



C/. Jordi Girona, 1 - 3.  
Campus Nord. Mòdul B-1  
08034 Barcelona  
Tel. 93 401 70 99; Fax 93 401 72 62

**Nº de Estudio: CAC-16**

## **DISEÑO DE UNA MEZCLA BITUMINOSA (BBTM 11B) CON ÁRIDO SIDERÚRGICO**

### **PETICIONARIO:**

**ADEC GLOBAL S.L.**  
*C/ Garraf 27-29, Polígono Industrial Can Prunera  
08759 Vallirana (Barcelona)  
Tel. 93 002 72 78  
At. Sr. Félix Pedroso*

### **TRABAJO SOLICITADO**

Diseñar una mezcla bituminosa BBTM 11B utilizando áridos siderúrgicos, provenientes de la planta de Adec Global, que cumpla con los requisitos especificados por el PG-3.

### **ENSAYOS REALIZADOS**

Para el diseño de mezcla se realizaron los siguientes apartados:

- Determinación de la granulometría de los áridos a utilizar.
- Determinación de la combinación de áridos a utilizar.
- Prueba en blanco en la planta de Pabasa.
- Determinación de la granulometría de los áridos pasados por planta.
- Determinación de la combinación de áridos para la mezcla.
- Fabricación de probetas con cuatro (4) porcentajes de betún en la mezcla.
- Determinación de la densidad.
- Determinación del contenido de huecos.
- Determinación de la pérdida de partículas.
- Determinación de la sensibilidad al agua.
- Determinación de la deformación permanente.

## RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos para determinar una mezcla BBTM 11B que cumpla con los requisitos planteados en el PG3.

### FASE I

En la primera fase del diseño de la mezcla bituminosa se obtuvieron áridos provenientes de Adec Global (ASA 0/5 y ASA 4/11) y Pabasa (AFC 0/3 y AFC 0/4). La granulometría de los materiales se muestra en la Tabla 1 y la Figura 1.

Tabla 1. Granulometría de los áridos de la planta de Adec Global y Pabasa.

Tamiz (mm)	Material que pasa (%)			
	ASA 0/5	ASA 4/11	AFC 0/3	AFC 0/4
31,5	100	100	100	100
22.4	100	100	100	100
16	100	100	100	100
11.2	100	87	100	100
8	100	50	100	100
4	70	9	100	94
2	37	8	81	57
0,5	9	7	32	24
0,25	4	4	22	18
0,063	2	1	12	10

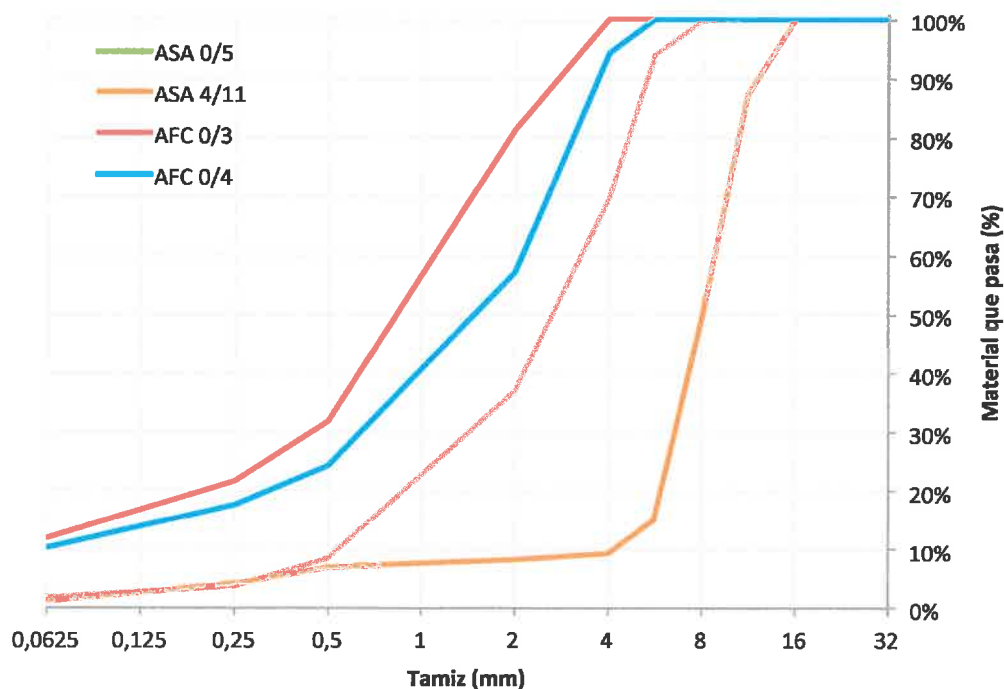


Figura 1. Curva granulométrica de los diferentes áridos ensayados para la MB.

Con los áridos anteriores se probaron diferentes mezclas entre ellos para obtener una combinación que se encuentre en los límites fijados por el PG-3.

La mejor combinación generada fue con ASA 4/11 y AFC 0/3. Para la mezcla se utiliza Filler Minecal 50. En la combinación se asume que el secador remueve el 55% de material inferior a 0.063 mm de los dos tipos de áridos.

