

# Diseño y dosificación de mezclas bituminosas. Metodología ALEAS

**Jesús Felipo**, jfelipo@pavasal.com  
Pavasal

**Alberto Bardesi**, abardesi@repsol.com  
Repsol

**Andrés Costa**, acosta@ohl.es  
Asfaltos y Construcciones ELSAN, S. A.

**Félix Pérez**, edmundoperez@upc.edu  
Universidad Politécnica de Cataluña

**Juan José Potti**, jjpotti@asefma.com.es  
ASEFMA

**Julio del Pozo**, juliodelpozo@telefonica.net  
Sorigué

**Aurelio Ruiz**, aurelio.ruiz@ciesm-intevia.es  
CIESM-Intevia

ALEAS (Asociación de laboratorios de entidades asociadas a ASEFMA) fue creada con el objetivo de aprovechar el potencial tecnológico de las organizaciones que componen ASEFMA para avanzar en la mejora e innovación de las tecnologías relacionadas con las mezclas bituminosas y, más concretamente, con los aspectos relativos a las materias primas y producto terminado. Desde su fundación, ALEAS ha desarrollado diferentes trabajos técnicos que han dado como resultado publicaciones en congresos y en revistas del sector. Entre ellos destacan los trabajos relativos a la metodología de compactación giratoria o al ensayo de resistencia a la deformación permanente. En la actualidad, uno de los trabajos que se está realizando en el seno de ALEAS es intentar proponer una metodología para el diseño y dosificación de las mezclas bituminosas. Siendo conscientes de la magnitud de la tarea, el desafío surge del deseo de resolver una serie de situaciones que se han planteado en los últimos tiempos.

**Palabras clave:** mezclas bituminosas, diseño, dosificación, ALEAS, ensayos

ALEAS (Association of laboratories of entities associated to Asefma) was founded with the aim of exploiting the technological potential of organizations which make up Asefma in order to progress on improvement and innovation of technologies related to bituminous mixes and, more specifically, to aspects concerning raw materials and finished products. Since it was founded, ALEAS has carried out various technical projects resulting in publications at congresses and in magazines of the sector. Amongst these, the most important were those related to the gyratory compaction method or the test of resistance to permanent deformation. Currently, one of the projects that are being carried out within ALEAS focuses on proposing a methodology regarding design and dosage of bituminous mixes. In spite of the magnitude of the task, this challenge arises from the wish to resolve a series of recent situations.

**Keywords:** bituminous mixes, design, dosage, ALEAS

## 1. Introducción

Existen, al menos, tres razones importantes para desarrollar una nueva metodología de diseño y dosificación de mezclas bituminosas en España:

- desaparición del criterio Marshall,
- necesidad de desarrollar una metodología de diseño para cubrir los nuevos tipos de mezclas, definidos en la serie de normas 13108, así como intentar cubrir las nuevas metodologías de fabricación de mezclas bituminosas, y

- considerar los nuevos métodos de ensayo, derivados de la serie de normas EN 12697, para caracterizar las mezclas bituminosas.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, se va a describir a continuación el trabajo realizado hasta el momento, que ha dado como resultado un primer borrador para describir la "Metodología de diseño y dosificación de mezclas bituminosas de ALEAS", que se encuentra en fase de revisión.

### 2. Aspectos generales

Tal y como se ha esbozado más arriba, se puede decir que existen razones objetivas para abordar esta tarea en estos momentos. La primera razón sería la desaparición, en la práctica, del ensayo de referencia más característico para el diseño de mezclas bituminosas en España que ha sido el ensayo Marshall. Este hecho se produce debido a los cambios normativos derivados de la aplicación de las series de normas europeas EN 13108 y EN 12697, donde dicho ensayo ha quedado como una referencia para mezclas empleadas en aeropuertos, pero no es una característica especificada en las mezclas bituminosas para carreteras.

Por otro lado, en el año 2008 quedaron aprobadas las normas de la serie EN 13108, que definen de una manera clara los diferentes tipos de mezcla bituminosa existentes en Europa. La metodología de diseño de mezclas puede ser diferente para cada tipo, aunque podrían ser situadas en un marco conceptual común. Como se puede observar, este cambio



Figura 1: Nuevos métodos de compactación en laboratorio.

fundamental es otra de las razones que ha llevado finalmente a la propuesta de metodología de diseño.

Si los cambios derivados por la ampliación de los tipos de mezclas bituminosas son una razón importante para tratar de desarrollar una metodología que considere todos los tipos de mezclas existentes en la actualidad, no lo son menos las consecuencias de la aparición de los ensayos de caracterización de las mezclas, establecidos en la serie de normas EN 12697. En el año 2008 se aprobaron 43 métodos de ensayos para la caracterización de las mezclas bituminosas y hoy ya se dispone de más de 50 ensayos.

La incorporación de la nueva normativa ha hecho necesaria una adecuación de los equipamientos en los laboratorios y cambios importantes en las metodologías de ensayo respecto a las antiguas normas NLT. Más allá de una serie de dificultades, tales como la adaptación de la normativa, la fijación de los valores límite para las propiedades de las mezclas determinadas con estos nuevos métodos, la falta de homogeneidad en los resultados, existencia de diversos equipos para la obtención de un mismo parámetro, etc, es evidente que estos nuevos métodos de ensayo permiten y obligan a considerar nuevos parámetros que pueden ayudar a caracterizar mezclas.

