

## **ESTUDIO COMPARATIVO DE METODOLOGÍAS DE DISEÑO DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES BITUMINOSOS**

**Autor:** Ing. Fabricio Leiva Villacorta

Universidad Nacional de Costa Rica. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME)

Tel: (506) 207-5423 correo electrónico: [fleiva@lanamme.ucr.ac.cr](mailto:fleiva@lanamme.ucr.ac.cr)

### **Resumen**

Con este estudio se pretende definir una metodología para la selección de materia prima, definición de dosificación de diseño, construcción y control de calidad en la aplicación TSB; para en un futuro elaborar una guía o manual de especificaciones para el diseño, construcción y control de calidad de los TSB.

Como resultado final de esta primera etapa se cuenta con un estudio comparativo de metodologías de diseño (Método de la dimensión mínima promedio, Regla del Décimo, Metodología ASTM, Metodología de Texas DoT, Método de Hanson y Especificaciones de Costa Rica), primero a nivel teórico y luego a nivel de laboratorio, por medio de un procedimiento de ensayo sencillo, y la definición de una metodología de diseño para Costa Rica.

## **1. Definición de Tratamientos superficiales**

Los Tratamientos Superficiales Bituminosos (TSB) son, en la práctica, un tipo especial de sello de agregados que se aplica sobre superficies granulares. Más que una acción de conservación, el tratamiento superficial corresponde a un cambio de estándar de un camino no pavimentado.

Un tratamiento superficial se define como un riego de ligante, normalmente emulsión asfáltica convencional o modificada, seguido de una cobertura de agregados de tamaño uniforme. La función principal de los TSB es proveer una superficie estable y antideslizante en cualquier clase de clima, siendo además una capa sellante, resistente a la infiltración del agua. Los objetivos de la aplicación de un TSB son:

- Proveer una superficie de rodadura de características similares a las de un pavimento flexible.
- Eliminar la emisión de polvo.
- Proteger la estructura de la base y subrasante (impermeabilizar).
- Proveer un camino para todas las estaciones del año.
- Permitir la demarcación del camino, con lo que se mejora la seguridad y se ordena el tráfico.

El ligante bituminoso desempeña la doble función de impermeabilizar la superficie y sujetar o fijar los agregados extendidos sobre la carretera. Los agregados proporcionan la rugosidad necesaria para evitar el deslizamiento de los vehículos.

## **2. DISEÑO DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES BITUMINOSOS**

### **2.1 Métodos de diseño**

#### ***a. Método de la dimensión mínima promedio***

Este método está basado en el desarrollado por el County Roads Board de Victoria, Australia y modificado por N. W. McLeod, el cual se desarrolló a partir de la hipótesis del neozelandés F.M

Hanson, al igual que el método de la Shell y es el método que se utiliza actualmente en Chile. Sin embargo si se utiliza agregado graduado no se cumple necesariamente con los contenidos de vacíos observados por Hanson, por esto se realiza una corrección en función del contenido real de vacíos del agregado.

### Tratamiento superficial simple

- Dosis de agregado: El agregado una vez compactado, debe cubrir uniformemente la superficie del pavimento. Por ello, el cálculo de esta dosis se basa solamente en condiciones geométricas del mismo (tamaño y densidad).

Para determinar la dosis de agregado en  $\text{kg/m}^2$ , se utiliza la siguiente ecuación:

$$C = (1 - 0.4V)DMP \cdot G \cdot E$$

$$DMP = \frac{T_m}{1.09 + (0.0118 \cdot IL)}$$

$$V = 1 - \frac{W}{1000G}$$

donde:

C= Dosis de agregado en  $\text{kg/m}^2$

V= Vacíos en el agregado, condición suelta (expresado en forma decimal).

DMP= Dimensión mínima promedio.

G= Densidad real seca del agregado ( $\text{kg/m}^3$ )

E = Factor de desperdicio, corrige la dosis por rebote de partículas y depende del tamaño del agregado

$T_m$ = Tamaño medio del agregado, abertura del tamiz teórico por el cual pasa el 50% del agregado (mm).

IL = porcentaje en peso de partículas que tienen su dimensión mínima inferior a 0.6 veces la dimensión media del agregado (Índice Flakiness).

**Tabla 1. Factor de desperdicio usado en Chile**

DMP (mm)	Desperdicio (%)	Factor de desperdicio (E)
< 6.5	5	1.05
6.5 – 8.0	4	1.04
8.1 – 9.5	3	1.03
> 9.5	2	1.02

- Dosis de ligante: Su cálculo se basa en parámetros geométricos del agregado y parámetros de la emulsión.

