

ESTÉRILES DE CARBÓN

Nombre en inglés: Colliery Spoil, minestone



Foto 1: ESTÉRILES DE LAVADERO



Foto 2: ESTÉRILES ROJOS



Foto 3: MAQUINARIA PARA TODO UNO DE ESTÉRILES

1.- ORIGEN

Se entienden como estériles de carbón, a efectos de esta ficha técnica, al residuo procedente de la separación entre el carbón y el estéril. Se originan en la explotación de los pozos y minas de hulla y antracita, así como en los procesos del lavado del carbón. En general se almacenan en escombreras ⁽¹⁾.

Al primer tipo de residuos se les denomina **estériles de mina** y están constituidos por rocas encajantes de las capas de carbón, fundamentalmente pizarras y areniscas. Los del segundo tipo reciben el nombre de **estériles de lavadero**, y representan, aproximadamente, el 90% de la producción total de estériles. Los estériles de lavadero se obtienen como residuo de la operación de lavado del carbón, obtenido a partir de la hulla y la antracita, separando el carbón por flotación en líquidos densos. Se denominan “finos”, “menudos”, “granos” y “gruesos” y, están constituidos fundamentalmente por pizarras y areniscas.

Los **estériles de escombrera** son los resultantes del almacenamiento de los estériles de mina y de lavadero en una escombrera. El 90% del material acopiado en escombrera son los residuos del lavado del carbón y un 10% suele ser estéril de mina. En general, se caracterizan por presentar una granulometría que varía según los tipos de estériles originales y estar normalmente degradados y disgregados. Los estériles de escombrera pueden a su vez diferenciarse en **estériles rojos** y **estériles negros**. Los estériles negros son los residuos de la minería del carbón que se encuentran depositados en una escombrera. Al todo uno de estériles negros se le denomina *formoschiste* en Francia. Los estériles rojos son los materiales

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 1.1	Mes: DICIEMBRE Año: 2011
ESTÉRILES DE CARBÓN		

resultantes de la autocombustión del carbón que contienen los estériles negros; se caracterizan por presentar un color rojizo, no contener carbón, poseer una mayor resistencia que los no calcinados y por estar, a veces, “soldados” unos a otros.

En Francia, el Observatorio Francés del Reciclaje en Infraestructuras de Carreteras utiliza la clasificación siguiente ⁽²⁾: todo uno de estériles negros, estériles negros clasificados, todo uno de estériles rojos y estériles rojos clasificados.

2.- VOLUMEN Y DISTRIBUCIÓN DEL RESIDUO

En España se viene produciendo un lento pero continuo proceso de reducción de los volúmenes de producción de carbón, al igual que en otros países de Europa occidental (en los países de Europa del Este la tendencia es la contraria). Del mismo modo, el número de empresas productoras de carbón está descendiendo progresivamente. El total de empresas mineras en 1995 era de 105 y en el año 2005 pasó a 35. La aplicación del Plan 1998-2005 de la Minería del Carbón supuso la reestructuración de este sector.

Durante los últimos años, de 2008 a 2010, se han promocionado cada vez más en España el uso de las energías renovables, especialmente solar y eólica, a expensas de las centrales termoeléctricas que emplean carbón, este hecho se refleja en el descenso habido en 2008, con una producción de 10,2 Mt frente a las 17,2 Mt de 2007. En este descenso también han influido los precios del carbón de importación, que siguiendo la crisis internacional, en agosto de 2008 bajaron de 214 US\$/t a 55 US\$/t, por lo que se empezó a consumir carbón importado en lugar del nacional.

En 2009 y 2010, la producción de carbón fue de 9,5 Mt y 8,4 Mt, distribuidas según los tipos de carbón en lignito negro: 2,5 Mt y 2,1 Mt, y hulla y antracita: 7 Mt y 6,3 Mt, respectivamente para 2009 y 2010. La producción de carbón en estos años ha continuado con la misma pauta de descenso. En 2010 finalizó el Reglamento 1407/2002 que regulaba las ayudas concedidas por cada Estado Miembro en el seno de la UE, no obstante en 2011 a través del RD 134/2010, se ha dispuesto de un mecanismo de ayuda al consumo de carbón nacional ^(3, 4).

En la tabla siguiente (tabla 1) se recogen los datos brutos de producción de carbón en España y en Europa en la última década.

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 1.1	Mes: DICIEMBRE Año: 2011
ESTÉRILES DE CARBÓN		

<i>Producción bruta carbón (x10⁶t)</i>		
Año	España	Europa
2000	23,5	573 (EU 25)
2002	22,5	563 (EU 25)
2004	20,5	571 (EU 25)
2005	19,7	553 (EU 25)
2006	18,4	535 (EU 25)
2007	17,2	594 (EU 27)
2008	10,2	572 (EU 27)
2009	9,5	542 (EU 27)
2010	8,4	529 (EU 27)

Tabla 1: Fuente: Carbounión, Informes anuales 2005 y 2010; British Petroleum: Statistical review of World Energy June 2007 y; EURACOAL Market Reports 1/2007 a 1/2011.

A modo comparativo, en la tabla 2 se refleja la producción de carbón en Estados Unidos durante la última década, según la National Mining Association (NMA) ⁽⁵⁾. Se observa una disminución de la producción en 2009 y 2010 con respecto a 2008, aunque en 2010 se ve un pequeño repunte.

ESTADOS UNIDOS <i>Producción bruta carbón (x10⁶t)</i>										
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1.074	1.128	1.094	1.072	1.112	1.132	1.163	1.147	1.172	1.075	1.085

Tabla 2: Producción de carbón en Estado Unidos de 2000 a 2010

En el mapa de la figura 1 se muestran las provincias españolas con explotaciones según los distintos tipos de carbón.

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 1.1	Mes: DICIEMBRE Año: 2011
ESTÉRILES DE CARBÓN		

