

3.604.3 TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

3.604.301 Consideraciones Generales. El método que se entrega para establecer las dimensiones de las capas estructurales de un pavimento tipo tratamiento bituminoso superficial, se basa en un procedimiento estudiado para suelos tropicales del tipo lateríticos caracterizados por una razón sílice-sesquióxidos menor que 2. El sistema se presenta en el estudio *Laterite and Lateritic Soils and Other Problem Soils of the Tropics*, que fue desarrollado para la Agencia Internacional para el Desarrollo de los Estados Unidos por W. J. Morin y Peter C. Todor como parte de un estudio realizados por Lyon Associates Inc. y el Instituto de Investigación de Carreteras de la Dirección de Vialidad de Brasil en 1975.

A pesar que el estudio se realizó en suelos tropicales, su campo de aplicación puede ampliarse de manera de utilizarlo en climas templados, siempre que la estructura no se vea afectada por la penetración de la helada.

El sistema se basa en las relaciones que existen entre el comportamiento de una estructura y las deflexiones que experimenta y la relación entre ellas y la capacidad resistente de las diferentes capas que conforman la estructura del pavimento. El aspecto más importante de este método de diseño radica en que los coeficientes estructurales de las capas no sólo son función de las propiedades del material que las componen, si no que también de la posición relativa en que estas se encuentran dentro de la estructura. Por ejemplo, un material apto para base tiene su mayor aporte cuando se extiende en los 250 mm superiores; más abajo aporta a la estructura mucho menos.

Al igual que cualquier otro procedimiento para diseñar pavimentos, la calidad de los resultados depende en gran medida de la elección adecuada de los parámetros de cálculo, de manera que es fundamental que el diseño lo realice un profesional experimentado en el diseño de pavimentos.

Básicamente el procedimiento se desarrolla en tres etapas:

- Establecer el Índice Estructural (IE), que es función de los ejes equivalentes que solicitarán el pavimento durante su vida útil y del coeficiente de variación adecuado para reflejar la variabilidad de la construcción.
- En función del valor del CBR, determinado como representativo de la subrasante, se determina el espesor mínimo que debe darse a la suma de espesores de la base más la subbase.
- Se determina el espesor de cada una de las capas de la estructura de manera que la suma de los productos de estos por los correspondientes coeficientes estructurales den el Índice Estructural requerido. Se consideran todas las capas que están hasta 900 mm por debajo de la rasante, pero tendiendo en consideración que los coeficientes estructurales son válidos sólo dentro de los rangos de profundidades que se señalan en cada caso.

3.604.302 Cálculo del Índice Estructural

3.604.302(1) Ejes equivalentes. Para determinar el Índice Estructural (IE), se deben conocer los ejes equivalentes acumulados en la pista de diseño durante el periodo de vida útil asignado al pavimento. El método utiliza los ejes equivalentes tal como fueron definidos por AASHTO, de manera que el cálculo debe ajustarse a los conceptos señalados en el Numeral 3.603.202 y procedimientos descritos en el Numeral 3.604.103.

En general, se recomienda diseñar tratamientos superficiales sólo cuando las solicitudes acumuladas no superen unos 750.000 EE en la pista de diseño; para mayores solicitudes, normalmente es más adecuado considerar pavimentos en base a capas de mezclas asfálticas.

3.604.302(2) Coeficiente de variación. El coeficiente de variación (razón entre la desviación estándar y el promedio) se determina analizando las deflexiones reales que se producen en los caminos; son un reflejo de la calidad del diseño y uniformidad de la construcción.

Las deflexiones medidas en unos pocos caminos actualmente en servicio en el país, sugieren que para condiciones de construcción controladas, como son las que usualmente se dan en este tipo de obras, se podría utilizar un coeficiente de variación cercano al 15%. Sin embargo, en atención a que se

trata de datos parciales, se recomienda, salvo autorización expresa de la Dirección de Vialidad, utilizar para este parámetro un 25% ($v = 0,25$).

3.604.302(3) Índice estructural. El índice estructural (IE) se puede calcular con la siguiente expresión:

$$IE(mm) = 1024 v^{0,334} \left[\frac{9,56}{11,49 - \log EE} - 1 \right] \quad (\text{ec. 3.604.302.1})$$

v : coeficiente de variación en tanto por uno.

EE : ejes equivalentes acumulados en la pista de diseño.

