

# **MÉTODO DE DOSIFICACIÓN BAILEY. APLICACIÓN A LAS MEZCLAS TIPO STONE MASTIC ASPHALT (SMA)**

**LUCÍA MIRANDA**

EIFFAGE INFRAESTRUCTURAS S.A.

**BALTASAR RUBIO**

CENTRO DE ESTUDIOS DEL TRANSPORTE- CEDEX

**RAFAEL JIMÉNEZ**

CENTRO DE ESTUDIOS DEL TRANSPORTE- CEDEX

**LEONARDO ENRÍQUEZ**

CONSEJERÍA DE EDUCACIÓN, CAM

**JAVIER LOMA**

ASFALTOS Y CONSTRUCCIONES ELSAN S.A.



---

# MÉTODO DE DOSIFICACIÓN BAILEY. APLICACIÓN A LAS MEZCLAS TIPO STONE MASTIC ASPHALT (SMA)

---

## RESUMEN

**E**l proyecto de una mezcla bituminosa requiere la elección del tipo y de la granulometría de los áridos, la elección del tipo de ligante bituminoso y la determinación de la cantidad óptima de ligante para que la mezcla cumpla los requerimientos exigidos.

La granulometría de los áridos es una de las características fundamentales del conjunto de partículas, porque influye tanto en la resistencia mecánica de la mezcla, como en el contenido de huecos y en la trabajabilidad de la mezcla bituminosa. En España y en gran número de países, se establecen husos granulométricos seleccionados por la experiencia, para los diferentes tipos de mezclas bituminosas.

Los procedimientos habituales de dosificación de ligante se basan en ensayos mecánicos (Hubbard-Field, Hveem, Marshall, Superpave, etc.) o en la superficie específica de los áridos (Duriez, C.K.E).

En esta comunicación se presenta el método Bailey, desarrollado por Robert Bailey del Departamento de Transporte de Illinois a principios de la década de los 80, como complemento a la metodología de diseño de mezclas bituminosas. Se trata de un sistema volumétrico de dosificación de áridos basado en el concepto de que las par-

tículas de árido de mayor tamaño producen o proporcionan huecos, que son ocupados por las partículas de árido de menor tamaño, el betún y el aire. Para ello utiliza las densidades aparentes de las fracciones de los áridos sin compactar LUW (Loose Unit Weight) y compactadas RUW (Rodded Unit Weight) que tienen en cuenta la forma y la textura de las partículas.

El método Bailey permite seleccionar a priori la granulometría más adecuada variando el empaquetamiento de los áridos gruesos y finos para obtener un contenido de huecos en áridos que proporcione una buena resistencia mecánica de la mezcla bituminosa y asegure una buena durabilidad.

Además, una vez conocidos los parámetros volumétricos de una mezcla, permite estimar los valores de huecos en áridos y huecos en mezcla cuando se cambia la curva granulométrica, lo que evita la realización de numerosos ensayos de laboratorio.

Se completa la comunicación con un ejemplo de dosificación de áridos de una mezcla tipo SMA que por las características de su esqueleto mineral, es una de las mezclas que mejor se adaptan a la metodología del método Bailey, aunque su aplicación se extiende a la dosificación de áridos para cualquier tipo de mezcla bituminosa.

## EL MÉTODO BAILEY

### ANTECEDENTES

El método de Bailey es un procedimiento que permite seleccionar la granulometría más adecuada para obtener las mejores propiedades mecánicas de las mezclas bituminosas en caliente. Fue desarrollado, en la década de los años 80, por Robert Bailey del Departamento de Transporte de Illinois para evaluar el empaquetamiento de los áridos y predecir los huecos y el rozamiento interno entre ellos. Se trata de un sistema volumétrico de dosificación de áridos basado en el hecho de que las partículas de árido de mayor tamaño producen o proporcionan huecos, que son ocupados por las partículas de árido de menor tamaño, el betún y el aire. Para ello utiliza las densidades aparentes de las fracciones de los áridos sin compactar LUW (Loose Unit Weight) y compactadas RUW (Rodded Unit Weight) que tienen en cuenta la forma y la textura de las partículas. El método se utiliza, por tanto, para definir el esqueleto mineral que proporcione un buen rozamiento interno que asegure una buena resistencia a las deformaciones plásticas y un contenido de huecos en áridos adecuados para obtener una buena durabilidad.

Posteriormente el método ha sido modificado y perfeccionado por el Bill Vavrik de la ERES Consultant Division of Applied Research Associates,(1-4) y por Bill Pine of Heritage Research Group de Indianápolis (5-6) y permite que una vez que se conocen los huecos en áridos de una determinada granulometría de una mezcla bituminosa, se pueda variar la composición granulométrica de partida y ayudar a predecir el contenido de huecos tanto en áridos, como en mezcla, de la nueva composición facilitando y reduciendo los ensayos de laboratorio.

