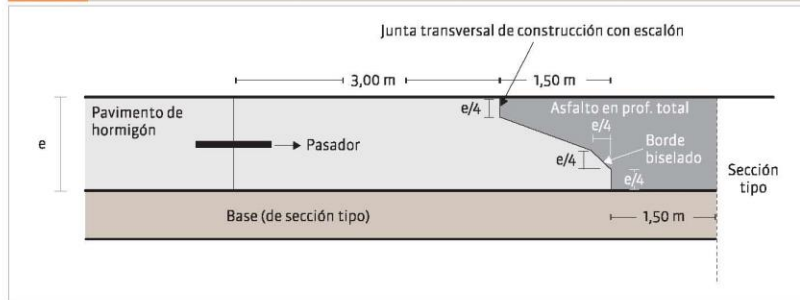
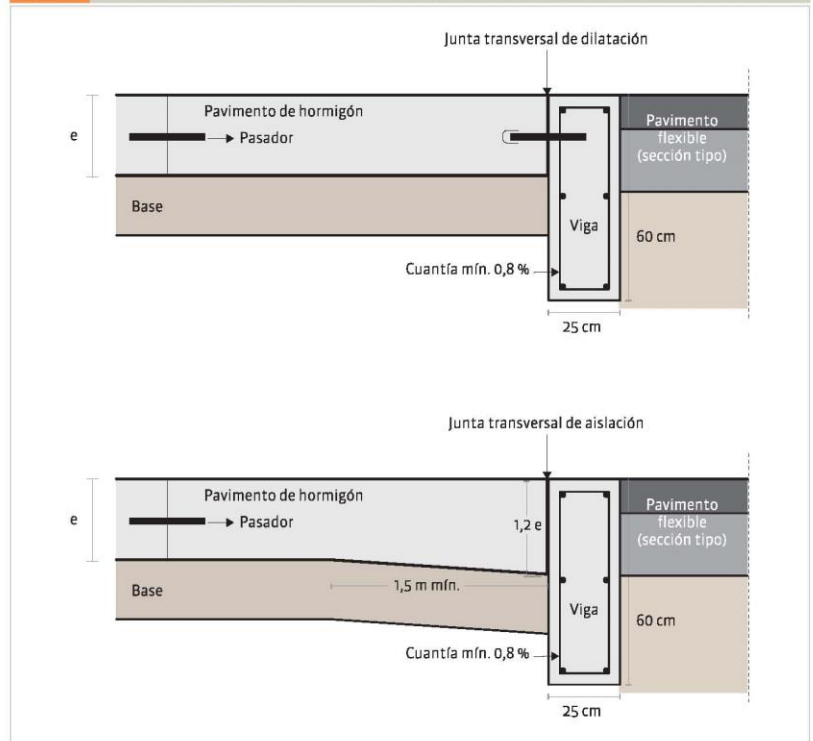


Figura 3-54: Transición pavimento de hormigón con flexible, con elevado volumen de tránsito pesado.



las unidades firmemente y evitando que migren hacia el pavimento contiguo.

Para la determinación de la cuantía de acero a incorporar puede emplearse la ecuación empleada para el armado de la junta longitudinal (Ec. 3-2), empleando como distancia al borde libre más cercano la separación que

existe entre la segunda junta transversal y el inicio del pavimento flexible (en general, corresponde al largo de dos losas).

En estos casos debe mantenerse la posición de los pasadores, distribuyendo alternadamente las armaduras de anclaje.



# Contenidos

## Capítulo 04 – MATERIALES

Cemento

Adiciones

Agregados

Agua

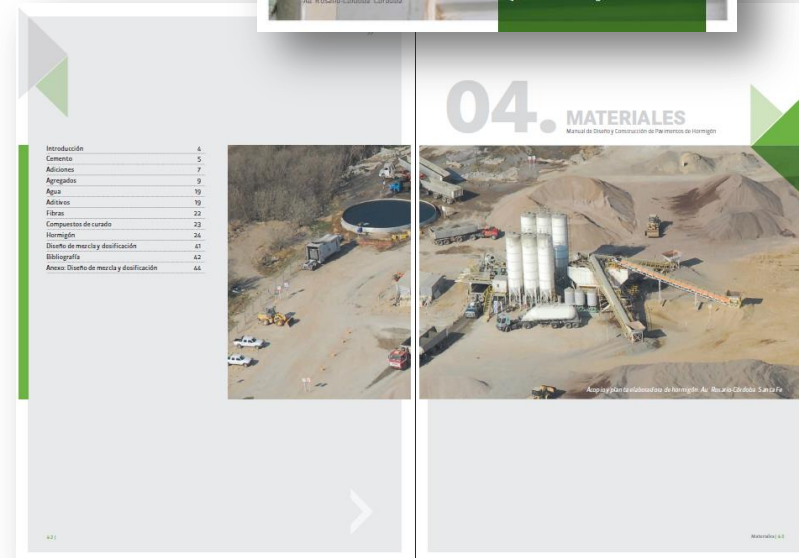
Aditivos

Fibras

Compuestos de curado

Hormigón

Diseño de mezcla y dosificación



La granulometría de máxima densidad sirve como referencia para conseguir una buena distribución de tamaños de las partículas de los agregados. Fuller y Thompson desarrollaron una ecuación en 1907 para describir una granulometría de máxima densidad:

$$P = 100 \cdot \left(\frac{d}{D}\right)^n \quad \text{Ec. 4-1}$$

Siendo:

*d*: Tamaño del agregado considerado, abertura del tamiz,

*P*: Porcentaje de material que pasa dicho tamiz,

*D*: Tamaño máximo del agregado,

*n*: Parámetro que ajusta la curva por finura ( $n \approx 0,45$ )

La norma IRAM 1505 establece los procedimientos para la determinación de la curva granulométrica de los agregados.

Existen otros tipos de granulometrías con características que las identifican (Figura 4-5):

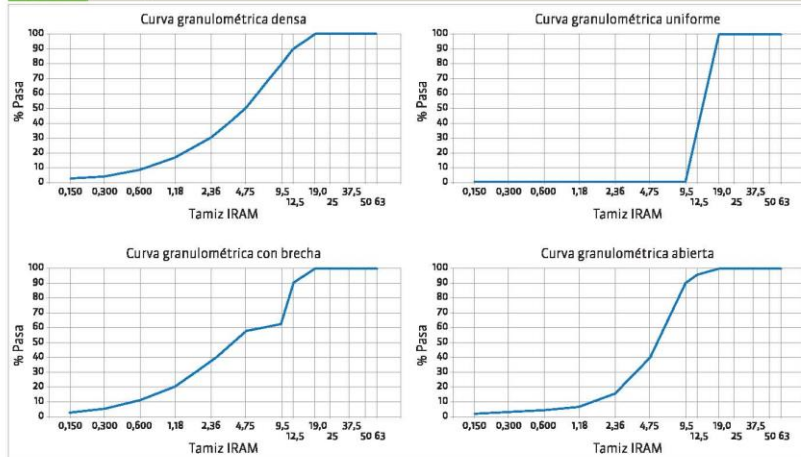
- **Densa o continua:** se denomina así a una granulometría en la que las partículas se encuentran

bien distribuidas en todos los tamices que integran el intervalo analizado. En general, se prefiere este tipo de distribución, ya que se reduce el contenido de vacíos, lo que permite disminuir la cantidad de pasta para llenarlos y, por consiguiente, obtener hormigones económicos y con buena trabajabilidad.

- **Uniforme:** se refiere a una granulometría en la que la mayoría de las partículas se encuentran en un intervalo reducido de tamaños. Prácticamente puede decirse que se trata de una fracción con partículas de igual tamaño. La curva es pronunciada y abarca sólo el intervalo especificado. Tienen buena permeabilidad y poca estabilidad. Su empleo en hormigón requiere un elevado contenido de pasta debido a el alto porcentaje de vacíos que presenta un esqueleto granular de este tipo.

