

# ECOMEZCLAS BITUMINOSAS Y DE BASE CEMENTO PARA LA EJECUCIÓN DE FIRMES DE CARRETERAS A PARTIR DE MATERIALES ALTERNATIVOS. PROYECTO EFCAR.

### **MARISOL BARRAL**

Campezo Obras y servicios s.a.  
mbarral@campezo.com

### **AMAIA LISBONA E IÑIGO VEGAS**

Fundación Tecnalia Research & Innovation (TECNALIA),  
amaia.lisbona@tecnalia.com

### **JAVIER OLAETA**

Bizkaiko Txintxor Birziklategia (BTB),  
javier@btbab.com

### **ANDRÉS OROBIOGOICOECHEA**

Áridos siderúrgicos OROBIO (ARSIOR),  
andres@orobio.es

### **JUAN CAREAGA**

BEFESA ZINC ASER (BEFESA)  
juan.careaga@befesa.com

---

# ECOMEZCLAS BITUMINOSAS Y DE BASE CEMENTO PARA LA EJECUCIÓN DE FIRMES DE CARRETERAS A PARTIR DE MATERIALES ALTERNATIVOS. PROYECTO EFCAR.

---

## RESUMEN

La presente comunicación engloba el estudio a nivel de laboratorio y la validación en campo de mezclas tratadas con cemento (gravacemento, GC) con un 100% de áridos alternativos de varias naturalezas, así como mezclas bituminosas (MB) con áridos siderúrgicos para capa de rodadura. Los 4 tipos de áridos alternativos utilizados son: (1) árido reciclado mixto (ARM, con hormigón y cerámico) procedente de Residuos de Construcción y Demolición (RCD), fabricado por BTB; (2) árido reciclado de hormigón (ARH) de RCD (BTB); (3) árido siderúrgico (AS) procedente de la valorización de escoria negra fabricado por ARSIOR; y (4) Ferrosita (F), árido artificial procedente de la valorización de escoria del proceso Waelz, fabricado por BEFESA.

El estudio en laboratorio de GC ha consistido en la caracterización completa de los áridos, y en el estudio y optimización de 4 tipos de GC, a partir de los 4 tipos de áridos alternativos. El estudio en laboratorio de las MB, ha consistido en diseñar una mezcla tipo AC16S para capa de rodadura a partir del AS.

La validación de las aplicaciones anteriores se ha llevado a cabo, tras ajustes de escalado, en un vial de doble carril y longitud de 50 metros facilitado por el Ayuntamiento de Donostia. El tramo experimental ha consistido en la extensión de una nueva base hidráulica (testándose los cuatro tipos de GC) y las subsiguientes capas de mezcla

bituminosa (AC22S calizo como capa intermedia y un AC16 S con AS como capa de rodadura), tras la retirada de los firmes existentes en un espesor igual al repuesto.

Los testigos de GC extraídos del tramo a 28 días presentaron resistencias correctas y la MB en caliente cumplía también las especificaciones exigidas en el pliego de Prescripciones técnicas de carreteras en cuanto a sensibilidad al agua, deformación permanente, huecos y grado de compactación.

## 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal del proyecto EFCAR ha sido desarrollar, optimizar y validar nuevas formulaciones de mezclas ligadas (con cemento tipo gravacemento o con betún) para firmes estructurales de carreteras mediante la incorporación de áridos alternativos, con el propósito último de desarrollar mezclas para firmes más competitivas en el triple plano prestacional, económico y medioambiental y, adicionalmente, validando el uso de materia prima alternativa en aplicaciones de mayor valor añadido en relación a aplicaciones de rellenos.