La combinación en volumen obtenida es (Figura 2):

ASA 4/11 = 83%  
 FCP 0/3 = 13.5%  
 FILLER = 3.5%

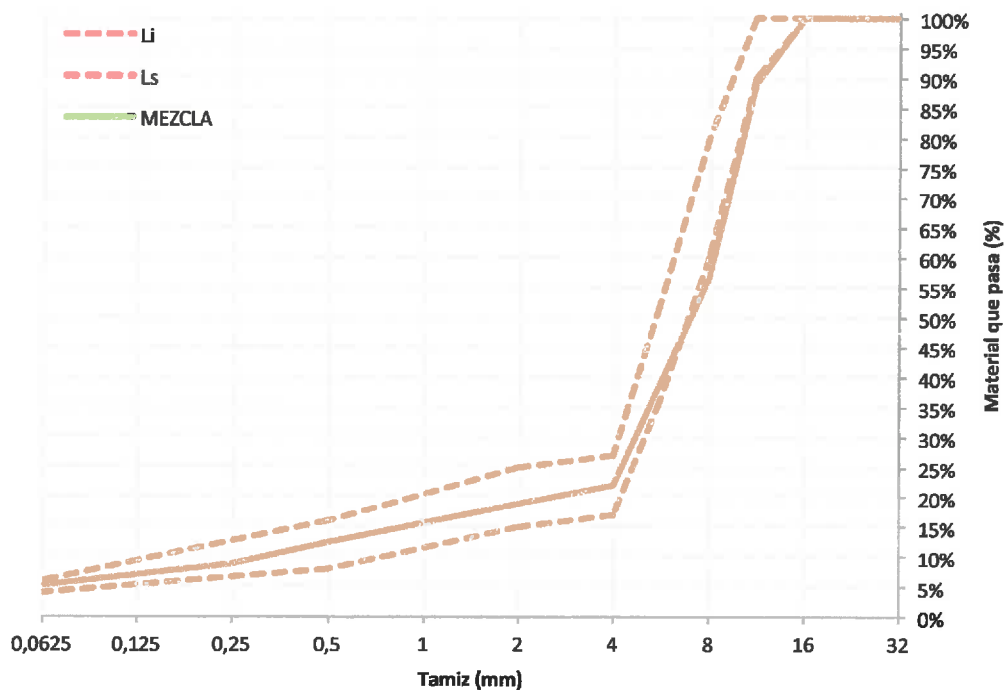


Figura 2. Combinación de ASA 4/11 + FCP 0/3 + FILLER para la MB.

Con el fin de obtener la curva granulométrica corregida por la densidad de los áridos se utilizan los siguientes valores de densidades:

Árido siderúrgico: 3.6 g/cm<sup>3</sup>  
 Árido calizo: 2.65 g/cm<sup>3</sup>  
 Filler: 2.65 g/cm<sup>3</sup>

Con estos valores se tiene que la dosificación en peso es (Figura 3):

ASA 4/11 = 87%  
 FCP 0/3 = 10%  
 FILLER = 3%

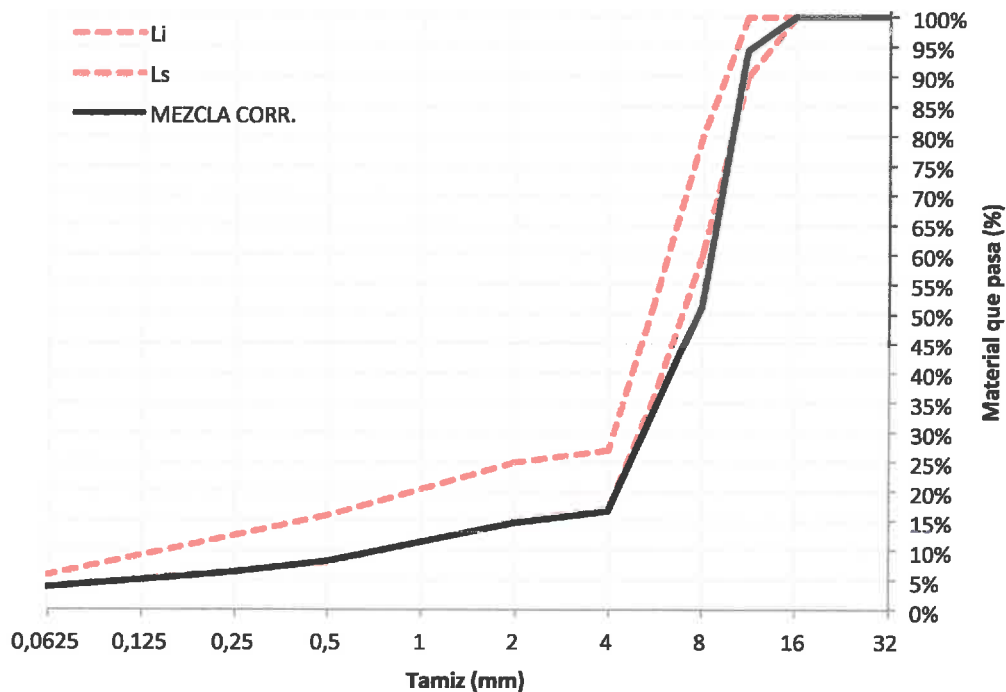


Figura 3. Combinación de ASA 4/11 + FCP 0/3 + FILLER corregida por densidad para la MB.

Con la dosificación anterior se realiza una prueba en blanco en la planta de Pabasa el día 19 de diciembre de 2012.

## FASE II

En la fabricación de la mezcla en blanco se ha utilizado árido siderúrgico 4/11mm (Adec Global), árido calizo 0/3 mm (Cantera Lafarge, Garraf), filler Minecal 50 y betún BM3C.

### Granulometría de los áridos

Los áridos se han tomado directamente de la prueba en blanco en la planta de Pabasa (19/12/2012). Se ha tomado muestras de los siguientes materiales (Tabla 2):

- Árido siderúrgico del acopio en Pabasa (ASA AP 4/11).
- Árido pasado por planta fracción 6/14 mm (ASA PP 6/14).
- Árido pasado por planta fracción 0/6 mm (AF PP 0/6).

