

# Determinación del porcentaje de ligante óptimo

Oscar Rebollo<sup>(1)</sup>, Rubén González<sup>(2)</sup>, Gerardo Botasso<sup>(3)</sup>,  
Hernán Maíz Zarasola<sup>(4)</sup>, Juan Pablo Carrudo<sup>(4)</sup> y Matías Peralta<sup>(4)</sup>

LEMaC - Centro de Investigaciones Viales. Área Materiales Viales

## 1. Introducción

Los requerimientos de seguridad al tránsito exigidos hoy día a las superficies de rodamiento, llevaron a desarrollar materiales con características diferentes a las conocidas. La Mezcla Asfáltica Drenante (MAD) o Mezcla Asfáltica Porosa (MAP) es un material que reúne esas características.

Las MAD se caracterizan por tener un elevado porcentaje de huecos interconectados entre sí (16 a 25%, o más), dependiendo del uso. Cabe destacar que no solo son usadas como superficie de rodamiento, sino que también en algunas especificaciones están contempladas como capa de alivio de fisuras. (1)

Estos huecos interconectados permiten el paso del agua, favoreciendo la eliminación de esta rápidamente de la superficie del camino. Presentan además una alta macrotextura y microtextura, esta última como consecuencia de la calidad de los áridos usados.

Determinaciones o metodologías como: “Método del Espesor de película Asfáltica” (2), “Cantabro” (3), “RP” (4) y “Guía de Diseño Australiana”(5); permiten el diseño de este tipo de mezclas.

Basándonos en lo anterior y en la experiencia del grupo de trabajo en el diseño de Mezclas Drenantes, se cree conveniente orientar el proyecto de las mismas hacia una metodología que evidencie la fuerza de cohesión desarrollada por el film de ligante asfáltico.

Este análisis es posible estudiando la estructura interna de una mezcla abierta. Como consecuencia de los pocos puntos de contacto, condición de su existencia, la cohesión se encuentra influenciada por la viscosidad del mastic asfáltico (5). Por lo tanto se debe dejar por sentado, para el presente planteo, que la adherencia entre ligante asfáltico y árido es buena.

El actual trabajo forma parte de un desarrollo de LEMac, que incluye la valoración de distintos tipos de mezclas abiertas (sean para alivio de fisuras o como capa de superficie) usando algunas de las metodologías ya planteadas.

## 2. Consideraciones iniciales

2.1 Selección del Tamaño Máximo Nominal: Se optó por usar el TMN de 20 mm.

2.2 Selección de husos granulométricos: Se utilizaron los husos P - 12 y PA - 12 según las especificaciones españolas (6), por ser los más utilizados en Argentina. (Tabla No. 1-Husos granulométricos).

Tamiz en (mm) Especificación Española	Husos P		Husos PA	
	10	12	10	12
20	100	100	100	100
12,5	100	75-100	100	75-100
10	80-90	60-90	70-90	60-90
5	40-50	32-50	15-30	18-30
2,5	10-18	10-18	10-22	10-22
0,63	6-12	6-12	6-13	6-13
0,08	3-6	3-6	3-6	3-6

Tabla No. 1: Husos granulométricos

2.3 Porcentaje de huecos interconectados: Los porcentajes buscados fueron entre 16% y 22%, dependiendo del huso y del destino.

### 3. Materiales

#### 3.1 Selección de los áridos:

Para la obtención de las curvas adoptadas, se dispuso la utilización de áridos de origen granítico de color gris (cuarzo-feldespáticos), por ser los que presentan un mejor comportamiento en la adherencia árido-ligante, en relación con otras tipologías.

Los tamaños utilizados fueron según la denominación comercial 6:20; 3:9 y 0:6, usándose cal como filler. (Tablas No. 2 y 3- Características de los áridos).