### PRINCIPIOS BÁSICOS

El método de Bailey fue desarrollado bajo dos principios básicos para establecer la relación entre la composición granulométrica de los áridos y los parámetros volumétricos de la mezcla bituminosa. Dichos principios son el empaquetamiento de los áridos y la definición de árido "grueso" y "fino" según Bailey.

### *Empaquetamiento de los áridos*

El empaquetamiento de los áridos por compactación no es total y siempre hay huecos entre las partículas minerales.

El grado de empaquetamiento de los áridos depende de los siguientes factores:

- Tipo y energía de compactación: los diferentes sistemas de compactación; presión estática o de cizallamiento, impacto, u otros, proporcionan diferentes formas de empaquetamiento. Una mayor energía de compactación (aumento del número de golpes, de la presión o del número de giros) proporciona un mayor empaquetamiento.
- Forma de las partículas: la forma de las partículas minerales (cúbicas, planas, lajos, redondeadas) condicionan también el empaquetamiento. Las partículas redondeadas dan lugar a mayores empaquetamientos que las cúbicas y las planas y lajos.
- Textura de las partículas: las partículas pulidas se reorientan más fácilmente dando lugar a estructuras más densas que las partículas rugosas.
- Resistencia a la fragmentación: las partículas blandas se degradan más por efecto de la compactación lo que produce una densificación mayor que la obtenida con áridos más duros y resistentes a la fragmentación.
- Tamaño de las partículas: los áridos con tamaños uniformes se empaquetan dejando muchos huecos, mientras que si tiene diferentes tamaños los huecos entre las partículas de mayor tamaño se rellenan con las partículas más pequeñas y se densifican mucho más. La granulometría de los áridos en la mezcla (continua, discontinua, abierta, cerrada, etc.) es uno de los factores más influyentes en el empaquetamiento.

### *Definición de árido "grueso" y "fino" según Bailey*

La separación clásica entre árido grueso y fino se establece en función de un único tamiz (en Europa

MÉTODO DE DOSIFICACIÓN BAILEY. APLICACIÓN A LAS MEZCLAS TIPO STONE MASTIC ASPHALT (SMA)

el tamiz de 2 mm); el árido grueso es el que tiene un tamaño superior a este valor y el árido fino el material cuyo tamaño es inferior.

En el método de Bailey se clasifica y define el árido en función de sus características volumétricas y de su rozamiento interno.

Se define el árido grueso (**CA**) como las partículas de mayor tamaño que producen o proporcionan huecos y el árido fino (**FA**) como las partículas de menor tamaño que rellenan huecos.

El tamiz que define la frontera entre árido grueso y fino no es siempre el mismo ya que depende del tamaño máximo del árido, y se denomina PCS que en inglés significa (Primary Control Sieve) y en español se nombra como "tamiz frontera primario".

El tamiz frontera primario **PCS** se define como el tamiz más próximo al obtenido por la expresión:

$$PCS = NMPS \times 0.22$$

Donde:

**NMPS** es el tamaño máximo nominal (el tamaño inmediatamente mayor del tamiz que retiene más del 10%) y 0,22 es un factor matemático promedio establecido por análisis de imágenes bi y tridimensionales para áridos con partículas de diferentes formas (7).

Además del tamiz frontera **PCS**, se definen otros tres tamices denominados:

– Tamiz medio HS (Half Sieve),

$$HS = 0.5 \times NMPS$$

– Tamiz frontera secundario **SCS** (Secondary Control Sieve)

$$SCS = 0.22 \times PCS$$

– Tamiz frontera terciario **TCS** (Terciary Control Sieve)

$$TCS = 0.22 \times SCS$$

En definitiva, al final se definen cinco fracciones de árido, dos gruesas y tres finas, tal como se muestra en el esquema de la figura 1.

**LA DOSIFICACIÓN DE ÁRIDOS POR VOLUMEN**

El árido grueso, tal como se ha definido anteriormente, proporciona los huecos que deben rellenarse por el árido fino. Por tanto es necesario determinar los huecos creados por el árido grueso que se denominan (**VCA**), para poder llenarlos adecuadamente con el árido fino.

La mejor forma de evaluar la interacción de los áridos en una mezcla es mediante el empleo de métodos de dosificación volumétricos, pero por sencillez y comodidad los áridos se dosifican en la práctica en peso.