Tabla 2. Granulometría de los áridos.

Tamiz (mm)	Material que pasa (%)		
	ASA AP 4/11	ASA PP 6/14	AF PP 0/6
31,5	100	100	100
22.4	100	100	100
16	100	100	100
11.2	92	93	100
8	41	44	100
4	3	5	96
2	3	4	83
0,5	3	2	34
0,25	2	2	22
0,063	1	1	7

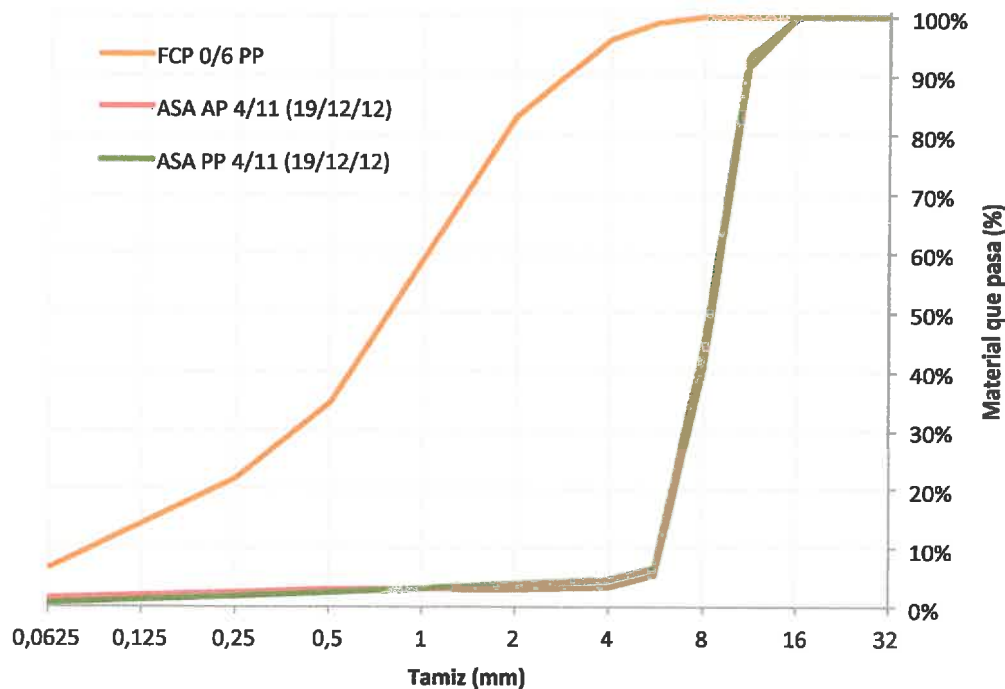


Figura 4. Curva granulométrica de las fracciones de áridos para la MB.

### COMBINACIÓN DE ÁRIDO SIDERÚRGICO + ÁRIDO CALIZO + FILLER

Utilizando las granulometrías obtenidas de los áridos pasados por planta se genera una curva en peso que en el tamiz 8 se encuentra un poco fuera del huso especificado.

#### Dosificación

ASA PP 6/14 = 83.0%  
AF PP 0/6 = 13.0%  
FILLER = 4.0%

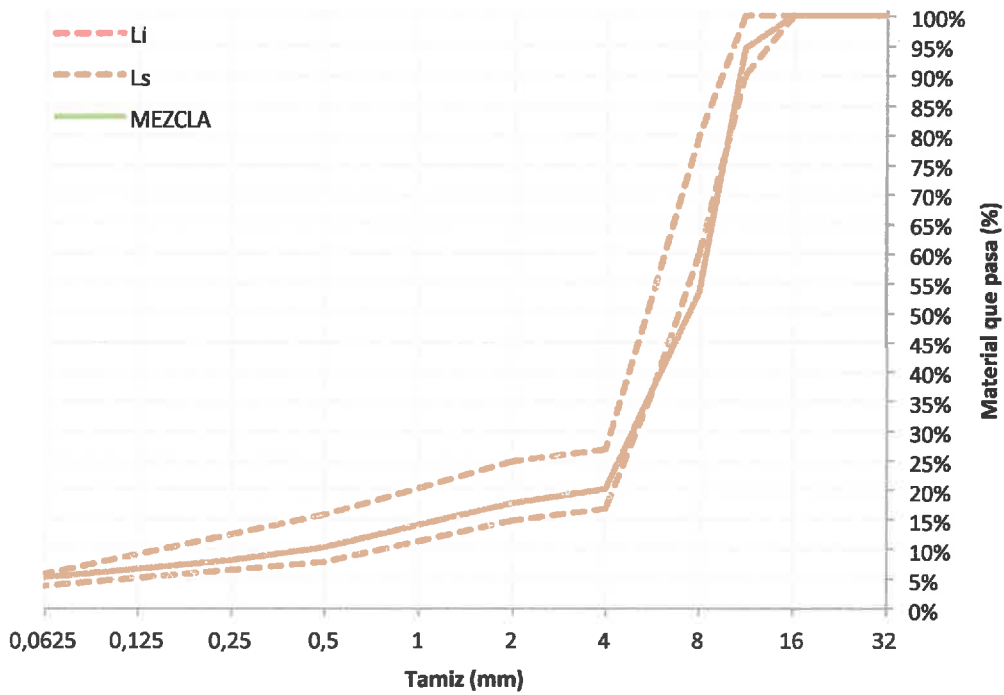


Figura 5. Combinación en peso de ASA PP 6/14 + AF PP 0/6 + FILLER para la MB.