LEYENDA

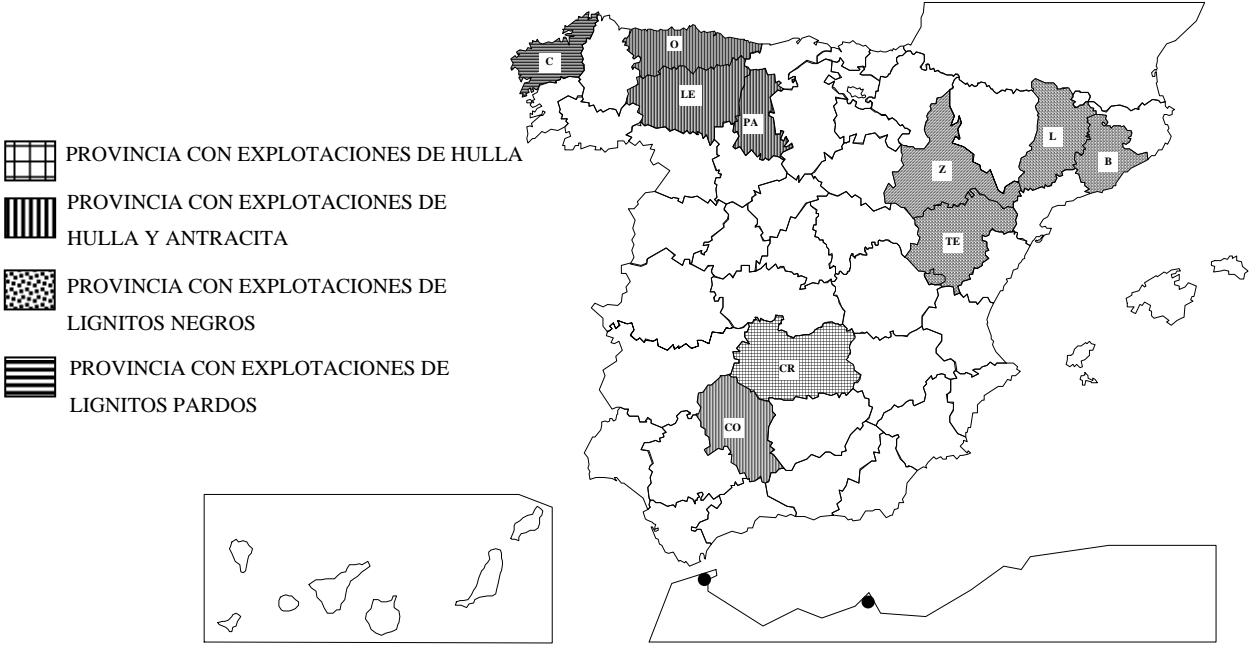


Figura 1: Distribución en España de las provincias con explotaciones de carbón

3.- VALORIZACIÓN

La Directiva comunitaria 2008/98/CE de 19 de noviembre de 2008 sobre los residuos, define valorización como cualquier operación cuyo resultado principal sea que el residuo sirva a una finalidad útil al sustituir a otros materiales que de otro modo se habrían utilizado para cumplir una función particular, o que el residuo sea preparado para cumplir esa función, en la instalación o en la economía en general.

3.1.- PROPIEDADES DEL RESIDUO

Propiedades físicas ^(6 y 7)

En general, los estériles del carbón están constituidos por fragmentos de diversas rocas, con una granulometría 0-200, siendo difícil la presencia de bloque de tamaño métrico, procedente de los estériles de mina. El peso específico medio de los estériles de carbón en España está comprendido entre 23,5 y 28,5 kN/m³. La plasticidad suele estar comprendida entre de tipo media-baja a inexistente.

Los **estériles de mina** se caracterizan por tener una granulometría más irregular, no estar degradados y, en general, no poseer carbón.

Los **estériles de lavadero** poseen una granulometría y una composición mineralógica y química muy regulares, y no suelen estar degradados ni disgregados a la salida de los lavaderos. Su contenido en carbón es variable, en función de los tamaños correspondientes a los diferentes cortes granulométricos que se realizan en los lavaderos. Son de color gris y

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 1.1	Mes: DICIEMBRE Año: 2011
ESTÉRILES DE CARBÓN		

tienen un cierto porcentaje de lajas. Se suelen clasificar en gruesos (>150 mm), granos (150 a 10 mm), menudos (10 a 1 mm) y finos (<1mm). El peso específico de las partículas de los granos y menudos es del orden de 2,5 t/m³, mientras que la de los finos es algo inferior, del orden de 2,2 t/m³.

Los **estériles de escombrera**, tanto los estériles rojos como los estériles negros, presentan granulometrías muy variables, que son función de los tipos de estériles originales, con porcentajes importantes de partículas superiores a 50 mm. En el caso de los **estériles negros**, se pueden encontrar en las escombreras tamaños decimétricos hasta en algún caso métrico. El tamaño medio de las partículas está comprendido entre 0,5-1 mm a 34-40 mm, y el porcentaje de finos entre el 2% y el 75%. La densidad aparente puede variar desde 1,26 t/m³, en los escombros más flojos, hasta 1,80 t/m³ en los más compactos. El peso específico relativo de las partículas está comprendido entre 2,4 y 2,8. En general, los finos suelen ser poco plásticos, con valores del límite líquido (LL) de 18 a 30 y con índices de plasticidad (IP) de 3 a 10. La densidad Proctor normal se sitúa en el intervalo 1,55-2,02 t/m³, con humedades óptimas de compactación comprendidas entre 12% y 8%, respectivamente. El CBR para la densidad Proctor normal suele estar comprendido entre 9 y 16, mientras que para la densidad Proctor modificado, el CBR varía entre 11 y 29.

En cuanto a los **estériles rojos**, se trata de un material que tiene naturaleza granular con una distribución continua de tamaños, con un cierto porcentaje de material lajoso y quebradizo; el tamaño máximo de los estériles rojos puede ser del orden de 300 mm, mientras que el porcentaje de finos suele ser inferior al 10%, siendo dicho material no plástico. La densidad máxima Proctor Modificado suele ser del orden de 1,8 t/m³, con una humedad óptima en torno al 11%. El CBR presenta valores altos, habiéndose alcanzado algunos del orden de 40, e incluso superiores. Por otra parte, los estériles rojos son susceptibles al hielo, por lo que, si es preciso prever la influencia de la helada, se aconseja la utilización de aquéllos a una profundidad superior a la de la penetración de la helada.

En cuanto a la **petrografía** de los estériles del carbón, estudios realizados en nuestro país, muestran que existe una gran variación debido a la diversidad y complejidad de su geología. Los estériles de la mayoría de las cuencas carboníferas son rocas sedimentarias –areniscas, pizarras arenosas y carbonosas- con una relación cuarzo/arcilla muy variable; las rocas con minerales arcillosos son, generalmente, más frecuentes que las rocas con cuarzo⁽⁷⁾. En los estériles de mina predominan normalmente las areniscas y en los estériles de lavadero son más abundantes las pizarras. Asimismo, los estériles también presentan, aunque en menor proporción, rocas ferruginosas, carbonosas, etc.

En lo relativo a su **composición mineralógica**, los estériles son mezclas de diferentes componentes que pueden variar considerablemente de una cuenca a otra, aunque predominan los de las rocas arcillosas, tales como illita, caolinita, clorita, etc. Los porcentajes de cuarzo oscilan entre el 20% y el 50%, disminuyendo el contenido a medida que se reduce el tamaño y encontrándose los menores valores en los estériles de antracita. Otros minerales presentes son piritas, carbonatos, etc⁽⁷⁾.

