

Nueva Metodología para el Diseño de Pavimentos de Hormigón ACPA StreetPave

Ing. Diego H. Calo
Coordinador del Departamento Técnico de Pavimentos
Instituto del Cemento Portland Argentino

Recientemente la American Concrete Pavement Association (ACPA) ha desarrollado una nueva herramienta para el diseño estructural de pavimentos de hormigón en arterias de bajo volumen de camiones. Esta metodología de verificación es una versión actualizada y revisada del Método de la Portland Cement Association (PCA) ^[1], la cuál ha sido orientada esencialmente al dimensionamiento de pavimentos rígidos en vías urbanas y rurales de bajo tránsito pesado.

Esta herramienta ha sido lanzada mediante un nuevo software de diseño que, además de determinar el espesor de calzada de hormigón necesario, incorpora recomendaciones para el dimensionamiento de las juntas del pavimento, permite efectuar análisis de sensibilidad de distintas variables y cuenta con la posibilidad de calcular una estructura flexible equivalente; para luego efectuar un análisis del ciclo de vida de ambas alternativas.

Además de su actualización, el objetivo del nuevo desarrollo fue realizar una revisión de la metodología orientándola básicamente al dimensionamiento de vías de bajo tránsito pesado. Asimismo, debido a que se consideró que para reducidos volúmenes de tránsito pesado, el método de la PCA suele brindar resultados conservadores en comparación con otros métodos de verificación, una de las premisas establecidas fue la de detectar aquellos parámetros que pudieran conducir a posibles sobredimensionamientos.

Desarrollo de la Metodología. Nuevo Modelo de Fatiga ACPA StreetPave

El método de la Portland Cement Association, basa su análisis en la verificación de los dos principales modos de falla de los pavimentos rígidos. El criterio de Fatiga es el que permite mantener los esfuerzos del pavimento, producidos por la acción repetitiva de cargas, dentro de los límites de seguridad y con ello prevenir el agrietamiento por fatiga. En tanto que el criterio de Erosión, se ocupa de limitar los efectos de la deflexión del pavimento en bordes, juntas y esquinas de las losas, controlando así la erosión de los materiales de las capas inferiores.

Para bajos volúmenes de tránsito pesado, el criterio de fatiga suele ser el determinante en el diseño, en tanto que por el contrario, para elevado tránsito pesado, el criterio de erosión es el que gobierna el espesor mínimo requerido.

El modelo de fatiga de la PCA, se encuentra basado en información originada en ensayos de fatiga en vigas, desarrollados durante la década del 50 y 60. La curva de verificación derivada y adoptada por el modelo, corresponde a la curva envolvente del límite inferior de las repeticiones admisibles para cada relación de tensiones, incorporando mediante esta práctica un nivel alto de confiabilidad en la verificación de este parámetro.

A raíz de esto es que la ACPA encomendó un trabajo de investigación [2] para expandir, mejorar y ampliar el modelo de Fatiga de la PCA, incluyendo la confiabilidad como parámetro para la predicción de la fisuración en pavimentos de hormigón. De esta manera, a diferencia del método de la PCA, en el cual existía una única curva de fatiga, en la nueva metodología, la misma se encuentra determinada por el diseñador, al momento de seleccionar el valor de Confiabilidad acorde con el tipo de vía que dimensionará.

En la siguiente figura se representa el modelo de Fatiga ACPA StreetPave, junto con la representación de una serie de curvas correspondientes a distintos valores de Confiabilidad. También se encuentra representada la curva de la PCA, en la cual puede observarse que, en el rango de relación de tensiones usualmente empleado en las verificaciones (0,5 a 0,8), la misma resulta muy similar a la curva correspondiente a la del 90% de Confiabilidad del Modelo ACPA StreetPave.