Para determinar el volumen de huecos que proporciona el árido grueso se debe de determinar la densidad aparente compactada (**RUW**, Rodded

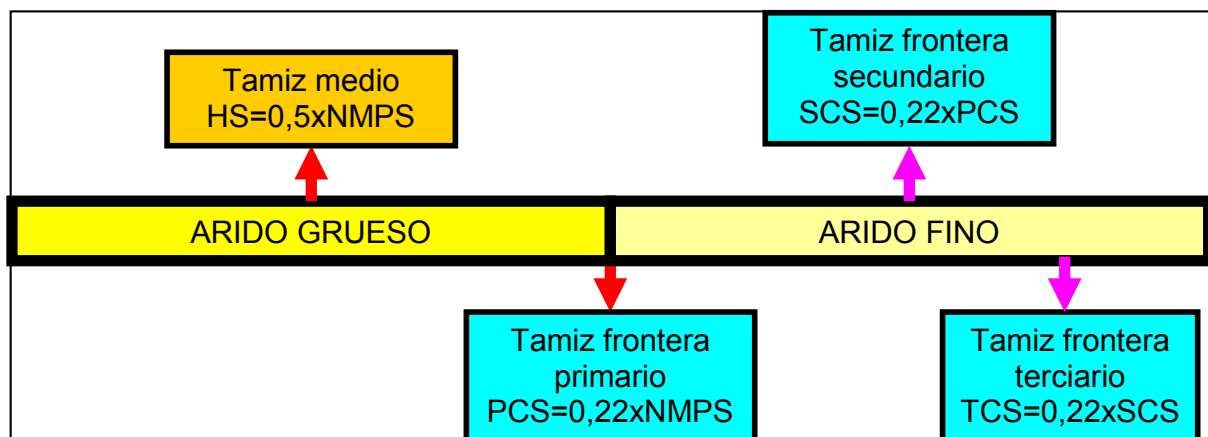


Figura 1. Esquema de los áridos definidos según el método de Bailey.

Unit Weight) y la densidad aparente sin compactar (**LUW**, Loose Unit Weight), según los métodos AASHTO T-19/ASTM C29.

La densidad aparente sin compactar (**LUW**) es la cantidad de árido que llena una unidad de volumen especificado y representa el volumen de huecos cuando las partículas de árido se ponen justo en contacto sin que se aplique ninguna compactación, tal como se representa en el esquema de la figura 2.



Figura 2. Esquema de la densidad aparente sin compactar **LUW**.

La densidad aparente compactada (**RUW**) es la cantidad de árido que llena una unidad de volumen especificado después de aplicar una energía determinada de compactación. La compactación incrementa el contacto entre las partículas de árido y disminuye el volumen de huecos. Este valor representa, por tanto, el volumen de huecos cuando las partículas de árido se ponen en contacto por compactación.



Figura 3. Esquema de la densidad aparente compactada **RUW**.

El procedimiento descrito en la norma consiste en llenar un recipiente cilíndrico con árido grueso y determinar su densidad aparente dividiendo la masa por el volumen del recipiente. En el caso de la densidad

aparente compactada (**RUW**) se aplican 3 tongadas de árido que se compactan cada una con 25 golpes mediante una varilla metálica. La norma AASHTO T-19 especifica el tamaño del recipiente que se debe emplear en función del tamaño máximo del árido.

La densidad aparente compactada (**RUW**) del árido fino también es necesaria para determinar el volumen de árido fino que es necesario para llenar los huecos proporcionados por el árido grueso.

En el método de Bailey, se definen dos tipos generales de mezclas bituminosas, las denominadas mezclas gruesas que son aquellas que tienen suficiente árido grueso para que haya contacto entre los áridos y formen un esqueleto mineral, y las mezclas finas que no tienen suficiente árido grueso para formar un esqueleto mineral y la resistencia se debe fundamentalmente al árido fino; estas últimas contienen un volumen de árido fino que excede los huecos del árido grueso.

Las mezclas tipo hormigón bituminoso AC serán mezclas gruesas, según la clasificación de Bailey y las mezclas tipo Hot Rolled Asphalt HRA y Mastic-Asphalt MA, en las que el árido grueso está embebido en el árido fino, serán mezclas finas. Las mezclas tipo SMA serán también mezclas gruesas con mayor rozamiento interno que las mezclas tipo AC.

El proyectista debe seleccionar, en el método de Bailey, el grado de contacto entre el árido grueso en la mezcla deseada, como un porcentaje de la densidad aparente del árido grueso. Si la densidad aparente del árido grueso elegida en la mezcla es menor que la densidad aparente sin compactar **LUW** no habrá contacto entre el árido grueso y por tanto será una mezcla fina; mientras que si la densidad del árido grueso en la mezcla es mayor que la densidad **LUW** se tratará de una mezcla gruesa y cuanto mayor sea la densidad mayor será el contacto entre las partículas de árido grueso.

En base a este porcentaje de la densidad aparente del árido grueso se pueden dosificar las mezclas bituminosas.

A título de ejemplo se indica en la figura 4 los porcentajes establecidos por Vavrik y colaboradores, 2002.

