

### 3.604.2 PAVIMENTOS RIGIDOS

**3.604.201 Consideraciones Generales.** El método de diseño de pavimentos rígidos nuevos sin armaduras y con o sin barras de traspaso de cargas, que se presenta está basado en el método AASHTO con las modificaciones introducidas en el Supplement to the AASHTO Guide for Design of Pavement Structures Part II – Rigid Pavement Design & Rigid Pavement Joint Design, publicado en 1998.

El procedimiento es un método teórico empírico (mecanicista), que si bien mantiene el concepto básico del método AASHTO de 1993, añade nuevos términos que modifican la ecuación de diseño, a fin de incorporar 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 borde. Además, el método incluye verificación para las condiciones del escalonamiento de las juntas transversales, con y sin barras de traspaso de cargas y del agrietamiento de esquina, cuando no se colocan barras de traspaso de cargas.

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, 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.

Las Láminas 3.604.201.A, 3.604.201.B y 3.604.201.C muestran esquemáticamente las secuencias a seguir para ajustarse al procedimiento de diseño descrito en la determinación de espesores de losa, la verificación de escalonamiento y las tensiones de esquina, respectivamente.

**3.604.202 Ecuaciones de Diseño.** Las ecuaciones básicas de diseño son:

$$\log W_{18} = \log R + \frac{G}{F} + (5,065 - 0,03295 p_i^{2,4}) \cdot \left( \log \left( \frac{S_c'}{\sigma_i'} \right) - \log \left( \frac{4,754}{\sigma_i} \right) \right) + Z_R \cdot S_0 \quad (\text{ec. 3.604.202.1})$$

$$\log R = 5,85 + 7,35 \cdot \log \left( \left( \frac{D}{25,4} \right) + 1 \right) - 4,62 \cdot \log \left( \left( \frac{L_1}{4,45} \right) + L_2 \right) + 3,28 \cdot \log(L_2) \quad (\text{ec. 3.604.202.2})$$

$$F = 1,00 + \frac{3,63 \cdot \left( \left( \frac{L_1}{4,45} \right) + L_2 \right)^{5,2}}{\left( \left( \frac{D}{25,4} \right) + 1 \right)^{8,46} \cdot L_2^{3,52}} \quad (\text{ec. 3.604.202.3})$$

$$G = \log \left( \frac{p_i - p_f}{p_f - 1,5} \right) \quad (\text{ec. 3.604.202.4})$$

donde:

$W_{18}$  : ejes equivalentes de 80 kN (EE) acumulados durante la vida de diseño.

$Z_R$  : coeficiente estadístico, asociado al Nivel de Confianza. (1-R) en una curva de distribución normal estándar.

$S_0$  : desviación estándar de la combinación de errores de predicción de tránsito y de predicción del comportamiento general del pavimento para un nivel de tránsito dado.

- D : espesor de losa (mm).  
 $S_c$  : resistencia media a la flexotracción del hormigón a los 28 días, con carga en los tercios, (MPa).  
 $L_1$  : carga de eje simple, 80 kN.  
 $L_2$  : código de eje simple = 1.  
 $p_i$  : índice de serviciabilidad inicial.  
 $p_f$  : índice de serviciabilidad final.  
 $\sigma_t'$  : tensión de tracción máxima en la losa para una condición de carga de borde, en MPa, considerando efecto de temperatura (ecuación 3.604.212(1)).  
 $\sigma_t$  : tensión de tracción máxima en la losa para una condición de carga de borde, en MPa, considerando efecto de temperatura, en las condiciones de la Prueba AASHO (ec. 3.604.212(2)).

La valorización de los parámetros necesarios para establecer el espesor requerido se explican a continuación, en los Numerales siguientes:

|  |                   |
|--|-------------------|
| - Serviciabilidad  | Numeral 3.604.203 |
| - Ejes Equivalentes Solicitantes                             | Numeral 3.604.204 |
| - Confiabilidad  | Numeral 3.604.205 |
| - Módulo de Reacción de la Subrasante                        | Numeral 3.604.206 |
| - Resistencia a la Flexotracción                             | Numeral 3.604.207 |
| - Módulo de Elasticidad y Coeficiente de Fricción de la Base | Numeral 3.604.208 |
| - Factor de Ajuste por Tipo de Berma                         | Numeral 3.604.209 |
| - Temperaturas y Precipitaciones                             | Numeral 3.604.210 |
| - Estructuración   | Numeral 3.604.211 |
| - Determinación de Espesores                                 | Numeral 3.604.212 |
| - Verificación del Escalonamiento con Barras de Traspaso     |                   |
| - de Cargas en las Juntas                                    | Numeral 3.604.213 |
| - Diseño de las Juntas                                       | Numeral 3.604.214 |

**3.604.203 Serviciabilidad.** El Índice de Serviciabilidad Inicial  $p_i$ , corresponde a la serviciabilidad al momento de puesta en servicio el camino y por lo tanto depende de la calidad de la construcción que se utilice. Debe tenerse en consideración que la vida útil real del pavimento se encuentra estrechamente ligada al nivel de la serviciabilidad inicial; a mejor  $p_i$ , mayor vida útil para las mismas condiciones de servicio.

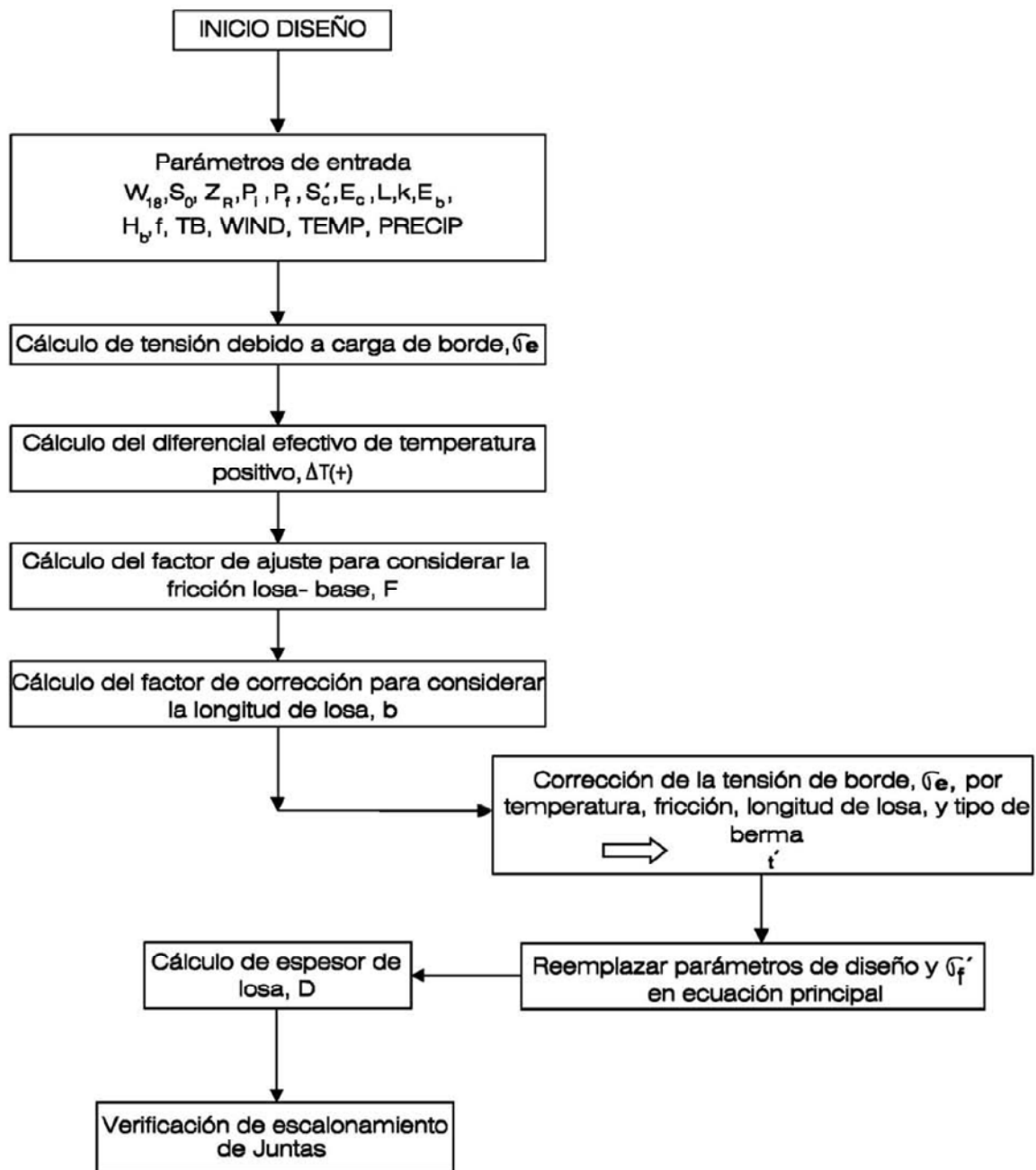
La serviciabilidad final ( $p_f$ ) es el menor valor que puede alcanzar este indicador antes que resulte inconveniente transitar el pavimento.

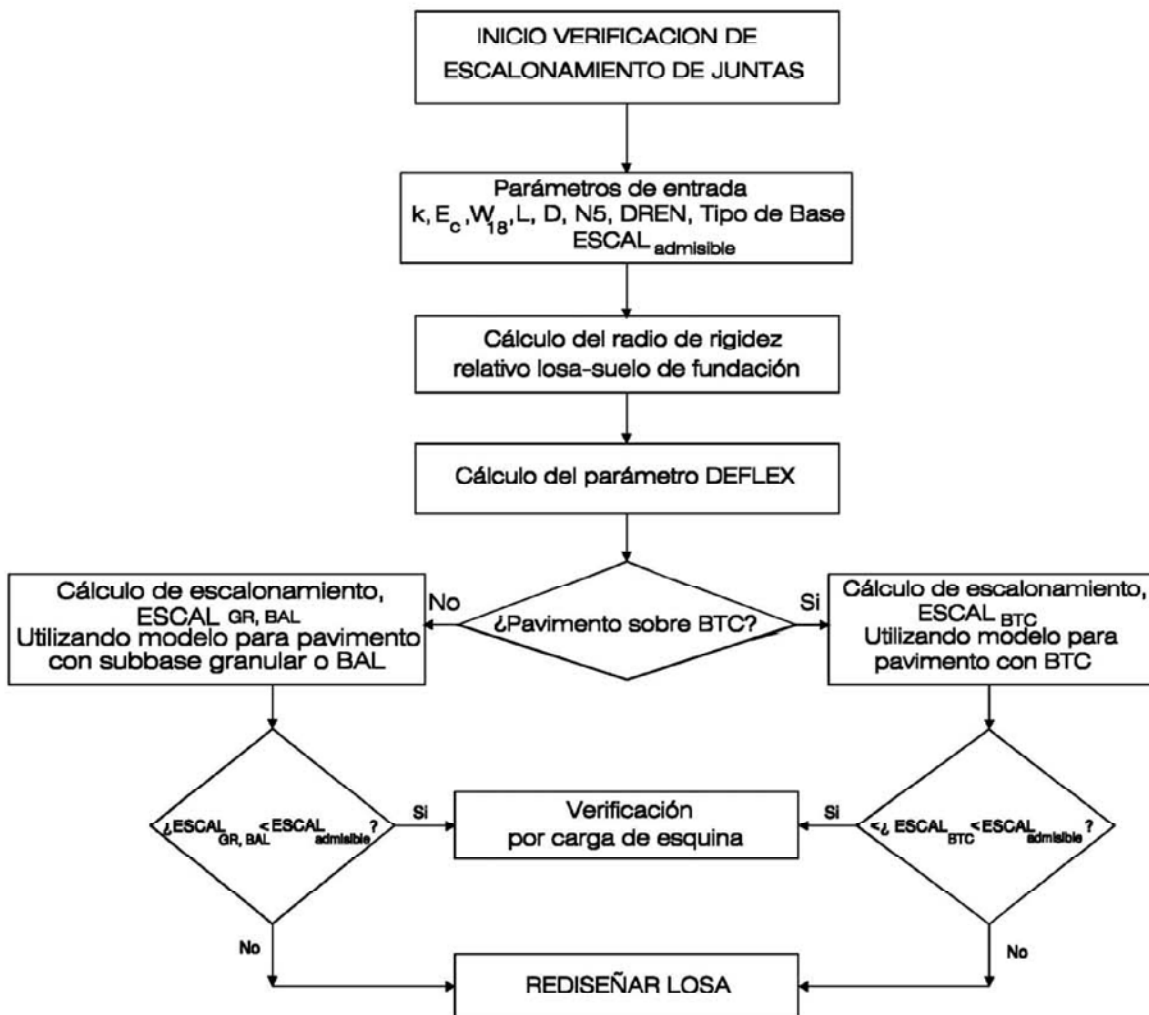
En la Tabla 3.604.203.A se entregan los valores que se recomiendan para estos parámetros. En situaciones especiales se podrán adoptar índices de serviciabilidad final distintos a los que se señalan en la Tabla, siempre que se justifiquen adecuadamente y cuenten con la conformidad de la Dirección de Vialidad.