En definitiva, como se ha podido constatar, existen razones muy importantes, que han llevado a tomar la determinación de plantear esta metodología, esperando que pueda ser de ayuda para el sector.

Cuando se plantea la necesidad de establecer una metodología de diseño y dosificación de mezclas bituminosas, la primera cuestión que hay que responder es cuál es el objetivo u objetivos de este diseño.

Desde un punto de vista general, y como primera aproximación, se puede decir que el objetivo fundamental de una metodología de diseño y dosificación de mezclas bituminosas es obtener productos que sean capaces de cubrir las necesidades que se plantean en su empleo, cumpliendo los requisitos que son exigibles en servicio. Dichas necesidades pueden ser divididas, de forma muy genérica, en "necesidades estructurales" y "necesidades funcionales", sin olvidar que el diseño de la mezcla debe tener en cuenta también las necesidades intrínsecas a la aplicación y puesta en obra.

El titular de la carretera debe asegurar que se cubren dichas necesidades. Por ello, habitualmente, los titulares de las vías han generado una serie de especificaciones y normati-

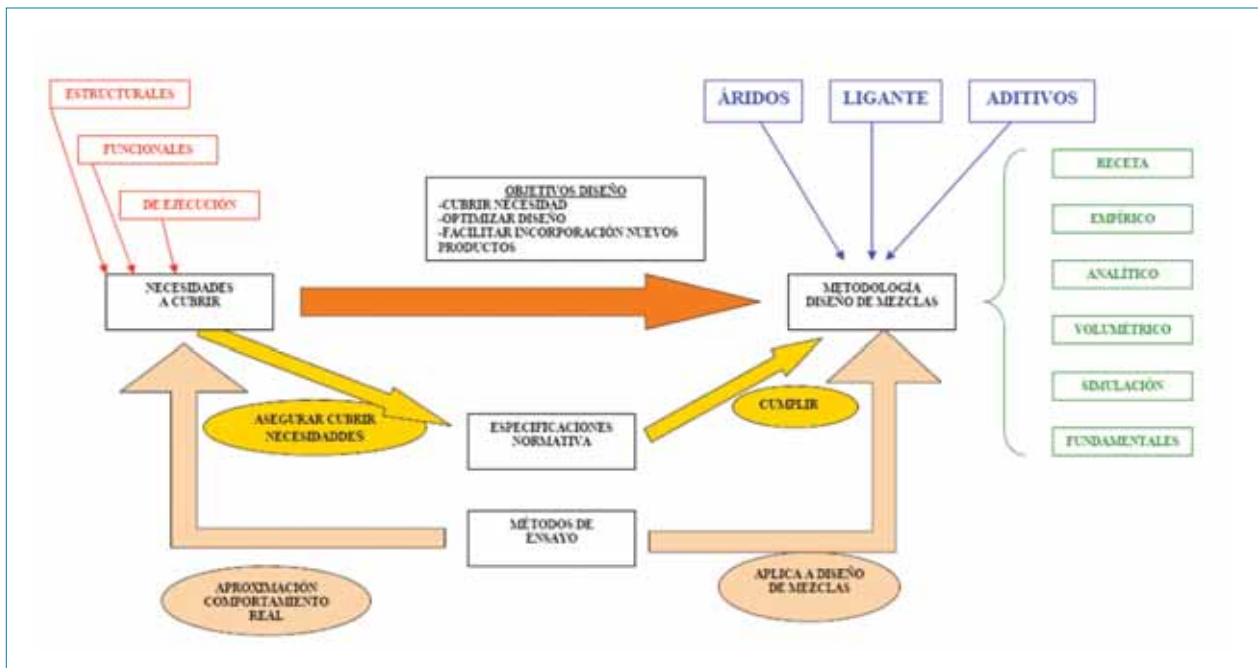


Figura 2: Marco general del diseño de mezclas.

vas de obligado cumplimiento para el suministrador que deben asegurar que el producto cumple las necesidades requeridas. Así, habitualmente, el diseño se ha orientado a fabricar mezclas bituminosas que cumplan estos requisitos establecidos en la normativa.

Los requisitos que deben cumplir las mezclas bituminosas están en función de una serie de factores, que denominamos “factores de diseño”, entre los que pueden destacar el tipo de tráfico, la posición en el firme, el tipo de firme... Dichos requisitos están también relacionados con las características o propiedades de las mezclas bituminosas. Así pues, es posible relacionar cuáles son las características que deben poseer las mezclas bituminosas que se van a emplear, en función de los factores de diseño de una forma cualitativa, intentando establecer posteriormente los valores límite de cada una de las características y propiedades analizadas.

Una vez definidas las necesidades y los requisitos que hay que cumplir, existen diferentes formas de alcanzar el objetivo propuesto, con diversas soluciones y variedad de productos bituminosos que se pueden aplicar, con una gran diversidad de metodologías de fabricación y puesta en obra. Es aquí donde surge una cuestión que no se debe olvidar, y es que todas las especificaciones se marcan tras la realización de una serie de ensayos normalizados sobre los mate-

riales a estudiar que se aplican tanto al diseño de los productos como al posterior control de calidad. Es posible que, para medir una misma propiedad, sea necesario emplear diferentes métodos de ensayo en función del tipo de producto y/o de la tecnología empleada.

