

CUADERNOS INTEMAC

**Mezclas de alto módulo.
Criterios de utilización y ventajas**

**High modulus asphalt concrete.
Advantages and criteria for use**

Pablo Valdés Fernández de Alarcón
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

María Teresa Molero Rodríguez
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos



INTEMAC

INSTITUTO TECNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

N.º 47
3.º TRIMESTRE '02

INTEMAC



METIRE UT SCIAS

INTEMAC

INSTITUTO TÉCNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

CONTROL DE PROYECTO

CONTROL DE OBRA

GARANTÍA DE CALIDAD

(O.C.T.) CONTROL PARA EL SEGURO DE DAÑOS

INFORMES DE PATOLOGÍA, REHABILITACIÓN Y REFUERZOS DE CONSTRUCCIONES

OBRAS PÚBLICAS
EDIFICACIÓN
INSTALACIONES



INTEMAC AUDIT

AUDITORIA TÉCNICO-ECONÓMICA DE CONSTRUCCIONES

- ASESORÍA EN EL PLANTEAMIENTO Y EN LA CONTRATACIÓN DE LA OBRA
- SEGUIMIENTO DE COSTOS Y PLAZOS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN
- VALORACIONES DE TERRENOS, INMUEBLES Y CONSTRUCCIONES
- AUDITORÍAS DE TRABAJOS PARCIALES Y DE LIQUIDACIÓN DE LA OBRA



INTEMAC

ECO

AUDITORÍA TÉCNICA MEDIOAMBIENTAL

CONTROL DE IMPACTO AMBIENTAL

Obras Públicas
Edificación
Instalaciones

CONTROL DE CALIDAD AMBIENTAL

Aire
Agua
Ruido

AUDITORÍA MEDIOAMBIENTAL

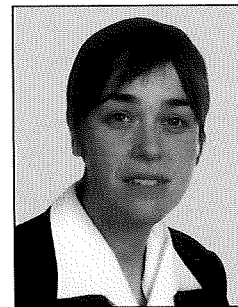
ASESORAMIENTO EN MATERIA DE MEDIO AMBIENTE

**MEZCLAS DE ALTO MÓDULO.
CRITERIOS DE UTILIZACIÓN Y VENTAJAS**

**HIGH MODULUS ASPHALT CONCRETE.
ADVANTAGES AND CRITERIA FOR USE**



Pablo Valdés Fernández de Alarcón
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Civil Engineer
INTEMAC



María Teresa Molero Rodríguez
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Civil Engineer
INTEMAC

Copyright © 2003, INTEMAC

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida o distribuida de ninguna manera ni por ningún medio, ni almacenada en base de datos o sistema de recuperación, sin el previo permiso escrito del editor.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in a data base or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

ISSN 1133-9365

Depósito legal: M-8537-2003
Infoprint, S.A. - San Vicente Ferrer, 40

CONTENTS

1. INTRODUCTION
2. DYNAMIC MODULUS
3. LAWS OF FATIGUE
4. SPECIFICATIONS
 - 4.1. MATERIALS
 - 4.1.1. Hydrocarbon binders
 - 4.1.2. Aggregates
 - 4.2. ASPHALT CONCRETE PROPERTIES
 - 4.3. LAYING REQUIREMENTS
5. ADVANTAGES
 - 5.1. FATIGUE BEHAVIOUR
 - 5.2. PLASTIC STRAIN BEHAVIOUR
 - 5.3. USE OF MARGINAL AGGREGATES
6. LIMITATIONS
7. PAVEMENT DIMENSIONING
8. DOSAGE CRITERIA
9. PRODUCTION AND LAYING
10. COST CONSIDERATIONS
11. CONCLUSIONS
12. REFERENCES

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN
2. MÓDULO DINÁMICO
3. LEYES DE FATIGA
4. ESPECIFICACIONES
 - 4.1. MATERIALES
 - 4.1.1. Ligantes hidrocarbonados
 - 4.1.2. Áridos
 - 4.2. CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA
 - 4.3. EJECUCIÓN
5. VENTAJAS DE SU UTILIZACIÓN
 - 5.1. COMPORTAMIENTO A FATIGA
 - 5.2. RESISTENCIA A LAS DEFORMACIONES PLÁSTICAS
 - 5.3. UTILIZACIÓN DE ÁRIDOS MARGINALES
6. LIMITACIONES EN LA UTILIZACIÓN
7. DIMENSIONAMIENTO DE UN FIRME
8. CRITERIOS DE DOSIFICACIÓN
9. FABRICACIÓN Y PUESTA EN OBRA
10. CONSIDERACIONES SOBRE COSTES
11. CONCLUSIONES
12. BIBLIOGRAFÍA

ABSTRACT

The HMAC has begun to be used in France as an alternative to the traditional mixtures by means of the use of high contents of low penetration bitumens which were not used before on the Civil Engineering scope.*

This new material shows a fatigue resistance and a resistance to plastic strain improved with regard to the classical asphalt concrete, which enables a reduction in pavement layer thickness, and gives an important advantage regarding the road construction and on the rehabilitation of pavements which would be involved on a high heavy traffic density.

The use of HMAC should be carefully done due to the high rigidity modulus of the material and to its thermal sensitivity which made them inadvisable on certain situations.

** HMAC = High Modulus Asphalt Concrete.*

1. INTRODUCTION

A new type of hot mix asphalt or asphalt concrete, known as High Modulus Asphalt Concrete (HMAC), has begun to be used in recent years as a road base and binder course in bituminous road pavements. This asphalt concrete features a shear modulus two to three times greater than in conventional asphalt concrete, enhanced fatigue strength in relation to conventional materials and a very good response to plastic strain.

These improvements were obtained by producing an asphalt concrete with a high content of low penetration grade bitumen –values of under 30 dmm at 25 °C– with a softening point of over 70 °C. As a result of its high shear or dynamic modulus, the essential property of this new type of asphalt concrete, it develops a series of characteristics that afford it very strong fatigue resistance and, consequently, great appeal as a potential pavement material.

This type of asphalt concrete was used for the first time in France in 1980, although not significantly until after 1985. Initially it was made from bitumen with a high additive content and no polymer modifiers. Its increased use made it necessary to develop special technology for the manufacture of low penetration grade bitumens specifically intended for this use. Around 1988 an asphalt concrete with a lower binder content, called class 1 High Modulus Asphalt Concrete, began to be manufactured in France for use in lightly trafficked sections of roads; the main advantage to this asphalt concrete was its high resistance to plastic strain. Finally, two variations of High Modulus Asphalt Concrete were regulated under the denomination “enrobés à module élevé, EME” in French standard NFP 98-140, published in October 1992, which differentiates between class 1, EME1, with a lower bitumen content, and class 2, or EME 2, with a higher bitumen content, intended for use in heavily trafficked pavements.

The earliest experiences in Spain date from 1992. After being used in a number of works of minor importance, High Modulus Asphalt Concrete was laid experimentally to reinforce a 7-km section of pavement that same year. It was divided into three sub-sections, in which conventional solutions were compared to high modulus asphalt concrete pavements, with 0 to 40% reductions in course thickness. The wearing course consisted of 4 cm of porous coated asphalt concrete. The core specimens taken showed good adhesion between the new courses and the old pavement. The dynamic modulus values obtained came to 12,000 MPa at 20 °C and 10 Hz.

In the years following the CEDEX conducted a number of studies on this type of asphalt concrete, focusing solely on the high binder content type or EME2 in the pursuit of both good plastic strain behaviour and high fatigue resistance.

Extensive use of this material began in the late nineties. By 2000 over two million tonnes of asphalt concrete road base had been laid. The Ministry of Internal Development published a Service Note on its use and subsequently, in its Circular Order 5/2001, laid down the specifications of the constituent materials and the requirements to be met by this type of asphalt concrete; finally, Circular Order 10/2002 established when and where it may be used, i.e., the conditions to be met and types of sections involved.

RESUMEN

Las Mezclas de Alto Módulo se desarrollaron en Francia como alternativa a las mezclas convencionales mediante el empleo de altos contenidos de betunes de baja penetración no utilizados anteriormente en el campo de la ingeniería civil.

Este nuevo tipo de material presenta un comportamiento a fatiga y una resistencia a las deformaciones plásticas mejorado con respecto a las mezclas bituminosas clásicas, que permite una reducción de espesor de las capas de firme, lo que supone una importante ventaja en la construcción de carreteras y refuerzos de firme que vayan a estar sometidos a sollicitaciones elevadas de tráfico pesado.

La utilización de mezclas de alto módulo debe ser realizada con precaución, debido a la elevada rigidez de este material y a su alta susceptibilidad térmica, que hacen desaconsejable su empleo en determinadas circunstancias.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se viene utilizando, para capas de base e intermedia en firmes bituminosos de carreteras, un nuevo tipo de mezcla bituminosa en caliente denominada Mezcla de Alto Módulo (MAM), que se caracteriza por tener un módulo de rigidez superior, entre 2 y 3 veces el de las mezclas bituminosas convencionales, una resistencia a fatiga mejorada respecto a éstas y una gran resistencia a las deformaciones plásticas.

La mejora de características se ha conseguido mediante el empleo de un alto contenido de betún de baja penetración, menor de 30 dmm a 25 °C y punto de reblandecimiento superior a 70 °C. El módulo de rigidez o módulo dinámico elevado, característica fundamental de este nuevo tipo de mezclas bituminosas, les confiere unas características que mejoran considerablemente su comportamiento a fatiga, haciendo su posible empleo muy interesante.

Este tipo de mezcla se utilizó por primera vez en Francia en 1.980, aunque no aparece de forma significativa hasta 1.985. En un principio se elaboraba con altos porcentajes de betún aditivado, no modificado con polímeros. El incremento de su utilización hizo necesario el desarrollo de tecnologías especiales para la fabricación de betunes de baja viscosidad, específicos para este uso. Hacia 1.988 aparece en Francia un tipo de mezcla, denominada mezcla de alto módulo de clase 1, fabricada con un menor contenido de ligante y encaminada a su empleo en tramos con sollicitaciones ligeras de tráfico menos severas, cuya ventaja principal reside en su fuerte resistencia a las deformaciones plásticas. Finalmente, se decide normalizar las dos variantes de mezcla de alto módulo, que son recogidas como "Enrobés à module élevé, EME" en la norma francesa NFP 98-140, editada en octubre de 1.992. En ella se diferencian las mezclas de alto módulo de clase 1, EME1, de más bajo contenido de betún y las de alto módulo de clase 2, EME2, que son las de alto contenido de betún para firmes con severas sollicitaciones de tráfico.

En España las primeras experiencias datan del año 1.992. Después de varios tramos de escasa importancia, ese mismo año se ejecutó un refuerzo de firme experimental de unos 7 km de longitud. Se dividió en tres subtramos, en los que se compararon soluciones convencionales con otras ejecutadas con mezcla de alto módulo, con reducciones de espesor comprendidas entre el 0% y el 40%. Como capa de rodadura se extendieron 4 cm de mezcla drenante. Se extrajeron testigos en los que se apreció una buena adherencia entre las capas nuevas y el firme antiguo. Los módulos dinámicos obtenidos fueron 12.000 Mpa, a 20 °C y 10 Hz.

En años sucesivos se desarrollaron por parte del Cedex diversos estudios relativos a este tipo de mezclas, centrándose únicamente en las de tipo EME2, es decir, de elevado contenido de ligante, buscando conseguir al mismo tiempo, elevada resistencia a las deformaciones plásticas y buen comportamiento a fatiga.

Es en la segunda mitad de la década de los años 90 cuando su empleo se ha extendido. En el año 2.000 se habían colocado más de dos millones de toneladas de este tipo de mezclas en capas de base. El Ministerio de Fomento editó una Nota de Servicio sobre su empleo; posteriormente en la Orden Circular 5/2.001 reguló las características a

The present review addresses the characteristic properties of High Modulus Asphalt Concrete, the advantages it affords over conventional asphalt concrete, the criteria for its use and dimensioning as a pavement course, and the experience acquired in its use in two expressway sections.

2. DYNAMIC MODULUS

High Modulus Asphalt Concrete (HMAC) is essentially characterised by its high shear or dynamic modulus. A discussion of the variables affecting this modulus and their impact on a pavement layer follows.

The shear strength of a hot mix asphalt is determined by subjecting cylindrical specimens to simple cyclical sinusoidal compression. The load intensity applied consists of static pressure, constant throughout the test, and variable dynamic pressure with a constant amplitude. Spanish standard NLT-349 on the measurement of the dynamic modulus in road materials specifies the conditions under which this test is to be conducted.

The results are expressed in terms of a complex modulus corresponding to a specimen at a given temperature and stress frequency. The complex modulus measures the rigidity of the material and its ability to emit energy, or in other words to transform the mechanical energy received into internal energy, and can be expressed as shown below:

$$M_c = M \times e^{(j \times \phi)}$$

Where :

M_c :	complex modulus	
M :	dynamic modulus	(MPa)
ϕ :	phase angle	(°)
j :	complex number	($\sqrt{-1}$)

The phase angle is the difference between the phases of the sinusoidal stress and strain functions.

The dynamic modulus is the ratio between the amplitude of the compressive stress and the amplitude of the strain in a cycle. The greater the dynamic modulus for a given compressive stress, the smaller the strain on the material. Therefore, one of the properties pursued in pavement structures is a high dynamic modulus.

The dynamic modulus, phase angle and a parameter known as "X", which depends on temperature and stress frequency, are related, according to Arrhenius, in the following terms:

$$X = \log F + \delta H/R \cdot (1/T - 1/T_s)$$

where:

F :	stress frequency	(Hz)
T :	temperature	(° K)
$\delta H/R$:	material constant	
T_s :	reference temperature	(° K)

The relationship between the dynamic modulus and parameter X and between the phase angle and parameter X can be expressed by second order polynomials:

$$\text{Log } M = a + b \cdot X + c \cdot X^2$$

$$\phi = i + j \cdot X + k \cdot X^2$$

Where a, b, c and i, j, k are polynomial coefficients obtained by least squares fitting of experimental data. Such polynomials can be used to estimate the complex modulus of a asphalt concrete for any value of temperature and stress frequency.

Black's diagram relates the dynamic modulus to the phase angle. A second order polynomial, obtained as above by applying the least squares method to the experimental data, is used for fitting. The expression is given below:

satisfacer por los materiales constituyentes y los requisitos que debían cumplir dichos tipos de mezcla; por último, la Orden Circular 10/2.002 fijó las condiciones y los tipos de secciones para su utilización.

En el presente Cuaderno se reflejan las características propias de las Mezclas de Alto Módulo, las ventajas de su empleo respecto a las mezclas convencionales, los criterios para su utilización y dimensionamiento como capa de firme, así como la experiencia obtenida de su empleo en dos tramos de autovía.

2. MÓDULO DINÁMICO

Las Mezclas de Alto Módulo (MAM), se caracterizan fundamentalmente por su elevado módulo de rigidez o módulo dinámico. A continuación se analizan las variables que concurren en el mismo y su influencia en una capa de firme.

La determinación de la rigidez de una mezcla bituminosa en caliente se realiza ensayando probetas cilíndricas a compresión simple cíclica senoidal. La intensidad de carga aplicada se compone de una presión estática mantenida durante todo el ensayo, y una presión dinámica variable en el tiempo y de amplitud constante. La norma NLT-349. "Medida de módulos dinámicos de materiales para carreteras", recoge las condiciones de realización de este ensayo.

El resultado se expresa por medio del módulo complejo, correspondiente a una probeta con temperatura y frecuencia de sollicitación determinadas. El módulo complejo mide la rigidez del material y su capacidad de disipar energía, es decir, transformar la energía mecánica que le llega en energía interna, se puede expresar de la forma:

$$M_c = M \times e^{(j \times \phi)}$$

En donde:

M_c :	Módulo complejo	
M :	Módulo dinámico	(MPa)
ϕ :	Ángulo de fase	(° sexagesimales)
j :	Número complejo	($\sqrt{-1}$)

El ángulo de fase es el desfase entre las funciones senoidales de tensión y deformación.

El módulo dinámico es la relación entre la amplitud de la tensión de compresión en un ciclo y la amplitud de la deformación. A mayor módulo dinámico, para un mismo valor de la tensión de compresión, menor será la deformación que sufra el material. Por tanto, interesará disponer dentro de un paquete de firme, de capas bituminosas de elevado módulo dinámico.

Existe una relación entre el módulo dinámico, el ángulo de fase y un parámetro, denominado "X", dependiente de la temperatura y de la frecuencia de sollicitación, y cuya expresión propuesta por Arrhenius es:

$$X = \log F + \delta H/R \cdot (1/T - 1/T_s)$$

en donde:

F :	Frecuencia de sollicitación	(Hz)
T :	Temperatura	(° K)
$\delta H/R$:	Constante del material	
T_s :	Temperatura de referencia	(° K)

Las relaciones entre el módulo dinámico y el parámetro X, y entre el ángulo de fase y el parámetro X, se expresan mediante polinomios de segundo grado:

$$\log M = a + b \cdot X + c \cdot X^2$$

$$\phi = i + j \cdot X + k \cdot X^2$$

En donde a, b, c e i, j, k son coeficientes de los polinomios de ajuste, obtenidos a partir de datos experimentales aproximados por mínimos cuadrados. Estos polinomios permiten estimar el módulo complejo de una mezcla bituminosa para cualquier valor de temperatura y frecuencia de sollicitación.

$$\text{Log } M = f + g \cdot \phi + h \cdot \phi^2$$

It is noted, for a given type of asphalt concrete, that:

- The dynamic modulus declines when the test temperature rises.
- The phase angle increases with test temperature. Therefore, the smaller the phase angle, the greater the dynamic modulus.
- The dynamic modulus rises with stress frequency.

The test temperature and stress frequency must be fixed when determining the dynamic modulus of asphalt concrete. Circular Order 05/2001 provides that the dynamic modulus must be obtained as described in NLT-349, i.e., at 20 °C and a frequency of 10 Hz.

The following Table shows dynamic modulus values for different materials used in pavement construction, measured with the asphalt concrete at 20 °C and a frequency of Hz. The values are given in MPa.

MATERIAL	DYNAMIC MODULUS (MPa)	
	RANGE	STANDARD VALUE
Sub-grade	10 x CBR	
Wet mix asphalt concrete	100 – 600 2 to 4 times the sub-grade value	
Cement-bound granular material	18,000 – 25,000	20,000
Cement-stabilised soil	5,000 – 15,000	7,000
Type D or S HMA	4,000 – 8,000	6,000
Type G HMA	4,000 – 8,000	5,000
HMAC	11,000 – 16,000	12,500
Porous asphalt concrete	1,500 – 3,000	2,000

3. LAWS OF FATIGUE

The laws of fatigue establish the relationship between a given stress and the number of load repetitions that cause the material to fail. In Spain, the CEDEX or Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (Centre for Public Works Studies and Experimentation) proposes the following law of fatigue for conventional asphalt concrete:

$$\text{Log } \varepsilon = A + B \text{ Log } N$$

where:

- ε : shear tensile strain on the bottom of the course; value expressed in microstrain units
- A y B: constants characteristic of the material
- N: number of load cycles required to reach failure

The CEDEX standard fatigue test is described in standard NLT-350 on testing asphalt concrete for fatigue under dynamic flexural stress. The law of fatigue has been found to vary depending on the dynamic modulus of the material in question, although all modulus values lead to the same asphalt concrete classification. The slopes of the fatigue curves have likewise been observed to be very similar, regardless of the test method used.

The following table reflects parameters A and B for three types of asphalt concrete, types G-20 (or "loose"), S-20 (or "semi-dense") and HMAC, with different dynamic modulus values:

El diagrama de Black relaciona el módulo dinámico con el ángulo de fase. La expresión se ajusta, al igual que las anteriores, mediante un polinomio de segundo grado, obtenido aproximando por mínimos cuadrados los datos experimentales. Su expresión es:

$$\text{Log } M = f + g \cdot \phi + h \cdot \phi^2$$

En un mismo tipo de mezcla se observa:

- El módulo dinámico disminuye al aumentar la temperatura de ensayo.
- El ángulo de fase aumenta con la temperatura de ensayo. Por tanto, a menor ángulo de fase, mayor módulo dinámico.
- El módulo dinámico aumenta al hacerlo la frecuencia de sollicitación.