En la tabla 3 se recogen, a modo de resumen, las propiedades del todo-uno menor de 50 mm de los estériles de carbón, según estudios realizados en España⁽⁸⁾.

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 1.1	Mes: DICIEMBRE Año: 2011
ESTÉRILES DE CARBÓN		

	ESTÉRIL ROJO	ESTÉRIL NEGRO
Granulometría	Continua <5% inf.0,08mm	Continua <5% inf.0,08mm
Densidad (t/m ³)	[2,70-2,73]	[2,74]
Absorción (%)	[5,6-5,8]	
Forma Índice de Lajas Índice de Agujas	[36-42] [46-51]	
Desgaste Los Ángeles	[36-39] granulometría B [31-46] granulometría A [21-25] arenisca	[31-36]
Equivalente de arena	[30-51]	[38]
Plasticidad	No plástico	LL-[26-29];LP:[19-20];LP:[7-9]
Proctor Modificado Densidad máxima (t/m ³) Humedad óptima	>1,9 [10,2%-15,5%]	[1,99-2,09] [7,0%-10%]
CBR	>50	<20

Tabla 3: Características del todo-uno menor de 50 mm de los estériles de carbón

Propiedades químicas

Los estudios realizados⁽⁹⁾ ponen de manifiesto que los estériles en general poseen un elevado porcentaje de SiO₂ (40-70%) y una importante proporción de alúmina, Al₂O₃ (10-25%), siguiéndoles en importancia el Fe₂O₃, K₂O y Na₂O. El contenido de azufre es variable, en general inferior al 2% (en algún caso 3,6%) y se puede presentar bajo diversos compuestos químicos, siendo el más frecuente la pirita. Asimismo, los estériles contienen carbono fijo en porcentajes que, una vez descontadas las cenizas y los volátiles, pueden llegar al 16% en los estériles de hulla y el 27% en los de antracita.

En los **estériles rojos**, el porcentaje de sílice está entorno al 55% y el de alúmina al 25% y suelen ser superiores al que presentan los estériles negros. El contenido de óxido férrico es bastante variable, con valores medios cercanos al de los estériles negros (5%). Los estériles rojos contienen sulfatos; dependiendo del porcentaje de éstos pueden presentar pH ácido. A veces se ha detectado presencia de carbonatos. También pueden aparecer contenidos de materia orgánica, en función de la norma que se aplique en su determinación (si se determina según la norma UNE 103204, es decir, cuando los valores que se obtienen de la materia orgánica oxidable son superiores al 2%, que es el valor que en el PG3, art.333, se considera para rocas marginales, y para su uso será necesario un estudio especial aprobado por el Director de las Obras que justifique la valorización de este residuo. Si se determina el porcentaje de materia orgánica descomponible, los valores que han obtenido son muy bajos, del 0,1 a 0,36%).

En los **estériles negros** el porcentaje de sílice es del 50% aproximadamente, el de alúmina es del 20% aproximadamente, y el óxido de hierro está entorno al 7%. La composición química de los estériles negros es, pues, similar a la de la arcilla. Pueden presentar contenidos de materia orgánica, según la norma que se aplique para su determinación.

El contenido medio de carbón de los estériles de escombrera del Norte de España es del orden del 5%, pudiendo dicho porcentaje llegar a ser hasta del 30% en las escombreras más antiguas.

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 1.1	Mes: DICIEMBRE Año: 2011
ESTÉRILES DE CARBÓN		

Los estériles suelen ser neutros o ligeramente alcalinos, pero en contacto con agua y en presencia de piritas, pueden dar lugar a lixiviados ácidos; no obstante, éstos pueden ser neutralizados rápidamente por reacción con los elementos alcalinos presentes en los estériles.

En la tabla 4 se recoge a modo de resumen la composición química media de los estériles de carbón españoles⁽¹⁾.

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	TiO ₂	CaO	S _{total}
43-49	22-24	5-7	2,9-3,2	1,2-1,5	1,1-1,2	1,1-2,0	0,6-1,4

Tabla 4: composición química media de los estériles de carbón españoles

Propiedades mecánicas^(1 y 8)

Los valores medios de compactación dan valores de densidad seca máxima superiores a 17 kN/m³, con unas humedades medias óptimas comprendidas entre 6 y 12%. Una particularidad de estos materiales es su degradabilidad por efecto de la compactación, aumentando con la energía aplicada. Las consecuencias de este fenómeno se limitan a aumentar el porcentaje de los tamaños más pequeños (significativa en el intervalo 10-20 mm), sin que varíe notablemente ni el porcentaje ni la plasticidad de los finos⁽¹⁾. Sin embargo, una compactación muy intensa puede afectar negativamente a las propiedades físicas y mecánicas del material (pe. el ángulo de rozamiento obtenido en ensayo triaxial pasa de 29-32° a 13°)⁽⁸⁾.

El índice CBR está comprendido entre 8 y 29, con un valor medio del orden de 10. Los parámetros de resistencia al corte en muestras del Reino Unido han dado valores del ángulo de rozamiento entre 25 y 40°, aunque puede disminuir hasta 20° en los residuos más meteorizados; la cohesión es del orden de 9 kPa en residuos no meteorizados e incluso nula, pero puede llegar hasta 50 kPa y por encima de este valor en condiciones de mayor alteración ambiental.

3.2.- PROCESADO

El tratamiento que cabe dar a los estériles de carbón es mecánico, consistiendo en machaqueo más o menos intenso y posterior clasificación. Para su empleo en la construcción de carreteras se requiere un machaqueo previo y la clasificación de los áridos, con el fin de cumplir los husos granulométricos. Para su utilización como material en capas de rellenos y terraplenes no se requiere en principio ningún procesado; no obstante, en ocasiones, puede ser necesario realizar un cribado para eliminar los tamaños grandes. En cuanto al empleo de estériles negros en la explanada puede ser preciso eliminar también los tamaños inferiores a 20 mm, para reducir la sensibilidad al agua del material extendido, ya que en el proceso de compactación se produce una cierta degradación del material, particularmente del comprendido entre 10 y 19 mm. No se ha observado un incremento apreciable del material inferior a 80 µm por efecto de la degradación debida a la compactación

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 1.1	Mes: DICIEMBRE Año: 2011
ESTÉRILES DE CARBÓN		

3.3.- PROPIEDADES DEL MATERIAL PROCESADO

Propiedades físicas

Los **estériles de lavadero** suelen clasificarse granulométricamente en gruesos (>150 mm), granos (10-150 mm) menudos (1-10 mm) y finos (<1 mm). Los **estériles rojos** suelen prepararse en fracciones 0-10 (Izqda. de la fotografía 2) y 10-20 (Dcha. de la fotografía 2), obtenidas a partir de la trituración y clasificación del rechazo obtenido en el tamiz 20-25 mm. La densidad de las partículas del material procesado es del orden de 2,7 gr/cm³.

