

DISEÑO DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

Basado en el método de la Portland Cement Association (*Edición Canadiense*)
Cátedra Transporte III (C-902) Carrera Ingeniería Civil Universidad Nacional de Rosario
Ing. Jorge Páramo

El procedimiento de diseño fue preparado para reconocer las prácticas corrientes en la construcción y la experiencia sobre comportamiento con pavimentos de hormigón. Incluye:

- Pavimentos con diferentes tipos de transferencia de cargas en juntas transversales o fisuras.
- Hormigones pobres como subbase.
- Banquinas de hormigón.
- Modos de deterioro, principalmente debido a la erosión de la fundación del pavimento. Aspecto que no es correlacionado con criterios tradicionales de diseño.

Se requieren básicamente los siguientes datos de entrada para el cálculo de espesores:

- Módulo de ruptura del hormigón a flexión (M_r).
- Módulo de reacción de la fundación, (subrasante o sub base K o K_c).
- Período de diseño.
- Características del tránsito.

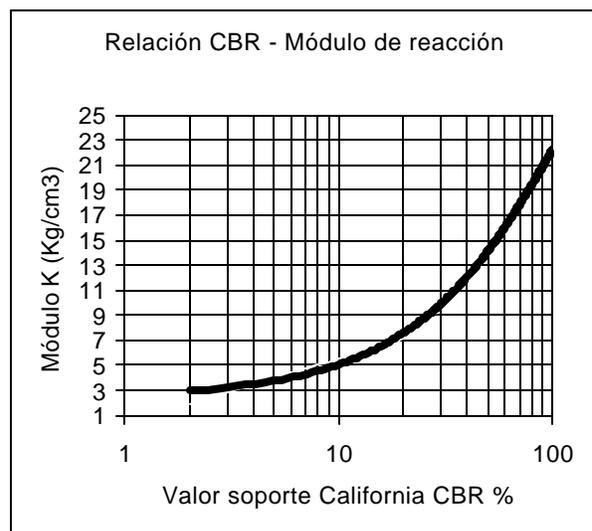
Módulo de ruptura a flexión del hormigón:

Los esfuerzos críticos en los pavimentos rígidos son los de flexión, la resistencia por este concepto es la empleada en el diseño del espesor. El ensayo normalizado con cargas en los tercios de la luz es el más utilizado. Habitualmente se correlaciona esta resistencia con la resistencia a compresión simple, al solo efecto de agilizar los procedimientos de control de calidad durante la construcción.

Calidad del hormigón recomendada oscila entre módulos de rotura de 4 – 4,5 y 5 Mpa. Los valores extremos contemplan que los hormigones con M_r inferiores a 4 Mpa, son susceptibles de presentar desgaste por abrasión y, los superiores a 5 Mpa son de difícil manejo.

Módulo de reacción de la fundación:

Es uno de los elementos fundamentales en el diseño del pavimento. Se considera el apoyo que proporcionan a las losas de hormigón la subrasante y la sub base, cuando esta última se utiliza. En general se estima dicha capacidad de soporte, en función del módulo de reacción de Westergaard (k), obtenido a partir de un ensayo de placa. La experiencia indica que el espesor de las losas, no es muy sensible a pequeños cambios en el valor de este módulo, sin embargo la calidad del material es determinante en el efecto de erosión y bombeo. Consecuentemente, el objetivo es más bien fijar rangos de valores, en lugar de utilizar valores absolutos. Es práctica frecuente y aceptada, la estimación de "k" a partir del valor del CBR.



Período de diseño:

Usualmente, el período de diseño se define como el tiempo durante el cual no se requiere ningún trabajo importante de reparación, solamente trabajo de mantenimiento de rutina. El período de diseño varía entre 20 y 50 años de acuerdo a las prácticas en Estados Unidos. Un periodo de diseño de 20 años es el más frecuentemente empleado. En algunos países europeos, se usan períodos de diseño más largos de 30 a 40 años.

Características del tránsito:

Dada la muy pequeña incidencia de las cargas de automóviles y camionetas, solo se consideran las acciones de las cargas de camiones pesados. Para ello se tienen en cuenta las repeticiones de ejes simples, tándem y tridem.

Drenaje:

Las condiciones de drenaje de pavimentos de hormigón son cada vez más importantes. El efecto negativo del agua atrapado debajo de un pavimento puede producir bombeo de finos y erosión de la subrasante o la sub base. Por lo tanto, se debe otorgar una gran atención a la eliminación de cualquier infiltración del agua a través de las juntas y a la evacuación rápida de agua superficial por un sistema bien diseñado de drenaje. Fundaciones permeables, o dispositivos de sub drenaje, resultan de significativa importancia para la vida de servicio del pavimento. Usualmente, una fundación permeable se logra con el uso de un material que tenga una distribución granulométrica abierta que pueda ser estabilizado usando asfalto o cemento Portland. En este caso, es muy importante asegurar que la fundación permeable no se obstruya muy rápidamente por partículas finas arrastradas por el agua.

Con el fin de favorecer el drenaje de la superficie rodamiento, se adoptan pendientes transversales del orden de 2 y 2,5 %, en lugar de 1,5 % como habitualmente se lo ha hecho.

Sobreanchos:

El uso de sobreanchos de hormigón vinculados al pavimento mediante barras de transferencia reduce drásticamente las cargas en flexión. Particularmente se reducen las deflexiones y el "bombeo" de las esquinas de las losas cuando el tránsito pesado pasa sobre la junta externa. La adición de sobreanchos de hormigón da como resultado un aumento significativo en el ciclo de vida de un pavimento de hormigón y/o puede permitir un ligero decrecimiento en el espesor del pavimento. Esto es una tendencia mundial.

Para mejorar el ciclo de vida de un pavimento de hormigón, el carril de tránsito pesado, se construye entre 50 y 60 cm más ancho que los otros carriles, reduciendo así las tensiones y deflexiones. El ancho marcado de esa trocha por la señalización horizontal es, sin embargo, el mismo que para los otros carriles. En este caso se considera banquina construida en hormigón a los efectos de este análisis, con independencia que el resto de la banquina se pavimente o no. Resulta conveniente que este sobreancho sea conformado superficialmente con depresiones transversales regularmente espaciadas. Ello opera como disuasivo para la circulación y opera como advertencia de que el vehículo está saliendo de su carril "despertador".

Criterios de Diseño:

Un aspecto del procedimiento es el criterio de **erosión** que se aplica adicionalmente al criterio de **fatiga**.

°El criterio de **erosión** establece que el pavimento puede fallar por:

- Excesivo bombeo.
- Erosión de la fundación.
- Desnivel entre losas.

El criterio de **fatiga** establece que el pavimento puede fallar por:

- Fatiga del hormigón por repeticiones de cargas excesivas.

ANÁLISIS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

El procedimiento de diseño se basa en un exhaustivo análisis de **tensiones** y **deflexiones** en juntas, esquinas y bordes de losas de tamaños definidos, mediante programas de computación de elementos finitos.