- **Discontinua:** se refiere a una granulometría en la que uno o más tamices del intervalo presentan poco o nada de material retenido. La curva es horizontal en la zona de la brecha. Mezclas de hormigón con este tipo de granulometrías pueden ser propensas a segregación.

Figura 4-5: Curvas granulométricas características



- **Abierta:** se refiere a una granulometría que presenta un pequeño porcentaje de partículas en los tamices de menor tamaño. Resulta un mayor contenido de vacíos, puesto que no hay suficientes partículas pequeñas para llenar los espacios entre las de mayor tamaño. La curva es plana y cercana a cero en la zona de finos. Tienen buena permeabilidad y poca estabilidad. Su uso como agregado para hormigones eleva la cantidad de agua necesaria y puede presentar tendencia a la segregación.

puede variar sensiblemente durante el transporte. Asimismo, si se produce absorción durante las primeras horas de vida del hormigón colocado, se incrementan los riesgos de fisuración temprana.

En general se consideran cuatro condiciones de humedad características del agregado:

- Seco a estufa: humedad del 0 %,
- Seco al aire: superficie seca y poros parcialmente llenos de agua,
- Saturado superficie seca: superficie seca y poros saturados con agua,
- Húmedo (superficie mojada): poros saturados y agua en la superficie.

Los agregados naturalmente se encuentran húmedos o eventualmente secos al aire, mientras que las condiciones de seco en estufa y saturado superficie seca se obtienen en laboratorio. En la Figura 4-6 se esquematizan los distintos estados de humedad de un agregado.

### ABSORCIÓN

La diferencia de masas entre el estado "seco a masa constante" y el de "saturado con superficie seca" es conocida como absorción. Aquellos agregados que al momento de elaborar el hormigón presentan humedades inferiores a la de absorción toman agua de la mezcla, y aquéllos con humedad superior, la ceden.

Los agregados tienen cierta porosidad conectada que puede encontrarse más o menos ocupada por agua, y además tienen la capacidad de tener agua adsorbida en su superficie.

### Influencia de los agregados en las características del hormigón

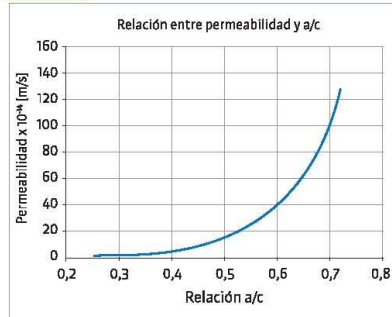
La absorción y la humedad son importantes durante la dosificación a la hora de determinar la cantidad de agua que el agregado va a aportar o quitar de la mezcla. Para evitar que los agregados absorban agua de mezclado, se los debe mantener saturados en los acopios, pues de lo contrario, el asentamiento del hormigón

Si bien la mayoría de los agregados de distintos orígenes pueden ser empleados para elaborar hormigones de calidad y comportamiento adecuado, se debe tener presente que las propiedades de los mismos influyen fuertemente en el desempeño de los hormigones con ellos se producen.

Figura 4-6: Esquema de los distintos estados de humedad de un agregado.





**Figura 4-25:** Relación entre la permeabilidad y la relación a/c. [AATH. 2001]

## RESISTENCIA A LOS CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO

La resistencia a los ciclos de congelamiento y deshielo es la habilidad del hormigón de resistir los daños asociados a la expansión que experimenta el agua al congelarse en climas fríos, expuestos a dichos ciclos.

Al congelarse, el agua se expande aproximadamente un 9%. Si los vacíos y los capilares se encuentran saturados, dicha expansión puede generar presiones superiores a la resistencia del hormigón, provocando fisuras con el consecuente aumento de la permeabilidad, acelerando el mecanismo de deterioro.

En el hormigón joven, con una resistencia a la compresión menor que 4 MPa, cuando la estructura del sólido es todavía débil, un solo ciclo de congelamiento puede provocar daños irreparables, o daños progresivos si ocurre en hormigón endurecido sin aire intencionalmente incorporado. La magnitud de las tensiones generadas por la expansión depende de la cantidad de agua presente en los poros del hormigón, por lo que es menester aplicar el concepto de Saturación crítica (Scr), por debajo de la cual no existe daño, como se aprecia en el esquema (Figura 4-26).

**Figura 4-26:** Efectos sobre el hormigón debido a las bajas temperaturas.

	-10°C	-5°C	0°C	5°C	15°C
Fresco	No hormigonar	Precauciones	Retardo		
Joven f'c < 4 MPa	Deterioro Irreversible	Evolución lenta de la resistencia			
Endurecido f'c < 4 MPa	Hum < Scrif.		Evolución lenta de la resistencia		
	Hum > Scrif. + All				
	Hum > Scrif. sin All				

El aire intencionalmente incorporado intercepta los capilares y genera los espacios para que el agua pueda expandirse sin generar daño y además colabora a reducir la permeabilidad del hormigón. En el caso del hormigón joven, el All no funciona y el único camino para protegerlo es evitar que se congele el agua.

En los casos en los que se emplean sales descongelantes para permitir la circulación del tránsito, en general el problema se agrava. La presencia de las mismas en solución puede aumentar las presiones desarrolladas al congelarse. Además, a medida que el agua se congela la concentración de sales aumenta y el agua no congelada migra por ósmosis, generando presiones que también causan fisuración, descascaramientos y desintegración.

El empleo de sales descongelantes puede generar daños por efecto físico, debido a la cristalización de las mismas dentro de la estructura de poros del hormigón por ciclos de mojado y secado y la consecuente inducción de tensiones por esta causa.

Para minimizar el riesgo de daños por congelamiento y deshielo, y por la utilización de sales descongelantes, es necesario:

- emplear relaciones agua/cemento menores que 0,40,
- contar con un buen sistema de vacíos generado por un aditivo incorporador de aire (ver Tabla 4-3 en Anexo),
- usar agregados que no sean susceptibles al daño por congelamiento,
- adoptar una resistencia característica a la compresión del hormigón no menor que 35 MPa,
- limitar el contenido de adiciones.

Además, el hormigón debe encontrarse en estado endurecido, con una resistencia a la compresión superior a los 4 MPa antes del primer ciclo de congelamiento.

En forma complementaria, se debe proyectar y mantener un adecuado drenaje que asegure el rápido escurrimiento del agua sobre el pavimento e impida su acumulación sobre la banquina, para evitar la saturación permanente del pavimento.

## ATAQUE POR SULFATOS

Los sulfatos provenientes del agua o del suelo de contacto con la estructura pueden generar reacciones expansivas y provocar la fisuración del hormigón. Los sulfatos se combinan con el aluminato tricálcico (C<sub>3</sub>A) presente en la pasta de cemento, debido al crecimiento de los cristales producto de esta reacción, se pueden generar tensiones dentro del hormigón, que puede fisurarse y llegar a disgregarse.

Según el Reglamento CIRSOC 201 del año 2005, en función de la cantidad de sulfatos solubles en el agua de contacto, existen los siguientes niveles de riesgo:

- Moderado: 150 a 1500 mg/l SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>
- Fuerte: 1500 a 10000 mg/l SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>
- Muy Fuerte: más de 10000 a 15000 mg/l SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>

El hormigón puede diseñarse, teniendo en cuenta el nivel de ataque al que estará expuesto, para resistir el ataque por sulfatos, principalmente, reduciendo la permeabilidad y la cantidad de sustancias necesarias para que se produzca la reacción con ellos. Entre las medidas a adoptar se destacan las siguientes:

- El empleo de relaciones a/c bajas y resistencias medias o altas.
- El uso de cementos especialmente formulados para su empleo en ambientes con un contenido moderado a muy fuerte de sulfatos, como los moderadamente resistentes a los sulfatos (MRS) y los altamente resistentes a los sulfatos (ARS), ambos de la IRAM 50001.
- El curado adecuado para garantizar la correcta evolución de la resistencia y reducir la permeabilidad del hormigón.

