

# LA APLICACION DE LAS ESCORIAS DE ACERIA EN CARRETERAS

AURELIO RUIZ RUBIO (\*)  
JULIAN GARCIA CARRETERO (\*)

**RESUMEN.** En nuestro país se producen alrededor de 700.000 t/año de escorias de acería. Se trata de un árido muy limpio, pesado, anguloso, poco pulimentado y de gran dureza. La presencia de cal libre constituye un factor potencial de inestabilidad, pero con un envejecimiento y control adecuado puede emplearse perfectamente en carreteras. El campo de aplicación donde se saca más partido al material es el de las capas bituminosas de rodadura.

**ABSTRACT.** *In our country 700.000t of steel slag are produced every year. This slag is a very hard clean, non polished, heavy, sharp faced aggregate. Its free lime is a potential factor of instability but with an adequate aging it can be used perfectly in roads. The field of application where more advantage is taken from is on bituminous wearing courses.*

## 1. INTRODUCCION

En nuestro país se producen alrededor de 700.000 t/año de escorias de acería (230.000 en Avilés, 220.000 en Veriña y el resto en Vizcaya). Las 450.000 t de escorias asturianas derivadas del proceso de obtención del acero, acopiadas en montones de 3 m de altura ocuparían una superficie de 50.000 m<sup>2</sup>/año. Estas cifras dan idea del esfuerzo necesario para transportar y acopiar el material y del terreno que hace falta para albergarlo. Además, el proceso incrementa su coste año a año como consecuencia de una reglamentación medioambiental cada vez más estricta y de la escasa disponibilidad de vertederos adecuados.

Por otro lado, la utilización de las escorias como árido para la construcción supondría la conservación de un gran volumen de áridos de calidad y el ahorro de la energía necesaria para su extracción.

Bajo cualquiera de las consideraciones anteriores, conservación del medioambiente y de la energía o minimizar el consumo de recursos naturales, parece clara la conveniencia y la necesidad de utilizar las escorias.

Pero aunque se trata de argumentos de peso, el hecho es que las regulaciones ambientales obligan sólo, lógicamente, a la industria que produce los residuos. Generalmente, el posible cliente tiene poca sensibilidad a estos razonamientos y se preocupa principalmente de si el material vale técnicamente y de si es más caro o más barato que otros materiales alternativos.

En el presente artículo se analiza la validez técnica del material, dentro del campo de las carreteras. Puede afirmarse que manteniendo unas precauciones mínimas en su manejo, el material vale para ciertos usos en la ingeniería de carreteras e incluso tiene cualidades supe-

riores a muchos áridos de calidad de posible aplicación en la zona de influencia. Pero por otra parte hay que señalar que es importante prepararse técnicamente para el empleo de áridos alternativos ante la escasez y encarecimiento creciente de los áridos naturales.

La mayor parte de los datos que aquí se presentan corresponden a las escorias de la nueva acería LD-III de Ensidesa, que están siendo estudiadas por el Centro de Estudios de Carreteras CEDEX a través de un convenio de colaboración suscrito entre ambos organismos. Actualmente el trabajo se está refiriendo a la caracterización de las escorias de LD-III como árido para mezclas bituminosas y a la estabilización en acopio mediante aguas aciduladas (en colaboración con el CENIM). Los primeros resultados muestran ya las excelentes características del material, lo que corrobora las experiencias de otros países.

## 2. PROCESO DE OBTENCION DE LAS ESCORIAS DE ACERIA

La escoria de acería se obtiene como subproducto en la fabricación del acero. El proceso de fabricación en acería parte del arrabio de hierro fundido, obtenido en horno alto (carga caliente o líquida) y/o de chatarras de acero (carga fría) como materias primas, y tiene como objetivo entregar a laminación un producto sólido plano, obtenido normalmente por colada continua.