Se deben fijar la temperatura de ensayo y la frecuencia de sollicitación para determinar el módulo dinámico de las mezclas bituminosas. En la OC 5/2001 se indica que el módulo dinámico se obtendrá según la norma NLT-349, a 20 °C y 10Hz.

A continuación se muestra una tabla en la que se recogen los módulos dinámicos, de diferentes materiales utilizados en la construcción de firmes, medidos en las mezclas bituminosas a 20 °C y 10 Hz. Los valores vienen dados en MPa.

MATERIAL	MÓDULO DINÁMICO (MPa)	
	RANGO	VALOR TÍPICO
Explanada	10 x CBR	
Zahorra artificial	100 – 600 2 a 4 veces el de la explanada	
Grava cemento	18.000 – 25.000	20.000
Suelo cemento	5.000 – 15.000	7.000
MBC tipo D o S	4.000 – 8.000	6.000
MBC tipo G	4.000 – 8.000	5.000
MAM	11.000 – 16.000	12.500
MB drenante	1.500 – 3.000	2.000

3. LEYES DE FATIGA

Las Leyes de Fatiga establecen la relación entre una sollicitación determinada y el número de repeticiones que causan el fallo del material. En España, el Cedex, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, propone para las MBC una ley de fatiga de la forma:

$$\text{Log } \epsilon = A + B \text{ Log } N$$

en donde:

- ϵ : Deformación tangencial de tracción en la cara inferior de la capa. El valor se expresa en microdeformaciones.
- A y B: Constantes propias de cada material.
- N: Número de ciclos de carga necesarios para que se produzca el fallo.

El Cedex ha normalizado un ensayo de fatiga, recogido en la norma NLT-350, "Ensayo de fatiga en flexotracción dinámica de mezclas bituminosas". Se ha comprobado que la ley de fatiga varía según el módulo dinámico del material del que se trate, aunque todos lleven a la misma clasificación de las mezclas. También se ha observado que las pendientes de la línea de fatiga son muy similares, independientemente del ensayo utilizado.

A continuación se incluye una tabla en la que se reflejan los parámetros A y B para tres mezclas, tipo G-20, tipo S-20 y MAM, con diferentes valores del módulo dinámico para cada una de ellas:

Type of asphalt	Dynamic modulus (20°C / 10 Hz)	Laws of fatigue (20°C / 10 Hz)	
		A	B
G-20	5,000	3.4	-0.24
	6,500	3.8	-0.35
	6,700	3.83	-0.352
S-20	5,000	3.037	-0.144
	5,500	3.1	-0.19
	6,700	3.2	-0.16
HMAC	11,000	3.3	-0.2
	12,500	3.326	-0.2041
	13,200	2.959	-0.1615
	14,000	3.08	-0.1609

The CEDEX has also defined the ϵ_{δ} parameter, which represents the strain required to cause failure after one million load applications and provides an indication of material flexibility: the higher the value, the greater the flexibility.

Parameter ϵ_{δ} lies between 100 and 120 microstrain units for a High Modulus Asphalt Concrete with dynamic modulus values ranging from 11,000 to 13,000 MPa in asphalt concrete with a dynamic modulus than 13,000 MPa has a ϵ_{δ} value that ranges from 70 to 100. It may be concluded that a high modulus bituminous of between 11,000 and 13,000 MPa has a fatigue behaviour similar to type S asphalt concrete, which has a smaller modulus value, and likewise performs much better than type G hot mix asphalts.

Circular Order 10/2.002, in turn, proposes the following law of fatigue:

$$\epsilon = 6.617 \cdot 10^{-3} \cdot N^{-0.27243}$$

where:

ϵ : unit strain

N: number of 128 kN (13t) standard axles

Nonetheless, this CO provides that the suitability of the law of fatigue used in the analytical dimensioning of asphalt concrete must be substantiated.

Fatigue tests, as noted earlier, are conducted with sinusoidal type stresses with no rest periods between load cycles so as to shorten their duration. Under actual traffic conditions there are rest periods between load cycles. According to the French Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC), rest periods may entail up to a ten-fold increase in the number of load cycles that a material can withstand. In Spain this claim has yet to be substantiated, and if it is, it may be detrimental to HMAC, which may have a lower recoverability rate. In a conventional asphalt concrete, fatigue cracks fill back up and eventually close, a development that is not possible when stiff binders are used, as is the case in High Modulus Asphalt Concrete.

In 1991 the LCPC conducted a study to compare the fatigue behaviour of various road sections with different types of asphalt concrete. Four test sections were built:

- Two were built with conventional asphalt concrete, similar to Spanish type D dense asphalt concrete, with a (60/70 pen. bitumen) binder content of 5.4%. The origin of the two types of asphalt concrete used was different.
- A third section was built with a High Modulus Asphalt Concrete with the same course thickness as the preceding two (theoretically 8 cm) and a binder content of 6.2%
- The fourth section was built with a thick asphalt concrete, with a bitumen content of 4.6%. The thickness laid was such that according to the theoretical properties of the different materials and using standard fatigue tests and methods of calculation, the design service life of this section was equivalent to the life of the HMAC section. The thickness calculated was 12 cm, which corresponds to the 30% reduction in thickness initially proposed in France for High Modulus Asphalt Concrete.

Tipo de Mezcla	Módulo dinámico (20°C / 10 Hz)	Ley de fatiga (20°C / 10 Hz)	
		A	B
G-20	5.000	3,4	-0,24
	6.500	3,8	-0,35
	6.700	3,83	-0,352
S-20	5.000	3,037	-0,144
	5.500	3,1	-0,19
	6.700	3,2	-0,16
MAM	11.000	3,3	-0,2
	12.500	3,326	-0,2041
	13.200	2,959	-0,1615
	14.000	3,08	-0,1609

El Cedex también ha definido el parámetro ϵ_s que representa la deformación necesaria para que se produzca el fallo en un millón de aplicaciones de carga; da una idea de la flexibilidad del material, sus valores más elevados corresponden a materiales más flexibles.

El parámetro ϵ_s está comprendido entre 100 y 120 microdeformaciones para las mezclas de alto módulo cuyo módulo dinámico se encuentra en el intervalo 11.000 a 13.000 MPa. Las mezclas de módulo mayor a 13.000 MPa tienen valores del parámetro ϵ_s entre 70 y 100. Como conclusión cabe señalar que las mezclas de alto módulo cuyo módulo dinámico se sitúa entre 11.000 y 13.000 MPa tienen un comportamiento a fatiga similar a las mezclas tipo S, de módulo menor, y mucho mejor que las mezclas bituminosas en caliente tipo G.

La Orden Circular 10/2.002 propone, a su vez, la siguiente Ley de Fatiga:

$$\epsilon = 6,617 \cdot 10^{-3} \cdot N^{-0,27243}$$

siendo:

ϵ : Deformación unitaria

N: Número de ejes equivalentes de 128 kN (13t)

No obstante, esta OC establece que la idoneidad de la Ley de Fatiga para un dimensionamiento analítico de las mezclas, habrá de ser justificada.

Es necesario recordar que los ensayos de fatiga se realizan utilizando sollicitaciones de tipo senoidal, sin períodos de reposo entre ciclos de carga, con objeto de limitar su duración. Con tráfico real hay períodos de reposo entre ciclos de carga. Según el Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) francés, los períodos de reposo pueden multiplicar por 10 el número de ciclos de carga que los materiales pueden soportar. En España queda pendiente esta comprobación, que puede desfavorecer a las MAM por su posible menor capacidad de recuperación. En una mezcla bituminosa convencional, las fisuras producidas por fatiga se rellenan, acabando por cerrarse, lo que no es posible cuando el ligante empleado es de baja viscosidad, como ocurre con las mezclas de alto módulo.

El LCPC realizó en 1.991 un estudio comparando el comportamiento a fatiga de varias secciones de firme con diferentes tipos de MBC. Se construyeron cuatro tramos de ensayo:

- Dos tramos fueron ejecutados con mezclas convencionales, similares a las mezclas densas españolas del tipo D, utilizando un contenido de betún 60/70 del 5,4%. Cada betún utilizado tenía una procedencia distinta.
- Un tercer tramo se ejecutó empleando una mezcla bituminosa de alto módulo del mismo espesor que los anteriores (teóricamente 8 cm), con un contenido de ligante del 6,2%.
- En el cuarto tramo se dispuso una mezcla gruesa, con un 4,6% de contenido de betún. El espesor colocado era tal que con las hipótesis efectuadas acerca de las propiedades de diversos materiales, y con los ensayos de fatiga y métodos de cálculo habituales, su vida útil era equivalente a la del tramo de la mezcla de alto módulo. Este espesor resultó ser de 12 cm, lo cual se corresponde con la reducción de espesor del 30% propuesta en Francia en la utilización de las mezclas de alto módulo.

The wearing course laid on all sections consisted of sand asphalt.

Loads were applied until the weakest section cracked under fatigue; this took 2,700,000 repetitions with a 6.5-tonne wheel.

The results obtained are highlighted below:

- The number of load cycles that cause a certain number of cracks is significantly lower in HMAC than in the thick asphalt concrete, whereas the results should have been similar. The actual thicknesses of the courses tested were 8.9 and 12.8 cm, respectively, or nearly exactly 30% less in the High Modulus Asphalt Concrete. This means that conventional fatigue test methods yield overly optimistic estimates for High Modulus Asphalt Concrete. A subsequent in-depth study revealed that the thickness should be reduced by 25% rather than the 30% initially calculated.
- The section built with High Modulus Asphalt Concrete cracked later than the dense asphalt concrete materials. This was attributed to the fact that the actual course thickness of the high modulus course was greater than the thickness of the conventional HMAC courses; namely, 8.9 as compared to 8.0 cm.
- The relative proportion of cracks increased more rapidly in the high modulus than in the conventional dense Asphalt Concrete.

In 1993 the LCPC ran a second comparative study of fatigue resistance between an HMAC and a conventional dense asphalt asphalt concrete. The study addressed the effect of layer thickness on durability. It was found that for a course thickness of 10 cm, the service life of the HMAC was 2.5 times greater than for the conventional asphalt concrete. The High Modulus Asphalt Concrete was also observed to be thickness-sensitive, insofar as the 2-cm difference in thickness –from 8 to 10 cm– increased the useful life of the pavement by a factor of 6.

4. SPECIFICATIONS

Circular Order 5/2001 on ancillary treatments, asphalt concrete and concrete pavements deals with hot mix asphalts in its Article 542, which lays down the requirements to be met by High Modulus Asphalt Concrete, as discussed below:

4.1. MATERIALS

4.1.1. Hydrocarbon binders

When High Modulus asphalt concrete first began to be deployed, only scant information was available on the binders that could be used in its manufacture. This prompted the CEDEX and the binder manufacturers both to conduct a series of studies, from which the following conclusions were drawn:

- Binder shear modulus and the complex modulus of the asphalt concrete are proportionally related, whereby the stiffer the binder the greater the complex modulus. The lower the bitumen penetration, in turn, the higher its shear modulus.
- Binder thermal susceptibility and softening point affect the modulus value of asphalt concrete. The higher the thermal susceptibility and the lower the softening point, the higher the binder shear modulus and, consequently, the higher the complex modulus of the asphalt concrete.
- Moreover, the fatigue resistance of the asphalt concrete was found to be greater at lower levels of thermal susceptibility and higher softening points.

It may be concluded, then, that the optimum binder for High Modulus Asphalt Concrete should be stiff bitumen that contributes to increasing the modulus of the resulting asphalt concrete. Furthermore, a balance must be reached between thermal susceptibility and softening point of the bitumen used. High thermal susceptibility favours the modulus of the asphalt concrete while low values enhance its fatigue resistance. As far as the softening point is concerned, a low point improves the modulus of the asphalt concrete, whilst high values have a beneficial effect on the fatigue resistance of the material.

On the grounds of the results of the studies conducted, CO 5/2001 sets out the following specifications for hydrocarbon binders used in the manufacture of HMAC:

Sobre cada tramo se colocó como rodadura una capa de microaglomerado.

Las cargas se aplicaron hasta la fisuración por fatiga de la sección más débil, para lo cual se necesitaron 2.700.000 pasadas de una rueda de 6,5 toneladas.

Se puede destacar de los resultados obtenidos:

- El número de ciclos de carga que producen una cantidad determinada de fisuras es netamente inferior en la MAM que en la mezcla bituminosa gruesa, aunque deberían haber sido similares. Los espesores reales de las secciones ensayadas han sido, respectivamente, 8,9 y 12,8 cm, siendo casi exactamente un 30% el espesor ahorrado con la mezcla de alto módulo. Esto indica que los métodos clásicos de ensayos de fatiga son demasiado optimistas para una Mezcla de Alto Módulo. Un estudio más detallado revela que la reducción de espesor debería ser del 25% en lugar del 30% calculado inicialmente.
- La sección en la que se utiliza Mezcla de Alto Módulo se fisura más tarde que las mezclas densas. Se atribuye al hecho de que el espesor real de mezcla de alto módulo es superior a la de las mezclas convencionales, 8,9 cm frente a 8,0 cm.
- La proporción de fisuras crece más rápidamente en la MAM que en las mezclas convencionales densas.

En 1.993 el LCPC realizó un segundo estudio comparativo de resistencia a fatiga de una MAM y una mezcla densa convencional. Se estudió el efecto del espesor de la mezcla en la durabilidad de la misma. Se ha demostrado que para un espesor de 10 cms, la vida útil en servicio de la MAM es 2,5 veces superior a la de la mezcla clásica. También se ha comprobado que la Mezcla de Alto Módulo es muy sensible al espesor, pues al pasar de 8 cm a 10 cm, la vida útil del firme se multiplica por 6.

4. ESPECIFICACIONES

En su Artículo 542. Mezclas Bituminosas en Caliente, de la OC 5/2001 "Riegos auxiliares, mezclas bituminosas y pavimentos de hormigón" se recogen las especificaciones que deben reunir las Mezclas de Alto Módulo. Seguidamente se desarrollan:

4.1. MATERIALES

4.1.1. Ligantes hidrocarbonados

Cuando comenzaron a emplearse mezclas de alto módulo, la información existente sobre los ligantes que podían ser utilizados para su fabricación era muy escasa, por lo que, tanto el Cedex como las empresas fabricantes de ligantes, realizaron diversos estudios sobre los mismos, llegando a las conclusiones que se exponen a continuación:

- Existe una relación proporcional entre el módulo de rigidez del ligante y el módulo complejo de la mezcla, a mayor dureza del ligante mayor módulo complejo de la mezcla. A su vez el módulo de rigidez del betún es mayor cuanto menor es su penetración.
- La susceptibilidad térmica y punto de reblandecimiento del ligante influyen en los módulos de la mezcla. A mayor susceptibilidad térmica y menor punto de reblandecimiento mayor módulo de rigidez del ligante y, en consecuencia, mayor módulo complejo de la mezcla.
- Por otro lado, se ha comprobado que a menor susceptibilidad térmica y mayor punto de reblandecimiento, mayor es la resistencia a la fatiga de la mezcla.

Se puede concluir, por tanto, que los betunes idóneos para las mezclas de alto módulo deberán ser betunes duros que favorezcan un incremento del módulo de las mezclas de las que van a formar parte. Además se debe llegar a un equilibrio en la susceptibilidad térmica y en el punto de reblandecimiento del betún empleado. Una alta susceptibilidad térmica favorece el módulo de la mezcla y una baja susceptibilidad térmica favorece su resistencia a fatiga. En cuanto al punto de reblandecimiento, si es bajo mejora el módulo de la mezcla, pero si es elevado influye positivamente sobre la resistencia a fatiga del material.

A partir de los estudios realizados, se han concretado en la OC 5/2001 las especificaciones que deben cumplir los ligantes hidrocarbonados para la fabricación de MAM:

- BM-1, specified in Article 215 of standard PG-3 for heavy traffic categories T00 and T0. This polymer-modified bitumen has penetration values of from 15 to 30 dmm, determined as described in standard NLT-124, and a minimum softening point of 70 °C, determined as specified in standard NLT-125.
- B13/22, specified in Article 211 of standard PG-3 for heavy traffic categories T1 and T2. This bitumen has penetration values of 13 to 22 dmm, determined as provided in NLT-124, and a softening point of 60 °C to 72 °C, further to the specifications contained in NLT-125.

4.1.2. Aggregate

The requirements for aggregates and on- or off-site mineral dust to be used in the manufacture of High Modulus Asphalt Concrete are the same as for the manufacture of conventional asphalt concrete.

The proportion of borrow mineral dust to be used with respect to the total dust in the asphalt concrete is:

- Road bases must contain 50% of off-site mineral dust, except for roads designed for category T00 heavy traffic, in which case 100% of the mineral dust must be borrow.

4.2. ASPHALT CONCRETE PROPERTIES

The grading obtained after combining the different aggregate fractions, including mineral dust, must be similar to the grading for a type S-20 asphalt concrete, with a higher fines content. Specifically, the grading envelope defined in CO 5/2001 is given in the table below:

EN 933-2 STANDARD SIEVE (mm)	25	20	12,5	8	4	2	0,500	0,250	0,125	0,063
ACCUMULATED PASSING FRACTION (%)	100	80-95	64-79	50-66	35-50	24-38	11-21	8-15	7-12	6-9

The minimum hydrocarbon binder content must be 5.2% of the total dry aggregate mix by weight, including mineral dust. This minimum content must be corrected for aggregate absorption and specific weight.

The weighted ratio between mineral dust and hydrocarbon binder content must be between 1.3 and 1.5.

The results of the Marshall test, conducted as specified in standard NLT-159, with 75 blows of the hammer per side, must be as shown in the following table:

CHARACTERISTIC	HEAVY TRAFFIC CATEGORY	
	T00 and T0	T1 and T2
STABILITY (kN)	> 15	> 12.5
DEFORMATION (mm)	2 - 3	2 - 3.5
ASPHALT VOID CONTENT (%)	4 - 6	
AGGREGATE VOID CONTENT (%)	≥ 14	

Pursuant to standard NLT-349 on measurement of the dynamic modulus of road materials, the minimum modulus value for HMAc at 20 °C is 11,000 MPa.

According to standard NLT-173, the deformation rate in the 105- to 120-minute interval may be no higher than 12 µm/min, as specified in the Ministry of Internal Development's Service Note. CO 5/2001 makes no distinction between conventional and high modulus bituminous materials in connection with deformation rate in pavement track tests.

The loss of strength in the immersion - compression test conducted as specified in standard NLT-162 on the effect of water on the cohesion of compacted asphalt concrete (immersion-compression test) must not be over 25%.

- BM-1 especificado en el artículo 215 del PG-3, para las categorías de tráfico pesado T00 y T0. Se trata de un betún modificado con polímeros, de penetración 15 a 30 dmm obtenido según la NLT-124, y punto de reblandecimiento mínimo de 70 °C, obtenido según la NLT-125.
- B13/22 especificado en el artículo 211 del PG-3, para las categorías de tráfico pesado T1 y T2. Se trata de un betún de penetración 13 a 22 dmm, obtenido según la NLT-124, y punto de reblandecimiento de 60 a 72 °C, obtenido según la NLT-125.

4.1.2. Áridos

Los requisitos exigidos a los áridos y al polvo mineral, de aportación o de recuperación, a emplear en la fabricación de Mezclas Bituminosas de Alto Módulo, son los mismos que para la fabricación de mezclas convencionales.

La proporción de polvo mineral de aportación a utilizar, respecto al total del polvo mineral de la mezcla es:

- En capas de base el 50% del polvo mineral será de aportación, excepto cuando la categoría de tráfico pesado sea T00, en cuyo caso el 100% del polvo mineral será de aportación.