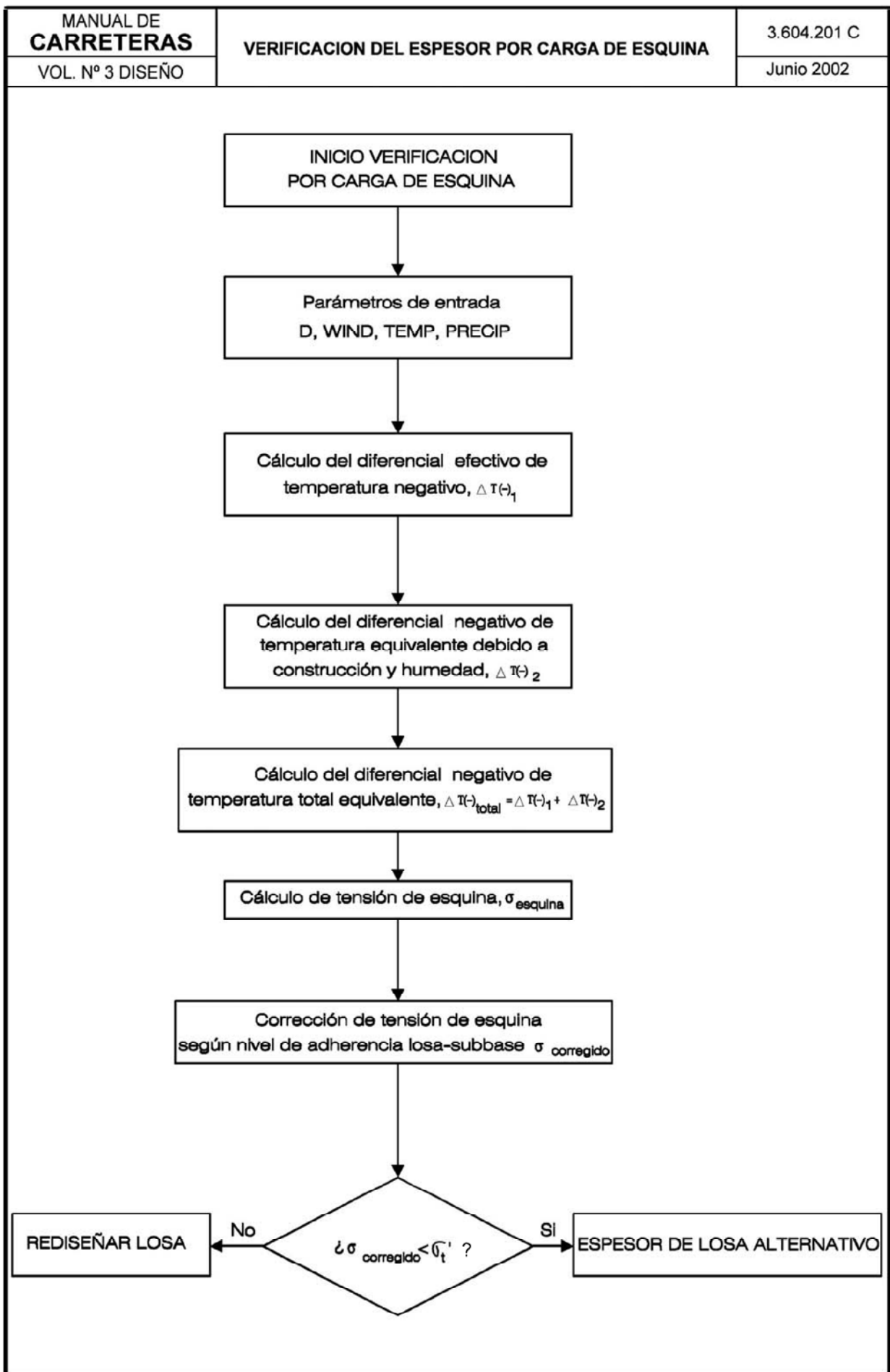
**TABLA 3.604.203.A**  
**INDICES DE SERVICIABILIDAD**

|   |     |
|---|-----|
| Índice de Serviciabilidad Inicial ( $p_i$ ) | 4,5 |
| Índice de Serviciabilidad Final ( $p_f$ )   | 2,0 |

**3.604.204 Ejes Equivalentes Solicitantes.** Las solicitaciones que deberá soportar la estructura se expresan como los EE acumulados durante el período de vida de diseño. Salvo que se indique o autorice especialmente de otra manera, normalmente los pavimentos rígidos deberán diseñarse en una sola etapa y para las vidas diseño que se indican en la Tabla 3.604.204.A.







**TABLA 3.604.204.A**  
**VIDA DE DISEÑO**

| CLASIFICACION DEL CAMINO          | VIDA DE DISEÑO (AÑOS) |
|-----------------------------------|-----------------------|
| De alto tránsito en zonas urbanas | 25 – 40               |
| Caminos Nacionales                | 20 – 30               |
| Caminos principales               | 20                    |
| Caminos secundarios               | 20                    |

El cálculo de las solicitudes expresadas como ejes equivalentes (EE) se ajustará a los criterios expuestos en el Numeral 3.603.202 y teniendo en consideración los siguientes aspectos:

- los TMDA para el año de partida, así como las proyecciones futuras, deben responder a un estudio de demanda específico para el camino que se proyecta.
- el camino o proyecto debe dividirse en tramos homogéneos, en los que las solicitudes acumuladas durante la vida de diseño (EE) sean iguales o sensiblemente similares.
- en lo posible se realizarán algunos pesajes de ejes para establecer, al menos, un orden de magnitud de los EE por tipo de vehículo que corresponde; los valores de EE/Veh incluidos en la Lámina 3.603.202.C deben utilizarse sólo cuando no se disponga de otra información. Por lo demás, debe tenerse en consideración que habitualmente las estratigráficas de pesos por eje resultan mucho más livianas en las proximidades de las plazas de pesaje fijas que en el resto de la red.
- el cálculo de los EE debe presentarse en un cuadro igual o similar al modelo que se incluye en la Lámina 3.603.202.E y en todo caso debe incluir al menos antecedentes relacionados con el período de vida de diseño, el TMDA para cada año, total y para cada una de las categorías en que se hubiere dividido el tránsito, el factor de pista de diseño, los EE estimados para cada año y los acumulados.

**3.604.205 Confiabilidad.** El grado de confiabilidad del diseño se controla por el factor de confiabilidad ( $F_R$ ) 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 ( $S_0$ ) de todos los parámetros que intervienen en el comportamiento del pavimento.

Para las situaciones normales, la Tabla 3.604.205.A 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 Tabla, siempre que se justifiquen adecuadamente y cuenten con la conformidad de la Dirección de Vialidad.

La desviación normal del error combinado ( $S_0$ ), tal como se señala en el Numeral 3.603.204, 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 solicitudes 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 indica los valores que se recomienda utilizar en los diseños de pavimentos rígidos en función de las solicitudes 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.

**TABLA 3.604.205.A**  
**NIVEL DE CONFIANZA Y VALOR DEL  $S_0$**

| EE Solicitantes<br>(millones) | Confiabilidad<br>(%) | $Z_R$           | $S_0$ en función del coeficiente variación de los suelos |      |      |      |      |
|-------------------------------|----------------------|-----------------|--|------|------|------|------|
|                               |                      |                 | 15 %   | 20%  | 30 % | 40%  | 50%  |
| < 15                          | 60                   | - 0,253         | 0,35   | 0,36 | 0,37 | 0,39 | 0,40 |
| 15 – 30                       | 60 – 70              | - 0,253 – 0,524 | 0,35   | 0,36 | 0,37 | 0,39 | 0,40 |
| 30 – 50                       | 70 – 75              | - 0,524 – 0,674 | 0,34   | 0,35 | 0,36 | 0,38 | 0,39 |
| 50 – 70                       | 75 – 80              | - 0,674 – 0,841 | 0,32   | 0,33 | 0,34 | 0,37 | 0,38 |
| 70 – 90                       | 80 – 85              | - 0,841 – 1,037 | 0,30   | 0,31 | 0,32 | 0,35 | 0,36 |

Debido a la mayor dispersión que resulta al determinar el número estructural para subrasantes débiles, conviene utilizar el mayor valor del rango del nivel de confianza para subrasantes de baja capacidad de soporte y mal drenaje.

El factor de confiabilidad ( $F_R$ ) se determina con los valores del  $Z_R$  y  $S_0$  que se adopten, según la ecuación, 3.604.205:

$$\text{Log } F_R = - Z_R \cdot S_0 \quad \text{ó} \quad F_R = 10^{-Z_R \cdot S_0} \quad (\text{ec. 3.604.205})$$

**3.604.206 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 de 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.

**3.604.206(1) Correlaciones para Suelos Finos (A-4 a A-7, según clasificación AASHTO).** La capacidad soporte de los suelos finos está muy influenciada por el nivel de saturación ( $S_r$ ) a que se encuentran. Esta es función del contenido de humedad ( $\omega$ ), el peso unitario seco o densidad seca ( $\gamma_d$ ) y el peso específico ( $G$ ). La relación es la siguiente:

$$S_r = \frac{\frac{\omega(\%)}{1000} - \frac{16}{\gamma_d}}{G} \quad (\text{ec.3.604.206.1})$$

Para cada tipo de suelo fino la misma AASHTO, ha determinado una función lineal que relaciona el valor de  $k$  (MPa/m) con  $S_r$ . Debe tenerse en consideración que las relaciones fueron establecidas para humedades iguales y superiores al 50%, por lo que extrapolaciones para grados de humedad inferiores, pueden conducir a errores. Para los suelos tipo A-6, la función lineal es válida sólo hasta un 85% de humedad; a mayor grado de saturación, el valor de  $k$  disminuye menos que la función lineal.

La siguiente función lineal general, expresada en la ecuación 3.604.206.2, en que  $A$  y  $B$  toman los valores de la Tabla 3.604.206.A, permite determinar el valor de  $k$  que corresponde en cada caso.

$$k \text{ (MPa/m)} = A \cdot S_r + B \quad (\text{ec. 3.604.206.2}).$$

**TABLA 3.604.206.A**  
**VALORES DE A Y B PARA SUELOS FINOS**

| Clasificación Suelo           | A                                  | B      |
|-------------------------------|------------------------------------|--------|
| A - 4                         | - 0,44                             | 55,73  |
| A - 5                         | - 0,59                             | 70,07  |
| A - 6 (para $S_r < 80\%$ )    | - 1,11                             | 116,00 |
| A - 6 (para $S_r \geq 80\%$ ) | $K = 1,76 \cdot 10^8 S_r^{-3,578}$ |        |
| A - 7 - 5                     | - 0,77                             | 86,14  |
| A - 7 - 6                     | - 0,56                             | 76,56  |

Nota: Para suelos A-4: usar ecuación A-4 si la densidad seca es entre 1.440 y 1.680 kg/m<sup>3</sup> y CBR entre 4 y 8%. Usar ecuación A-7-6 para suelos con densidad seca entre 1.600 y 2.000 kg/m<sup>3</sup> y CBR entre 5 y 15%.

**3.604.206(2) Rangos de Valores de k para Suelos Granulares.** Para suelos granulares los valores de k se pueden estimar con la Tabla 3.604.206.B.