Otra cuestión que se debe considerar es que, para adaptar el diseño de la mezcla bituminosa a los requerimientos, las herramientas que se poseen son las variaciones que se pueden realizar en las características y proporciones de los elementos fundamentales que conforman la mezcla, que, de forma muy genérica, son áridos, polvo mineral, ligante y, en algunos casos, aditivos.

Considerando los aspectos comentados, se plantea una metodología de diseño y dosificación de mezclas cuyos objetivos generales son los siguientes:

- Las mezclas obtenidas, diseñadas y dosificadas con esta metodología, deben cubrir los requerimientos que se exigen una vez colocadas en obra.
- La metodología debe tener en cuenta la posible optimización de las propiedades de la mezcla, en función de las necesidades o requerimientos que se deban satisfacer, considerando los diferentes criterios que puedan influir en el diseño, como son los criterios técnicos, económicos

y ambientales, los cuales deben ser ponderados para intentar obtener la mejor solución posible.

- La metodología debe facilitar la comparación entre diversas mezclas, de forma que las innovaciones en los productos puedan ser consideradas para su aplicación si ofrecen ventajas y cubren mejor las necesidades.

### 3. Metodología de diseño y dosificación de mezclas bituminosas

#### 3.1 Introducción

La utilización de una mezcla bituminosa, en la construcción de cualquiera de las capas de un firme de carretera o cualquier superficie pavimentada, es un proceso continuo en el tiempo, formado por una serie de etapas, todas ellas igual de importantes para el éxito final, considerando como tal el comportamiento del firme, bajo la acción del tráfico, como mínimo de acuerdo con las exigencias y prestaciones prescritas para la vida útil proyectada para el firme. El proceso completo está formado por las etapas siguientes:

- Diseño a nivel de proyecto del tipo de firme, de las capas que lo forman y de los tipos de mezclas y de los materiales que se utilizarán en cada capa.
- Diseño y dosificación a nivel de laboratorio de la mezcla bituminosa proyectada.
- Fabricación de la mezcla bituminosa (incluyendo el control de calidad en el proceso de fabricación y del producto fabricado).
- Preparación de la superficie a pavimentar.
- Transporte, extendido y compactación de la mezcla fabricada en la obra, en la capa y en el espesor definido. Control de calidad del proceso.
- Comprobación de las características finales conseguidas en la capa construida. Control de calidad.

Todas y cada una de estas etapas son importantes, y en cada una debe prestarse especial cuidado para conseguir que las características finales de la capa construida (espesor, densidad, adherencia entre capas, regularidad superficial y, en el caso de la capa de rodadura, textura y resistencia al deslizamiento) se correspondan con las características exigidas para la mezcla y para la capa diseñada en el proyecto.

La fase de diseño y dosificación de la mezcla bituminosa está dentro de la primera etapa y se sitúa inmediatamente después de la elección de la mezcla que se ha realizado en la fase de proyecto. En algunos casos, y dentro de la fase de proyecto, también se definen algunos materiales básicos, o al menos sus propiedades fundamentales, por lo que se debe valorar si es posible, de manera técnica y económica conseguir estos materiales.

En ocasiones, el proyecto sólo define unas condiciones generales para el tipo de mezcla que se va a utilizar y es necesario elegir las mezclas bituminosas específicas que se diseñarán. En este caso, y en función de las prestaciones y características definidas en el proyecto (tipo de capa, espesor de la misma, condiciones climatológicas de la zona, categoría de tráfico pesado a soportar...), se diseñará la mezcla.

De manera esquemática, el proceso de diseño de una mezcla bituminosa podemos dividirlo en las fases siguientes:

- Estudio de las condiciones de trabajo de la mezcla: tipo de infraestructura donde va a estar situada, categoría y características del tráfico que va a soportar, situación dentro del firme de la capa que se está estudiando, espesor, características de las demás capas del firme, climatología, geometría del trazado, considerando también si la actuación es una obra de nueva construcción o la rehabilitación de un firme.
- Determinación de las propiedades fundamentales que deberá cumplir la mezcla bituminosa a diseñar.
- Elección del tipo de mezcla más adecuado en función de todas las condiciones y propiedades anteriormente enumeradas e introduciendo un nuevo factor de valoración, muy importante, que es el criterio económico. En este apartado se deberán tener en cuenta las especificaciones existentes, las recomendaciones de las prescripciones técnicas del proyecto y la experiencia del diseñador en casos similares.
- Una vez elegido el tipo de mezcla bituminosa, se deberán definir algunas de sus características más importantes, como son tamaño máximo del árido, huso granulométrico del mismo, características mínimas exigibles a los áridos a utilizar, características del ligante, porcentaje, si es posible, a utilizar de material fresado en la nueva mezcla, contenido de huecos de la mezcla, y cualquier otra característica que se considere importante por las condi-

ciones y propiedades que deberá cumplir la mezcla que se esta diseñando.