El *formoshiste* es un material obtenido generalmente *in situ*, con maquinaria como la que se muestra en la fotografía 3, por cribado con cortes en 16 y en 160 mm, rechazo nulo en 250 mm, admitiéndose hasta un 20% mayor de 160 mm y no más del 20% por debajo de 16 mm. El porcentaje de material inferior a 0,08 mm no debe ser superior al 5%.

Estudios realizados en España con muestras de estériles rojos y negros, tratados para su utilización en carreteras, han mostrado las características que figuran en la tabla 5⁽⁸⁾.

	ESTÉRIL ROJO TRITURADO	ESTÉRIL NEGRO TRITURADO (ELIMINANDO ANTES <25 mm)
Granulometría	Continua 8 al 10% de tamaño inferior a 0,08mm	Continua 6 al 8% de tamaño inferior a 0,08mm
Densidad (t/m ³)	2,74	2,71-2,75
Absorción (%)	3,2	1,28-2
Forma		
Índice de Lajas	32	
Índice de Agujas	43	
Desgaste L.A.	28-29	23-28
Equivalente de Arena	50-87	33-50
Plasticidad	No plástico	
Proctor Modificado		
Densidad máxima (t/m ³)	2,14	2,22-2,31
Humedad (%)	8,5	6,5
CBR	>50	≈20

Tabla 5: Características de los estériles de carbón tratados

Propiedades Químicas

Uno de los aspectos más reseñables de estos materiales desde el punto de vista químico es el de su capacidad para la generación de problemas derivados de la presencia de sulfatos. Esta cuestión tiene un doble aspecto, por un lado hay que hablar de la eventualidad del denominado "drenaje ácido de minas, (DAM)", frecuente en la minería^(10,11,12), y particularmente, en la metálica y por otro, el de los sulfatos solubles. El primero de los aspectos no reviste gran interés en ingeniería civil pero sí el segundo⁽¹³⁾. Ambos problemas se presentan tanto en los estériles negros como en los rojos, con mayor incidencia en estos últimos.

Cuantitativamente, el 71% de los estériles negros y el 49% de los rojos, presentan contenidos de sulfatos solubles en agua inferiores a 2g/l y de sulfatos solubles en medio ácido por debajo del 1%. El pH, para el *National Coal Board (NCB)*, presenta un valor modal de 7, aunque los estériles negros muestran cierto sesgo hacia la acidez⁽¹⁴⁾. No obstante, el rango de valores de

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 1.1	Mes: DICIEMBRE Año: 2011
ESTÉRILES DE CARBÓN		

pH de una suspensión acuosa de estériles se puede situar entre 4,2 y 8,5⁽¹³⁾, mientras que el de contenido en sulfatos solubles se encuentra entre 0,6-7,0 g SO₃/l. Por último, la composición química de SiO₂ presenta valores entre 38 y 60%, el contenido de alúmina entre el 14 y el 30% mientras que el de Fe₂O₃ se encuentra entre el 3 y el 11% ⁽¹³⁾. Hay que señalar que los porcentajes de alúmina de estos residuos les ha hecho objeto de estudios destinados a recuperar el aluminio existente en ellos.

Propiedades Mecánicas

Las densidades obtenidas con diferentes porcentajes de menudos y granos varían entre 1,98 y 2,12 g/cm³, mientras que el índice CBR varió entre 8 y 21⁽⁶⁾. Por lo que respecta al "*formoschiste*, las propiedades mecánicas aportadas son un coeficiente Deval húmedo superior a 1,2 y un coeficiente de los Ángeles inferior a 55, propiedades ambas medidas sobre la fracción 25/50 ^(2,7). Los **estériles rojos** españoles alcanzan densidades entre 1,77 y 1,98 g/cm³ con humedades en el rango 11-17. Los CBRs (Proctor Normal) estuvieron comprendidos entre 28 y 82 y el coeficiente de los Ángeles de 31⁽⁸⁾. Con densidad máxima de Proctor Modificado (PM), los resultados varían entre 1,82 y 2,14 g/cm³ y humedad óptima entre 6,5 y 16,5, CBR (PM) entre 44 y 113 y desgaste de los Ángeles entre 25 y 31. Para estos estudios, en los estériles rojos se realizó una molienda del todo-uno a tamaños inferiores a 50 mm, con la finalidad de mejorar su índice de forma. En los estériles negros, debido a su plasticidad y baja capacidad portante, se realizó un corte a 25 mm, desechándose la fracción inferior a dicho tamaño que es la de mayor contenido de material carbonoso. El material mayor de 25 mm se trituró a tamaño inferior a 50 mm, según lo exigido para materiales granulares.

3.4.- APLICACIONES

Los estériles de carbón se pueden emplear como materiales para la construcción de carreteras y se están empleando en países como Alemania, Reino Unido y Francia ⁽¹⁰⁾, como:

1. Terraplenes y rellenos
2. Materiales granulares y ahorras
3. Materiales estabilizados con cemento

Para ello se montan plantas de tratamiento de los estériles para la obtención de los correspondientes materiales, separados o no por tamaños, o de mezcla de los estériles con conglomerantes hidráulicos, fundamentalmente cemento.

En España⁽¹¹⁾, de los resultados obtenidos en ensayos realizados se ha deducido que los estériles de carbón, además de poderse emplear como **materiales para terraplenes y rellenos**, también se pueden utilizar en capas de coronación de éstos, y, con el adecuado tratamiento en capas de firme.

El I Plan Nacional de residuos de industrias extractivas 2007-2015, incentiva el uso de estériles de carbón de las escombreras para la construcción de carreteras. En el mismo se destaca la experiencia de HUNOSA, que ha reciclado unos 8 millones de toneladas de estériles de carbón para la construcción de terraplenes y 69 millones para subbases de carreteras. En Castilla y León, se prevé que el volumen de estériles de carbón que se podrían utilizar en la construcción de carreteras podría superar los 5 millones de m³, lo que supone un 4,4% del total de los estériles de carbón de las escombreras de esa Comunidad Autónoma ⁽¹⁵⁾. Las Cuencas, en Asturias, concentran la mayor parte de estériles, siendo la Comunidad con más escombreras

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 1.1	Mes: DICIEMBRE Año: 2011
ESTÉRILES DE CARBÓN		

de industrias extractivas, un 14,2% del total, es decir, 1.957 escombreras se localizan en Asturias.

3.4.1 CARRETERAS

Estériles rojos

El todo-uno tratado de los estériles rojos se puede utilizar en **subbases granulares** para todo tipo de tráfico. Si en las instalaciones que se monten para el tratamiento del material se logra mejorar su forma y reducir el coeficiente de desgaste Los Ángeles por debajo de 35, podrá también emplearse este material en las aplicaciones de **zahorra artificial**, para tráfico medios y ligeros.

