



MOPI 25
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
AÑOS
CARRAS QUE UNEN COLEGIOS

ORD.: N° **9371**

ANT.: No existe antecedente.

MAT.: Difusión nuevas tecnologías y especificaciones técnicas.

INCL.:

- Anexo 1: Método de diseño de pavimentos de hormigón con losas de espesor optimizado.
- Anexo 2: Hormigonado de pavimento en tiempo frío.
- Anexo 3: Método de medición de madurez.
- Anexo 4: Especificación técnica pavimento de hormigón delgado de cemento hidráulico con fibra estructural.
- Anexo 5: Especificación técnica pavimento de hormigón delgado de cemento hidráulico.
- Anexo 6: Especificación técnica subbase granular CBR \geq 50% para pavimento de hormigón delgado.
- Anexo 7: Especificación técnica geotextil para pavimento de hormigón delgado.
- Anexo 8: Especificación técnica estación de monitoreo.

SANTIAGO,

10 AGO 2012

DE : DIRECTOR NACIONAL DE VIALIDAD

A : SEGÚN DISTRIBUCION

Los grandes avances en pavimentos de hormigón han permitido disminuir sustancialmente los espesores mediante la aplicación del nuevo método de diseño de pavimentos de hormigón con losas de espesor optimizado y mejorar las prácticas constructivas mediante la incorporación de complementos a las especificaciones técnicas vigentes en el Manual de Carreteras.

Dado que es necesario agilizar los procesos de innovaciones, mejoramiento y complementación de especificaciones técnicas en el ámbito vial y que el comportamiento observado ha sido satisfactorio en los contratos en que se han incorporado las propuestas del presente documento, se estima pertinente difundir en forma transversal las nuevas tecnologías y especificaciones técnicas para ser incluidas en los proyectos de pavimentación de la Dirección de Vialidad.

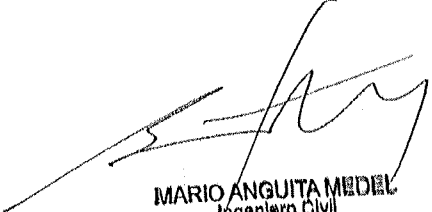
Por lo tanto, todo proyecto de pavimentación de hormigón con losas de espesor optimizado (hormigón delgado) con y sin fibra se debe diseñar según la metodología que se indica en el Anexo N°1 del presente documento e incluir el pago de la patente industrial que considera la construcción de pavimentos con esta técnica.

Lo referente a hormigonado en tiempo frío, método de medición de madurez y cancha de calibración (indicada en Anexos N°4 y N°5) se deben incluir en todo proyecto de pavimento de hormigón delgado o tradicional.

La instalación de estaciones de monitoreo debe ser incluida en todo proyecto de pavimentación asfáltica o de hormigón que se encuentre en zonas climáticas en las que no se disponga de estos antecedentes, lo cual deberá ser definido en conjunto con el Departamento Laboratorio Nacional de Vialidad.

Finalmente, se deja establecido que las especificaciones técnicas incluidas en el presente documento corresponden a especificaciones tipo, por lo cual deben ser adecuadas a cada proyecto o contrato en los puntos que se indica en cada una de ellas.

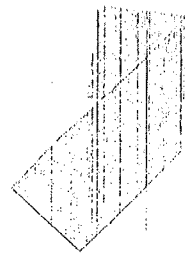
Saluda atentamente a Ud.,


MARIO ANGUIITA MEDEL
Ingeniero Civil
Director de Vialidad (S)


MFR/HPH/VRH/MSR/ASC/MLZ
DISTRIBUCION

- Subdirector de Obras D.V.
- Subdirector de Mantenimiento D.V.
- Jefe División de Ingeniería D.V.
- Jefe División de Vialidad Urbana D.V.
- Director Regional de Vialidad, Regiones XV, I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, XIV, X, XI, XII y RM
- Jefe Departamento de Construcción D.V.
- Jefe Departamento de Conservación D.V.
- Jefe Manual de Carreteras
- Jefe Laboratorio Nacional de Vialidad D.V.
- Jefe Departamento Proyectos Viales Interurbanos, División de Ingeniería D.V.
- Jefe Departamento Proyectos Viales Urbanos, DIVU.
- Jefe Depto. Estudios, DRV Regiones XV, I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, XIV, X, XI, XII y RM
- Jefe Laboratorio Regional, Regiones XV, I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, XIV, X, XI, XII y RM
- Jefa Subdepartamento de Normalización, Desarrollo y Control - LNV
- Jefa Área Hormigón - LNV
- Ingenieros Visitadores LNV
- Archivo

