

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-31

CARACTERIZACIÓN DE ZAHORRA SIDERÚRGICA MEZCLADA CON RECHAZO CALIZO PARA SU USO EN CAPAS DE BASE Y SUBBASE

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

Realizar la caracterización de una zahorra siderúrgica mezclada con rechazo calizo para su uso como capa de base y subbase.

ENSAYOS REALIZADOS

Los ensayos realizados para la caracterización del material son:

- Distribución granulométrica.
- Determinación de la densidad y absorción.
- Determinación del desgaste de Los Ángeles.
- Determinación del índice de plasticidad.
- Determinación del equivalente de arena.
- Determinación de la composición química.
- Determinación del contenido de azufre total.
- Determinación de la expansión acelerada.
- Determinación de la compactación Proctor.
- Determinación del índice CBR.
- Determinación del impacto ambiental (Lixiviación).

MATERIAL

El material entregado consta de una muestra de zahorra siderúrgica 0/25 y una muestra de rechazo calizo de fracción 0/16 mm. Las muestras se entregan con fecha del 17 de febrero de 2014 en el laboratorio de Materiales de Construcción con un peso aproximado de 100 kg cada una.

RESULTADOS

Obtención de la zahorra mezclada

Para la caracterización del material se procede a la obtención de la zahorra siderúrgica mezclada con rechazo calizo. La proporción en peso utilizada para la mezcla final es de 75% de zahorra siderúrgica y 25% de rechazo calizo. Con el material mezclado se realizaron los ensayos de caracterización que se presentan a continuación.

1.1 Distribución granulométrica

Este ensayo se realiza bajo la norma UNE EN 933-1:98 (Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Método del tamizado). Los resultados de la *Tabla 1* muestran las distribuciones de la escoria siderúrgica, el rechazo calizo y la mezcla entre éstos.

Tabla 1. Distribución granulométrica de la zahorra siderúrgica

Tamiz (mm)	Material que pasa (%)		
	ZSA	RC	Mezcla
40	100	100	100
31,5	100	100	100
25	99	100	100
20	98	100	99
16	93	100	95
8	65	91	71
4	34	68	43
2	17	50	25
0,5	3	28	9
0,25	1	21	6
0,063	0	12	3

En la *Figura 1* se muestra la curva granulométrica de la zahorra siderúrgica (ZSA) y del rechazo calizo (RC). En la *Figura 2* se muestra la curva de la mezcla 75% ZSA y 25% de RC, junto a los límites del PG3-2008 para una zahorra ZA 20.

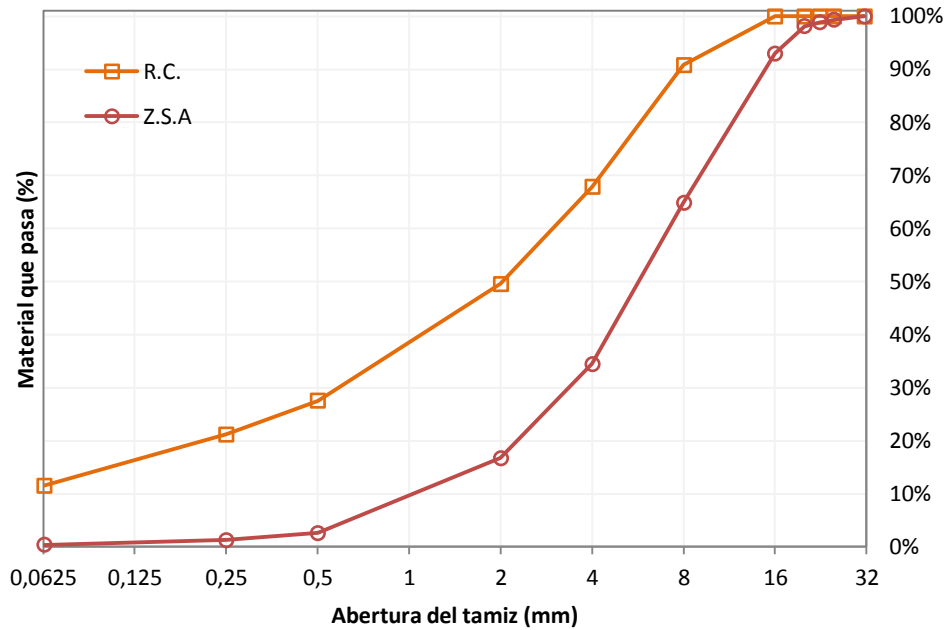


Figura 1. Curva granulométrica de la zahorra siderúrgica y el rechazo calizo.