Cuando se utilizan cargas calientes la técnica más usual es la fabricación de acero con oxígeno puro. Como es bien sabido, esta técnica se desarrolló en los años 50 y tomó su nombre, LD, de las acerías austriacas Linz y Donawitz que la utilizaron por vez primera. Actualmente, además de este procedimiento hay otros con alguna variante respecto al original, pero todos ellos se basan en inyectar oxígeno a presión en el baño metálico que contiene las materias primas líquidas y adiciones para formar la escoria (fundamentalmente cal, dolomía y es-

(\*) Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX.

pato). El oxígeno se insufla mediante una lanza refrigerada hasta conseguir eliminar del arrabio el exceso de carbono y las impurezas que lo acompañan. El carbono se elimina por oxidación en forma de gas ( $CO$  y  $CO_2$ ) y el resto de impurezas en forma de escoria.

La escoria, por tanto, tiene como misión atrapar las impurezas, principalmente fósforo y azufre, en la carga líquida actuando como medio para «limpiar» el producto. Por cada tonelada de fundición se añaden 75-80 kg de cal y dolomita y se retiran 120 a 130 kg de escoria.

Finalizada la operación, el acero colado es transportado para su completo afinado y ajuste de composición química y temperatura. Estas operaciones finales se conocen con el nombre de «Metalurgia Secundaria» por realizarse fuera del convertidor; en ellas se añaden las ferrolecciones (Manganeso, Cromo, Níquel, etc.), según el acero que se quiera fabricar.



La escoria, que en el convertidor se encontraba en forma semipastosa sobrenadando por encima del acero, se separa de éste y se envía a foso, donde se riega hasta alcanzar temperaturas inferiores a  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , y se transporta a la planta de tratamientos. Allí se separan, mediante electroimanes, las chatarras superiores a 80 mm, pasando el material restante a la instalación de machaqueo. Mediante machacadoras de mandíbulas y molinos de conos se reducen a tamaños inferiores a 50 mm. De esta escoria se elimina de nuevo el hierro mediante electroimanes y se clasifica en tamaños.

La acería LD-III de Ensidesa, cuya escoria ha sido objeto de estudio en el CEDEX, tiene una capacidad de producción de 2,5 millones de toneladas de acero anuales, y es del tipo soplado combinado, con dos convertidores de 250 t de capacidad nominal cada uno. Según Ensidesa, es la más moderna del mundo, construida con tecnología punta, y con automatización total del control del proceso y las más avanzadas técnicas de protección medioambiental.

### 3. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y MINERALÓGICA DE LAS ESCORIAS DE ACERÍA

Los distintos convertidores, materias primas utilizadas, tipos de acero fabricados y prácticas de funcionamiento

de las acerías originan variaciones en la composición de las escorias. En general, para su obtención se parte de caliza y dolomita, que conforman el medio básico necesario para fijar los ácidos de fósforo y azufre, y en algunos casos de espato flúor o magnesio para aumentar la fluidez de la escoria y facilitar el movimiento de la misma dentro del convertidor.

La composición media correspondiente a la nueva acería de Ensidesa es la que se presenta en la tabla 1. Estos datos corresponden al análisis medio de unas 1.000 coladas y la variación encontrada entre los valores puntuales no es muy importante, debido probablemente a la uniformidad de las materias primas que utiliza la acería.

Desde el punto de vista químico, las escorias están compuestas principalmente por Ca, Si, Fe, Mg y Mn junto con cantidades menores de otros elementos. Puede observarse que los elementos nocivos en las legislaciones comunitarias como el arsénico, el cadmio, el cobalto y el mercurio no están presentes en las escorias españolas. Las fases presentes en la composición son los silicatos bi y tricálcico, la wustita, la ferrita bicálcica y la cal libre.

### 4. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Las características físicas de las escorias de la nueva acería de Ensidesa se presentan en la tabla 1.