**TABLA 3.604.206.B**  
**RANGOS DE VALORES DE k PARA SUELOS GRANULARES**

| CLASIFICACION AASHTO                     | DESCRIPCION           | U.S.C. S | DENSIDAD SECA (kg/m <sup>3</sup> ) | CBR (%) | k (MPa/m) |
|--|-----------------------|----------|------------------------------------|---------|-----------|
| suelos gruesos                           |                       |          |                                    |         |           |
| A-1-a, bien graduado                     | Grava                 | GW, GP   | 2.000-2.250                        | 60 - 80 | 80 - 120  |
| A-1-a, mal graduado                      |                       |          | 1.900-2.100                        | 35 - 60 | 80 - 110  |
| A-1-b                                    | Arena gruesa          | SW       | 1.750-2.100                        | 20 - 40 | 55 - 110  |
| A-3                                      | Arena fina            | SP       | 1.680- 1.900                       | 15 - 25 | 40 - 80   |
| Suelos A-2 (granulares con muchos finos) |                       |          |                                    |         |           |
| A-2-4, grava                             | Grava limosa          | GM       | 1.100-2.300                        | 40 - 80 | 80 - 135  |
| A-2-5, grava                             | Grava limo arenosa    |          |                                    |         |           |
| A-2-4, arenosa                           | Arena limosa          | SM       | 1.900-2.150                        | 20 - 40 | 80 - 110  |
| A-2-5, arenosa                           | Grava areno limosa    |          |                                    |         |           |
| A-2-6, grava                             | Grava arcillosa       | GC       | 1.900-2.250                        | 20 - 40 | 55 - 120  |
| A-2-7, grava                             | Grava areno arcilla   |          |                                    |         |           |
| A-2-6, arenoso                           | Arena arcillosa       | SC       | 1.680-2.100                        | 10 - 20 | 40 - 95   |
| A-2-7, arenoso                           | Arena gravo arcillosa |          |                                    |         |           |

**3.604.206(3) Correlaciones con el CBR.** La siguiente relación permite estimar el valor de k cuando se conoce el CBR, sin embargo, debe tenerse presente que el rango de variación respecto al promedio es del orden de  $\pm 50\%$ .

$$k \text{ (MPa/m)} = 69,78 \log_{10} (\text{CBR}) - 10,16 \quad (\text{ec. 3.604.206.3})$$

El CBR se debe determinar de acuerdo con el ensayo descrito en el Método 8.102.11 del Volumen N° 8 de este Manual; para la zona norte (ver 3.604.4), los CBR deben determinarse a la humedad óptima (no saturados).

**3.604.206(4) Determinación Mediante Ensayos con Placa de Carga.** El valor de k correspondiente a la subrasante puede determinarse mediante dos tipos de ensayos de placa de carga; ensayos con cargas estáticas repetitivas (AASHTO T221, ASTM D1195) o ensayos con cargas estáticas no repetitivas (AASHTO T222, ASTM D1196). Estos ensayos no fueron desarrollados para el caso específico del diseño de pavimentos rígidos por lo que no proporcionan en forma explícita el valor del parámetro k requerido por el método de diseño.



El diseño de los pavimentos rígidos requiere el  $k$  estático elástico; puede determinarse con cualquiera de los dos ensayos indicados sobre una subrasante terminada o sobre un terraplén, siempre que su altura sea de a lo menos 3 m; en caso contrario el resultado obtenido debe corregirse utilizando el ábaco Lámina 3.604.206.A.

El ensayo debe realizarse con un plato de 762 mm (30") de diámetro. En el ensayo repetitivo, el  $k$  se determina como la razón entre la carga y la deformación elástica (la parte que se recupera de la deformación total); en el ensayo no repetitivo, se usa la razón entre carga y deformación para una deformación de 1,25 mm (0,05").

**3.604.206(5) Ajustes para Diseño.** El valor del  $k$  del suelo natural debe modificarse cuando se presentan cualquiera (o ambas) de las siguientes condiciones:

- a existencia de un estrato rígido, tal como roca o un estrato de suelo firmemente cementado (tosca, cangagua, manto de caliche, etc.) localizado hasta 3 m por debajo del nivel de la rasante
- un terraplén construido sobre el suelo natural.

Para ajustar el valor del  $k$  cuando se dan las condiciones señaladas, se puede utilizar el ábaco de la Lámina 3.604.206.A.

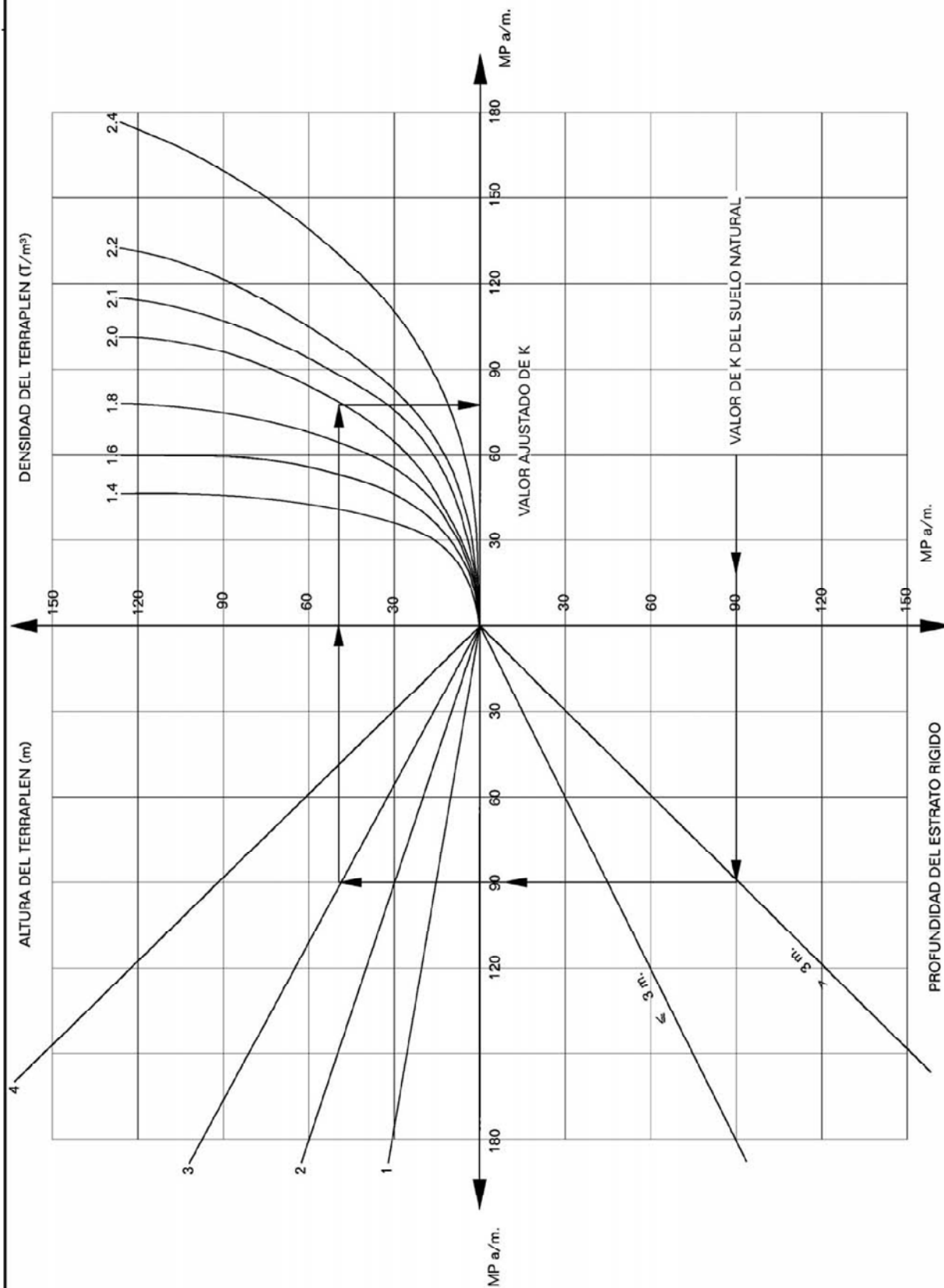
**3.604.206(6) Sistematización del Análisis de la Información de la Prospección de Suelos.** El valor representativo de las características de una determinada subrasante, para la que se cuenta con una serie de valores provenientes de la prospección de suelos, es fundamental para lograr un diseño adecuado del pavimento. Consecuentemente, la información recogida debe tratarse en forma sistemática y ordenada, de manera de asegurarse que los valores adoptados sean efectivamente los representativos de la situación real.

La siguiente pauta define un procedimiento para analizar en forma sistemática y secuencial la información originada en una prospección de suelos con el propósito de caracterizar una subrasante; se ha supuesto una prospección mediante ensayos tradicionales (el procedimiento cuando se dispone de ensayos no destructivos, tipo deflectometría, se indica en el Numeral 3.605.104 Evaluación del Pavimento Existente):

- Programar la prospección cuando se disponga de un perfil longitudinal del proyecto con la rasante prácticamente definitiva, aún cuando no necesariamente con todos sus parámetros y elementos calculados o totalmente definitivos.
- Preparar un cuadro, que puede ser igual o similar al de la Lámina 3.604.206.B que se incluye como ejemplo, conteniendo al menos la información que allí se indica, cuando se utiliza el CBR para calcular el  $k$  e introduciendo las alteraciones necesarias, cuando se utiliza otro procedimiento. Los antecedentes a consignar deben corresponder a los del estrato más débil detectado hasta una profundidad de mínimo 1,5 m por debajo de la rasante del camino y de preferencia hasta 3 m por debajo de ella.

Los antecedentes incluidos en las diferentes columnas de la Lámina 3.604.206.B son los siguientes:

- Columnas 1 y 2 : Número correlativo y localización (kilometraje) de la prospección.
- Columna 3 : Número de la muestra/profundidad respecto de la superficie del suelo natural de donde se extrajo la muestra.
- Columna 4 : Altura de la rasante sobre el suelo natural; (+) terraplén, (-) corte.
- Columnas 5 y 6 : Clasificación de suelos; sistemas U.S.C.S. y AASHTO.
- Columnas 7 y 8 : En el ejemplo se indican los Límites de Atterberg; si el  $k$  se determinara por correlación con la clasificación y grado de saturación, debería cambiarse por el contenido de humedad ( $w$ ) y el peso específico.



- Columna 9 : Peso Unitario Seco (PUS).
- Columna 10 : En el ejemplo se indica el CBR al 95% de D.M.C.S.; en otros casos se podría indicar el grado de saturación.
- Columna 11 : En el ejemplo se incluye el porcentaje de la densidad respecto al Proctor; en otros cálculos podría eliminarse.
- Columna 12 : Se indica el CBR a la densidad natural. (Los valores para CBR no ensayados se deben estimar en base principalmente a la clasificación del suelo según AASHTO, la Densidad Natural y/o el porcentaje del Proctor).
- Columna 13 : Valor de k calculado (k nat) por alguno de los procedimientos indicados en 3.604.206.
- Columna 14 : Valor del k modificado (k cor) por la presencia de un estrato rígido a menos de 3 m de profundidad y/o por existir un terraplén que modifica el k según el ábaco de la Lámina 3.604.206.A.
- Columna 15 : Valor del k adoptado para el diseño.

**3.604.206(7) Módulo de Reacción de la Subrasante de Diseño.** El método de diseño AASHTO utiliza como k de diseño, el valor promedio de la serie muestral; por otra parte, adoptando el  $S_0$  adecuado, se incorpora la dispersión que presenta la serie por medio del coeficiente de variación (coeficiente de variación = desviación estándar / promedio). Por lo tanto, utilizar procedimientos más conservadores para definir el valor de diseño implica aceptar coeficientes de seguridad mayores que los necesarios, además que se pierde el control sobre el nivel de confianza con que resulta el diseño.

Como criterio general para un buen diseño, se recomienda evitar dejar hasta 1,5 a 2,0 m por debajo de la rasante, suelos de baja capacidad soporte, es decir suelos con el equivalente a  $\text{CBR} \leq 3\%$ , salvo que un estudio o tratamiento especial asegure que se comportarán en forma adecuada. Cuando se presentan suelos de las características señaladas, normalmente existen tres posibilidades para ajustarse al requerimiento de mejorar su capacidad soporte:

- Realizar un estudio de Mecánica de Suelos que permita establecer procedimientos para densificar el suelo, normalmente junto con drenarlo, con lo que mejora su capacidad soporte.
- Reemplazar un estrato del suelo de baja capacidad por otro mejor. Esta solución presenta el problema de cómo evitar que el tramo donde se realizó el reemplazo se convierta en un especie de "piscina", con lo que se pierde todo el efecto deseado. La "piscina" se crea porque el suelo de reemplazo es normalmente mucho más permeable que el que lo rodea, de manera que el agua que alcanza hasta él no puede drenar.
- Colocar una tela tipo geotextil que aumente la capacidad soporte del suelo. Esta alternativa, normalmente de fácil aplicación, permite considerar que la colocación del geotextil equivale a elevar la capacidad soporte del suelo en el equivalente de 3 a 5 % del CBR, tal como se explica en 3.602.407.1. De acuerdo con ello, si sobre un suelo  $\text{CBR} = 2\%$  se coloca una tela geotextil, equivale para los efectos del comportamiento, como si el suelo tuviera una capacidad soporte de CBR entre 5 y 7%. En todo caso para utilizar este procedimiento debe verificarse que el recubrimiento sobre la tela sea el adecuado para evitar ahuellamientos, deformaciones y eventuales roturas de la tela.