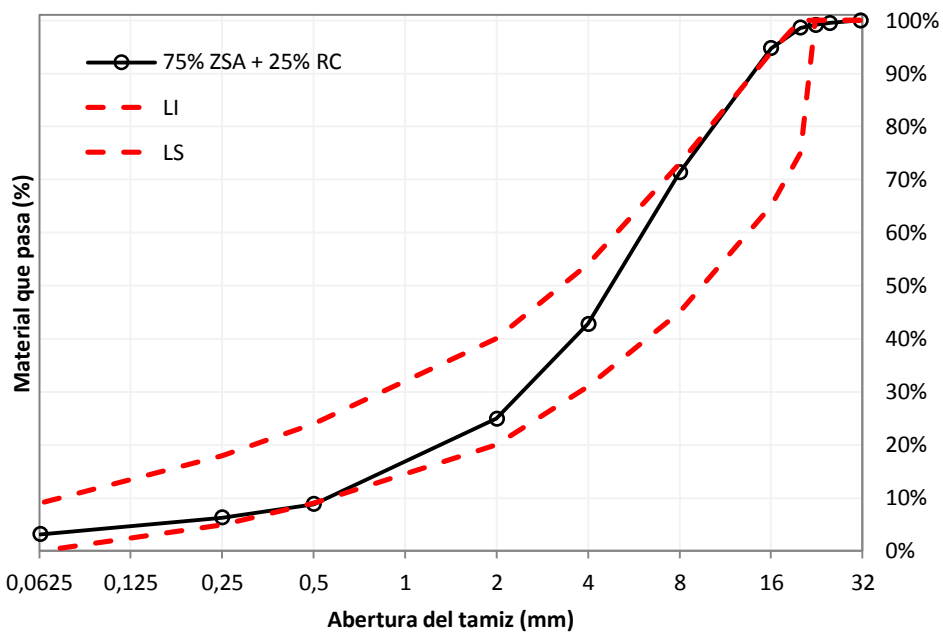


Figura 2. Curva granulométrica de la mezcla 75% ZSA y 25% RC.

Se puede observar que la zahorra mezclada se encuentra dentro de los límites planteados por el PG3-2008 para una zahorra ZA 20.

1.2 Determinación de la densidad y absorción de partículas

El ensayo de densidad y absorción de la zahorra siderúrgica y el rechazo calizo se realiza según la norma UNE EN 1097-6 (ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 6: Determinación de la densidad y la absorción de agua). En la *Tabla 2* se muestran los resultados de los dos materiales.

Tabla 2. Densidad y absorción de la zahorra siderúrgica

Propiedad	ZSA		RC	
	0,063 – 4 mm	4 – 25 mm	0,063 – 4 mm	4 – 25 mm
Densidad Aparente (g/cm ³)	3,86	3,74	2,76	2,72
Densidad Seca (g/cm ³)	3,53	3,52	2,67	2,68
Densidad S.S.S. (g/cm ³)	3,62	3,58	2,70	2,69
Absorción (%)	2,5	1,6	1,8	1,1

1.3 Determinación de la resistencia a la fragmentación (Los Ángeles)

El ensayo para determinar la resistencia a la fragmentación se realiza según la norma UNE EN 1097-2 (Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 2: Métodos para la determinación de la resistencia a la fragmentación). El resultado se muestra en la *Tabla 3*.

Tabla 3. Resistencia a la fragmentación (Los Ángeles)

Mezcla 75% ZSA + 25% RC	
Tamaño de partículas	10 – 14 mm
L.A.	24

1.4 Determinación del índice de plasticidad

Para la realización de este ensayo se utilizan las normas UNE 103103 (Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande), y la norma UNE 103104 (Determinación del límite plástico de un suelo).

Mezcla 75% ZSA + 25% RC (i.P.): Material no plástico

En la *Figura 3* muestra el aspecto del material durante el ensayo.



Figura 3. Aspecto de la mezcla 75% ZSA + 25% RC.

1.5 Determinación del equivalente de arena

Este ensayo se realiza según la norma UNE EN 933-8 (Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 8: Evaluación de los finos. Ensayo del equivalente de arena).