Modeliza la transferencia de cargas en juntas o fisuras y la transferencia de cargas entre losa y banquina cuando ésta es de hormigón. Para juntas con pasadores, se emplean directamente propiedades tales como el diámetro y módulo de elasticidad de los pasadores. Para transferencia intergranular, juntas ensambladas y fisuras en pavimentos de armadura continua, se emplea el módulo de reacción para representar las características de deflexión bajo carga de tales juntas, basados en ensayos de campo y de laboratorio.

Pavimentos con Juntas:

Luego del análisis de diferentes posiciones de ejes cargados sobre la losa, las posiciones críticas son las siguientes:

Tensión de flexión	Deflexión
XX	XX
XX	XX

XX = impronta de contacto de un eje tándem.

Las **tensiones críticas** tienen lugar cuando las ruedas de los camiones están en el borde de la losa o cerca de él y equidistantes de las juntas. En razón de que las juntas están a cierta distancia de esta posición el espaciamiento de juntas y el tipo de transferencia de cargas tiene muy poca influencia sobre la magnitud de la tensión. En el procedimiento de diseño, en consecuencia, el análisis basado en la tensión de flexión y fatiga, producen los mismos valores para diferentes longitudes de losas y diferentes sistemas de transferencia de cargas en juntas transversales. Cuando existen banquetas de hormigón vinculadas (con barras de unión) a las losas, la magnitud de las tensiones críticas se reducen considerablemente.

Las **deflexiones críticas** tienen lugar en las esquinas de las losas, con las ruedas próximas a la junta y sobre o cerca del borde. En esta situación el espaciamiento entre juntas no tiene efectos sobre la magnitud de la deflexión en la esquina, pero el tipo de transferencia de cargas tiene un efecto significativo. Esto significa que el resultado del diseño basado en el criterio de erosión (deflexión), será sustancialmente afectado por el tipo de transferencia de cargas seleccionado,

particularmente cuando se diseña para un número elevado de camiones. Las banquetas de hormigón reducen considerablemente la deflexión de la esquina externa de las losas.

Consideraciones sobre la posición de los camiones cargados:

Las cargas que circulan por el borde del pavimento generan las condiciones más severas que cualquier otra posición. La circulación a pocos centímetros hacia el interior de la losa hacen decrecer sustancialmente este efecto.

Sólo una pequeña proporción de camiones circula por el borde, en trochas de 3,60 m la mayoría se sitúa a 60 cm. En este método se considera que el 6 % de los camiones circula por el borde. Al incrementar la distancia al borde, aumenta la frecuencia y disminuyen las magnitudes de tensiones y deflexiones.

El porcentaje de cargas que circula por el borde, es el más severo verificado en servicio y en general se produce para calzadas con banquetas pavimentadas.

Para el análisis de erosión, el que involucra deflexión en las esquinas, se adopta el caso más severo de 6 % de camiones por el borde. Cuando no hay banquetas de hormigón, la posición de la carga en la esquina es crítica. Cuando existen banquetas pavimentadas el gran número de cargas (94 %) en el interior, resultan críticas. Estos factores están incorporados en las cartas de diseño de la siguiente forma:

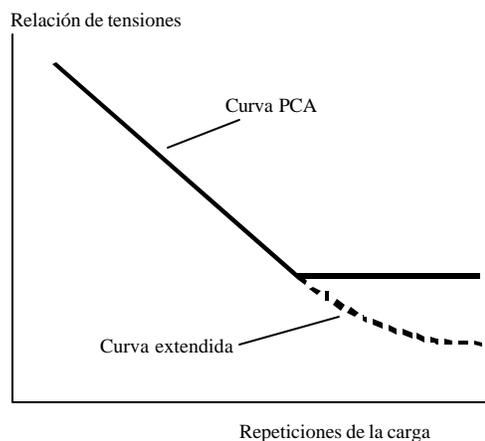
$$\% \text{ de deterioro por erosión} = n_i (C/N_i)$$

Donde:

- n_i = repeticiones esperadas de la carga.
- N_i = repeticiones permitidas de la carga (i).
- $C = 0,06$ para pavimentos sin banquetas.
- $C = 0,94$ para pavimentos con banquetas.

Variación en la calidad del hormigón:

El reconocimiento de la variación de la calidad del hormigón se considera una incorporación realista en el procedimiento de diseño. Los rangos de variación esperado en el módulo de rotura del hormigón, tiene efectos tan grandes como la variación habitual en las propiedades de otros parámetros, tales como la resistencia de la subrasante y sub base y, espesor de las capas. La variación en la resistencia del hormigón se introduce mediante la reducción del módulo de rotura a través de un coeficiente de variación. Para los efectos del diseño, se adopta un coeficiente de variación del 15 % y se incorpora en las cartas y tablas, por lo que no es necesario considerar el mismo. Este valor representa un control de calidad regular a bueno y, combinado con otros efectos, proporciona resultados en el diseño realistas y razonables.



Aumento de la resistencia con la edad del hormigón:

La resistencia a flexión a 28 días (módulo de rotura), se emplea como parámetro de diseño. No obstante, el efecto del aumento de resistencia con la edad se ha tenido en cuenta en la confección de las cartas y tablas. Este criterio se basa en el incremento de resistencia y lo paulatino que resulta la sollicitación del tránsito mes a mes a lo largo del período de diseño.

Alabeo higrotérmico:

Además de las cargas del tránsito, las losas de hormigón están sujetas a alabeos. La **variación de humedad** en el espesor de la losa, aumenta en profundidad, produciendo una concavidad en la losa. Como consecuencia resulta comprimida en la parte inferior de la losa y se pierde apoyo en los bordes. Dado que es un fenómeno de larga duración, resulta fuertemente influenciado por el creep.

El alabeo térmico se debe a las **variaciones de la temperatura** durante el día, dando lugar a concavidad o convexidad según sea el gradiente térmico. La distribución de la temperatura es usualmente no lineal y en constante cambio.

Habitualmente el efecto combinado de variación de humedad y temperatura es sustractivo para las tensiones debidas a las cargas, porque el contenido de humedad y temperatura en la parte inferior supera el efecto combinado de la situación inversa.

La complejidad de la situación de condiciones diferenciales en la parte superior e inferior, más la incertidumbre de la posición del eje neutro, torna difícil de computar o medir la restricción de tensiones con algún grado de confianza o verificación. La información actualmente disponible no asegura la incorporación de este ítem en el procedimiento de diseño. La pérdida de soporte por alabeo, no está incorporada al procedimiento de diseño.

Fatiga:

El criterio de fatiga empleado es similar al del método de la Portland Cement Association (PCA), basado conservativamente en estudios de investigaciones de fatiga, excepto que están aplicados a tensiones de bordes de losa que son de mayor magnitud. Se modificó el quiebre de la curva de fatiga para eliminar la discontinuidad que suele causar efectos irreales.

El número de repeticiones permitidas para un eje dado, se determina en base a la relación de tensiones, (tensión de flexión dividida por el módulo de rotura a 28 días). La curva de fatiga se encuentra incorporada en las cartas de diseño.

Se emplea la hipótesis de Miner, que expresa que la resistencia a fatiga no consumida por una carga, queda disponible para otra. El consumo total de fatiga no debe exceder el 100 %.

Combinado con el efecto de reducción del módulo de rotura por un coeficiente de variación, el criterio de fatiga se considera conservativo para los propósitos de diseño de espesores.