Por otra parte, en las zonas donde la rasante impone terraplenes, el k representativo debe modificarse tal como se muestra en la Lámina 3.604.206.A, en función de la altura del terraplén y la densidad de los suelos que lo conforman. También modifica el k la presencia de un estrato rígido a menos de 3 m de profundidad.

En el caso de cortes de alturas importantes, el plano de la subrasante normalmente intercepta suelos de mucho mejor calidad que los detectados en la superficie; esta circunstancia también debe ser considerada para el diseño.

Cualquiera fuere la razón o el procedimiento que se utilice para modificar la capacidad soporte del suelo en la zona representada por la muestra, el valor correspondiente del k representativo se coloca en la columna 14 del cuadro de la Lámina 3.604.206.B.

El siguiente paso es establecer el  $k$  de diseño para sectores o tramos considerados homogéneos en cuanto a las características de los suelos. Se considera que un tramo es homogéneo cuando el coeficiente de variación no es superior al 50 %; con este valor se determina el correspondiente  $S_0$ , para lo que se utiliza la Tabla 3.604.205.A. Sin embargo, como el  $S_0$  depende del coeficiente de variación y por consiguiente modifica los espesores de la estructura, es conveniente analizar más de una sectorización antes de optar por una definitiva.

Una vez definida la sectorización se calcula, para cada tramo, el  $k$  promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación. Los valores del  $k$  superiores al promedio más 2 desviaciones estándar, se desechan y no entran en el cálculo; las zonas o áreas representadas por valores inferiores al promedio menos 2 desviaciones estándar, deben tratarse para mejorar la calidad del suelos de fundación, para lo cual pueden aplicarse algunos de los procedimientos indicados más arriba.

**3.604.206(8) Ejemplo de Cálculo del  $k$ .** En la Lámina 3.604.206.B se incluye un ejemplo de cómo determinar el Módulo de Reacción de la Subrasante se diseño. El procedimiento es el siguiente:

- En las columnas 1 a la 12 se anotaron los antecedentes básicos descritos en 3.604.206(6). Se señalan los CBR a la densidad natural, tanto determinados en laboratorio como estimados, básicamente por correlación con los anteriores por la clasificación de los suelos y la densidad natural; estos se individualizan con una letra "e" al costado derecho de la columna.
- En la columna 13 se anota el valor de  $k$  correspondiente a la densidad natural, calculado con alguno de los procedimientos indicados en 3.604.206.
- En la columna 14 se indica el valor del  $k$  corregido, sea por la presencia de un estrato rígido a menos de 3 m de profundidad (Lámina 3.604.206.A), sea por la existencia de un terraplén (Lámina 3.604.206.A) o por un reemplazo de material.
- Debajo de la columna 14 se entrega una serie de antecedentes respecto de la serie analizada, compuesta de 21 valores:
 

|                                 |              |
|---------------------------------|--------------|
| Promedio                        | = 64,5 MPa/m |
| Desv. Estándar                  | = 23,6 MPa/m |
| C. Variación                    | = 36,6 %     |
| Promedio más 2 desv. Estándar   | = 111,8      |
| Promedio menos 2 desv. Estándar | = 17,3       |
- El tramo es homogéneo pues el coeficiente de variación es menor que 50%. No se requiere de una división adicional.
- El valor correspondiente al Pozo N° 8,  $k = 127$  MPa/m es mayor que el promedio más 2 desviaciones estándar, por lo que corresponde retirarlo.
- La nueva serie ( $k$  dis en la columna 15) queda compuesta ahora de sólo 20 valores y tiene las siguientes características:
 

|              |                                |
|--------------|--------------------------------|
| Promedio     | = 61,4 Mpa/m (valor de diseño) |
| D. Estándar  | = 19,3 %                       |
| C. Variación | = 31,4 %                       |
- Para los efectos de diseño se debe utilizar  $k = 61$  Mpa/m.
- De acuerdo con la Tabla 3.604.205.A para un coeficiente de variación de 31%, corresponde elegir un  $S_0$ , en función de los EE solicitantes de los que se indican en la columna correspondiente a  $S_0 = 30\%$ .

**3.604.207 Resistencia a la Flexotracción y Módulo de Elasticidad del Hormigón.** Para el diseño se debe utilizar exclusivamente, la resistencia media de diseño a la flexotracción a 28 días y con las cargas de ensayo en los tercios. El valor a asignar a este parámetro dependerá de las posibilidades que existan en la zona del proyecto para preparar hormigones de calidad. Sin perjuicio de lo anterior, para situaciones donde no se presenten condicionantes restrictivas (disponibilidad de áridos de calidad, equipo de preparación adecuado, etc.), en función del tipo de vía, se recomiendan los valores que se indican en la Tabla 3.604.207.A.

MANUAL DE  
CARRETERAS

VOL. Nº 3 DISEÑO

CALCULO DEL MODULO DE REACCION DE LA SUBRASANTE  
TRAMO : CAMINO EJEMPLO

3.604.206 B

Junio 2002

|   |      |         |           |               |          |    |    |        |        |         |         |                       |        |       |
|---|------|---------|-----------|---------------|----------|----|----|--------|--------|---------|---------|-----------------------|--------|-------|
| 1   | 2    | 3       | 4         | 5             | 6        | 7  | 8  | 9      | 10     | 11      | 12      | 13                    | 14     | 15    |
| Pozo Nº   | Km.  | Nº/prof | H rasante | U.S.C.S.      | AASHTO   | IP | LL | P.U.S. | CBR 95 | Dens(%) | CBR nat | k nat                 | k corr | k dis |
| 1   | 0,3  | 1/0,5   | 0,5       | ML            | A-4(4)   | 7  | 31 | 1,49   | 27,9   | 81      | 5,9     | 44                    | 44     | 44    |
| 2   | 0,5  | 4/0,5   | 0,7       | ML-CL         | A-4(1)   | 6  | 27 | 1,65   |        |         | 7,0 e   | 49                    | 49     | 49    |
| 3   | 0,75 |         | -2        | GC            |          |    |    |        |        |         | 15,0 e  | 72                    | 72     | 72    |
| 4   | 1    | 6/0,6   | 0,2       | GM            | A-7-6(4) | 14 | 42 | 1,59   |        |         | 3,0 e   | 23                    | 23     | 23    |
| 5   | 1,3  | 7/0,6   | -0,3      | GC            | A-2-6(0) | 13 | 37 | 1,81   | 38,9   | 91,5    | 24,1    | 86                    | 86     | 86    |
| 6   | 1,5  | 8/0,6   | -0,4      | GM            | A-2-4(0) | 14 | 42 | 1,59   |        |         | 10,0 e  | 60                    | 60     | 60    |
| 7   | 1,76 | 9/0,5   | -1        | GM            | A-2-6(0) | 11 | 36 | -      |        |         | 10,0 e  | 60                    | 60     | 60    |
| 8   | 2    | 11/0,6  | 0,8       | GW            | A-1-a(0) | 4  | 22 | 2,12   | 102    | 94      | 92,1    | 127                   | 127    |       |
| 9   | 2,3  | 13/0,7  | 0         | SC            | A-6(2)   | 11 | 29 | 1,69   | 22,9   | 85,1    | 5,5     | 47                    | 47     | 47    |
| 10  | 2,5  | 14/0,7  | 0,5       | CL            | A-6(4)   | 14 | 34 | 1,79   |        |         | 6,0 e   | 44                    | 44     | 44    |
| 11  | 2,74 | 15/0,6  | 0,7       | GP-GC         | A-2-7(0) | 22 | 45 | 1,98   | 19     | 95      | 19,0    | 79                    | 79     | 79    |
| 12  | 3    | 16/0,1  | 2         | GC            | A-7-6(3) | 19 | 45 | 1,63   |        |         | 3,0 e   | 23                    | 33     | 33    |
| 13  | 3,27 | 18/0,6  | 3         | CL            | A-6(7)   | 15 | 34 | 1,55   | 20,9   | 83      | 4,3     | 34                    | 65     | 65    |
| 14  | 3,5  |         | 2         | roca fisurada |          |    |    |        |        |         | 15,0 e  | 72                    | 85     | 85    |
| 15  | 3,75 | 20/0,8  | -3        | GM            | A-2-4(0) | 8  | 32 | 1,77   | 79,3   | 83,6    | 11,4    | 64                    | 64     | 64    |
| 16  | 4    | 21/0,6  | 0         | GC            | A-2-7(2) | 21 | 41 | 1,77   |        |         | 15,0 e  | 72                    | 72     | 72    |
| 17  | 4,25 | 22/0,6  | 1         | GM            | A-1-a(0) | 3  | 23 | 1,91   | 107,6  | 86,7    | 31,3    | 94                    | 94     | 94    |
| 18  | 4,5  | 23/0,6  | 1,3       | GW-GM         | A-1-a(0) | 4  | 26 |        |        |         | 15,0 e  | 72                    | 72     | 72    |
| 19  | 4,82 |         |           |               | roca     |    |    |        |        |         | 15,0 e  | 72                    | 72     | 72    |
| 20  | 5,02 | 24/0,6  | -5        | CL            | A-6(5)   | 13 | 32 | 1,61   | 14,1   | 84,9    | 4,4     | 35                    | 35     | 35    |
| 21  | 5,2  | 26/0,6  | -0,3      | GM            | A-1-a(0) | NP | NP |        |        |         | 15,0 e  | 72                    | 72     | 72    |
| (e) CBR deducido por correlación  |      |         |           |               |          |    |    |        |        |         |         |                       |        |       |
| k nat modificado por estrato rígido prof < 3 m y/o por terraplén según columna 4 ; se ha supuesto 2.100 kg/m3 de densidad |      |         |           |               |          |    |    |        |        |         |         |                       |        |       |
|   |      |         |           |               |          |    |    |        |        |         |         | Promedio              | 64,5   | 61,4  |
|   |      |         |           |               |          |    |    |        |        |         |         | Desv. Standard        | 23,6   | 19,3  |
|   |      |         |           |               |          |    |    |        |        |         |         | Coef. Variación       | 36,3   | 31,4  |
|   |      |         |           |               |          |    |    |        |        |         |         | Prom. + 2 D Estándar. | 111,8  |       |
|   |      |         |           |               |          |    |    |        |        |         |         | Prom. - 2 D Estándar. | 17,3   |       |

**TABLA 3.604.207.A**  
**RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCION**  
**(promedio a los 28 días)**

| Tipo de Vía                   | Resistencia a la Flexotracción (MPa) |
|-------------------------------|--------------------------------------|
| Vías principales y Autopistas | 4,8 – 5,4                            |
| Vías Colectoras               | 4,6 – 5,0                            |
| Caminos Secundarios           | 4,2 – 4,8                            |

Para el Módulo de Elasticidad de hormigones de características normales se recomienda, en general, utilizar el valor de 29.000 MPa. También se puede estimar con la siguiente relación, en función de la resistencia a la compresión cilíndrica:

$$E_c = 4.779,4 \times f^{0,5} \quad (\text{ec. 3.604.207.1})$$

en que:

$E_c$  : Módulo de elasticidad del hormigón (MPa)

$f$  : Resistencia a la compresión cilíndrica (MPa)

**3.604.208 Módulo de Elasticidad y Coeficiente de Fricción de la Base.** La Tabla 3.604.208.A incluye valores que permiten estimar el módulo de elasticidad de la base que se utilice y el coeficiente de fricción entre base y pavimento.