Equivalente de arena $SE = 55 \pm 1$

1.6 Determinación de la composición química

La composición química de la zahorra siderúrgica y del rechazo calizo se realiza por la técnica de Fluorescencia de Rayos X (FRX). El equipo utilizado es un espectrofotómetro de marca Philips PW 2400.

Las muestras se secan a 100 °C, luego se trituran y tamizan por el tamiz de malla 0.063 mm. Seguidamente, se calcinan tres réplicas de cada muestra a una temperatura de 1000 °C por un periodo de tiempo de una hora, con lo cual se obtiene la pérdida por calcinación de las muestras. En la Tabla 4 se muestran los resultados obtenidos de la zahorra siderúrgica y el rechazo calizo.

Tabla 4. Composición química (% en peso de la muestra) de la ZSA y el RC.

Óxidos (% peso)	ZSA	RC
PPC	0,00	45,17
Al ₂ O ₃	9,92	0,79
BaO	0,42	--
CaO	25,78	31,01
Cr ₂ O ₃	2,43	--
Fe ₂ O ₃	35,10	0,76
K ₂ O	0,06	0,10
MgO	3,07	19,36
MnO	5,32	0,08
Na ₂ O	0,07	0,00
Nb ₂ O ₅	0,04	--
P ₂ O ₅	0,49	0,00
SiO ₂	13,91	2,59

1.7 Determinación del contenido de azufre total

El contenido de sulfatos solubles en ácido, en agua y el contenido de azufre total se realizan según la norma UNE EN 1744-1 (Ensayos para determinar las propiedades químicas de los áridos. Parte 1: Análisis químico).

En la *Tabla 5* se muestran los resultados obtenidos. El ensayo se realiza a la muestra de escoria siderúrgica.

Tabla 5. Contenido de sulfatos solubles en agua y en ácido (expresado en % SO₃ en peso de la muestra) y azufre total (expresado en % S en peso de la muestra) de la escoria siderúrgica.

	ZSA 0/25
Sulfatos solubles en agua (% SO ₃)	0,019
Sulfatos solubles en ácido (% SO ₃)	0,062
Azufre total (% S)	0,103

1.8 Determinación de la expansión acelerada

Para la determinación de la expansión se sigue el procedimiento establecido en la norma UNE EN 1744-1 (Ensayos para determinar las propiedades químicas de los áridos. Parte 1: análisis química). El ensayo se realiza por duplicado. Las expansiones medias se dan para los tiempos de 24 horas y 168 horas.

En la *Tabla 6* y en la *Figura 4* se muestran los resultados obtenidos en el ensayo.

Tabla 6. Expansión acelerada de la mezcla 75% ZSA + 25% RC.

Tiempo	Expansión (%)
24 horas	0,04
168 horas	0,70

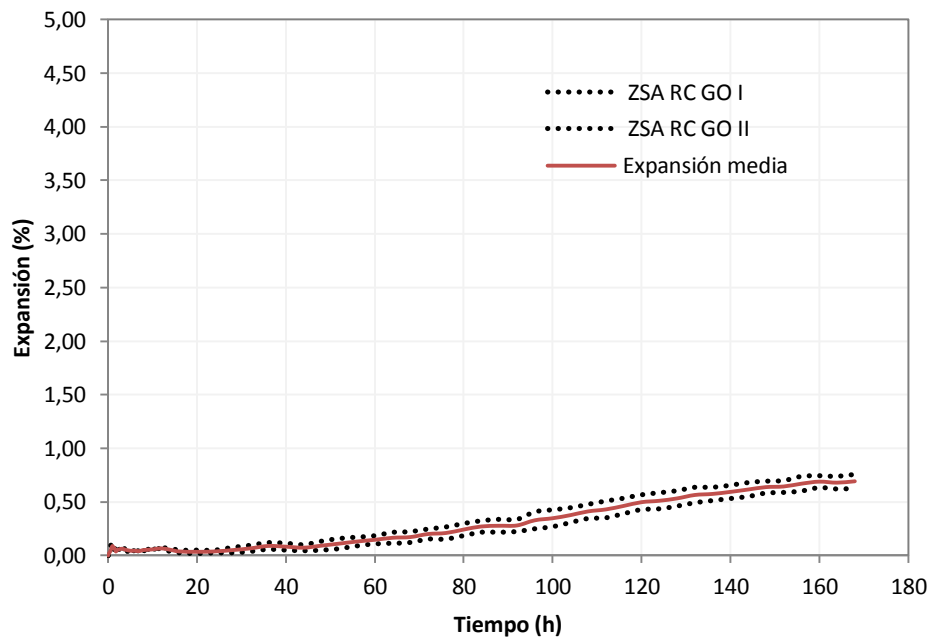


Figura 4. Curva de expansión de la mezcla 75% ZSA + 25% RC.