Realizando la corrección por densidades la combinación de áridos genera una curva que se encuentra en el límite del huso granulométrico.

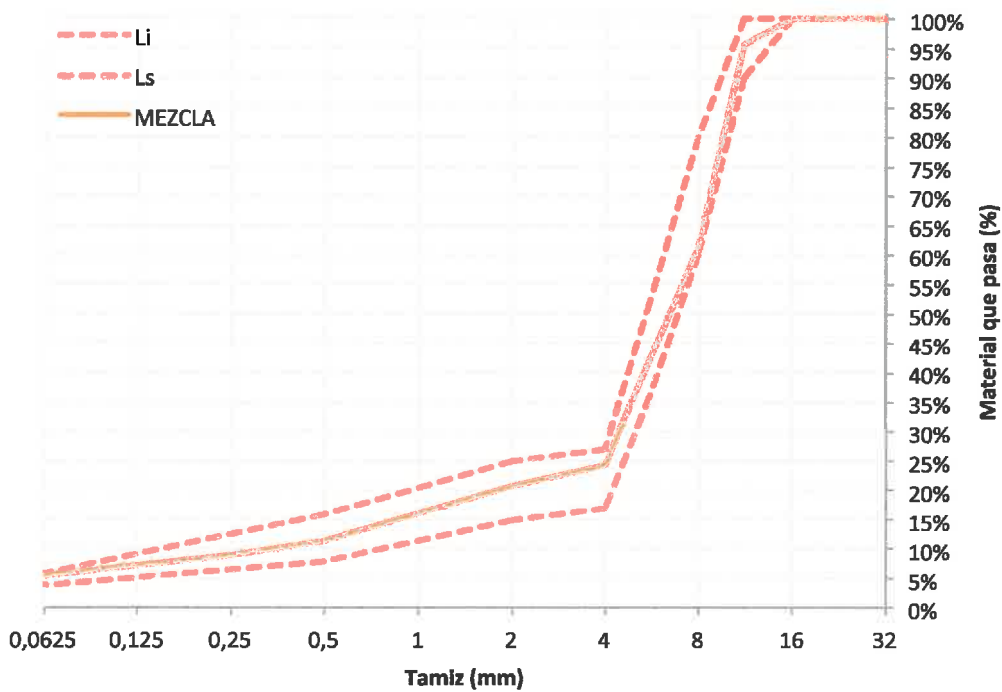


Figura 6. Combinación en volumen de ASA PP 6/14 + AF PP 0/6 + FILLER para la MB.

## DOSIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS

Se han realizado cuatro porcentajes de betún, tomando como valor mínimo el valor mínimo permitido en el PG3 (4.75% en la mezcla) (Tabla 3).

Tabla 3. Dosificaciones realizadas para la mezcla BBTM 11B.

	Cantidad (kg)			
	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4
ASA 6/14 mm	799	796	791	787
AF 0/6	125	124	124	123
Filler	37	39.4	42	45
Betún	38.5	40.6	43	45
Total	1000	1000	1000	1000
B. en mezcla (%)	3.85	4.06	4.28	4.50
B. en mezcla (%)*	4.75	5.00	5.25	5.50
F/B	1.178	1.175	1.174	1.173

\*Hace referencia a una mezcla bituminosa convencional, fabricada 100% con áridos calizos.

De cada tipo de mezcla se fabricaron 12 probetas, con las cuales se determinaron las siguientes propiedades:

- Densidad de la mezcla.
- Contenido de huecos.
- Pérdida de partículas.
- Sensibilidad al agua.
- Deformación permanente (ensayo de pista).

Todas las probetas se fabricaron compactando con 50 golpes por cara.

### DENSIDAD Y CONTENIDO DE HUECOS DE LAS MEZCLAS

La densidad de las mezclas se realiza según la norma UNE EN 12697-6 (Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 6: Determinación de la densidad aparente de probetas por el método hidrostático).

La determinación del contenido de huecos se basa en la norma UNE EN 12697-8 (Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 8: Determinación del contenido de huecos en las probetas bituminosas).

Los resultados se muestran en la Tabla 4 y en la Figura 7 y Figura 8.

Tabla 4. Densidad y contenido de huecos de las mezclas.

	3.85%		4.06%		4.28%		4.50%	
	Densidad	Huecos	Densidad	Huecos	Densidad	Huecos	Densidad	Huecos
	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)
Media	2.68	14.3	2.67	14.0	2.71	12.2	2.74	10.9
d.e.	0.06	1.9	0.05	1.5	0.07	2.1	0.05	1.6
c.v.	2.2%	13.2	1.7%	10.6	2.4%	17.6	1.7%	14.2