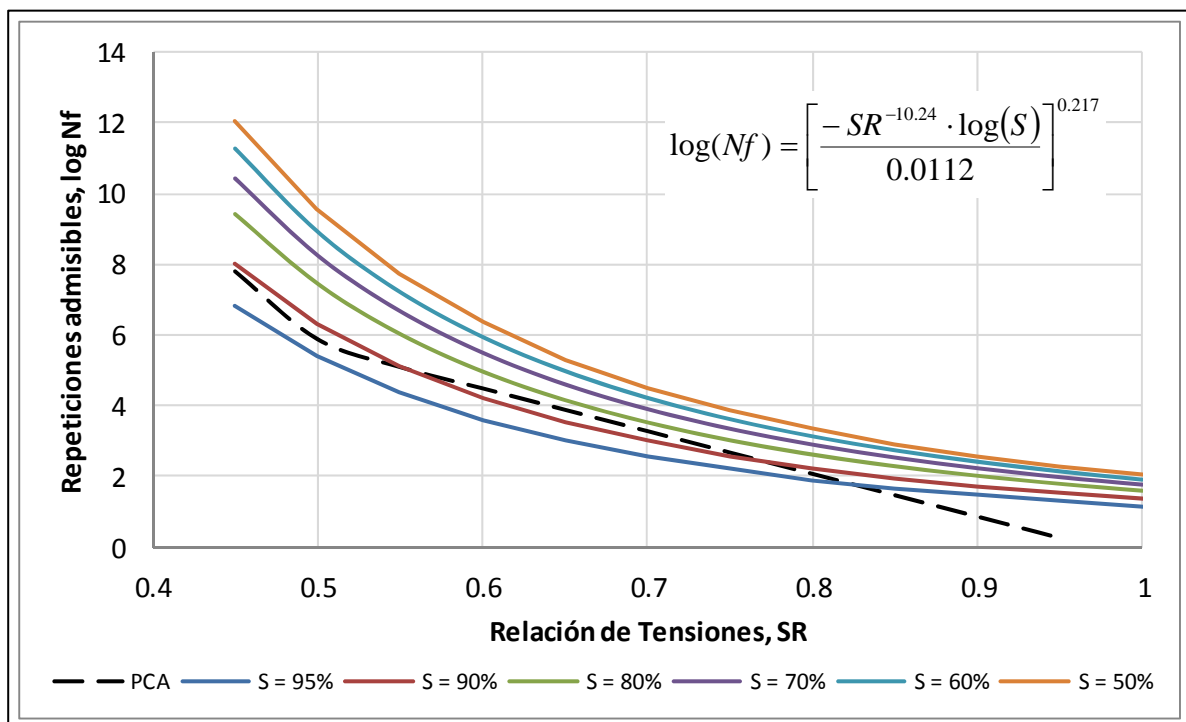


Figura N° 1. Curvas de Fatiga ACPA StreetPave para distintos valores de Confiabilidad

Análisis de las características de diseño

El nuevo método de verificación guarda muchas similitudes con el método de la PCA, e incluso emplea prácticamente las mismas variables de entrada durante el proceso de diseño. El único cambio significativo en este sentido es que, aparecen la Confiabilidad y el Porcentaje de losas aceptable al final de la vida útil; en reemplazo del Factor de Seguridad de Cargas, que involucraba un mayoramiento de las mismas en la verificación.

Se resume a continuación una síntesis del análisis de cada una de las variables de entrada que emplea la metodología para la verificación estructural del pavimento.

Subrasante

A diferencia de otro tipo de pavimentos, la capacidad estructural de los pavimentos rígidos, se encuentra principalmente proporcionada por la calzada de hormigón, ya que gracias a su propia rigidez, la misma se encarga de distribuir las solicitaciones en mayores superficies, reduciendo de esta manera los esfuerzos transmitidos a las capas inferiores.

Esta particularidad hace que no sea necesario que un pavimento de hormigón se encuentre fundado sobre un asiento de elevada resistencia, sino que resulta suficiente con que el mismo sea homogéneo, estable y permanente. Para que un pavimento rígido presente un desempeño adecuado, se deberán encontrar adecuadamente atendidas las 3 fuentes principales de heterogeneidad en el apoyo: pérdida de soporte por erosión (bombeo), hinchamientos por congelamiento y presencia de suelos expansivos.