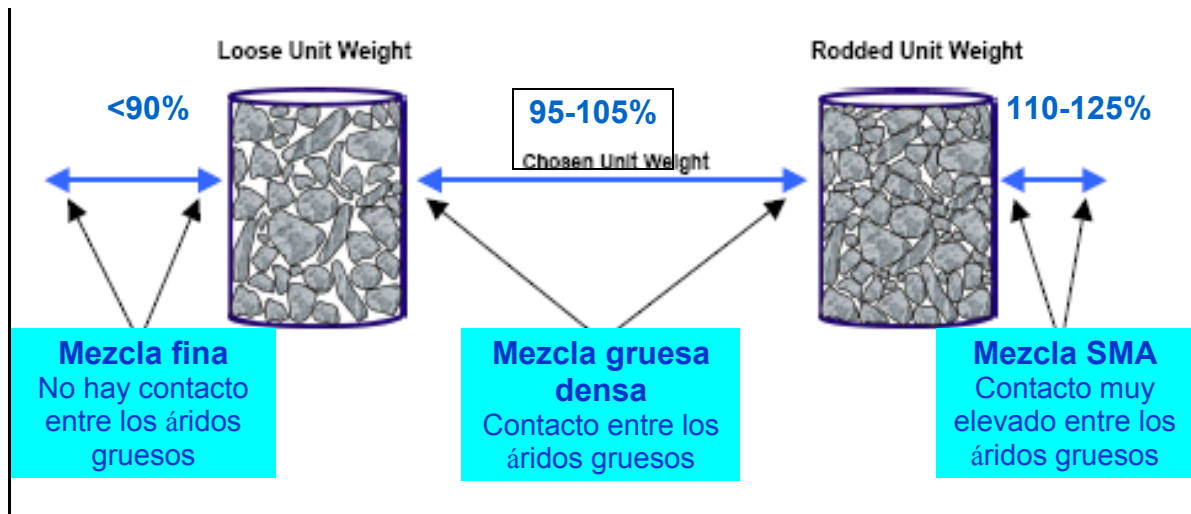


Figura 4. Elección de la densidad aparente de proyecto **CUW** (Chosen unit weight).

En las mezclas finas, la densidad **CUW** de los áridos gruesos en la mezcla debe ser <math><90\%</math> de la densidad **LUW** para que el volumen de árido fino exceda los huecos del árido grueso.

En las mezclas gruesas de tipo denso, la densidad **CUW** de los áridos gruesos en la mezcla debe estar comprendida entre el 95 y 105% de la densidad **LUW** y pueda acomodarse una buena cantidad de árido fino que densifique la mezcla.

En las mezclas tipo SMA, la densidad de los áridos gruesos en la mezcla debe estar comprendida entre el 110 y 125% de la densidad **RUW**. Estas mezclas contienen un volumen de árido fino menor del que se puede alojar en el árido grueso para proporcionar un buen rozamiento interno y una buena resistencia a las deformaciones plásticas.

Como resumen se indican a continuación los pasos que se deben seguir para dosificar los áridos:

1. Determinar la densidad **LUW** y **RUW** de cada una de las fracciones de los áridos que intervengan en la dosificación de la mezcla bituminosa. Previamente se deben haber determinado las granulometrías de los áridos y el peso específico de los mismos.
2. Elección de la densidad **CUW** de los áridos gruesos que se desea en la mezcla bituminosa a dosificar.

3. Calcular el volumen de huecos que los áridos gruesos proporcionan, según la densidad elegida.
4. Calcular, según la densidad **RUW** del árido fino, la cantidad de árido fino necesario para ocupar el volumen de huecos proporcionado por el árido grueso.
5. Calcular los porcentajes en peso de los áridos que compongan la mezcla.
6. Corregir los porcentajes obtenidos, teniendo en cuenta la cola que tengan los áridos gruesos y la cabeza que tengan los áridos finos, con objeto de mantener el volumen de áridos gruesos y finos deseados.
7. Si la mezcla requiere filler de aportación, ajustar el filler exigido en el proyecto reduciendo el porcentaje de árido fino.
8. Finalmente, se determinan los porcentajes de cada fracción de árido en peso para dosificar la mezcla bituminosa y se calcula la curva granulométrica de la mezcla obtenida.

### ANÁLISIS DE LA MEZCLA BITUMINOSA PROYECTADA

Una vez dosificada la mezcla se analiza su composición mediante tres parámetros: la relación de partículas pequeñas y grandes del árido grueso (relación

**CA**), la relación de arena fina y total del árido fino (relación **FA<sub>c</sub>**), y la relación de filler y arena fina del árido fino (relación **FA<sub>f</sub>**).

Estos parámetros se calculan utilizando los porcentajes de pasa por los tamices designados en el apartado 1.2 mediante las expresiones:

$$\text{Relación CA} = \frac{\%HS - \%PCS}{100 - \%HS}$$

$$\text{Relación FA}_c = \frac{\%SCS}{\%PCS}$$

$$\text{Relación FA}_f = \frac{\%TCS}{\%SCS}$$

Donde

- **PCS** es el tamiz frontera primario, **PCS = 0.22xNMPS**
- **HS** es el tamiz medio (Half Sieve), **HS = 0.5xNMPS**
- **SCS** es el tamiz frontera secundario, **SCS = 0.22xPCS**
- **TCS** es el tamiz frontera terciario, **TCS = 0.22xSCS**

Las partículas más pequeñas del árido, inferiores al tamiz medio se denominan "interceptores", porque son demasiado grandes para rellenar los huecos creados por las partículas más grandes del árido grueso y por lo tanto los separan.