3604.303 Caracterización de la Subrasante.

3604.303(1) CBR de Diseño. El método de diseño caracteriza las propiedades de los suelos de la subrasante mediante el ensayo CBR, determinado de acuerdo con el Método 8.102.11 (LNV 92); para la zona norte (ver 3.604.4), los CBR deben determinarse a la humedad óptima (no saturados).

Normalmente la prospección de suelos se realizará mediante calicatas u otro tipo de mediciones apropiadas en cuya programación y ejecución debe tenerse en consideración lo expresado en el Numeral 3.603.205(2), Prospección de Suelos en Caminos Nuevos. El CBR representativo de cada calicata debe ser el correspondiente al estrato más débil comprendido hasta 900 mm por debajo de la rasante.

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 mediante calicatas u otro procedimiento similar, con el propósito de caracterizar una subrasante:

- Disponer del 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 3.604.303.A que se incluye como ejemplo, conteniendo al menos la información que allí se señala. Los antecedentes a consignar deben corresponder a los del estrato más débil detectado hasta una profundidad mínima de 900 mm por debajo de la rasante del camino.

Los antecedentes incluidos en las diferentes columnas del cuadro de la Lámina 3.604.303.A son los siguientes:

- Columnas 1 y 2 : Número correlativo de la prospección y localización (kilometraje).
- Columna 3 : Número de la muestra/profundidad respecto de la superficie del suelo natural de donde se extrajo.
- 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 : Límites de Atterberg.
- Columna 9 : Peso Unitario Seco (P.U.S)
- Columna 10 : CBR al 95% de la D.M.C.S.
- Columna 11 : Porcentaje de la densidad respecto al Proctor.
- Columna 12 : CBR a la densidad natural. Los valores para muestras no ensayadas deben estimarse en base principalmente a la clasificación del suelo según AASHTO, el P.U.S y/o el porcentaje del Proctor.

Antes de establecer el CBR de diseño, el camino deberá dividirse en tramos homogéneos en cuanto a las características de los suelos. Se entenderá que un tramo es homogéneo cuando el coeficiente de variación (razón entre la desviación estándar y el promedio) de los CBR representativos es igual o inferior a 50%. En las áreas representadas por valores del CBR menores que el promedio menos 2 desviaciones estándar, deben considerarse soluciones especiales para mejorar esa capacidad de soporte.

El CBR de diseño es un valor tal que se cumple que el 90% de todos los valores de la serie son iguales o superiores a él (percentil 90%). Por último, como criterio general de buen diseño, se recomienda evitar dejar hasta 900 mm por debajo de la rasante, suelos de baja capacidad soporte, es decir, suelos con CBR < 3%. Asimismo, nunca colocar materiales de base o subbase directamente sobre suelos de baja capacidad soporte; se recomienda mantener entre los CBR de capas sucesivas una relación que no supere 1 a 4, aproximadamente.

3604.303(2) Ejemplo de Cálculo del CBR de Diseño. En la Lámina 3.604.303.A se presenta un ejemplo de cálculo del CBR de diseño. El procedimiento es el siguiente:

- En las columnas 1 a la 11 se colocaron los antecedentes básicos tal como se describe en 3.604.303(1).
- La columna 12 indica los CBR a la densidad natural; algunos determinados mediante el respectivo ensayo de laboratorio y otros estimados, básicamente en la clasificación del suelo y la densidad natural o porcentaje del Proctor. Los valores estimados se individualizan con la letra "e" al costado derecho de la columna.
- En la columna 13 se anota el CBR utilizado para calcular el de diseño; son los de la columna 12, pero algunos han sido modificados ajustándose a alguno de los siguientes criterios:
 - En los tramos con CBR = 3% se prevé colocar una tela geotextil que mejora el equivalente a 3% del CBR; se indican con la letra "g".
 - El CBR = 92,1 % queda por sobre el rango que define el promedio más dos desviaciones estándar, por lo que se elimina de la serie; se indica con la letra "r".
- La serie resultante en la columna 13, se caracteriza por lo siguiente::

CBR Promedio	= 11,9%
Desviación Estándar	= 5,8
C. Variación	= 49%; por consiguiente puede considerarse como un tramo homogéneo.
CBR de diseño (percentil 90%)	= 5,75 ≈ 6%