- Posteriormente se seleccionarán los materiales constituyentes más adecuados, que cumplan con los requisitos exigidos y que estén disponibles en la zona de influencia donde se va a utilizar (si es posible), fundamentalmente por motivos económicos. En la selección de los materiales constituyentes se incluye la elección de los áridos, del polvo mineral, de los aditivos (si fuesen necesarios), así como también la elección del ligante más adecuado para la mezcla bituminosa elegida y para las prestaciones y condiciones de trabajo específicas.
- Finalmente, una vez seleccionados los materiales constituyentes que se consideren más adecuados, se realiza la dosificación de la mezcla, determinando el contenido óptimo de ligante con procedimientos que pueden variar en función del tipo de mezcla y el criterio de cada país.

### 3.2 Métodos de diseño

Existen diversos criterios y métodos para el diseño y dosificación de una mezcla bituminosa en los diferentes países, utilizando en cada caso aquel método que consideran más adecuado para sus características y en función de su experiencia. En general, los distintos métodos de dosificación se pueden agrupar en cinco grandes tipos que son los siguientes:

- Métodos volumétricos, que buscan definir unos huecos en mezcla estimados como óptimos y unos huecos en áridos que permitan obtener los anteriores.
- Métodos basados en ensayos mecánicos, que buscan optimizar las resistencias de la mezcla bituminosa a algún tipo de deterioros (deformaciones plásticas, desintegración, etc.)
- Métodos basados en la superficie específica, que buscan dotar a la mezcla de una película de betún con un espesor adecuado.
- Métodos basados en la densidad máxima en los que se introduce el ligante necesario para conseguirla.
- Métodos del tipo "receta", basados en repetir una dosificación de componentes con la que se tiene experiencia previa.

Es habitual que el método empleado en los diferentes países sea una combinación de dos o más métodos de los antes mencionados. En general, la mayoría de los países utilizan los

procedimientos volumétricos o basados en la superficie específica, los cuales no son de una gran precisión, por lo que se suelen completar con ensayos mecánicos de caracterización de las mezclas, que suelen ser diferentes en función del tipo de mezcla que se quiera diseñar.

### 3.3 Descripción de la metodología de diseño y dosificación de mezclas bituminosas de ALEAS

A continuación se van a describir los trabajos que se están realizando, así como las líneas generales en las que se basa la metodología de diseño y dosificación de mezclas bituminosas propuesta por ALEAS, que se encuentra en fase de revisión, de forma esquemática. Se van a enumerar los pasos que se plantean para poder diseñar y dosificar una mezcla bituminosa, incluyendo en cada uno de ellos comentarios que hacen referencia a las diferentes posibilidades que pueden surgir en la aplicación de la metodología propuesta.

Con objeto de realizar una descripción sencilla y facilitar su posible aplicación, se incluye un esquema gráfico donde se pueden ver los pasos a seguir, haciendo referencia en cada uno ellos a documentación que ha sido elaborada o está en proceso de elaboración como apoyo para la aplicación de la metodología.

El proceso descrito parte de la identificación de los factores de diseño que aplican en cada caso, para intentar asegurar que en el diseño de las mezclas bituminosas se van a tener en cuenta las propiedades que tienen repercusión en el resultado final de las propuestas planteadas.

A continuación se definen de forma esquemática los principales pasos que se han establecido en la metodología.

#### **Paso 1: identificar los factores de diseño**

Los factores de diseño se seleccionan de entre los considerados en una tabla, que se ha denominado "Propiedades de la mezcla en función de los factores de diseño", donde se relacionan los factores de diseño fundamentales (tipo de firme, tráfico y posición en el firme), con las que se han considerado las propiedades relevantes de la mezcla.

En la tabla se valora la relevancia de cada una de las propiedades, en función del tipo de firme, del tráfico y de la posición en la capa, desde irrelevante a fundamental, con diferentes grados de importancia. Así se indica qué propiedades hay que tener más en cuenta, en función de los factores de diseño.

# Diseño y dosificación de mezclas bituminosas. Metodología ALEAS

Además de los aspectos considerados en el cuadro anterior, existe también una serie de aspectos específicos, que en algunas aplicaciones pueden hacer que unas determinadas propiedades deban ser tenidas más en cuenta. Entre estos aspectos podemos destacar algunos, como las pendientes pronunciadas y prolongadas, zonas con vertidos, zonas con actuaciones para asegurar la vialidad invernal, zonas donde existen cargas puntuales (explanadas para contenedores), esfuerzos tangenciales elevados (glorietas)...

Una vez establecidos los diferentes factores para un determinado trabajo, será necesario definir qué propiedades van a ser las dominantes en cada caso para poder iniciar el proceso de diseño. Parece claro que, en función de la importan-

cia que pueda tener cada uno de los factores anteriormente planteados, el tipo de mezcla a emplear puede y debe ser diferente, diseñándose para el caso en cuestión.

## Paso 2: identificar propiedades relevantes de la mezcla

Una vez seleccionados los factores de diseño en la tabla descrita en el apartado anterior, se identificarán las propiedades relevantes de la mezcla, considerando para el diseño aquellas que se consideran más importantes.