Los participantes en el proyecto EFCAR son CAMPEZO OBRAS Y SERVICIOS, S.A., con fuerte especialización en la fabricación y extendido de mezclas bituminosas en caliente y gravacemento, como usuario final de las nuevas mezclas; y como

fabricantes de áridos alternativos: BIZKAIKO TXINTXOR BERZIKLATEGIA S.A. (BTB), ÁRIDOS SIDERÚRGICOS OROBIO S.L. (ARSIOR) y BEFESA ZINC ASER, S.A. (BEFESA). TECNALIA Research & Innovation es el socio tecnológico experto en la utilización de materiales reciclados para aplicaciones de construcción.

## 2. ESTUDIOS PREVIOS EN LABORATORIO

### 2.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS ÁRIDOS ALTERNATIVOS

En el marco del proyecto se han utilizado los siguientes áridos alternativos:

- ARM: árido reciclado mixto (compuesto principalmente por partículas de hormigón y cerámicas), procedente de la valorización de Residuos de Construcción y Demolición (RCD), fabricado por BTB. Tamaño: 0-40 mm.
- ARH, árido reciclado de hormigón procedente de la valorización de Residuos de Construcción y Demolición (RCD), fabricado por BTB. Tamaño: 0-40 mm.
- AS, árido siderúrgico procedente de la valorización de escoria negra de acería de horno eléctrico de arco (HEA), fabricado por ARSIOR. Se han utilizado tres fracciones de este material: 0-4 mm, 4-10 mm y 10-20 mm.
- F, Ferrosita, árido artificial procedente de la valorización de escoria del proceso Waelz, fabricado por BEFESA. Tamaño: 0-10 mm (se ha utilizado sólo la fracción fina 0/6 mm)

No obstante, indicar que en el caso de la GC, se han utilizado los 4 tipos de áridos alternativos señalados en distintas combinaciones como se indica en el apartado siguiente. Solo en el caso de mezclas bituminosas se utiliza únicamente el árido siderúrgico.

Los suministradores de material granular alternativo han seleccionado y acopiado entre 40 y 100 toneladas de cada árido, dependiendo del caso. Cada uno de los acopios se ha muestreado y caracterizado según se indica a continuación. Tras comprobar la validez de los materiales para las aplicaciones objetivo, gravacemento (GC) y mezcla bituminosa (MB), y ajustar las fórmulas de trabajo, los materiales se han destinado al tramo experimental.



Muestreo de árido reciclado mixto (ARM)



Muestreo de árido reciclado hormigón (ARH)



Muestreo de árido siderúrgico (AS)



Muestreo de Ferrosita (F)

Los ensayos de caracterización que se han realizado sobre los áridos alternativos vienen establecidos en la Norma de Firmes del País Vasco [1], que a su vez remite al PG-3 (Artículo 513 “Materiales tratados con cemento. Suelocemento y Gravacemento; y Artículo 542 “Mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso). Adicionalmente, se han considerado las particularidades de estos materiales alternativos, para los que algunos ensayos contemplados en la normativa general (diseñada en general para materiales convencionales) no son relevantes, y, otros no incluidos si lo son.

Concretamente:

- En relación a los áridos reciclados: según ACHE [2], el ensayo de terrones de arcilla para áridos reciclados conduce a resultados falseados, ya que se computan como terrones de arcilla materiales que no lo son, como por ejemplo, el mortero adherido a partículas de hormigón. Por otra parte, debido a que BTB no admite tierras como residuo de partida en su proceso, no tiene sentido realizar el ensayo de plasticidad (además, así lo demuestra los resultados sistemáticos de No Plástico que se han realizado en estudios previos). Por último, a pesar de que el PG-3 no incluye este ensayo, conocer la composición de los áridos reciclados (UNE-EN 933-11) resulta vital para trabajar con estos materiales.
- Sobre los AS y F, resulta conveniente comprobar su adecuada maduración. Se han considerado las especificaciones

establecidas en la Norma de Firmes del País Vasco para mezclas bituminosas también para gravacemento al no disponer de normativa para este tipo de materiales, hasta el momento. Por otra parte, se descarta determinar el contenido en materia orgánica, la plasticidad y los terrones de arcilla, por referirse todos ellos a parámetros propios de tierras (con ningún potencial en estos áridos procedentes de la industria siderúrgica).