## REACCIÓN ÁLCALI-SÍLICE (RAS)

Es una reacción química entre ciertos componentes silíceos de algunos agregados minerales y las soluciones altamente alcalinas de los poros del hormigón. El producto de esa reacción, llamado gel de la RAS, absorbe agua y se expande generando presiones que pueden provocar fisuras en el hormigón y reducir su vida útil.

**Figura 4-27:** Reacción álcali-silíce.

La reacción es muy lenta y puede demorar años en manifestarse con la aparición de fisuras y, cuando esto ocurre, se dice que es deletérea.

El gel formado depende de la cantidad y tipo de material silíceo presente en el agregado y la concentración de hidróxidos alcalinos en la solución de poros del hormigón.

Algunos indicadores del deterioro producido por la RAS son las fisuras perpendiculares a las juntas, juntas cerradas o despostilladas y desplazamientos relativos de losas adyacentes.

Para que se produzca la RAS deletérea, deben darse simultáneamente tres circunstancias: un agregado potencialmente reactivo, la presencia de álcalis en cantidad suficiente y agua en forma frecuente o permanente. Si alguna de las tres condiciones indicadas no se encuentra disponible, no se puede formar el gel y, por lo tanto, no se producen expansiones deletéreas debidas a la RAS. Es por ello que la mejor manera de evitarla es a través de un



# Contenidos

## Capítulo 05 – CONSTRUCCIÓN

- Ejecución de Bases y Subbases
- Pavimentación con encofrados deslizantes
- Pavimentación con moldes fijos
- Texturizado del hormigón
- Curado
- Jointas de construcción
- Aserrado y sellado de juntas
- Hormigonado en clima riguroso
- Controles previos a la pavimentación – Checklist

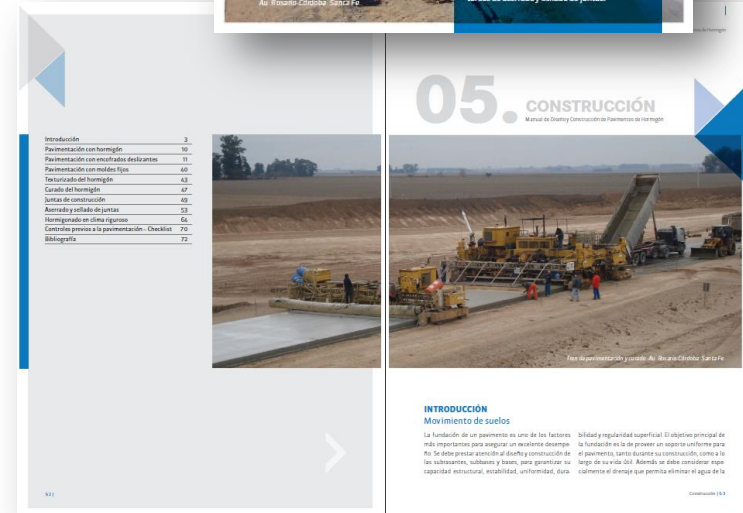




Figura 5-3: Aplanadora.



necesarias para evitar el desecado por evaporación y manipuleo, de manera de obtener una superficie densa, húmeda y bien adherida a la capa inferior.

Completada la compactación de la capa se procede al corte y perfilado final a las cotas proyectadas mediante el uso de motoniveladoras o de equipos cortadores - fresadores (trimmer - Figura 5-4). Como se verá más adelante, es esencial obtener la máxima precisión en la terminación de las canchas, en especial si se trabaja con pavimentadoras de encofrados deslizantes. La superficie final de la base debe ser plana y uniforme, libre de huellas, baches, levantamientos o cualquier tipo de cambio brusco en el nivel.

La humedad debe mantenerse cerca de la óptima antes, durante y después de las operaciones de nivelación, y hasta la colocación del pavimento de hormigón. Es conveniente en este sentido, la aplicación de un riego bituminoso para mantener la humedad y densificación alcanzada en la construcción.

Figura 5-4: Trimmer.



## BASES TRATADAS CON CEMENTO

La ejecución de bases y subbases cementadas destinadas a servir de soporte a los pavimentos rígidos, requieren la adopción de una serie de medidas dirigidas a asegurar la buena calidad de esta capa estructural. Los factores fundamentales a considerar, una vez definidos los materiales a utilizar, se pueden resumir en:

- Contenidos de cemento y humedad adecuados para alcanzar las características de resistencia y durabilidad especificadas, determinadas previamente en laboratorio. En obra se seleccionan los equipos y metodologías apropiadas que aseguren el cumplimiento de ambas condiciones;
- Mezclado preciso y uniforme de todos los materiales componentes, correctamente dosificados y con las características requeridas en cuanto a granulometría, pulverizado, homogeneidad, espesores;
- Compactación adecuada en el camino (controlando no perder la humedad de la mezcla), ejecutada dentro de los plazos de manejabilidad recomendados, que garantice la obtención de las densidades predeterminadas en los estudios de laboratorio y la uniformidad en todo el espesor de la base y;
- Curado apropiado de la capa terminada que permita mantener las condiciones de humedad durante el tiempo mínimo prescrito, de forma de asegurar la correcta hidratación del cemento y la obtención de las resistencias potenciales de la mezcla proyectada.

La correcta selección de equipos, tecnologías, métodos y prácticas de construcción permite cumplir con las premisas enunciadas. Hay dos grandes tipos de metodologías de ejecución de bases tratadas con cemento, diferenciados principalmente por el tipo de equipos utilizados en el mezclado de los materiales:

- Mezclado in situ.
- Mezclado en planta central.

La adopción de una u otra tecnología de mezcla depende del tipo y envergadura del proyecto, de los equipos y la logística que se dispongan o se especifiquen, de las características y origen de los materiales a utilizar, etc.

Para el mezclado en el camino existen en la actualidad modernos y potentes equipos recicladores (reclaimers), capaces de producir una mezcla de suelo cemento de elevada calidad por su alta eficiencia y uniformidad en la pulverización y mezcla de materiales (Figura 5-5). Por otra parte se adaptan perfectamente a las nuevas técnicas de construcción de pavimentos de hormigón, pues aportan elevadas producciones diarias, acordes a los requerimientos de los trenes de pavimentación de encofrados deslizantes. Sin embargo, estas altas prestaciones en la pulverización y mezclado deben estar complementadas con una metodología de carga, dosificación y distribución de materiales adecuada (Figura 5-6), que garantice la calidad y uniformidad de la capa cementada, así como un riguroso control del proceso constructivo y de espesores del tratamiento.

La utilización de mezclado en planta central (Figura 5-7) permite un mayor control sobre la dosificación de materiales intervinientes y una adecuada uniformidad de mezcla. No obstante, debe acompañarse con distancias y equipos

Figura 5-5: Reciclador.



Figura 5-6: Distribuidor de cemento.



Figura 5-7: Mezclado en planta central.



de transporte apropiados, para evitar demoras en la construcción de capas cementadas y además, con metodologías de distribución en el camino que garanticen un nivel de calidad acorde con los requerimientos.

En líneas generales se puede pensar que la elección de una u otra técnica de mezclado está determinada por varios factores, entre los que se encuentran el tipo y cantidad de fracciones o suelos que intervienen en la mezcla de suelo cemento. Cuando se trabaja con suelos granulares, y en especial si son producto del aporte de varias fracciones, es más conveniente el mezclado en planta central. En caso de utilizar suelos de préstamos, en general más finos, aún con el aporte de un suelo o arena correctora, y siempre que se pueda contar con equipos y métodos adecuados para la dosificación de cemento y/o correctores, la adopción de mezclado in situ con recicladores de potencia adecuada, es una alternativa viable.