En este punto, también hay que identificar todas aquellas propiedades que puedan venir afectadas por requisitos específicos del contrato, que puedan ser requeridas por el

Tabla 1: Propiedades de la mezcla en función de los factores de diseño.

PROPIEDADES DE LA MEZCLA	TIPOS DE FIRME - TRÁFICO - POSICIÓN EN EL FIRME																		
	FLEXIBLE (<15 cm)					SEMIFLEXIBLE (>15 cm)					SEMIRRÍGIDO								
	LIGERO		MEDIO			MEDIO			PESADO		LIGERO		MEDIO			PESADO			
	Rodadura	Intermedia	Rodadura	Intermedia	Base	Rodadura	Intermedia	Base	Rodadura	Intermedia	Base	Rodadura	Intermedia	Base (1)	Rodadura	Intermedia	Base (1)		
Modulo de rigidez	1	2	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	2	2	2	N.A.	2	2	N.A.
Adaptabilidad al soporte	2	4	2	3	3	1	2	3	1	2	2	0	0	0	0	N.A.	0	0	N.A.
Resistencia a fatiga	1	4	0	0	4	0	0	4	0	0	4	0	0	0	0	N.A.	0	0	N.A.
Resistencia a deformaciones plásticas (2)	1	1	4	4	2	4	4	2	4	4	2	4	4	4	4	N.A.	4	4	N.A.
Resistencia a la acción de agua (3)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	N.A.	4	4	N.A.
Resistencia a esfuerzos tangenciales	4	0	4	0	0	4	0	0	4	0	0	4	0	0	4	0	0	4	N.A.
Resistencia a la desintegración	4	0	4	0	0	4	0	0	4	0	0	4	0	0	4	0	0	4	N.A.
Resistencia a fisuración a bajas temperaturas	2	1	2	1	0	2	1	0	2	1	0	2	1	0	2	1	0	2	N.A.
Resistencia a la fisuración por envejecimiento	3	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0	3	N.A.
Resistencia a fisuración mecánica (top-down)	0	0	1	1	0	2	2	1	3	3	2	0	0	1	1	N.A.	1	1	N.A.
Resistencia a la fisuración por reflexión	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	N.A.	4	4	N.A.
Resistencia al escurrimiento (sólo con BBTM)	2	N.A.	2	N.A.	N.A.	2	N.A.	N.A.	2	N.A.	N.A.	2	N.A.	2	N.A.	N.A.	2	N.A.	N.A.
Impermeabilidad (5)	3	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	3	2	N.A.	3	2	N.A.
Drenabilidad superficial	3	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0	3	N.A.
Trabajabilidad	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	N.A.
Macrorrugosidad (rodadura)	4	0	4	0	0	4	0	0	4	0	0	4	0	0	4	0	0	4	N.A.
Microrrugosidad (rodadura)	4	0	4	0	0	4	0	0	4	0	0	4	0	0	4	0	0	4	N.A.
Propiedades acústicas	3	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0	3	N.A.
Propiedades ópticas	3	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0	3	N.A.

Indiferente	0
Marginal	1
A considerar	2
Importante	3
Fundamental	4
No aplica	N.A.

LIGERO: T4	<50
MEDIO: T3-T2	50-800
PESADO: T1 o sup	>800

(1) En los firmes semirrígidos la función estructural de capa de base corresponde a los materiales tratados con cemento. Cuando la distribución del espesor de mezcla bituminosa sea en 3 ó 4 capas, a todas las que no sean rodadura se les aplicará los criterios de intermedia

(2) La importancia aumentará/disminuirá en función de zona térmica y de la velocidad del tráfico pesado

(3) Cuando la capa de rodadura sea una mezcla PA o una BBTM B se aplicará a la intermedia el criterio de la capa de rodadura

(4) La importancia aumentará/disminuirá en función de las temperaturas mínimas anuales

(5) Cuando la rodadura sea una mezcla PA o BBTM, se tomará para la intermedia el criterio de la rodadura

pliego o que simplemente se consideran importantes por parte del cliente.

También hay que considerar la posibilidad que se exija una optimización de determinadas propiedades, proceso de optimización que se podrá establecer en los siguientes pasos de la metodología.

### **Paso 3: definir el tipo de mezcla a emplear**

Teniendo especificadas las propiedades a requerir a la mezcla bituminosa a diseñar, el siguiente paso es seleccionar el tipo de mezcla a emplear. Llegados a este punto puede ser que la mezcla venga definida ya en proyecto y no sea un grado de libertad (es el caso más habitual), o que quede abierta su elección. En cualquiera de los dos casos, el proceso debe seguir con la elección de la mezcla más adecuada que nos permita cumplir los requisitos que se le exigen.

Para ayudar en la selección del tipo de mezcla, en el caso que sea posible la elección, se han elaborado dos documentos que tratan sobre los tipos de mezclas bituminosas el primero, siendo objeto del segundo describir las funciones y características de las capas del firme. Ambos documentos pueden ser de gran ayuda para la elección del tipo de mezcla a emplear en cada caso.