## Resultados

Características de los áridos alternativos para GC y MB.

Característica/ Ensayo	ARM	ARH	Ferrosita	AS	REQUISITOS	
					Áridos para GC <sup>(1)</sup>	Áridos para MB rodadura tipo AC <sup>(2)</sup>
Contenido en finos (%) UNE-EN 933-1	5,7	8,9	0,4	0,8	-	<1
Caras de fractura (%) UNE-EN 933-5	95	-	100	99	≥30 (T3-T4)	≥90 (T3-T4)
Índice de lajas (FI) UNE-EN 933-3	6,9	12,9	1	0,8	≤35 (T3-T4)	≤20 (T3-T4)
Equivalente de arena SE <sub>4</sub> UNE-EN 933-8	39	38	90	89	≥ 40 (GC20)	SE <sub>4</sub> ≥ 55
Azul de metileno MB <sub>F</sub> UNE-EN 933-9	0,8	0,7	0,3	0,2	MB <sub>F</sub> < 10 y SE <sub>4</sub> > 30	MB <sub>F</sub> < 0,8 y SE <sub>4</sub> > 45
Resistencia a la fragmentación (LA) UNE-EN 1097-2	35	37	-	17	≤35 (T3-T4)	≤20 (T3-T4)
Resistencia al desgaste (M <sub>DE</sub> ) UNE-EN 1097-1	36	33	43	19	-	≤20 (T3-T4)
Coefficiente de pulimento acelerado (PSV) UNE-EN 1097-8	-	-	63	57	-	≥50
Azufre total (% SO <sub>2</sub> ) UNE-EN 1744-1	0,67	0,37	1,16	-	≤ 1	-
Sulfatos solubles en ácido (% SO <sub>3</sub> ) UNE-EN 1744-1	0,65	0,35	1,04	-	≤ 0,8	-
Sulfatos solubles en agua (% SO <sub>3</sub> ) UNE 103201	0,34	-	-	-	<sup>(1)</sup>	<0.7%
Densidad (Mg/m <sup>3</sup> ) / y absorción (%) UNE-EN 1097-6	2,65 / 2,30 / 5,80	2,68 / 9,29	3,81 / 6,20	3,61 / 1,80	Densidad aparente / absorción	

**ECOMEZCLAS BITUMINOSAS Y DE BASE CEMENTO PARA LA EJECUCIÓN DE FIRMES DE CARRETERAS A PARTIR DE MATERIALES ALTERNATIVOS. PROYECTO EFCAR.**

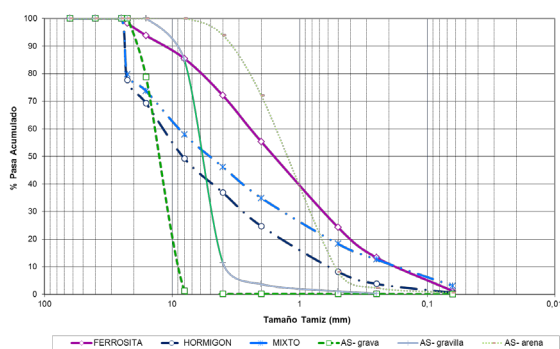
Expansividad UNE-EN 1744-1	-	-	0,03	0,01	< 3,5%	< 3,5
Índice Grado Envejecimiento IGE NLT-361	-	-	0,20	0,24	< 1%	< 1%
Contenido en cal libre UNE-EN 1744-1	-	-	0,48	0,44	≤0,5	≤0,5
Ensayo de sulfato magnésico (MS) UNE-EN 1367-2	13	16	2	1	≤ 18 <sup>(2)</sup>	≤ 18 <sup>(2)</sup>

(1) Si > 0,5%, debe emplearse cemento resistente a los sulfatos.  
 (2) Se toman como referencia los requisitos exigidos a áridos siderúrgicos en el Anejo 5 "Áridos procedentes de residuos de construcción y demolición para zahorras" de la norma de firmes del País Vasco [1]