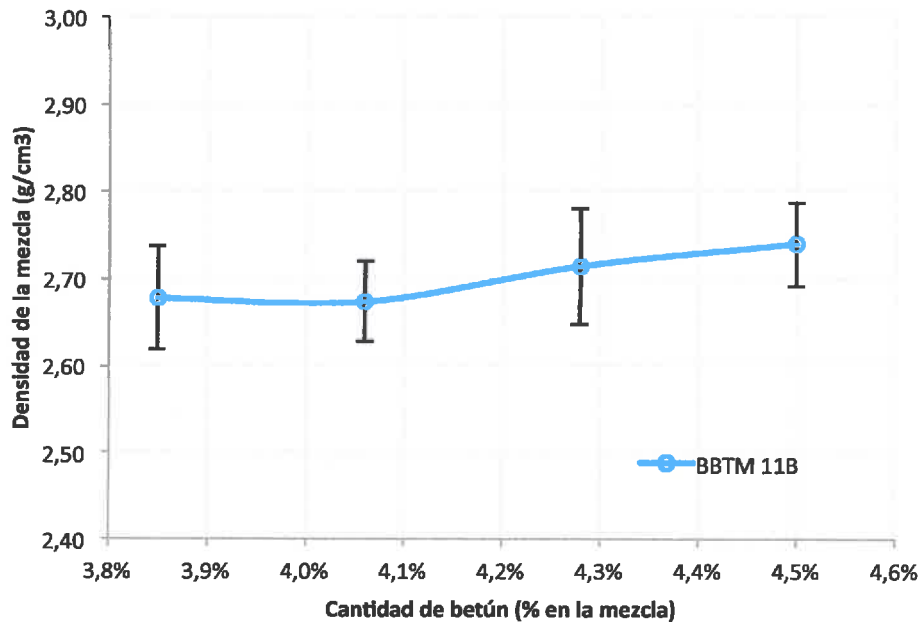


Figura 7. Densidad de las mezclas en relación a la cantidad de betún.

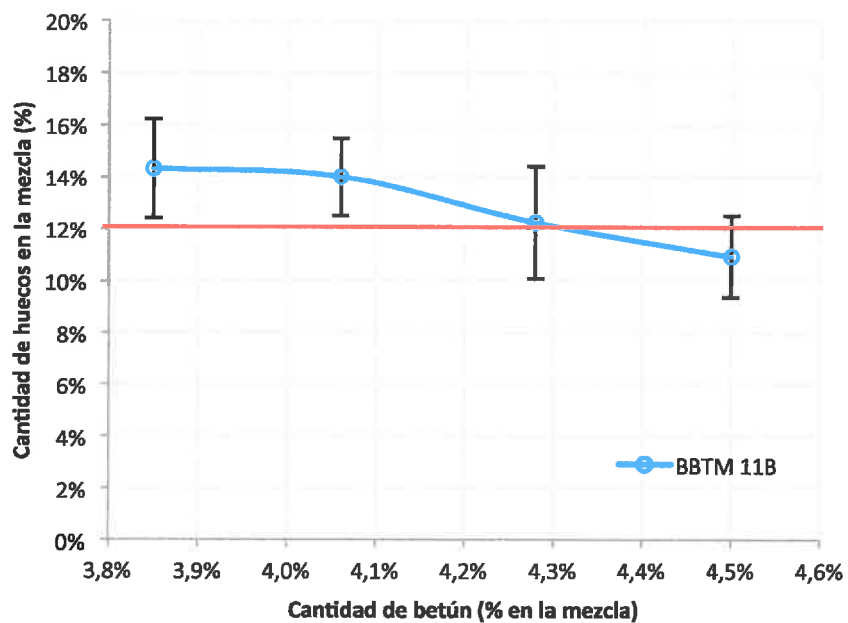


Figura 8. Contenido de huecos en las mezclas en relación a la cantidad de betún.



En la Figura 9 se muestra el aspecto de las probetas con diferentes contenidos de betún. De izquierda a derecha el contenido de betún aumenta.



Figura 9. Aspecto de las probetas de mezcla bituminosa.

### PÉRDIDA DE PARTÍCULAS DE LAS MEZCLAS

Se determina la pérdida de partículas de las probetas en estado seco y en húmedo. Los procedimientos se basan en las normas UNE EN 12697-17 (Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 17: Pérdida de partículas de una probeta de mezcla bituminosa drenante), y la norma NLT 362/92 (Efecto del agua sobre la cohesión de mezclas bituminosas de granulometría abierta, mediante el ensayo cántabro de pérdida por desgaste).

Los resultados se muestran en la Tabla 5 y la Figura 10.

Tabla 5. Pérdida de partículas en seco y húmedo de las mezclas.

	3.85%		4.06%		4.28%		4.50%	
	Seco	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco	Húmedo
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
<b>Media</b>	8.2	11.6	9.5	11.2	5.6	6.9	5.6	5.8
<b>d.e.</b>	0.6	1.4	1.4	2.8	1.3	2.5	1.0	1.0
<b>c.v.</b>	6.8	12.4	15.2	25.5	24.0	36.7	17.9	17.1

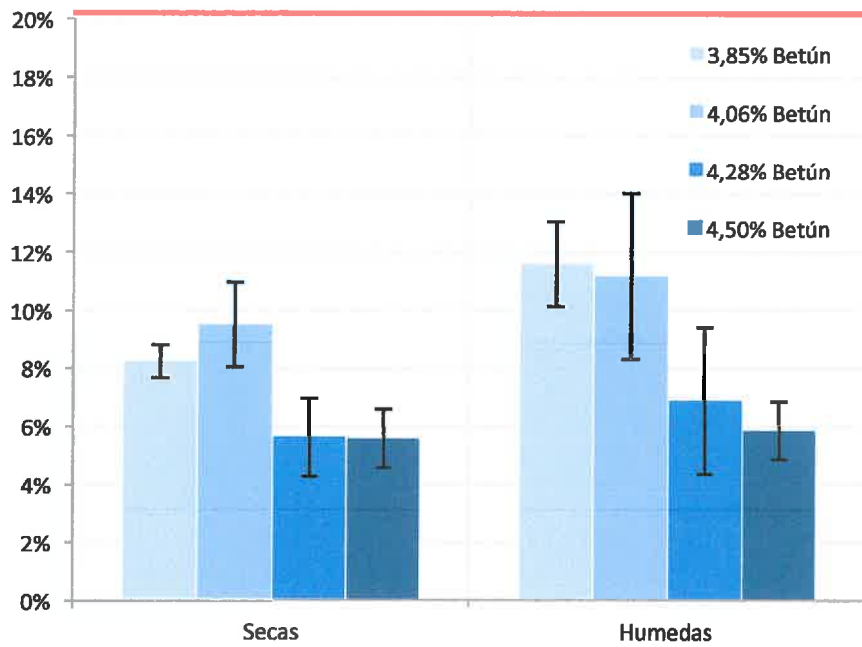


Figura 10. Pérdida de partículas en seco y húmedo en relación a la cantidad de betún.