En Francia, el todo uno de estériles rojos ha sido utilizado en la construcción de firmes para caminos rurales (20-30 cm de estériles rojos debajo de un tratamiento superficial), para vías con poca circulación (20-30 cm de estériles rojos más unos 6-8 cm de aglomerado) así como en los arcenes de carreteras. En este último caso, encima de los estériles rojos se colocaban unos 12 cm de grava-escoria y 6 cm de aglomerado.

Los estériles rojos pueden utilizarse también en la fabricación de otras unidades para capas de subbase como en gravas con cenizas y cal, y en grava con cal.

La **grava con ceniza y cal** se obtiene triturando el estéril y separándolo en dos fracciones 0/5 mm y 5/20 mm, lo que permite componer una buena granulometría continua, se le añade 12% de ceniza volante silicoaluminosa, 3% de cal apagada y agua. Con esta mezcla se alcanza a los 90 días elevadas resistencias mecánicas a tracción (más de 1 Mpa) y compresión (más de 9 Mpa).

La **grava con cal** aprovecha el carácter puzolánico de los finos del estéril rojo y se obtiene mezclando el estéril triturado 0/20 mm con 3% de cal apagada. El estéril debe tener más del 6% de finos (partículas menores de 80 µm). Se obtienen resistencias a compresión a 90 días mayores de 6 Mpa.

Estudios realizados en nuestro España ⁽¹²⁾, han confirmado la experiencia existente en otros países europeos, como Francia y el Reino Unido ^(16,17), de utilizar como suelo cemento para subbases de carreteras a los estériles de carbón, rojos o negros, estabilizados con cemento en porcentajes entre el 5 y el 6%.

Los estériles rojos clasificados 0/6 y 6/20 son los más adecuados para la fabricación de mezclas con ligantes hidráulicos. Este tipo de empleo presupone un conocimiento bastante preciso de las características mecánicas de las mezclas. Hay que señalar la conveniencia de proyectar ese tipo de firmes en vías de tráfico moderado. Así, en la cuenca Nord Pas-de-Calais en Francia, se utilizaron ampliamente, en tiempos de abundancia de escombreras quemadas, mezclas de estériles rojos con escorias de alto horno, con cenizas volantes silico-aluminosas o mixtas de estos dos residuos. En la actualidad, con una paulatina desaparición de este tipo de préstamos y la consiguiente disminución en su calidad, se está generalizando la tendencia a sustituir la fracción 6/20 por áridos calizos.

La fracción 0/20 de los estériles rojos clasificados se utiliza como material para firmes, de acuerdo con la normativa francesa.

Estériles negros

Los estériles negros de escombrera pueden ser utilizados en **subbases para tráfico ligeros**, siempre y cuando se eliminan por cribado los tamaños inferiores a 20-25 mm y se machaque la

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 1.1	Mes: DICIEMBRE Año: 2011
ESTÉRILES DE CARBÓN		

fracción retenida. Si el material así tratado cumple las especificaciones correspondientes, en particular, el CBR y la plasticidad de los finos, podrá ser utilizado en la ejecución de **subbases granulares**.

El cribado del material resultante del tratamiento descrito en el párrafo anterior por el tamiz 50 mm proporciona un "todo uno" 0/50 que puede ser empleado como **explanada mejorada**. Los estériles negros con un tratamiento mecánico que permita conseguir la granulometría apropiada, también pueden ser utilizados como **suelo-cemento**.

En Francia, por ejemplo, se han agotado, prácticamente, todos los estériles rojos porque vienen siendo habitualmente utilizados en la construcción de explanadas. Hoy en día, se están utilizando para este fin los estériles negros de escombrera, constituidos, en su mayor parte, por estériles de lavadero. Para ello, se criban dichos materiales y se utiliza la fracción 20/25. Las características mecánicas son evaluadas mediante el coeficiente de Los Ángeles y el Deval húmedo, determinados ambos sobre la fracción 25/50. También se pueden utilizar estériles negros clasificados a partir de la fracción 50/150 del "todo uno" para la fabricación de mezclas con ligantes hidráulicos (ej. cuenca de la Lorena en Francia, con características mecánicas muy competentes).

Las tendencias esperadas para los próximos años en la región *Nord Pas-de-Calais* (Francia) son las de profundizar en el conocimiento de los estériles negros, principalmente en su utilización para la ejecución de explanadas. Los estudios de laboratorio efectuados sobre estériles de lavadero, con poca presencia de sulfatos, han resultado prometedores. La preocupación se centra en dos aspectos: controlar la homogeneidad del préstamo y la arcillosidad de las partículas minerales, aspecto éste de gran importancia, además de otros aspectos como: el tiempo necesario para la apertura al tráfico de la explanada, por su incidencia en los plazos de ejecución, la determinación de la resistencia temprana a la inmersión, la resistencia a la helada de la capa, el estudio de las resistencias a largo plazo.

En la normativa británica, los estériles rojos son aceptados como material para sub-base granular y sub-base granular con cemento, mientras que los estériles negros sólo son propuestos como sub-base granular con cemento ⁽¹³⁾.

3.4.2. TERRAPLENES Y OBRAS DE TIERRA ^(2,18, 19 y 20)

Se ha realizado un estudio en España para determinar la viabilidad técnica de la utilización de los estériles en terraplenes y rellenos de carreteras, en el que, además de la realización de ensayos de laboratorio y pruebas de compactación a gran escala, se construyó un terraplén experimental a escala natural con estériles del carbón. Como fruto de este estudio, en Asturias se han empleado desde 1989 hasta la fecha unos 6 millones de toneladas para dicha aplicación.

También se han realizado estudios en España, entre 1993 y 1995 para demostrar la validez de la técnica de utilización de estériles del carbón como material de relleno en estructuras de tierra reforzada. Se construyó un relleno experimental a escala real con muros de tierra reforzada, empleando como material de relleno estériles de escombrera. Se controló la estructura durante y después de su construcción, siendo el comportamiento de los estériles totalmente satisfactorio.

Se ha observado que la utilización de estériles de producción reciente, pueden ser ventajosamente utilizados en la ejecución de terraplenes, debido a que los tamaños grandes generan los finos que rellenarán los huecos. La excepción a esta observación la proporcionan los estériles con elevada presencia de bloques de arenisca, ya que éstos no sufren este efecto.