Composición de los áridos reciclados (UNE-EN 933-11)

Componentes	Rc	Ru	Rc + Ru + Rg	Rb	Ra	Rg	X
ARH	82,3	13,6	95,9	3,8	0,1	0,1	0,2
ARM	64,7	17,8	81,9	15,9	1,2	0,1	0,1

Rc= Hormigón, productos de hormigón, morteros, piezas para fábrica de albañilería de hormigón.  
 Ru= áridos y piedras naturales y materiales tratados con ligantes hidrúlicos  
 Rg= vidrio  
 Rb=Materiales cerámicos de albañilería de arcilla (ladrillo y tejas) o de silicato de calcio, hormigón celular no flotante.  
 Ra= Materiales bituminosos  
 FL= Material flotante  
 X= impropios: madera no flotante, plásticos y caucho, yeso, metales ferrosos y no ferrosos, suelos y arcillas.



Granulometría de los áridos alternativos

En relación a los resultados de caracterización, se considera:

- El valor de desgaste de Los Angeles de ARH es ligeramente superior al permitido, pero según investigaciones previas, la liberación

de partículas finas (mortero) puede conducir a ganancia de resistencias complementarias.

- Los valores ponderados de azufre total y sulfatos solubles al ácido del árido combinado de la mezcla 4 (F y AS) no superan los límites establecidos. Se utilizará, en todo caso, cemento sulforresistente.
- La estabilidad de los áridos artificiales (según ensayos de expansividad, IGE y contenido en cal libre) es adecuada.
- Los áridos reciclados tienen una composición adecuada según la clasificación propuesta por la Norma de Firmes del País Vasco (Rc + Ru + Rg > 90 para ARH; Rc + Ru + Rg > 70 y Rb < 30 para ARM).

De la caracterización de áridos alternativos se concluye que a priori son adecuados para la aplicación de GC y MB. Como medida de prevención, se utilizará cemento sulforesistente en todas las mezclas.

**2.2. ESTUDIO DE LA FORMULA DE TRABAJO**

**Gravacemento, GC**

En el proyecto EFCAR se han desarrollado varios tipos de GC, todas ellas con un 100% de áridos alternativos. Las formulaciones se componen de árido alternativo(s), cemento, agua y aditivos. En concreto, se han desarrollado cuatro tipos de mezclas: (1) a partir de ARM; (2) a partir de ARH; (3) a partir de AS; y (4) con Ferrosita en la fracción fina y AS (4/10 y 10/20) para la fracción gruesa. En todas las mezclas se ha utilizado cemento sulforresistente (CEM Tipo III A SR 42,5 N) y un aditivo retardante Retamor 21.

En esta fase, el estudio realizado consistió en analizar varias dotaciones de cemento para cada tipo de mezcla, considerándose condiciones óptimas de compactación, resistencia a compresión, trabajabilidad y durabilidad de

las mismas. En concreto, se ha trabajado con dotaciones de cemento entre 80 y 120 kg/m<sup>3</sup> de GC. Finalmente, se optó por asegurar gravacimientos con prestaciones garantizadas, por lo que las fórmulas optimizadas de los cuatro tipos de GC llevan 120 kg/m<sup>3</sup> de cemento.

Como paso previo a la construcción del tramo experimental se han testado las fórmulas de trabajo a escala real en la planta de CAMPEZO-ASFALTA ubicada en Gallarta (Bizkaia), comprobándose el ajuste granulométrico de los áridos combinados, los ajustes de humedad, la trabajabilidad y la resistencia de las mezclas.

**Mezcla bituminosa para capa de rodadura, MB**

En cuanto a la mezcla bituminosa para capa de rodadura AC16 S con betún 50/70, se procedió a realizar el diseño de la misma en laboratorio a partir de las fracciones gruesas del árido siderúrgico y como árido fino se utilizó arena caliza 0/4 mm que cumplía las características exigidas en el PG-3 en cuanto a limpieza, calidad de los finos y desgates los ángulos del árido grueso del que procedía.