Para determinar la tasa de aplicación de ligante en sellos simples, se utiliza la siguiente ecuación:

$$B = K \left( \frac{0.40 * DMP * T * V + S + A}{R} \right)$$

Donde:

B= Dosis de aplicación de emulsión en l/m<sup>2</sup>

K= Factor de corrección que debe ser evaluado por experiencia del diseñador con base en el clima. Su valor normal es 1.0, pero puede ser mayor o menor según el diseñador. En climas tropicales se ha aplicado 0.9, mientras que en climas muy fríos se usa 1.2.

DMP= Dimensión mínima promedio.

T= Factor de tráfico que incorpora el efecto del tráfico en el embebido del agregado (ver Tabla 2).

V= Vacíos en el agregado, en condición suelta (expresado en forma decimal)

S= Factor de corrección por textura superficial (l/m<sup>2</sup>) (ver Tabla 3).

A: Factor de corrección por absorción de asfalto en el agregado (l/m<sup>2</sup>). Este factor se desprecia salvo que el agregado sea claramente absorbente. Para absorciones por encima del 1.5% se recomienda usar 0.09 L/m<sup>2</sup>.

R= Porcentaje de asfalto residual de la emulsión (expresado en forma decimal).

**Tabla 2. Factor T de corrección por nivel de tráfico, utilizado en Chile**

Tráfico (veh/día)	Factor T
< 100	0.85
100 – 500	0.75
500 – 1000	0.70
1000 – 2000	0.65
> 2000	0.60

**Tabla 3. Factor de corrección S por textura superficial, utilizado en Minnesota.**

<b>Textura Superficial</b>	<b>Corrección S (l/m<sup>2</sup>)</b>
Negra, exudada	-0.04 a -0.27
Suave, no porosa	0.00
Levemente porosa y oxidada	0.14
Con agujeros leves, oxidada	0.27
Muy porosa	0.40

Es necesario realizar una corrección adicional para incorporar el efecto del tráfico pesado, ya que el factor T de corrección por tráfico sólo incorpora el efecto del número de vehículos que circulan por la vía, independientemente de su peso. El Factor de corrección T<sub>2</sub>, deberá ser definido con base en estudios sobre el comportamiento de sellos para distintas condiciones de tráfico.

- Dosis de ligante en condiciones especiales: Se recomienda disminuir la dosis de ligante hasta en un 10% en condiciones donde el sello sea más susceptible a exudar, tales como:
  - Pendientes pronunciadas (>8-10%): En el carril de ascenso, el tráfico lento aumenta la tendencia a exudar.
  - Caminos con elevado flujo de vehículos pesados

#### Tratamiento superficial múltiple

Para el diseño de tratamientos múltiples (entiéndase dobles o triples), el Instituto del Asfalto presenta un método basado en el diseño de tratamientos simples:

- Dosis de agregados:
  - Diseñar cada capa del tratamiento como si fuera un tratamiento simple
  - Cada capa debe tener un tamaño nominal no superior a la mitad del tamaño nominal de la capa inferior
  - No se debe corregir por pérdida de agregados
  - Corregir la dosis en terreno usando el factor M (clima y tránsito)
- Dosis de ligante:
  - Diseñar cada capa del tratamiento como si fuera un tratamiento simple
  - Después de la primera capa, no se debe corregir por textura superficial.

- Corregir la dosis en terreno usando el factor K (clima)

Para el cálculo del índice Flakiness, cada fracción de material, se debe ser examinado partícula por partícula para determinar su habilidad para pasar a través de una determinada malla. La muestra empleada en este método consiste en todo el agregado usado en el tamiz que está en los rangos de la Tabla 4 y la cantidad de material a usar se muestra en la Tabla 5.

**Tabla 4. Rangos de tamaño de material para determinar el índice Flakiness**

Número de Tamiz	Rango Nominal o Mallas Estándar		Todo el Material es mayor que
	Pasando	Retenido	
1	1	3/4	3/4
2	3/4	1/2	1/2
3	5/8	3/8	3/8
4	1/2	3/8	3/8
5	3/8	1/4	1/4

**Tabla 5. Cantidad de material a usar para la muestra de índice Flakiness dependiendo del tamaño nominal del agregado**

Tamaño Nominal		Peso Mínimo de Muestra
Pulgadas	Milímetros	Gramos
2	51	20000
1 ½	38	15000
1	25	10000
¾	19	5000
5/8	16	4000
½	12.5	2500
3/8	9.8	1000
¼	6.3	750

Otra forma de ver el cálculo el índice Flakiness es aplicando la cantidad de agregado obtenida a partir de la Tabla 5.9 y determinar el porcentaje de partículas que miden menos de 0.6 la dimensión media del agregado.