La relación **CA** tiene, por tanto, influencia en el contenido de huecos en áridos **VMA** y en la puesta en obra. Si la relación **CA** aumenta hay más "interceptores" lo que aumenta los huecos en áridos y la tendencia a la segregación de la mezcla disminuye.

La relación **FA<sub>c</sub>** define la relación entre las partículas mas finas del árido fino y las partículas totales del árido fino. A medida que este parámetro aumenta (mayor contenido de finos del árido fino) se llenan los huecos del árido grueso con el árido fino y disminuyen los huecos en áridos. Una relación **FA<sub>c</sub>** mayor de 0,5 se debe generalmente por un exceso de arena natural.

La relación **FA<sub>f</sub>** define la relación entre el filler y las partículas mas finas del árido fino. Este parámetro influye de manera similar al **FA<sub>c</sub>** y a medida que aumenta disminuyen los huecos en áridos.

Estas relaciones se han estudiado exhaustivamente con distintos tipos de áridos y diferentes mezclas bituminosas, lo que ha permitido que se hayan establecido los intervalos más recomendables para las diferentes mezclas bituminosas. A continuación se indican los valores de estos parámetros recomendados por el TRB (7) en la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros Bailey recomendados por el TRB.

Intervalos para mezclas gruesas						
	NMPS, mm					
	37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75
CA Ratio	0.80–0.95	0.70–0.85	0.60–0.75	0.50–0.65	0.40–0.55	0.30–0.45
FA <sub>c</sub> Ratio	0.35–0.50	0.35–0.50	0.35–0.50	0.35–0.50	0.35–0.50	0.35–0.50
FA <sub>f</sub> Ratio	0.35–0.50	0.35–0.50	0.35–0.50	0.35–0.50	0.35–0.50	0.35–0.50

NOTE: FA<sub>c</sub> = fine aggregate coarse; FA<sub>f</sub> = fine aggregate fine. These ranges provide a starting point where no prior experience exists for a given set of aggregates. If the designer has acceptable existing designs, they should be evaluated to determine a narrower range to target for future designs (see Evaluating Existing Mixture Designs with the Bailey Method).

Intervalos para mezclas SMA			
	NMPS		
	19.0 mm	12.5 mm	9.5 mm
CA Ratio	0.35–0.50	0.25–0.40	0.15–0.30
FA <sub>c</sub> Ratio	0.60–0.85	0.60–0.85	0.60–0.85
FA <sub>f</sub> Ratio	0.65–0.90	0.60–0.85	0.60–0.85



**PREDICCIONES DE HUECOS EN ÁRIDOS**

El método de Bailey permite además estimar los valores de huecos en áridos y huecos en mezcla cuando se cambia la curva granulométrica de una mezcla proyectada, lo que reduce la realización de numerosos ensayos de laboratorio. Dicha estimación se basa en los numerosos estudios experimentales que han evaluado la influencia de los parámetros Bailey sobre los huecos de la mezcla bituminosa.

Una vez proyectada una mezcla y determinados los correspondientes parámetros volumétricos de una mezcla (huecos en áridos y huecos en mezcla), si se quisiera conocer los huecos que proporcionaría otra granulometría, bastaría con determinar los parámetros Bailey de ambas granulometrías y con ellos se estimarían las variaciones de los huecos en áridos y en mezcla, basándose en datos experimentales de mezclas equivalentes.

En la tabla 2 se indican las variaciones necesarias de cada parámetro Bailey para producir un aumento de los huecos en áridos **VMA** del 1%, tanto para las mezclas gruesas y finas (9) como para las mezclas tipo SMA. Ello significa, por ejemplo para una mezcla SMA, que un aumento del 2% en el porcentaje de pasa en el tamiz correspondiente al **PCS** aumentaría un 1% el contenido de huecos en áridos. El mismo efecto tendría aumentar la relación CA un 0.2 ó disminuir un 0.1 la relación FA<sub>c</sub> ó la FA<sub>f</sub>.

**DOSIFICACIÓN DE LOS ÁRIDOS DE UNA MEZCLA SMA EMPLEANDO EL MÉTODO DE BAILEY**

A continuación, a título de ejemplo, se dosifica una mezcla tipo SMA de acuerdo con el método Bailey, expuesto en los apartados anteriores. Se ha elegido este tipo de mezcla, poco habitual en España, porque por un lado, este tipo de mezclas no están

Tabla 2. Variación de los parámetros Bailey para producir un aumento de los huecos en áridos VMA del 1%.