**TABLA 3.604.208.A**  
**MODULOS DE ELASTICIDAD Y COEFICIENTES DE FRICCION DE LAS BASES**

| Tipo de Material de Base                            | Módulo Elasticidad (MPa) | Coeficiente de Fricción |       |      |
|---|--------------------------|-------------------------|-------|------|
|   |                          | Bajo                    | Medio | Alto |
| Suelo Fino  | 20,6 – 275,6             | 0,5                     | 1,3   | 2,0  |
| Arena   | 68,9 – 172,3             | 0,5                     | 0,8   | 1,0  |
| Granular  | 103,4 - 310,1            | 0,7                     | 1,4   | 2,0  |
| Lámina Polietileno                                  | -                        | 0,5                     | 0,6   | 1,0  |
| Arcilla Estabilizada con Cal                        | 137,8 – 482,3            | 3,0                     | -     | 5,3  |
| Base Tratada con Cemento                            | $(3,45+f_c') \cdot 1000$ | 8,0                     | 34    | 63   |
| Base Tratada con Asfalto                            | 2067 – 4134              | 3,7                     | 5,8   | 10   |
| Hormigón Pobre sin Compuesto Curado                 | $(3,45+f_c') \cdot 1000$ | > 36                    |       |      |
| Hormigón Pobre con Simple o Doble Compuesto Curado. | $(3,45+f_c') \cdot 1000$ | 3,5                     | -     | 4,5  |

$f_c'$ : Resistencia a la Compresión, MPa.

**3.604.209 Factor de Ajuste por Tipo de Berma.** El Factor de ajuste por el tipo y características de la berma a construir, se incluye en la Tabla 3.604.209.A. El concepto de borde libre implica una pista de circulación de 3,5 m de ancho con bermas granulares, sin revestir, revestidas con un tratamiento superficial o con una capa asfáltica; la berma de hormigón amarrada se refiere a una berma pavimentada con un pavimento de hormigón de no menos de 150 mm de espesor, 600 mm de ancho y amarrada a la pista mediante barras de acero y la pista ensanchada se refiere a una pista de no menos de 4,3 m de ancho construida de una sola vez, en la que se demarca para que el tránsito circule como en una pista de 3,5 m de ancho.

**TABLA 3.604.209.A**  
**FACTOR DE AJUSTE POR TIPO DE BERMA**

| Tipo de Berma              | Factor TB |
|----------------------------|-----------|
| Borde libre                | 1,00      |
| Berma de hormigón amarrada | 0,94      |
| Berma de pista ensanchada  | 0,92      |

**3.604.210 Temperaturas y Precipitaciones.** El modelo para diseño requiere de antecedentes relacionados con el clima de la zona donde se emplaza el proyecto; se recomienda adoptar el promedio de al menos un periodo de 10 años. Los parámetros que intervienen son:

- Velocidad media anual del viento (nudos)
- Temperatura del aire media anual (° C)
- Precipitación media anual (mm)
- Número de días con precipitación mayor que 5 mm

En la Tabla 3.604.210.A se entregan antecedentes estadísticos de las condiciones climáticas en una serie de lugares a lo largo del país, como valores promedios para un periodo de 10 años. Cuando se requiera diseñar un pavimento localizado en un lugar diferente a los incluidos en la Tabla, será necesario obtener la información estadística adicional que corresponda.

**TABLA 3.604.210.A**  
**ESTADISTICAS CLIMATICAS**

| UBICACION    | ESTACION SINOPTICA | TEMPERATURA MEDIA ANUAL °C | PRECIPITACION MEDIA ANUAL Mm | VEL. VIENTO MEDIA ANUAL NUDOS | DIAS CON PRECIPITACION MAYOR QUE 5 mm |
|--------------|--------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|
| La Serena    | La Florida         | 13,6                       | 83,6                         | 5,9                           | 3                                     |
| Longotoma    | Longotoma          | 13,5                       | 247,2                        | 1,3                           | 13                                    |
| Valparaíso   | Lago Peñuelas      | 13,5                       | 649,4                        | 1,3                           | 28                                    |
| Santiago     | Quinta Normal      | 14,5                       | 320,4                        | 2,8                           | 18                                    |
| Curicó       | General Freire     | 13,3                       | 658,0                        | 4,4                           | 35                                    |
| Chillán      | Bernardo O'Higgins | 12,7                       | 1163,0                       | 5,6                           | 56                                    |
| Concepción   | Carriel Sur        | 12,4                       | 1087,2                       | 9,1                           | 78                                    |
| Los Angeles  | María Dolores      | 12,0                       | 1675,0                       | 5,4                           | 78                                    |
| Temuco       | Maquehue           | 11,2                       | 1278,2                       | 5,2                           | 70                                    |
| Valdivia     | Pichoy             | 11,0                       | 1874,1                       | 5,0                           | 111                                   |
| Osorno       | Cañal Bajo         | 10,4                       | 1390,1                       | 6,0                           | 110                                   |
| Coyhaique    | Carlos Ibáñez      | 8,8                        | 1485,4                       | 6,6                           | 93,5                                  |
| Punta Arenas | Teniente Vidal     | 6,3                        | 413,3                        | 14,3                          | 64,2                                  |

**3.604.211 Estructuración.** Los pavimentos rígidos que se diseñen bajos los términos que señala este Manual y salvo, instrucción o aprobación especial de la Dirección de Vialidad, deberán ajustarse a los siguientes términos generales:

- Deben diseñarse con una base granular de 150 mm de espesor compactado.
- Las juntas de contracción se distanciarán entre 3 y 5 m, debiendo adoptarse el valor inferior para zonas donde las variaciones de temperaturas sean extrema y el superior donde ellas sean menos pronunciadas. En cualquier caso, la distancia entre juntas es uno de los parámetros que intervienen en el diseño, por lo que deberá analizarse cual es la distancia más conveniente para cada proyecto en especial.
- Cualquiera fuere el espesor resultante al aplicar las relaciones que se incluyen en este Manual, los pavimentos de hormigón a diseñar para la Dirección de Vialidad no tendrán más de 300 mm de espesor.
- El espesor mínimo normal será de 180 mm, salvo que se demuestre en base a valorizar los parámetros que intervienen en el diseño, que dicho espesor puede disminuirse en un caso especial.

### 3.604.212 Determinación de Espesores

**3.604.212(1) Tensión de Tracción Máxima en la Losa con Carga de Borde, Considerando el Efecto de la Temperatura.** La tensión de tracción máxima considerando carga de borde y los efectos de la temperatura ( $\sigma_t'$ ) se determina con la ecuación siguiente:

$$\sigma_t' = \sigma_t \cdot TB \cdot F \cdot \left( 1,0 + \left( \frac{5}{9} \right) \cdot b \cdot \Delta T(+ ) \right) \quad [\text{MPa}] \quad (\text{ec. 3.604.211.1})$$

donde:

$\sigma_t$  = Tensión de tracción máxima en la losa de hormigón para una condición de carga de borde, en MPa, dada por la ecuación 3.604.211.2.

$$\sigma_t = \frac{80.012743}{D^2} \cdot \left[ 4,227 - 4,547 \cdot \left( \frac{180}{5,622 \times l} \right)^{0,2} - 0,00158 \cdot \left( \frac{E_b \times H_b}{k} \right)^{0,5} - 0,0308 \cdot \left( H_b \cdot \left( \frac{E_b}{E_c} \right)^{0,75} \right)^{0,5} \right] \quad (\text{ec. 3.604.211.2})$$

$$l = \sqrt[4]{\frac{E_c \cdot D^3}{12 \cdot (1 - \mu^2) \cdot k}} \quad [\text{mm}] \quad (\text{ec. 3.604.211.3})$$

D : Espesor de losa (mm).

$E_c$  : Módulo de elasticidad del hormigón (salvo condiciones especiales, usar 29.000 MPa).

$E_b$  : Módulo de elasticidad de la base, MPa.

$H_b$  : Espesor de la base, mm.

k : Módulo de reacción de la subrasante, MPa/m.

$\mu$  : Razón de Poisson para el hormigón (salvo casos especiales utilizar 0,15).

TB : Factor de ajuste por tipo de berma dado por la Tabla 3.604.209.A

F : factor de ajuste por fricción dado por la ecuación 3.604.211.4

$$F = 1,117 - 2,457 \cdot 10^{-7} \cdot D \cdot E_b - 4,549 \cdot 10^{-4} \cdot D + 9,100 \cdot 10^{-5} \cdot E_b - 0,000315 \cdot f \quad (\text{ec. 3.604.211.4})$$

f : coeficiente de fricción entre la losa y la base dado por la Tabla 3.604.208.A

b : factor de ajuste por longitud de losa dado por la ecuación 3.604.211.5.



$$\log b = -1,944 + 2,279 \cdot \frac{D}{l} + 91,7 \cdot \frac{L}{l} - 75718996,95 \cdot \frac{D^2}{k \cdot l^4} + \left( \frac{0,731}{l} \right) \cdot \left( \frac{E_b \cdot H_b^{1.5}}{k} \right)^{0.5} \quad (\text{ec. 3.604.211.5})$$

$$- 118,872 \cdot \frac{D^2}{k \cdot l^2} - 8,711 \cdot 10^{10} \cdot \frac{D^3 \cdot L}{k \cdot l^6}$$

L : Distancia entre juntas de contracción ( m )

$\Delta T(+)$  = Diferencial efectivo de temperatura positivo. Se define como la diferencia entre la temperatura de la fibra superior e inferior de la losa, en ° C, dado por la ecuación 3.604.211.6.

$$\Delta T(+) = 12,33 - \frac{2385,715}{D} + 0,707 \cdot \text{WIND} + 0,596 \cdot \text{TEMP} - 5,924 \cdot 10^{-4} \cdot \text{PRECIP}$$

( ec. 3.604.211.6)

WIND : Velocidad media anual del viento, nudos.

TEMP : Temperatura media anual del ambiente, ° C.

PRECIP : Precipitación media anual, mm.

**3.604.212(2) Tensión de tracción máxima en la losa para una condición de carga de borde, considerando efecto de temperatura, en las condiciones de la Prueba AASHO.** La tensión de tracción máxima considerando carga de borde y efecto de temperatura, en las condiciones de la Prueba AASHO, se determina mediante la ecuación 3.604.211.7

$$\sigma_i = \frac{80012,743}{D^2} \cdot \left[ 4,125 - \left( \frac{7,286}{D^{0.15}} \right) \right]$$

$$\sigma_i = \sigma_{i(AASHO)} \cdot F_{AASHO} \cdot \left( 1,0 + \left( \frac{5}{9} \right) \cdot b_{AASHO} \cdot \Delta T(+ )_{AASHO} \right) \quad (\text{ec. 3.604.211.7})$$

$$\sigma_i = \frac{80012,743}{D^2} \cdot \left[ 4,125 - \left( \frac{7,286}{D^{0.15}} \right) \right] \quad (\text{ec. 3.604.211.8})$$

donde:

$$F_{AASHO} = 1,192 - 0,000497 \cdot D \quad (\text{ec. 3.604.211.9})$$

$$\log b_{AASHO} = -1,944 + 0,134 \cdot D^{0.25} - 0,0137 \cdot D^{0.5} + \frac{29,0679}{D^{0.75}} - \frac{30,150}{D} - \frac{546,368}{D^{1.5}} \quad (\text{ec. 3.604.211.10})$$

$$\Delta T(+ )_{AASHO} = 25,308 - \frac{2527,859}{D} \quad (\text{ec. 3.604.211.11})$$

**3.604.212(3) Verificación del Escalonamiento sin Barras de Traspaso de Cargas.** Para verificar la magnitud de los escalonamientos se utilizan modelos desarrollados por la Dirección de Vialidad, a través del Instituto de Investigaciones y Ensayos de Materiales (IDTEM) de la Universidad de Chile en 1997. Los modelos son para pavimentos de hormigón simple con juntas sin barras de traspaso de carga. En general, los modelos se calibraron en pavimentos en servicio que experimentaron bajos escalonamientos de las juntas transversales y por lo tanto, se encuentran en revisión; en cualquier caso es la información disponible más fidedigna para las condiciones nacionales.

- Pavimento sobre Base Tratada con Cemento.

$$ESCAL_{BTC} = W_{18}^{0,434729} \cdot (0,009539 \cdot N5 + DEFLEX^{0,378606} + 0,058668 \cdot DREN - 0,150972) \quad (\text{ec. 3.604.211.13})$$

donde:

ESCAL<sub>BTC</sub> : Escalonamiento promedio de juntas transversales para pavimentos sobre una Base Tratada con Cemento, mm.

W<sub>18</sub> : Ejes Equivalentes acumulados, millones.

N5 : Número de días con precipitación mayor a 5 mm.

DEFLEX : Deflexión de esquina de la losa (ecuación 3.604.21.2), mm.

DREN : 0 si existe dren.