5967558



ANEXO N°1

MÉTODO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS PAVIMENTOS DE HORMIGÓN CON LOSAS DE ESPESOR OPTIMIZADO

1.- **Consideraciones Generales.** El método de diseño de pavimentos de hormigón con losas de espesor optimizado sin armaduras y sin barras de traspaso de carga está basado en las ecuaciones de daño por fatiga del proyecto NCHRP 1-37A (ME-PDG, AASHTO, EEUU) y en simulaciones de tensiones realizadas con el programa de elementos finitos ISLAB2000.

El procedimiento es un método mecanicista - empírico, el cual ha sido calibrado con tramos de prueba instrumentados para determinar las constantes de calibración. El concepto básico del diseño es dimensionar las losas de tal manera que sólo una rueda o set de ruedas se apoyen en una losa a la vez, calculando el daño por fatiga que se produce en los puntos críticos de la losa, y dado esto, determinar el espesor correspondiente para la condiciones de suelo, alabeo, tránsito, etc. Este concepto se encuentra protegido por la patente industrial N°44820.

Se calculan las tensiones críticas que se producen en las losas del pavimento producto de la combinación de las cargas de borde, efectos de temperatura y distintas condiciones de análisis. Además, el método incluye verificación para las condiciones del escalonamiento de las juntas transversales sin barras de traspaso de carga y del agrietamiento de esquina.

Dado que el tamaño de losa se diseña para independizar los ejes en cuanto a las tensiones que estos producen en el pavimento, es que se utiliza el eje estándar definido por AASHTO para las simulaciones con elementos finitos. Para calcular el daño por fatiga se utilizan las pasadas determinadas como ejes equivalentes solicitantes (EE), las cuales se calculan de la misma forma que para un pavimento rígido tradicional (Numeral 3.604.204 del MC-V3).

Para facilitar la comprensión y sistematizar el procedimiento de diseño, se incluye un diagrama de flujo con la secuencia de las distintas etapas del proceso (Figura N°1), se presentan las ecuaciones que permiten establecer los espesores de las losas de pavimento y una breve descripción de las variables que intervienen en el método, recomendándose los valores a utilizar. Por último, se describen los procedimientos que se deben seguir para verificar las condiciones del escalonamiento de juntas y del agrietamiento de esquinas.