4.2. CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA

La granulometría obtenida tras la combinación de las distintas fracciones de áridos, incluido el polvo mineral, será similar a la de una mezcla tipo S-20, con un mayor contenido de finos. Concretamente, el huso granulométrico definido en la OC 5/2001 es el reflejado en la siguiente tabla:

TAMIZ UNE-EN 933-2 (mm)	25	20	12,5	8	4	2	0,500	0,250	0,125	0,063
CERNIDO ACUMULADO (%)	100	80-95	64-79	50-66	35-50	24-38	11-21	8-15	7-12	6-9

La dotación mínima de ligante hidrocarbonado será de 5,2% en masa sobre el total del árido seco, incluido el polvo mineral. Este contenido mínimo deberá ser corregido, en función de la absorción de los áridos y del peso específico de los mismos.

La relación ponderal entre los contenidos de polvo mineral y ligante hidrocarbonado estará comprendida entre 1,3 y 1,5.

Los resultados del Ensayo Marshall, según la norma NLT-159, empleando 75 golpes por cara, deberán ser los reflejados en la siguiente tabla:

CARACTERÍSTICA	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	
	T00 y T0	T1 y T2
ESTABILIDAD (kN)	> 15	> 12,5
DEFORMACIÓN (mm)	2 - 3	2 - 3,5
HUECOS MEZCLA (%)	4 - 6	
HUECOS ÁRIDOS (%)	≥ 14	

El módulo dinámico a 20 °C, según la norma NLT-349, "Medida de módulos dinámicos de materiales para carreteras", no será inferior a 11.000 MPa.

La máxima velocidad de deformación en el intervalo de 105 a 120 minutos, según la norma NLT-173, será de 12 µm/min, como indica la Nota de Servicio del Ministerio de Fomento. En la OC 5/2001 no se diferencia entre mezclas convencionales y Mezclas de Alto Módulo en cuanto a la velocidad de deformación en ensayo de pista.

La pérdida de resistencia en el ensayo de inmersión - compresión, realizado según la norma NLT-162, "Efecto del agua sobre la cohesión de las mezclas bituminosas compactadas (ensayo de inmersión-compresión)", no será superior al 25%.

4.3. LAYING REQUIREMENTS

The specifications for building pavement courses with High Modulus Asphalt Concrete are the same as for all other hot mix asphalts, with the following exceptions:

- CO 5/2001 establishes a thickness of 6 to 12 cm for High Modulus Asphalt Concrete. CO 10/2002 corrects the preceding order, providing for courses with a minimum thickness of 7 cm and a maximum of 13 cm.
- CO 10/2002 stipulates that High Modulus Asphalt Concrete may be used in road bases only.
- The maximum temperature of the asphalt concrete upon removal from the manufacturing plant mixer must not be over 190 °C, except in dryer drum mixer plants, where it may not be over 175 °C.

5. ADVANTAGES

5.1. FATIGUE BEHAVIOUR

HMAC is a road base asphalt concrete manufactured with large proportions of stiff hydrocarbon binder. The binder, with penetration values of from 13 to 22 dmm, or if modified bitumens are used, of from 15 to 30 dmm, is proportioned in doses similar to or even larger than normally used in wearing courses; this enhances the fatigue behaviour of such road bases, providing for performance levels much higher than in courses built with conventional asphalt concrete.

Pavement durability – i.e., until fatigue distress develops - is substantially longer in pavements built with a high modulus road base than those made with conventional asphalt concrete, under given traffic conditions. The result of this improvement in the structural characteristics of the pavement is that the thickness of the asphalt concrete courses can be substantially reduced when high modulus materials are used.

In France, this reduction in thickness was initially stipulated to be 30% of the total pavement structure and subsequently lowered to 25% on the grounds of further study. Spain allows a 20% reduction in pavement thickness when a high modulus asphalt concrete is used in new road construction, as provided in CO10/2002. In rehabilitated pavements, in turn, the thickness may be reduced by 25%, relative to the thickness of the initial pavement.

This reduction makes high modulus asphalt concrete an attractive alternative in both new construction and pavement reinforcement. Where very thick pavement, over 12 cm, needs to be reinforced, savings in thickness can often be a determining factor in deciding the type of HMA to use, particularly if the existing pavement needs to be planed before proceeding to lay the new course. Examples include resurfacing in:

- Tunnels.
- Underpasses underneath motorways or expressways.
- Road sections with clearance restrictions.
- City streets.

The use of HMAC without reducing the thickness is very useful when, on a carriageway with several lanes of traffic, some of the lanes are much more heavily trafficked than others. The use of high modulus asphalt concrete in their construction optimises pavement thickness by simply differentiating the type of asphalt concrete to be used under each lane. High Modulus Asphalt Concrete is used for this reason in the following areas:

- Slow traffic lanes in both new road construction and roadway widening.
- Repair of heavily trafficked lanes.

One particular case which combined the above two criteria, i.e., thickness reduction and specific use in slow vehicle lanes, was the rehabilitation of the pavement on the southern segment of the ring road around Paris in 1992 and 1993. The work consisted of the following:

- Demolition – planing – of the entire pavement in the slow and medium speed vehicle lanes.
- Surface planing of the fast vehicle lane.

4.3. EJECUCIÓN

Las especificaciones para la ejecución de capas de firme con Mezclas de Alto Módulo son las mismas que para el resto de mezclas bituminosas en caliente, con las siguientes excepciones:

- La OC 5/2.001 fija un espesor de 6 a 12 cm para las capas de Mezcla de Alto Módulo. La OC 10/2.002 corrige a la anterior y fija unos espesores mínimo de 7 cm y máximo de 13 cm.
- La OC 10/2.002 indica que las Mezclas de Alto Módulo deberán emplearse exclusivamente en capas de base.
- La temperatura máxima de la mezcla al salir del mezclador de la central de fabricación no deberá exceder de 190 °C, salvo en centrales de tambor secador-mezclador, en las que no deberá exceder de 175 °C.

5. VENTAJAS DE SU UTILIZACIÓN

5.1. COMPORTAMIENTO A FATIGA

Las MAM son mezclas fabricadas con elevados contenidos de ligantes hidrocarbonados de baja viscosidad, utilizadas en capas de base. El ligante, de penetración 13 a 22 dmm, o en el caso de empleo de betunes modificados, de penetración 15 a 30 dmm, se dosifica en una cantidad similar e incluso superior al normalmente empleado para las capas de rodadura, lo que confiere a esta capa de base un comportamiento a fatiga muy bueno, muy superior al obtenido con la construcción de capas de base con mezclas bituminosas convencionales.

La durabilidad hasta el agotamiento por fatiga de un firme construido con una base de alto módulo será considerablemente superior al fabricado con mezclas bituminosas convencionales, para las mismas condiciones de tráfico. Como resultado de esta mejora de las características estructurales del firme se puede reducir considerablemente el espesor del paquete de mezclas bituminosas empleando Mezclas de Alto Módulo.

En Francia, esta reducción de espesor se estipuló en un principio en un 30% sobre el total del paquete de firmes, aunque estudios posteriores la dejaron en un 25%. En España, se admite que la reducción de espesor de un firme fabricado con Mezclas de Alto Módulo es del 20% cuando se trata de carreteras de nueva construcción, y así se recoge en la OC10/2002. La reducción de espesor en rehabilitaciones de firmes puede llegar al 25% sobre el espesor inicial del firme.

Esta reducción de espesor hace interesante su empleo tanto en firmes de nueva construcción como para refuerzos. En el caso de refuerzos de firme en los que el espesor sea considerable, superior a 12 cm, existen bastantes ejemplos en los que un ahorro de espesor puede ser determinante a la hora de elegir el tipo de MBC a emplear, especialmente si es necesario un fresado previo del firme existente. Algunos ejemplos pueden ser renovaciones en:

- Túneles.
- Pasos bajo autopistas o autovías.
- Tramos de carretera con condicionantes de gálibo.
- Calles en ciudades.

El empleo de MAM sin reducción de espesores es muy útil cuando, en una calzada con varios carriles de circulación, algunos de ellos están sometidos a un tráfico mucho mayor que el resto. Su construcción con MAM supone una optimización de los espesores de firme, simplemente diferenciando el tipo de mezcla a utilizar bajo cada carril. Por ello, las Mezclas Bituminosas de Alto Módulo son empleadas en los siguientes campos:

- Construcción de vías para vehículos lentos en carreteras tanto de nueva construcción como en ampliación de calzadas.
- Reparación de carriles de tráfico pesado.

Un caso particular que combina los dos criterios anteriores, reducción de espesor y utilización específica en carriles de vehículos lentos es la rehabilitación, en los años 1.992 y 1.993, del firme del Bulevar Periférico de París, en su zona sur. Los trabajos consistieron en:

- Demolición por fresado de toda la sección de firme de los carriles de vehículos lentos y e intermedio.
- Fresado superficial del carril de vehículos rápidos.

- Spreading and compaction of the planed materials for use as an 8-cm thick sub-base in the slow and medium speed vehicle lanes.
- Laying of the road base and binder course in the slow and medium speed lanes, each consisting of 11 cm of High Modulus Asphalt Concrete.
- Laying of a 4-cm porous wearing course over a waterproofing course spread across the entire road section.

5.2. PLASTIC STRAIN BEHAVIOUR

A second special advantage is the good plastic strain response in High Modulus Asphalt Concrete, or more precisely, in the combination of a high modulus asphalt concrete and a sand asphalt wearing course.

Rutting develops in roads due, in part, to the vertical plastic strain on the sub-grade. This vertical strain is transmitted through the entire pavement structure and is reflected in the wearing course as ruts. Limiting vertical strain on the sub-grade entails limiting the vertical stress on that layer. The sub-grade is subjected to significantly smaller vertical stress when covered with rigid than with more flexible materials. As discussed above, High Modulus Asphalt Concrete is more rigid than the Asphalt Concrete generally used in road bases, with much smaller e_{δ} values. Therefore, the use of High Modulus Asphalt Concrete delays rut development due to strain on the sub-grade.

Heavily trafficked roads (T00 and T0) in very warm climates are exposed to additional rutting risk, where the pavement surface reaches temperatures greater than or equal to the binder softening point. As a result of the high binder and low voids content in wearing courses, the expanding bitumen tends to separate the aggregate, with the concomitant rutting. This is why a minimum voids content of 4% is established for wearing courses intended for these categories of traffic. Furthermore, standard NLT-173 –on the pavement test track method for determining the plastic strain behaviour of Asphalt Concrete– lays down a maximum deformation rate for wearing courses in the 105- to 120-minute range, as determined by laboratory track tests.

The courses most sensitive to plastic strain are the ones in the upper 10 centimetres of the pavement, so this problem does not affect the wearing course only, but the course immediately beneath it. The problem is more acute when sand asphalt or pervious coated asphalt concrete is used as a wearing course, as these layers are usually no more than 4 cm thick. These types of asphalt concrete are made with modified bitumen, so initially they should behave properly under plastic strain. Nonetheless, they cannot be counted on because, due to their scant structural strength, they transmit loads to the lower courses, which must be designed to withstand such loads. The use of a binder with a higher than normal softening point in the under courses may be recommendable.

The preceding legislation, CO 299/89, stipulated that B40/50 grade bitumen was to be used on the wearing course and the layer underneath in warmer climates. The softening point for this type of bitumen is between 52 °C and 61 °C, compared to the 48 °C to 57 °C in B60/70 bitumens. Pursuant to the existing legislation as reflected in CO 5/2001, modified bitumen may be used as a binder in these courses in warmer climates with T00 and T0 traffic, as this material has been shown to perform well under plastic strain. If a High Modulus Asphalt Concrete is laid under a wearing course made of porous coated asphalt concrete or sand asphalt, the minimum softening point of grade B13/22 bitumen is set at 70 °C, while the softening point provided for the BM-1 bitumen used with category T00 and T0 heavy traffic is between 60 °C and 72 °C.

The contribution of binder type to rutting strength makes this asphalt concrete highly suitable for use in heavily trafficked roads built in areas where the summers are especially warm.

Nonetheless, account must be taken of the fact that, given the high temperatures reached in areas where pavements are prone to rutting, the pavement may also crack under heat stress. In such cases, the use of asphalt concrete made with modified bitumen is highly recommended, as it reduces this risk substantially.

5.3. USE OF MARGINAL AGGREGATES

In many areas of Spain, aggregates that meet binder course and road base requirements are becoming a scarce commodity. Specifically, Los Angeles abrasion is a factor that substantially limits the aggregate that can be used in these courses. Porphyry presents Los Angeles abrasion values of under 15. Siliceous aggregates usually have abrasion values of between 15 and 20. Calcareous aggregates generally have Los Angeles abrasion values ranging from 22 to 28, so their use in binder courses is not always possible. Other types of aggregates, such as granite, slate and sandstone, have abrasion values of over 25.

- Extendido y compactación del material procedente del fresado, como capa de sub-base de 8 cm de espesor, en los carriles de vehículos lentos e intermedio.
- Ejecución de las capas de base e intermedia en los carriles lento e intermedio, consistentes cada una de ellas en una capa de 11 cm de espesor de Mezcla de Alto Módulo.
- Ejecución de una capa de rodadura drenante de 4 cm de espesor, sobre una membrana de impermeabilización, extendida a todo el ancho de la sección.

5.2. RESISTENCIA A LAS DEFORMACIONES PLÁSTICAS

Una segunda ventaja esencial es la elevada resistencia a las deformaciones plásticas de las Mezclas de Alto Módulo, o, más exactamente, del conjunto Mezcla de Alto Módulo con una capa de rodadura conformada por un microaglomerado.

La aparición de roderas en una carretera se debe, en parte, a las deformaciones verticales plásticas que se producen en la explanada. Esta deformación vertical se transmite a través de toda la estructura del firme, reflejándose en la capa de rodadura, con la consiguiente aparición de roderas. Para limitar la deformación vertical de la explanada, es preciso limitar la tensión vertical en dicha capa. La tensión vertical es significativamente menor si sobre la explanada se colocan materiales rígidos que cuando se emplean materiales más flexibles. Como se ha visto anteriormente, las Mezclas de Alto Módulo son más rígidas que las mezclas utilizadas habitualmente en capas de base, con valores del parámetro e_8 mucho menores. El empleo de Mezclas Bituminosas de Alto Módulo retrasa, por tanto, la aparición de roderas debidas a las deformaciones sufridas por la explanada.

En zonas muy calurosas, cuando el tráfico es elevado (T00 y T0), existe un riesgo adicional para la aparición de roderas. La superficie del firme alcanza temperaturas iguales o superiores al punto de reblandecimiento del ligante. El elevado contenido de ligante empleado en capas de rodadura y el bajo índice de huecos de las mismas, supone que, al dilatarse el betún tenderá a separar los áridos con la consiguiente aparición de roderas. Por ello se establece un mínimo del 4% en el índice de huecos para capas de rodadura con estas categorías de tráfico. Además se limita para las capas de rodadura su máxima velocidad de deformación en ensayo de pista de laboratorio, NLT-173, "Resistencia a la deformación plástica de las mezclas bituminosas mediante la pista de ensayo de laboratorio", en el intervalo de 105 a 120 minutos.

Las capas más sensibles a las deformaciones plásticas son las que se encuentran en los diez centímetros superiores del paquete de firmes, por lo que este problema no afecta exclusivamente a la capa de rodadura, sino también a la inmediatamente inferior. Esto queda acentuado cuando, como capa de rodadura, se emplea un microaglomerado o una mezcla drenante, cuyos espesores no suelen exceder de los 4 cm. Estos dos tipos de mezclas se fabrican con betunes modificados, por lo que en principio se deberían comportar correctamente frente a las deformaciones plásticas. Sin embargo no se puede contar con ellos debido a su escasa capacidad estructural, por lo que transmiten las cargas a las capas inferiores, que deben tener una capacidad adecuada. La disposición en las capas inferiores de una mezcla cuyo ligante tenga un punto de reblandecimiento mayor al habitual puede resultar conveniente.

En la normativa anterior, la OC 299/89, se establecía para zonas cálidas un betún B40/50 para la capa de rodadura y siguiente. El punto de reblandecimiento de este tipo de betún se sitúa entre 52 y 61 °C, frente a los 48 a 57 °C de los betunes B60/70. Actualmente, la OC 5/2001 establece que el ligante a emplear en estas capas para zonas cálidas y tráfico T00 y T0 pueda ser también un betún modificado, pues se ha comprobado su buen comportamiento frente a las deformaciones plásticas. Si se utiliza una Mezcla de Alto Módulo bajo una capa de rodadura drenante o un microaglomerado, el punto de reblandecimiento mínimo del betún B13/22 es de 70 °C, estando el punto de reblandecimiento del BM-1 utilizado con tráfico pesado de categoría T00 y T0 entre 60 y 72 °C.

Esta contribución del tipo de ligante empleado a la resistencia a la aparición de roderas hace que este tipo de mezclas sea muy apropiada en el caso de que la zona térmica estival en donde se sitúe la carretera sea cálida y la categoría de tráfico elevada.

Sin embargo, es necesario tener en cuenta que, dadas las altas temperaturas alcanzadas en las zonas susceptibles de aparición de roderas, puede darse un problema de agrietamiento del firme de origen térmico. Por ello, sería conveniente que se fabricara este tipo de mezcla con betunes modificados, pues éstos reducen notablemente este riesgo.

5.3. UTILIZACIÓN DE ÁRIDOS MARGINALES

Existen amplias zonas de España con una creciente escasez de áridos que cumplan las características requeridas para las capas intermedias y de rodadura. Concretamente, el Desgaste de Los Ángeles es un factor que establece una limitación importante en el árido a emplear en estas capas. Los pórfidos presentan Desgastes de Los Ángeles

The paucity of aggregates that meet the standards required for binder courses entails hauling them from long distances, which in turn has an inordinate impact on pavement construction costs. The reduced thickness possible when HMAC is used as a binder course helps alleviate this problem.

Indeed, although the legislation presently in effect, CO 10/2002, limits the use of this type of asphalt concrete to road base construction, prior to its entry into force binder courses had been laid using HMAC with aggregates showing Los Angeles abrasion values of over 25 and under 30, i.e., aggregates not suitable for this type of courses when conventional asphalt concrete is used.

The use of such aggregates in High Modulus Asphalt Concrete not only involves a savings in terms of pavement thickness, but has, in the past, also enabled the use of aggregates found near the work site, something that would not have been possible with traditional solutions. Nonetheless, since the afore-mentioned circular order prohibits the use of High Modulus Asphalt Concrete in binder courses and since sufficient time has not yet lapsed since the above road was built to verify its long-term performance, the use of High Modulus Asphalt Concrete in binder courses with aggregates not suitable for these courses must be preceded by an exhaustive study justifying such use.

In France experience has been acquired with the manufacture of HMAC containing aggregates with less than 100% of fractured faces. It was found to resist fatigue well, but responded poorly to plastic strain. Whilst the existing legislation allows proportions of buckshot sand of less than 10% of the total aggregate mix by weight, this procedure is not advisable in the manufacture of High Modulus Asphalt Concrete.

6. LIMITATIONS

The Ministry of Public Works and Transport Service Note High Modulus Asphalt Concrete road bases provided that this type of asphalt concrete should be laid on cement-stabilised soil, in turn supported by cement-stabilised sub-grades. This note also called for E3 category sub-grades and recommended increasing the depth of the sub-grade to be stabilised to 18 cm, up from the 15 cm envisaged in former Code 6.1 and 2-IC on pavement sections.

New CO 10/2002, which revises Code 6.1 and 2-IC on pavement sections, allows the use of HMAC as a road base only, with a 20% reduction in thickness relative to the total asphalt concrete thickness. High modulus courses may be laid on either granular or cement-stabilised soil sub-bases, providing the thickness of the hot-laid asphalt concrete is greater than or equal to 25 cm and the road is built on a category E2 or E3 sub-grade. This circular order stipulates that E3 category sub-grades must comprise at least 25 cm of type S-EST3 stabilised soil; no requirement to stabilise E2 category sub-grades is mentioned, although this would be frankly recommendable if High Modulus Asphalt Concrete is to be used, to limit plastic strain on the road foundation.