Completado el proceso de mezclado y/o extendido del material, con cualquiera de los métodos indicados anteriormente, se debe proceder a la verificación de las condiciones de la mezcla en lo que refiere a humedad y granulometría, para efectuar los ajustes que resulten necesarios en el proceso de construcción antes del ingreso de los equipos de compactación.

En el caso que se empleen suelos finos, se considera que la pulverización del suelo resulta adecuada siempre y cuando la granulometría de la mezcla de suelo cemento sea tal que el 100 % del material pase el tamiz IRAM 25 mm (N° 1), y más del 80 % pase por el tamiz IRAM 4,8 mm (N° 4), excluidas

Figura 5-21: Pavimentación con doble línea guía.



Cuando se trabaja con equipos de pavimentación en anchos de faja importantes, es condición indispensable establecer el guiado físico a ambos lados de la terminadora. Lo mismo si se emplean equipos provistos de herramientas de inserción de pasadores (DBI), en los cuales se incrementa notablemente el largo del molde deslizante, lo que puede inducir a errores apreciables operando con inclinómetros o dispositivos de pendiente.

Aun en trabajos de pavimentación de pequeña envergadura o con equipos de menor porte, siempre es aconse-

Figura 5-22: Soportes guías (pines).



jable la utilización de doble guía; para asegurar los mejores resultados.

Para el posicionamiento de los hilos guía se utilizan soportes especiales, que se conocen generalmente como "pines" (Figura 5-22). Éstos consisten en un estacón metálico con un brazo que permite separar el hilo de la línea de estacas y un dispositivo para ajustarlo en altura. El cable se ubica en una muesca que posee el extremo, que lo mantiene en altura pero le permite deslizarse. Mediante un prolijo trabajo de topografía se nivelan los pines, se tiende el hilo a través de las hendiduras del brazo y se tensa fuertemente mediante malacates, para evitar su combado o deflexión. Los malacates suelen ubicarse bastante espaciados, asistiendo a tramos de cable extensos (estimativamente del orden de 300 m).

En curvas horizontales y/o verticales es habitual reducir la separación entre pines, atendiendo a que en ellas, lo que en realidad se replantea, es una serie de



Con el mismo objeto de evitar deformaciones excesivas de la guía, se limita la distancia entre pines a valores máximos recomendables de 6 m a 7 m. Esta distancia debe chequearse además, en función al tipo de material del hilo, que puede ser un cable metálico (acero galvanizado), trenzado o cuerda de material sintético o similar.

Figura 5-23: Malacate para el tensado de los hilos guía.



Figura 5-25: Sensores de alineación horizontal y vertical.

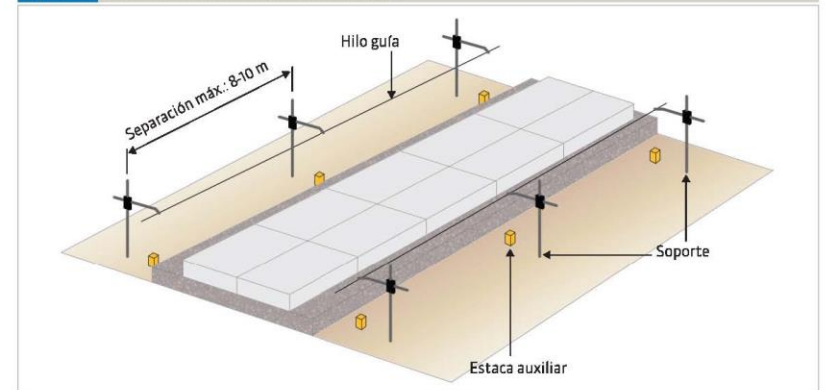


cuerdas inscriptas en la curva. En estos casos, las pavimentadoras están forzadas a realizar un ajuste del molde en cada cambio de alineamiento que, en ocasiones, pueden producir roturas o desmoronamiento de los bordes en esos movimientos. Para minimizar los defectos producidos por dichos cambios, se acostumbra disminuir la separación entre pines a valores tan bajos como sea necesario. A menor radio de giro, menor es la separación entre soportes. También resul-

ta aconsejable en estos casos atar el cable al soporte mediante un hilo delgado para asegurarse que se mantenga en posición.

Los pines y el hilo guía se colocan desplazados del borde de pavimento, para permitir el paso de las orugas del tren de pavimentación, a una distancia mínima y adecuada para un trabajo cómodo y dentro del alcance de los sensores (Figura 5-25).

Figura 5-24: Esquema de instalación típica de los hilos guía.







# Contenidos

## Capítulo 06 – CONTROL DE CALIDAD

Aseguramiento de la Calidad

Control de calidad

Calidad de los ensayos

Materiales

Dosificación y mezclado del hormigón

Ensayos sobre hormigón fresco

Ensayos de resistencia

Ensayo de testigos

Construcción de un tramo de prueba

Rugosidad / Lisura



Cuando se efectúa el control de cualquier proceso, como por ejemplo la producción de hormigón, es común utilizar gráficos de control para poder evaluar si el proceso está controlado o no, es decir, si existen tendencias en los resultados, y si éstas se encuentran dentro de la consigna.

Resulta obvio que no son deseables los valores defectuosos, ya que ellos implican la aplicación de penalidades, descuentos o directamente el rechazo, pero se debe destacar que valores muy superiores al objetivo tampoco se deben considerar satisfactorios, ya que de este modo se estaría trabajando en forma antieconómica. En síntesis, se deben cumplir las exigencias con cierto margen de seguridad, optimizando los recursos y sin detrimento de la calidad especificada.



Por ello, es importante representar gráficamente los valores obtenidos, actualizar los gráficos no bien se obtienen nuevos resultados y verificar periódicamente que las tendencias se ubiquen dentro del objetivo.

Aún para un proceso que está bajo control, los gráficos deberían permitir dar respuesta a las tres preguntas básicas siguientes:

1. ¿Se produjeron cambios significativos en el proceso?
2. ¿Cuándo se produjeron?
3. ¿De qué magnitud son?

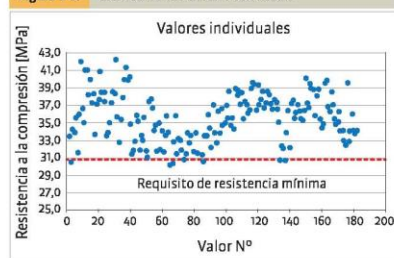
### GRÁFICOS DE VARIACIÓN INDIVIDUAL (GRÁFICO DE SHEWART)

Es uno de los gráficos de control más simple y difundido por la facilidad con la que se lo puede confeccionar, sin requerir de conocimientos específicos.

Consiste en la representación de cada uno de los resultados constatados en los ensayos en forma individual, ordenados cronológicamente a medida que se obtienen. Resulta muy útil para detectar valores excesivamente altos o bajos, pero carece de factor histórico ya que cada valor se representa en forma independiente de todos los demás, por lo que no permite visualizar en forma clara las tendencias de los resultados.

En el ejemplo que se presenta en la Figura 6-6 donde se muestran resistencias individuales a la compresión de testigos extraídos de pavimento, se observa que no resulta sencillo apreciar si se produjo algún cambio de tendencia, ni cuándo sucedió. Sólo se puede observar que algunos pocos resultados se encuentran por debajo del requisito de mínima. Sin embargo, ello no implica que se esté en esos casos en situación de penalidad ya que es usual aceptar un porcentaje determinado de valores defectuosos por lote, usualmente del 10 %.

Figura 6-6: Gráfico de variación individual.



