

# MÉTODO DE DISEÑO MARSHALL

## OBJETO

---

Este procedimiento es aplicable a mezclas en caliente con cementos asfálticos que contengan áridos con tamaño máximo absoluto igual o inferior a 25 mm. Se puede usar tanto para el diseño en laboratorio como en el control de terreno, y describe una metodología para determinar el óptimo de asfalto en las mezclas.

## DETERMINACIONES PREVIAS

---

1. Determine la densidad real seca de cada árido que participa en la mezcla y la del filler, si lo hubiere, de acuerdo a los **Métodos A0519, A0520** según corresponda.
2. Determine la densidad del cemento asfáltico a 25 ° C según **Método A0102**.
3. Determine la densidad máxima de la mezcla suelta según **Método A0605**, para un contenido de asfalto próximo al óptimo previsto.
4. Prepare las probetas según **Método A0608**.
5. Determine las densidades de las probetas compactadas, según **Método A0606**.
6. Mida la Estabilidad y la Fluencia de las mezclas usando el equipo Marshall, según **Método A0608**.

**Nota 1:** Dado que la densidad real seca del filler mineral es difícil de determinar en forma precisa, se recomienda utilizar el método de Le Chatelier .

## CÁLCULOS

---

### 7. Cálculo de la densidad real seca ponderada de la mezcla de áridos

Cuando la mezcla está compuesta por dos o más áridos, todos con diferentes densidades reales, calcule la densidad real seca de la mezcla de áridos de acuerdo a la expresión:

$$\rho_{RS} = P_1 \cdot \rho_{RS1} + P_2 \cdot \rho_{RS2} + \dots + P_n \cdot \rho_{RSn}$$

Donde:

$$\rho_{RS}$$

Densidad real seca de la mezcla de agregados.

$P_1, P_2, \dots, P_n$ : Porcentajes en peso de los áridos 1, 2, ... n, expresados en forma decimal.

$$\rho_{RS1}, \rho_{RS2}, \dots, \rho_{RSn}$$

Densidades reales secas de los áridos 1, 2, ... n.

## 8. Cálculo de la densidad efectiva del árido.

Calcule la densidad efectiva del árido mediante la expresión:

$$\rho_E = \frac{100}{\frac{100 + P_b}{D_{mm}} - \frac{P_b}{\rho_b}}$$

Donde:

$$\rho_E$$

Densidad efectiva del árido ( $\text{kg/m}^3$ ).

$$P_b$$

Porcentaje de asfalto referido al árido (%).

$$D_{mm}$$

Densidad máxima de la mezcla suelta ( $\text{kg/m}^3$ ).

$$\rho_b$$

Densidad del asfalto ( $\text{kg/m}^3$ ).

## 9. Cálculo del porcentaje de asfalto absorbido.

El asfalto absorbido se expresa como un porcentaje referido al árido y se calcula con la fórmula siguiente:

$$P_{ba} = \left( \frac{1}{\rho_{RS}} - \frac{1}{\rho_E} \right) \times P_b \times 100$$

Donde:

$$\rho_{ba}$$

Porcentaje de asfalto absorbido, referido al árido (%).

$$\rho_{RS}$$

Densidad real seca del árido ( $\text{kg/m}^3$ ).

$$\rho_E$$

Densidad efectiva del árido ( $\text{kg/m}^3$ ).

$$\rho_b$$

Densidad del asfalto ( $\text{kg/m}^3$ ).

## 10. Cálculo de la densidad máxima de la mezcla para distintos contenidos de asfalto.

Al calcular el porcentaje de huecos de aire en la mezcla, es necesario conocer Dmm para cada porcentaje de asfalto considerado. Si bien esto se puede hacer a través del **Método A0605** para cada contenido de asfalto, la precisión del ensayo es mejor cuando se approxima al contenido de asfalto óptimo. Una vez obtenida la Dmm para un determinado contenido de asfalto y calculada la densidad efectiva del árido, calcule la Dmm de la mezcla para cualquier otro porcentaje de asfalto, de acuerdo a la fórmula:

$$D_{mm} = \frac{100 + P_b}{\frac{100}{\rho_E} + \frac{P_b}{\rho_b}}$$

Donde:

$D_{mm}$ : Densidad máxima de la mezcla ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

$P_b$ : Porcentaje de asfalto referido al árido (%).

$\rho_E$ : Densidad efectiva del árido ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), de acuerdo a 8.

$\rho_b$ : Densidad del asfalto ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

## 11. Contenido de asfalto útil

El contenido de asfalto útil ( $P_{bu}$ ) de una mezcla, corresponde al contenido de asfalto total menos el contenido de asfalto absorbido por el árido. Se calcula de acuerdo a la fórmula:

$$P_{bu} = P_b - P_{ba}$$

Donde:

$P_{bu}$ : Porcentaje de asfalto útil referido al árido (%).

$P_b$ : Porcentaje de asfalto referido al árido (%).

$P_{ba}$ : Porcentaje de asfalto absorbido referido al árido (%).

## 12. Cálculo de los Vacíos en el árido mineral

El porcentaje de vacíos en el árido mineral (VAM), se calcula de acuerdo a la fórmula:

$$VAM = 100 \times \left( 1 - \frac{G}{\rho_{RS}} \times \frac{100}{100 + P_b} \right)$$

Donde:

VAM: Porcentaje de vacíos en el árido mineral (%).

$G$ : Densidad de la mezcla compactada ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

$\rho_{RS}$ : Densidad real seca del árido ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

$P_b$ : Porcentaje de asfalto referido al árido (%).