## **b. Regla del Décimo**

Sean:

D = Tamaño máximo de agregado (mm)

d = tamaño mínimo de agregado (mm)

$\Delta = (D + d)/2$ , tamaño medio (mm)

Q = cantidad de agregados necesarios ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )

L = cantidad de ligante asfáltico residual necesario ( $\text{l}/\text{m}^2$ )

Con esta metodología existen dos condiciones básicas, una se utiliza cuando el agregado tiene un  $\Delta$  mayor que 10 mm, y la otra, cuando  $\Delta$  es menor de 10 mm.

### **$\Delta$ mayor de 10 mm**

La dosificación de agregado y ligante teórico viene dada por

$$Q = 0.9 \cdot \Delta \text{ (kg/m}^2\text{), y}$$

$$L = 0.10 \cdot Q \text{ (l/m}^2\text{)}$$

### **$\Delta$ menor de 10 mm**

La dosificación de agregado y ligante teórico viene dada por

$$Q = 3 + 0.7 \cdot \Delta \text{ (kg/m}^2\text{), y}$$

$$L = 0.10 \cdot Q \text{ (l/m}^2\text{)}$$

## **Aspectos Importantes a Considerar**

Si se toma en cuenta que el ligante asfáltico empleado a través de emulsiones es capaz de retener o sujetar mayor cantidad de agregados, y que existen pérdidas, e incluso que es necesario que exista un pequeño exceso de agregados, especialmente en la segunda aplicación, se proponen las siguientes consideraciones.

Dado que la formulación teórica va acompañada del ajuste en la obra, deberán tenerse en cuenta las siguientes reglas prácticas:

- Sobre superficies agrietadas, porosas o absorbentes, en climas fríos y tránsitos bajos, conviene aumentar la cantidad.

- Sobre superficies muy cerradas o exudadas, en climas cálidos y tránsitos altos es aconsejable disminuir la cantidad.
- Los incrementos de la dosificación pueden variar entre 5 al 15% de ligante residual.

En relación con los tratamientos dobles, otras recomendaciones igualmente prácticas son:

- En tiempo cálido es conveniente aumentar la cantidad de la primera aplicación de ligante, y por tanto disminuir la cantidad de la segunda aplicación, en proporciones que pueden oscilar entre el 15% y el 25%.
- En tiempo frío, al contrario las mismas proporciones.

### c. Metodología ASTM

La práctica estandarizada D – 1369 provee de cantidades de materiales para tratamientos superficiales bituminosos simples y múltiples. Los parámetros de los materiales necesarios para seleccionar las dosificaciones son: la granulometría (práctica D – 448) y el peso unitario suelto. La dosificación de ligante se incrementa hasta 10% si no se calienta.

### d. Metodología de Texas DoT

Para realizar el diseño del Tratamiento Superficial por medio del método de Texas, deben seguirse los siguientes pasos:

- Cantidad de agregado (S)

$$S = (27 \cdot W) / Q$$

Donde

W = Peso Unitario seco suelto (lb/ft<sup>3</sup>)

Q = cantidad de agregado determinado por la prueba del tablero (lb/yd<sup>2</sup>) o corregida por

S = 36 / Tm de Montana DoT.

Tm = tamaño medio de agregado

- Cantidad de asfalto por cuadrada de pavimento (A)

$$A = 5.61 \cdot E [1 - W/62.4G] \cdot T + V$$

Donde

- E = altura del agregado recubierto por el ligante =  $a \cdot d$
- a = porcentaje de recubrimiento o embebido (Figura 1)
- d = espesor promedio de capa de agregado =  $1.33 \cdot Q/W$
- T = Corrección por tránsito (Tabla 7)
- V = Corrección por condición de superficie (Tabla 8)
- G = Gravedad específica del agregado

- Ajuste de cantidad de asfalto para emulsiones

$$A_e = A + K(A/\text{asfalto residual} - A)$$

Donde

- K = 0.40 (verano)
- K = 0.90 (invierno)

- Ajuste de cantidad de asfalto por temperatura: debe hacerse un ajuste por temperatura de aplicación, ya que el método parte de una temperatura estándar de 60 °C.

**Tabla 7. Factor de corrección por tránsito para Texas DoT.**

Factor de corrección T	Tránsito – vehículos por día en el carril de diseño				
	> 1000	500 - 1000	250 - 500	100 - 250	< 100
	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20

**Tabla 8. Factor de corrección por condición de superficie de pavimento para Texas Dot.**

Textura Superficial	Corrección Por superficie
Superficie exudada	-0.06
Suave, no porosa	-0.03
Levemente porosa	0.00
Porosa, superficie oxidada	+0.03
Muy porosa	+0.06

#### e. Método de Hanson

Este método es basado en las siguientes propiedades:

- Gravedad específica de los agregados
- Tamaño medio del agregado
- Dimensión mínima promedio

La dosificación de agregado y ligante se calculan con las siguientes ecuaciones:

$$S = 37.4 \cdot G \cdot H \cdot E$$

$$A = 1.122 \cdot H \cdot T + P$$

$$E = 1 + (\text{porcentaje de desperdicio permitido})$$

S: Dosificación de agregado (lb/yd<sup>2</sup>)

G: gravedad específica del agregado

H: dimensión mínima promedio (pulgadas)

A: dosificación de ligante (Gal/yd<sup>2</sup>)

T: Factor de tránsito (Tabla 2)

P: factor de condición de pavimento (Tabla 9).