Para esta metodología la capacidad soporte de la subrasante se encontrará cuantificada a través del módulo resiliente “Mr”, brindando la posibilidad de determinar dicho valor e incorporarlo directamente al procedimiento de verificación; o estimarlo por correlación con otros ensayos de rutina, como por ejemplo el de Valor Soporte Relativo (CBR). El procedimiento de estimación es válido ya que no se requiere una determinación exacta del “Mr”, puesto que variaciones pequeñas del mismo no afectarán significativamente el espesor del pavimento.

A título informativo la metodología presenta valores característicos de módulo resiliente Mr y de reacción k de distintos tipos de suelos que comúnmente pueden presentarse a nivel de subrasante, según se reproduce en la siguiente tabla.

Tabla N° 1: Tipos de Suelo y Valores aproximados de k y Mr ^{[3][4]}

Tipo	Capacidad Soporte	Módulo Resiliente, Mr (MPa)	Módulo de Reacción, k (MPa/m)
Suelos finos con importantes cantidades de limo/ arcilla	Baja	9.9 – 16.7	20 – 34
Arena y Grava-arena con moderadas cantidades de limo / arcilla	Media	17.2 – 24.1	35 – 49
Arena y Grava-arena con poca cantidad de limo / arcilla	Alta	24.6 – 29.6	50 – 60

Debe tenerse presente que la metodología requiere incorporar para la subrasante la capacidad soporte de la última capa de suelo (sin tratar) sobre la cual se construirá la estructura del pavimento. Si se contempla en el proyecto el tratamiento de la subrasante con agentes estabilizantes, se deberá incorporar a la capa de suelo tratado, como una capa de subbase separada en la estructura del pavimento.

Subbase

En general, si se cuenta con un suelo de subrasante uniforme y estable, solo resultará obligatoria la incorporación de una subbase no erosionable, en el supuesto caso que se encuentre prevista la circulación de vehículos pesados. En estas situaciones, la subbase más que una contribución estructural, cumplirá la función de prevenir la erosión por bombeo en la interfase losa – apoyo.

Además de la situación citada anteriormente, la incorporación de una capa de subbase al sistema brindará, como beneficio adicional desde el punto de vista constructivo, la conformación de una plataforma de trabajo adecuada, no susceptible a las condiciones climáticas reinantes y apta para la circulación de los vehículos de obra.

La incorporación de una o más capas especiales para la conformación de la estructura de apoyo de la losa, involucrará además un incremento de la capacidad soporte de la misma, que debe considerarse durante el procedimiento de diseño.

Para ello, la metodología brinda diferentes tablas para cada tipo de subbase (granular, tratada con cemento, o tratada con asfalto), mediante las cuales, conociendo el módulo de reacción de la subrasante y el espesor de subbase empleado; se determina el módulo de reacción combinado Subrasante / Subbase.

En el caso que se emplee más de una capa de subbase, se requerirá entonces que este procedimiento sea reiterado, desde la subrasante hacia el nivel del apoyo de la calzada, hasta obtener el módulo de reacción combinado de la subrasante con el resto de las capas especiales que conforman la fundación del pavimento de hormigón.

Tabla N° 2: Valores típicos de k combinado subrasante- subbase para subbases no tratadas^[3]

Valor k de la subrasante [MPa/m]	Espesor de la subbase con módulo entre 100 y 500 MPa			
	100 mm	150 mm	230 mm	305 mm
27,0	28,6 - 34,5	31,1 - 40,9	35,6 - 51,1	39,9 - 60,7
40,5	40,8 - 49,3	43,5 - 57,2	48,7 - 69,9	53,8 - 81,8
54,0	54,0 - 63,6	55,2 - 72,6	60,8 - 87,3	66,5 - 101,1

Tabla N° 3: Valores típicos de k combinado subrasante- subbase para subbases tratadas con asfalto ^[3]