Parámetro	Mezcla gruesa	Mezcla fina	Mezcla SMA
Si % PCS	Aumenta 4%	Aumenta 6%	Aumenta 2%
Si relación CA	Aumenta 0.20	Aumenta 0.35	Aumenta 0.20
Si relación FA <sub>c</sub>	Disminuye 0.05	Disminuye 0.05	Disminuye 0.1
Si relación FA <sub>f</sub>	Disminuye 0.05	Disminuye 0.05	Disminuye 0.1

Tabla 3. Granulometrías y densidades relativas de las fracciones de áridos.

TAMIZ, mm	PORFIDO 4/12	CALIZO 0/2	FILLER
16	100	100	100
11,2	94	100	100
8	59	100	100
5,6	24	100	100
4	7	100	100
2	2	99	100
0,5	1,5	48	100
0,25	1	33	100
0,063	0,7	18,4	86,8
PESO ESPECIFICO	2774	2711	2700
DENSIDAD LUW, kg/m <sup>3</sup>	1426	-	-
DENSIDAD RUW, kg/m <sup>3</sup>	1600	1760	-

recogidas en nuestro Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y de Puentes (PG-3) y en consecuencia no existe huso granulométrico normalizado, y por otro por tratarse de una de las mezclas que mejor se adaptan a la metodología del método Bailey debido a que requieren un esqueleto mineral que proporcione un rozamiento interno y un contenido de huecos en áridos elevados para alojar un contenido alto de ligante, aunque es necesario reseñar que su aplicación se extiende a la dosificación de áridos para cualquier tipo de mezcla bituminosa.

A continuación se realiza la dosificación de áridos de la mezcla SMA11, que ha sido extendida en un tramo experimental en la carretera CV-43 en el acceso a Alcira, siguiendo las etapas definidas en el apartado 1.3.

1. En primer lugar hay que determinar las granulometrías, densidades relativas (**LUW** y **RUW**) de cada una de las fracciones de los áridos, tal como se indica a continuación en la tabla 3:
2. Como se trata de dosificar una mezcla SMA se ha elegido para el árido grueso una densidad de proyecto **CUW** igual a 125% de su densidad **LUW** de forma que se consiga un elevado contacto árido-árido. Para el árido fino la densidad que se ha considerado es el 100% de la densidad **RUW** tal como se hace habitualmente en el método Bailey. Estos datos los tiene que decidir el proyectista:

$$\text{CUW de proyecto para el grueso } 125\% \text{ LUW} = 1782,5 \text{ kg/m}^3$$
$$\text{RUW proyecto } 100\% \text{ RUW} = 1760 \text{ kg/m}^3$$

3. Para calcular el volumen de huecos que proporciona el árido grueso, tendremos en cuenta la densidad **CUW** elegida ( $1782,5 \text{ kg/m}^3$ ) y su peso específico ( $2774 \text{ kg/m}^3$ ).

El peso de  $1 \text{ m}^3$  de árido grueso según la **CUW** elegida será de **1782,5 kg**.

El volumen ocupado por esta cantidad de árido grueso será:  $1782,5/2774 = 0,643 \text{ m}^3$ .

El contenido de huecos será  $1 - 0,643 = 0,357 \text{ m}^3$ .

4. De acuerdo con la densidad **RUW** del árido fino ( $1760 \text{ kg/m}^3$ ), la cantidad de árido fino necesario para ocupar el volumen de huecos proporcionado por el árido grueso ( $0,357 \text{ m}^3$ ) será:  $1760 \times 0,357 = \mathbf{628,3 \text{ kg}}$ .

5. Para calcular los porcentajes en peso de los áridos que componen la mezcla tomamos las cantidades en peso que hay en  $1 \text{ m}^3$  y lo expresamos en porcentaje:

La cantidad en peso de árido grueso es  $1782,5 \text{ kg}$  y la de árido fino es de  $628,3 \text{ kg}$ , lo que hace un total de  $2410,8 \text{ kg}$ .

El porcentaje de cada árido será:

$$\text{Árido grueso} = (1782,5/2410,8) \times 100 = \mathbf{73,94\%}$$

$$\text{Árido fino} = (628,3/2410,8) \times 100 = \mathbf{26,06\%}$$

6. Esta dosificación inicial hay que corregirla para tener en cuenta la cola que tengan los áridos gruesos y la cabeza que tengan los áridos finos, con objeto de mantener el volumen de áridos gruesos y finos deseados.

Según los criterios de Bailey, el tamiz frontera primario para definir la frontera entre el árido grueso y el fino será:

$$\text{PCS} = \text{NMPS} \times 0,22 = 11,2 \times 0,22 = \mathbf{2,46 \approx 2 \text{ mm}}$$

La contribución del árido grueso al árido fino se debe a la cantidad que pasa el tamiz  $2 \text{ mm}$  del árido grueso y será:

$$\mathbf{(73,94 \times 2) / 100 = 1,48\%}$$

La contribución del árido fino al árido grueso se debe a la cantidad que retiene el tamiz de  $2 \text{ mm}$  y será:

$$\mathbf{(26,06 \times 1) / 100 = 0,26\%}$$

Las correcciones debidas a la cola del árido grueso y a la cabeza del árido fino serán:

$$\text{Árido grueso} = 73,94 + 1,48 - ((73,94 \times 0,26) / 73,94) = \mathbf{75,2\%}$$

$$\text{Árido fino} = 26,06 + 0,26 - ((26,06 \times 1,48) / 26,06) = \mathbf{24,8\%}$$