Another drawback to be taken into consideration is reflection cracking due to contraction in cement-treated materials, which is increased by the reduction of course thickness involved in the use of High Modulus Asphalt Concrete. Reflection cracking has been observed to develop more rapidly in high modulus than in traditional asphalt concrete courses because the former are substantially thinner.

In France such reflection cracking has been found to develop sooner in new pavements and much later in pavement reinforcements. This means that particular attention must be paid to the cement dosage in the materials to be treated. The use of high early strength cements is totally inadvisable. The curing process of cement-treated materials must also be closely monitored, and the road must be closed to traffic during this process to attempt to minimise cracking that may be reflected in the high modulus courses.

High Modulus Asphalt Concrete must be laid thickly. CO 5/2001 specified a minimum thickness of 6 cm, but studies conducted by the CEDEX indicate that layers should never be under 7 cm thick, which is the minimum thickness stipulated in CO 10/2002, presently in force. This is to prevent brittle course fracture or rapid chilling during the laying operation. As discussed below, due to the rigidity of this type of material, it must be compacted at temperatures higher than required for other types of asphalt concrete. Rapid chilling of the material after spreading prompts cracking during compaction, rendering the reflection cracking problem discussed above the more acute. Furthermore, as noted in the foregoing discussion, high modulus asphalt concrete is very sensitive to variations in thickness. The service life increases six-fold when 10-cm instead of 8-cm courses are used.

High Modulus Asphalt Concrete cannot be used in wearing courses because its surface is slippery. Because of its high bitumen and filler content, this material has a very smooth texture that is not safe for vehicle traffic. Nonetheless, in France a new type of asphalt concrete with a modified composition is already in use as a wearing

inferiores a 15. Los áridos de naturaleza silícea suelen tener un desgaste que se sitúa entre 15 y 20. Los áridos calizos suelen presentar Desgastes de Los Ángeles entre 22 y 28, por lo que su empleo en capas intermedias no siempre es posible. Otros tipos de áridos como los granitos, pizarras, areniscas, presentan desgastes superiores a 25.

La dificultad de encontrar áridos que cumplan las características exigidas para las capas intermedias supone su transporte a largas distancias, lo que incrementa en exceso el coste de los firmes construidos. La reducción de espesor que supone la utilización de MAM como capa de base supone un alivio al problema.

Por otro lado, aunque la actual OC 10/2.002 limita el empleo de este tipo de mezclas para capas de base, existe experiencia, anterior a la aparición de dicha Orden Circular, de su utilización en capas intermedias, con áridos con Desgastes de Los Ángeles de valores superiores a 25 e inferiores a 30, es decir, de áridos no aptos para este tipo de capas cuando se empleaban mezclas convencionales.

La utilización de este tipo de árido en Mezclas de Alto Módulo no sólo ha supuesto un ahorro en el espesor de los firmes dispuestos, sino que además ha permitido la utilización de áridos de las zonas en donde se ubicaban las obras lo cual no hubiera sido posible con soluciones clásicas. Sin embargo, dado que la citada Orden Circular prohíbe el empleo de las Mezclas de Alto Módulo para capas intermedias, y puesto que aún no ha transcurrido el tiempo suficiente desde su construcción para comprobar el comportamiento a largo plazo de la experiencia antes mencionada, el empleo de Mezclas de Alto Módulo en capas intermedias con áridos no aptos para este tipo de capas debería ir precedido de un estudio exhaustivo que lo justificara.

En Francia hay experiencias de fabricación de MAM con áridos cuyo porcentaje de caras fracturadas era inferior al 100%. Se ha constatado una buena resistencia a fatiga, aunque con una mediocre resistencia a las deformaciones plásticas. Es desaconsejable el empleo de arena rodada, en cantidades inferiores al 10% sobre el peso total del árido es admitido por la normativa vigente, en la fabricación de Mezclas Bituminosas de Alto Módulo.

6. LIMITACIONES EN LA UTILIZACIÓN

En la Nota de Servicio del Ministerio de Obras Públicas y Transportes "Sobre el empleo de mezclas de alto módulo para capas de base de los firmes de carretera", se indicaba que este tipo de mezcla debía ser utilizado sobre sub-bases de suelo cemento, a su vez apoyadas en explanadas estabilizadas con cemento. La categoría de la explanada estabilizada debía ser E3. Se consideraba conveniente aumentar a 18 cm el espesor de explanada a estabilizar, en lugar de los 15 cm que figuran en la antigua Instrucción 6.1 y 2-IC sobre Secciones de Firme.

La nueva OC 10/2.002, que revisa precisamente la Instrucción 6.1 y 2-IC sobre Secciones de Firme, permite el empleo de MAM únicamente como capa de base, con una reducción de espesor que suponga el 20% del total del espesor de las mezclas bituminosas. El apoyo de las capas de Mezcla de Alto Módulo puede ser tanto sobre sub-bases granulares como sobre suelo cemento, siempre y cuando el espesor de mezcla bituminosa en caliente sea superior o igual 25 cm y la categoría de la explanada sea E2 ó E3. En esta Orden Circular se prevé que las explanadas de categoría E3 se constituyan con al menos 25 cm de suelo estabilizado tipo S-EST3. Sin embargo, para las explanadas de categoría E2 no se precisa la necesidad de estabilizar con cemento, lo que sería conveniente, si se emplean Mezclas de Alto Módulo, para limitar las deformaciones plásticas en la explanada.

Por otra parte, existe el inconveniente de reflexión de fisuras de retracción de materiales tratados con cemento, que se ve incrementado por la reducción de espesores que supone la utilización de Mezclas de Alto Módulo. Se ha observado que la reflexión de estas fisuras es más rápida en capas de alto módulo que en capas conformadas por mezclas tradicionales, debido al menor espesor de las primeras.

Se ha detectado en Francia que esta reflexión de fisuras es mayor en firmes nuevos y mucho más lenta en refuerzos. Por ello se hace necesario cuidar al máximo la dosificación de cemento de los materiales a tratar. La utilización de cementos de alta resistencia inicial es totalmente desaconsejable. También se debe extremar el proceso de curado de los materiales tratados con cemento, así como el cierre al tráfico de obra durante el mismo, para intentar limitar en la mayor medida posible la aparición de fisuras que potencialmente se pueden reflejar a lo largo de las capas de alto módulo.

Las Mezclas de Alto Módulo se deben colocar en capas gruesas. La OC 5/2001 especificaba un espesor mínimo de 6 cm, pero los estudios realizados por el CEDEX aconsejan no bajar nunca de los 7 cm, espesor mínimo recogido en la actual OC 10/2.002. Con ello se pretende evitar la rotura frágil de la capa o su enfriamiento rápido en la puesta en obra. Como se verá más adelante, la rigidez de este tipo de material hace que se deba compactar a una temperatura superior

course, in which discontinuous grading is employed along with modified bitumens to obtain greater macrotexture. Under such conditions, thicknesses of less than 6 cm have been used in these wearing courses.

The aggregates to be used in High Modulus Asphalt Concrete must be clean. The sand equivalent specifications provided in CO 5/2001 are the same as for all other hot mix asphalts. However, substantially poorer characteristics have been obtained with aggregates with a sand equivalent of under 60, as the reserve strength in such pavements tends to be low.

Another limitation to the use of High Modulus Asphalt Concrete is that its thermal sensitivity, due to the inherent rigidity of the material, can cause contraction cracking. For this reason, its use in areas where temperatures vary over a wide range is not advisable. This problem can be solved with modified bitumens, which reduce the risk of temperature-related cracking.

Finally, attention is drawn to the poor performance of high modulus courses in the event of course detachment. Indeed, due to its rigidity, the material cracks if it becomes detached from the course beneath or above it. High Modulus Asphalt Concrete is characterised by good adhesion to courses of its same or any other nature. However, sparing or incorrect road oiling and/or tack coating may have very adverse consequences for pavement performance as a whole.

7. PAVEMENT DIMENSIONING

In an expressway section built between 1996 and 1998, the pavement structure was designed to the requirements laid down in Section 123 of former Code 6.1 and 2-1.C, consisting of 50 cm of E2 sub-grade, 20 cm of cement-stabilised soil and 25 cm of hot mix asphalt, divided into three courses (a 13-cm G-20 type road base, a 6-cm S-20 type binder course and a 6-cm D-20 type wearing course).

Two alternative solutions were also studied:

- The solution described in Section 133 of the pavement catalogue, consisting of 50 cm of E3 sub-grade obtained using suitable soil, cement-stabilised in the upper 15 cm, 20 cm of cement-stabilised soil as a sub-base and 22 cm of asphalt concrete, divided into a 12-cm G-20 road base, a 6-cm type S-20 binder course and 4-cm type PA-12 porous asphalt concrete wearing course.
- A design consisting of 50 cm of E3 sub-grade obtained using suitable soil, cement-stabilised in the upper 15 cm, 20 cm of cement-stabilised soil as a sub-base and 18 cm of asphalt concrete, divided into a 7-cm high modulus road base, a 7-cm High Modulus Asphalt Concrete binder course and a 4-cm PA-12 type porous asphalt concrete wearing course.

The second option was chosen, with a single variation: the upper 18, rather than 15, cm of the sub-grade were cement-stabilised.

The following is a description of the study conducted to compare the three solutions, i.e., the design solution plus the two alternatives. In the calculations performed the sub-grade in both the Section 133 and High Modulus Asphalt Concrete solutions was assumed to consist of standard E3 soil; i.e., stabilisation of a deeper portion of the upper part of the sub-grade was disregarded, in favour of wider safety margin. In the survey discussed below, three possible HMAC thickness values were considered, 12, 14 and 16, divided into two courses.

In the pavements defined in the design, the expressway trunkline was assumed to bear category T1 traffic. The sections were engineered based on a 13-t load, applied with two pairs of dual wheels. Each wheel pair was assumed to transmit half the load, i.e., 6.5 t, and the wheels in each pair were considered to be 37.5 cm apart. In the calculation programs the surface through which tyre loads were transmitted was assumed to be circular with a radius of 12.5 cm and the pressure used was 6.62 kg/cm².

The characteristics of the materials considered were as proposed by the CEDEX for both asphalt concrete and cement-stabilised soil and sub-grades. A simplification introduced whereby conventional hot mix asphalts were assumed to meet G-20 (the thickest course) standards also worked in favour of a greater safety margin. These specifications are summarised in the chart below:

a la necesaria para otros tipos de mezclas. Un enfriamiento rápido del material extendido provoca la aparición de fisuras durante la compactación, lo que favorece aún más el problema señalado anteriormente de reflexión de fisuras. Por otro lado, ya se ha visto que el comportamiento de las Mezclas de Alto Módulo es muy sensible a las variaciones de espesor. La vida útil de servicio se multiplica por 6 pasando de un espesor de 8 cm a 10 cm.

Las Mezclas de Alto Módulo no pueden ser empleadas como capas de rodadura, debido a que presentan superficies deslizantes. El alto contenido de betún y de filler le da a este tipo de capas una textura muy lisa, no apta para la circulación de vehículos en condiciones de seguridad. Sin embargo, ya se está empleando en Francia un nuevo tipo de mezcla con su formulación modificada, empleando granulometrías discontinuas para conseguir mayor macrotextura y betunes modificados, que permita su empleo como capa de rodadura. Estas mezclas, empleadas en capas de rodadura, se han utilizado *con* espesores inferiores a 6 cm.

Los áridos a emplear en Mezclas de Alto Módulo deben ser áridos limpios. La especificación de equivalente de arena dada en la OC 5/2001 es la misma que para el resto de mezclas bituminosas en caliente. Sin embargo, se ha comprobado que con áridos cuyo equivalente de arena sea menor de 60 las características obtenidas empeoran sensiblemente, presentando una baja resistencia conservada.

Otra limitación en el empleo de las Mezclas de Alto Módulo es su sensibilidad térmica, debida a su rigidez, que pueden llevarla a la rotura frágil por retracción. Por ello no es aconsejable su empleo en zonas con grandes variaciones de temperatura. Una solución a este problema son los betunes modificados, que reducen el riesgo de roturas de la capa por efecto de variación de la temperatura.

Finalmente, cabe señalar que las capas de alto módulo no presentan un buen comportamiento cuando se produce un despegue entre capas. En efecto, la rigidez del material provoca roturas del mismo si se despega la capa subyacente o la superior. Las Mezclas de Alto Módulo presentan buena adherencia entre capas tanto de la misma naturaleza como de distinta naturaleza. Un ahorro o incorrecta aplicación de los riegos de imprimación y/o adherencia puede tener consecuencias muy perjudiciales en el comportamiento conjunto del firme.

7. DIMENSIONAMIENTO DE UN FIRME

En un tramo de autovía construido entre los años 1.996 y 1.998, el Proyecto establecía como sección de firme la correspondiente a la Sección 123 de la anterior Instrucción 6.1 y 2-I.C., compuesta por 50 cm de explanada E2, 20 cm de suelo cemento y 25 cm de mezclas bituminosas en caliente distribuidas en tres capas (una capa de base de 13 cm de mezcla tipo G-20, una capa intermedia de 6 cm de mezcla tipo S-20 y una capa de rodadura de 6 cm de mezcla tipo D-20).

Se estudiaron dos soluciones alternativas:

- La Sección 133 del catálogo de firmes, compuesta por 50 cm de explanada E3, obtenidos con suelos adecuados estabilizados con cemento en sus 15 cm superiores, 20 cm de suelo cemento como capa de sub-base y 22 cm de mezclas bituminosas, distribuidas en 12 cm de mezcla tipo G-20 como capa de base, 6 cm de mezcla tipo S-20 como capa intermedia y 4 cm de mezcla drenante tipo PA-12 para la rodadura.
- Una sección compuesta por 50 cm de explanada E3, obtenidos con suelos adecuados estabilizados con cemento en sus 15 cm superiores, 20 cm de suelo cemento como capa de sub-base y 18 cm de mezclas bituminosas, distribuidos en una capa de base de alto módulo de 7 cm de espesor, una Mezcla de Alto Módulo como capa intermedia de 7 cm de espesor y una mezcla drenante tipo PA-12 como rodadura de 4 cm de espesor.

Se optó por la segunda solución con una variante, consistente en la estabilización con cemento de los 18 cm superiores de la explanada, en lugar de los 15 cm inicialmente previstos.

A continuación se describe el estudio realizado, consistente en la comparación de las tres soluciones, Proyecto más las dos alternativas. Para los cálculos realizados se considera que, tanto en la Sección 133 como en la solución con Mezclas de Alto Módulo, la explanada consiste en un suelo con características de E3, es decir, no se considera la estabilización de la parte superior de la explanada, lo cual está del lado de la seguridad. En el estudio descrito a continuación se considera como hipótesis tres posibles espesores de MAM, 12, 14 y 16 cm, distribuidos en dos capas.

En los firmes definidos en el Proyecto se considera que el tráfico considerado en el tronco de la autovía es un T1. Para el cálculo de las secciones se ha utilizado una rueda de 13 toneladas, introduciendo como cargas un par de

COURSE	YOUNG'S MODULUS MPa	POISSON COEFF.
PA-12	2,000	0.35
HMA (G-20)	5,000	0.35
HMAC	12,500	0.35
Cement-stabilised soil	5,000	0.30
E2 Sub-grade	1,000 (10 x CBR)	0.40
E3 Sub-grade	2,000 (10 x CBR)	0.40

Alize software was used to compute High Modulus Asphalt Concrete (HMAC) pavements with 12, 14 and 16 cm and the results were compared to the results obtained for pavements designed to the specifications of Sections 133 and 123 of the former code. The sub-grade and cement-stabilised soil sub-base assumed were the same in the High Modulus Asphalt Concrete and section 133 calculations. The results obtained are shown in the table below:

HMAC THICKNESS (cm)	SHEAR STRESS ON CSS (Kg/cm ²)	SHEAR STRAIN ON ASPHALT CONCRETE (microstrain units)	Log N: LOAD CYCLES	VERTICAL STRESS ON SUB-GRADE (Kg/cm ²)	VERTICAL STRAIN ON SUB-GRADE (microstrain units)
12	4.912	77.7	7.033	0.587	221.8
14	4.239	72.0	7.196	0.530	197.7
16	3.640	66.8	7.355	0.476	175.3
Section 123	4.345	102.4	5.790	0.311	221.3
Section 133	4.061	99.1	5.850	0.511	190.4

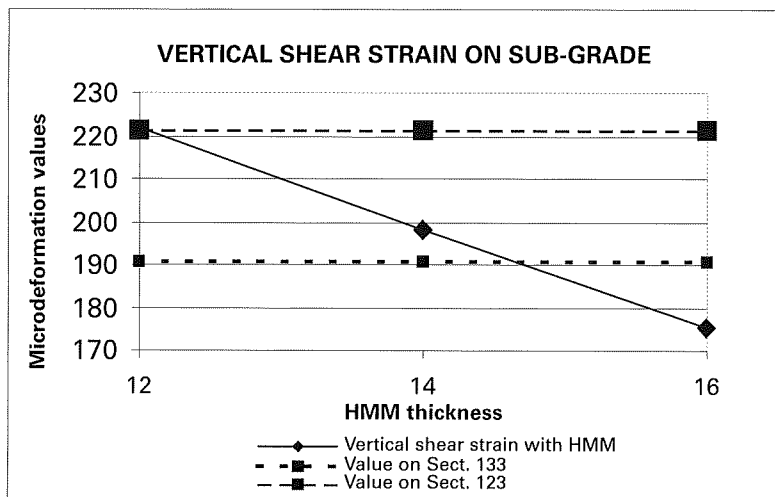
The laws of fatigue, as noted above, are expressed as follows:

$$\text{Log } \epsilon = A + B \text{ Log } N$$

The values used for parameters A and B, proposed by CEDEX for a G-20 HMA with a dynamic modulus of 5,000 MPa and a High Modulus Asphalt Concrete with a dynamic modulus of 12,500 MPa, are given in the following table:

	A	B
HMAC	3.326	-0.2041
HMA (G-20)	3.400	-0.2400

The results obtained for these calculations are shown and can be analysed in the following graphs:



ruedas gemelas. Cada par de ruedas gemelas transmite la mitad de la carga, es decir, 6,5 toneladas. Las ruedas gemelas están separadas entre sí 37,5 cm. en los programas de cálculo, se supone que la superficie por la que el neumático transmite las cargas es circular de radio 12,5 cm, con una presión transmitida de 6,62 Kg/cm².