1.9 Determinación de la compactación proctor

El ensayo de densidad máxima y humedad óptima se realiza por medio del ensayo NLT 311 (Densidad y humedad óptima de compactación, mediante martillo vibrador, de materiales granulares con o sin productos de adición). Se utiliza en ensayo mencionado anteriormente ya que se trata de materiales granulares poco cohesivos.

En la *Tabla 7* y la *Figura 5* se muestran los resultados del ensayo para la mezcla de ZSA y RC.

Tabla 7. Densidad y humedad de compactación para la mezcla de 75% ZSA + 25% RC.

75% ZSA + 25% RC	
Densidad seca (g/cm ³)	
% H ₂ O	D.S
2,4	2,43
4,3	2,50
6,0	2,60
9,3	2,63
11,6	2,58

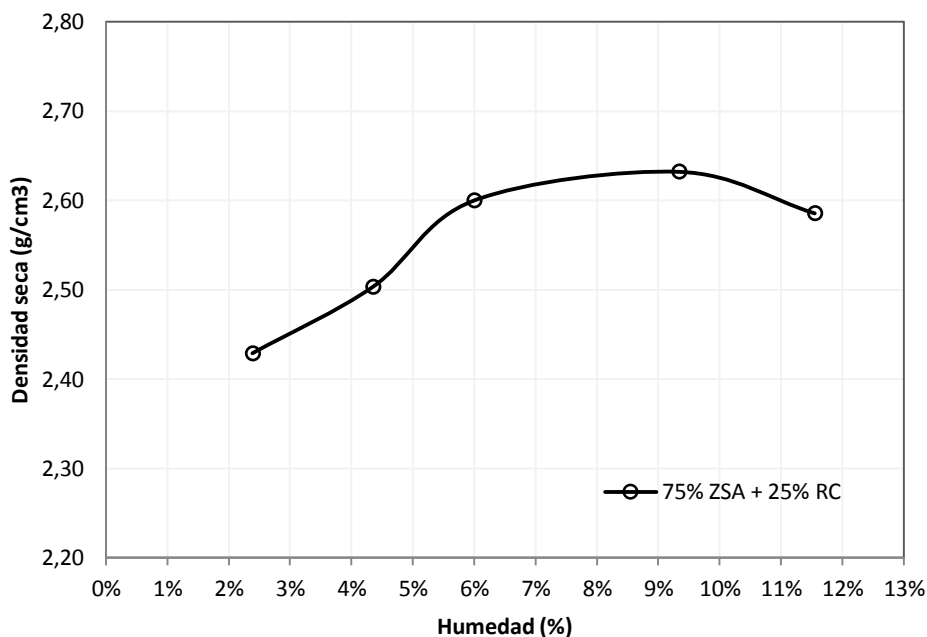


Figura 5. Comportamiento de la densidad de compactación frente a la humedad.

Humedad óptima = 7.5%

Densidad máxima = 2.63

1.10 Determinación del índice CBR

Para la determinación del índice CBR se sigue la norma UNE 103502 (método de ensayo para determinar en laboratorio el índice CBR de un suelo). La humedad de compactación utilizada es de 7.5% con relación al peso del material.

En la *Tabla 8* se muestran los datos de fabricación de las probetas y el resultado del CBR. La *Figura 6* muestra las curvas de carga versus penetración del ensayo CBR.

Tabla 8. Resultados del ensayo CBR para la mezcla 75% ZSA + 25% RC.