En la Figura 11 se muestra el aspecto de las probetas antes y después del ensayo de pérdida de partículas.

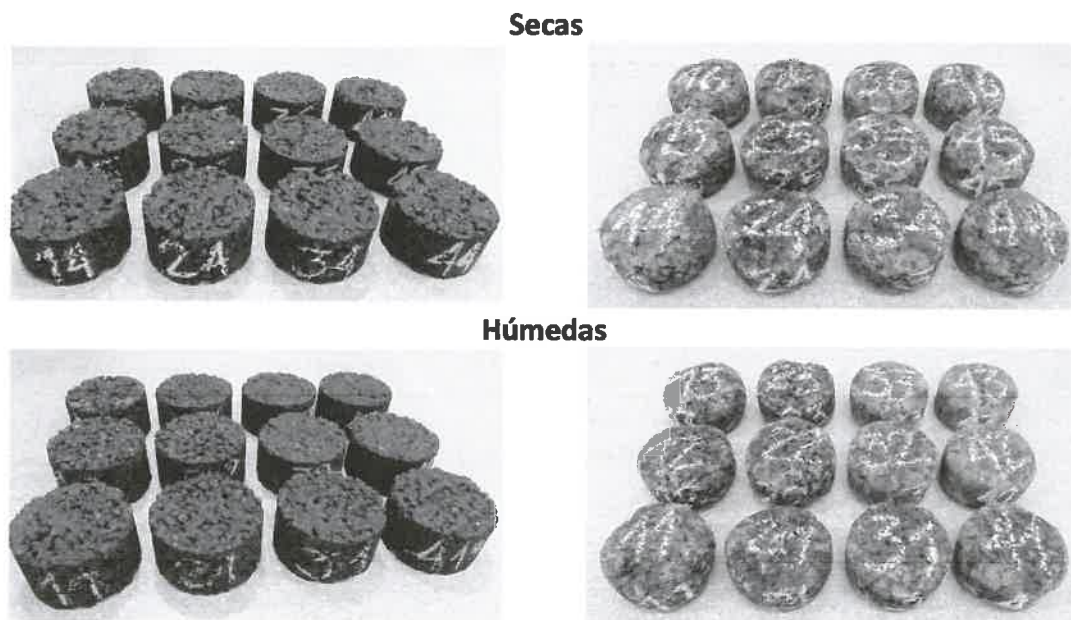


Figura 11. Aspecto de las probetas antes y después del ensayo de pérdida de partículas.

## SENSIBILIDAD AL AGUA DE LAS MEZCLAS

La determinación de la sensibilidad al agua se realiza según las normas UNE EN 12697-23 (Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 23: Determinación de la resistencia a la tracción indirecta de probetas de mezcla bituminosa), y la norma UNE EN 12697-12 (Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 12: Determinación de la sensibilidad al agua de las probetas de mezcla bituminosa).

Los resultados se muestran en la Tabla 6 y las Figuras 12 y Figura 13.

Tabla 6. Resistencia a tracción indirecta en seco y húmedo y sensibilidad al agua de las mezclas.

	ITS 3.85%		ITS 4.06%		ITS 4.28%		ITS 4.50%	
	Seco (MPa)	Húmedo (MPa)	Seco (MPa)	Húmedo (MPa)	Seco (MPa)	Húmedo (MPa)	Seco (MPa)	Húmedo (MPa)
Media	1.77	1.50	1.59	1.58	1.60	1.61	1.71	1.63
d.e.	0.23	0.10	0.04	0.10	0.14	0.07	0.24	0.13
c.v.	13.2%	7.0%	2.2%	6.6%	8.5%	4.6%	14.2%	7.9%
ITSR	85.0%		99.3%		100%		95.3	