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 1.1	Mes: DICIEMBRE Año: 2011
ESTÉRILES DE CARBÓN		

Analizando concretamente los tipos de estériles, el todo uno de **estériles negros** se pueden utilizar en la construcción de terraplenes y rellenos, como material de relleno general. A este respecto se hacen recomendaciones tales como la eliminación de los elementos más pizarrosos, especialmente, en condiciones de lluvia, para facilitar la puesta en obra. De igual forma, debe evitarse la utilización de estos materiales en zonas inundables, a menos que se interponga una capa de material insensible al agua. Los estériles del carbón cribados podrían utilizarse en zonas inundables, así como en la del núcleo del relleno. En principio no son considerados susceptibles de experimentar combustión espontánea si su contenido en sulfuros oxidables es inferior al 0.06 % de sulfato, expresado como SO_4^- . Debido a las propiedades resistentes, pueden construirse taludes 3H:2V.

Los **estériles rojos** se citan como relleno y como material seleccionado granular para relleno con usos en arranque de terraplén, material de drenaje y en contacto con agua⁽²⁾. La utilización de los estériles en explanada requiere cierto tratamiento, aunque sea somero, como el que da lugar al *formoschiste*. Los estériles rojos “todo uno” están también muy indicados para este empleo. En Francia se ha recurrido a la utilización de sesenta centímetros de estériles rojos “todo uno” sobre un geotextil como apoyo del firme sobre terrenos limosos húmedos de poca capacidad portante⁽²⁾. En la normativa del Reino Unido, los estériles rojos se proponen como material para explanada.

3.5.- OBRAS REALIZADAS ^(1,2, 21, 22, 23)

Los estériles de carbón han sido utilizados masivamente en el Reino Unido, Francia, Alemania y Holanda especialmente, en rellenos y terraplenes, y en cantidades del orden de decenas de millones de metros cúbicos. Los usos en firmes han registrado una intensidad mucho menor.

En España se han llevado a cabo estudios para la aplicación de estériles de carbón en terraplenes y carreteras de forma conjunta por Hunosa, el Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medioambiente y el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Después de analizar la aplicación en terraplenes dirigieron sus esfuerzos a las mejoras del material para su empleo en capas de firme. Así, en 1993 se montó en Asturias una planta para el tratamiento de los estériles de carbón como materiales para capas de firmes. En dicha planta, el material se sometía a determinados procesos de cribado y machaqueo selectivos hasta conseguir un producto que cumpliera las especificaciones para capas granulares de subbases y algunas aplicaciones de capa de base, y para capas tratadas con cemento y emulsión. Paralelamente se realizaban las comprobaciones pertinentes para asegurar la inalterabilidad del material y la ausencia de problemas por lixiviados.

La utilización de estos residuos en terraplenes y carreteras en España es relativamente reciente. Hasta 1989 se empleaban únicamente en zonas mineras, para el relleno de minas y pozos, canteras abandonadas, huecos o terrenos hundidos, etc.

Como ejemplos de obras en las que se han empleado estos materiales se pueden citar:

- **Autovía Oviedo-Campomanes:** se han utilizado del orden de 128.000 t de estériles de lavadero en la construcción de terraplenes y se han construido 4,5 km de subbase empleando estériles de lavadero estabilizados con un 6% de cemento (1992).
- **Autovía Oviedo-S. Miguel de la Barreda:** se colocaron más de 1500 m³ de estériles negros de escombrera y lavadero para la construcción de terraplenes.
- **Carretera Ujo-Moreda (Asturias):** se han utilizado estériles rojos, machacados y clasificados en el huso 0/50 como subbase y también han sido empleados estériles negros

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 1.1	Mes: DICIEMBRE Año: 2011
ESTÉRILES DE CARBÓN		

sin tratar en un terraplén de dicha carretera.

- **Autovía Mieres-Campomanes:** sin tratar o con un ligero tratamiento mecánico, consistente en la eliminación de los tamaños grandes, en la construcción de 17 km de la explanada, en una capa de un espesor de 1,2 m, sobre los que se colocaron 22cm de grava-escoria y 17cm de mezcla bituminosa.
- **Carretera de Fabero a Berlanga (León):** se han utilizado estériles rojos en la constitución de la explanada así como en la del camino vecinal de Toreno a Vega de Espinareda.
- **Autovía del Noroeste (tramo S. Román de Bembibre-Villafranca del Bierzo):** en el Proyecto de Construcción estaban autorizados algo más de un millón de metros cúbicos de estériles de relavado de la denominada “montaña de carbón de Ponferrada” para construcción de terraplenes, pero no llegaron a emplearse. Sólo se emplearon unos 2.800 m³ en la construcción de un pequeño terraplén de acceso a la Autovía Cubillos-Toreno, situado cerca de esta última localidad.
- **Rellenos de los estribos del puente sobre el río Sil y acceso al Campus Universitario de Ponferrada:** empleo de estériles negros (2005).
- **Autovía Cubillos-Toreno** Estériles negros procedentes de la escombrera de Toreno para trasdosar alguna de las estructuras y en caminos de servicio de esta misma infraestructura. Los estériles de relavado de la “Montaña de carbón de Ponferrada” fueron empleados, en el año 2000, en el núcleo de terraplén en la autovía Cubillos-Toreno (Ramal 85, p.k. +060 a +0160), de 1 km de longitud y 8 m de ancho superior de plataforma. Asimismo, se realizó un estudio sobre la utilización de los estériles de relavado en suelo cemento, ensayándose dosificaciones de 3,5%, 4% y 4,5% de cemento, alcanzándose con las dos últimas, resistencias a la compresión simple superiores a las exigidas por el PG-3⁽²⁴⁾, si bien fueron inferiores a las obtenidas con el mismo material en un estudio anterior. En la puesta en obra se utilizó un compactador de rodillos vibratorios tándem de 18 Tm. La mayor altura de terraplén alcanzada fue de 2 m^(25, 26, 27).
- Cabe también señalar el estudio realizado en la **carretera Toreno-Villablino** con estériles rojos para su utilización en mezclas de suelo cemento realizado dos años más tarde por las mismas empresas que habían hecho el estudio anterior. En esta ocasión se ensayaron las dosificaciones de 3,5%, 4% y 4,5% de cemento, alcanzándose resistencias superiores en todos los casos a las requeridas por el PG-3. También se han empleado estériles procedentes de lavadero en la construcción de 7 km de caminos con materiales con granulometría continua y compacidad adecuada y, como base para asiento en las losas de transición en dos pasos inferiores⁽²⁷⁾.
- Los estériles se han utilizado también en la **carretera Berlanga-Fresnedo**.

En Francia, la primera obra en la que se utilizaron estériles rojos tratados fue la de la **carretera Hersin-Coupigny**, en la región Nord-Pas de Calais, en 1969. Desde aquel año, los estériles rojos fueron utilizados abundantemente. Otras carreteras francesas en las que se han utilizado estériles rojos tratados son: la **R.N. 39**, en el Paso de Calais, para tráfico T₁ francés (1976), la carretera **C.D. 28** (Moselle), para tráfico T₃ francés, en 1975 y la carretera C.D. 919, en el **Paso de Calais**, para tráfico T₃, en 1977.