Árido grueso	
Desgaste "Los Angeles"	< 20 %
Índice de Agujas e Índice de Lajas	< 25 %
Peso Específico	2,67 g/cm <sup>3</sup>
Adherencia ASTM D 3625	> 95 %
Cubicidad	90 %
Caras de Fractura (2 o más)	92 %
Limpieza Superficial	96 %

Tabla No. 2: Características árido grueso

Árido fino	
Peso Específico	2,67 g/cm <sup>3</sup>
Equivalente de Arena	68 %
Adherencia Riedel Weber	< 4

Tabla No. 3: Características árido fino

#### 3.2 Análisis granulométrico:

El análisis granulométrico se muestra en la Tabla No. 4.

Tamiz	Abertura	6:20	3:9	0:6	CAL
3/4	19100	100	100	100	100
1/2	12700	57,6	100	100	100
3/8	9520	28,3	97,4	100	100
4	4760	1,1	47,6	90,3	100
8	2360	0,5	9,5	61,6	100
30	290	0,3	2,9	28,3	99
200	74	0,1	0,4	7,6	88

Tabla No. 4: Análisis granulométrico

#### 3.3 Selección del ligante:

Se usó un asfalto modificado con polímero, Tipo AM-3 según la Norma IRAM 6596. (Tabla No. 5- Características del ligante asfáltico modificado)

ENSAYO	VALOR
Penetración (25 °C, 100 g , 5s)	68 (0,1 mm)
Punto de Ablandamiento (a y B)	83 (°C)
Punto de Fragilidad Fraass	10 (°C)
Estabilidad al Almacenamiento	
Diferencia Punto de Ablandamiento	3 (°C)
Diferencia de Penetración	5 (0,1 mm)
Recuperación Elástica por Torsión (25 °C)	86 (%)
Contenido de Agua (en volumen)	0,05 (%)
Punto de Inflamación V/A	> 230 (°C)
Densidad Relativa (25 °C/ 25 °C)	0,999 (g/cm <sup>3</sup> )

Tabla No. 5: Características del ligante asfáltico

#### 3.4 Composición de la mezcla usada:

Se presentan en las Tablas No. 6 y No. 7; las composiciones porcentuales de los materiales intervinientes.

La forma de obtener la curva granulométrica representativa de cada huso (P-12 o PA-12) es por pesaje de los distintos materiales intervinientes (6:20, 3:9, 0:6, cal y ligante asfáltico modificado, LAM).

Huso granular P-12 (Tabla No. 6 y Figura No. 1- Composiciones porcentuales de los materiales intervinientes y curva granulométrica resultante).

MATERIALES	%
Piedra 6:20	54,5
Piedra 3:9	22,5
Arena de trituración 0:6	20,9
Cal	2,1

Tabla No. 6: Porcentajes de materiales intervinientes

MATERIALES	%
Piedra 6:20	72,9
Piedra 3:9	10,4
Arena de trituración 0:6	14,6
Cal	2,1

Tabla No. 7: Porcentajes de materiales intervinientes

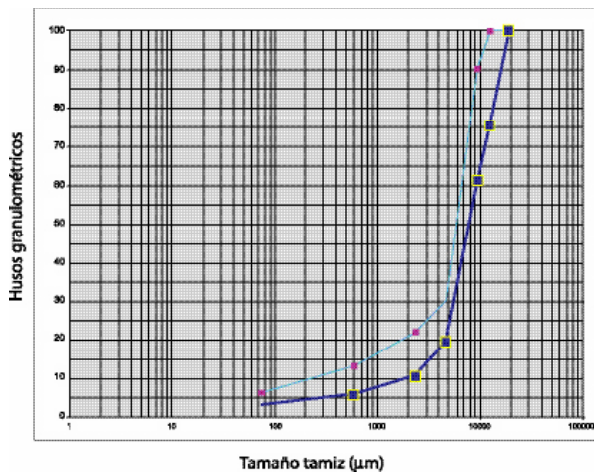


Figura No. 1: Curvas granulométricas (Husos P)

Huso granular PA-12 (Tabla No. 7 y Figura No. 2 - Composiciones porcentuales de los materiales intervinientes y curva granulométrica resultante).