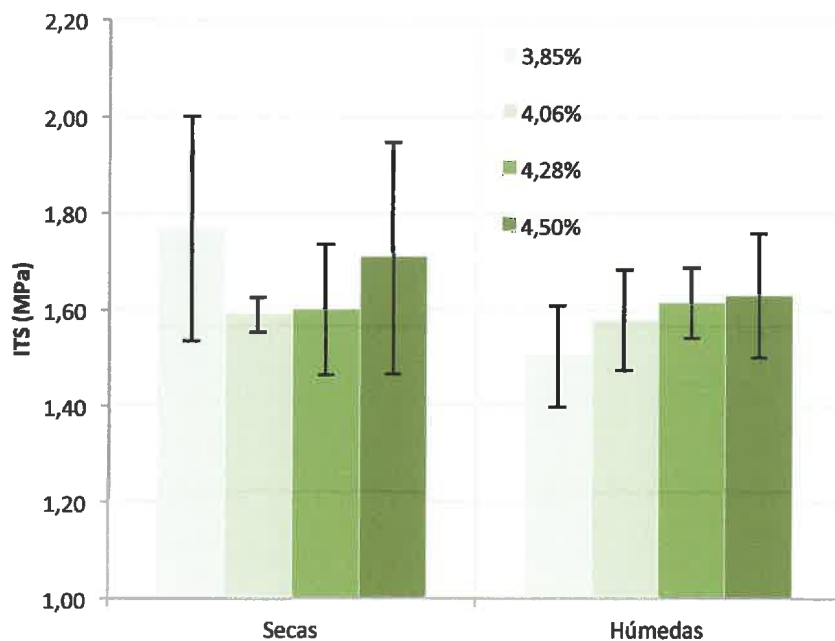
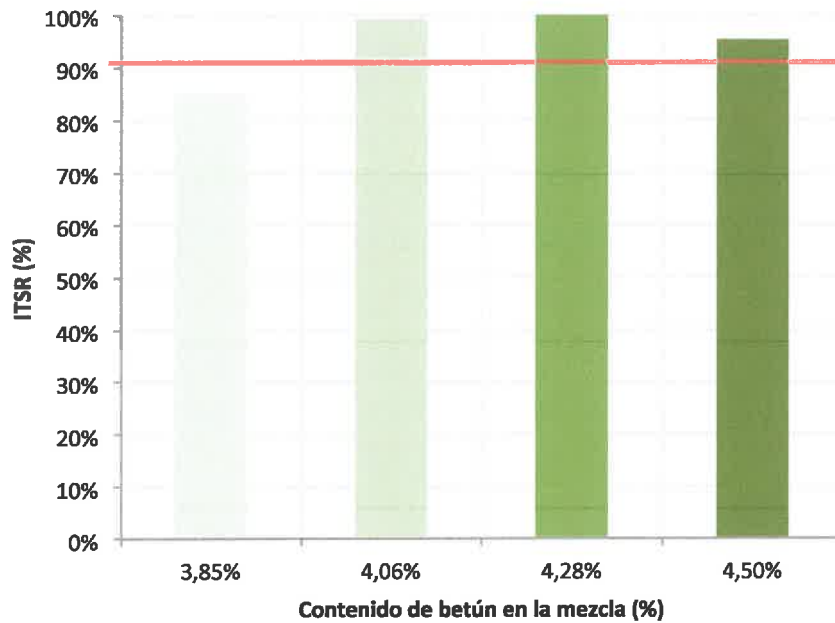
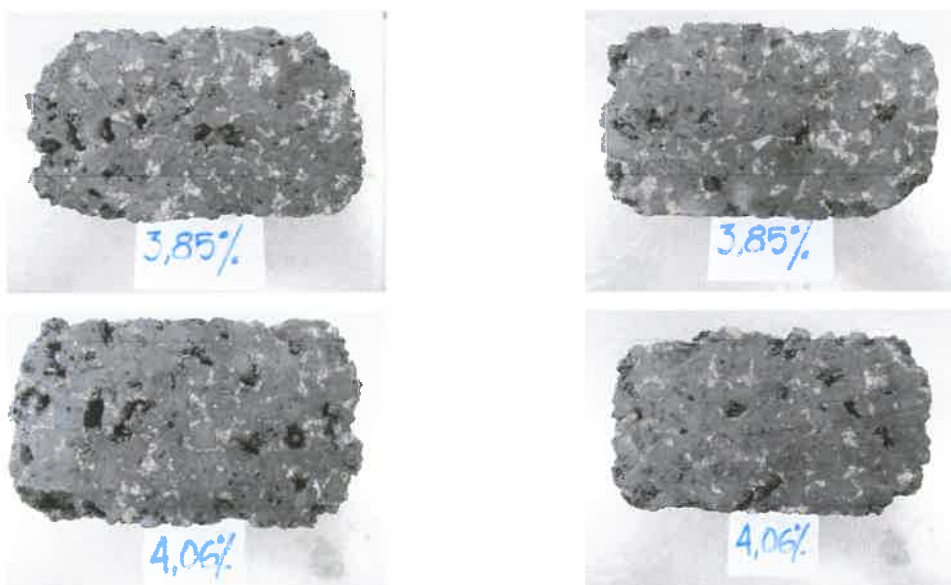


Figura 12. Resistencia a la tracción indirecta en seco y húmedo en relación a la cantidad de betún.



*Figura 13. Sensibilidad al agua de las mezclas en relación a la cantidad de betún.*

En la Figura 14 se muestra un corte transversal de las diferentes dosificaciones, en la cual se puede apreciar una buena distribución de los materiales que componen la mezcla.



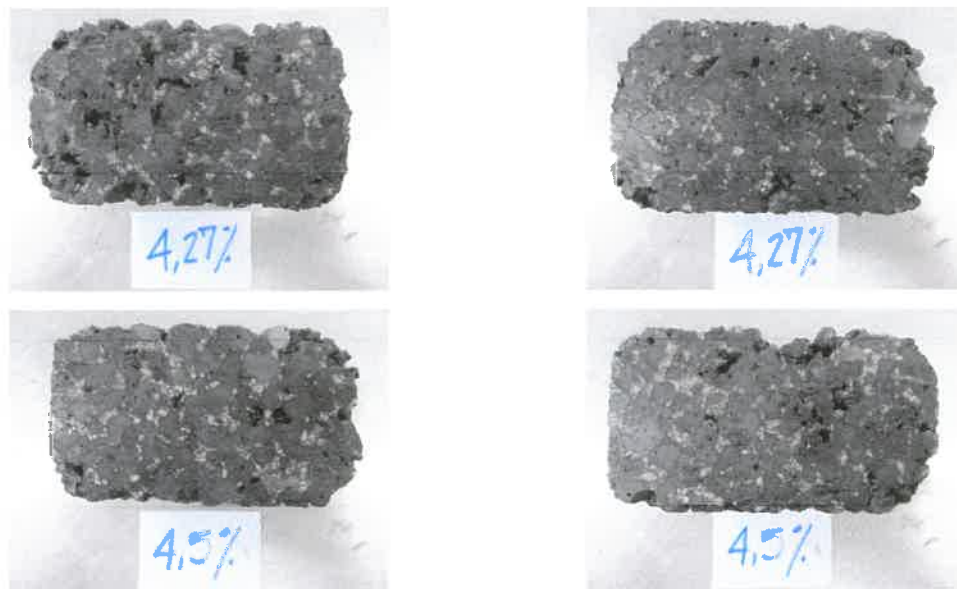


Figura 14. Aspecto interno de las diferentes mezclas bituminosas.