7. Para calcular el filler de aportación que es necesario incorporar a la mezcla, es necesario calcular el filler aportado por cada árido:

$$\text{Árido grueso} = (75,2 \times 0,7) / 100 = 0,5$$

$$\text{Árido fino} = (24,8 \times 18,4) / 100 = 4,6$$

Total de filler proporcionado por los áridos será igual a 5,1%

Como el porcentaje de filler requerido es 7,5% (definido por el proyectista), la cantidad de filler que debe aportar el filler de aportación será:

$$7,5 - 5,1 = 2,4\%$$

Como el filler de aportación tiene un 86,8% inferior a 0,063mm, la cantidad de filler de aportación necesario será:

$$2,4 / 0,86 = 2,8\%$$

8. Finalmente, se determinan los porcentajes de cada fracción de árido en peso para dosificar la mezcla bituminosa, para lo cual hay que corregir los porcentajes de árido grueso y fino, con lo que la dosificación final sería lo reflejado en la tabla 4.

Tabla 4: Composición de materiales para dosificación de una mezcla SMA11 a partir del Método Bailey.

TIPO DE ARIDO	COMPOSICION
Árido grueso, pórfido 4/12	75,1%
Árido fino, calizo 0/2	22,1%
Filler de aportación	2,8%
TOTAL	100%

Con esta composición de áridos se obtiene la curva granulométrica de la mezcla SMA11 que se indica a continuación:

Tabla 5: Composición de la curva granulométrica para una mezcla SMA11 dosificada aplicando el Método Bailey.

Tamiz,mm	16	11,2	8	5,6	4	2	0,5	0,25	0,063
Pasa, %	100	95	69	43	30	26	15	11	7,0

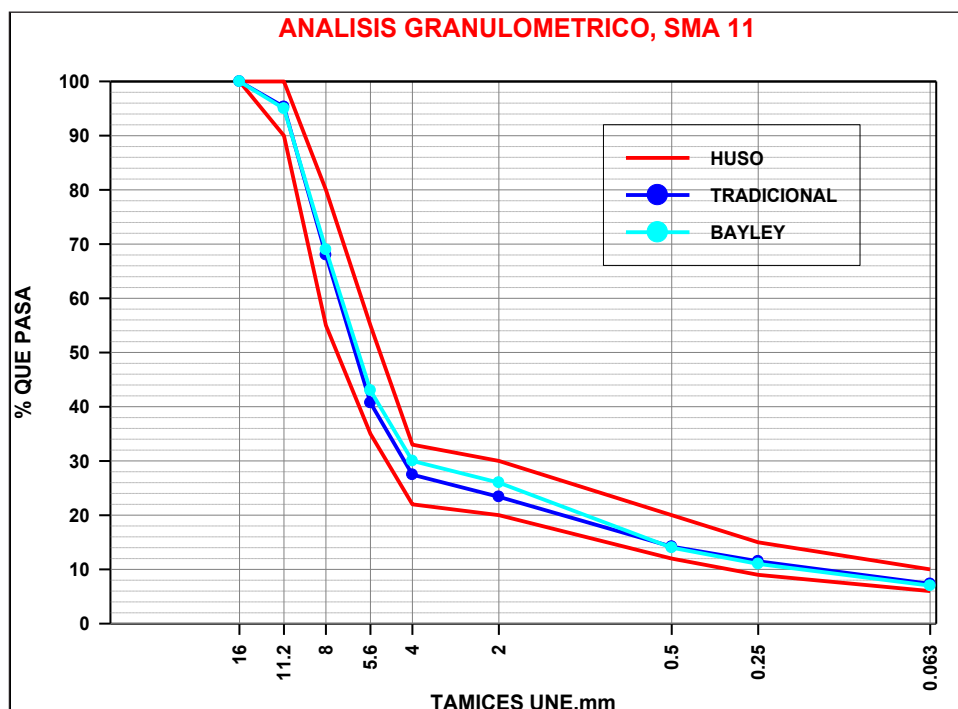
Una vez dosificada la mezcla hay que calcular los parámetros Bailey, obteniéndose los siguientes valores:

$$CA = 0,293$$

$$FA_c = 0,555$$

$$FA_f = 0,746$$

que como se puede comprobar cumplen los intervalos recomendados en la tabla 1 para las mezclas tipo SMA.



Esta mezcla se ha dosificado también con el método tradicional, obteniéndose la composición y la curva granulométrica siguientes:

Tabla 6: Composición de materiales para dosificación de una mezcla SMA11 según el método tradicional.