### GRÁFICOS DE MEDIAS MÓVILES

Los gráficos de control de medias móviles permiten apreciar mejor las tendencias que el anterior. En ellos se representan, en forma cronológica, los promedios de los últimos "n" resultados. De esta manera, puede apreciarse cierto factor histórico, ya que cada punto se encuentra influenciado por los últimos n-1 resultados que lo precedieron. En el reglamento CIRSOC 201:2005 y en la norma IRAM 1666 (Hormigón de cemento Portland. Hormigón elaborado) se emplea n = 3, por lo cual resulta conveniente adoptar este valor. En general, a los valores correspondientes a la media móvil se los representa en el mismo gráfico que a los valores individuales.

En el ejemplo de la Figura 6-7 se muestran, superpuestas, las medias móviles de tres resultados de ensayo para el mismo ejemplo anterior. Queda claro que si se incluye la curva correspondiente a las medias móviles, se aprecian mejor algunas tendencias, viendo la evolución "históri-

ca", ya que la ubicación de cada punto depende no sólo de su valor absoluto, sino de los n-1 (2 en nuestro ejemplo) que lo precedieron.

Figura 6-7: Gráfico de medias móviles.



### GRÁFICOS CUSUM

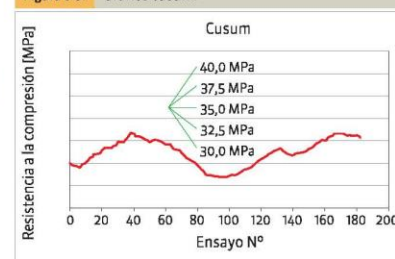
En estos gráficos no se representan los valores individuales sino la suma acumulada de las diferencias entre los valores individuales obtenidos y un cierto valor de referencia que, en general, es el valor medio esperado u objetivo de la variable analizada. El nombre CuSum proviene del acrónimo en inglés Cumulative Summation, o sumas acumuladas.

Este tipo de gráfico de control resulta mucho más poderoso para detectar tendencias, puesto que posee un fuerte factor histórico, ya que la ubicación de cada punto se encuentra influenciada por su propio valor y por el correspondiente al resto de los puntos que lo preceden.

En el ejemplo de la Figura 6-8 se adoptó como valor de referencia la resistencia media a la compresión esperada (35 MPa).

A cada valor individual se le resta el valor objetivo y se suman esas diferencias acumuladas. En el hipotético caso en que todos los resultados fueran iguales a 40 MPa habría una diferencia positiva que iría creciendo linealmente con el número de ensayos, por lo que el gráfico CUSUM sería una recta ascendente.

Figura 6-8: Gráfico cusum.



Inversamente, si los valores fueran todos iguales a 30 MPa se tiene una recta descendente y, si fueran todos iguales a 35 MPa, se obtendrá una recta horizontal.

En consecuencia, en los gráficos CUSUM lo que importa es la pendiente de la curva y no el valor de las ordenadas. Por ello, el gráfico debe siempre acompañarse de una escala (roseta) donde se indican los valores medios que corresponden a cada pendiente.

Es posible establecer un gráfico CUSUM para analizar cualquier tipo de variable, como por ejemplo los asentamientos del hormigón, el contenido de material que pasa el tamiz de 75 micrometros de los agregados, el aire intencionalmente incorporado, resistencia a la compresión a edades tempranas del hormigón, entre otros, de modo de detectar los cambios anticipadamente y actuar de forma preventiva.

Este gráfico de control permite dar respuesta a las tres preguntas básicas planteadas inicialmente, ya que indica si se ha producido un cambio significativo en el valor medio de la variable en estudio, manifiesta también muy claramente cuándo se produjo el cambio y, finalmente, posibilita cuantificar la magnitud del cambio producido. El empleo de gráficos CUSUM específicos permite también detectar cambios de tendencia en la variabilidad de los resultados en estudio.

Es muy importante realizar estos controles y mantener actualizado el procesamiento de los resultados, no sólo



## ENSAYOS SOBRE EL HORMIGÓN FRESCO



La metodología de control debe apuntar a un esquema preventivo, poniendo énfasis en los controles sobre las características y la uniformidad de los materiales componentes y la constancia en el asentamiento. La frecuencia de muestreo debe ser muy intensiva en el hormigón fresco, de modo de reducir el esfuerzo en los controles en el estado endurecido.

Los ensayos sobre hormigón fresco, por lo general suelen incluir la evaluación de la consistencia por evaluación del asentamiento, el contenido de aire, P.U.V. y temperatura. También se recomienda determinar eventualmente el tiempo de fraguado y la exudación. El Plan de Control de la calidad debe contemplar aspectos tales como:

- La frecuencia y la ubicación de la toma de muestras para los ensayos (en el frente de pavimentación, en la planta elaboradora de hormigón, etc.).
- Los procesos de actualización y gestión de los gráficos de control.
- Las acciones a tomar frente a resultados de ensayos que no cumplan las normas o especificaciones.

Figura 6-10: Probetas moldeadas en obra.



Además, se debe asegurar que la muestra tomada de hormigón fresco sea representativa.

### Toma de muestras

La muestra debe ser representativa y de tamaño suficiente. Debe ser tomada siguiendo las indicaciones de

la IRAM 1541, y cumplir los requisitos siguientes:

- Se obtiene al momento o inmediatamente luego de la descarga, evitando la porción inicial o final del pastón y/o sectores que presenten segregación.
- No debe estar alterada ni contaminada.
- La cantidad será un 40 % mayor que la necesaria, y como mínimo de treinta (30) litros.
- Se la debe colocar en un recipiente estanco, limpio y de capacidad adecuada (carretilla) y siempre remezclarse manualmente antes de su uso.

### Verificación de la relación agua/cemento

La relación agua/cemento es una de las variables más importantes en la medida que de ella depende fundamentalmente la resistencia y la durabilidad del hormigón; por ello, debe controlarse. Sin embargo, en principio, resulta difícil determinarla en forma directa sobre la mezcla de hormigón, por lo que se deben controlar y registrar sistemáticamente el proceso de dosificación, y la carga y medición de los materiales en la planta elaboradora de hormigón.

Aunque no es habitual su determinación, existe un ensayo normalizado establecido en la IRAM 1879 para la determinación de los contenidos de material cementífero, de agregados y de agua; sin embargo, esta metodología permite obtener una aproximación con cierta incertidumbre. Por tal motivo se debe poner el énfasis en la determinación de la humedad de los agregados, la introducción de esta variable en la planta y la evaluación de los asentamientos, ya que si éstos son uniformes y las humedades son las efectivamente medidas, puede concluirse que la cantidad de agua en el hormigón también es relativamente uniforme.

### Asentamiento

La determinación del asentamiento (IRAM 1536) permite evaluar y ajustar la consistencia de los pastones a las condiciones de hormigonado (humedad de los agregados, distancias de transporte, temperatura del ambiente, etc.) para obtener la trabajabilidad requerida en el frente de pavimentación.



El equipo pavimentador condiciona fuertemente el intervalo de consistencias en las que se puede lograr una colocación adecuada, ya que los asentamientos menores provocan dificultades en la compactación y defectos superficiales. En el otro extremo, asentamientos excesivos generan caídas de bordes y defectos de terminación. En ambos casos, puede verse afectada la calidad final de pavimento.

Se debe determinar diariamente, al menos en los primeros tres a cinco viajes, tanto a la salida de planta como a la descarga en el frente de trabajo, realizándolo sobre el mismo camión. Posteriormente, se puede reducir la frecuencia a una determinación cada aproximadamente 100 m<sup>3</sup> de hormigón producido.

Esta práctica es clave para evaluar la pérdida de asentamiento durante el transporte según las diferentes distancias y las condiciones climáticas, permitiendo de esta forma corregir el valor base a la salida de la planta,

Figura 6-11: Determinación del asentamiento con el cono de Abrams.