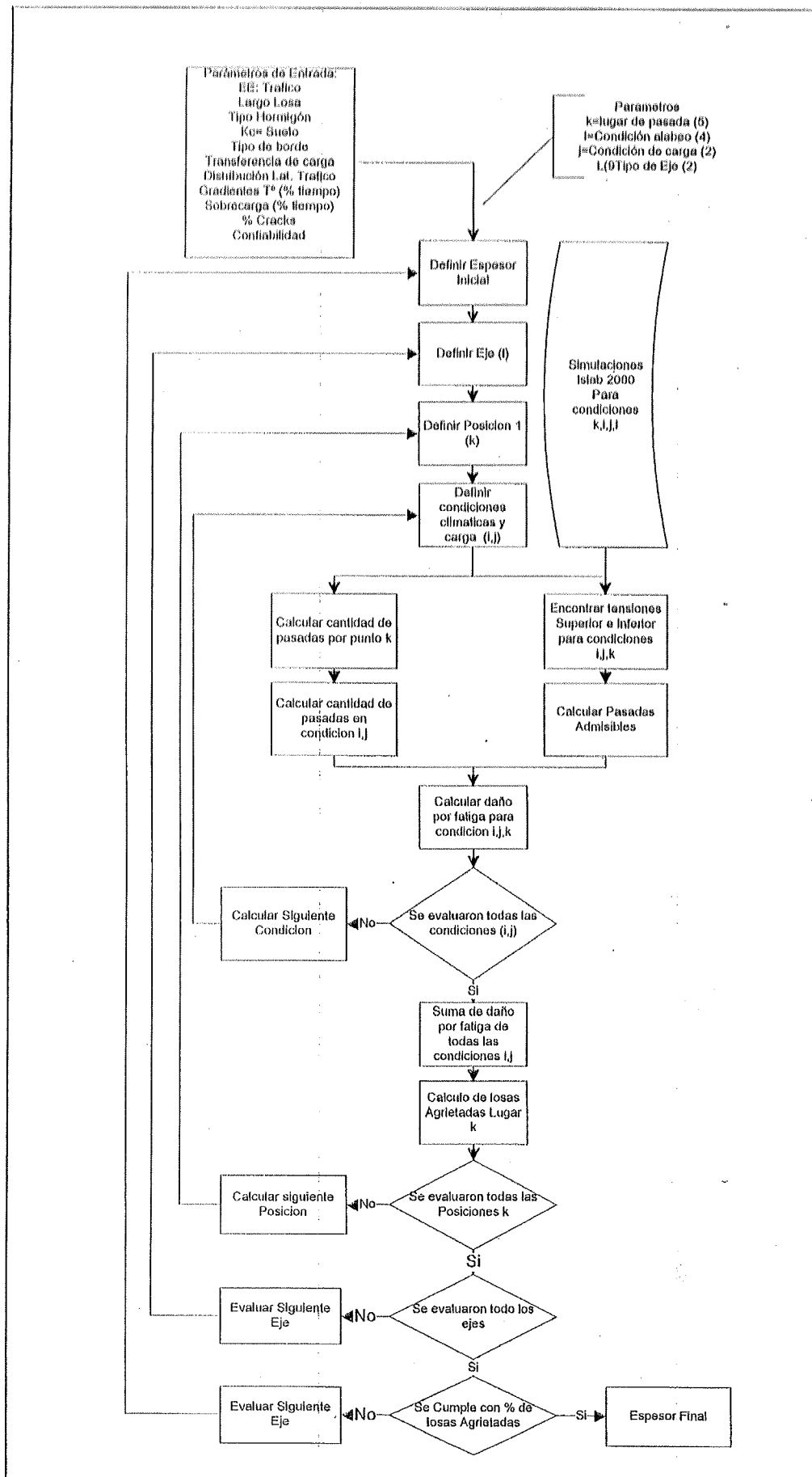


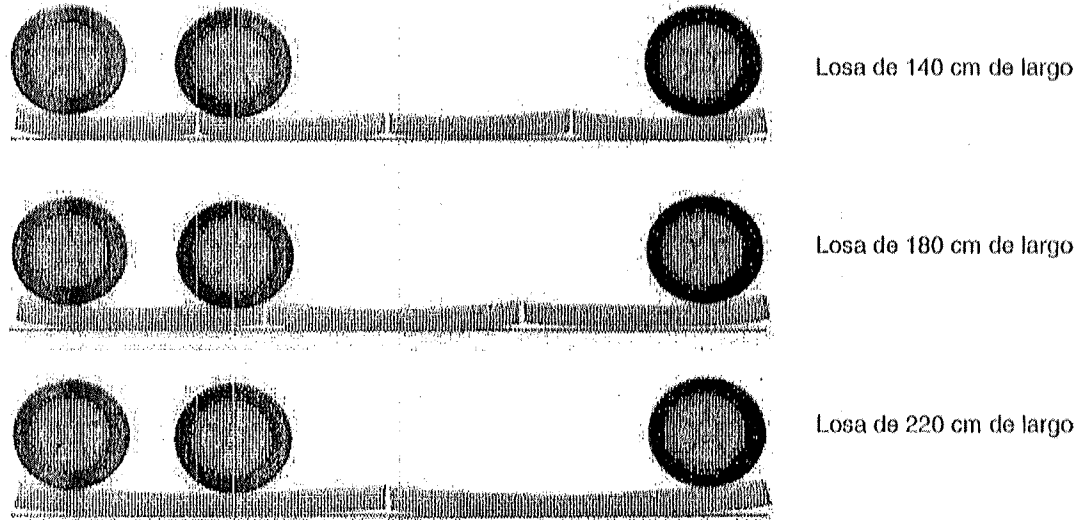
Figura N°1: Diagrama de flujo diseño de pavimentos de hormigón con losas de espesor optimizado

2. **Largo de losa.** Estos pavimentos basan su comportamiento en que no se produzca flexión debido a la interacción de cargas colocadas sobre las losas, es decir, sólo una rueda carga una losa a la vez. Para lograrlo el pavimento se construye de forma continua y se generan las juntas según se establezca en el diseño. El largo de losa se debe definir antes del cálculo del espesor, según los siguientes criterios:

140 cm : caso donde el eje tándem queda en losas distintas.