Las características de los materiales considerados son las propuestas por el Cedex tanto en mezclas bituminosas como para suelo cemento y explanadas. Como simplificación, y desde el lado de la seguridad, se considera que las mezclas bituminosas en caliente clásicas tienen las características de una G-20, que es la capa de mayor espesor. Las características de los materiales se reflejan en el siguiente cuadro:

CAPA	MÓDULO DE YOUNG MPa	COEFF. POISSON
PA-12	2.000	0,35
MBC (G-20)	5.000	0,35
MAM	12.500	0,35
Suelo cemento	5.000	0,30
Explanada E2	1.000 (10 x CBR)	0,40
Explanada E3	2.000 (10 x CBR)	0,40

Se calculan mediante el programa Alize los firmes con 12, 14 y 16 cm de Mezcla de Alto Módulo, MAM, y se comparan con los resultados obtenidos para las Secciones 133 y 123 de la antigua Instrucción. En los cálculos de la Mezcla de Alto Módulo se supone el mismo tipo de explanada y de sub-base de suelo cemento que para la Sección 133. Los resultados obtenidos se reflejan en la tabla siguiente:

ESPESOR MAM (cm)	TENSIÓN TANGENCIAL SC (Kg/cm ²)	DEFORMACIÓN TANGENCIAL MEZCLAS (microdeformac.)	Log N: CICLOS DE CARGA	TENSIÓN VERTICAL EXPLANADA (Kg/cm ²)	DEFORMACIÓN VERTICAL EXPLANADA (microdeformac.)
12	4,912	77,7	7,033	0,587	221,8
14	4,239	72,0	7,196	0,530	197,7
16	3,640	66,8	7,355	0,476	175,3
Sección 123	4,345	102,4	5,790	0,311	221,3
Sección 133	4,061	99,1	5,850	0,511	190,4

Las leyes de fatiga, como se ha indicado anteriormente, tienen la forma:

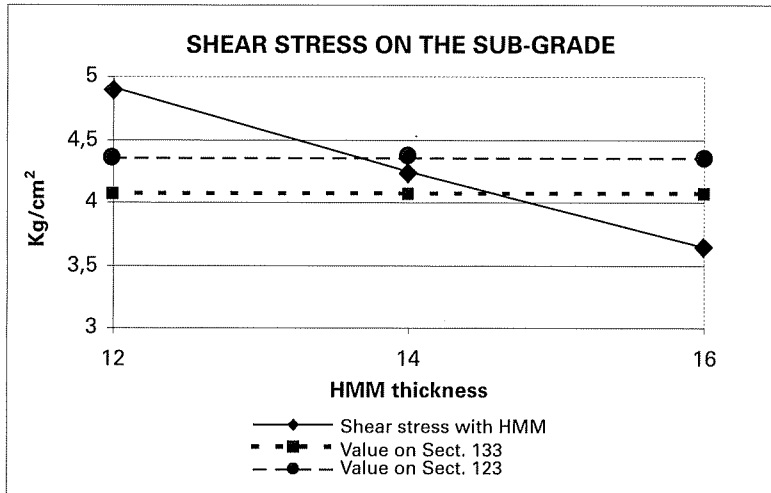
$$\text{Log } \varepsilon = A + B \text{ Log } N$$

Los valores utilizados para los parámetros A y B, propuestos por el Cedex para una mezcla tipo G-20 de módulo dinámico 5.000 MPa y para una MAM de módulo dinámico 12.500 Mpa, son los que se incluyen en la siguiente tabla:

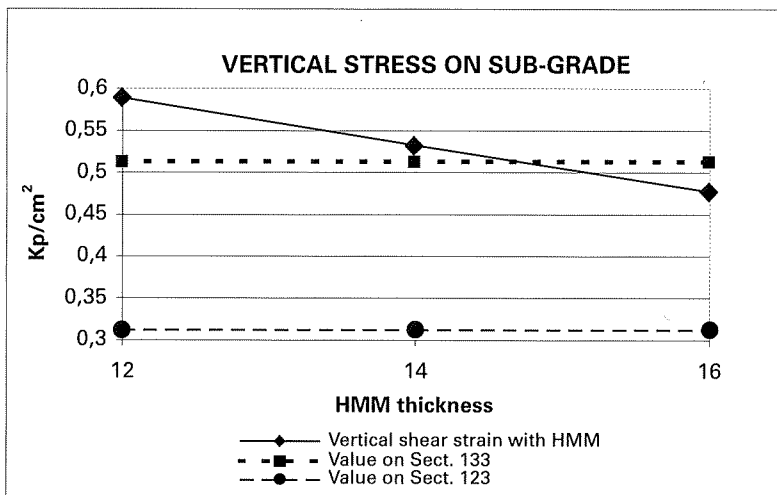
	A	B
MAM	3,326	-0,2041
MBC (G-20)	3,400	-0,2400

Los resultados obtenidos en el cálculo se pueden reflejar y analizar en los siguientes gráficos:

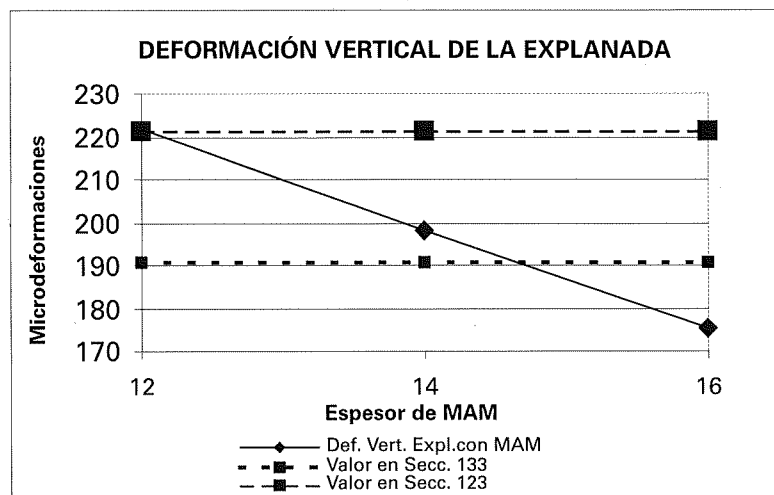
The vertical strain on the sub-grade must be controlled to prevent plastic deformation, which would be transmitted through the structure. The same value was found for a Section 123 course and a 12-cm layer of High Modulus Asphalt Concrete. A 14-cm course of High Modulus Asphalt yielded results that are very similar to the values found for a Section 133 course. With High Modulus Asphalt Concrete courses 16 cm thick the vertical strain was observed to be substantially lower than the strain values obtained under the conditions specified for the code sections studied.



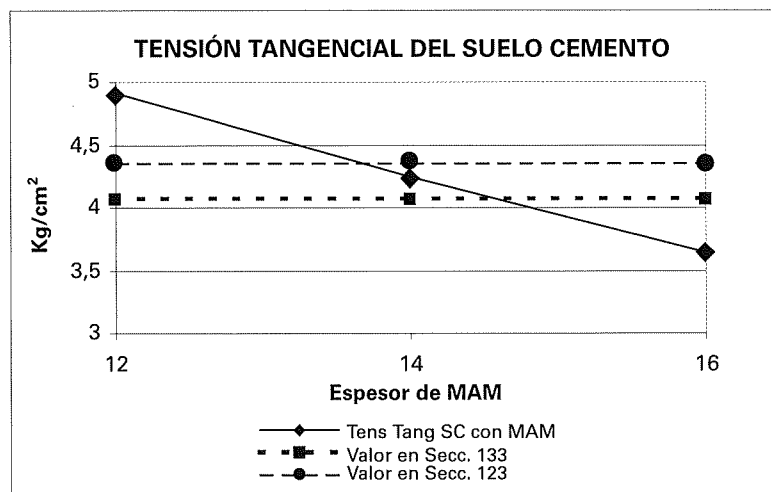
The fatigue resistance of this course is largely determined by the shear stress on the cement-stabilised soil. The values found for sections 123 and 133 of the former code were similar to the values for a solution involving a 14-cm course of high modulus asphalt concrete. Pavement performance proved to be substantially poorer with thinner HMAC layers. When a thickness of 16 cm was used in the calculations, the results were much better than for the code sections studied.



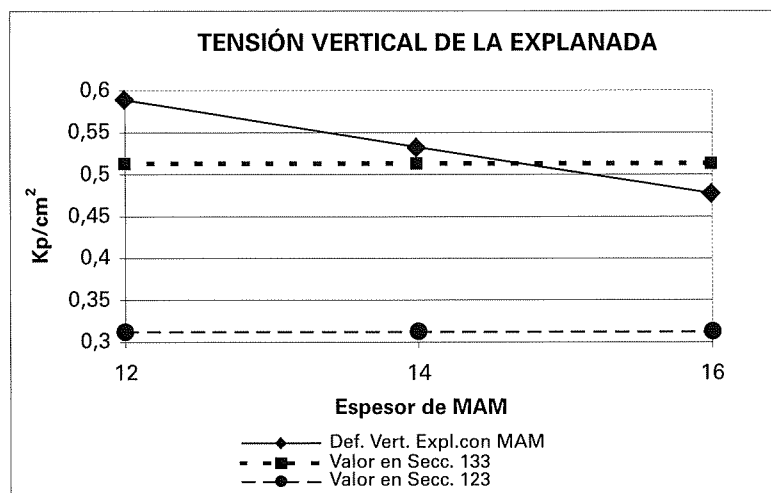
Vertical stress on the sub-grade measures the ability of the pavement structure to spread loads over this road foundation. Although the value obtained for the Section 123 alternative is included hereunder, it should be disregarded in respect of this parameter, since the lower category of its sub-grade precludes comparison to the other solutions studied. The results for Section 133 and a 14-cm course of High Modulus Asphalt Concrete were observed to be similar, but slightly better for the former. A 16-cm course of High Modulus Asphalt Concrete yielded much better results than the Section 133 alternative.

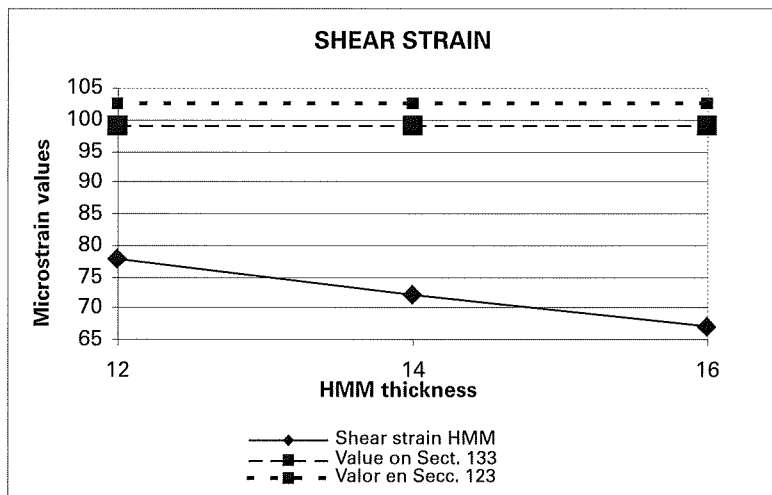


La deformación vertical de la explanada debe limitarse para evitar deformaciones plásticas que se transmitan a lo largo de toda la estructura. Es la misma para la Sección 123 que para una espesor de Mezcla de Alto Módulo de 12 cm de espesor. Con 14 cm de Mezcla de Alto Módulo es muy similar a la que se obtendría con la Sección 133. Con 16 cm de Mezcla de Alto Módulo la deformación vertical es sensiblemente inferior a las obtenidas con las Secciones de la Instrucción estudiadas.

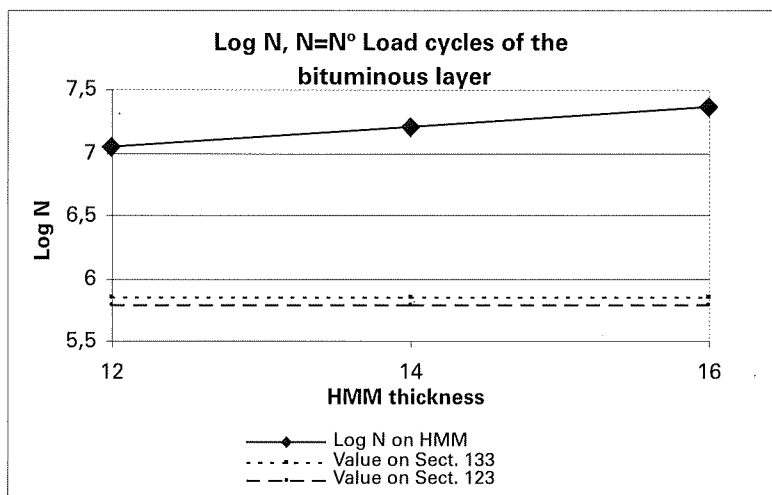


La tensión tangencial del suelo cemento es la que condiciona la resistencia a fatiga de esta capa. Se puede observar que ofrece un valor similar para las Secciones 123 y 133 de la antigua Instrucción y para la solución de 14 cm de Mezcla de Alto Módulo. Con menos espesor de Mezcla de Alto Módulo el comportamiento del firme empeora sensiblemente. Con 16 cm de Mezcla de Alto Módulo se obtiene un resultado muy mejorado respecto a las Secciones estudiadas.





Fatigue behaviour in asphalt courses is primarily determined by shear strain. Performance was found to be much enhanced even when only 12-cm High Modulus Asphalt Concrete layers were used, compared to the code section designs.



The graph below shows the number of load cycles that the pavement can bear before fatigue distress develops. The results suggested in the preceding graph can be clearly observed here: even 12-cm courses of High Modulus Asphalt Concrete perform much better than the code section alternatives, as they bear up under a larger number of cycles before reaching fatigue distress.

It may be concluded from the foregoing that the solution ultimately adopted for this section of expressway, consisting of 14 cm of High Modulus Asphalt Concrete laid on a 20-cm cement-stabilised soil sub-base and over a 50-cm E3 sub-grade, and the entire structure covered with 4 cm of porous asphalt concrete as a wearing course, is equivalent to a Section 133 pavement as specified in former Code 6.1 and 2-I.C, but with significantly enhanced fatigue behaviour. The clear improvement over the solution defined in the design is attributable in part to the use of an E3 instead of an E2 sub-grade.

The savings in asphalt concrete thickness obtained with the solution finally adopted came to 18.2% with respect to the Section 133 pavement, which is very close to the 20% savings envisaged in CO 10/2002. The savings in thickness compared to the Section 123 solution, i.e., the design solution, was 28%. The pavement could have been greatly improved if 16-cm courses of High Modulus Asphalt Concrete had been employed, but in that case the savings with respect to Section 133 would have been a mere 9.1%; such a solution would not have been cost-effective, given the higher cost of low penetration as compared to traditional bitumen and the higher binder content called for in high modulus asphalt concrete.

8. DOSAGE CRITERIA

The following is a discussion of the dosage criteria followed in a section of expressway built in 1998.

The requirements considered for dosage of the High Modulus Asphalt Concrete used in the road base and binder course were as set out in the Ministry of Public Works and Transport "Service note on the use of High Modulus Asphalt Concrete in road pavements". This was the only regulation available when the pavement was built, namely in 1998. The requirements laid down in CO 5/2001 appeared three years later, although they essentially concur with the provisions contained in the service note. The specifications for High Modulus Asphalt Concrete stipulated in the latter, which distinguishes between this type of asphalt concrete and conventional HMAs, are as follows:

- The mixing temperatures for High Modulus Asphalt Concrete may be 10° higher than for conventional hot mix asphalts.
- 13/22 bitumen binder must be used, the specifications for which, included in the service note, are as laid down in Article 211 of standard PG-3.
- An S-20 grading curve must be applied, with a mineral dust content of over 6% of the total aggregate mix by weight.
- A weighted ratio of mineral dust to hydrocarbon binder content of 1.3 must be observed.
- The maximum laboratory test track deformation rate in the 105- to 120-minute range allowed, pursuant to standard NLT-173, is 12 µm/min.
- The dynamic modulus in simple dynamic compressive stress trials, conducted pursuant to standard NLT-349, at 20 °C and 10 Hz, must be higher than 11,000 MPa.
- The minimum hydrocarbon binder dosage must not be under 5.5% of the total aggregate mix by mass, including mineral dust.

The property that defines a High Modulus Asphalt Concrete, as sustained throughout this article, is the dynamic modulus, which must be greater than 11,000 MPa. The recommended value for this modulus, however, is over 12,000 MPa. This should be the key property when defining the dosage of a High Modulus Asphalt Concrete. Nonetheless, given the complexity of the test involved and the machinery required, it cannot be conducted continuously, hindering both dosage and control of this type of asphalt concrete.

Consequently, a series of requirements that can be determined by means of simple tests must be established for High Modulus Asphalt Concrete. Once the dose that meets such requirements is found, its plastic strain response and dynamic modulus must be determined by conducting the respective tests to confirm the validity of the proposed dosage.

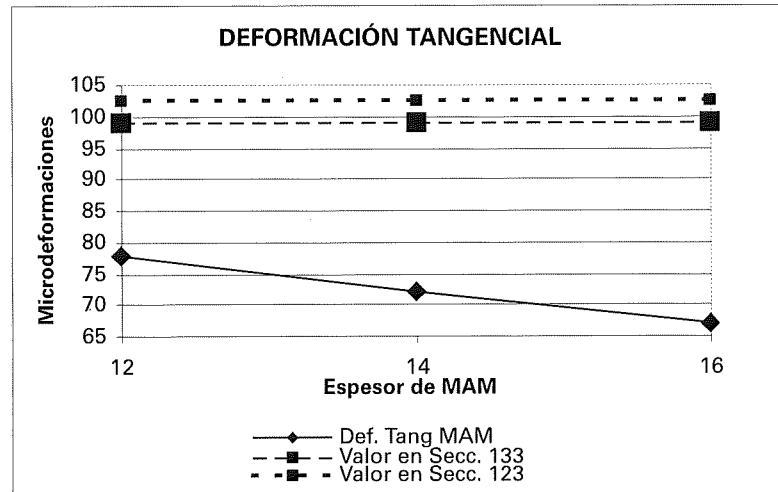
The parameters characteristic of High Modulus Asphalt Concrete not laid down in the legislation, but determined by simple tests and used as dosage criteria, are as follows:

- Stability: > 20 KN
- Deformation: 2-4 mm
- Voids content: 3-5%
- Immersion – compression test:
 - Unsoaked specimen strength: > 60 Kg/cm²
 - Reserve strength: > 80%

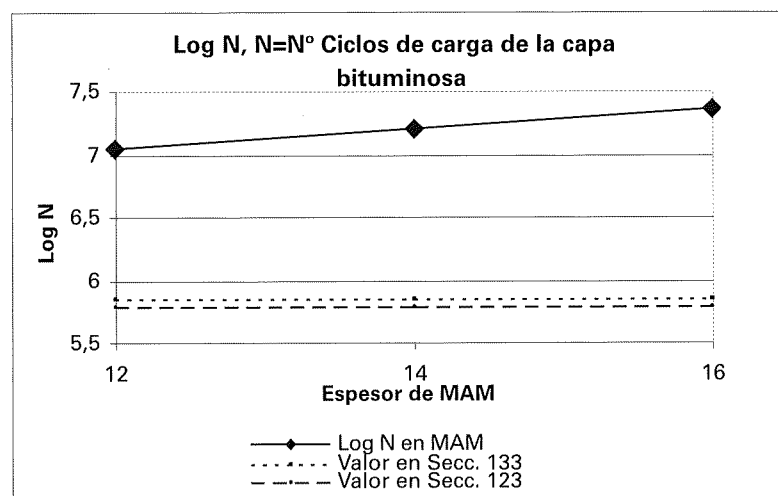
The aggregates available for mixing the high modulus asphalt were crushed gravel and sandstone, with a mean sand equivalent of 66.6% and a Los Angeles abrasion value of 28.1. These aggregates would not have been suitable for use as a binder course in conventional asphalt concrete.

The importance of using clean aggregates to manufacture this type of asphalt concrete was stressed in the foregoing discussion; specifically, they should have a sand equivalent of over 60%. Consequently, the aggregates at hand were apt for high modulus asphalt concrete production but would not have been usable as a binder course with the solutions set out in the existing legislation. Gravel grading was 0/6, 6/12, 12/18 and 18/25 mm.

La tensión vertical de la explanada mide la capacidad de reparto del paquete de firmes sobre la explanada. Aunque se incluye el valor obtenido para la Sección 123, esta Sección no debe ser considerada a la hora de estudiar este parámetro, debido a que la categoría de la explanada es inferior a la del resto de soluciones estudiadas, por lo que no es comparable. Se observa que los resultados obtenidos para la Sección 133 y para 14 cm de Mezcla de Alto Módulo son similares, aunque es algo peor con la Mezcla de Alto Módulo. Con 16 cm de Mezcla de Alto Módulo el resultado mejora respecto a la Sección 133.



La deformación tangencial de las capas de mezcla es la que condiciona su comportamiento a fatiga. Se observa un comportamiento mucho mejor empleando Mezclas de Alto Módulo, incluso con un espesor de 12 cm, frente al obtenido con las Secciones de la Instrucción.



En este Gráfico se reflejan los ciclos de carga que es capaz de soportar el firme hasta su agotamiento por fatiga. Se observa claramente, lo ya señalado para el gráfico anterior, que las Mezclas de Alto Módulo, incluso con un espesor de 12 cm, tienen un comportamiento mucho mejor que las Secciones de la Instrucción, pues soportan mayor número de cargas antes de llegar a agotarse por fatiga.