Erosión:

Existe un importante modo de deterioro del pavimento, adicional al de fisuración por fatiga, que necesita ser consignado en el procedimiento de diseño. Este es la erosión del material debajo y en los costados de la losa.

Las repeticiones de ejes pesados en las esquinas y bordes de las losas causan bombeo, erosión de la subrasante o sub base, material de banquetas, vacíos debajo y al lado de las losas y desniveles entre losas, especialmente en juntas sin pasadores.

Este deterioro particular es considerado más precisamente vinculado a las **deflexiones del pavimento** que a las tensiones de flexión.

Las correlaciones de deflexiones calculadas por elementos finitos y las constataciones del AASHO Road Test, no fueron completamente satisfactorias para los propósitos del diseño. El principal modo de falla del pavimento de hormigón en dicha experiencia, fue el bombeo o erosión de la sub base granular debajo de las losas.

Se obtuvo una buena correlación entre comportamiento en servicio y la deflexión en la esquina (w), cuando esta última se multiplica por la presión calculada en la interfase losa - fundación (p). La potencia o rango de trabajo con que una carga defleca la losa es el parámetro empleado en el criterio de erosión, para un área unitaria el producto de la deflexión por la presión, dividido por la longitud del área deformada (l), (radio de rigidez relativa en milímetros).

El concepto es que un pavimento de poco espesor con un área de deformación reducida (l pequeño), recibe un golpe de carga más rápido que una losa de mayor espesor. Esto es igual a ($p \times w$). A igual velocidad de pasaje de la carga, la losa de menor espesor está sujeta a un trabajo más rápido o de mayor potencia. Mediante este parámetro se obtuvo una buena correlación con el comportamientos en servicio.

El desarrollo del criterio de erosión fue también generalmente relacionado a estudios de desniveles en las juntas de pavimentos con un amplio rango de años de servicio, para juntas con y sin pasadores y sub bases estabilizadas.

El clima y el drenaje para juntas sin pasadores es un factor significativo en el comportamiento en servicio. No obstante, este aspecto no ha sido incluido en el procedimiento de diseño.

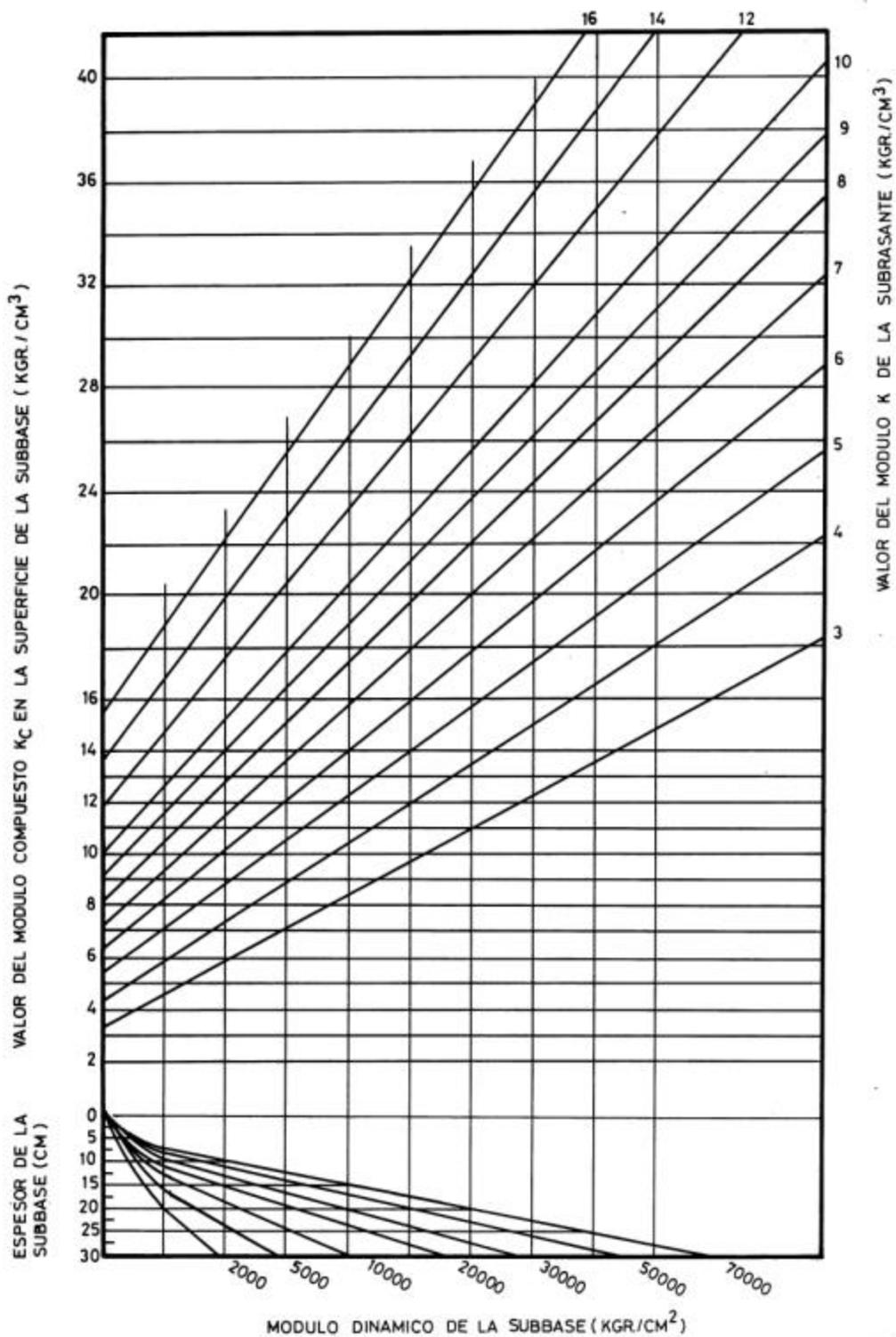
El criterio de **erosión** es sugerido para usarlo como guía. Puede ser modificado de acuerdo a la experiencia local, dado que el clima, drenaje y sub drenaje, factores locales e innovaciones en el diseño pueden tener influencia. En consecuencia, el valor de 100 % de deterioro para el criterio de erosión puede ser incrementado o disminuido por un número correlacionado con la experiencia sobre el comportamiento en servicio.

Efecto de la disposición de una subbase en el módulo de reacción:

La colocación de una capa antibombeo modifica el valor del módulo de reacción de la subrasante “ k ”, denominándose “ k_c ” o módulo de reacción compuesto medido a nivel de la sub base. El análisis contempla los siguientes criterios dominantes en función del tránsito y el tipo de transferencia de cargas en las juntas transversales:

TRÁNSITO			CRITERIO DOMINANTE
Liviano	Medio	Pesado	
juntas sin pasadores			Fatiga
	juntas con pasadores		Erosión
	juntas sin pasadores		
	juntas con pasadores		

MÓDULO DE REACCIÓN COMPUESTO K_c EN LA SUPERFICIE DE LA SUB BASE
 NOMOGRAMA PARA SU ESTIMACIÓN



Referencia AASHTO Interim Guide for Design of Pavement Structures 1972

Traducción Ing. Jorge Páramo

El eje simple resulta normalmente más severo en fatiga.