Valor k de la subrasante [MPa/m]	Espesor de la subbase con módulo entre 275 y 6900 MPa			
	100 mm	150 mm	230 mm	305 mm
27,0	32,3 - 47,0	36,9 - 63,8	44,7 - 92,1	52,0 - 120,4
40,5	46,0 - 67,2	51,7 - 89,3	61,1 - 126,0	70,0 - 162,1
54,0	59,3 - 86,6	65,6 - 113,3	76,3 - 157,3	86,5 - 200,3

Tabla N° 4: Valores típicos de k combinado para subbases tratadas con cemento o de hormigón pobre ^[3]

Valor k de la subrasante [MPa/m]	Espesor de la subbase con módulo entre 3500 y 13800 MPa			
	100 mm	150 mm	230 mm	305 mm
27,0	43,4 - 51,0	56,9 - 71,8	79,1 - 107,6	100,9 - 144,2
40,5	62,0 - 72,9	79,6 - 100,4	108,2 - 147,2	135,9 - 194,2
54,0	79,9 - 93,9	101,0 - 127,4	135,1 - 183,7	167,8 - 239,9

Calidad del hormigón. Propiedades mecánicas

Dado que los pavimentos de hormigón se encuentran solicitados a la flexión, el parámetro resistente que interesa en este tipo de estructuras es la resistencia a la flexión, determinada en vigas de 15 x 15 x 55 cm con el ensayo de carga en los tercios (Norma IRAM 1547), que comúnmente se conoce como módulo de rotura, MR.

Este factor es sumamente importante en el criterio de fatiga, ya que permite controlar la fisuración del pavimento bajo la acción repetitiva de las cargas de tránsito, requiriéndose para la etapa de diseño la determinación de este parámetro a la edad de 28 días.



Figura N° 2. Ejecución de la calzada de hormigón en vía urbana con Tecnologías de Alto Rendimiento.

Además del desempeño estructural del pavimento frente a cargas, otro aspecto que debe tener en consideración el proyectista al momento de seleccionar la calidad del hormigón de la calzada, es el aseguramiento de las condiciones de durabilidad durante la vida útil.

Las condiciones de durabilidad son las que establecerán los parámetros mínimos de resistencia del hormigón, a emplear en la fase de dimensionamiento de la estructura ya que, a partir de la condición de exposición, se encontrará definida la relación agua – cemento máxima y si fuera necesario, el empleo de aire intencionalmente incorporado en la mezcla de hormigón. En la Tabla N° 5, se resumen distintas condiciones de exposición contempladas en el CIRSOC 201-2005^[5] y los requisitos de resistencia mínima que dicha publicación establece.

Se destaca que para la primera condición de exposición incorporada a la tabla, en la cuál no se encuentra previsto un ambiente agresivo, el CIRSOC 201 no establece ningún valor de resistencia mínima o relación agua - cemento máxima, para las estructuras de hormigón en general. Sin embargo, considerando que los pavimentos son estructuras que, además de la agresividad del medio, deben resistir la abrasión generada por el tránsito, manteniendo durante su vida útil las características de fricción provistas durante la construcción, se sugiere para pavimentos de calles, avenidas, rutas y autopistas, el empleo de hormigones clase H-30 o superior.

Tabla N° 5: Requisitos de Durabilidad para distintas condiciones de exposición (Fuente: CIRSOC 201-2005^[5])

Tipo de exposición	Máxima relación a/c	Resistencia característica mínima [MPa]
Ambiente no agresivo / normal / cálido y húmedo	0,50 *	30 *
Congelamiento y deshielo (sin sales descongelantes) **	0,45	30
Congelamiento y deshielo (con sales descongelantes) **	0,40	35
Exposición moderada a sulfatos solubles (0,10 a 0,20 % en masa)	0,50	30
Exposición severa a sulfatos solubles (0,20 a 2,0 % en masa)	0,45	35

* Sin requisitos - Valor sugerido.

** Debe incorporarse intencionalmente aire en la cantidad requerida.

Nota: Si se emplean una o varias adiciones minerales activas incorporadas directamente en planta elaboradora, se podrá reemplazar la relación agua/cemento por la relación agua/materiales cementicios que tenga en cuenta la suma del contenido unitario de cemento portland y de la cantidad de adiciones minerales activas.