180 cm : caso donde eje tándem queda en la misma losa.

220 cm : caso donde eje tándem queda en el centro de una losa y en borde de otra.



Para pavimentos de tránsito y clima normal se recomiendan losas de 220 cm de largo. Para climas extremos (gradientes térmicos altos) o tránsito en más de una dirección se recomiendan losas de 180 cm de largo. El ancho de las losas deberá ser de media pista (175 cm) y deberá considerar las condiciones de borde con que se diseñe.

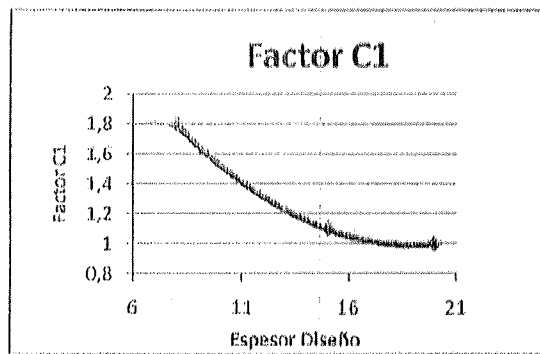
3.- **Ecuaciones de diseño.** Las ecuaciones básicas de diseño de esta tecnología son:

a) **Número de pasadas admisibles**

$$\log(N_{ijkl}) = 2 \times \left(\frac{C_3 \times \sigma_{ijkl}}{MOR \times C_1 \times C_2} \right)^{-1,22} \quad (\text{ec.3.1})$$

Donde

- N_{ijkl} = Número pasadas admisibles para posición del eje k, condición de alabeo i y condición de carga j, superior o inferior (l)
- σ_{ijkl} = Tensión principal máxima calculada en ISLAB 2000 para posición del eje k, condición de alabeo i y condición de carga j, superior o inferior (l).
- MOR = Resistencia a la flexotracción media a 90 días.
- C_1 = Factor de calibración por geometría y espesor de la losa, determinado según:



- C_2 = Factor de calibración por uso de fibras estructurales en hormigón, determinado según:

$$C_2 = \left(1 + \frac{R_{3,e}}{100}\right)$$

$R_{3,e}$ = Razón equivalente de resistencia residual a 3 mm de flecha en ensayo de viga en aire.

Nota: ver punto 9.4 del presente documento.

- C_3 = Factor por tipo de bordé (se utiliza sólo en posiciones de borde). Ver tabla N°7 del presente instructivo.

b) Daño por fatiga en un punto determinado

$$FD_k = \sum_i \frac{n_{ijk}}{N_{ijk}} \tag{ec. 3.2}$$

Donde:

- FD_k = Daño por fatiga para cualquier posición de la losa
- n_{ijk} = Número pasadas reales punto i con eje e, para condición i,j,k
- N_{ijk} = Número pasadas reales punto i con eje e, para condición i,j,k
- i = condición de alabeo
- j = condición de carga
- k = posición Eje

c) Porcentaje de losas agrietadas para un 50% de confiabilidad

$$\%Crack_{kl} = \frac{1}{1 + FD_{kl}^{-1,98}} \tag{ec.3.3}$$

Donde:

- $\%Crack$ = Porcentaje de losas agrietadas con falla ocasionada por posición eje k.
- FD_{kl} = Daño por fatiga en posición eje k, superior e inferior.

d) Cálculo del porcentaje de losas agrietadas totales, fibra superior e inferior

$$\%Tracks_l = \text{MAX}(\%Cracks_{kl}) \tag{ec. 3.4}$$

e) Cálculo de losas agrietadas final 50% de confiabilidad

$$TTCracks_{50} = \%Tcracks_i + \%Tcrack_{ss} - \%Tcracks_i * \%Tcrack_{ss} \quad (\text{ec. 3.5})$$

Donde:

- $TTCracks_{50}$ = Porcentaje de losas agrietadas totales, 50% de confiabilidad (%)
- $\%Tcracks_i$ = Porcentaje de losas agrietadas fibra inferior (%)
- $\%Tcrack_{ss}$ = Porcentaje de losas agrietadas fibra superior (%)

f) Cálculo confiabilidad porcentaje de losas agrietadas

$$TTCracks_m = TTCracks_{50} \times Z_r \times S_e \quad (\text{ec. 3.6})$$

$$S_e = \left(5,3116 \times TTCracks_{50}^{0,3903} \right) + 2,99 \quad (\text{ec. 3.7})$$

Donde:

- $TTCracks_m$ = Porcentaje de losas agrietadas totales con M% de confiabilidad (%) (Ver punto 7 del presente documento).
- $TTCracks_{50}$ = Porcentaje de losas agrietadas totales, 50% de confiabilidad (%)
- Z_r = Coeficiente estadístico, asociado al nivel de confianza (1-F) en una curva de distribución normal.
- S_e = Desviación normal del error combinado

La valorización de los parámetros necesarios para establecer el espesor requerido se explica en los puntos siguientes del presente documento.

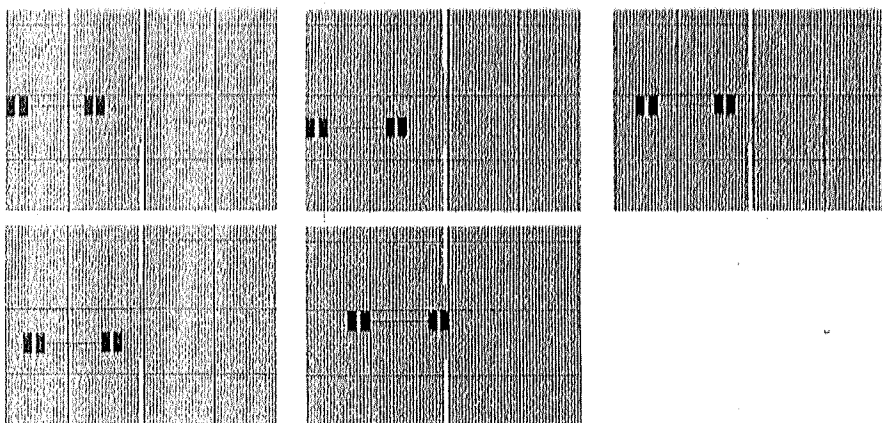
4.- Cálculos con programa de elementos finitos. Para poder calcular el daño por fatiga es necesario conocer las tensiones máximas en las posiciones del ESRD y del EDRD descritas en el punto N°4.1 de este documento, tanto en la parte superior como inferior de la losa. Para ello se realizaron simulaciones con el programa de elementos finitos ISLAB2000 para las condiciones descritas en la Tabla N°1.

TABLA N°1
Condiciones de Análisis

Tipo Eje	Largo de Losa (cm)	Espesor (cm)	OBV (%)	L/E (%)	Delta Equiv.	Sobrecarga	Posición Eje
ESRD	220	8	5	30	10	0%	Borde - Esquina
EDRD	180	9	10	50	5	20%	Borde - Centro
	140	10	15	70	0		Huella - Corte
		11	20		-5		Huella-Centro
		12	25		-10		Junta longitudinal - Centro
		13	30		-15		
		14	40		-20		
		15	50				
		16	80				
		17					
		18					
		19					
		20					

Los neumáticos se consideran de 27 cm de ancho y con una presión de inflado de 130 psi (8,9 kg/cm²). El área de contacto es modelada por el programa como un cuadrado.

4.1. **Posición de daño crítica.** Para evaluar el comportamiento del pavimento ante cargas cíclicas y repetitivas se estudia la posición del eje que genera el mayor daño por fatiga, es decir, controla el diseño. Debido a que las condiciones a las que se encuentra sometido el pavimento varían en el tiempo (clima, tránsito, humedad, etc.) es que se evalúan 5 posiciones del eje sobre la losa, las cuales se muestran a continuación:



El análisis se realiza para cada una de estas posiciones de acuerdo al número de pasadas reales en cada una de ellas. La cantidad de pasadas recomendadas por posición se indica en la Tabla N°2, las cuales ponderan la cantidad de pasadas solicitantes (EE de diseño) para encontrar la cantidad de pasadas reales en cada punto (ec. 4.1.1).