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 1.1	Mes: DICIEMBRE Año: 2011
ESTÉRILES DE CARBÓN		

4.- CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES

Generalidades

La Directiva Marco de Residuos, 2008/98/CE establece el marco jurídico de la Unión Europea para la gestión de los residuos.

En España, la transposición de esta Directiva al ordenamiento jurídico interno se ha lleva a cabo a través de la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados que sustituye a la anteriormente vigente Ley 10/1998, de Residuos.

La Ley 22/2011 de residuos y suelos contaminados establece en su artículo 6 que la determinación de los residuos que han de considerarse como residuos peligrosos y no peligrosos se hará de conformidad con la Lista Europea de Residuos (LER) establecida en la decisión 2000/532/CE de la Comisión, de 3 de mayo de 2000.

Los estériles del carbón constituyen el residuo de código 01 01 02. Se trata de un residuo perteneciente al capítulo 01, correspondiente a los residuos de la prospección, extracción de minas y canteras y tratamientos físicos y químicos de minerales y subcapítulo 01 01 residuos de la extracción de minerales. Estando considerados como residuos no peligrosos.

En cuanto a la caracterización medioambiental no se conocen estudios relativos al impacto ambiental causado por la utilización de los residuos de la minería del carbón en la construcción de carreteras. En Francia se ha publicado una tesis doctoral⁷ relativa al impacto sobre las aguas de las escombreras de carbón por su exposición a las condiciones atmosféricas. Se centra su estudio en grandes acumulaciones de residuos en superficies reducidas, lo que favorece la concentración de los compuestos lixiviados. Estudia el drenaje ácido de los residuos de la minería del carbón, que como es sabido es uno de los impactos de la minería en general, particularmente, de la minería metálica^(11,12,16,17). La tesis citada propone dos fuentes de información para evaluar los efectos potenciales del drenaje ácido: ensayos de lixiviación a pH determinado y análisis de las acumulaciones de agua a pie de escombrera.

Ventajas

El empleo de materiales acopiados en escombreras supone una serie de beneficios de carácter global:

- Permite disminuir parcial o totalmente el volumen de residuos existente en las escombreras y, en el segundo de los casos, liberar el terreno ocupado por los acopios para otros usos. Adicionalmente, se reducen algunos o todos de los numerosos impactos que ocasionan las escombreras. Por ejemplo, la mejora que se logra en la estabilidad de las escombreras y por tanto, en la seguridad, al disminuir el volumen de material acopiado.
- El empleo de residuos en la construcción de firmes permite reservar los áridos naturales para usos que requieran especificaciones técnicas más exigentes y con ello, contribuir a la conservación de los recursos naturales.
- En el caso de valorizar residuos del carbón, los beneficios económicos que se pudieran obtener podrían servir para financiar, al menos parcialmente, costes de la recuperación medioambiental de los terrenos afectados por las labores mineras.
- El empleo de los estériles de lavadero en la construcción de firmes permite reducir o eliminar en su caso, alguna de las diversas modalidades que adopta el impacto ambiental causado por las escombreras.

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 1.1	Mes: DICIEMBRE Año: 2011
ESTÉRILES DE CARBÓN		

Inconvenientes

- Hay que prestar atención al posible riesgo de su combustión espontánea debido a la presencia de carbón en los estériles y en la reacción exotérmica de oxidación de las piritas. Dados los contenidos habituales de carbón (< 5%), si los rellenos están adecuadamente compactados, y por tanto el contenido de aire es muy bajo, puede excluirse de combustión espontánea.

Un ejemplo de combustión espontánea se produjo en el terraplén entre los pp.kk. 414/850 al 415/130 de la Línea Madrid-Barcelona por Caspe. En 2006 se hizo un estudio geológico-geotécnico del terraplén que presentaba un proceso de inestabilidad debido a la combustión continua del material constituyente del núcleo, afectando a un tramo de 45 m de vía con un espesor de relleno de hasta 8m. Al tratarse de un relleno localizado la medida correctora adoptada fue la sustitución y construcción de un nuevo terraplén.

- Los estériles de lavadero pueden contener sulfatos, por lo que puede ser necesario utilizar cementos resistentes a ellos, cuando se emplean mezclados con cemento, así como estudiar la producción de lixiviados.

5. NORMATIVA TÉCNICA

- UNE EN13043:2003/AC: 2004 Áridos para mezclas bituminosas y tratamientossuperficiales de carreteras, aeropuertos y otras áreas pavimentadas.
- UNE-EN 13242:2003 +A1:2008 Áridos para capas granulares y capas tratadas con conglomerados hidráulicos para uso en capas estructurales de firmes.
- UNE-EN 12457-(1,2,3 y 4):2003. Caracterización de residuos. Lixiviación. Ensayo de conformidad para la lixiviación de residuos granulares y lodos.
- Acceptabilité de matériaux alternatifs en technique routière. SETRA. 2011
- Manual of Contract Documents for Highway Works (MCDH), Vol. 1, Specification for Highway Works (SHW); Series 0600 "Earthworks", Amendment, November 2009.
- Design Manual for Roads and Bridges (DMRB), The Highways Agency, The Scottish Office Development Department, The Welsh Office, The Department of the Environment from Northern Ireland, Amendment, February 2007.
- BS 6543 British Standard guide to use of industrial by-products and waste materials in building and civil engineering, 1985.
- SETRA-LCPC, "Guide Technique pour la réalisation des terrassements et couches de forme, GTR », juillet, 2000, 2^{ème} édition.
- NF P 11-300: Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières.

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 1.1	Mes: DICIEMBRE Año: 2011
ESTÉRILES DE CARBÓN		