Figura 6-12: Ensayo para la determinación de la madurez.



con el objetivo de mantener uniforme el asentamiento del hormigón al frente de la pavimentadora.

### Temperatura

En el Capítulo 5 se detallaron los problemas asociados a la colocación del hormigón en climas rigurosos; entre ellos:

Tiempo caluroso:

- Aumento de la velocidad de hidratación.
- Aumento de la demanda de agua para mantener la trabajabilidad.
- Disminución del tiempo de fraguado.
- Acortamiento de la ventana de aserrado.
- Aumento del riesgo de aparición de fisuras plásticas y de origen térmico.
- Incremento de las resistencias tempranas, pero posible menor resistencia final.

Tiempo frío:

- Reducción de la velocidad de hidratación, aumentando el riesgo de fisuración plástica.
- Alargamiento de la ventana de aserrado.
- Menor resistencia a temprana edad.
- En casos extremos, riesgo de congelamiento.

La temperatura del hormigón fresco se debe determinar y registrar, como mínimo, en los dos primeros camiones en cada jornada, luego cada aproximadamente 300 m<sup>3</sup> colocados, y/o tres veces al día.

Se debe monitorear frecuentemente la evolución de las temperaturas en el pavimento colocado, y llevar un registro diario de la temperatura superficial e interior del hormigón, a fin de evaluar los saltos térmicos del mismo durante las primeras 24 o 48 horas posteriores a la colocación del hormigón.

Para evitar el riesgo de fisuración térmica, se debe proteger al hormigón para evitar los gradientes de temperatura mayores a 3 °C por hora, y a 28 °C dentro de las primeras 24 horas.



# Contenidos

## Capítulo 07 – MANTENIMIENTO Y REPARACIONES

Descripción de fallas en pavimentos rígidos

Técnicas de mantenimiento y restauración

Reparaciones de losas en Espesor Total

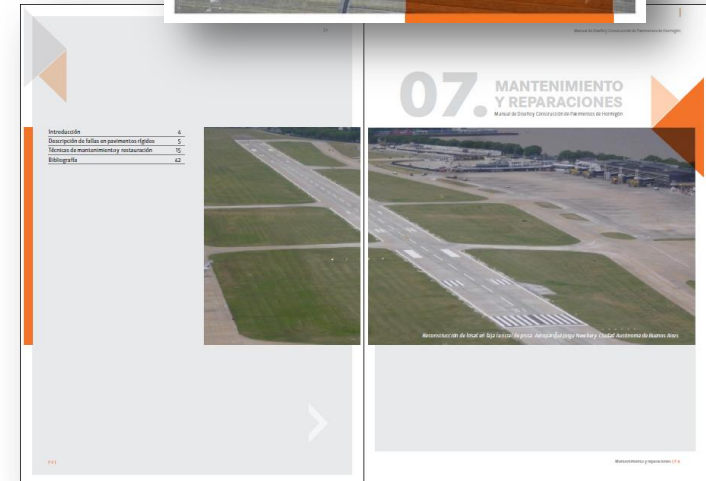
Reparaciones de losas en Espesor Parcial

Resellado de juntas y fisuras

Recolocación de pasadores en juntas y fisuras

Cosido cruzado

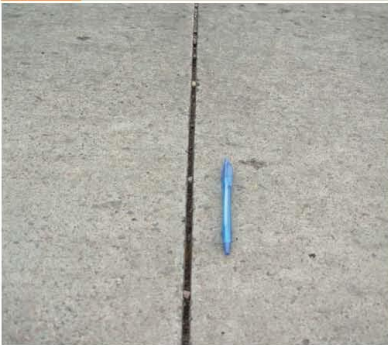
Mantenimiento de rutina





**NIVELES DE SEVERIDAD:**

- **Baja:**
  - Longitud con deficiencias de sellado < 10 % de la longitud de la junta.
- **Media:**
  - Longitud con deficiencias de sellado entre el 10 % y el 50 % de la longitud de la junta.
- **Alta:**
  - Longitud con deficiencias de sellado > 50 % de la longitud de la junta.

**Figura 7-17:** Falla del material de sellado.**Figura 7-18:** Material de sellado ausente.**TÉCNICAS DE REPARACIÓN RECOMENDADAS:**

- Sea cual fuere el nivel de severidad, se debe restituir la estanqueidad de todas las juntas mediante su resellado.
- En la operación se debe verificar que la caja disponga de un ancho compatible con la elongación admisible del producto de sellado.

**Despostillamientos de juntas o fisuras****DESCRIPCIÓN:**

Desfragmentación localizada de los labios de las juntas o fisuras.

**CAUSAS POSIBLES:**

- Entrada de materiales incompresibles en las juntas o fisuras.
- Hormigón localmente debilitado por defectos constructivos (por ejemplo: falta de compactación, aserrado prematuro de juntas, retiro de moldes en juntas de construcción) o por problemas de durabilidad.

**NIVELES DE SEVERIDAD:**

- **Baja:**
  - Ancho de despostillamiento menor de 75 mm, con o sin pérdida de material.
- **Media:**
  - Ancho de despostillamiento entre 75 mm y 150 mm, con pérdida de material.
- **Alta:**
  - Ancho de despostillamiento mayor de 150 mm, con pérdida de material.

**TÉCNICAS DE REPARACIÓN RECOMENDADAS:**

- **Severidad Baja:**
  - Relleno con material de sellado o;
  - Reparación en espesor parcial (recomendado).
- **Severidad Media:**
  - Reparación en espesor parcial.
- **Severidad Alta:**
  - Reparación en espesor parcial o;
  - Reparación en espesor total (recomendado).



Cuando el ancho de despostillamiento supera un tercio del espesor, podría estar indicando la presencia de daño en la calzada de hormigón por debajo de una profundidad de igual magnitud que el mencionado ancho, lo cual daría por agotada en tal caso la posibilidad de aplicar una reparación en espesor parcial, requiriendo en cambio la realización de una reparación en espesor total.

**Figura 7-19:** Despostillamiento de baja severidad.**Figura 7-20:** Despostillamiento de alta severidad.**Levantamiento de losas****DESCRIPCIÓN:**

Movimiento localizado hacia arriba de la superficie del pavimento en zona de juntas o fisuras, a menudo acompañado de una desfragmentación de la losa.

**CAUSAS POSIBLES:**

- Entrada de materiales incompresibles en las juntas.
- Expansiones térmicas excesivas debido a una elevada diferencia de temperatura o elevado Coeficiente de Expansión Térmica (CET).
- Inadecuado diseño de juntas en intersecciones o contra estructuras fijas.
- Expansiones por Reacción Álcali - Sílice.

**NIVELES DE SEVERIDAD:**

- No aplicable. La manifestación de esta patología es siempre de alta severidad.

**TÉCNICAS DE REPARACIÓN RECOMENDADAS:**

- Reparación en espesor total.

**Figura 7-21:** Levantamiento de losas (Blow up).**Figura 7-21:** Levantamiento de losas (Blow up).

## LIMPIEZA Y PREPARACIÓN DE LAS CAJAS

La ranura debe estar perfectamente limpia antes de colocar el pasador y el hormigón de la reparación, con el objetivo de alcanzar una adherencia adecuada con el hormigón existente, para garantizar el buen comportamiento de la reparación.

En general se utiliza un proceso similar al de la preparación para una reparación en espesor parcial. En primer término, se efectúa un sopleteado con aire a presión para obtener una superficie limpia, seca y libre de partículas sueltas. Durante la limpieza de la ranura es igualmente importante limpiar las paredes de la misma así como su base.

El paso final antes de colocar los pasadores es calafatear o sellar la junta o fisura a lo largo del fondo y los lados de la ranura. Este calafateo evita que el material de la reparación ingrese en la fisura por debajo de la junta, impidiendo, de esta forma, que la junta se cierre cuando la losa se expande en tiempo caluroso, lo que da por resultado un daño por compresión.