### 3.5 Selección de los contenidos de ligante de prueba:

De acuerdo con las recomendaciones de los distintos métodos de dosificación, se utilizaron para cada una de las curvas adoptadas, los siguientes porcentajes de asfalto: 3%; 3,5%; 4%; 4,5% Y 5%.

## 4. Desarrollo

### 4.1 Sobre los especímenes:

Preparación de las muestras. Se procedió a la preparación de los distintos pastones conforme a los porcentajes de ligante asfáltico elegidos.

Para la obtención de los distintos especímenes de ensayo se utilizó la metodología Marshall, con 50 golpes por cara, respetando las viscosidades establecidas en dicha Especificación, tanto para el moldeo como para la compactación, en función del ligante escogido.

Se preparó muestra suficiente para cada uno de los contenidos de ligante, de forma tal para obtener resultados por triplicado, tanto para la tracción indirecta (Norma Española NLT -346 / 90), como para la densidad teórica y la absorción de asfalto mediante el método de saturación por vacío (Norma Vialidad Nacional VN-E27-84, Método Rice).

Se moldearon las probetas y se prepararon las muestras disgregadas.

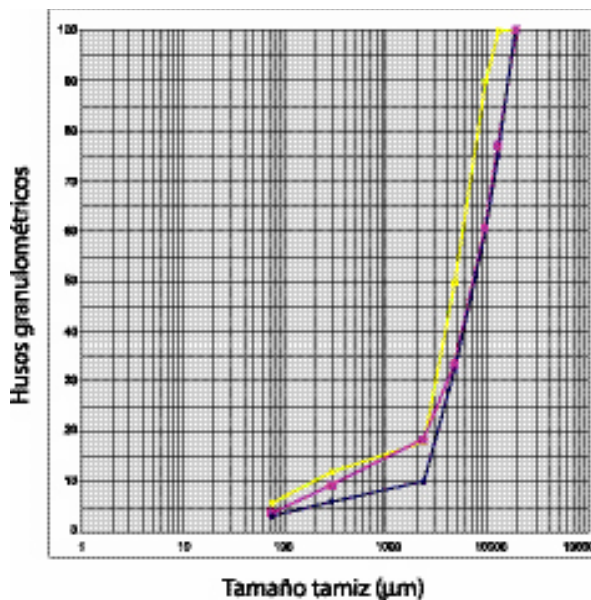


Figura No. 2: Curvas granulométricas (Husos PA)

La densidad aparente de cada probeta, se obtiene pesándola y determinando su volumen en forma geométrica.

La medición geométrica se realiza con calibre, determinando el diámetro  $\pm 0,1$  mm, de cada probeta en seis planos, dos a dos perpendiculares: dos en el plano superior de la probeta, dos en el plano medio y dos en el plano inferior. El diámetro medio,  $d$ , es la media aritmética de las seis medidas, siendo la diferencia entre dos medidas individuales inferior a 1mm.

La altura de cada probeta se mide también con precisión de  $\pm 0,1$  mm en cuatro puntos definidos por los extremos de dos planos diametrales perpendiculares, con un radio de 10 mm inferior al radio de la probeta. La altura media,  $h$ , es la media aritmética de las cuatro medidas. La diferencia entre dos medidas individuales no será superior al 5 % de la altura media, con un máximo de 5 mm.

Determinación de peso específico y absorción de asfalto.

4.2 Ensayo de Tracción Indirecta, Resistencia a compresión diametral (ensayo brasileño) de mezclas bituminosas:

“El principio de la metodología consiste en imponer una deformación por compresión diametral a una probeta cilíndrica situada horizontalmente entre los platos de una prensa, de forma que los esfuerzos aplicados a la probeta sean sobre dos generatrices opuestas.

El parámetro a medir es la carga de rotura de la probeta” NLT – 346 / 90.