: 1 en cualquier otro caso.

con:

$$DEFLEX = \left( \frac{P}{k \cdot l^2} \right) \cdot \left( 1,1 - \frac{0,88 \cdot a \cdot \sqrt{2}}{l} \right) \quad (\text{ec. 3.604.211.14})$$

donde:

P : Carga de rueda, 4086 kg.

a : Radio del área de carga, 14,37 mm.

l : Radio de rigidez relativa sistema losa fundación, mm.

$$l = \sqrt[4]{\frac{E_c \cdot D^3}{12 \cdot (1 - \mu^2) \cdot k}} \quad (\text{ec. 3.604.211.15})$$

E<sub>c</sub> : 29.000 MPa

D : Espesor de losa, mm.

μ : Coeficiente de Poisson (μ = 0,15)

k : Módulo de reacción de la subrasante, MPa/m

- Pavimento sobre Bases Abiertas Ligadas y Granulares.

$$ESCAL_{GR,BAL} = W_{18}^{0,461188} \cdot (0,006742 \cdot N5 - 0,125288 \cdot GR - 0,148135 \cdot BAL + DEFLEX^{0,369655} + 0,457194 \cdot DREN - 0,373423) \quad (\text{ec. 3.604.211.16})$$

donde:

ESCAL<sub>GR, BA</sub> : Escalonamiento promedio de juntas transversales, mm.

W<sub>18</sub> : Ejes Equivalentes acumulados, millones.

N5 : Número de días con precipitación mayor a 5 mm.

DEFLEX : Deflexión de esquina de la losa (ecuación 2,15), cm.

DREN : 0 si existe dren

: 1 en cualquier otro caso.

GR : 1 si es base granular.

: 0 en cualquier otro caso.

BAL : 1 si es base abierta ligada.

: 0 en cualquier otro caso.

Para que el diseño sea aceptable y salvo que expresamente la Dirección de Vialidad acepte para un caso específico otra cosa, el escalonamiento no debe superar los 5 mm. Se debe tener en consideración que en la gran mayoría de los casos, un escalonamiento excesivo no se soluciona simplemente aumentando el espesor del pavimento. Diseñando con losas más cortas se disminuye el escalonamiento; si por ese procedimiento aún no se logra un escalonamiento aceptable, sólo queda incorporar barras de traspaso de cargas en las juntas.

**3.604.212(4) Verificación por Carga de Esquina.** La verificación por cargas en las esquinas se realiza sólo cuando no se consideran barras de traspaso de cargas en las juntas; el proceso de verificación consiste en lo siguiente:

- Determinar el espesor de losa requerido, asumiendo que la carga crítica es aquella ubicada en el borde (Numeral 3.604.211(1)).
- Calcular la tensión de borde de losa (Numeral 3.604.211(1)).
- Calcular el diferencial de temperatura negativo equivalente consecuencia del efecto de temperatura, alabeo de construcción y humedad, para lo que se utilizan las siguientes expresiones:

Diferencial efectivo de temperatura negativo, ° C:

$$\Delta T(-) = -28,62 + \frac{2377,897}{D} + 0,817 \cdot WIND + 0,227 \cdot TEMP + 2,884 \cdot 10^{-4} \cdot PRECIP \quad (\text{ec. 3.604.211.17})$$

donde:

- $\Delta T(-)$  : diferencial efectivo de temperatura negativo. Se define como la diferencia entre la temperatura de la fibra superior e inferior de la losa, en °C.
- D : espesor de losa, mm.
- WIND : velocidad media anual del viento, nudos.
- TEMP : temperatura media anual del ambiente, °C.
- PRECIP : precipitación media anual, mm.

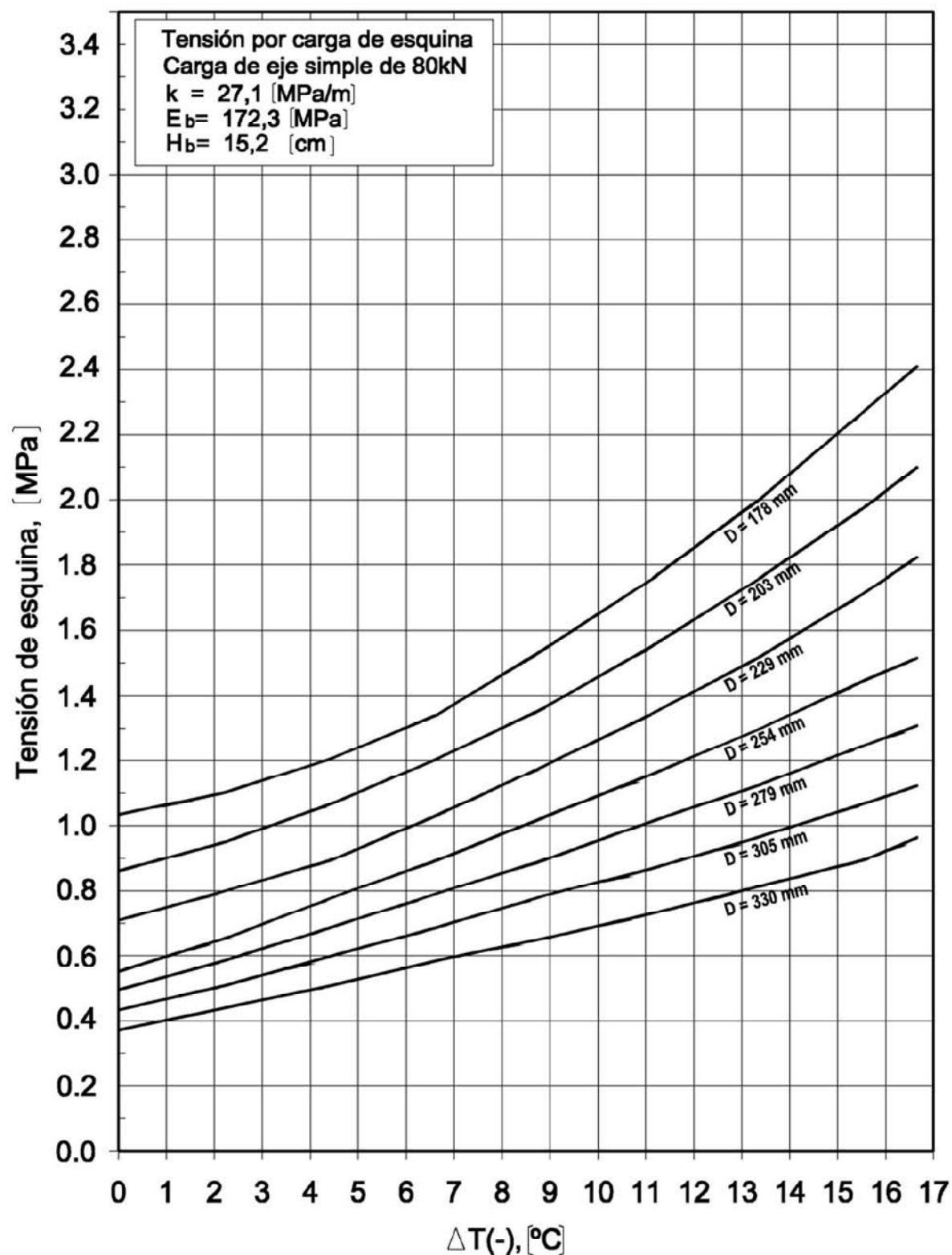
Gradiente negativo de temperatura equivalente debido a curvatura por construcción y humedad:

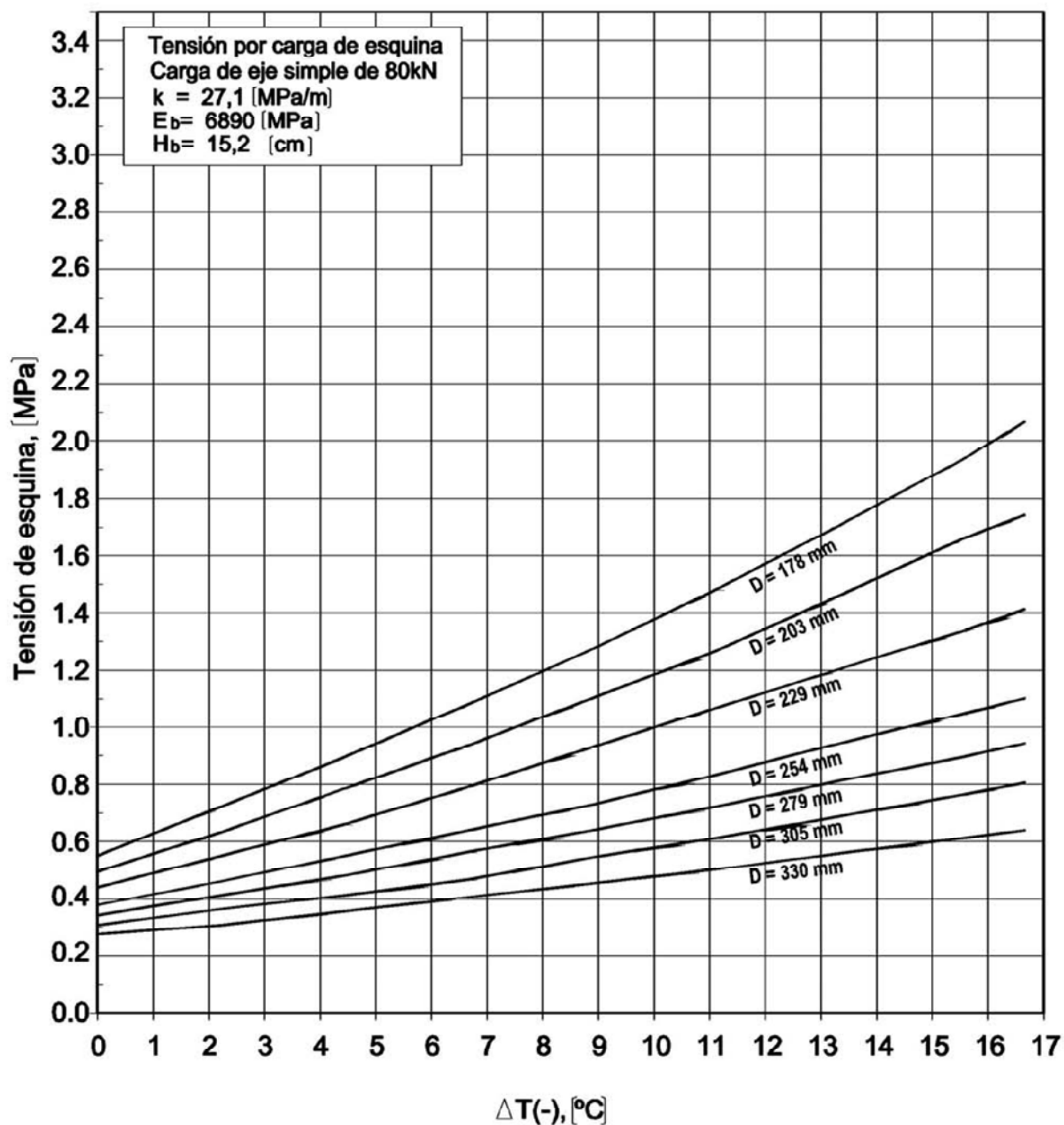
- Para clima húmedo; precipitación media anual  $\geq 760$  mm  $\Rightarrow$  0 a 0,044 ° C/ mm; se sugiere utilizar 0,022 ° C/mm
- Para clima seco; precipitación media anual  $< 760$  mm  $\Rightarrow$  0,022 a 0,066 ° C/ mm; se sugiere utilizar 0,044 ° C/mm
- Calcular la tensión de esquina en la losa por efecto de carga y alabeo por temperatura. Esta tensión se estima de los gráficos que se presentan en las Láminas 3.604.211.A1, A2, A3, A4, A5, A6 y A7. Esos gráficos están referidos para dos tipos de base y tres tipos de subrasante, considerando la losa totalmente adherida a la base.
- Corregir la tensión de esquina según nivel de adherencia para el caso de bases tratadas.
- Comparar la tensión producto de una carga en el borde de la losa y la tensión producida por una carga en la esquina.