	ESCORIA LD-III (%)	ESCORIA HORNO ALTO (%)
CaO	48,00	41,13
SiO <sub>2</sub>	16,00	37,97
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,20	10,15
MgO	5,20	7,99
FeO <sub>tot</sub>	16,04	0,42
MnO	5,90	0,75
K <sub>2</sub> O	0,20	0,57
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,50	
Cu	0,03	
Mo	0,08	
As	< 1 ppm	
Cd	< 0,5 ppm	
B	0,17	
S	—	1,42

TABLA 1. Composición química de las escorias.

Como puede verse se trata de un árido muy limpio, pesado, anguloso, poco pulimentable y de gran dureza. La escoria de acería suele superar a los áridos convencionales tanto en resistencia a la fragmentación como al pulimento, con el inconveniente de tener un mayor peso específico. Comparadas con las escorias de horno alto son más duras, densas y de naturaleza menos vacuolar. Para algunas canteras silíceas de la zona o calizas la diferencia puede ser aún más notable. Los datos que se presentan no son de aplicación general a todas las esco-

ENSAYO	RESULTADO
PARTICULAS CON 2 O MAS CARAS DE FRACTURA (%)	100
DESGASTE LOS ANGELES	14,5
PULIMENTO ACCELERADO	0,55
LIMPIEZA SUPERFICIAL	0,02
INDICE DE LAJAS	7
PESO ESPECIFICO PARTICULAS	3,45
POROSIDAD (% VOLUMEN, ACEITE PARAFINAI)	4,331

TABLA 2. Características físicas de la escoria de LD-III.

rias de acería, que si bien tienen en común gran dureza, pueden presentar coeficientes de pulido acelerado mucho menores.

En la tabla 3 se comparan las características de la escoria de acería con las exigencias para las distintas capas de rodadura. Del examen de esta tabla queda claro que el árido es adecuado para las distintas capas del firme y especialmente para su empleo en capas de rodadura, tanto en tratamientos superficiales, como en lechadas y mezclas bituminosas.

### 5. LA INESTABILIDAD VOLUMETRICA

A diferencia de las escorias de horno alto que son estables, la presencia de cal libre en las escorias de

acería constituye un factor potencia de inestabilidad.

La cal libre se encuentra en la escoria en forma de pequeños gránulos repartidos heterogéneamente. Por hidratación se transforma en cal apagada con una liberación de calor. Esta reacción lleva consigo también un hinchamiento que puede provocar la desintegración de una parte de la partícula. El fenómeno tiene una mayor o menor importancia desde el punto de vista ingenieril en función del contenido de cal. Este contenido puede variar para distintas escorias entre el 1 % y el 15 %. La mayor expansividad corresponde lógicamente a las de mayor contenido de cal y en cualquier caso a las escorias de producción reciente en las que la cal libre no ha tenido tiempo de combinarse. La expansividad aumenta al aumentar la temperatura.

Los límites en los contenidos de cal libre por debajo de los cuales puede considerarse seguro el empleo de la escoria oscilan, según los países, entre el 4 % y el 7 % si se utiliza en capas granulares. Para aplicaciones en capas bituminosas en las que las partículas van impermeabilizadas por una película de betún, algunos países permiten el empleo de la escoria sea cual sea el contenido de cal.

El procedimiento más utilizado para reducir al mínimo el fenómeno es el de envejecer la escoria en parque regándola con agua natural, salada, acidulada o agua caliente para conseguir hidratar los elementos inestables. Se ha comprobado que el almacenamiento al aire sin riego de agua no ofrece garantías, y que los montones deben tener una altura máxima de 1,5-2 m. Por otro lado, se debe envejecer el material machacado, en su estado final.

El tiempo de acopio depende del contenido de cal libre y suele oscilar entre 3 meses y un año, aunque como se ha dicho anteriormente algunos países, para algunas aplicaciones, utilizan escoria fresca.