TABLA N°2
Pasadas por posición

Posición	Pasadas (%) (F _u)
Borde	8
Huella (40 cm borde)	30
Corte longitudinal	8

Nota: no debe sumar 100%.

Como el eje tándem produce flexión en la losa, generando tensiones superiores no consideradas en las pasadas anteriores, es que se realiza una verificación en la esquina, utilizando las mismas ecuaciones de fatiga y efectuando simulaciones con ISLAB 2000 con el eje tándem para todas las condiciones. Este análisis se realiza sólo para la fibra superior y en las posiciones de esquina y huella en el corte transversal. Se determina la cantidad de ejes tándem y tridem que pasarán aplicando la ecuación 4.1.2.

$$N^{\circ} \text{ de ciclos de carga} = F_u \times EE \quad (\text{ec. 4.1.1})$$

$$N^{\circ} \text{ ciclos de carga tándem} = EE \times F_u \times (\% \text{ Ejes Tándem} + 2 \times \% \text{ Ejes Tridem}) \quad (\text{ec. 4.1.2})$$

5.- **Tránsito.** El método requiere determinar y definir lo siguiente:

5.1. **Ejes equivalentes solicitantes.** Las solicitaciones que deberá soportar la estructura se expresan como los ejes equivalentes (EE) acumulados durante el período de vida de diseño. Salvo que se indique o autorice especialmente de otra manera, los pavimentos de hormigón con losas de espesor optimizado deberán diseñarse en una sola etapa y para las vidas diseño que se indican en la Tabla 3.604.204.A del MC-V3.

El cálculo de las solicitaciones expresadas como ejes equivalentes (EE) se ajustará a lo señalado en el Numeral 3.604.204 del MC-V3.

5.2. Distribución de ejes. El modelo requiere conocer la descomposición porcentual de los ejes equivalentes que solicitarán la ruta. El valor se expresa como porcentaje de los ejes equivalentes generados por cada tipo de eje. Si no se dispone de esta información los valores a utilizar son los que se indican en la Tabla N°3 (debe sumar 100%):

TABLA N°3
Distribución de ejes

Tipo de eje	Distribución de ejes (%)
Eje simple rueda simple (ESRS)	20
Eje simple rueda doble (ESRD)	40
Eje doble rueda doble (EDRD)	30
Eje triple rueda doble (ETRD)	10

En forma preliminar, para tránsitos menores a un millón de ejes equivalentes y en caso que no se disponga de esta información, se debe considerar una distribución de 50% para eje simple rueda simple (ESRS) y 50% para eje simple rueda doble (ESRD).

5.3. Sobrecarga. Este parámetro se refiere al porcentaje de pasadas de vehículos con sobrepeso que circulará por la ruta. El método tiene incluidas las posibles sobrecargas en los ejes ya que, como factor de seguridad, evalúa no sólo el ESRD estándar sino que también evalúa un ESRD con un 20% de sobrecarga tomando en cuenta las posibles interacciones que puedan existir por este efecto.

En caso de existir sobrepeso mayor a lo señalado, se recomienda considerar un 10% de sobrecarga para un diseño seguro.

6.- Porcentaje de losas agrietadas (TTcracks). El modelo utilizado calcula el daño por fatiga, entregando un espesor de pavimento tal que el porcentaje de losas agrietadas, con una grieta en cualquier dirección al final de la vida de diseño, esté dentro del daño admitido para una confiabilidad dada.

Debe tenerse en consideración que este parámetro sólo determina un umbral de daño en un tiempo determinado y no necesariamente la vida útil del pavimento.

En la Tabla N°4 se encuentran los valores recomendados para el porcentaje de losas agrietadas. En situaciones especiales se podrán adoptar valores distintos a los señalados, siempre que se justifiquen adecuadamente y cuenten con la conformidad de la Dirección de Vialidad.

TABLA N°4
DAÑO ADMITIDO (TTCRACKS)

Clasificación del camino	Losas agrietadas (%)
Vías principales y autopistas	10 - 20
Vías colectoras	10 - 30
Caminos secundarios	30 - 50

7.- Confiabilidad. El grado de confiabilidad del diseño se controla por el factor de confiabilidad (M) que es función de un valor asociado al nivel de confianza de la distribución normal (Z_r) y de la desviación normal del error combinado (S_e) de todos los parámetros que intervienen en el comportamiento del pavimento.