6.- REFERENCIAS

- [1] Instituto Tecnológico y Geominero de España, "Manual de Reutilización de residuos de la industria minera, siderometalúrgica y termoeléctrica", Madrid, 1995.
- [2] Observatorio Francés del Reciclaje en Infraestructuras de Carreteras <http://ofrir.lcpc.fr>
- [3] Carbuniión. Memoria Anual 2010. Información facilitada por Carbuniión.
http://www.carbunion.com/panel/memoria/uploads/CARBUNION_Memoria_2010.pdf
- [4] EURACOAL Market Reports <http://www.euracoal.org/pages/medien.php?idpage=85>
- [5] National Mining Association (USA) <http://www.nma.org/statistics/default.asp>
- [6] HINOJOSA CABRERA, J.A.; GONZÁLEZ CAÑIBANO, J. "Utilización de los estériles del carbón en carreteras", XII Congreso Mundial de la IRF, Tomo II. Madrid, mayo, 1993.
- [7] GONZÁLEZ CAÑIBANO, J.; LEINNINGER, D. "The characteristics and use of coal wastes", 2nd International Symposium on the Reclamation, Treatment and Utilization of Coal Mining Wastes, Nottingham, U.K., September, 1987.
- [8] Skarzynska, K. M., « Reuse of coal mining wastes in civil engineering- Part 1 : properties of minestone, Waste Management, Vol. 15, Nº 1, pp.3-42, 1995.
- [9] Ibarzábal, J.L. y Fernández Valcarce, J.A., "Los estériles de lavadero de hulla como material para la NCB. "Utilization of Colliery Spoil in Civil Engineering", Final Report Research Project 6220-EC/8/808 to the European Coal and Steel Community, July, 1978.
- [10] GONZÁLEZ CAÑIBANO, J. "Composición mineralógica de los estériles de hulla y antracita en España", IX Congreso Internacional de Minería Industria Minera, mayo, 1991.
- [11] ESTERAS GONZÁLEZ, S.; JIMÉNEZ SÁEZ, R.; IBARZÁBAL OSET, J.L.; GONZÁLEZ CAÑIBANO, J.; RUIZ RUBIO, A. "Utilización de los estériles del carbón como materiales para capas de firmes. I Características y ensayos de lixiviación", Ingeniería Civil, CEDEX, Núm. 95, 1994.
- [12] GONZÁLEZ CAÑIBANO, J.; FERNÁNDEZ VALCARCE, J.A. "Composición química de los estériles de hulla y antracita de España", Industria Minera, Mayo, 1991.
- [13] JIMÉNEZ, S., "Utilización de estériles de carbón en terraplenes de carreteras de la comunidad de Castilla y León", Actas del V Congreso Nacional de Firmes, pp.197-202. 2000.
- [14] MIERSMAN, M., "Schistes: co-produits de l'industrie charbonnière", Valorisation des déchets et sous-produits dans les travaux de génie civil, École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 1992.
- [15] Plan Nacional Integrado de Residuos 2008-2015 (PNIR). Versión preliminar. Anexo 10: I Plan Nacional de Residuos de Industrias Extractivas 2008-2015 (I PNRIE).
- [16] DAC CHI, N.; "Empleo de los desechos de minas de carbón y escorias metalúrgicas en Europa", Carreteras, Núm. 69, 71-76. 1994.
- [17] GONZÁLEZ CAÑIBANO, J.; GARCÍA, M.; FERNÁNDEZ, J.M.. "Utilización de los estériles del carbón en la construcción de firmes de carreteras", VII Congreso Internacional de Minería y Metalurgia. Barcelona, 1994.
- [18] KETTEL, R.J.; RAINBOW, AKM.. "the stabilization of Colliery spoil", Symposium on the utilization of waste from Coal Mining and Preparation. Vol. III. Tatábanya, Hungary, 17-23

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 1.1	Mes: DICIEMBRE Año: 2011
ESTÉRILES DE CARBÓN		

October (1993).

- [19] GONZÁLEZ CAÑIBANO, J.; PÉREZ VALLE, J.J.; ESTERAS GONZÁLEZ, S.; JIMÉNEZ SÁEZ, R.; RUIZ RUBIO, A.. "Utilización de los estériles del carbón como materiales para capas de firmes. II Empleo de los estériles del carbón tratados con cemento", Ingeniería Civil, CEDEX, Núm. 103, 1996.
- [20] GONZÁLEZ CAÑIBANO, J. "Construction of an experimental embankment using coal mining wastes". 4th International Symposium on the Reclamation, Treatment and Utilization of Coal Mining Wastes. Poland, September 1993.
- [21] GONZÁLEZ CAÑIBANO, J.; SOPEÑA, L.; "Los estériles del carbón como material para estructuras de tierra reforzada". I Congreso Hispano-Lusoy IV Sposium Español sobre Carreteras y Medio Ambiente. Junio, 1998.
- [22] GONZÁLEZ, J., RODRÍGUEZ, J.M., HINOJOSA, J.A., FALCÓN, A. IBARZÁBAL, J.L. Y FERNÁNDEZ, J.A., "Los estériles de lavadero de hulla como material para la construcción de terraplenes", Canteras, Noviembre 1990, pp.63-69.
- [23] CELEMÍN, M., MARTÍNEZ, A. Y SÁNCHEZ-ALCITURRI, J.M., "Problemática del uso de los estériles de relavado en la autovía del Noroeste", Actas del IV Simposio Español sobre Carreteras y Medio Ambiente, Asociación Técnica de la Carretera, 1998, pp. 777-783.
- [24] "PG-3. Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes".
- [25] BARNETT, S.A., "Recent Case Histories using Minestone in Construction of Railway Embankments in United Kingdom", Sym. on the Reclamation Treatment and Utilisation of Coal Mining Wastes, Durham, England, Sept. 1984, pp.14.1-14.22.
- [26] ITGE, "Manual de reutilización de residuos de la industria minera, siderometalúrgica y termoeléctrica", Madrid, 1995.
- [27] BURGUEÑO MUÑOZ, A., «utilización de materiales procedentes de la industria minera, Autovía Cubillos-Toreno». Curso de Construcción sostenible y reciclaje de residuos, Zaragoza, abril 2010.
- [28] MADRIGAL FERNÁNDEZ, A.;SEVILLANO ARRIBAS, N. "Estudio geológico-geotécnico del terraplén en combustión pp.kk. 414/850 al 415/130 Línea Madrid-Barcelona por Caspe", Jornadas de Ingeniería Geológica y Geotécnica de Infraestructuras Lineales. Madrid, noviembre 2011.

OTRAS REFERENCIAS CONSULTADAS

- [29] GONZÁLEZ, J. Y GARCÍA, M., "Utilización de los estériles negros de escombreras de carbón en la construcción de terraplenes", Boletín de Información del Laboratorio de Carreteras y Geotecnia, núm. 165, 1984, pp. 3-13.
- [30] ITGE, "Inventario Nacional de Balsas y Escombreras", Ministerio de Industria y Energía. 1989.

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 1.1	Mes: DICIEMBRE Año: 2011
ESTÉRILES DE CARBÓN		

7.- ENTIDADES DE CONTACTO

- Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT).
Programa I+D OCICARBÓN
Avda. Complutense, 22, 28040 Madrid
Tel.: 91. 3466741/6343
Fax.: 91.346 64 55

- HUNOSA
Avda. de Galicia, nº 44
33005 Oviedo
Tel.: 98510 7300
Fax.: 985273133
<http://www.hunosa.es>

- CARBUNIÓN (Federación Nacional de Empresarios de Minas de Carbón)
C/ Padre Damián, 5
28036 Madrid
<http://www.carbunion.com/>

- EUROACOAL (European Association for Coal and Lignite)
<http://www.euracoal.org/>

- NMA (National Mining Association), USA
<http://www.nma.org/statistics/default.asp>