3.604.304 Diseño de la Estructura

3.604.304(1) Espesor mínimo de recubrimiento. La capacidad de soporte de la subrasante, expresada en función del valor del CBR, es el elemento clave en la determinación de los espesores que requieren las diferentes capas del pavimento. Para garantizar que cada capa pueda aceptar, sin deteriorarse las solicitaciones previstas, debe garantizarse un espesor mínimo de capas no tratadas. Este espesor mínimo, es función del CBR y se puede expresar con la siguiente relación:

$$e \text{ mín (mm)} = 592 - 308 \log (\text{CBR}) \quad (\text{ec. 3.604.303.1})$$

3.604.304(2) Estructuración. El proceso consiste en determinar una estructura tal que cumpla con las siguientes condiciones

- que el espesor de la base más la subbase sea igual o mayor que el valor resultante de aplicar la ec. 3.604.303.1
- que la suma de los productos de los espesores por los correspondientes coeficientes estructurales de cada una de las capas que conforman el pavimento y hasta 900 mm por debajo de la rasante, sea al menos igual al Índice Estructural (IE) antes determinado.
- para todos estos efectos, el espesor del tratamiento bituminoso superficial se desprecia.

La estructuración se puede expresar como sigue:

$$IE = a_1 \times h_1 + a_2 \times h_2 + \dots + a_n \times h_n \quad (\text{ec. 3.604.303.2})$$

$$h_1 + h_2 + \dots + h_n = 900 \text{ mm} \quad (\text{ec. 3.604.303.3})$$

El espesor de la base más la subbase ($h_1 + h_2$) no debe ser inferior que el e mín, determinado mediante la ec. 3.604.303.1.

Los coeficientes estructurales de las diferentes capas y materiales son los que se indican en la Tabla 3.604.303.A.

MANUAL DE CARRETERAS		CALCULO DEL CBR DE DISEÑO TRAMO : CAMINO EJEMPLO										3.604.303 A
VOL. Nº 3 DISEÑO												Junio 2002
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Pozo Nº	Km.	Nº/prof	H rasante	U.S.C.S.	AASHTO	IP	LL	P.U.S.	CBR 95	Dens(%)	CBR nat	CBR dis
1	0,300	1/0,5	0,5	ML	A-4(4)	7	31	1,49	27,9	81	5,9	5,9
2	0,500	4/0,5	0,7	ML-CL	A-4(1)	6	27	1,65			7,0 e	7,0
3	0,750		-2	GC							12,0 e	12,0
4	1,000	6/0,6	0,2	GM	A-7-6(4)	14	42	1,59			3,0 e	7,0 g
5	1,300	7/0,6	-0,3	GM	A-2-6(0)	13	37	1,81	38,9	91,5	24,1	24,1
6	1,500	8/0,6	-0,4	GM	A-2-4(0)	14	42	1,59			12,0 e	12,0
7	1,760	9/0,5	-1	GM	A-2-6(0)	11	36	-			12,0 e	12,0
8	2,000	11/0,6	0,8	GM	A-1-a(0)	4	22	2,12	102	94	92,1	r
9	2,300	13/0,7	0	GM	A-6(2)	11	29	1,69	22,9	85,1	6,5	6,5
10	2,500	14/0,7	0,5	GM	A-6(4)	14	34	1,79			8,0 e	8,0
11	2,740	15/0,6	0,7	GM	A-2-7(0)	22	45	1,98	19	95	19,0	19,0
12	3,000	16/0,1	2	GM	A-7-6(3)	19	45	1,63			3,0 e	7,0 g
13	3,270	18/0,6	3	GM	A-6(7)	15	34	1,55	20,9	83	4,3	4,3
14	3,500		2		roca fisurada						15,0 e	15,0
15	3,750	20/0,8	-3	GM	A-2-4(0)	8	32	1,77	79,3	83,6	11,4	11,4
16	4,000	21/0,6	0	GC	A-2-7(2)	21	41	1,77			15,0 e	15,0
17	4,250	22/0,6	1	GM	A-1-a(0)	3	23	1,91	98	86,7	23,0	23,0
18	4,500	23/0,6	1,3	GW-GM	A-1-a(0)	4	26				15,0 e	15,0
19	4,820				roca						15,0 e	15,0
20	5,020	24/0,6	-5	CL	A-6(5)	13	32	1,61	14,1	84,9	4,4	4,4
21	5,200	26/0,6	-0,3	GM	A-1-a(0)	NP	NP				15,0 e	15,0
c	valor estimado por correlación de datos básicos											
g	valor modificado por colación de un geotextil											
r	valor no considerado pues supera el promedio más 2 desviaciones estándar											
									Promedio		15,4	11,9
									Desv. Stándard		18,6	5,8
									Coef. Variación		1,21	0,49
									CBR diseño (percentil 90%)			5,75