El eje tándem resulta normalmente más severo en erosión.

PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

El procedimiento siguiente se emplea cuando se dispone de datos de cargas por eje como datos de tránsito.

La hoja de diseño de espesores muestra el formato para completar la verificación del diseño propuesto, (existe una planilla para ser empleada cuando la sub base está constituida de hormigón pobre). En la misma deben ingresarse los siguientes datos:

- Tipo de juntas transversales, con o sin pasadores y tipo de banquina.
- Tensión de rotura a flexión del hormigón a 28 días.
- Módulo K o Módulo Compuesto K_c de la subrasante o combinación de subrasante y sub base.
- Factor de Seguridad de Cargas (FSC).
- Para tránsito pesado intenso: FSC = 1,2.
- Para tránsito pesado moderado: FSC = 1,1.
- Para calles residenciales o caminos de la red terciaria: FSC = 1,0.
- Distribución de cargas por eje (columna 1)
- Número de reiteraciones de cada grupo de cargas por eje en el período de diseño, (columna 3).

En la hoja de diseño muestra ambos análisis: **fatiga** (para controlar la fisuración) y un análisis de **erosión** (para controlar la erosión de la fundación y banquetas, bombeo y desnivel entre banquetas).

Paso a paso el procedimiento es el siguiente: Se completan los datos de la parte superior de la hoja de diseño, lo propio se realiza con las columnas 1 y 3. La columna 2 corresponde a las cargas por eje multiplicadas por el factor de seguridad de las cargas.

Análisis de Fatiga:

El resultado del análisis de fatiga y sus cartas y figuras son los mismos para pavimentos con junta con o sin pasadores y también para pavimentos con armadura continua.

- Para banquetas no construidas en hormigón: emplear la tabla 1_a y el nomograma de Análisis de Fatiga.
- Para banquetas de hormigón: emplear la tabla 1_b y el nomograma de Análisis de Fatiga.

Procedimiento por pasos:

- 1.- Ingresar como ítem 8 y 11 en la carta de diseño los Factores de Tensión Equivalentes en función del espesor de prueba y el módulo de reacción k o k_c según corresponda.
- 2.- Dividir éstos por el módulo de rotura a flexión del hormigón, e ingresarlos como ítem 9 y 12 en la carta de diseño.
- 3.- Llenar en la columna 4 las repeticiones permitidas determinadas a partir del nomograma de Análisis de Fatiga.
- 4.- Llenar la columna 5 con el cociente de cada valor de la columna 3 dividido por el correspondiente valor de la columna 4, expresado porcentualmente. Luego sumar los valores de la columna e indicar el total en la celda correspondiente.

Análisis de Erosión:

Para banquetas no conformadas por hormigón:

- Para juntas con pasadores o pavimento con armadura continua, emplear la tabla 2_a y el nomograma para análisis de erosión sin banquetas de hormigón.
- Para juntas con transferencia de cargas por trabazón intergranular, (sin pasadores), emplear la tabla 2_b y el nomograma para análisis de erosión sin banquetas de hormigón.

Para banquetas de hormigón:

- Para juntas con pasadores o pavimento con armadura continua, emplear la tabla 3_a y el nomograma para análisis de erosión con banquetas de hormigón.
- Para juntas con transferencia de cargas por trabazón intergranular, (sin pasadores), emplear la tabla 3_b y el nomograma para análisis de erosión con banquetas de hormigón.

Procedimiento por pasos:

- 1.- Ingresar el factor de erosión en la carta de diseño de como ítem 10 y 13 a partir de las tablas indicadas.
- 2.- Llenar la columna 6 con las repeticiones permitidas a partir de los nomogramas indicados precedentemente.

Ejemplo de cálculo:

En la página siguiente se emplea la carta de diseño.

PAVIMENTOS RÍGIDOS - CÁLCULO DE ESPESORES

Proyecto: **Diseño 1-A** sección rural de 4 trochas - 100 mm sub base granular
 Espesor de Prueba: **240** mm
 Sub base - Subrasante (K_c) - (K) **35** MPa/m
 Módulo de Rotura (MR): **4,5** MPa
 Factor de Seguridad de Carga (FSC) **1,2**
 Juntas con Pasadores: Si **SI** No
 Banquinas Pavimentadas: No **No**
 Período de Diseño: **20** años

Carga por eje Kilonew- tons	ε x FSC	Repeticiones esperadas	Análisis de Fatiga		Análisis de Erosión	
			Repeticiones permitidas	% Consu- mo de fati- ga	Repeticiones permitidas	% Deterioro
1	2	3	4	5	6	7

8 Tensión Equivalente **1,44**.. 9 Relación de tensiones **0,32**.. 10 Factor de erosión **2,61**.

EJES SIMPLES

133	160	6310	21000	30,0	1400000	0,5
125	150	14690	55000	26,7	2000000	0,7
115	138	30130	200000	15,7	3000000	0,9
107	128	64380	900000	7,1	5100000	1,3
98	118	106900	ilimitadas	0	9200000	1,2
89	107				20000000	1,2
80	96				50000000	0,6
						0