Una vez especificada la clase de hormigón a utilizar deberá determinarse la resistencia a compresión media correspondiente. Para ello, podemos utilizar la siguiente fórmula:

$$f'_{cm} = f'_{ck} + s \cdot Z$$

Siendo:

f'_{cm} : Resistencia a compresión media, MPa.

f'_{ck} : Resistencia a compresión característica, MPa.

s: Desvío Estándar

Z: Valor Z para distribución normal, según la confiabilidad adoptada (ej: Para R= 90%, Z=1,282).

Luego, a partir de la resistencia media a compresión, se determinará la resistencia media a flexión M_r correspondiente. Para aquellas situaciones donde no se cuentan con antecedentes de aplicación recientes que permitan inferir la relación Flexión- compresión a obtener con los materiales a emplear en obra, puede emplearse la siguiente relación^[6]:

$$MR (MPa) = K \cdot \sqrt{f'_c} (MPa)$$

Donde: $K= 0,7$ para agregados naturales (redondeados) y $0,8$ para agregados triturados

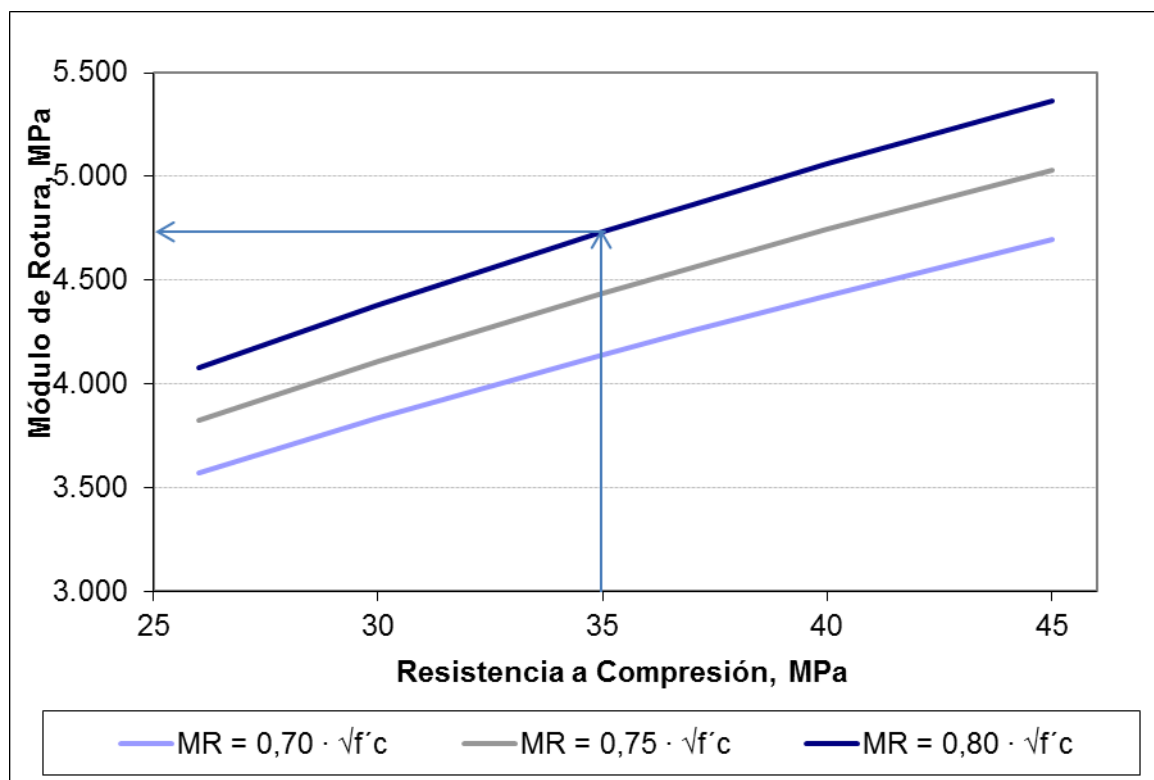


Figura N° 3: Correlación entre la resistencia a la compresión y flexión del hormigón a 28 días de edad^[6].