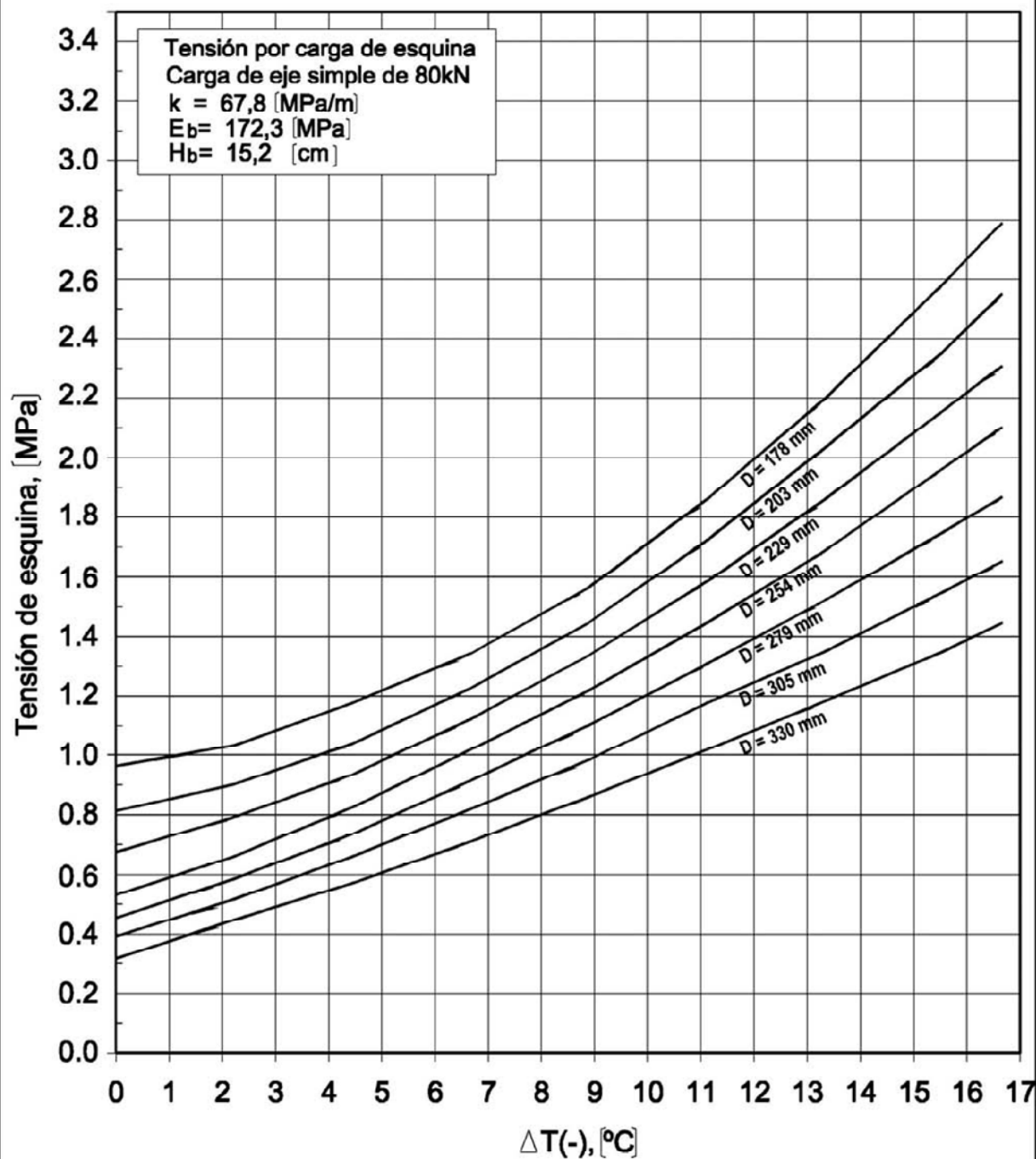
Si la tensión producto de una carga en la junta, combinada con un gradiente negativo de temperatura, es mayor que aquella que produce una carga ubicada en la mitad de la losa combinada con un gradiente positivo de temperatura, entonces se debe rediseñar el pavimento.

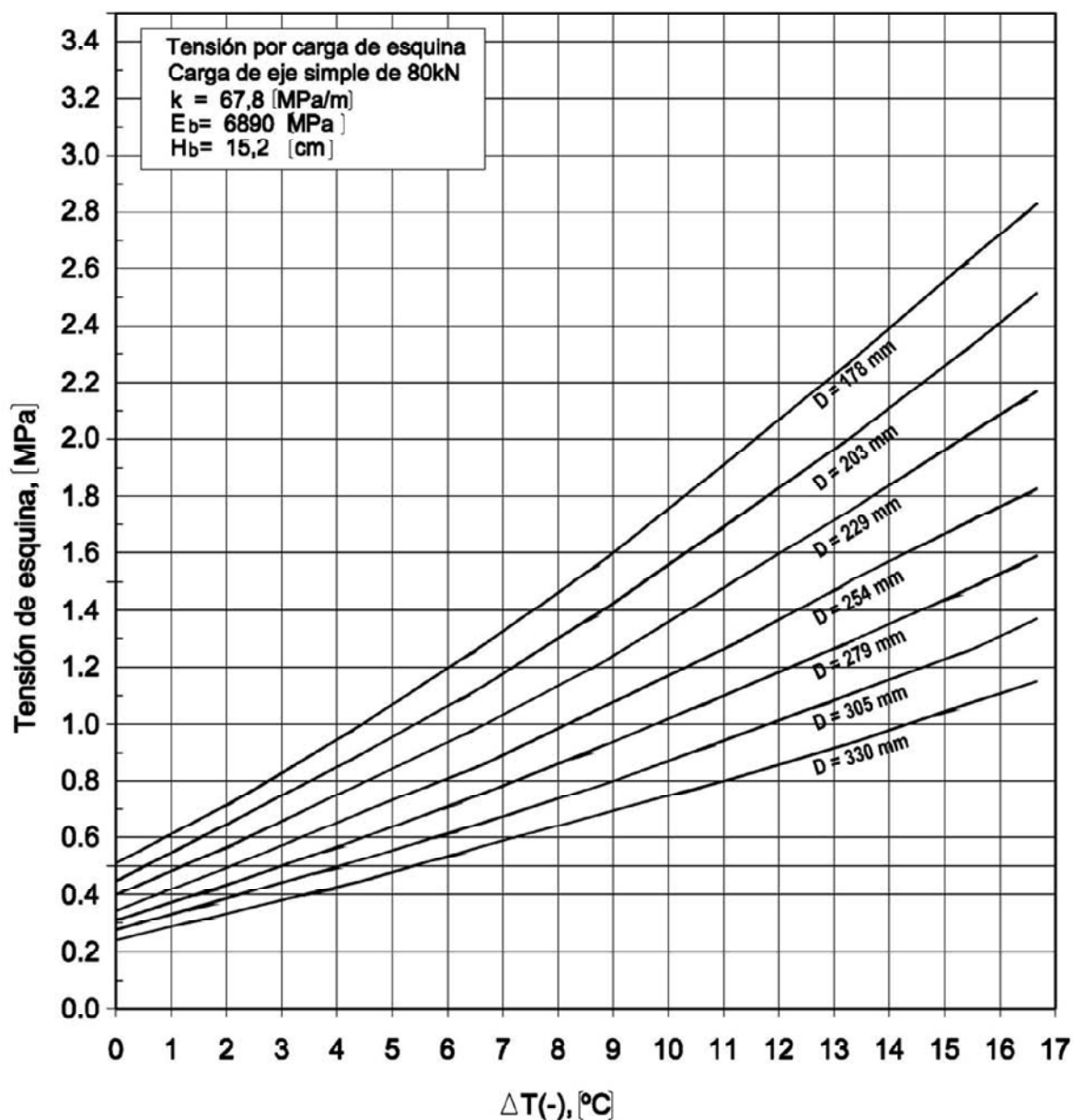
**3.604.213 Verificación del Escalonamiento con Barras de Traspaso de Cargas en las Juntas.** El modelo para establecer el escalonamiento para juntas con barras de traspaso de carga es el siguiente:

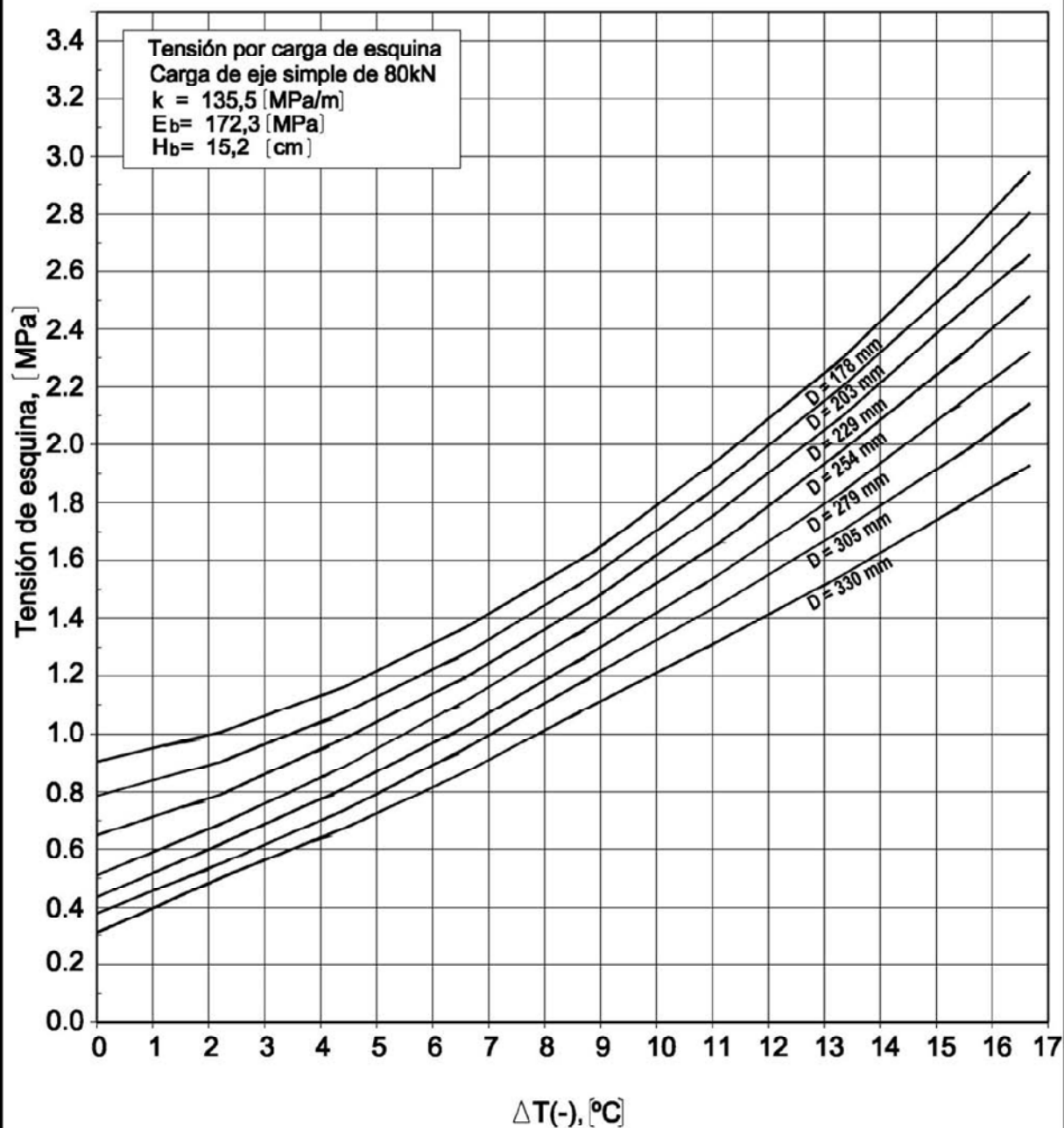
$$\begin{aligned} \text{FAULTD} = & 2.54 \cdot \text{CESAL}^{0.25} \cdot (0.0628 - 0.0628 \cdot C_d + 7.7245023 \cdot 10^{-5} \cdot \text{Bstress}^2 \\ & + 4.424617 \cdot 10^{-11} \cdot \text{Jtspace}^2 + 1.4814 \cdot 10^{-10} \cdot (1.8 \cdot \text{FI} + 32)^2 \cdot \text{PRECIP}^{0.5} \quad (\text{ec. 3.604.212.1}) \\ & - 0.009503 \cdot \text{Basetype} - 0.01917 \cdot \text{Widenlane} + 0.0009217 \cdot \text{Age}) \end{aligned}$$