De todo ello se concluye que la solución final adoptada para este tramo de autovía, consistente en 14 cm de Mezclas de Alto Módulo apoyadas sobre una sub-base de 20 cm de suelo cemento con 50 cm de explanada E3, todo ello revestido por una rodadura drenante de 4 cm de espesor, es equivalente a la Sección 133 de la anterior Instrucción 6.1 y 2-I.C, mejorándose además el comportamiento a fatiga del firme de una forma muy significativa. Supone una clara mejoría respecto a la solución definida en el Proyecto, parte de la cual hay que atribuirle al empleo de la explanada E3 en lugar de una explanada E2.

El ahorro de espesor en mezclas bituminosas que supuso la solución adoptada finalmente, es del 18,2% respecto al correspondiente a la Sección 133, prácticamente el 20% de ahorro de espesor, que es la cifra prevista en la OC

10/2.002. El ahorro de espesor es, además, del 28% respecto al que corresponde a la Sección 123, que es la solución adoptada en el Proyecto. Se podría haber mejorado en gran medida la capacidad del firme si se hubiera decidido emplear 16 cm de Mezclas de Alto Módulo, pero en este caso el ahorro de espesor sobre la Sección 133 sería únicamente del 9,1%, lo que ya no sería rentable, debido al mayor coste del betún de baja penetración respecto al betún clásico, y al mayor contenido de ligante que precisan las Mezclas de Alto Módulo.

8. CRITERIOS DE DOSIFICACIÓN

A continuación se van a exponer los criterios de dosificación desarrollados en un tramo de autovía, construida en 1998.

Los requisitos considerados para la dosificación de la Mezcla de Alto Módulo para la capa de base e intermedia, son las que se reflejan en la "Nota de Servicio sobre el empleo de Mezclas de Alto Módulo para las capas de los firmes de carreteras": MOPT. Esta era la única reglamentación disponible, en el año en que se construyeron los firmes, 1.998. Los requisitos expuestos en la OC 5/2001 aparecerían tres años más tarde, aunque coinciden fundamentalmente con lo indicado en la Nota de Servicio. Las especificaciones dictadas por ésta para MAM, que establecían diferencias con las mezclas clásicas son las siguientes:

- La temperatura de fabricación de las Mezclas de Alto Módulo podrán exceder en 10°C de la correspondiente para mezclas convencionales.
- El tipo de ligante a emplear será un betún 13/22, cuyas características se incluyen en la Nota de Servicio. Estas características son las recogidas por el artículo 211 del PG-3.
- La curva granulométrica será la de una S-20, con un contenido de polvo mineral superior al 6% sobre el peso total de áridos.
- La relación ponderal entre los contenidos de polvo mineral y ligante hidrocarbonado serán de 1,3.
- La máxima velocidad de deformación en la pista de ensayo de laboratorio, en el intervalo de 105 a 120 minutos, según la norma NLT-173, será de 12 $\mu\text{m}/\text{min}$.
- El módulo dinámico a compresión simple dinámica, según la norma NLT-349, efectuado a 20 °C y 10 Hz, será superior a 11.000 MPa.
- La dosificación mínima de ligante hidrocarbonado no será inferior al 5,5% sobre la masa total de áridos, incluido el polvo mineral.

La característica que define una Mezcla de Alto Módulo, como se ha ido viendo a lo largo de este documento, es el módulo dinámico, que debe ser mayor de 11.000 MPa. Incluso, es recomendable que este módulo se sitúe por encima de los 12.000 MPa. Esta debe ser la característica que condicione la dosificación de una Mezcla de Alto Módulo. Sin embargo, dada la complejidad de este ensayo y la maquinaria necesaria para su realización, no es posible hacerlo de forma continuada, lo que dificulta tanto la dosificación como el control de este tipo de mezclas bituminosas.

Es necesario establecer una serie de características a cumplir por las Mezclas de Alto Módulo, que se puedan determinar mediante ensayos sencillos. Una vez conseguida la dosificación que cumpla estas características se deberán determinar su resistencia a las deformaciones plásticas y módulo dinámico realizando los ensayos correspondientes. Estos ensayos confirmarán la validez de la dosificación propuesta.

Los parámetros característicos de las Mezclas de Alto Módulo, no recogidos en la normativa, que pueden ser determinados mediante ensayos sencillos y que fueron utilizados como criterios de dosificación son los siguientes:

- Estabilidad: > 20 KN
- Deformación: 2-4 mm
- Huecos de la mezcla: 3-5%
- Ensayo de Inmersión – Compresión:
 - Resistencia de las probetas en aire: > 60 Kg/cm².
 - Índice de resistencia conservada: > 80%.

Los áridos de que se disponía para la fabricación de las Mezclas de Alto Módulo procedían del machaqueo de gravas y areniscas, con un equivalente de arena medio de 66,6% y un desgaste de Los Ángeles de 28,1. Estos áridos no hubieran podido ser utilizados como capa intermedia con mezclas tradicionales.

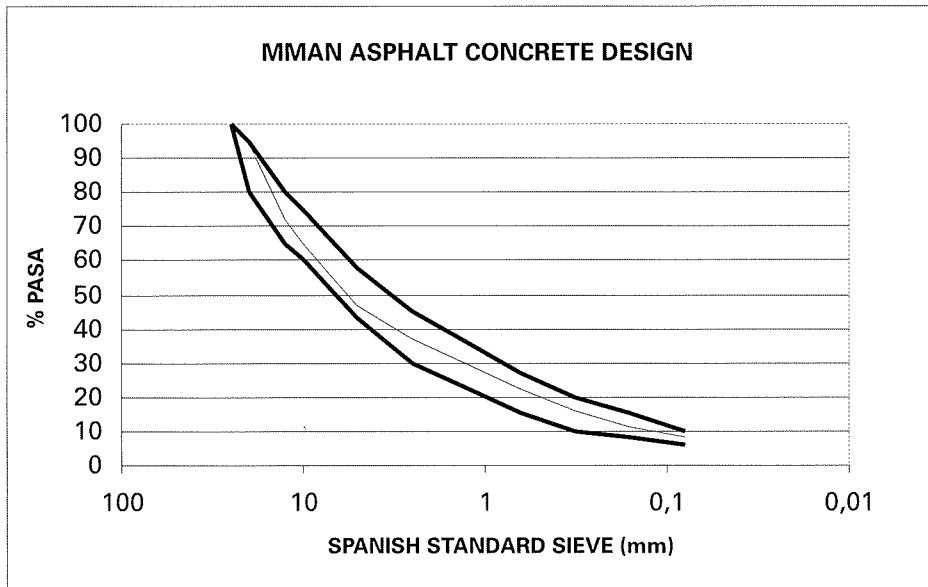
The aggregate mix adopted was as follows:

18/25 aggregate:	16%
12/18 aggregate:	14%
6/12 aggregate:	18%
0/6 aggregate:	47%
On-site mineral dust:	4%
Off-site mineral dust:	1%

The borrow mineral dust used was CEM II/B-M 32.5 cement.

This aggregate mix yielded the following asphalt concrete design:

SPANISH STANDARD SIEVE (mm)	25	20	12.5	10	5	2.5	0.630	0.320	0.160	0.080
ACCUMULATED PASSING FRACTION (%)	100	94	72	65	47	37	22	16	11	8.1



The optimum hydrocarbon binder content was determined as if for a conventional asphalt concrete. Several Marshall tests were run with the aggregate mix chosen and different binder content values. The bitumen percentages employed in the trial, expressed in terms of the total aggregate mix by weight, were: 5.0%, 5.5%, 6.0% and 6.5%. The tests were conducted with 20 dmm penetration bitumen. The results obtained with the various binder content values are shown in the following table and graphs:

BINDER / AGGREG. (%)	DENSITY (g/cm³)	STABILITY (kgf)	DEFORMATION (mm)	AGGREG. VOIDS (%)	ASPHALT CONCRETE VOIDS (%)
5.0	2.357	2,268	2.2	5.05	17.22
5.5	2.363	2,654	2.6	4.17	16.12
6.0	2.368	2,737	3.1	3.33	15.96
6.5	2.359	2,157	3.9	3.16	17.03

Se ha señalado anteriormente la importancia que tiene la limpieza de los áridos en la fabricación de estas mezclas, concretamente, la conveniencia de disponer de un equivalente de arena superior a 60%. Por tanto se disponía de unos áridos aptos para la fabricación de Mezcla de Alto Módulo, que no hubiera podido ser utilizada como capa intermedia con las soluciones contempladas en la normativa vigente. Las gravas se clasificaban en las fracciones granulométricas 0/6, 6/12, 12/18 y 18/25 mm.

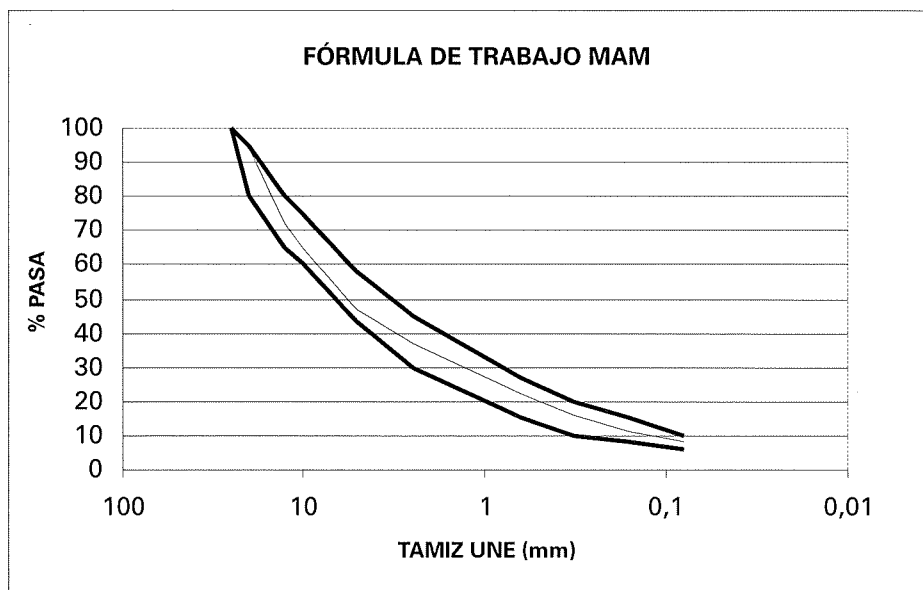
Se adoptó la siguiente dosificación de áridos:

Árido 18/25:	16%
Árido 12/18:	14%
Árido 6/12:	18%
Árido 0/6:	47%
Polvo mineral de recuperación:	4%
Polvo mineral de aportación:	1%

El polvo mineral de aportación empleado fue cemento tipo CEM II/B-M 32,5.

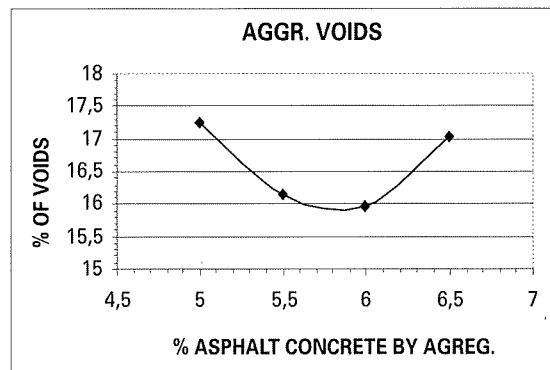
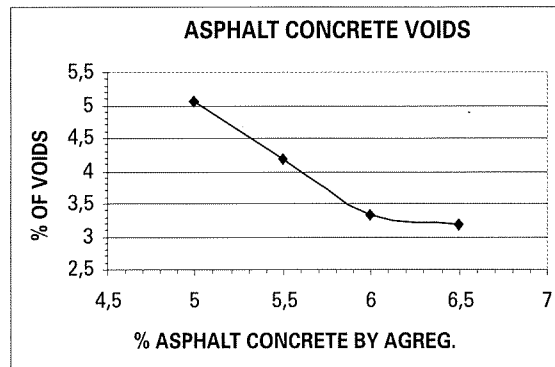
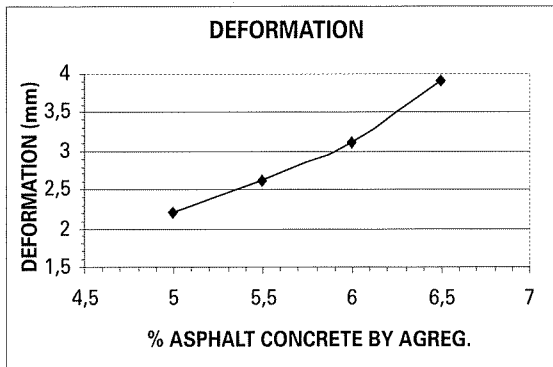
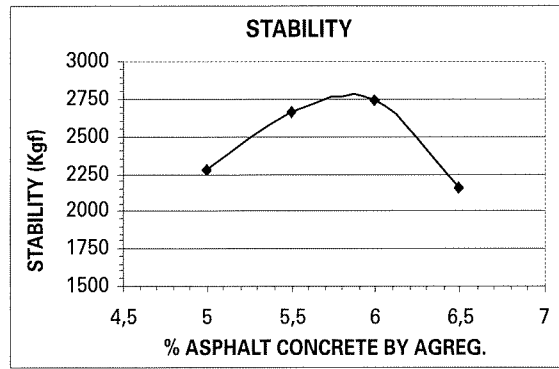
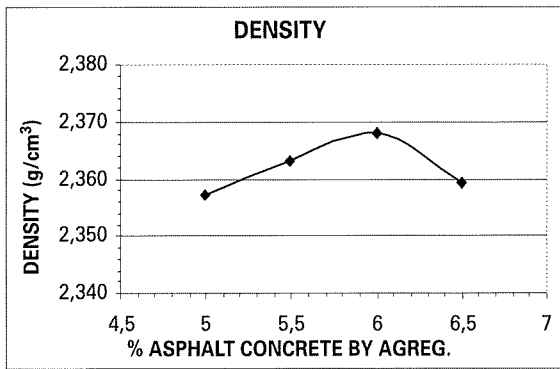
Con esta dosificación de áridos se obtuvo la siguiente fórmula de trabajo:

TAMIZ UNE (mm)	25	20	12,5	10	5	2,5	0,630	0,320	0,160	0,080
CERNIDO ACUMULADO (%)	100	94	72	65	47	37	22	16	11	8,1



La determinación del contenido óptimo de ligante hidrocarbonado se realizó como si se tratara de una mezcla convencional. Se efectuaron varios ensayos Marshall con la dosificación de áridos elegida y distintas cantidades de ligante. Los contenidos de betún sobre peso total de áridos con los que se realizó este estudio fueron: 5,0%, 5,5%, 6,0 y 6,5%. La penetración del betún con el que se realizaron estos ensayos resultó ser de 20 dmm. Los resultados obtenidos del ensayo Marshall con distintas cantidades de ligante son las que aparecen en el siguiente cuadro y gráficos:

LIGANTE S/ÁRIDO (%)	DENSIDAD (g/cm ³)	ESTABILIDAD (Kgf)	DEFORMACIÓN (mm)	HUECOS ÁRIDOS (%)	HUECOS MEZCLA (%)
5,0	2,357	2.268	2,2	5,05	17,22
5,5	2,363	2.654	2,6	4,17	16,12
6,0	2,368	2.737	3,1	3,33	15,96
6,5	2,359	2.157	3,9	3,16	17,03



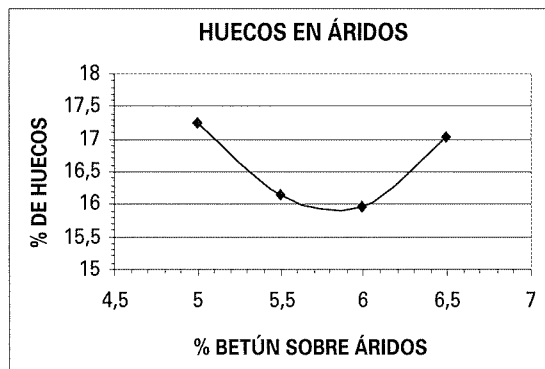
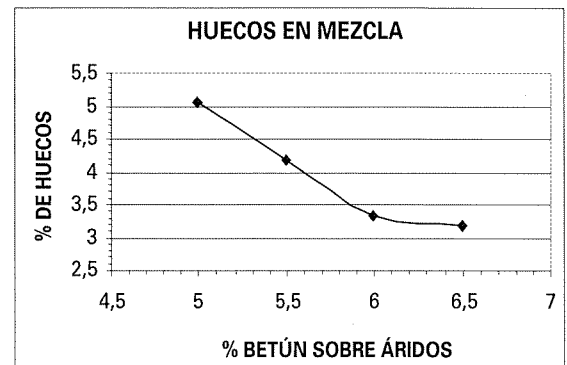
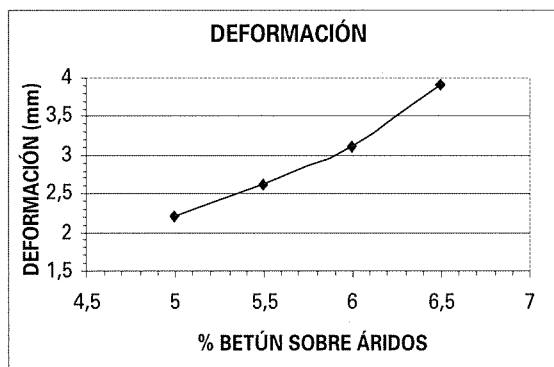
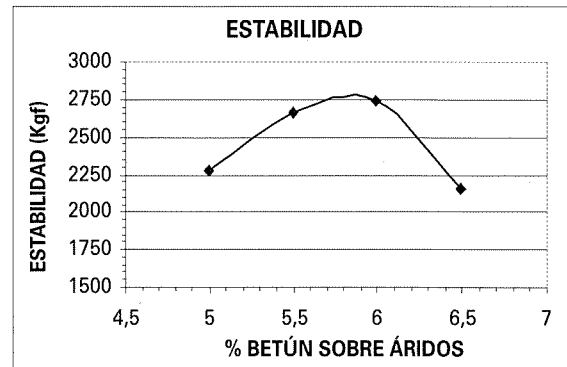
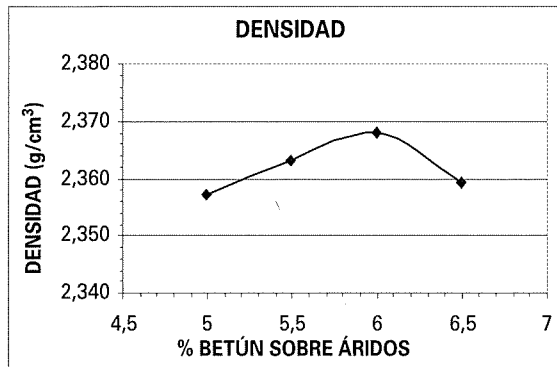
An aggregate voids content – bitumen content curve was used to establish the optimum binder dose. Optimum binder content is generally the value found on the descending arm of the curve, near the minimum. In this study the optimum bitumen dose was taken to be 5.8% of total aggregates by weight.

The mean results of the immersion-compression tests conducted with this aggregate mix and binder dose were as follows:

- Unsoaked specimen strength: 55.3 kg/cm²
- Strength after immersion: 48.2 kg/cm²
- Residual strength: 87 %

Since compression strength was under 60 kg/cm², the off-site mineral dust content was increased to 3% and the mineral dust recovered from the aggregates reduced to 2%. The immersion-compression results under these conditions were as follows:

- Unsoaked specimen strength: 71.6 kg/cm²
- Strength after immersion: 63.9 kg/cm²
- Residual strength: 89 %



Para establecer la dosificación óptima de ligante, se considera la curva contenido de huecos en áridos – contenido de betún. El contenido óptimo de ligante suele ser el que, en esta curva, se encuentra en su rama descendente, cerca de su mínimo. En este estudio se tomó como dosificación óptima de betún un 5,8% sobre el peso total de áridos.