11 Tensión Equivalente **1,35**.. 12 Relación de tensiones **0,30**.. 13 Factor de erosión **2,80**

EJES TÁNDEM

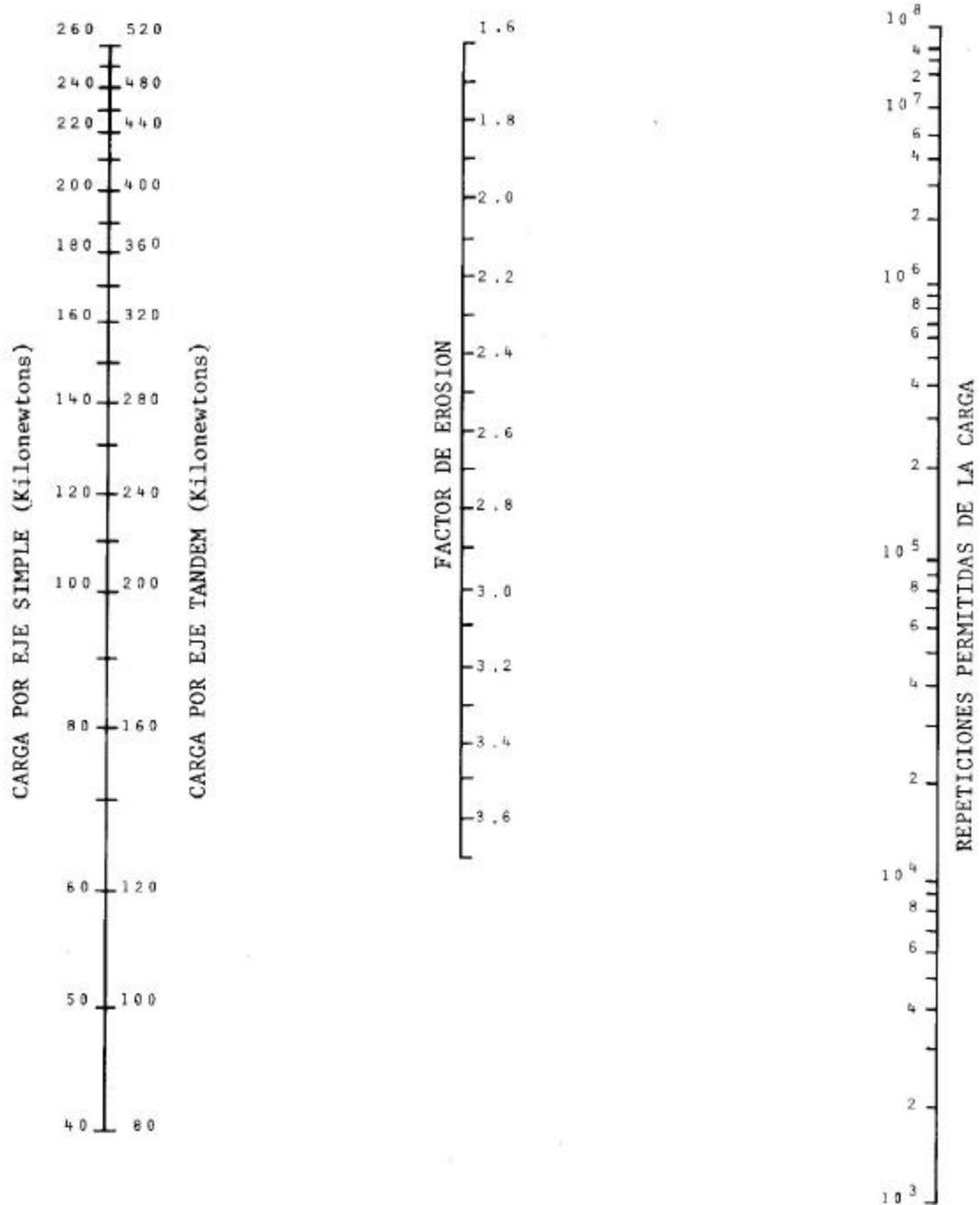
231	277	21320	900000	2,4	910000	0,2
213	256	42860	6000000	0,7	1500000	2,8
195	234	124800	ilimitadas	0	2400000	5,2
178	214	372800			4000000	9,3
160	192	885500			7600000	11,6
142	160	903400			35000000	2,6
125	142	1656000			ilimitadas	0
			Total	81,9	Total	38,1

PAVIMENTOS RÍGIDOS – DISEÑO DE ESPESORES

ANÁLISIS DE EROSIÓN

(Con Banquinas de Hormigón)

Repeticiones Permitidas de la Carga, Basado en el Factor de Erosión



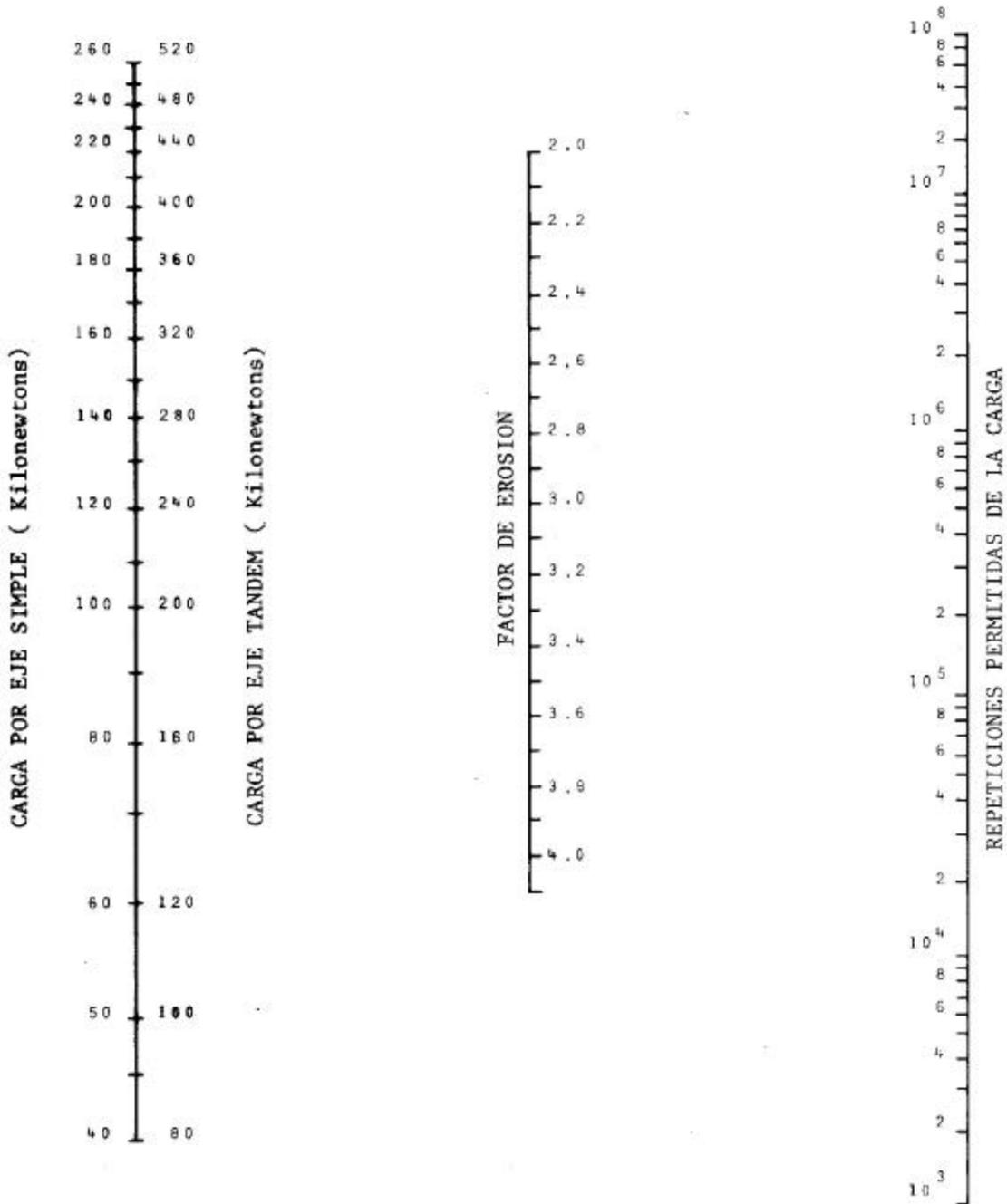
Criterio de Erosión: El pavimento puede fallar por:
Excesivo Bombeo.
Erosión de la Fundación y Desnivel entre Losas.

PAVIMENTOS RÍGIDOS – DISEÑO DE ESPESORES

ANÁLISIS DE EROSIÓN

(Sin Banquinas de Hormigón)

Repeticiones Permitidas de la Carga, Basado en el Factor de Erosión



Criterio de Erosión: El pavimento puede fallar por:
Excesivo Bombeo.
Erosión de la Fundación y Desnivel entre Losas.