Es por tanto muy importante poder caracterizar en laboratorio las escorias de acería en relación con su posible expansión. El problema es el método de determinación del contenido en cal libre. Los métodos químicos son complicados y la mayoría determinan únicamente la

	MB	T5	LECHADAS	ESCORIA LD-III
% PARTICULAS CON 2 O MAS CARAS DE FRACTURA	100 A 75	100 A 75	90 A 75	100
DESGASTE LOS ANGELES	20 (MD) A 25	15 A 30	20 A 30	14,5
CFA	0,40 A 0,50	0,40 A 0,50	0,45 A 0,50	0,55
LAJAS	< 30-35	< 20 A 30	< 30	7
ADHESIVIDAD				
• INMERSION-COMPRESION	RC > 75 %	—	—	77,4 14,75 % BETUM
• VALUT	—	> 90 (VA SECA)	—	100
	—	> 80 (VA HUMEDA)	—	100

TABLA 3. Características de las escorias LD-III frente a las exigencias para capas de rodadura.



cal inicial, es decir, la libre más la que se encuentra en forma de hidróxido. Se han desarrollado diversos ensayos físicos, principalmente de disgregación y de hinchamiento, que son las principales formas de deterioro. De los métodos utilizados, no normalizados en nuestro país, los que se han puesto a punto en el Centro de Estudios de Carreteras, se describirán por sus autos en un artículo posterior.

Mediante alguno de estos ensayos se ha estudiado en otros países la relación entre la disgregación y el hinchamiento con el contenido de cal libre de la escoria. Se ha llegado en todos los casos a la conclusión de que existe un contenido crítico, en el entorno del 4 al 5 %, en el que los deterioros del árido se aceleran. Por otro lado, los límites impuestos a los deterioros, oscilan entre el 2 % y el 3 % tanto en desintegraciones como en hinchamientos (si el ensayo se realiza sobre mezclas, el límite suele reducirse al 1 %).

Las escorias envejecidas de la nueva acería de Ensidesa tienen porcentajes de cal libre con valores extremos del 1 % al 6 % y normales del 2 % al 3 %. El envejecimiento se realiza regando en acopio con riegos diarios durante 12 horas, en 12-18 meses. Los resultados de los ensayos de desintegración e hinchamiento sobre el árido envejecido 3 meses son muy inferiores a los contenidos que se consideran peligrosos para la utilización del material. Por otro lado, la escoria no envejecida sí presenta riesgos potenciales.

## 6. CAMPO DE APLICACION

El empleo de las escorias de acería se ha producido más tardíamente que el de las escorias de horno alto y no ha tenido un desarrollo tan espectacular. Hasta 1940 las escorias se arrojaban directamente a vertedero sin ningún intento de aprovechamiento. Durante la Segunda Guerra Mundial se reconoció por primera vez su posible valor residual, aunque los esfuerzos se dirigieron fundamentalmente a recuperar el hierro remanente. Algunos de los primeros intentos de reutilización fueron infructuosos debido a los fenómenos de hinchamiento. Por otro lado, la escoria se aplicaba en zonas no adecuadas como capas rígidas o rellenos confinados, en los que incluso pequeñas expansiones producían deterioros importantes. A pesar de los primeros fracasos, la técnica de utilización de las escorias de acería fue progresando poco a poco, diversificándose a la vez.

Actualmente, todos los países con acerías en funcionamiento aprecian y utilizan con éxito este material. Por nombrar a algunos países, Alemania, Austria, Bélgica, Canadá, Inglaterra, Japón, Francia y USA emplean las escorias de acería. Sus aplicaciones más importantes son en agricultura, y en obra civil como árido de gran calidad. Aunque está desarrollada la tecnología para fabricar conglomerante hidráulico a partir de la escoria, en la práctica no se ha llevado a cabo por el precio de las instalaciones.

En agricultura se utiliza como modificador del pH de suelos ácidos, con las ventajas adicionales de aportar



nutrientes (Mg, Mn, Fe, Cd) y microelementos que favorecen el desarrollo de las plantas. Además mejora las propiedades físicas del suelo en lo que se refiere a densidad y porosidad.