TABLA 3.604.303.A
COEFICIENTES ESTRUCTURALES

BASES (0 a 250 mm de profundidad)	
- Piedras trituradas, graduación abierta	1,037
- Piedras trituradas, bien graduadas	1,394
- Tratadas con cemento	
Resistencia a la compresión cilíndrica a 7 días $\geq 4,6$ MPa	2,400
Resistencia a la compresión cilíndrica a 7 días $\geq 2,8$ MPa	2,100
Resistencia a la compresión cilíndrica a 7 días $< 2,8$ MPa	1,600
- Tratadas con cal	1,400 – 1,600
- Gravas no tratadas	
CBR ≥ 100 %	1,394
CBR = 90 %	1,232
CBR = 85 %	1,167
CBR = 80 %	1,102
CBR = 75 %	1,037
CBR = 70 %	0,940
CBR = 60 %	0,552
CBR = 50 % (mín)	0,383
SUBBASES (250 a 500 mm de profundidad)	
CBR ≥ 40 %	0,576
CBR = 35 %	0,290
CBR = 30 %	0,205
CBR = 25 % (mín)	0,075
SUBRASANTE (500 a 900 mm de profundidad)	
CBR ≥ 20 %	0,481
CBR = 15 %	0,357
CBR = 10 %	0,212
CBR = 9 %	0,183
CBR = 8 %	0,133
CBR = 7 %	0,084
CBR = 6 %	0,053
CBR = 5 %	0,033
CBR = 4 %	0,020
CBR = 3 %	0,015
CBR = 2 % (mín)	0,010

En relación a la Tabla 3.604.303.A, es muy importante tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Los coeficientes estructurales asignados para las bases sólo son válidos cuando los materiales se encuentran hasta 250 mm de profundidad bajo la rasante.
- Los coeficientes estructurales asignados para las subbases sólo son válidos cuando los materiales se encuentran entre 250 y 500 mm de profundidad.
- Los coeficientes estructurales de la subrasante son válidos para estratos comprendidos entre 500 y 900 mm de profundidad bajo la rasante.
- Los materiales con CBR = 40%, pueden también utilizarse entre 100 y 250 mm de profundidad, siempre que se les asigne el coeficiente correspondiente a Bases, CBR = 50% (a = 0, 383).

3.604.305 Ejemplo. El siguiente ejemplo muestra como se debe proceder en la estructuración del pavimento.

Parámetros de diseño:

- Tránsito: EE acumulados en pista de diseño: 420.000 EE
- Valor representativo de la subrasante, CBR: 7 %
- Coeficiente de variación, v: 25 %

Cálculos:

- Índice Estructural, IE (ec. 3.604.302.1)

$$IE(mm) = 1024v^{0,354} \left[\frac{9,56}{11,49 - \log EE} - 1 \right] = 396 \text{ mm}$$

- Espesor mínimo de recubrimiento (ec. 3.604.303.1)

$$e \text{ mín (mm)} = 592 - 308 \log (\text{CBR}) = 332 \text{ mm}$$

- Estructuración (coeficientes estructurales según Tabla 3.604.303.A)

Capa	Profundidad	Espesor (mm)	Coeficiente Estructural	Índice Estructural (mm)
Base CBR=100%	0 – 200	200	1,394	278,8
Subbase CBR=40%	200 – 250	50	0,383	19,2
	250 – 380	130	0,576	74,9
Subrasante CBR=7%	380 – 500	120	- -	- -
	500 – 900	400	0,084	33,6
IE TOTAL				406,5 > 396

$$\text{Espesor de base más subbase} = 200 + 180 = 380 \text{ mm} > 332 \text{ mm}$$

3.604.306 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 Tratamiento Superficial. Los requerimientos de equipos y plataforma de operación son los mismos que se señalan en el Tópico 3.601.3.

En relación a este programa computacional se debe considerar que aún cuando opera tal como requiere el procedimiento descrito, incluso asignando los coeficientes estructurales en función de la posición relativa de cada capa, presenta la limitación de utilizar sólo un valor del CBR como representativo de la subrasante, es decir, no considera la posibilidad de una subrasante conformada por dos o más capas con diferentes capacidades de soporte.