El diseño de la mezcla se llevo a cabo en volumen debido a la elevada densidad del árido siderúrgico.

La formula de trabajo fue la siguiente:

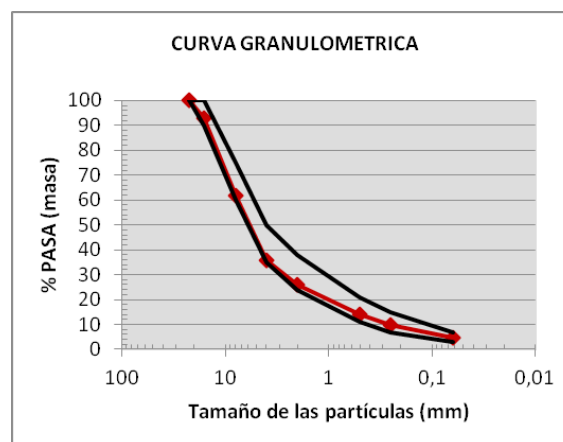
Fracción	naturaleza	procedencia	Dotación %
0/4	caliza	Aizkibel	27.5
4/10	AS	Orobio	34
10/20	AS	Orobio	33.5
Filler recuperación	caliza		5
<hr/>			
% Betún s/m	4.4		

Las características de la mezcla diseñada fueron las siguientes:

Característica	Norma de ensayo	Resultado	*FOM/2523/2014
Contenido de huecos en mezcla, % Vm	UNE-EN 12697-8	4,2	3-6
Contenido de huecos en árido, % VMA		16,4	≥15
Densidad de la probeta, s.s.s. Mg/m <sup>3</sup>	UNE-EN 12697-6	2,825	-
Densidad máxima de la mezcla Mg/m <sup>3</sup>	UNE-EN 12697-5	2,952	-
Resistencia a tracción Indirecta en seco, MPa	UNE-EN 12697-23	2,41	-
Resistencia a tracción Indirecta en húmedo, MPa		2,13	-
Sensibilidad al agua, %	UNE-EN 12697-12	88	≥85
Pendiente de deformación en pista, WTSaire, mm	UNE-EN 12697-22	0,05	≤0,15

\*especificaciones para categoría de tráfico T3-T4 y zona térmica estival media.

Curva granulométrica de la mezcla AC16 S diseñada



**3. FABRICACIÓN Y PUESTA EN OBRA**

El tramo experimental, una calzada en sentido único de dos carriles (aproximadamente 7 metros de ancho) y un total de en torno a 50 metros de longitud fue puesto a disposición del proyecto, gracias al Ayuntamiento de Donostia, en el Parque Tecnológico de Miramón. La sección tipo seleccionada (según Norma de Firmes del País Vasco) consta de las dos aplicaciones a validar en EFCAR: base hidráulica y mezcla bituminosa.

**ECOMEZCLAS BITUMINOSAS Y DE BASE CEMENTO PARA LA EJECUCIÓN DE FIRMES DE CARRETERAS A PARTIR DE MATERIALES ALTERNATIVOS. PROYECTO EFCAR.**

En concreto, se ha proyectado una GC de 25 centímetros de espesor, dividida en 4 sub-tramos (cada una de ellas en un carril de 3,50 metros de ancho y aproximadamente 25 metros de largo) a partir de las cuatro mezclas desarrolladas. Sobre la base hidráulica se proyecta un pavimento asfáltico de 13 centímetros de espesor, 8 cm de una capa intermedia AC22S caliza y 5 cm de capa de rodadura AC16S con árido siderúrgico.



Vista general del vial de actuación

Las GC se fabricaron en la planta de Campezo-Asfaltia. Cada amasada fue de 2 toneladas y se fabricaron entre 50 y 55 toneladas de cada tipo de mezcla, que se transportaron en dos viajes de camión a la localización del tramo. En la propia central de fabricación se muestrearon las cuatro mezclas, para su control de calidad.