PAVIMENTOS RÍGIDOS - DISEÑO DE ESPESORES

TENSIÓN EQUIVALENTE

Tabla 1a

Banquinas no pavimentadas. (ejes simples / ejes tándem)						
es- pe- lo- sa mm	Módulo K de la subrasante o Kc de la sub base (Mpa / m)					
	20	40	60	80	140	180
100	5,42	4,75	4,38	4,13	3,66	3,45
	4,39	3,83	3,59	3,44	3,22	3,15
110	4,74	4,16	3,85	3,63	3,23	3,06
	3,88	3,35	3,12	2,97	2,76	2,68
120	4,19	3,69	3,41	3,23	2,88	2,73
	3,47	2,98	2,75	2,62	2,40	2,33
130	3,75	3,30	3,06	2,89	2,59	2,46
	3,14	2,68	2,46	2,33	2,13	2,05
140	3,37	2,97	2,76	2,61	2,34	2,23
	2,87	2,43	2,23	2,10	1,90	1,83
150	3,06	2,70	2,51	2,37	2,13	2,03
	2,64	2,23	2,04	1,92	1,72	1,65
160	2,79	2,47	2,29	2,17	1,95	1,86
	2,45	2,06	1,87	1,76	1,57	1,50
170	2,56	2,26	2,10	1,99	1,80	1,71
	2,28	1,91	1,74	1,63	1,45	1,38
180	2,37	2,09	1,94	1,84	1,66	1,58
	2,14	1,79	1,62	1,51	1,34	1,27
190	2,19	1,94	1,80	1,71	1,54	1,47
	2,01	1,67	1,51	1,41	1,25	1,18
200	2,04	1,80	1,67	1,59	1,43	1,37
	1,90	1,58	1,42	1,33	1,17	1,11
210	1,91	1,68	1,56	1,48	1,34	1,28
	1,79	1,49	1,34	1,25	1,10	1,04
220	1,79	1,57	1,46	1,39	1,26	1,20
	1,70	1,41	1,27	1,18	1,03	0,98
230	1,68	1,48	1,38	1,31	1,18	1,13
	1,62	1,34	1,21	1,12	0,98	0,92
240	1,58	1,39	1,30	1,23	1,11	1,06
	1,55	1,28	1,15	1,06	0,93	0,87
250	1,49	1,32	1,22	1,16	1,05	1,00
	1,48	1,22	1,09	1,01	0,88	0,83
260	1,41	1,25	1,16	1,10	0,99	0,95
	1,41	1,17	1,05	0,97	0,84	0,79
270	1,34	1,18	1,10	1,04	0,94	0,90
	1,36	1,12	1,00	0,93	0,80	0,75
280	1,28	1,12	1,04	0,99	0,89	0,86
	1,30	1,07	0,96	0,89	0,77	0,72
290	1,22	1,07	0,99	0,94	0,85	0,81
	1,25	1,03	0,92	0,85	0,74	0,69
300	1,16	1,02	0,95	0,90	0,81	0,78
	1,21	0,99	0,89	0,82	0,71	0,66
310	1,11	0,97	0,90	0,86	0,77	0,74
	1,16	0,96	0,86	0,79	0,68	0,64
320	1,06	0,93	0,86	0,82	0,74	0,71
	1,12	0,92	0,83	0,76	0,66	0,62
330	1,02	0,89	0,83	0,78	0,71	0,68
	1,09	0,89	0,80	0,74	0,63	0,59
340	0,98	0,85	0,79	0,75	0,68	0,65
	1,05	0,86	0,77	0,71	0,61	0,57
350	0,94	0,82	0,76	0,72	0,65	0,62
	1,02	0,84	0,75	0,69	0,59	0,55

Tabla 1b

Banquinas de hormigón. (ejes simples / ejes tándem)						
es- pe- lo- sa mm	Módulo K de la subrasante o Kc de la sub base (Mpa / m)					
	20	40	60	80	140	180
100	4,18	3,65	3,37	3,19	2,85	2,72
	3,48	3,10	2,94	2,85	2,74	2,72
110	3,68	3,23	2,99	2,83	2,55	2,43
	3,07	2,71	2,56	2,47	2,35	2,32
120	3,28	2,88	2,67	2,54	2,29	2,19
	2,75	2,41	2,26	2,17	2,05	2,02
130	2,95	2,60	2,41	2,29	2,07	1,99
	2,49	2,17	2,02	1,94	1,82	1,78
140	2,68	2,36	2,19	2,08	1,89	1,81
	2,27	1,97	1,83	1,75	1,63	1,59
150	2,44	2,15	2,00	1,90	1,73	1,66
	2,08	1,80	1,67	1,59	1,48	1,44
160	2,24	1,97	1,84	1,75	1,59	1,53
	1,93	1,66	1,53	1,46	1,35	1,31
170	2,06	1,82	1,70	1,62	1,48	1,42
	1,79	1,54	1,42	1,35	1,24	1,20
180	1,91	1,60	1,57	1,50	1,37	1,32
	1,67	1,43	1,32	1,25	1,15	1,11
190	1,77	1,57	1,46	1,40	1,28	1,23
	1,57	1,34	1,23	1,17	1,07	1,03
200	1,65	1,46	1,37	1,30	1,19	1,15
	1,48	1,26	1,16	1,10	1,00	0,96
210	1,55	1,37	1,28	1,22	1,12	1,08
	1,40	1,19	1,09	1,03	0,93	0,90
220	1,45	1,29	1,20	1,15	1,05	1,01
	1,32	1,12	1,03	0,97	0,88	0,85
230	1,37	1,21	1,13	1,08	0,90	0,96
	1,26	1,07	0,98	0,92	0,83	0,80
240	1,29	1,15	1,07	1,02	0,94	0,90
	1,20	1,01	0,93	0,87	0,79	0,76
250	1,22	1,08	1,01	0,97	0,89	0,86
	1,14	0,97	0,88	0,83	0,75	0,72
260	1,16	1,03	0,96	0,92	0,84	0,81
	1,09	0,92	0,84	0,79	0,71	0,68
270	1,10	0,98	0,91	0,87	0,80	0,77
	1,04	0,88	0,81	0,76	0,68	0,65
280	1,05	0,93	0,87	0,83	0,76	0,74
	1,00	0,85	0,77	0,73	0,65	0,62
290	1,00	0,89	0,83	0,79	0,73	0,70
	0,96	0,81	0,74	0,70	0,62	0,60
300	0,95	0,85	0,79	0,76	0,70	0,67
	0,93	0,78	0,71	0,67	0,60	0,57
310	0,91	0,81	0,76	0,72	0,67	0,64
	0,89	0,75	0,69	0,64	0,58	0,55
320	0,87	0,78	0,73	0,69	0,64	0,62
	0,86	0,73	0,66	0,62	0,55	0,53
330	0,84	0,74	0,70	0,67	0,61	0,59
	0,83	0,70	0,64	0,60	0,53	0,51
340	0,80	0,71	0,67	0,64	0,59	0,57
	0,80	0,68	0,62	0,58	0,52	0,49
350	0,77	0,69	0,64	0,61	0,57	0,55
	0,78	0,66	0,60	0,56	0,50	0,47