Para las situaciones normales, la Tabla 3.604.205.A del MC-V3 indica los niveles de confianza a utilizar en los diseños y los correspondientes valores del coeficiente estadístico (Z_r). En situaciones especiales, tales como vías urbanas o semi-urbanas de alto tránsito, túneles, accesos a viaductos

con mucho tránsito, inmediaciones de las plazas de peaje, etc., se podrán adoptar niveles de confianza distintos a los que se señalan en la mencionada tabla, siempre que se justifiquen adecuadamente y cuenten con la conformidad de la Dirección de Vialidad.

La desviación normal del error combinado (S_e), es la dispersión de resultados entre el daño por fatiga calculado y el daño medido real, esto incluye las dispersiones inherentes a todos los factores que influyen en el comportamiento del pavimento, entre los cuales tienen una participación preponderante los errores que pudieran darse en la predicción del tránsito solicitante y el grado de variabilidad que presentan los suelos de la subrasante. Cuando el nivel de solicitaciones es muy elevado, la probabilidad de errar por defecto en la predicción es menor, debido a que la pista de diseño se encuentra a niveles cercanos a la saturación; asimismo, entre mayor es la dispersión de los valores representativos de los suelos de la subrasante, existe una probabilidad más alta de fallas. Por último, con el propósito de minimizar los trabajos de mantenimiento durante la vida de servicio de la obra, el nivel de confianza del diseño debe crecer en la medida que aumenta el tránsito.

La Tabla 3.604.205.A del MC-V3 indica los valores que se recomienda utilizar en los diseños de pavimentos de hormigón con losas de espesor optimizado en función de las solicitaciones esperadas y del coeficiente de variación (coeficiente de variación= desviación estándar / promedio) de la serie de valores representativos de las características de los suelos de la subrasante. Para subrasantes de baja capacidad de soporte y mal drenaje conviene utilizar el mayor valor del rango del nivel de confianza.

La confiabilidad se encuentra incorporada en las ecuaciones de diseño descritas en el punto 3.f del presente documento.

8.- Módulo de reacción de la subrasante. El módulo de reacción de la subrasante, k (MPa/m), es el parámetro que se utiliza para caracterizar la capacidad de soporte de la subrasante. Muchas veces a la denominación se agrega la palabra "efectivo" para indicar que se está utilizando un valor medio compensado que toma en consideración las eventuales variaciones estacionales que, en ciertas circunstancias experimenta este parámetro a lo largo del año. En todo caso, se recomienda incluir esa consideración sólo cuando se prevea una penetración de la helada importante en suelos heladizos.

La determinación del módulo de reacción de la subrasante se ajustará a lo indicado en el Numeral 3.604.206 del MC-V3.

8.1. Método de cálculo del valor k para un sistema multicapas. Si el diseño se realiza considerando un sistema multicapas, como el mostrado en la Figura N°2, el módulo de reacción k de este sistema se determina aplicando el método KSEM, el cual modela el ensayo de placa de carga.

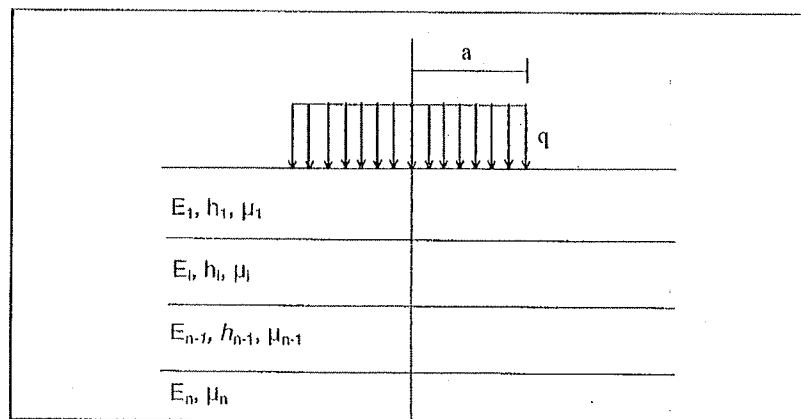


Figura N°2: Modelación sistema multicapa

La ecuación 8.1 calcula el valor k a través de una fórmula que deriva del cociente entre la carga y la deflexión generada por dicha carga.