Con esta dosificación de áridos y ligante se realizaron ensayos de inmersión compresión, cuyos resultados medios fueron:

- Resistencia de las probetas en aire: 55,3 Kg/cm².
- Resistencia tras inmersión: 48,2 Kg/cm².
- Índice de resistencia conservada: 87 %.

Dado que la resistencia a compresión es menor de 60 Kg/cm², se optó por subir el contenido de polvo mineral de aportación al 3%, reduciendo al 2% el polvo mineral recuperado de los áridos. Con ello se obtienen los siguientes resultados en el ensayo de inmersión – compresión:

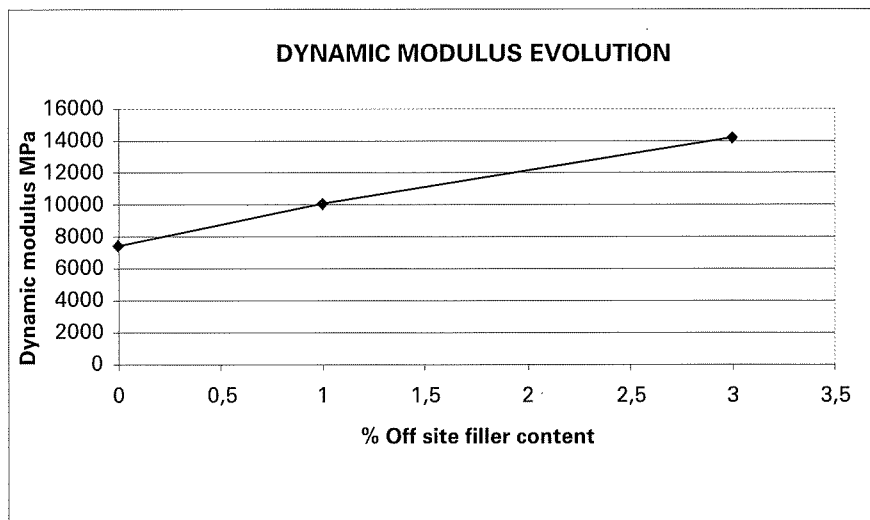
- Resistencia de las probetas en aire: 71,6 Kg/cm².
- Resistencia tras inmersión: 63,9 Kg/cm².
- Índice de resistencia conservada: 89 %.

Plastic strain behaviour was also determined - with the laboratory test track method as described in standard NLT-173 - with the following results:

<u>Range</u>	<u>Deformation rate</u>
30 to 45 min	23.8 $\mu\text{m}/\text{min}$
75 to 90 min	17.9 $\mu\text{m}/\text{min}$
105 to 120 min	11.4 $\mu\text{m}/\text{min}$

The dynamic modulus of the asphalt concrete was likewise determined, pursuant to standard NLT-349. Three tests were conducted to attempt to optimise the off-site mineral dust content with different borrow contents - 0%, 1% and 3%. The results of these tests are given below:

<u>Cement content</u>	<u>Dynamic modulus</u>
0%	7,346 MPa
1%	9,981 MPa
3%	14,158 MPa



The mean results of the control specimens were as follows:

- Binder content relative to aggregates: 5.83 %
- Density: 2.360 g/cm^3
- Stability: 3.728 Kgf
- Deformation: 2.85 mm
- Aggregate voids content: 16.5 %
- Asphalt concrete voids content: 3.90 %
- Filler/Bitumen ratio: 1.36
- Immersion - compression:
 - Unsoaked specimen strength: 70.7 Kg/cm^2
 - Residual strength: 91 %

The most relevant conclusions are outlined below:

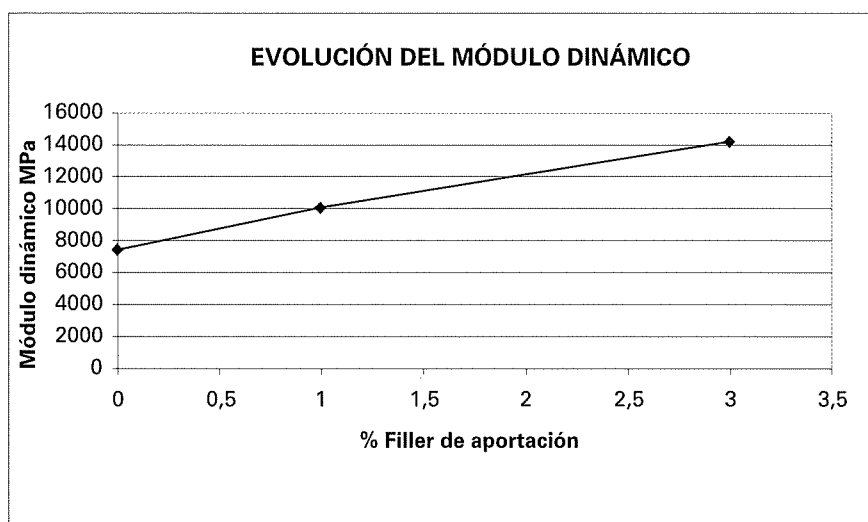
- The stability values of over 2,000 kgf and deformation figures of between 2 and 4 mm obtained with the Marshall test are characteristic of high modulus macadam, but these values do not suffice as proof of proper asphalt concrete dosage.
- A reserve strength of over 80% does not suffice as proof of proper dosage of a high modulus asphalt concrete. Such a high reserve strength value must be found in conjunction with unsoaked specimen strength values of over 60 kg/cm^2 .

Se determinó también la resistencia a la deformación plástica mediante la pista de ensayo de laboratorio, según la norma NLT-173, con los siguientes resultados:

<u>Intervalo</u>	<u>Velocidad de deformación</u>
30 a 45 min	23,8 $\mu\text{m}/\text{min}$
75 a 90 min	17,9 $\mu\text{m}/\text{min}$
105 a 120 min	11,4 $\mu\text{m}/\text{min}$

Del mismo modo se determinó el módulo dinámico de la mezcla, según la norma NLT-349. Para intentar optimizar el contenido de polvo mineral de aportación se realizaron tres ensayos, con distintos contenidos de polvo mineral, el 0%, el 1% y el 3%. Los resultados de estos ensayos son los que se indican a continuación:

<u>Contenido de cemento</u>	<u>Módulo dinámico</u>
0%	7.346 MPa
1%	9.981 MPa
3%	14.158 MPa



Los resultados medios de los ensayos de control realizados fueron los siguientes:

- Contenido de ligante s/áridos: 5,83 %
- Densidad: 2,360 g/cm^3
- Estabilidad: 3,728 Kgf
- Deformación: 2,85 mm
- Huecos en áridos: 16,5 %
- Huecos en mezcla: 3,90 %
- Filler/Betún: 1,36
- Inmersión – compresión:
 - Resistencia de probetas en aire: 70,7 Kg/cm^2
 - Índice de resistencia conservada: 91 %

Como conclusión, se puede destacar lo siguiente:

- Las características de estabilidad mayor de 2.000 Kgf y deformación entre 2 y 4 mm, obtenidas en el ensayo Marshall, son características de las Mezclas de Alto Módulo, pero estos valores no son suficientes para determinar la correcta dosificación de la mezcla.
- El índice de resistencia conservada mayor de 80% no es suficiente para determinar la correcta dosificación de la Mezcla de Alto Módulo. Este alto valor de resistencia conservada debe ir acompañado de una resistencia de las probetas antes de su inmersión superior a 60 Kg/cm^2 .

- The proportion of off-site mineral dust has a substantial impact on the dynamic modulus of the asphalt concrete.

9. PRODUCTION AND LAYING

As noted in the foregoing, the manufacturing process for High Modulus Asphalt Concrete is no different from the process for traditional materials, except that the temperature at which the materials are mixed should be 10 °C higher in the former. Temperatures should be carefully monitored during transport, using heat-insulated lorries where warranted by weather conditions, i.e., low temperatures or strong winds.

Nor is there any difference in the spreading process relative to HMAs in more general use. Nonetheless, certain aspects of the operation need to be conducted very diligently to prevent problems from arising during compaction of High Modulus Asphalt Concrete.

This type of asphalt concrete is very rigid. Therefore, compaction temperatures should be carefully monitored. High Modulus Asphalt Concrete should not be compacted at temperatures under 145 °C. It tends to crack if compacted at lower temperatures, in particular under a steel roller. Such cracks can be closed with a pneumatic roller, provided such remedial action is implemented swiftly. The compaction team should work in very close conjunction with the spreading team to avoid chilling. It is equally important to secure uniform layer thickness throughout. When spread in thin layers asphalt concrete may chill very quickly.

10. COST CONSIDERATIONS

The suitability of using High Modulus Asphalt Concrete in road pavements also depends on financial considerations. Three essential factors should be taken into account in High Modulus Asphalt Concrete cost studies.

- The binders used are more expensive than the ones used in traditional road bases. Furthermore, binder content is higher than in normal road base courses.
- Off-site filler has a significant effect on the dynamic modulus of asphalt concrete. In road bases, however, as these content values are generally limited to 50% of the total borrow mineral dust, their impact on costs is uncertain.
- The primary advantage of High Modulus Asphalt Concrete is that it can accommodate considerable reductions in road base thickness, with the concomitant cost and time savings.

11. CONCLUSIONS

Compared to conventional asphalt concrete, High Modulus Asphalt Concrete (HMAC) has a higher rigidity modulus and enhanced fatigue and plastic strain behaviour, advantages achieved by using a B13/22 binder in higher doses than generally employed in normal road bases.

High Modulus Asphalt Concrete first appeared in France in the eighties, where two types were classified, EME 1 and EME 2, which differ in the amount of binder they contain. The primary characteristic of the former, which has a lower binder content, is its plastic strain response, whereas the latter features higher fatigue resistance and better performance under plastic strain. The studies conducted in Spain have focused on EME 2 for use in road bases and binder courses, although the present legislation, contained in CO/10/2002, limits their use to road bases.

The above features of High Modulus Asphalt Concrete enable a reduction in pavement layer thickness of up to 20% in new roads and 25% in pavement reinforcement works and the use, in certain cases, of marginal aggregates, all of which has a beneficial impact on construction costs. Nonetheless, account needs to be taken of certain conditioning factors that detract from the performance of this type of asphalt concrete, such as thermal sensitivity or fragility, which means that production, hauling and laying need to be performed at higher temperatures than for conventional materials; minimum thickness requirements of this asphalt must also be observed. Its features include good adhesion to layers of the same or different nature, although economising on coating may have very adverse effects.

High Modulus Asphalt is produced with B13/22 type bitumen and a grading criterion similar to the grading specified for S-20 asphalt concrete but with a higher fines content. Clean aggregate must be used, with a sand equivalent of over 60. The dosage used must aim to secure a dynamic modulus in excess of 11,000 MPa. The fact that the

- El contenido de polvo mineral de aportación es un factor que influye de forma importante en el módulo dinámico de la mezcla.

9. FABRICACIÓN Y PUESTA EN OBRA

Ya se ha señalado anteriormente que la fabricación de una Mezcla de Alto Módulo no se diferencia de la fabricación de una mezcla clásica, a excepción de la temperatura de la mezcla de materiales que deberá ser superior 10 °C respecto a las mezclas convencionales. El transporte debe ser cuidadoso con la temperatura de la mezcla, pudiendo llegar a ser necesarios camiones calorifugados si las condiciones atmosféricas en las que se realiza son de baja temperatura o de fuerte viento.

El proceso de extendido no se diferencia del de una mezcla de las habitualmente utilizadas. Sin embargo, durante la compactación de una Mezcla de Alto Módulo pueden aparecer problemas si no se cuidan algunos aspectos.

Las Mezclas de Alto Módulo tienen gran rigidez. Por ello, la temperatura de compactación debe ser cuidada especialmente. No se deben compactar Mezclas de Alto Módulo por debajo de los 145 °C. En caso de compactar por debajo de esta temperatura, aparecerán pequeñas fisuras, especialmente tras el paso del rodillo metálico. Estas fisuras pueden llegar a cerrarse con un rodillo neumático si se actúa rápidamente sobre ella. El equipo de compactación debe actuar en un tramo muy cercano al extendido para evitar el enfriamiento de la mezcla. También es importante cuidar la uniformidad del espesor de las capas. Una mezcla extendida en capas delgadas puede llegar a enfriarse con rapidez.

10. CONSIDERACIONES SOBRE COSTES

Para estudiar la conveniencia de la utilización de las Mezclas de Alto Módulo en un firme de carretera debe considerarse también el factor económico. Hay que tener en cuenta tres aspectos fundamentales en el estudio económico de una Mezcla de Alto Módulo:

- Los ligantes empleados son más caros que los utilizados en las capas de base tradicionales. Los contenidos de ligante son, además, mayores que los valores normales para capas de base.
- El filler de aportación influye significativamente en los módulos dinámicos de las mezclas bituminosas. En las capas de base estos contenidos suelen estar limitados al 50% del total del polvo mineral de aportación, por lo que no es seguro que tenga incidencia económica.
- La ventaja fundamental de las Mezclas de Alto Módulo es que permiten una reducción considerable de espesor en las capas de base, con el consiguiente ahorro económico y de plazo.

11. CONCLUSIONES

Las Mezclas de Alto Módulo (MAM) se caracterizan por tener un módulo de rigidez superior y mejores resistencias a la fatiga y a las deformaciones plásticas que las mezclas convencionales. Esto se consigue utilizando un ligante B13/22, con una mayor dotación del mismo que la normalmente empleada en las capas de base habituales.

Las Mezclas de Alto Módulo aparecieron en Francia en la década de los 80, siendo catalogadas en este país en dos tipos, EME 1 y EME 2, diferenciadas por la cantidad de ligante utilizado. La primera, con un menor contenido de ligante, tiene como principal característica la resistencia a las deformaciones plásticas, mientras que la segunda tiene como ventajas la mayor resistencia a la fatiga y a las deformaciones plásticas. En España, los estudios realizados se han centrado en la EME 2 para la ejecución de capas base e intermedia, aunque la actual OC/10/2.002 limita su uso a las capas base.

Las citadas ventajas de las Mezclas de Alto Módulo permiten la reducción del espesor de la capa de firmes, hasta un 20% en carreteras nuevas y un 25% en ejecución de refuerzos, y la utilización, en algunos casos, de áridos marginales, lo que repercute positivamente en los costes de la ejecución. Sin embargo, hay que tener en cuenta algunos condicionantes que empeoran el comportamiento de estas mezclas, tales como la sensibilidad térmica o la fragilidad, lo que obliga a que la fabricación, transporte y ejecución se haga con temperaturas mayores a las utilizadas en las mezclas convencionales y a respetar los espesores mínimos de estas mezclas. Reúnen, además, buenas características de adherencia, tanto con capas de igual como de distinta naturaleza, aunque un ahorro en los riegos puede conllevar efectos muy perjudiciales.

respective test is very difficult to conduct renders dosage and control of this asphalt concrete more difficult. Other characteristics should be established that are more readily determined on site to facilitate this work. This type of asphalt concrete is now legislated, under circular orders 5/2001 and 10/2002 on asphalt concrete.

The lack of macrotexture in High Modulus Asphalt Concrete precludes its use on wearing courses. Nonetheless, experiments have been conducted in France in which this type of material – made with modified bitumens and discontinuous grading - has been laid as a very thin wearing course, with thicknesses of less than 6 cm.

Finally, it should be noted that as the use of this type of asphalt concrete is a relatively recent development, its advantages, drawbacks and even its performance have yet to be definitively determined.

12. REFERENCES

DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS, MOPT. "Nota de Servicio sobre el empleo de mezclas de alto módulo para capas de los firmes de carretera".

DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS, MINISTERIO DE FOMENTO. "Riegos auxiliares, mezclas bituminosas y pavimentos de hormigón". Circular Order 5/2001.

DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS, MINISTERIO DE FOMENTO. Secciones de firme y capas estructurales de firmes. Circular Order 10/2002.

CEDEX – CENTRO DE INVESTIGACIÓN E.S.M. (1994) Jornada sobre mezclas de alto módulo.

AURELIO RUIZ (2000). Mezclas de alto módulo. Curso sobre tecnologías españolas de firmes. CEDEX

BALTASAR RUBIO (1994). Mezclas de alto módulo. II Congreso nacional de firmes. Regeneración y rehabilitación(Second National Congress on Pavements. Regeneration and rehabilitation).

J. GARCÍA (2000). Caracterización de módulos, fatiga y otros ensayos dinámicos. Jornada sobre caracterización y control de calidad de mezclas bituminosas. CEDEX

JACQUES BONNOT. L'expérience française des enrobés à module élevé. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. France.

JACQUES BONNOT. "Tipología y métodos de dosificación de las mezclas bituminosas en Europa". Revista Carreteras. No. 85, September – October 1996.

Para la dosificación de las Mezclas de Alto Módulo se utilizará un betún B13/22, con una curva granulométrica similar a la de una mezcla tipo S-20, pero con un contenido de finos superior al de estas últimas. Conviene disponer de áridos limpios, con un equivalente de arena superior a 60. La dosificación que se utilice tendrá como objetivo conseguir un módulo dinámico superior a 11.000 Mpa. La realización de este ensayo es muy compleja lo que dificulta la dosificación y el control de estas mezclas. Es conveniente la definición de establecimiento de otras características, más sencillas de determinar en obra, para facilitar estas labores. Este tipo de mezcla ha sido incluido en la OC 5/2.001 y en la OC 10/2.002 sobre mezclas bituminosas.

Las Mezclas de Alto Módulo no pueden ser utilizadas en capas de rodadura, debido a su falta de macrotextura. Sin embargo, ya existen experiencias en Francia de capas ejecutadas con este tipo de mezcla, empleando betunes modificados y granulometrías discontinuas, en capas más delgadas, incluso inferiores a 6 cm.

Por último, cabe señalar que la utilización de este tipo de mezclas es relativamente reciente lo que conlleva a que sus ventajas, desventajas e incluso su comportamiento estén aún por determinar de forma definitiva.

12. BIBLIOGRAFÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS, MOPT. "Nota de Servicio sobre el empleo de Mezclas de Alto Módulo para capas de los firmes de carretera".

DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS, MINISTERIO DE FOMENTO. "Riegos auxiliares, mezclas bituminosas y pavimentos de hormigón". Orden Circular 5/2001.

DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS, MINISTERIO DE FOMENTO. Secciones de firme y capas estructurales de firmes. Orden Circular 10/2002.

CEDEX – CENTRO DE INVESTIGACIÓN E.S.M. (1994) Jornada sobre Mezclas de Alto Módulo.

AURELIO RUIZ (2000). Mezclas de Alto Módulo. Curso sobre tecnologías españolas de firmes. CEDEX

BALTASAR RUBIO (1994). Mezclas de Alto Módulo. II Congreso nacional de firmes. Regeneración y rehabilitación.

J. GARCÍA (2000). Caracterización de módulos, fatiga y otros ensayos dinámicos. Jornada sobre caracterización y control de calidad de mezclas bituminosas. CEDEX

JACQUES BONNOT. L'Experience française des enrobés à module élevé. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. Francia.

JACQUES BONNOT. "Tipología y métodos de dosificación de las mezclas bituminosas en Europa". Revista Carreteras. N° 85, Septiembre – Octubre 1996.