En el campo de la obra civil, se utiliza como balasto de ferrocarril, como agente estabilizador de suelos, para el control de la erosión en taludes o para bases, subbases o rellenos, aunque el empleo en aglomerados es creciente y marca la tendencia general. En el caso del balasto se suele utilizar escoria fresca, y en capas de base, subbase o rellenos debe irse a escoria añejada. Para mezclas bituminosas en Inglaterra y USA hay un abanico de planteamientos. Unos no controlan la expansión y la utilizan fresca. Otros imponen acopios entre 3 y 6 meses, dependiendo del contenido de cal inicial. El mismo intervalo (de 0 a 6 meses) se encuentra en otros países. En nuestra opinión, aunque la escoria tenga un bajo contenido de cal y su expansión sea mínima, debe irse siempre, por precaución, a un procesado y envejecimiento adecuados (mínimo 3 meses, deseable 6 meses-1 año, y en las condiciones expuestas anteriormente). Por otro lado no debe utilizarse nunca en capas tratadas con cemento o en aplicaciones donde vaya rigidamente confinada en las que pequeñas expansiones producirían deterioros importantes. Su aplicación más clara está en materiales para capas de rodadura, mezclas bituminosas o tratamientos superficiales, donde no sólo se saca el mayor partido de sus excelentes características físicas, sino que el riesgo de expansión se reduce drásticamente al estar los áridos cubiertos de una partícula de ligante que los impermeabiliza, y en el caso de que se produzca algún error en la selección del material, sólo pueda llevar a desperfectos mínimos y localizados.

## 7. LA ESCORIA DE ACERIA COMO ARIDO PARA CAPAS DE RODADURA

En relación con la aplicación de las escorias de acería en mezclas bituminosas, hay que resaltar varios aspectos que las diferencian de los materiales tradicionales.

El primero se refiere al elevado peso específico de las partículas que, trasladado a densidad de las mezclas con ellas fabricadas en comparación con materiales tradicionales, elevaría el precio de las obras, si se pagan por

peso, o el del transporte del material si se paga por volumen. Este problema puede resolverse en gran parte utilizando únicamente una porción de árido de acería en la granulometría final, especialmente los áridos más gruesos que son los que más contribuyen a dotar de esqueleto mineral a la mezcla y proporcionan microtextura para la mejora de la resistencia al deslizamiento si se utiliza en rodadura. Los estudios realizados en el Centro de Estudios de Carreteras se han basado en mezclas de finos calizos y gruesos de acería. Con mezclas tipo D-12, la densidad final alcanzada es del orden de 2,6 frente a 2,35-2,40 en mezclas convencionales de rodadura, lo que significa un aumento del 10 % en la densidad final. En las obras realizadas hasta la fecha en Asturias, se ha utilizado a veces sólo una cierta proporción de árido de acería (entre el 20 % y el 100 % del árido grueso), obteniéndose densidades muy próximas a las convencionales (2,40) con sustitución del 50 % del árido grueso.

La segunda consideración tiene que ver con la extraordinaria dureza y angulosidad del material, que puede reflejarse en una cierta dificultad de compactación. Si se produce esta dificultad la solución es añadir más ligante (un aumento en el entorno del 0,5 % del peso de áridos), mástil para facilitar el encaje de las partículas, añadir arenas rodadas, o aplicar una mayor energía de compactación. De nuevo el problema se reduce en gran parte si la escoria de acería supone un cierto porcentaje del árido total.

El tercer aspecto a considerar es la posible inestabilidad volumétrica del material que lleva a exigir que la empresa suministradora garantice el envejecimiento, a

añadir a los métodos convencionales de control alguno de los expuestos anteriormente, y a recomendar su empleo en capas de rodadura.

Aparte de estos aspectos, tanto el proceso de dosificación en laboratorio como el de fabricación y puesta en obra es análogo al de las mezclas convencionales.