PAVIMENTOS RÍGIDOS - DISEÑO DE ESPESORES

FACTORES DE EROSIÓN

Banquinas NO constituidas por losas de hormigón

Tabla 2a

Transferencia de cargas por pasadores.
(ejes simples / ejes tandem)

es- pe- lo- sa mm	Módulo K de la subrasante o Kc de la sub base (Mpa / m)					
	20	40	60	80	140	180
100	3,76	3,75	3,74	3,74	3,72	3,70
	3,83	3,79	3,77	3,76	3,72	3,70
110	3,63	3,62	3,61	3,61	3,59	3,58
	3,71	3,67	3,65	3,63	3,60	3,58
120	3,32	3,50	3,49	3,49	3,47	3,46
	3,61	3,56	3,54	3,52	3,49	3,47
130	3,41	3,39	3,39	3,38	3,37	3,35
	3,52	3,47	3,44	3,43	3,39	3,37
140	3,31	3,30	3,29	3,28	3,27	3,26
	3,43	3,38	3,35	3,33	3,30	3,28
150	3,22	3,21	3,20	3,19	3,17	3,16
	3,36	3,30	3,27	3,25	3,21	3,19
160	3,14	3,12	3,11	3,10	3,09	3,08
	3,28	3,22	3,19	3,17	3,13	3,12
170	3,06	3,04	3,03	3,02	3,01	3,00
	3,22	3,15	3,12	3,10	3,06	3,04
180	2,99	2,97	2,96	2,95	2,93	2,92
	3,16	3,09	3,06	3,03	2,99	2,97
190	2,92	2,90	2,88	2,88	2,86	2,85
	3,10	3,03	2,99	2,97	2,93	2,91
200	2,85	2,83	2,82	2,81	2,79	2,78
	3,05	2,97	2,94	2,91	2,87	2,85
210	2,79	2,77	2,75	2,75	2,73	2,72
	2,99	2,92	2,88	2,86	2,81	2,79
220	2,73	2,71	2,69	2,69	2,67	2,66
	2,95	2,87	2,83	2,80	2,76	2,73
230	2,67	2,65	2,64	2,63	2,61	2,60
	2,90	2,82	2,78	2,75	2,70	2,68
240	2,62	2,60	2,58	2,57	2,55	2,54
	2,86	2,78	2,73	2,71	2,66	2,63
250	2,57	2,54	2,53	2,52	2,50	2,49
	2,82	2,73	2,69	2,66	2,61	2,59
260	2,52	2,49	2,38	2,47	2,45	2,44
	2,78	2,69	2,65	2,62	2,56	2,54
270	2,47	2,44	2,43	2,42	2,40	2,39
	2,74	2,65	2,61	2,58	2,52	2,50
280	2,42	2,40	2,38	2,37	2,35	2,34
	2,71	2,62	2,57	2,54	2,48	2,46
290	2,38	2,35	2,34	2,33	2,31	2,30
	2,67	2,58	2,53	2,50	2,44	2,42
300	2,34	2,31	2,30	2,29	2,26	2,26
	2,64	2,55	2,50	2,46	2,41	2,38
310	2,29	2,27	2,25	2,24	2,22	2,21
	2,61	2,51	2,46	2,43	2,37	2,34
320	2,25	2,23	2,21	2,20	2,18	2,17
	2,58	2,48	2,43	2,40	2,33	2,31
330	2,21	2,19	2,17	2,16	2,14	2,13
	2,55	2,45	2,40	2,36	2,30	2,28
340	2,18	2,15	2,14	2,12	2,10	2,09
	2,52	2,42	2,37	2,33	2,27	2,24
350	2,14	2,11	2,10	2,09	2,07	2,06
	2,49	2,39	2,34	2,30	2,24	2,21

Tabla 2b

Transferencia de cargas por trabazón
intergranular. (ejes simples / ejes tandem)

es- pe- lo- sa mm	Módulo K de la subrasante o Kc de la sub base (Mpa / m)					
	20	40	60	80	140	180
100	3,94	3,92	3,90	3,88	3,84	3,80
	4,00	3,93	3,90	3,88	3,84	3,82
110	3,82	3,79	3,78	3,76	3,72	3,69
	3,90	3,82	3,79	3,76	3,72	3,70
120	3,71	3,68	3,67	3,65	3,62	3,59
	3,81	3,73	3,69	3,66	3,62	3,59
130	3,61	3,58	3,56	3,55	3,52	3,50
	3,73	3,65	3,60	3,57	3,52	3,49
140	3,52	3,49	3,47	3,46	3,43	3,41
	3,66	3,57	3,52	3,49	3,43	3,41
150	3,43	3,40	3,38	3,37	3,34	3,32
	3,59	3,50	3,45	3,42	3,36	3,33
160	3,35	3,32	3,30	3,29	3,26	3,24
	3,53	3,43	3,38	3,35	3,28	3,26
170	3,28	3,24	3,22	3,21	3,18	3,17
	3,48	3,37	3,32	3,28	3,22	3,19
180	3,21	3,17	3,15	3,14	3,11	3,10
	3,42	3,32	3,26	3,23	3,16	3,13
190	3,15	3,11	3,08	3,07	3,04	3,03
	3,37	3,27	3,21	3,17	3,10	3,07
200	3,09	3,04	3,02	3,01	2,98	2,96
	3,33	3,22	3,16	3,12	3,05	3,01
210	3,04	2,99	2,96	2,95	2,92	2,90
	3,28	3,17	3,11	3,07	3,00	2,96
220	2,98	2,93	2,90	2,89	2,86	2,85
	3,24	3,13	3,07	3,03	2,95	2,92
230	2,93	2,88	2,85	2,83	2,80	2,79
	3,20	3,09	3,03	2,98	2,91	2,87
240	2,89	2,83	2,80	2,78	2,75	2,74
	3,16	3,05	2,99	2,94	2,86	2,83
250	2,84	2,78	2,75	2,73	2,70	2,69
	3,13	3,01	2,95	2,91	2,82	2,79
260	2,80	2,73	2,70	2,69	2,65	2,64
	3,09	2,98	2,91	2,87	2,79	2,75
270	2,76	2,69	2,66	2,64	2,61	2,59
	3,06	2,94	2,88	2,83	2,75	2,71
280	2,72	2,65	2,62	2,60	2,56	2,55
	3,03	2,91	2,84	2,80	2,71	2,68
290	2,68	2,61	2,58	2,56	2,52	2,50
	3,00	2,88	2,81	2,77	2,68	2,64
300	2,65	2,57	2,54	2,52	2,48	2,46
	2,97	2,85	2,78	2,74	2,65	2,61
310	2,61	2,54	2,50	2,48	2,44	2,42
	2,94	2,82	2,75	2,71	2,62	2,58
320	2,58	2,50	2,47	2,44	2,40	2,38
	2,91	2,79	2,72	2,68	2,59	2,55
330	2,55	2,47	2,43	2,41	2,36	2,35
	2,89	2,77	2,70	2,65	2,56	2,52
340	2,52	2,44	2,40	2,37	2,33	2,31
	2,86	2,74	2,67	2,62	2,53	2,49
350	2,49	2,41	2,37	2,34	2,29	2,28
	2,84	2,71	2,65	2,60	2,51	2,47