La compresión axial de la probeta, se logró aplicando una carga estática a una velocidad constante de deformación de 50,8 (mm/min) y a una temperatura de  $25 \pm 1$  °C, acondicionando las probetas en baño

controlado mediante termostato durante 6 horas, sacando las probetas una a una para ser ensayadas.

Son posibles de usar otras temperaturas, de hecho distintos estudios realizados, que utilizan esta metodología para control de calidad de mezclas bituminosas, trabajan a 5 °C acondicionadas 24 horas, valorando las respuestas de mezclas ante la susceptibilidad al agua y para el control de superficies terminadas.

Para la determinación de la resistencia se utilizó el equipo Marshall, el cual permite aplicar la velocidad de deformación especificada, este equipo ha sido equipado especialmente con la prensa Lotman, que permite disponer la probeta de manera horizontal para hacer efectiva la carga. (Ver Figura No. 3)



Figura No. 3: Dispositivo de ensayo

$$R_t = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot h \cdot d}$$

Donde:

Rt: Resistencia a compresión diametral, (Kg/cm<sup>3</sup>).

P: Carga máxima de rotura, (Kg).

h: Altura de la probeta, (mm, ± 0,1 mm).

d: Diámetro de la probeta, (mm, ± 0,1 mm).

Con mediciones efectuadas para la determinación de volumen, se calculó la Resistencia a Compresión Diametral (RCD).

El equipo de apoyatura necesario, consiste en un baño termostatzado, que por lo general acompaña al equipo Marshall.

## 5. Resultados

Los resultados de los ensayos realizados para cada uno de los husos intervinientes se presentan a continuación:

Huso P – 12 (Tabla No. 8 y Figura No. 4 - Valores de resistencia a compresión en función del porcentaje de ligante y gráfica).

( L.A.M.)	3	3,5	4	4,5	5
Valores de Resistencia a Compresión Diametral	5,3	5,7	6,27	7,43	5,44
	5,49	6,17	6,7	8,22	7,3
	6,27	5,8	6,82	8,48	7,87
Promedio	5,69	5,89	6,6	8,04	6,87

Tabla No. 8: Valores de resistencia a compresión en función del porcentaje de ligante

Huso PA – 12 (Tabla No. 9 y Figura No. 5- Valores de resistencia a compresión en función del porcentaje de ligante y gráfica).

En las Figuras No. 4 y No. 5 se observa la variación de la resistencia a compresión diametral respecto del incremento del valor de ligante.

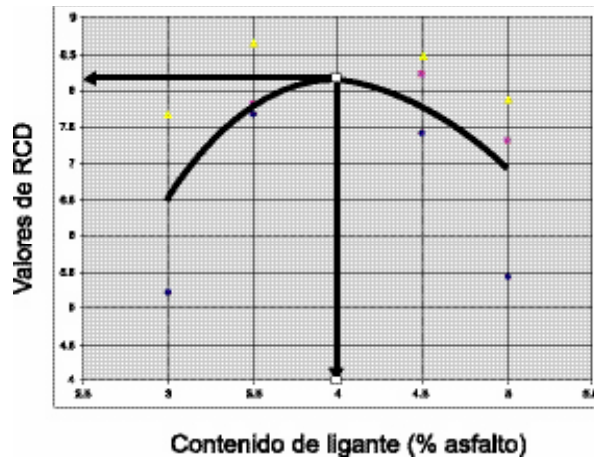


Figura No. 4: Gráfica de valores de resistencia a compresión en función del porcentaje de ligante

( L.A.M.)	3	3,5	4	4,5	5
Valores de Resistencia a Compresión Diametral	5,3	5,7	6,27	5,68	5,7
	5,49	6,17	6,7	5,74	5,85
	6,27	5,8	6,82	5,97	5,89
Promedio	5,69	5,89	6,6	5,8	5,81

Tabla No. 9: Valores de resistencia a compresión en función del porcentaje de ligante