Figura 7-60: Limpieza de las ranuras.



## COLOCACIÓN DE LOS PASADORES

Los diámetros y características de los pasadores a usar son similares a los utilizados para la construcción de pavimentos de hormigón nuevos.

Previo a la colocación del pasador en la ranura, se necesita poner capuchones no metálicos en los extremos, a

fin de otorgar algo de libertad de movimientos a la losa para expandirse (huelgo mínimo: 6 mm a ambos lados). Se utilizan dos silletas o soportes para mantener posicionados correctamente los pasadores durante el colado del material de relleno.

Asimismo se coloca un inductor de junta compresible, que puede ser de poliestireno o fibras, y también se lubrican los pasadores con aceite u otro agente desmoldante para evitar que los mismos se adhieran al material de relleno.

Antes del colado del hormigón de relleno hay que asegurar que los pasadores estén paralelos al eje de pavimento y con una alineación horizontal correcta.

Figura 7-61: Ranuras y pasadores preparados para su instalación. [IGGA]



## COLADO DEL HORMIGÓN DE RELLENO

Cualquier hormigón apto para reparaciones parciales, sirve como material de relleno para las ranuras o huecos en los trabajos de recolocación de pasador, siempre que se utilice un tamaño máximo de agregado adecuado para que la mezcla pueda cubrir completamente al pasador.

Cuando se utilizan materiales premezclados de rápida ganancia de resistencia, se deben atender las recomendaciones del fabricante.

El diámetro de las barras de costura y la separación entre ellas se determinan en función de los esfuerzos generados por contracción térmica, y están relacionados con el espesor del pavimento, las dimensiones de losas y las condiciones de fricción entre pavimento y base.

Para este tipo de reparación, la American Concrete Pavement Association recomienda [ACPA SR903P. 2001] el empleo de barras de 20 mm de diámetro, ubicadas alternadamente con una separación de 60 cm para tránsito pesado y 90 cm para tránsito liviano. Como alternativa también es factible emplear una configuración con barras de menor diámetro, reduciendo la separación entre ellas, de manera tal que se mantenga la cuantía de acero recomendada para este tipo de reparaciones. Esto contribuye, además, a mejorar la condición de anclaje de las barras, que por contar con una longitud muy reducida, resulta un elemento crítico en el desempeño de este tipo de reparaciones.

Las barras se colocan con una inclinación de 35° respecto a la horizontal, de forma que intercepten el plano de fisuración a mitad de espesor de losa. Las perforaciones para la instalación de las barras se ejecutan alternadas, una a cada lado de la fisura o junta, utilizando dispositivos guía para mantener la posición del taladro (Figura 7-65).

Figura 7-65: Perforación a 35° para la colocación de las barras.



Previo a la colocación de la armadura se debe efectuar una limpieza con aire a presión para desalojar todo resto de polvo o material suelto del orificio (Figura 7-66).

El diámetro necesario del agujero para el anclaje de las barras depende del tipo de material usado para el anclaje. En el caso de lechadas en base a cemento, se requiere un diámetro de 5 mm a 6 mm mayor que el de la barra a colocar, mientras que los materiales epoxi necesitan solamente 2 mm adicionales.

Figura 7-66: Limpieza de las perforaciones con aire comprimido.



Figura 7-67: Perforaciones listas para la instalación de barras.



Una vez limpio se procede a la colocación del material epoxi (Figura 7-68) y luego a la inserción con cuidado de las barras, debiéndose verificar que el material de relleno recubra íntegramente las barras y observando que una pequeña cantidad sea expulsado cuando la barra se inserta completamente. Esta pequeña cantidad sirve para recubrir el extremo superior de la armadura.





# Recuadros de Información destacada

A medida que el lector avance sobre los capítulos se encontrará con recuadros de información destacada, que proporcionan:

- Puntos clave o recomendaciones destacados a través del símbolo de una lámpara con recuadro en color verde.
- Alertas destacados con un signo de admiración con recuadro en color rojo.

Adicionalmente se incluyen cuadros destacados con información complementaria que se consideró importante resaltar.



La finalidad de una base cementada es brindar aporte estructural y una superficie resistente a la erosión por bombeo. Por este motivo se debe invertir el máximo esfuerzo en lograr una adecuada terminación superficial, de manera tal que alcance la misma calidad y características que el resto del espesor, debiéndose verificar permanentemente que no se observe en superficie la presencia de material suelto o pobremente adherido, hasta su protección mediante un curado conveniente.



Siempre resulta una buena práctica para el diseño de juntas observar en la zona de implantación de la obra la existencia de vías de similares características a la que se está proyectando, y analizar las separaciones entre juntas empleadas, así como su comportamiento en servicio. De esta manera se tiene en consideración la influencia del clima, de los agregados empleados y de las condiciones de servicio.



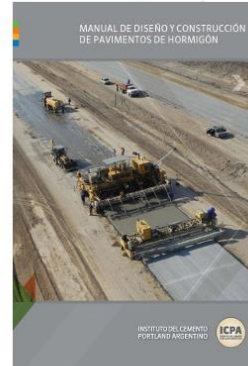
# Versión electrónica. Acceso vía web.

La versión electrónica de esta publicación puede descargarse desde la página web del ICPA en forma gratuita desde la solapa PUBLICACIONES.

Únicamente se requiere realizar una autenticación previa, que se realiza completando un formulario de registro.

El manual se encuentra disponible en forma íntegra o separado por capítulos pudiendo realizarse su descarga en forma individual.

## Publicaciones



Descargar PDF

### Manual de diseño y construcción de pavimentos de hormigón

Los pavimentos de hormigón ofrecen una larga vida en servicio, alta resistencia al desgaste y muy buena durabilidad, con un mínimo mantenimiento.

Este Manual brinda las herramientas necesarias para lograr un adecuado diseño y construcción, dando satisfacción a las necesidades del proyecto. Se encuentra dividido en siete capítulos, que comprenden cada uno de los aspectos que hacen al pavimento de hormigón: el diseño del paquete estructural, el análisis de los materiales componentes, los métodos constructivos, el control de calidad, y las prácticas de mantenimiento y reparación

Autores: Ing. Diego Calo; Arq. Edgardo Souza; Ing. Eduardo Marcolini



Descargar PDF

### Capítulo 2 - Diseño

#### Contenidos

- Suelos de subrasante
- Bases y subbases en pavimentos de hormigón
- Drenaje subsuperficial
- Estudios de tránsito
- Resistencia del hormigón de calzada
- Comportamiento de los pavimentos de hormigón
- Dimensionamiento de espesores de calzada
- Método de la Portland Cement Association 1984
- Método AASHTO 1993
- Método ACPA StreetPave



Descargar PDF

### Capítulo 3 - Juntas, intersecciones y transiciones

#### Contenidos

- Diseño de juntas
  - Desarrollo natural de fisuras
  - Tipos de juntas
  - Separación entre juntas
- Intersecciones a nivel
  - Consideraciones sobre diseño
  - Diseño de juntas
  - Determinación de la distribución de juntas
  - Rotondas
- Transiciones