Relación de Personal Titulado de INTEMAC

Arquitectos

Fernández Sáez, Ana María
Fraile Mora, Serafín
López-Nava Muñoz, Alberto Ignacio
Luzón Cánovas, José M^a
Sánchez Arroyo, Jesús M^a
Sicilia Mañá, Beatriz

Ingenieros de Caminos

Anlló Rodríguez, María
Baena Alonso, Eva
Barrios Corpa, Jorge
Barrios Corpa, Roberto
Beteta Cejudo, M^a Carmen
*Calavera Ruiz, José
Carpintero García, Ismael
Castillo Fernández, Luis Javier
Cortés Bretón, Juan María
Corral Folgado, Claudio
Dávila Sánchez-Toscano, Suyapa
Díaz Heredia, Elena
Díaz Lozano, Justo
Fernández Fenollera, Salvador
*Fernández Gómez, Jaime Antonio
Froilán Torres, Ramiro
Gil García, Alfonso
González González, Juan José
*González Valle, Enrique
*Hostalet Alba, Francisco
*Izquierdo Bernaldo de Quirós, José M^a
Jiménez Ortiz, Gonzalo
Ley Urzaiz, Jorge
Molero Rodríguez, Teresa
Munugarren Martínez, Miguel Angel
Recio Cañadas, Alba
Rocha Muñoz, Sergio de la
Rodríguez Escribano, Raúl Rubén
Rodríguez Romero, Jesús M^a
Rojas Orts, Guillem
Ruiz Fuentes, M^a Josefa
Ruiz Jiménez-Alfaro, Felipe
Sanz Pérez, Lorenzo
Sirvent Sirvent, Enrique
Tapia Menéndez, José
Torre Cobo, María Carmen
Valdéz Fernández de Alarcón, Pablo
Velázquez Calleja, Beatriz
Vidal Vacas, Ángel

Ingeniero en Cartografía y Geodesia

López-Canti Casas, Elisa

Ingenieros I.C.A.I.

Marín Estévez, Gonzalo
Escarpizo-Lorenzana Martínez, Jorge

Ingenieros Industriales

*Alvarez Cabal, Ramón Amado
Arroyo Arroyo, José Ramón
Bayonne Sopo, Enrique

Estrada Gómez, Rafael
*Santos Olalla, Francisco
Torruella Martínez, Josep M^a
*Valenciano Carles, Federico

Ingeniero de Minas

Ramos Sánchez, Adelina

Ingeniero de Telecomunicación

Díaz-Chirón Sastre, Alicia

Doctora en Geografía e Historia

Calavera Vayá, Ana María

Licenciado en Ciencias Ambientales

Gil Esteban, Luis Miguel

Licenciados en Geología

Abajo Clemente, Angel
Blanco Zorroza, Alberto
Casado Chinarro, Alejandro
De la Fuente Sáez, M^a Isabel
López Velilla, Oscar
Orejas Contreras, M^a Carmen
Usillos Espín, Pablo

Licenciados en Ciencias Químicas

Benito Hijosa, Leticia
Grandes Velasco, Sylvia María
López Sánchez, Pedro
Marín Calvo, Celia
Morgado Sánchez, José Carlos

Licenciado en Derecho

González del Olmo, Alfredo
*Jarillo Cerrato, Pedro

Arquitectos Técnicos

Carrato Moñino, Rosa M^a
Domínguez Peris, Eva María
Enrici Redondo, M^a Alejandra
Estévez Márquez, Lourdes
Fernández Jiménez, Amelia
Gago Morales, Ana María
Gallego Castro, Sergio
Martínez Pérez, Inmaculada
Merlo Rey, Daniel
Montejano Jiménez, María del Carmen
Muñoz Mesto, Angel

Ingenieros Técnicos Industriales

Díaz-Trechuelo Laffón, Antonio
Gascón García, Alberto
González Carmona, Manuel
Madueño Moraño, Antonio
Muñoz Fuentes, Miguel Angel
Ramírez Rodríguez, José Luis
Verdú Hoys, David
Villar Riñones, Jesús

Ing. Técnico en Informática de Sistemas

Rodríguez Alfonso, Iván

Ingenieros Técnicos de Minas

López García, Ignacio

Sillero Arroyo, Andrés

Ingenieros Técnicos Obras Públicas

Bobo Guerrero, Jonathan

Carrero Crespo, Rafael

Ferreras Reguilón, Gabriel

Freire Peláez, M^a Isabel

Galán de Cáceres, M^a del Puerto

García Menéndez, David

Garrido Hernando, Susana Sandra

González Isabel, Germán

González Nuño, Luis

Gutiérrez Garrosa, Raúl

Huertos Rodríguez, Ángel

Mata Soriano, Juan Carlos

Millá Níguez, Luis

Merino Rodríguez, Pablo

Millá Níguez, Luis

Montiel Sánchez, Ernesto

Muelas Moro, Elena

Muñoz Mesto, Angel

Ortíz del Campo, Natalia

Prieto Antón, Eva Sonia

Ramos Valdés, Raquel

Rodríguez García, M^a Vanessa

Romero García, Daniel

Rosa Moreno, José Andrés

Rozas Hernando, José Juan

Sánchez Tomé, Elena

Sánchez Vicente, Andrés

Sillero Olmedo, Rafael

Soto López, Elena del

Vicente Girón, Susana

Zamora Pérez, Ángel

Ingenieros Técnicos Topógrafos

Barragán Bermejo, M^a Vicenta

Caballero Aparicio, M^a Jesús

Campos Delgado, Juan Carlos

Carreras Ruíz, Francisco

López Jiménez, Luis

Molero Vicente, M^a Isabel

Salado Rodilla, Rafael

Sánchez Martín, María de la O

Torés Campos, Ana M^a

Vicente Conde, M^a Isabel

Licenciado en C. Económicas y Empresariales

González Chavero, Antonio

Profesores Mercantiles

González Alvarez, Vicente

Sampedro Portas, Arturo

Técnicos en Administración de Empresas

Cebrián Sobrino, M^a José

González del Olmo, M^a de la Peña de F.

Técnico en Publicidad

Blanco Armas, Cristina

Topógrafo

Alquézar Falceto, Ricardo

NOTA: Todo el personal de INTEMAC trabaja en dedicación completa y exclusiva, con la excepción de las personas arriba indicadas con, a las que se autoriza la dedicación a la Enseñanza Universitaria en régimen de dedicación personal.

CUADERNOS INTEMAC

CUADERNOS INTEMAC es una publicación trimestral, bilingüe en español e inglés, en forma de monografías que recogen trabajos realizados por los técnicos del Instituto o presentados en los Cursos y Conferencias organizados por el mismo.

Los temas tratados cubren tanto el campo de las Obras Públicas como el de la Edificación y sus Instalaciones.

Precio de la suscripción Año 2002: 21,97 €



ULTIMOS TITULOS PUBLICADOS

Cuaderno Nº 46

"Influencia previsible en el futuro de la prefabricación del hormigón de altas prestaciones".

Autor: **Prof. J. CALAVERA RUIZ**,
Dr. Ing. de Caminos.

Cuaderno Nº 47

"Mezclas de alto módulo para carreteras. Criterios de utilización y ventajas".

Autores: **P. VALDÉS FERNÁNDEZ DE ALARCÓN**,
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
M. T. MOLERO RODRÍGUEZ,
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

CUADERNOS DE PROXIMA APARICION

Cuaderno Nº 48

"Patología de estructuras metálicas".

Autores: **R. ÁLVAREZ CABAL**,
Ingeniero Industrial,
J. R. ARROYO ARROYO,
Ingeniero Industrial,
S. DÁVILA SÁNCHEZ-TOSCANO,
Ingeniero de Caminos.

MONOGRAFÍAS INTEMAC

A partir de junio de 1998 INTEMAC emprendió una nueva línea de publicaciones con un carácter eminentemente práctico, destinadas a tratar temas muy concretos que, o bien presentan un nivel de problemas acusados en la práctica, o bien están insuficientemente cubiertos por la Normativa y la documentación técnica existente.

MONOGRAFÍA INTEMAC Nº 3

"Aspectos visuales del hormigón".

Autores: **Prof. J. Calavera Ruiz, Prof. J. Fernández Gómez, G. González Isabel, P. López Sánchez, Prof. J. M. Pérez Luzardo**.

Precio de la Monografía 31,81 €

MONOGRAFÍA INTEMAC Nº 4

"Prefabricación de edificios y naves industriales".

Autores: **Prof. J. Calavera, Prof. J. Fernández Gómez**

Precio de la Monografía 31,81 €



VIDEOS TECNICOS

INTEMAC, dentro de sus actividades en el campo de la información, ha iniciado la edición de una serie de VÍDEOS TÉCNICOS, analizando distintos campos de la construcción.

SERIE OBRAS DE HORMIGÓN EN MASA, ARMADO Y PRESENTADO.

REFERENCIA	TÍTULO	CONTENIDO	DURACIÓN	PRECIO
Nº 2001 (1-1)	MUESTREO DE HORMIGÓN FRESCO, FABRICACIÓN Y ENSAYO DE PROBETAS DE HORMIGÓN	Contempla de forma completa y detallada el proceso de toma de muestras de hormigón fresco en obra, la medida de la consistencia con el Cono de Abrams, fabricación de probetas, curado en cámara, transporte del laboratorio, curado en cámara, refrendado y ensayo a compresión. Esta nueva versión del vídeo 8901 (1), introduce las modificaciones de EHE y un sistema de estudio de la distribución de presiones de la prensa sobre la probeta así como los aspectos particulares del ensayo de hormigones de alta resistencia.	30 minutos	94,79 €



BOLETIN BIBLIOGRAFICO

BOLETIN BIBLIOGRAFICO
9207
SERVICIO DE DOCUMENTACION



INTEMAC viene realizando desde su fundación un BOLETIN BIBLIOGRAFICO para uso interno, que ofrece, en una lectura rápida, un panorama general de todas las publicaciones técnicas disponibles. Desde 1991, esta publicación bimestral, ha sido puesta a disposición del público.

EL BOLETIN BIBLIOGRAFICO incluye:

Fotocopia del índice y de los resúmenes de los artículos contenidos en las 105 revistas técnicas que se reciben en el Instituto referentes a los campos de la Edificación, Instalaciones, Obras Públicas y Urbanismo.

Una sección de Normativa reciente, nacional y extranjera.

Secciones de Bibliografía y Cursos.

Una sección de Congresos, Reuniones Técnicas y Ferias de próxima celebración en todo el mundo.

Tarifa de suscripción anual (6 números) 144,24 €

CONSULTAS E INFORMES BIBLIOGRAFICOS

INFORMES BIBLIOGRAFICOS
SERVICIO DE DOCUMENTACION



EL INSTITUTO tiene un SERVICIO DE DOCUMENTACION, que pone a su disposición y que le puede informar sobre cualquier tema relacionado con la Edificación, Instalaciones, Obra Civil y Urbanismo. Se efectúan CONSULTAS BIBLIOGRAFICAS sobre cualquiera de los temas indicados anteriormente, de acuerdo con las siguientes tarifas:

Apertura de expediente	18 €
Cantidad a abonar por referencia	0,36 €
Cantidad a abonar por hoja de fotocopia de documento	0,18 €

Además de la Consulta Bibliográfica correspondiente, el INFORME BIBLIOGRAFICO contiene un breve documento redactado por un especialista en el tema, miembro de INTEMAC, con una serie de recomendaciones sobre la Bibliografía básica, así como los comentarios correspondientes.

Tarifa correspondiente al Informe Bibliográfico: 90,15 € más la tarifa de la consulta.

ARTICULOS TECNICOS

ARTICULOS TECNICOS
SERVICIO DE DOCUMENTACION



INTEMAC dispone de una amplia serie de trabajos publicados por nuestros técnicos en diferentes revistas. A continuación incluimos la lista de los últimos. Si está Ud. interesado, solicite relación completa de títulos.

- INFLUENCIA DE LA RUGOSIDAD Y LA CUANTÍA DE COSIDO EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS PIEZAS COMPUESTAS SOLICITADAS A FLEXIÓN
Enrique González Valle; Jaime Gálvez Ruiz; Luis García Dutari; Ramón Albarez Caval.
- EL HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA (HSC): LAS CARACTERÍSTICAS QUE CONDICIONAN EL CALCULO ESTRUCTURAL. Enrique González Valle.
- LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS DE INFORMACIÓN EN LAS OBRAS. Adolfo Delibes Liniers.
- INVESTIGACIÓN SOBRE REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO DAÑADAS POR CORROSIÓN DE ARMADURAS. Adolfo Delibes Liniers; Jaime Fernández Gómez.
- HORMIGONADO EN CONDICIONES METEOROLÓGICAS ADVERSAS: ESTUDIO DE LOS ACCIDENTES OCURRIDOS DURANTE EL HORMIGONADO DE UN TABLERO POSTENSADO.
Adolfo Delibes Liniers; Jaime Fernández Gómez; Miguel Ángel Acón Robleña.
- LA INFLUENCIA DEL DIAGRAMA TENSIÓN DEFORMACIÓN EN EL CÁLCULO A FLEXIÓN DE SECCIONES REALIZADAS CON HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA.
Enrique González Valle; José Mº Izquierdo; Bernaldo de Quirós.
- EFFECTOS DINÁMICOS EN PUENTES. VARIACION DEL COEFICIENTE DE IMPACTO.
Enrique López del Hierro Fernández; Juan José Benito Muñoz; Javier Gallego Valarde; Ramón Álvarez Cabal.
- CUBIERTAS METÁLICAS DE GRAN LUZ. Mercedes Gómez Álvarez; Justo Díaz Lozano; Ramón Álvarez Cabal.
- LA INSPECCIÓN Y ENSAYO. ORGANIZACIONES DE CONTROL DE CALIDAD Y LABORATORIOS.
José Calavera Ruiz.

P.V.P. 2,40 €/ ejemplar.



NUEVO

2001

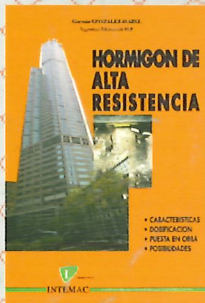
De acuerdo con la nueva instrucción EHE

MUROS DE CONTENCIÓN Y MUROS DE SÓTANO

J. CALAVERA (Dr. Ingeniero de Caminos)

- 374 páginas
- 244 Figuras
- 23 Fotografías
- 88 Referencias Bibliográficas
- Encuadernación en gualflex

Precio: 67,45 €



HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA

G. GONZÁLEZ-ISABEL
(Ingeniero Técnico de O. P.)

- 316 páginas
- Encuadernación en gualflex

Precio: 41,97 €

CÁLCULO, CONSTRUCCIÓN Y PATOLOGÍA DE FORJADOS DE EDIFICACIÓN

J. CALAVERA (Dr. Ingeniero de Caminos)

Agotada la 4ª Edición

5ª Edición: Diciembre 2002

AGOTADO

MANUAL DE FERRALLA

J. CALAVERA (Dr. Ingeniero de Caminos)

E. GONZÁLEZ VALLE

(Dr. Ingeniero de Caminos)

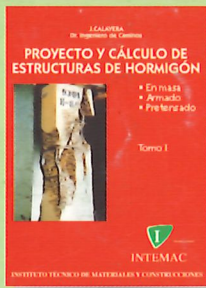
J. FERNÁNDEZ GÓMEZ

(Dr. Ingeniero de Caminos)

F. VALENCIANO (Ingeniero Industrial)

Nueva edición: Marzo 2003

AGOTADO



NUEVO

2000

De acuerdo con la nueva instrucción EHE

PROYECTO Y CÁLCULO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

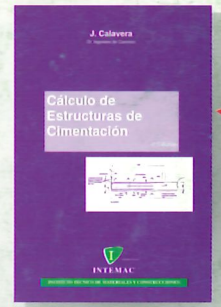
J. CALAVERA
(Dr. Ingeniero de Caminos)

De acuerdo con la nueva instrucción EHE

- EN MASA
- ARMADO
- PRETENSADO

- 2 Tomos con 2014 páginas
- 1296 Figuras
- 96 Fotografías
- 47 Ejemplos resueltos
- 139 Gráficos y Tablas de Cálculo
- 634 Referencias Bibliográficas

Precio de la obra completa: 148,95 €

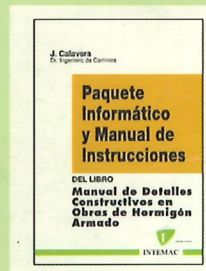


CÁLCULO DE ESTRUCTURAS DE CIMENTACIÓN

J. CALAVERA (Dr. Ingeniero de Caminos)

- Un volumen con 519 páginas
- 271 Figuras
- 24 Ejemplos resueltos
- 39 Gráficos y Tablas de Cálculo
- 30 Tablas para el cálculo directo de Zapatas corridas según EHE, EUROCÓDIGO EC-2 Y ACI 318-99
- 30 Tablas para el cálculo directo de Zapatas aisladas según EHE, EUROCÓDIGO EC-2 Y ACI 318-99
- 90 Referencias Bibliográficas
- Encuadernación en gualflex

Precio: 67,15 €



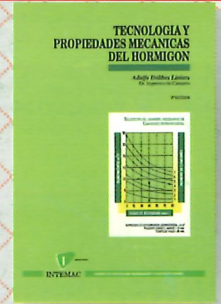
MANUAL DE DETALLES CONSTRUCTIVOS EN OBRAS DE HORMIGÓN ARMADO

J. CALAVERA (Dr. Ingeniero de Caminos)

- 506 páginas, tamaño UNE A-4 • 210 detalles constructivos • 210 páginas de comentarios y recomendaciones • Encuadernación en gualflex

Precio: - Libro: 106,41 € - Paquete informático: 188,12 €
(Manual de Instrucciones y Disquetes)

El libro y el programa se venden por separado



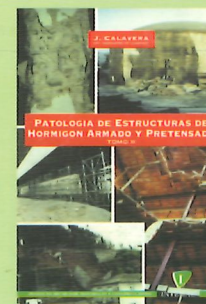
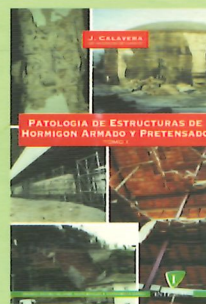
TECNOLOGÍA Y PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN

A. DELIBES (Dr. Ingeniero de Caminos)

2ª Edición

- 396 páginas
- Encuadernación en gualflex

Precio: 51,03 €

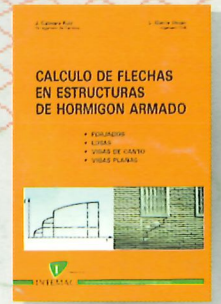


PATOLOGÍA DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO Y PRETENSADO

J. CALAVERA (Dr. Ingeniero de Caminos)

- Tomo I - Capítulos 1 a 12 • Tomo II - Atlas de fisuras - Ábacos de cálculo
- 680 páginas • 231 fotografías • 258 figuras • 118 referencias bibliográficas
- Encuadernación en gualflex

Precio de la obra completa: 106,41 €



CÁLCULO DE FLECHAS EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO

J. CALAVERA (Dr. Ingeniero de Caminos)

L. GARCÍA DUTARI (Ingeniero Civil)

- 336 páginas
- 312 tablas de comprobación de Forjados, Losas, Vigas de Canto y Vigas Planas
- Un disquete conteniendo tres programas informáticos de Cálculo de Flechas, para secciones de forma cualquiera
- Encuadernación en gualflex

Precio: 47,41 €
(Libro más paquete Informático)

BARCELONA: Antón Fortuny 14-16. Esc. C. 4º 2º - Tel. 93 473 85 00 • Fax: 93 473 79 32 - 08950 Esplugues de Llobregat

MADRID: Monte Esquinza, 30, 4º D - Tel. 91 310 51 58 • Fax: 91 308 58 65 - 28010 MADRID

MÁLAGA: Hilera, 15. Oficina 1 - Tel. 95 212 25 76 • Fax: 95 222 88 29 - 29007 MÁLAGA

OVIEDO: Foncalada, 10, 3ª A - Tel. 985 22 29 85 - 33002 OVIEDO

SEVILLA: Héroes de Toledo - Tel. 95 465 64 11 • Fax: 95 465 65 04 - 41006 SEVILLA

VALENCIA: Ciscar, 27, 1º 1ª - Tel. 96 374 99 92 • Fax: 96 374 84 81 - 46005 VALENCIA

VALLADOLID: Pírita, 37 Polg. de San Cristóbal - Tel. 983 29 22 44 • Fax: 983 29 23 78 - 47012 VALLADOLID

<http://www.intemac.es>



INTEMAC