TIPO DE ARIDO	COMPOSICION
Árido grueso, pórfido 4/12	78%
Árido fino, calizo 0/2	18%
Filler de aportación	4,0%
TOTAL	100%

Tabla 7: Composición de la curva granulométrica para una mezcla SMA11 dosificada según el método tradicional.

Tamiz,mm	16	11,2	8	5,6	4	2	0,5	0,25	0,063
Pasa,%	100	95	68	41	27	23	14	12	7,3

Como se muestra a continuación en la figura 5, las curvas granulométricas son prácticamente concordantes, lo que pone de manifiesto la bondad del método de Bailey.

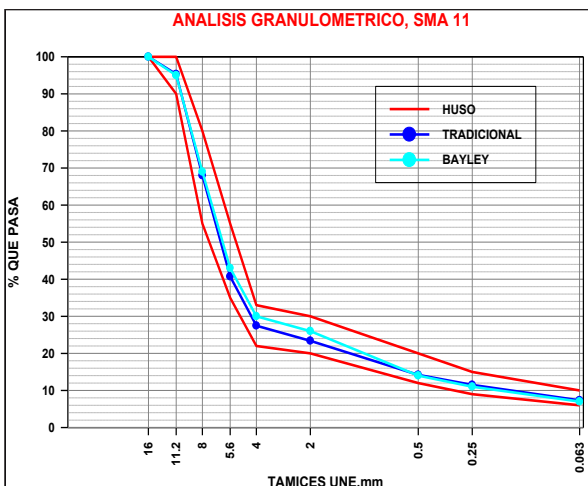


Figura 5. Granulometrías de la mezcla SMA obtenidas con los métodos Bailey y tradicional.

Otra posible aplicación del Método de Bailey es la posibilidad de establecer husos granulométricos. Para ello, se han tomado dos densidades **CUW** para el árido grueso de 115 y 140% de su densidad **LUW** y se ha dosificado la misma mezcla SMA11 con estas densidades, obteniéndose las curvas granulométricas que se indican a continuación en la figura 6.

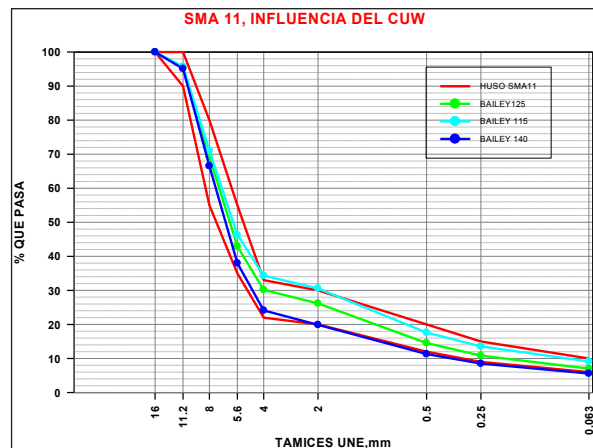


Figura 6. Granulometrías de la mezcla SMA obtenidas con diferentes densidades CUW.

Se observa como con estas densidades se obtienen curvas granulométricas que para los tamices iguales o inferiores a 2 mm, son prácticamente concordantes con el huso granulométrico para estos tamaños. Ello significa que con estas curvas granulométricas podría obtenerse el correspondiente huso para el árido fino de forma que se obtuviese un determinado empaquetamiento del árido grueso.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Vavrik, W. R. Asphalt Mixture Design Concepts to Develop Aggregate Interlock. Ph.D. Thesis. University of Illinois at Urbana-Champaign, 2000.
2. Vavrik, W. R. Quality Control of Hot-Mix Asphalt: Controlling Aggregate Interlock Through the Bailey Method. In Proceedings of the 1st International Conference on Quality Control and Quality Assurance of Construction Materials, Dubai Municipality, United Arab Emirates, 2001.
3. Vavrik, W. R., W. J. Pine, G. A. Huber, S. H. Carpenter, and R. Bailey. The Bailey Method of Gradation Evaluation: The Influence of Aggregate Gradation and Packing Characteristics on Voids in the Mineral Aggregate. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 70, 2001.
4. Vavrik, W. R., W. J. Pine, and S. H. Carpenter. Aggregate Blending for Asphalt Mix Design: The

- Bailey Method. Presented at the 81st Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., 2002.
5. Investigation of the Use of the Bailey Method of Aggregate Gradation Selection for Asphalt Mix Design in Arkansas. Christopher Wayne Wald, B.S. University of Arkansas, 2002.
  6. The Asphalt Handbook MS-4, 7th Edition. Chapter 4.7 The Asphalt Institute (2007)
  7. Method for Gradation Selection in Hot-Mix Asphalt Mixture Design. Transportation Research Circular Number E-C044. Transportation Research Board of the National Academies. October 2002.
  8. John P. Zaniewski, Craig Mason. An Evaluation of the Bailey Method to Predict Voids in the Mineral Aggregate. Asphalt Technology Program Department of Civil and Environmental Engineering. Morgantown, West Virginia. December 2006.