Período de diseño

El periodo de diseño es la vida útil teórica del pavimento antes que alcance un nivel determinado de deterioro o de pérdida de serviciabilidad, cuando requerirá una rehabilitación mayor o reconstrucción. Usualmente, para pavimentos rígidos, se suelen emplear periodos de diseño de 20 a 40 años.

El período de diseño afecta el espesor del pavimento ya que éste determina cuántos años y por lo tanto, cuántos camiones deberá soportar la estructura durante la prestación de servicio. La selección del período de diseño para cada proyecto específico estará fundamentada por un criterio ingenieril y el análisis económico respectivo del costo del pavimento y el servicio requerido durante todo el periodo.

Tránsito. Configuración de cargas por eje

La cantidad y carga de ejes pesados que actuarán durante el período de diseño, es uno de los factores más importantes en el procedimiento de cálculo del espesor del pavimento. Estos parámetros son los que en mayor medida inciden en el espesor de diseño de la calzada y se estiman sobre la base de:

- TMDA (Tránsito Medio Diario Anual) y % de camiones o TMDA de vehículos pesados.
- Cargas de los ejes de los vehículos pesados.

El TMDA se obtiene en base a censos de tránsito y se considera el TMDA presente o actual. El tránsito de diseño se estima a partir del TMDA presente y el crecimiento previsto durante el período de diseño. Los factores que influyen en las tasas de crecimiento anual y en la proyección del tránsito durante el período de análisis son los siguientes:

- Crecimiento normal del tránsito: incremento debido a un mayor número y uso de los vehículos.
- Tránsito atraído: incremento del tránsito debido a las mejoras del camino existente.
- Tránsito generado: incremento debido al mayor número de viajes que no hubiesen sido efectuados si los nuevos medios no hubiesen sido construidos.
- Tránsito desarrollado: incrementos debido a cambios en el uso de la tierra por la construcción de la nueva vía.

Los efectos combinados en los 4 factores antes mencionados darán como resultado tasas de crecimiento anual que usualmente oscilan entre el 2 y el 6 %. Ante situaciones no muy definidas de la tasa de crecimiento, es conveniente adoptar valores superiores a los esperados, teniendo en cuenta que el porcentaje de aumento de camiones siempre resulta algo inferior al de los vehículos livianos.

La cantidad de vehículos pesados por día en ambas direcciones o su porcentaje respecto del TMDA es utilizada en el procedimiento de diseño. Se incluye en esta categoría solamente a los camiones de seis ruedas o más y no incluye a ningún tipo de vehículo de cuatro ruedas (camionetas, furgones, utilitarios, etc.).

Esta metodología considera en forma directa las cargas por eje en sus diferentes combinaciones (Simple, Doble y Triple) que solicitarán el pavimento. El método de cálculo considera 4 categorías de arterias (Calles Residenciales, Calles Colectoras, Arterias Menores y Arterias Mayores) proponiendo para cada una de ellas distintas configuraciones de carga por eje.

Si bien disponer de valores por defecto de distribuciones de carga por eje, simplifica el análisis, debe tenerse presente que estos valores surgen de valores estadísticos determinados en los Estados Unidos, que no son necesariamente representativos de las condiciones presentes en la zona de implantación.

Considerando que las cargas de tránsito son una de las principales variables en estudio, y las que en mayor medida inciden en el espesor de diseño resultante, se recomienda estudiar las cargas por eje previstas con detenimiento. Y aún en aquellos casos que no se dispongan de censos de cargas específicos, resultará una mejor práctica analizar distintas hipótesis de carga posibles, considerando la distribución por configuración de ejes de aquellos vehículos que solicitan al pavimento y previendo para los mismos distintas condiciones de sollicitación.