PAVIMENTOS RÍGIDOS - DISEÑO DE ESPESORES

FACTORES DE EROSIÓN

Banquinas de hormigón

Tabla 3a

Transferencia de cargas por pasadores. Banquinas de hormigón (ejes simples / ejes tándem)						
es- pe- lo- sa mm	Módulo K de la subrasante o Kc de la sub base (Mpa / m)					
	20	40	60	80	140	180
100	3,27	3,24	3,22	3,21	3,17	3,15
	3,25	3,17	3,14	3,12	3,11	3,11
110	3,16	3,12	3,10	3,09	3,05	3,03
	3,16	3,07	3,03	3,00	2,98	2,97
120	3,05	3,01	2,99	2,98	2,94	2,92
	3,08	2,98	2,93	2,90	2,86	2,84
130	2,96	2,92	2,89	2,88	2,84	2,82
	3,01	2,90	2,85	2,81	2,76	2,74
140	2,87	2,82	2,80	2,78	2,75	2,73
	2,94	2,83	2,77	2,74	2,67	2,65
150	2,79	2,74	2,72	2,70	2,67	2,65
	2,88	2,77	2,71	2,67	2,60	2,57
160	2,71	2,66	2,64	2,62	2,59	2,57
	2,82	2,71	2,65	2,60	2,53	2,50
170	2,64	2,59	2,57	2,55	2,51	2,49
	2,77	2,65	2,59	2,55	2,46	2,43
180	2,57	2,52	2,50	2,48	2,44	2,42
	2,72	2,60	2,54	2,49	2,41	2,37
190	2,51	2,46	2,43	2,41	2,38	2,36
	2,67	2,56	2,49	2,44	2,35	2,32
200	2,45	2,40	2,37	2,35	2,31	2,30
	2,63	2,51	2,44	2,40	2,31	2,27
210	2,39	2,34	2,31	2,29	2,26	2,24
	2,58	2,47	2,40	2,35	2,26	2,22
220	2,34	2,29	2,26	2,24	2,20	2,18
	2,54	2,43	2,36	2,31	2,22	2,18
230	2,29	2,23	2,21	2,19	2,15	2,13
	2,50	2,39	2,32	2,27	2,18	2,13
240	2,24	2,18	2,16	2,13	2,10	2,08
	2,46	2,35	2,28	2,23	2,14	2,10
250	2,19	2,14	2,11	2,09	2,05	2,03
	2,43	2,31	2,24	2,20	2,10	2,06
260	2,15	2,09	2,06	2,04	2,00	1,98
	2,39	2,28	2,21	2,16	2,07	2,02
270	2,10	2,05	2,02	2,00	1,96	1,94
	2,36	2,24	2,18	2,13	2,03	1,99
280	2,06	2,01	1,98	1,95	1,91	1,89
	2,32	2,21	2,14	2,10	2,00	1,96
290	2,02	1,97	1,93	1,91	1,87	1,85
	2,29	2,18	2,11	2,06	1,97	1,93
300	1,98	1,93	1,90	1,87	1,83	1,81
	2,26	2,15	2,08	2,03	1,94	1,90
310	1,95	1,89	1,86	1,84	1,79	1,77
	2,23	2,12	2,05	2,01	1,91	1,87
320	1,91	1,85	1,82	1,80	1,76	1,74
	2,20	2,09	2,03	1,98	1,88	1,84
330	1,87	1,82	1,78	1,76	1,72	1,70
	2,17	2,06	2,00	1,95	1,86	1,81
340	1,84	1,78	1,75	1,73	1,69	1,67
	2,15	2,04	1,97	1,92	1,83	1,79
350	1,81	1,75	1,72	1,69	1,65	1,63
	2,12	2,01	1,95	1,90	1,80	1,76

Tabla 3b

Transferencia de cargas por trabazón intergranular. Banquinas de hormigón (ejes simples / ejes tándem)						
es- pe- lo- sa mm	Módulo K de la subrasante o Kc de la sub base (Mpa / m)					
	20	40	60	80	140	180
100	3,45	3,41	3,39	3,38	3,34	3,31
	3,45	3,36	3,33	3,31	3,28	3,27
110	3,34	3,30	3,28	3,27	3,23	3,20
	3,36	3,27	3,22	3,20	3,16	3,15
120	3,24	3,20	3,18	3,16	3,13	3,11
	3,28	3,18	3,13	3,11	3,06	3,04
130	3,15	3,11	3,08	3,07	3,04	3,02
	3,21	3,11	3,05	3,02	2,97	2,95
140	3,07	3,02	3,00	2,98	2,95	2,93
	3,15	3,04	2,98	2,95	2,89	2,86
150	2,99	2,94	2,92	2,90	2,87	2,85
	3,09	2,98	2,92	2,88	2,82	2,79
160	2,91	2,87	2,84	2,83	2,80	2,78
	3,04	2,92	2,86	2,82	2,75	2,72
170	2,85	2,80	2,77	2,76	2,73	2,71
	2,99	2,87	2,81	2,77	2,69	2,66
180	2,78	2,73	2,71	2,69	2,66	2,64
	2,94	2,82	2,76	2,71	2,64	2,61
190	2,73	2,67	2,64	2,63	2,60	2,58
	2,90	2,77	2,71	2,67	2,59	2,55
200	2,67	2,61	2,59	2,57	2,54	2,52
	2,86	2,73	2,67	2,62	2,54	2,51
210	2,62	2,56	2,53	2,51	2,48	2,47
	2,82	2,69	2,63	2,58	2,50	2,46
220	2,57	2,51	2,48	2,46	2,43	2,41
	2,78	2,66	2,59	2,54	2,46	2,42
230	2,52	2,46	2,43	2,41	2,38	2,36
	2,75	2,62	2,55	2,50	2,42	2,38
240	2,47	2,41	2,38	2,36	2,33	2,31
	2,72	2,59	2,52	2,47	2,38	2,34
250	2,43	2,37	2,34	2,32	2,28	2,27
	2,69	2,55	2,48	2,43	2,35	2,31
260	2,39	2,33	2,29	2,27	2,24	2,22
	2,66	2,52	2,45	2,40	2,31	2,27
270	2,35	2,28	2,25	2,23	2,20	2,18
	2,63	2,49	2,42	2,37	2,28	2,24
280	2,31	2,25	2,21	2,19	2,16	2,14
	2,60	2,47	2,39	2,34	2,25	2,21
290	2,26	2,21	2,17	2,15	2,12	2,10
	2,58	2,44	2,37	2,32	2,22	2,18
300	2,24	2,17	2,14	2,12	2,08	2,06
	2,55	2,41	2,34	2,29	2,19	2,15
310	2,21	2,14	2,10	2,08	2,01	2,02
	2,53	2,39	2,31	2,26	2,17	2,13
320	2,18	2,11	2,07	2,05	2,01	1,99
	2,50	2,36	2,29	2,24	2,14	2,10
330	2,15	2,07	2,04	2,01	1,97	1,95
	2,48	2,34	2,27	2,21	2,12	2,07
340	2,12	2,04	2,01	1,98	1,94	1,92
	2,46	2,32	2,24	2,19	2,09	2,05
350	2,09	2,01	1,97	1,95	1,91	1,89
	2,44	2,30	2,22	2,17	2,07	2,03