Propiedad	Muestra					
	1		2		3	
Humedad de compactación (%)	7,5		7,5		7,5	
Densidad seca (g/cm³)	2,62		2,61		2,61	
Sobrepeso (kg)	4,5		4,5		4,5	
Expansión (%)	0,0		0,0		0,0	
Penetración (mm)	Q (KN)	CBR	Q (KN)	CBR	Q (KN)	CBR
2.5	15	114	13	100	12	97
5.0	23	66	24	120	21	108
CBR promedio	98					

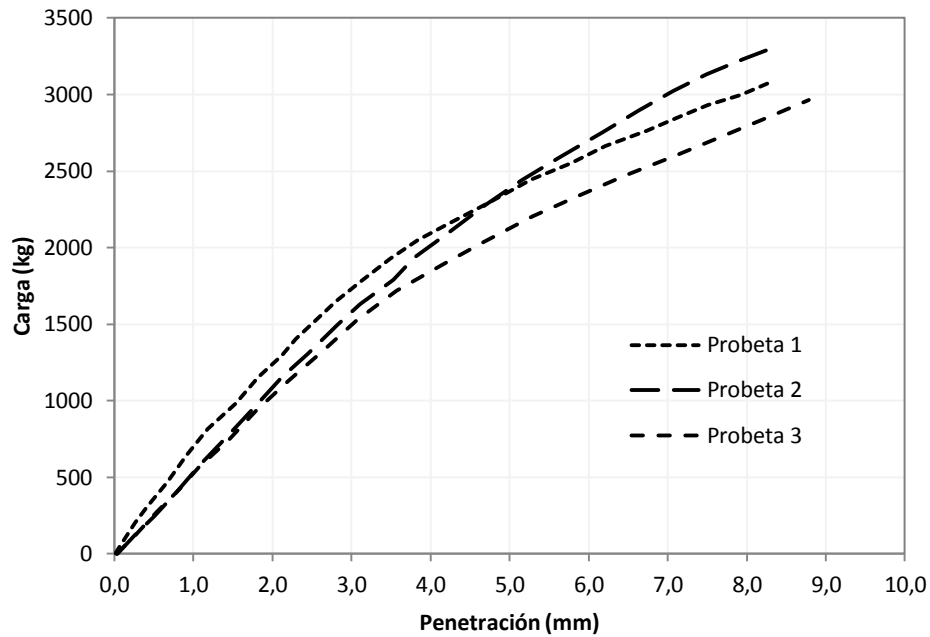


Figura 6. Curva ensayo CBR para la mezcla 75% ZSA + 25% RC.

1.11 Determinación del impacto ambiental (lixiviación)

Este ensayo se realiza según la norma UNE EN 12457-2 (Ensayo en una etapa con una proporción líquido sólido de 10 l/kg para materiales con el tamaño de partícula por debajo de 4 mm, con o sin reducción de tamaño). El ensayo se hace por triplicado y el resultado mostrado es el valor medio.

En la *Tabla 9* se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 9. Cantidad de contaminante lixiviado (mg/kg de muestra) de la zahorra siderúrgica.

Contaminante	mg/kg	
	ZSA	Decreto 32/2009
As	--	0,50
Ba	7.25	20,00
Cd	<0,01	0,04
Cl	169,67	800,00
Cr	0,21	0,50
Cu	0,22	2,00
F	5.26	18,00
Hg	--	0,01
Mo	0,22	0,50
Ni	<0,02	0,40
Pb	0,14	0,50
Sb	<0,02	0,06
Se	<0,05	0,10
SO4	300,72	1000,00
Zn	1,08	4,00

OBSERVACIONES

A continuación se recogen las características y los valores límites que deben cumplir los materiales para ser utilizados como bases y subbases (Tabla 10). Se puede observar que los valores son cumplidos en todos los requerimientos planteados por el PG-2008.

Tabla 10. Requerimientos para uso de materiales en capas granulares.

Parámetros	Material ADEC GLOBAL	LÍMITE (%) ESTABLECIDO EN LA NORMATIVA (ART. 510-PG-3)
AZUFRES TOTALES	0,103 % (S)	< 0,5% para materiales que estén en contacto con capas tratadas con cemento < 1% en los demás casos
EQUIVALENTE DE ARENA	55	T00 a T1: EA>40 T2 a T4: EA>35 arcenes de T00 a T2: EA>35 arcenes de T3 a T4: EA>30
PLASTICIDAD	No Plástico	NP (en zavorras)
RESISTENCIA A LA FRAGMENTACIÓN	24	T00 a T2: <30 T3, T4 y arcenes: <35
PARTÍCULAS TRITURADAS	100 %	T00 y T0: 100% T1 y T2: >75% Resto de categorías: >50%
EXPANSIVIDAD	0,70 %	<5%

Barcelona, 30 de abril de 2014


Dra. Marilda Barra Bizinotto
 Profesora de Materiales de Construcción