## 13. Cálculo del porcentaje de huecos de aire en la mezcla.

El porcentaje de huecos de aire en la mezcla (Va), se calcula de acuerdo a la fórmula:

$$Va = 100 \times \frac{D_{mm} - G}{D_{mm}}$$

Donde:

$V_a$ : Porcentaje de huecos de aire en la mezcla (%).

$D_{mm}$ : Densidad máxima de la mezcla ( $\text{kg/m}^3$ ), de acuerdo a 10.

$G$ : Densidad de la mezcla compactada ( $\text{kg/m}^3$ ).

#### 14. Cálculo del porcentaje de huecos llenos con asfalto.

El porcentaje de huecos llenos con asfalto (VLL), se calcula de acuerdo a la fórmula:

$$V_{LL} = 100 \times \left( 1 - \frac{V_a}{VAM} \right)$$

Donde:

$V_{LL}$ : Porcentaje de huecos llenos con asfalto (%).

$V_a$ : Porcentaje de huecos de aire en la mezcla (%).

$VAM$ : Porcentaje de vacíos en el árido mineral (%).

#### Acondicionamiento de los Datos

15. Los valores de estabilidad obtenidos para probetas de espesores distintos a 63,5 mm deben corregirse, convirtiendo éstos a un valor equivalente a 63,5 mm, utilizando para ello los factores de corrección indicados en Tabla A0608\_1 del **Método A0608**.
16. Calcule el valor promedio de la densidad, fluencia y estabilidad corregida, para todas las probetas con un mismo contenido de asfalto.
17. Confeccione los siguientes gráficos, uniendo mediante una curva suave todos los puntos obtenidos:
  - a) Estabilidad v/s porcentaje de asfalto.
  - b) Fluencia v/s porcentaje de asfalto.
  - c) Densidad v/s porcentaje de asfalto.
  - d) Huecos en la mezcla v/s porcentaje de asfalto.
  - e) VAM v/s porcentaje de asfalto.

## Determinación del contenido óptimo de asfalto

### 18. Capa de Rodadura

- a) Determine el contenido óptimo de asfalto de la mezcla considerando las curvas de densidad, estabilidad y huecos en la mezcla. De dichas curvas se determinan los porcentajes de asfalto ( $P_b$ ) que entreguen:
- Máxima estabilidad ( $P_{b1}$ ).
  - Máxima densidad ( $P_{b2}$ ).
  - Contenido de asfalto para un 5% de huecos ( $P_{b3}$ ).

El contenido óptimo de asfalto se calcula como la media aritmética de los tres valores obtenidos, es decir:

$$Pb\ optimo = \frac{Pb_1 + Pb_2 + Pb_3}{3}$$

- b) Verifique que el contenido óptimo de asfalto, con una tolerancia de  $\pm 0,3$  puntos porcentuales, cumpla con todos los requisitos de calidad exigidos a la mezcla. En caso contrario, confeccione una nueva serie de muestras.

### 19. Capa de Base y Capa Intermedia (Binder)

Seleccione como contenido óptimo de asfalto el porcentaje de ligante que, con una tolerancia de  $\pm 0,5$  puntos porcentuales, cumpla con todos los requisitos de calidad exigidos a la mezcla.

---

## INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

### 20. Identificación de los materiales

Indique procedencia, lugar y fecha de muestreo, tanto del asfalto como del árido.

### 21. Áridos

Indique los siguientes análisis para cada árido:

- a) Granulometría.
- b) Densidad aparente suelta.
- c) Densidad real seca.
- d) Densidad neta.
- e) Desgaste de Los Ángeles.
- f) Índice de Plasticidad.

- g) Equivalente de arena.
- h) Cubicidad de partículas.
- i) Dosificación de áridos.
- j) Granulometría de la mezcla de áridos.

**Nota 2:** En la confección del informe se debe incluir las correspondientes especificaciones de obra.

## 22. Asfalto

- a) Certificados de Control de Calidad.
- b) Densidad

## 23. Mezcla Árido – Asfalto

- a) Densidad máxima de la mezcla.
- b) Adherencia.
- c) Porcentaje de asfalto absorbido referido al árido.
- d) Temperatura de mezclado.
- e) Temperatura de compactación de las probetas.

## 24. Análisis Marshall

- a) Para cada contenido de asfalto considerado se deben incluir:
  - a) Densidad.
  - b) Huecos en la mezcla.
  - c) Vacíos en el agregado mineral (vam).
  - d) Estabilidad.
  - e) Fluencia.
- b) Gráficos de Densidad, Huecos, VAM, Estabilidad y Fluencia con respecto a cada uno de los porcentajes de asfalto considerados.
- c) Fórmula de Trabajo.

Esta comprende:

- Banda de Trabajo, con las siguientes tolerancias:	
Tamiz 4,75 mm (Nº 4) y superiores.	: ± 5 puntos porcentuales.
Tamices 2,36 mm (Nº 8) y 1,18 mm (Nº 16).	: ± 4 puntos porcentuales.
Tamices 0,6 mm (Nº 30) y 0,3 mm (Nº 50).	: ± 3 puntos porcentuales.
Tamiz 0,15 mm (Nº 100).	: ± 2 puntos porcentuales.
Tamiz 0,075 mm (Nº 200).	: ± 1,5 puntos porcentuales.
Contenido óptimo de asfalto para capas de rodadura.	: ± 0,3 puntos porcentuales.
Contenido óptimo de asfalto para capas de base o intermedia	: ± 0,5 puntos porcentuales.
Densidad de diseño.	
Temperatura de mezclado.	

## Temperatura de Inicio de Compactación

**Nota 3:** La banda de trabajo podrá salirse de la especificada siempre que la curva granulométrica de diseño quede totalmente comprendida en la banda especificada.