Proporción de vehículos pesados en el Carril de diseño

Distribución de Vehículos Pesados por Sentido: En la mayoría de los diseños, se asume que los pesos y volúmenes de camiones que circulan en cada sentido son similares, donde cada dirección tomará aproximadamente la mitad del tránsito pesado (distribución 50-50). Esta suposición puede no cumplirse para algún proyecto específico, donde por ejemplo, gran parte de los camiones circulen en una dirección cargados, retornando vacíos en la dirección contraria. En estos casos, deberá tenerse siempre presente que la condición a incorporar en la verificación deberá ser la correspondiente al carril que recibe la mayor sollicitación.

Distribución de Vehículos Pesados por Carril: Cuando se cuenta con 2 o más carriles por sentido, resulta necesario estimar la proporción de camiones que circularán por la trocha derecha (trocha más cargada) respecto del total que circula en la misma dirección. La siguiente tabla resume los porcentajes de camiones que se recomienda considerar para el carril derecho en función del número de trochas por sentido.

Tabla N° 6: Proporción de vehículos pesados en el carril derecho ^[3]

Numero de carriles por sentido	Distribución recomendada de VP en el carril derecho	Rango recomendada de VP en el carril derecho
1	100%	100%
2	90%	80% - 100%
3	70%	60% - 80%
4	50%	40% - 75%
5	40%	30% - 60%

Transferencia de cargas en juntas transversales y bordes

La transferencia de carga es la aptitud de una junta para transmitir parte de la carga aplicada a una losa vecina, permitiendo reducir significativamente las tensiones y deflexiones generadas por acción de las sollicitaciones. La misma puede efectuarse a través de las juntas transversales y los bordes de calzada. Al efecto suelen considerarse los siguientes mecanismos de transferencia de cargas:

En Juntas Transversales:

Trabazón entre agregados.

Pasadores de acero.

Soporte de Bordes:

Banquina de hormigón vinculada.

Cordón cuneta.

Sobreanchos de calzada.

Para las juntas transversales, se encuentra en general aceptado que, en vías de bajo volumen de tránsito pesado, no resulta obligatoria la incorporación de pasadores para incrementar la eficiencia de la transferencia de carga. Sin embargo, si se encuentra prevista la circulación frecuente de vehículos pesados, será conveniente considerar la incorporación de pasadores en las juntas transversales de contracción.

En el caso de los bordes de calzada deberá analizarse las condiciones de soporte en zona de bordes. Para considerar que existe dicha contribución estructural, el pavimento deberá contar con una banquina de hormigón o cordón cuneta vinculado a los bordes de calzada, ó eventualmente disponer un sobreancho estructural de al menos 50 cm que permita alejar el borde de la zona de aplicación de cargas.

En aquellos casos en los que se cuenta con cordón integral, la contribución estructural del cordón dependerá específicamente de que el mismo se construya monolíticamente con la calzada, situación que en general no es frecuente, dado que en la mayoría de los casos, el cordón se construye en una segunda etapa, no generando contribución estructural alguna.



Figura N° 4. Calzada de hormigón con sobreancho en carril externo y banquetas de hormigón vinculadas

Confiabilidad. Porcentaje de Losas Fisuradas

Tal cuál se mencionó anteriormente, el procedimiento de diseño incorpora la Confiabilidad como una variable de entrada. Este valor no es otra cosa que un factor de seguridad, y representa la probabilidad estadística que un pavimento alcance las condiciones previstas en el diseño al final de su vida útil. Desde otro punto de vista, también establece la porción del pavimento que se encontrará en condiciones de continuar sirviendo al tránsito al final del período de diseño.

El valor de confiabilidad a emplear en la verificación es una variable que debe ser determinada por el comitente de los trabajos, ya que la misma se encontrará asociada al costo de los mismos. En la Tabla N° 7 se presentan distintos rangos de Confiabilidad sugeridos en función del tipo de vía a dimensionar.