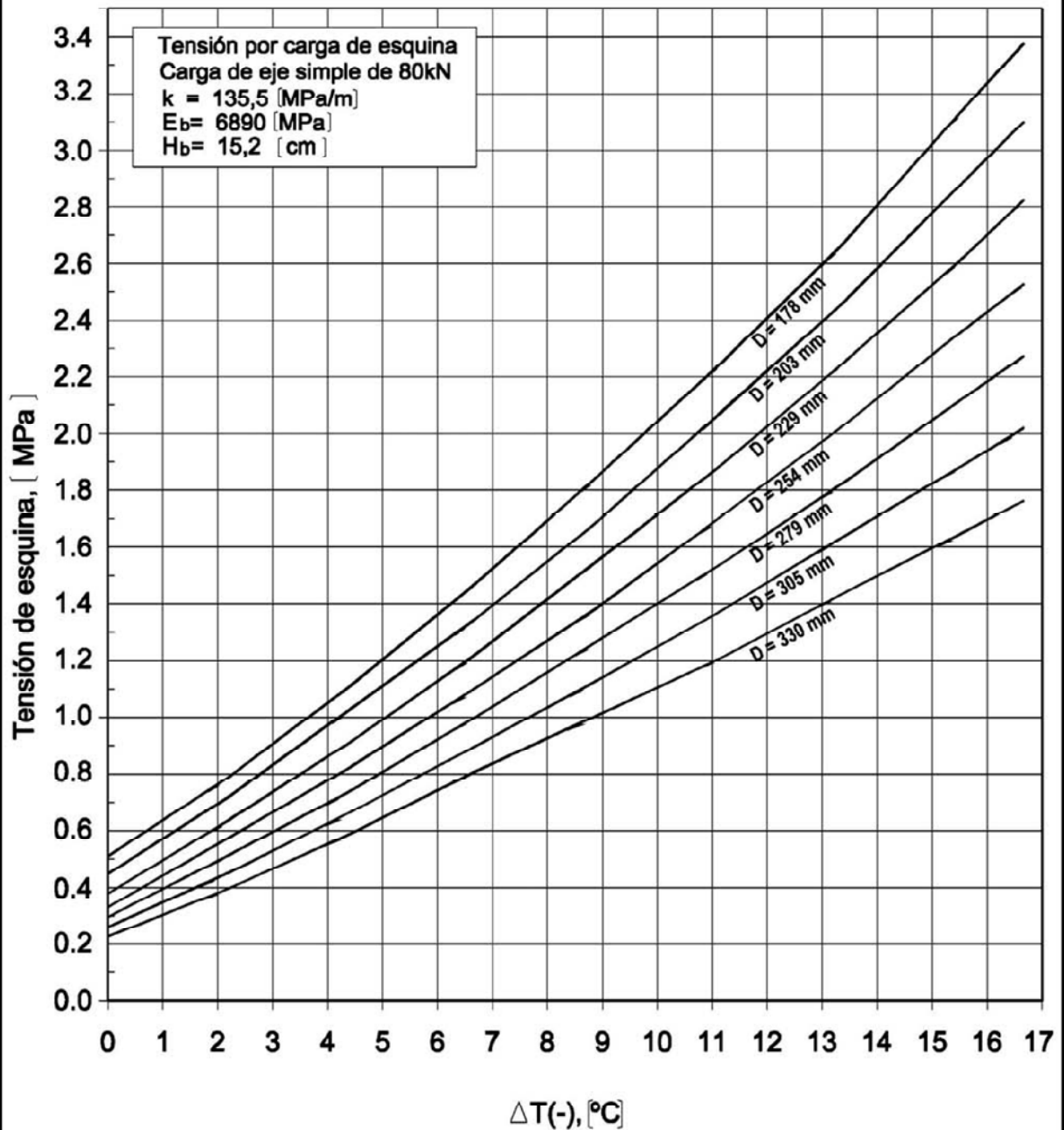


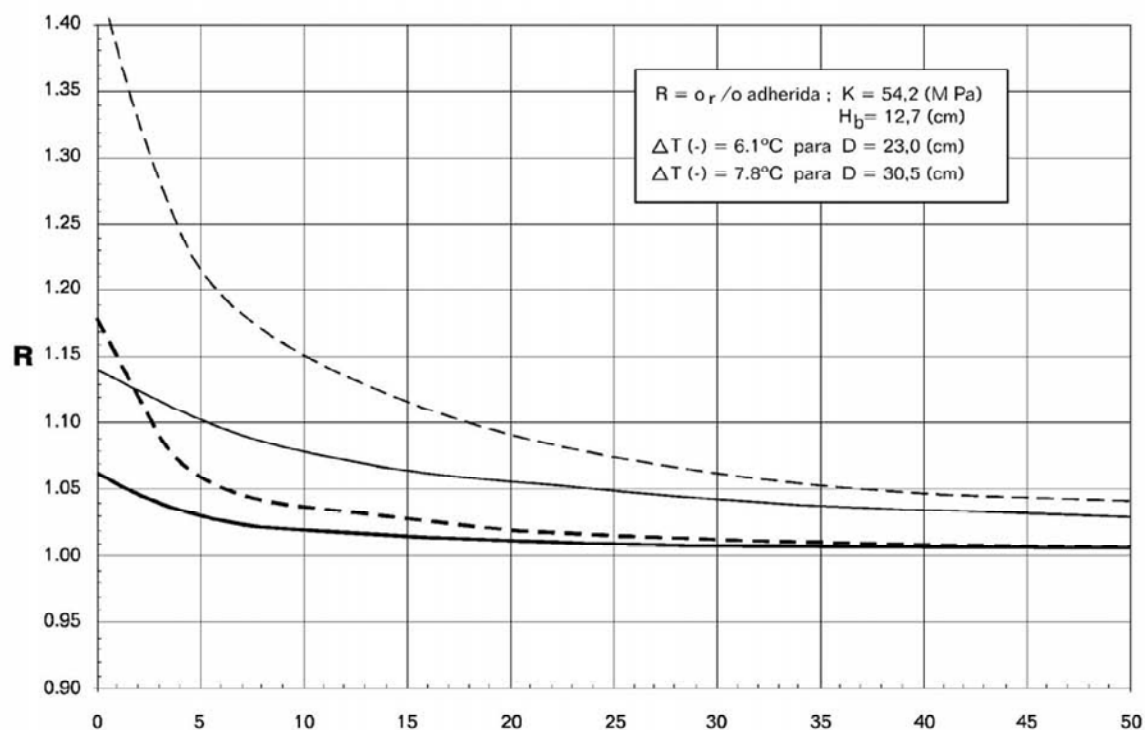












COEFICIENTE DE FRICCION ENTRE LOSA Y BASE



donde:

- FAULTD : Escalonamiento promedio predicho para pavimentos de hormigón simple con juntas con barras de traspaso de carga, mm.  
CESAL : Ejes Equivalentes acumulados para el período de diseño, millones.  
 $C_d$  : Coeficiente de drenaje AASHTO modificado, dado por la Tabla 3.604.212(4).A

**TABLA 3.604.212(4).A**  
**COEFICIENTE DE DRENAJE AASHTO MODIFICADO**

| Drenaje Longitudinal | Clima  | Subrasante Suelos finos |                | Subrasante Suelos Granulares |                |
|----------------------|--------|-------------------------|----------------|------------------------------|----------------|
|                      |        | Base No-Permeable       | Base Permeable | Base No-Permeable            | Base Permeable |
| No                   | Húmedo | 0,70 – 0,90             | 0,85 – 0,95    | 0,75 – 0,95                  | 0,90 – 1,00    |
| No                   | Seco   | 0,90 – 1,10             | 0,95 – 1,05    | 0,90 – 1,15                  | 1,00 – 1,10    |
| Si                   | Húmedo | 0,75 – 0,95             | 1,00 – 1,10    | 0,90 – 1,10                  | 1,05 – 1,15    |
| Si                   | Seco   | 0,95 – 1,15             | 1,10 – 1,20    | 1,10 – 1,20                  | 1,15 – 1,20    |

Notas:

Suelos Granulares: Clasificación AASHTO A-1 a A-3

Suelos Finos: Clasificación AASHTO A-4 a A-8

Base Permeable:  $k = 305$  m/día. Coeficiente de Uniformidad ( $C_u$ )  $\leq 6$

Clima Húmedo : Precipitación  $> 635$  mm/año

Clima Seco: Precipitación  $\leq 635$  mm/año

Seleccionar el valor medio del intervalo y utilizar otras características del drenaje (pendiente transversal, profundidad de los fosos, drenabilidad relativa de la subbase, diseño como tina de baño, etc.) para seleccionar el valor final.

$B_{stress}$  = tensión de compresión máxima en el hormigón debido a la flexión de la barra, en MPa. (Ecuación 3.604.212.2)

$$B_{stress} = 32.560631 \cdot f_d \cdot P \cdot T \cdot \left( \frac{K_d \cdot \left( 2 + BETA \cdot \frac{OPENING}{2.54} \right)}{4 \cdot E_s \cdot l \cdot BETA^3} \right) \quad (\text{ec. 3.604.212.2})$$

$$BETA = 4.5188379 \cdot \sqrt[4]{\frac{K_d \cdot DOWEL}{4 \cdot E_s \cdot l}} \quad (\text{ec. 3.604.212.3})$$

$f_d$  = factor de distribución.

$$f_d = \frac{2 \cdot 12}{\frac{l}{2.54} + 12} \quad (\text{ec. 3.604.212.3})$$

$l$  = radio de rigidez relativo losa-suelo de fundación, mm.

$I$  = momento de inercia de la sección transversal de barra de transferencia de carga,  $\text{mm}^4$ .

$$I = 0.25 \cdot \pi \cdot \left( \frac{DOWEL}{2} \right)^4 \quad (\text{ec. 3.604.212.4})$$

|                |  |
|----------------|--|
| P              | : carga aplicada, 4082,56 kg.                                      |
| T              | : porcentaje de transferencia de carga. (adoptar 45%).             |
| K <sub>d</sub> | : módulo de reacción de la barra, 405 MPa/mm.                      |
| BETA           | : rigidez relativa del sistema hormigón - barra.                   |
| DOWEL          | : diámetro de la barra, mm.  |
| E <sub>s</sub> | : módulo de elasticidad de la barra, MPa.                          |
| OPENING        | : abertura promedio de la junta transversal, mm. (ec. 3.604.212.5) |

$$OPENING = 0,9997 \cdot CON \cdot Jtspace \cdot \left( \frac{1,08 \cdot 10^{-5} \cdot TRANGE + 1,92 \cdot 10^{-4}}{2 + e} \right)$$

( ec. 3.604.212.5)

|           |  |
|-----------|--|
| Jtspace   | : longitud de losa promedio, cm  |
| CON       | : factor de ajuste debido a la fricción base/losa,<br>: 0,65 para base estabilizada.<br>: 0,80 para base granular o base de hormigón pobre agrietada . |
| TRANGE    | : rango de temperatura anual, ° C.   |
| e         | : Retracción por el curado del hormigón, utilizar 0,00015 (mm/mm)  |
| FI        | : índice de congelamiento medio anual, ° C - días.   |
| PRECIP    | : precipitación anual, mm  |
| Basetype  | : 0 para base no estabilizada,<br>: 1 para base estabilizada.  |
| Widenlane | : 0 si se trata de pista ensanchada,<br>: 1 si no se trata de pista ensanchada.  |
| Age       | : edad del pavimento, años.  |

**3.604.214 Diseño de las Juntas.** Las juntas tienen por objetivo permitir la expansión y contracción del pavimento, con lo que disminuyen las tensiones provocadas por cambios ambientales, tales como de temperatura y humedad y las que origina la fricción pavimento/base; asimismo, facilitan la construcción. Se deben considerar los siguientes tres tipos de juntas:

- Juntas de contracción, destinadas a aliviar las tensiones causadas por los diferenciales de temperatura y humedad y por la fricción; son por lo tanto, para controlar el agrietamiento. El método de diseño que se presenta permite definir la distancia entre juntas que resulta más adecuada para cada circunstancia especial.
- Juntas de expansión destinadas a dejar un espacio para que el pavimento pueda expandirse. Se utilizan solamente en la zona de contacto entre un pavimento con una estructura o con otro pavimento en una intersección.
- Juntas de construcción que facilitan la construcción del pavimento.

Las juntas de contracción se deben diseñar esviadas de manera de mejorar el comportamiento del pavimento, minimizar las irregularidades superficiales y consecuentemente, prolonga la vida útil. El esviaje, en el sentido de avance de los vehículos, debe ser de 1,2 m por calzada de 7,0 m de ancho.

**3.604.215 Programa Computacional.** El diseño descrito puede realizarse con la ayuda del programa computacional PAVIVIAL que se incluye como anexo a este Volumen del Manual de Carreteras, utilizando la opción Pavimentos Rígidos. Los requerimientos de equipos y plataforma de operación son los mismos que se señalan en el Tópico 3.601.3