Las GC se extendieron con extendedora automática y se ejecutó una prefisuración en fresco, cada 3 metros y con una profundidad mínima de 2/3 del espesor de la capa, inyectando emulsión bituminosa en la fisura. A continuación se procedió a la compactación de la capa mediante el empleo de rodillos vibrantes de llanta metálica lisa hasta alcanzar las densidades requeridas que se comprobaron utilizando el equipo nuclear. Seguidamente se aplicó un riego de curado con una emulsión bituminosa catiónica C60B4 CUR (dotación de 0,50 kg/m<sup>2</sup>).



Corte de tráfico a la zona de trabajo



Planta de fabricación de GC

Como paso previo a la instalación de las aplicaciones testadas, se procedió a cortar el tráfico a la zona de trabajos y retirar los firmes existentes en el espesor (constante) de 38 centímetros que sería después repuesto con las nuevas capas estructurales. Se comprobó, tras la excavación, la capacidad portante de la nueva explanada generada mediante placa de carga.



Extendido de gravacemento



Prefisuración



Estado previo



Compactación de la gravacemento



Descarga a extendedora

Previamente al extendido de la mezcla bituminosa, tras haber comprobado que las resistencias mínimas prescritas para estos materiales se cumplían, se aplicó un riego de adherencia con emulsión bituminosa catiónica termoadherente C60B4 TER (0,5 kg/m<sup>2</sup>) y se extendió la primera capa de mezcla bituminosa AC22S caliza, en un espesor de 8 cm. Posteriormente, se procedió a regar la superficie de nuevo con la misma emulsión termoadherente para finalmente, terminar el tramo con el extendido de la capa de rodadura en un espesor de 5 cm de la mezcla AC16S con árido siderúrgico. Ambas capas fueron compactadas con rodillo liso y de neumáticos hasta una densificación mayor del 98 y 97% de la densidad de referencia, respectivamente.



Extendido de la capa de rodadura

Los trabajos se concluyeron con la reposición de marcas viales afectadas por los trabajos, abriéndose, seguidamente, el tramo al tráfico.



Compactación de la capa de rodadura

## 4. RESULTADOS DEL CONTROL DE CALIDAD DE OBRA

### 4.1. CONTROL DE FABRICACIÓN Y PUESTA EN OBRA DE GC

Tal y como se indicaba más arriba, en la propia central de fabricación se muestrearon los cuatro tipos de GC, para el control de calidad de fabricación. Pudo comprobarse que todas las mezclas presentaban un aspecto homogéneo. De cada mezcla se determinó en laboratorio humedad y Proctor Modificado. Asimismo, se fabricaron 6 probetas de cada mezcla, para su rotura a compresión a edades crecientes. Se tomó también muestra del árido combinado de cada mezcla, a la que se determinó nivel de humedad. Los resultados se muestran en la siguiente tabla. Debido a un problema en laboratorio, no se pudieron fabricar probetas válidas para las mezclas 3 y 4, por lo que se recurrió a la extracción de testigos in situ (ver control de unidad terminada). La resistencia exigida por el PG-3 para la gravacemento es de 4,50 MPa a los 7 días.

	MEZCLA 1 ARM	MEZCLA 2 ARH	MEZCLA 3 AS-AS	MEZCLA 4 F-AS
Humedad árido (%)	13.3	9.9	5.5	8.0
Humedad amasada	15.0	13.3	6.3	9.5
Densidad max. Proctor (Kg/m <sup>3</sup> )	1908	2080	2597	2643
Humedad óptima (%)	13,6	9,7	5,3	7,9
Compresión a 7 días (MPa)	7,57	4,37	-	-
Compresión a 14 días (MPa)	10,62	8,30	-	-
Compresión a 28 días (MPa)	11,66	10,52	-	-
Compresión 90 días (MPa)	14,50	14,00	-	-