Tabla N° 7: Confiabilidad recomendada según el tipo de vía ^[3]

Clasificación Funcional del Camino	Confiabilidad Recomendada	
	Urbano	Rural
Interestatales, Autopistas	85 - 99	80 - 99
Arterias Principales	80 - 99	75 - 95
Calles Colectoras	80 - 95	75 - 95
Calles Residenciales y Rutas locales	50 - 80	50 - 80

El procedimiento de diseño también incorpora el porcentaje de losas fisuradas como otra variable a evaluar, y representa para el proyectista el valor admisible de losas fisuradas al final del período de diseño. En la tabla N° 8 se presenta el valor sugerido para distintos tipos de arterias.

Tabla N° 8: Porcentaje de Losas Fisuradas aceptable al final de la vida útil ^[4]

Tipo de Camino	Porcentaje aceptable de Losas Fisuradas al Final de su Vida Útil
Autopistas, Rutas	5%
Arterias Menores	10%
Calles Colectoras	15%
Calles Residenciales	25%

En función del valor de Confiabilidad y del porcentaje de losas fisuradas que se adopte, surgirá un valor de porcentaje de losas más probable al final de la vida útil, que es el valor que finalmente la metodología utilizará para definir la curva de fatiga a emplear en la verificación.

Para ejemplificar el tema, si consideramos una confiabilidad del 80% y determinamos como aceptable 15% de losas fisuradas al final de la vida útil, estamos fijando una probabilidad del 20% de tener un 15% de losas fisuradas luego del período en servicio. Mediante la siguiente fórmula puede determinarse el valor más probable de losas fisuradas al final de la vida útil, que en este ejemplo sería del 6%.

$$\text{Valor Probable} = (100\% - \text{Confiabilidad}) \cdot \text{Losas Fisuradas} / 50\%$$

Procedimiento de verificación

Una vez analizadas todas las variables, estamos en condiciones de incorporarlas a la metodología para la determinación del espesor de calzada más adecuado. Este método de diseño, al igual que el procedimiento de la PCA, determina para cada espesor de calzada propuesto, y en función de las condiciones de proyecto previamente descritas, las repeticiones admisibles para cada carga de ejes simples, dobles y triples, tanto para el criterio de fatiga como de erosión. La relación entre las repeticiones esperadas de cada eje y las admitidas, constituye el consumo de fatiga o daño por erosión específico para cada uno de las cargas previstas.

El espesor tentativo no será adecuado si la sumatoria de los consumos de fatiga o erosión individuales para las cargas previstas supera el 100 %. En este caso, se deberá adoptar un espesor mayor y repetir todo el procedimiento de diseño, hasta que los mismos no superen el 100 %. Si estos valores están muy por debajo del 100 % se procederá en forma inversa, disminuyendo el espesor tentativo hasta acercarse lo más posible al límite máximo del 100 %, tanto para Fatiga como para Erosión. El espesor de pavimento se adoptará al centímetro superior mas cercano.

Esta nueva herramienta ha sido lanzada mediante un nuevo software de diseño que puede adquirirse accediendo al sitio web de la American Concrete Pavement Association (www.pavement.com). Adicionalmente, también en este mismo sitio pueden realizarse, en forma libre y gratuita, verificaciones on-line accediendo a través de la siguiente dirección:

<http://www.pavement.com/streetpave/Default.aspx>

Bibliografía

1. Thickness Design for Concrete Highways and Street Pavements – Portland Cement Association. EB109P – 1984.
2. L. Glover, J. Mallela, M. Darter, G. Voigt, S. Waalkes. Enhanced Portland Cement Concrete Fatigue Model for StreetPave. 2005.
3. StreetPave, American Concrete Pavement Association. Design Software. MC003P. 2005.
4. Design of Concrete Pavement for Streets and Roads. American Concrete Pavement Association. 2006. IS184P
5. Reglamento CIRSOC 201-2005 "Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón". INTI – CIRSOC (En discusión Pública).
6. WinPAS User Manual, Simplified Design Guide for Windows Pavement Analysis Software. American Concrete Pavement Association. MC016P. 2000.
7. Design and Construction of Joints for Concrete Highways. American Concrete Pavement Association. TB010P. 1991.