### **Paso 4: identificar las propiedades relevantes de los materiales constituyentes**

Una vez identificadas las propiedades relevantes de la mezcla, se identificarán cuales son las propiedades de los materiales constituyentes (áridos, ligantes, polvo mineral y aditivos) que se relacionan con dichas propiedades de las mezclas. Para facilitar dicha labor se ha elaborado una tabla, donde se relacionan las propiedades de los materiales constituyentes con las de las mezclas. Esta identificación facilitará posteriormente la selección de los materiales constituyentes más adecuados.

### **Paso 5: definir los parámetros volumétricos objetivo**

Uno de los criterios de diseño que se va a emplear en esta metodología es el volumétrico, por lo que el primer paso será establecer cuales son los parámetros volumétricos a los que se debe aproximar la mezcla (% huecos en mezcla, % huecos en áridos, dotaciones de ligante máximas y mínimas, husos

granulométricos...) Estos parámetros deben estar definidos considerando, lógicamente, qué parámetros de la mezcla final se deben maximizar, cuáles resultan irrelevantes y cuáles deben ser minimizados. En función de lo anterior los parámetros volumétricos objetivo serán unos u otros.

### **Paso 6: selección de los materiales constituyentes**

Una vez conocidas las propiedades de la mezcla que se quieren obtener, cuáles son las propiedades de los materiales constituyentes que afectan más directamente en estas propiedades y cómo les influye, así como también las características volumétricas objetivo, se realiza la selección de los diferentes materiales a emplear.

En este paso se deben considerar todos los áridos disponibles, así como también los diferentes tipos de polvo mineral y de ligantes para poder realizar la mejor selección posible, y que se puedan alcanzar los valores objetivos planteados, tanto en la vertiente volumétrica como en las características mecánicas exigibles a la mezcla.

Un factor muy importante para la realización del diseño es la temperatura a la que deberán fabricarse las probetas de estudio en cada caso, ya que en función del ligante seleccionado se deberá fijar la temperatura, tanto de mezcla como de compactación.

### **Paso 7: obtención de la dotación inicial de ligante**

Tras la selección de la granulometría objetivo, la cual se presupone que podrá cumplir los parámetros volumétricos, se realizará un estudio para diferentes contenidos de ligante, donde se comprobará el cumplimiento de dichos parámetros.

El rango de dotación de ligante empleado debe ser suficientemente amplio para poder analizar la evolución de los diferentes parámetros adecuadamente. Si en el rango de ligante estudiado no es posible alcanzar los valores de los parámetros volumétricos objetivo, se modificará la curva granulométrica y se volverá a iniciar el proceso de forma iterativa, hasta encontrar la dosificación que cumpla con dichos valores.

Una vez obtenidos los resultados, se seleccionará la dotación de ligante más adecuada, en función de los parámetros seleccionados y de las propiedades que haya que maximizar. Esta es la dotación de ligante que se empleará para la realización de los ensayos mecánicos.

# Diseño y dosificación de mezclas bituminosas. Metodología ALEAS

Se incorporará al documento una tabla que relaciona cada una de las propiedades de las mezclas bituminosas con el ensayo que se ha considerado más adecuado para medir dicha propiedad, de entre los disponibles.

Es posible que, para medir una misma propiedad, existan diferentes métodos de ensayo; en este caso se ha dado prioridad a los métodos normalizados por las normas UNE (Familia UNE-EN 12697), aunque en la tabla también se incluyen otros métodos de ensayo.

### Paso 8: realización de ensayos mecánicos

A continuación se define el nivel de caracterización que se desea establecer para el diseño de la mezcla. Así, se han establecido tres niveles:

- Nivel "0". Sólo se consideran parámetros volumétricos de la mezcla. En caso de seleccionar este nivel, se daría por finalizado el diseño de la mezcla una vez seleccionada la dotación de ligante de entre las que cumplen los parámetros volumétricos especificados.

- Nivel "1". En este caso se realizarán los ensayos mecánicos de las propiedades relevantes de la mezcla que se han identificado en el PASO 2. Se comprobará que la mezcla cumple los requisitos para la dosificación seleccionada, incluyendo también un estudio de sensibilidad de dichos parámetros a las variaciones de dotación de ligante que puedan afectar negativamente a la propiedad en estudio. En el caso de cumplimiento de todos los requisitos, el proceso se dará por finalizado. Si no se cumplen los requisitos, se reiniciará el proceso definiendo unos nuevos parámetros volumétricos.
- Nivel "2". En este nivel se realizarán los mismos ensayos que en el anterior, incluyendo además los ensayos para medir las características que pudieran ser peculiares para el empleo previsto (resistencia a disolventes, resistencia al hielo...) Este nivel es también el adecuado para realizar la optimización de determinadas características mecánicas que se consideren más importantes para el uso previsto. Dicha optimización se podrá realizar mediante la ejecución de los ensayos mecánicos a diferentes dotaciones de ligante. Es habitual que, al intentar maximizar una

Tabla 2: Relación entre las propiedades de la mezcla y las de los materiales constituyentes.