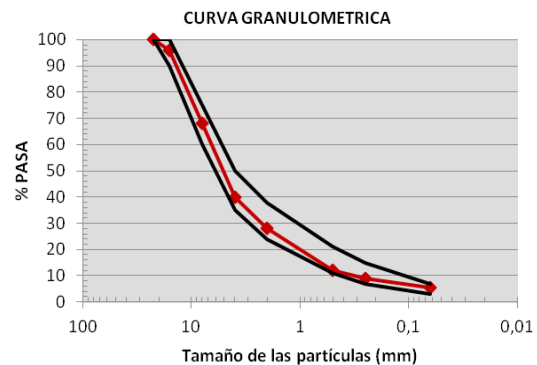
Como complemento al control de fabricación, se realizó un control de compactación mediante método nuclear comprobándose que en todos los subtramos se alcanzaba el nivel de compactación exigido (del 98% de la densidad máxima Proctor Modificado).

Como se puede observar las resistencias obtenidas a compresión a los 7 días cumplen la especificación exigida de 4.5 MPa. A partir de las roturas de los testigos de obra (ver apartados siguientes) pudo comprobarse asimismo el buen comportamiento mecánico de las mezclas 3 y 4.

### 4.2. CONTROL DE FABRICACIÓN Y PUESTA EN OBRA DE MEZCLAS BITUMINOSAS

En cuanto al control de calidad en la fase de fabricación y extendido de las mezclas bituminosas, solo se va a presentar los resultados obtenidos correspondientes a la capa de rodadura debido únicamente a que es la mezcla que presenta el árido alternativo (AS) pero los mismos controles se llevaron a cabo para la capa intermedia con árido calizo de cantera.

En la siguiente tabla y gráfico se muestra las características de la mezcla bituminosa AC16S con AS tomada de obra.



Curva granulométrica de la mezcla bituminosa fabricada.

Característica	Norma de ensayo	Resultado	*FOM/2523/2014
Contenido de huecos en mezcla, % Vm	UNE-EN 12697-8	4,0	3-6
Contenido de huecos en árido, % VMA		16,5	≥15
Densidad de la probeta, s.s.s. Mg/m <sup>3</sup>	UNE-EN 12697-6	2,826	-

Densidad máxima de la mezcla Mg/m <sup>3</sup>	UNE-EN 12697-5	2,944	-
Resistencia a tracción Indirecta en seco, MPa	UNE-EN 12697-23	2,14	-
Resistencia a tracción Indirecta en húmedo, MPa		1,94	-
Sensibilidad al agua, %	UNE-EN 12697-12	91	≥85
Pendiente de deformación en pista, WTSaire, mm	UNE-EN 12697-22	0,03	≤0,15

El contenido de ligante en la mezcla ensayada fue de 4.5% s/m.

Como se puede observar las características de la mezcla bituminosa AC16 S con AS cumple ampliamente las especificaciones técnicas exigidas en el PG-3.



Tramo experimental completado



Testigo (90 días) de GC con ARM y mezcla bituminoso (intermedia y rodadura)

### 4.3. CONTROLES DE CALIDAD REALIZADOS A LA UNIDAD TERMINADA

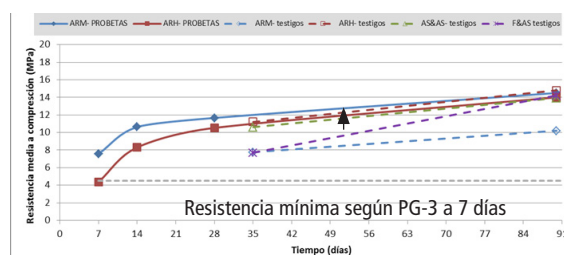
#### Gravacemento

Se extrajeron testigos de obra en dos periodos de tiempo, aproximadamente al mes y transcurridos tres meses desde el extendido de las GC, para comprobar la capacidad portante. En la tabla siguiente se reflejan las resistencias medias a compresión determinadas para las GC. La resistencia exigida por el PG-3 para las GC es de 4,50 MPa a los 7 días, no existiendo una especificación que limite la resistencia máxima debido a que se ha llevado a cabo la prefisuración de la GC.