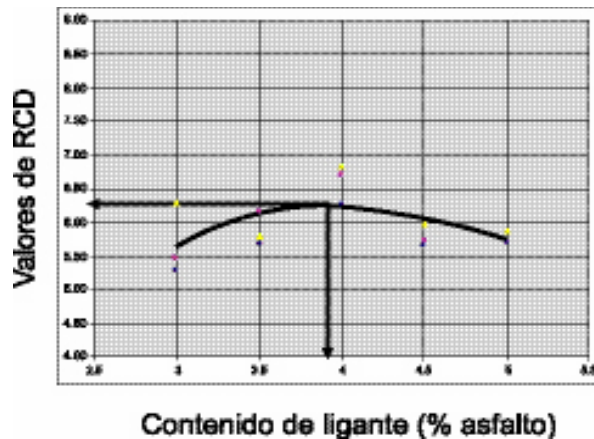


Figura No. 5: Gráfica de valores de resistencia a compresión en función del porcentaje de ligante

## 6. Análisis de resultados

Es notoria la sensibilidad de la metodología con la variación del porcentaje de ligante asfáltico, para cada uno de los husos escogidos.

Comentamos al comienzo de este trabajo, que si bien presentamos los resultados obtenidos al usar la Tracción Indirecta como ensayo de diseño de mezclas abiertas, el desarrollo completo realizado en el Centro, involucró usar en el diseño de estas mezclas, los sistemas más conocidos: “RP”, Cántabro y La guía de Diseño Australiana.

Los porcentajes óptimos de diseño, obtenidos para cada una de las metodologías analizadas conjuntamente como antecedente comparativo, son los presentados en la Tabla No. 10, en esta se anexan los porcentajes obtenidos utilizando la Tracción Indirecta.

	P-12 % de Ligante óptimo	PA-12 % De Ligante óptimo
RP	4,2	3,4
Cántabro	4	3,9
Australiano	4	3,9
Tracción Indirecta	4	3,9

Tabla No. 10: Valores óptimos de porcentaje de ligante para cada metodología analizada en forma conjunta

Esta situación es válida para los materiales utilizados y condiciones de laboratorio establecidas, dicho esto, los resultados obtenidos son aceptables.

## 7. Conclusiones

Se utiliza para la determinación de la tracción indirecta el equipo Marshall. Este es un elemento común en todo Laboratorio y no es necesario realizar en él modificación alguna.

La prensa Lotman, que alberga a la probeta para el ensayo, es un dispositivo simple y de bajo costo, materializable por personal técnico medianamente especializado.

Para la evaluación se necesita ensayar una cantidad de probetas equivalente a una cuarta parte de las necesarias en los otros métodos comparados, en este sentido es una técnica similar al “RP”.

La rapidez de la metodología hace posible obtener valores de diseño, como máximo en 48 horas, teniendo acotadas las variables en lo referente al tipo de agregado y ligante.

La sollicitación a la que es sometida la probeta en el ensayo, pone en evidencia el mecanismo de vinculación interna en la estructura, ya que como hemos mencionado, juega un papel importantísimo la cohesión aportada por el mastic asfáltico.

## 8. Referencias

- 1-Especificaciones Chilenas.
- 2-“Método del espesor de película asfáltica” Especificación Chilena LNV 17-Adaptación método de diseño Norteamericano (R. W. Smith 1978).
- 3-Ensayo Cántabro para mezclas modificadas-D. Félix Pérez Jiménez. Toledo, 14 de marzo de 1991.
- 4-“RP” Método experimental para el diseño de mezclas asfálticas abiertas.
- 5-Guía de diseño de mezclas asfálticas drenantes (M.A.D.), la experiencia Australiana.
- 6-Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes.

### LEMaC - Centro de Investigaciones Viales Área Materiales Viales

Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional La Plata  
Calle 60 y 124 - La Plata (1900)  
Tel/Fax: 54-221-4890413

E-mail: lemac@frlp.utn.edu.ar

- (1). Integrante del Área Materiales Viales
- (2). Responsable del Área Materiales Viales
- (3). Director del LEMaC
- (4). BEcarios de Investigación del Centro