PROPIEDADES DE LA MEZCLA	PROPIEDADES DE LOS MATERIALES CONSTITUYENTES																																
	Árido									Ligante																							
	Grueso			Fino			P.M.	Conjunto			Consistencia			Otros																			
	Angulosidad	Coefficiente de forma	Resistencia a la fragmentación	Resistencia al pulimento	Limpeza	Angulosidad	Resistencia a la fragmentación	Actividad Plástica	Forma Angularidad	Actividad Plástica	Alterabilidad Fisicoquímica	Absorción	Granulometría. Tipo más adecuado	Índice granulométrico. Tolerancia	Tamaño máximo del árido	Temp. media de servicio	Temp. alta de servicio	Temp. baja de servicio	Temp. máx. de aplicación	Susceptibilidad térmica	Ductilidad	Envejecimiento a corto plazo	Envejecimiento a largo plazo	Recuperación elástica.	Coherencia interna	Adhesividad asfalto-ligante	Contenido de ligante en mezcla	Relación ponderal filler/bitumen	Huecos en masa	Huecos en áridos	Huecos rellenos		
Módulo de rigidez	3	2	2	0	3	3	1	2	3	2	2	2	1	1	1	2	0	0	0	1	0	1	2	0	1	2	2	2	2	3			
Adaptabilidad al soporte	1	1	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Resistencia a fatiga	1	1	1	0	3	2	1	0	2	2	2	1	1	2	1	2	1	1	0	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Resistencia a deformaciones plásticas	0	2	2	0	1	3	1	3	2	0	1	1	1	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	3	1	1	1		
Resistencia a la acción de agua	1	2	2	0	3	1	1	2	1	0	1	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	1	1	2	1	1	2		
Resistencia a esfuerzos tangenciales	1	1	1	0	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	0	2	0	2	0	1	2	1	1	1	2	1	1	2		
Resistencia a la desintegración	2	1	2	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	2	1	1	1	1	2		
Resistencia a fijación a bajas temperaturas	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	2	2	1	1	1	1	2		
Resistencia a la fijación por envejecimiento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	2	1	1	2	1	2		
Resistencia a fijación mecánica (top-down)	1	1	1	0	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	0	2	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2		
Resistencia a la fijación por reflexión	1	1	1	0	1	2	0	1	2	0	2	2	2	2	1	2	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2		
Resistencia al escaramiento	2	1	0	0	0	2	0	1	2	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	2	1	2	1	
Permeabilidad-impermeabilidad	1	1	2	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Drenabilidad superficial	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Trabajabilidad	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	
Macrorrugosidad (rodadura)	2	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Microrrugosidad (rodadura)	3	1	0	0	1	2	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Propiedades acústicas	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Propiedades ópticas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Valoración de la relevancia