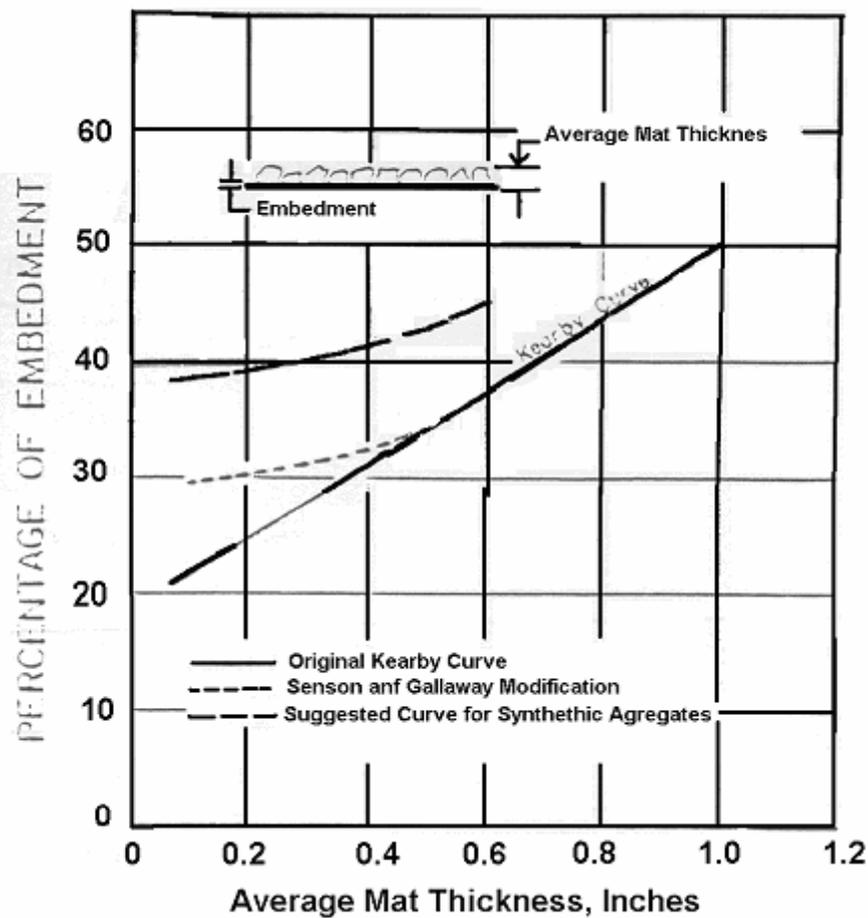


Figura 1. Relación entre el porcentaje de agregado embebido y el espesor promedio de capa de agregado.

**Tabla 9. Factor de corrección de condición de pavimento**

<b>Textura Superficial</b>	<b>Corrección P</b>
Suave, no porosa	0.0
Levemente porosa	0.05
Porosa, superficie oxidada	0.10
Muy porosa	0.15

**2.2 Valoración de los métodos de diseño**

En la Tabla 9 se muestran los parámetros que requiere cada metodología de diseño de TSB para calcular la dosificación de ligante y agregado, se observa como el método de la Dimensión Mínima Promedio es el que considera la mayor cantidad de parámetros; por otro lado el método del ASTM y el Décimo son los que consideran la menor cantidad de parámetros.

**Tabla 9. Parámetros de diseño aplicadas en las metodologías de diseño de TSB.**

<b>Parámetros de diseño</b>	<b>Metodología de diseño</b>				
	<b>DMP</b>	<b>Décimo</b>	<b>Hanson</b>	<b>ASTM</b>	<b>Texas</b>
Tamaño de agregado	x	x	x	x	x
Indice Flakiness	x		x		
Dimensión mínima promedio	x		x		
Peso unitario suelto del agregado	x		x	x	x
Vacíos en el agregado suelto	x				
Volumen de tránsito	x		x		x
Condición de la superficie existente	x	x	x		x
Gravedad específica del agregado	x		x		x
Absorción del agregado	x				
Contenido de asfalto residual	x	x	x	x	x
Condiciones climáticas		x			x
Desperdicio	x	x	x		