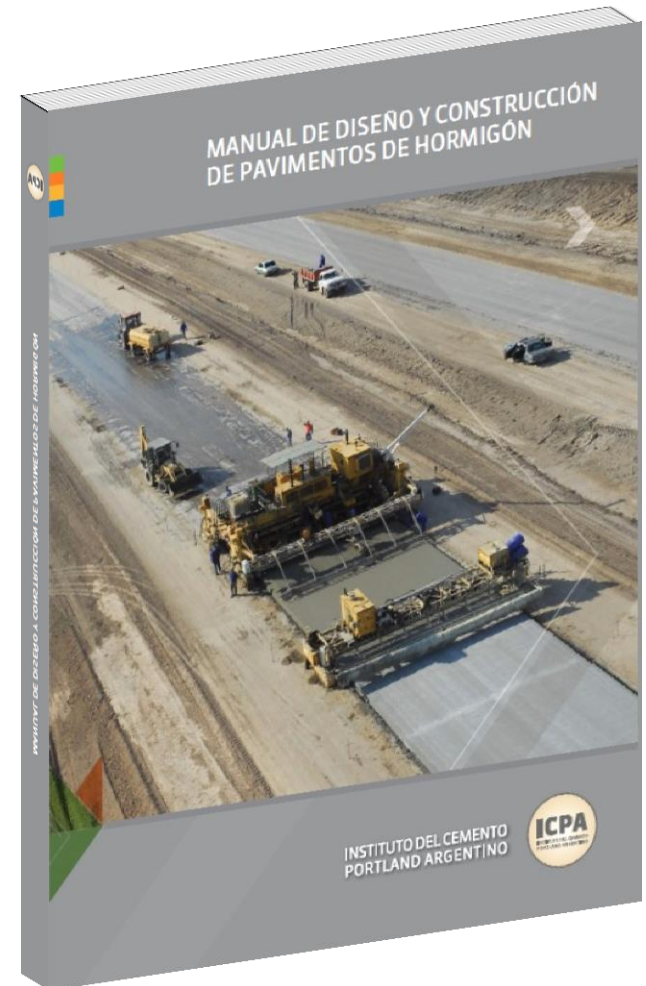


# Copias impresas

Esta primer Edición del Manual contará con una versión Impresa, la cual será distribuida en forma gratuita en:

- Dirección Nacional de Vialidad (Casa Central y Distritos)
- Vialidades Provinciales
- Universidades Nacionales
- Escuelas de Posgrado
- Asociaciones Profesionales

Otros organismos públicos que deseen disponer de una copia en forma gratuita deberán solicitarlo según el instructivo que figura en la Web.





# Difusión

Los contenidos del Manual serán presentados en la próxima Jornada de Actualización Técnica programada con la Dirección Nacional de Vialidad.

LUGAR: DNV Casa Central – Salón Auditorio

FECHA: 19 y 20 de Noviembre de 2014

DIRIGIDO A: Ingenieros y técnicos de la Dirección Nacional de Vialidad y el OCCOVI, de empresas constructoras y consultoras del Sector Vial.



## Jornadas de Actualización Técnica

“Diseño y Construcción de Pavimentos de Hormigón”

## y Presentación del

“Manual de Diseño y Construcción de Pavimentos de Hormigón”

19 y 20 DE NOVIEMBRE DE 2014

DIRECCIÓN NACIONAL DE VIALIDAD - CASA CENTRAL  
Av. Julio A. Roca 734/38  
Ciudad Autónoma de Buenos Aires  
Salón Auditorio

**ACTIVIDAD NO ARANCELADA.**  
CUPOS LIMITADOS  
Pre-inscripción al 4576-7695/90  
o por mail a [icpa@icpa.org.ar](mailto:icpa@icpa.org.ar)

DIRIGIDO A: Ingenieros y técnicos de la Dirección Nacional de Vialidad, de empresas constructoras y consultoras del Sector Vial.

DISERTANTES: Ing. Carlos Brunatti, Ing. Diego Calo e Ing. Matías Polzinetti

> DÍA 1	Miércoles 19 DE NOVIEMBRE Jornadas de Actualización Técnica “Diseño y Construcción de Pavimentos de Hormigón”	> DÍA 2	Jueves 20 DE NOVIEMBRE Jornadas de Actualización Técnica “Diseño y Construcción de Pavimentos de Hormigón”
8 <sup>00</sup> h	Acreditación	9 <sup>00</sup> a 11 <sup>00</sup> h	Construcción de Pavimentos de Hormigón Ing. Diego H. Calo
9 <sup>00</sup> h	Apertura	11 <sup>00</sup> a 11 <sup>30</sup> h	Pausa para Café
9 <sup>00</sup> a 11 <sup>00</sup> h	Materiales Componentes y Propiedades del Hormigón Ing. Matías Polzinetti	11 <sup>30</sup> a 12 <sup>00</sup> h	Pavimentos Sostenibles Ing. Carlos Brunatti
11 <sup>00</sup> a 12 <sup>00</sup> h	Pausa para Café	12 <sup>00</sup> a 14 <sup>00</sup> h	Almuerzo Libre
12 <sup>00</sup> a 13 <sup>00</sup> h	Análisis de Datos y Control de Calidad Ing. Carlos Brunatti	14 <sup>00</sup> a 16 <sup>00</sup> h	Reparación y Mantenimiento de Pavimentos Ing. Diego H. Calo
13 <sup>00</sup> a 14 <sup>00</sup> h	Almuerzo Libre	16 <sup>00</sup> a 16 <sup>00</sup> h	Cierre de la Jornada Técnica y entrega de certificados
14 <sup>00</sup> a 16 <sup>00</sup> h	Diseño de Pavimentos Rígidos Ing. Diego H. Calo	Acto de Presentación del “Manual de diseño y construcción de pavimentos de hormigón” del ICPA. (ACTIVIDAD ABIERTA AL PÚBLICO)	
16 <sup>00</sup> a 16 <sup>00</sup> h	Pausa para Café	17 <sup>00</sup> a 17 <sup>00</sup> h	Apertura. Sr. M. Enrique Romero Director del Instituto del Cemento Portland Argentino
16 <sup>00</sup> a 18 <sup>00</sup> h	Diseño de Juntas Ing. Diego H. Calo	17 <sup>00</sup> a 18 <sup>00</sup> h	Presentación del “Manual de Diseño y Construcción de Pavimentos de Hormigón”. Ing. Diego H. Calo. Coordinador del Departamento Técnico de Pavimentos
18 <sup>00</sup> a 18 <sup>00</sup> h	Preguntas y cierre de la primera jornada	18 <sup>00</sup> a 18 <sup>00</sup> h	Palabras de cierre. Sr. Nelson Periotti Administrador General de la Dirección Nacional de Vialidad
		18 <sup>00</sup> a 20 <sup>00</sup> h	Cóctel de cierre

Adhieren:



CADA PARTICIPANTE RECIBIRÁ: Carpeta con material técnico y CD con las presentaciones, Certificado de asistencia y Manual ICPA de diseño y construcción de pavimentos de hormigón en formato digital.



# Futuras actualizaciones

El objetivo fundamental es que esta publicación sea DINÁMICA, ya que se busca que sea permanentemente retroalimentada de:

- Las nuevas experiencias que se adquieran en obras
- Nuevos desarrollos e investigaciones, tanto a nivel local como internacional.
- El aporte de los distintos actores que conforman el ámbito vial.

A esto se sumará la incorporación de nuevos contenidos que se propongan incluir en las versiones futuras.

## Consultas y Sugerencias

Si desea realizar una consulta o sugerencia respecto al contenido del Manual puede hacerlo a través del siguiente formulario o por correo electrónico a la siguiente dirección [dcalo@icpa.com.ar](mailto:dcalo@icpa.com.ar)

Nombre y Apellido:

Empresa:

Email:

Ciudad:

Provincia:

País:

Consultas y sugerencias:

ENVIAR

Cancelar





# Próximas Publicaciones

Siguiendo un programa de trabajo similar al empleado para la conformación de este manual, se encuentran en elaboración las siguientes publicaciones:

- Pavimentos Urbanos de hormigón (Junio 2015).
- Guía para el Proyecto y Ejecución de Recubrimientos de Hormigón (Marzo 2016).





# Gracias

---

**ING. DIEGO H. CALO**  
COORDINADOR  
DEPARTAMENTO TÉCNICO DE PAVIMENTOS  
[dcalo@icpa.com.ar](mailto:dcalo@icpa.com.ar)