Dentro de las características funcionales hay que subrayar su resistencia al desfizamiento, la cual, a juzgar por los resultados del coeficiente de pulimento acelerado en laboratorio (0,55), debe ser razonablemente buena. Otros países, incluso con resultados peores en laboratorio, alaban el buen comportamiento del material en obra. Se ha comprobado también que el coeficiente de resistencia al deslizamiento se conserva mejor que en otros áridos y que incluso manifiesta alguna elevación, debido a formación de cristales superficiales por cristalización de sus componentes, según algunos investigadores.

La adhesividad de estas mezclas es satisfactoria y se encuentra entre la de los áridos silíceos y la de los calizos, como puede deducirse de su composición. Los ensayos realizados, con un 4,75 % de betún, dieron resultados superiores en todos los casos a los mínimos señalados en los pliegos.

Hasta la fecha se han realizado ya en Asturias y el País Vasco multitud de pequeños tramos, en todo tipo de carreteras. La escoria de acería se ha utilizado en capas de mezcla bituminosa de 3 a 6 cm de espesor y con sustituciones del árido grueso del 20 % al 100 %. Esto constituye ya una buena experiencia que debe servir para definir el modo de empleo y el campo de aplicación de estos materiales.

**ORGANIZACION CENTRAL****DIRECCION GENERAL**Director General: **Felipe Martínez Martínez**

## - GABINETE CENTRAL

Director: **Miguel Ramírez Sánchez-Rubio****SUBDIRECCION GENERAL DE PROGRAMACION  
TECNICA Y CIENTIFICA**Subdirector General: **Cesáreo Clavero Martínez**

Calle de Alfonso XII, 3

28014 MADRID

• Tel.: 467 37 06

• Télex: 49022 CEDEX E

• Fax: 526 03 54

**ORGANIZACIONES TECNICAS ESPECIALIZADAS****CENTRO DE ESTUDIOS DE TECNICAS APLICADAS**Director: **Milagros Couchoud Grégori**

Calle de Alfonso XII, 3

28014 MADRID • Tel.: 335 72 48 • Fax: 335 72 49

## - GABINETE DE FORMACION Y DOCUMENTACION

Director: **José Marcelo Rodríguez García de Muro**

Calle de Alfonso XII, 3

28014 MADRID • Tel.: 335 73 07 • Fax: 335 73 14

**CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS**Director: **José María Grassa Garrido**

Calle Antonio López, 81

28026 MADRID • Tel.: 476 61 00 • Fax: 476 64 74

**CENTRO DE ESTUDIOS HIDROGRAFICOS**Director: **Antonio Nieto Llobet**

Paseo Bajo de la Virgen del Puerto

28005 MADRID • Tel.: 265 68 00 • Fax: 265 29 75

**CENTRO DE ESTUDIOS DE CARRETERAS**Director: **José Luis Elvira Muñoz**

Autovía Colmenar Viejo, km. 18,2

El Goloso. 28049 MADRID

• Tel.: 734 61 51 • Fax: 734 45 06

**LABORATORIO CENTRAL DE ESTRUCTURAS  
Y MATERIALES**Director: **José Manuel Gállego Estévez**

Calle de Alfonso XII, 3

28014 MADRID • Tel.: 467 20 12 • Fax: 527 60 13

**LABORATORIO DE GEOTECNIA**Director: **Carlos Oteo Mazo**

Calle de Alfonso XII, 3

28014 MADRID • Tel.: 468 24 00 • Fax: 527 74 42

**CENTRO DE ESTUDIOS HISTORICOS DE  
OBRAS PUBLICAS Y URBANISMO**Gerente: **Juan Zamárraga Zanzunegui**

Calle de Vallehermoso, 78

28015 MADRID • Tel.: 553 73 03 • Fax: 553 73 02



# EL ARTE DE CONSTRUIR

**OCISA**

2.700

Oficinas Centrales: Princesa, nº 3 - 28008 Madrid  
Tel. (91) 542 40 00 - Fax (91) 248 83 92 - Télex 42211 OBYC E

OBRAS Y CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES, S.A.