Indiferente	0
Marginal	1
A considerar	2
Importante	3
Fundamental	4

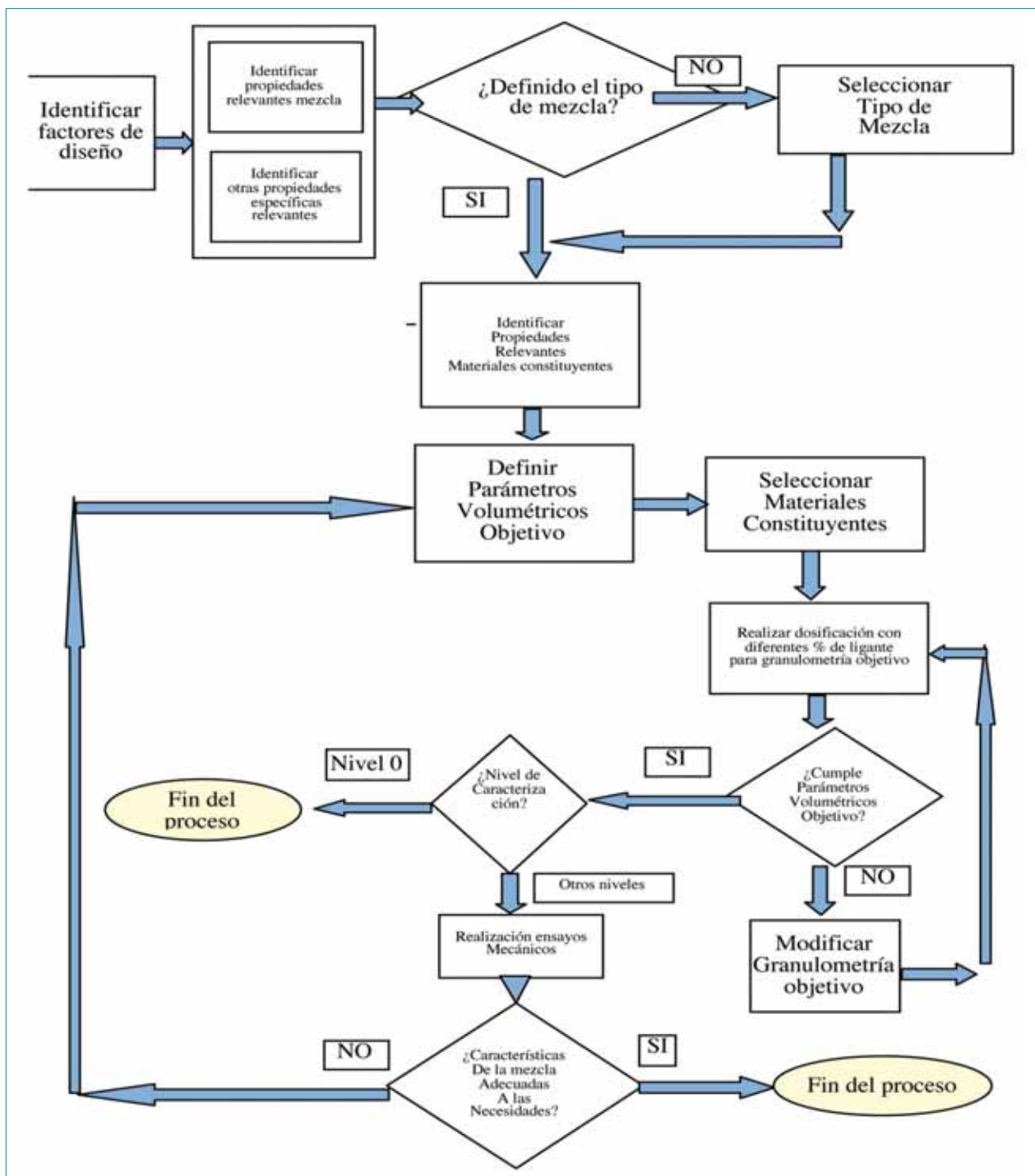


determinada propiedad, otras se vean afectadas de forma sustancial, por lo que el proceso debe ser realizado de forma iterativa, comprobando para cada dosificación los valores obtenidos también en el resto de parámetros. En el caso de no alcanzarse los resultados previstos, se reiniciará el proceso, definiendo unos nuevos parámetros vo-

lumétricos. Si se alcanzan los resultados, el proceso se dará por concluido.

A continuación se adjunta un esquema del desarrollo de la metodología descrita anteriormente. En dicho esquema puede seguirse cada uno de los pasos mencionados.

Figura 3: Esquema metodológica ALEAS de diseño de mezclas bituminosas.



Destacar que se están elaborando diferentes documentos que apoyan técnicamente cada uno de los pasos a realizar en el proceso de diseño y dosificación de las mezclas bituminosas propuesto por ALEAS.

Como se ha mencionado anteriormente, esta propuesta de metodología de diseño y dosificación de mezclas bituminosas se encuentra en fase de revisión.

### 4. Resumen

Se ha presentado en este artículo un breve resumen del trabajo realizado hasta el momento, donde queda definida una metodología de diseño de mezclas bituminosas que, partiendo de las necesidades y requisitos existentes, permite optimizar los parámetros más importantes de las propiedades de las mezclas bituminosas en cada caso, siendo aplicable a diferentes tipos de mezcla y a mezclas fabricadas con diferentes métodos.

La metodología de diseño de mezclas bituminosas de ALEAS, que está en fase borrador, va acompañada de diferentes documentos básicos que ayudan al diseñador a tomar decisiones en el proceso de diseño y dosificación, buscando obtener productos que sean específicos para cada aplicación, optimizando el resultado.

También permite, a través de los diferentes niveles de diseño, establecer el volumen y el tipo de los ensayos a realizar sobre el producto en la fase de dosificación, que vendrá relacionado con la mayor o menor exigencia solicitada a las mezclas y al firme. Incluir otros ensayos en el proceso e incluso tener la posibilidad de optimizar el diseño en función de las necesidades específicas de cada proyecto hace de esta metodología una herramienta versátil aplicable a tipos de mezclas muy diferentes, considerando su aplicación final.

Finalmente, y en el caso de tener la posibilidad de seleccionar el tipo de mezcla a emplear, la metodología permite comparar resultados de diferentes tipos de mezcla en función de las necesidades existentes, empleando y seleccionando los productos que maximicen aquellas propiedades que sean más necesarias en cada caso.

### 5. Agradecimientos

Agradecer a ALEAS y a todas las entidades pertenecientes a dicha asociación la posibilidad que han ofrecido al grupo de poder trabajar en este documento.

También agradecer especialmente a Javier Loma, Marisol Barral, M<sup>a</sup> Elena Hidalgo, Manuel Montero, Emilio Moreno, José Luis Peña y José Simón su colaboración, interés y esfuerzo desinteresado, en los diferentes grupos de trabajo establecidos para llevar adelante este trabajo.

### 6. Bibliografía

- Serie Normas UNE EN 13108
- Serie Normas UNE EN 12697
- Improved Mix Design, Evaluation, and Materials Management Practices for Hot Mix Asphalt with High Reclaimed Asphalt Pavement Content (NCHRP report 752)
- Mix Design Practices for Warm-Mix Asphalt (NCHRP report 691)
- A Manual for Design of Hot-Mix Asphalt with Commentary (NCHRP report 673)
- LPC Bituminous Mixtures design Guide CR 39A December 2007, under the supervision of J.L. Delorme, C. de la Roche, L. Wendling

#21

## AFIRMACIONES ASFÁLTICAS

“Las mezclas bituminosas templadas son idóneas para una mayor tasa de reutilización de RAP” (Mezclas templadas con reutilización total del RAP con tasa alta y tasa total; número 14)

#SOSTENIBILIDAD\_Y\_MEDIO\_AMBIENTE