Edad de rotura	MEZCLA 1 ARM	MEZCLA 2 ARH	MEZCLA 3 ASAS	MEZCLA 4 F-AS
35 días (MPa)	7,76	11,2	10,65	7,68
90 días (MPa)	10,2	14,8	13,90	14,20

Resistencia media a compresión de testigos de GC (en MPa)

Se puede observar en la tabla una evolución de las resistencias con el paso del tiempo. En la gráfica siguiente se refleja esta evolución con datos de probetas de laboratorio y datos de testigos de obra.



#### Mezcla bituminosa para capa de rodadura

En cuanto a los controles de la unidad terminada de la capa de rodadura de la mezcla bituminosa AC16S con AS, se determinó el grado de compactación de las capas de mezclas bituminosas que se cortaron de los testigos que se extrajeron para el estudio de resistencia de la GC.

**ECOMEZCLAS BITUMINOSAS Y DE BASE CEMENTO PARA LA EJECUCIÓN DE FIRMES DE CARRETERAS A PARTIR DE MATERIALES ALTERNATIVOS. PROYECTO EFCAR.**

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos:

Grado de compactación de la capa de rodadura

TESTIGO Nº	Densidad de referencia SSS, (Mg/m <sup>3</sup> )	D testigo SSS, (Mg/m <sup>3</sup> )	Grado compactación (%)
F1		2,723	96,3
F2		2,706	95,8
H1		2,763	97,8
H2		2,741	97,0
M1		2,709	95,9
M2		2,764	97,8
S2		2,774	98,2
S3		2,793	98,8
PROMEDIO		2,746	97,2

Como se puede observar, se cumple el 97% exigido en el PG-3.

Además, con estos testigos se realizó el ensayo de sensibilidad al agua, obteniéndose los resultados que se muestran a continuación:

Característica	Resultado
Densidad media de los testigos (seco), s.s.s. Mg/m <sup>3</sup>	2,744
Densidad media de los testigos (húmedo), s.s.s. Mg/m <sup>3</sup>	2,746
Resistencia a tracción Indirecta en seco, MPa	1,43
Resistencia a tracción Indirecta en húmedo, MPa	1,28
Sensibilidad al agua, %	90

**CONCLUSIONES**

De los trabajos realizados se puede concluir:

- Los áridos alternativos de estudio (áridos reciclados mixtos y de hormigón, áridos siderúrgicos y Ferrosita) resultan aptos para la fabricación de GC.
- La fabricación de las GC alternativas no han presentado diferencias notables en relación a la práctica con mezclas convencionales.

- Las resistencias alcanzadas por las cuatro GC superan con margen las resistencias exigidas. En la construcción del tramo experimental se ha optado por una aproximación garantista, con una dotación de cemento (120 kg/m<sup>3</sup>) superior a las dotaciones de cemento que en laboratorio pudieron validarse.
- En cuanto a la mezcla bituminosa como capa de rodadura AC 16S fabricada con árido siderúrgico, presenta prestaciones iguales o mejores que otro árido natural utilizado en capa de rodadura.

**AGRADECIMIENTOS**

Proyecto financiado por el Departamento de Desarrollo Económico y Competitividad del Gobierno Vasco, y Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER). Convocatoria Gaitek 2012-2014.

**REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

[1] Norma para el Dimensionamiento de Firmes de la Red de Carreteras del País Vasco. Departamento de Vivienda, Obras Públicas y Transportes del Gobierno Vasco, edición ampliada y revisada 2012.

[2] Monografía M-11-ACHE: "Utilización de árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural", p. 15, ACHE Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural, 2006.