### DEFORMACIÓN PERMANENTE (Ensayo de pista)

La deformación permanente de la Mezcla 3 se realiza según la norma UNE EN 12697-22 (Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 22: Ensayo de rodadura). El espesor utilizado en las probetas es de 40 mm.

Los resultados se muestran en la Tabla 7 y la Figura 15. El aspecto de las probetas después de ensayadas se muestra en la Figura 16.

Tabla 7. Deformación permanente de la Mezcla con 4,28% de betún.

	Mezcla con 4.28%		
	Huecos	Deformación	Velocidad de deformación
	(%)	(mm)	(mm/1000 ciclos)
<b>Media</b>	13.7	1,8	0.041
<b>d.e.</b>	0.01	0.0	0.003
<b>c.v.</b>	0.1%	0.0%	7.6%

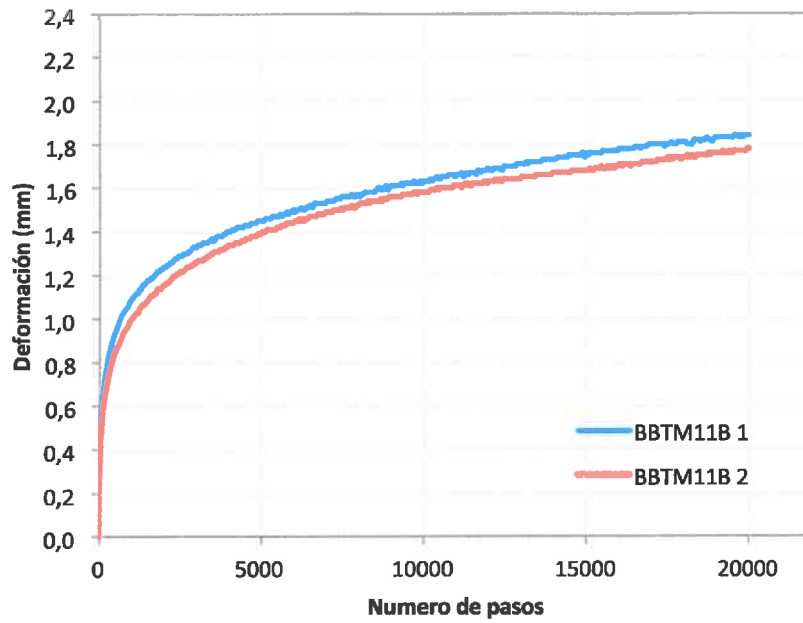
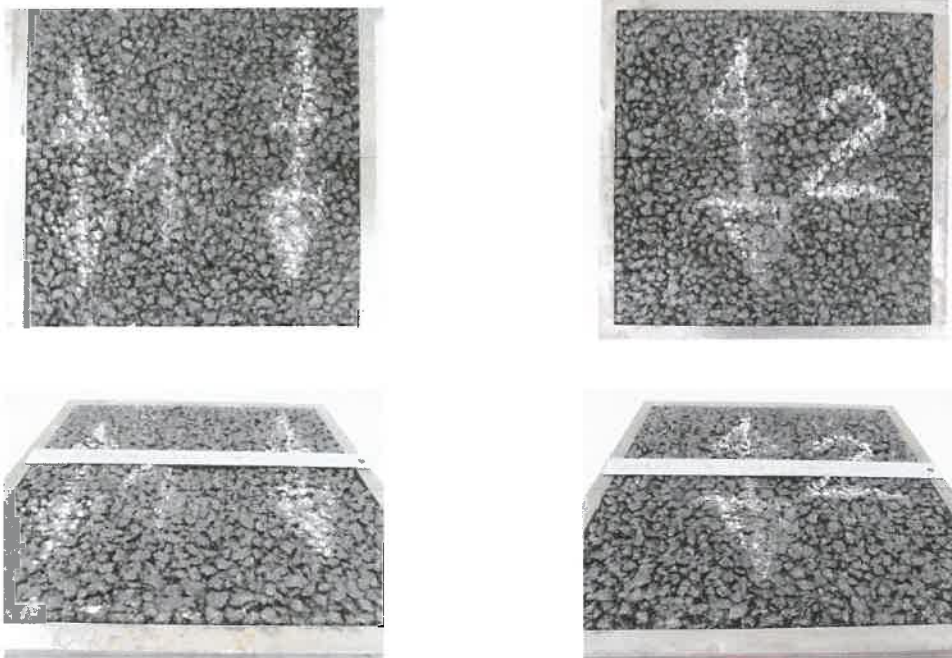


Figura 15. Curva de deformación permanente para mezcla con 4.28% de betún en la mezcla.





*Figura 16. Aspecto de las probetas después del ensayo de pista.*

Barcelona, 31 de enero de 2013.



**Dra. Marilda Barra Bizinotto**  
*Profesora de Materiales de Construcción*