

MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA
COMISARIA DE LA ENERGIA Y RECURSOS MINERALES

**INVESTIGACION DE LAS CARACTERISTICAS DE LOS
MATERIALES DE ESCOMBRERAS DE LA MINERIA DEL
CARBON CON VISTAS A SU POSTERIOR UTILIZACION
GEOMECANICA**

MEMORIA



INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

00677

77

El presente estudio ha sido realizado por la División de Geología aplicada a la Ingeniería, del INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA en régimen de contratación con ESBOGA GEOTECNICA, S.A.

1 9 8 1

INVESTIGACION DE LAS CARACTERISTICAS
DE LOS MATERIALES DE ESCOMBRERAS DE
LA MINERIA DEL CARBON CON VISTAS A
SU POSTERIOR UTILIZACION GEOMECANICA.

MEMORIA

INVESTIGACION DE LAS CARACTERISTICAS DE LOS
MATERIALES DE ESCOMBRERAS DE LA MINERIA DEL
CARBON CON VISTAS A SU POSTERIOR UTILIZACION
GEOMECANICA.

1.- INTRODUCCION

2.- METODOLOGIA Y TRABAJOS REALIZADOS

2.1 Criterios de selección

2.2 Escombreras y lavaderos seleccionados

2.2.1 Escombrera de S. Inocencio

2.2.2 Escombrera de Morgao

2.2.3 Escombrera de Reicastro

2.2.4 Escombrera de Mina Eskar

2.2.5 Escombrera de Lada

2.2.6 Lavadero de Mieres

2.2.7 Lavadero de Sovilla

2.2.8 Lavadero de Candin

2.2.9 Lavadero de Modesta

2.2.10 Lavadero de Turón

3.- CARACTERISTICAS LITOLOGICAS DE LOS ESTERILES

- 3.1 Encuadre geológico
- 3.2 Estratigrafía
- 3.3 Materiales depositados en las escombreras

4.- DETERMINACION DE LOS PARAMETROS GEOMECHANICOS

- 4.1 Ensayos de identificación
 - 4.1.1 Curvas granulométricas
 - 4.1.2 Peso específico
 - 4.1.3 Contenido en humedad
- 4.2 Ensayos tensión-deformación
 - 4.2.1 Ensayos de compresión confinada
 - 4.2.2 Ensayos de corte

5.- APROVECHAMIENTO DE LOS ESTERILES

- 5.1 Componentes químicos de los estériles
- 5.2 Utilizaciones primarias de los estériles
 - 5.2.1 Empleo en terraplenes
 - 5.2.2 Empleo como capas de base y sub-base
 - 5.2.3 Aridos para hormigones
 - 5.2.4 Materiales de relleno
- 5.3 Empleo de los estériles en procesos industriales
 - 5.3.1 Productos cerámicos
 - 5.3.1.1 Ladrillos
 - 5.3.1.2 Gres

5.3.2 Aridos ligeros

5.3.3 Fabricación de cemento

5.3.4 Combustibles pobres

5.3.5 Obtención de alumina

5.4. Procesos de altas temperaturas

6.- CONCLUSIONES

7.- BIBLIOGRAFIA

ANEJO I Fichas de campo

ANEJO II Resultados de ensayos de laboratorio

1.- INTRODUCCION

Actualmente en nuestro país los carbones que se extraen en subterráneo tienen un contenido medio en estéril que supera el 40% y esta cifra, siguiendo una tendencia mundial, irá aumentando paulatinamente en los próximos años. Dado el auge que está experimentando la minería del carbón, de acuerdo con las directrices contenidas en el PEN, la eliminación de los estériles producidos supone un grave problema ya que además del coste elevado de adquisiciones de terrenos y de las operaciones de almacenamiento hay que considerar el posible impacto ambiental que, en algunos casos, puede ser muy negativo.

En estas circunstancias el Instituto Geológico y Minero de España ha decidido investigar las posibles utilidades de los estériles que se producen en la minería del carbón para paliar el problema que supone su almacenamiento y facilitar el cumplimiento de los objetivos del PEN.

Como paso previo a la posible utilización de los estériles es necesario disponer de un conocimiento lo más completo posible sobre las propiedades de los materiales almacenados que permita abordar en profundidad las posibles aplicaciones que puede darse a estos materiales.

Consecuentemente con estos planteamientos en este proyecto de investigación se ha abordado la realización de una selección

de las escombreras y lavaderos que pueden proveer de un material aprovechable para, a continuación, analizar sus propiedades más características y, en último lugar, abordar las posibles utiliza ciones prácticas de los estériles de la minería del carbón.

2.- METODOLOGIA Y TRABAJOS REALIZADOS

Como punto de partida, de acuerdo con los objetivos de este pro yecto, se ha realizado una recopilación de la bibliografía dispo nible sobre la utilización de los estériles de la minería del carbón atendiendo, de forma especial, a la gran información existente en los estudios anteriores realizados por el IGME. Así mismo se han estudiado las publicaciones técnicas más recientes, editadas en el extranjero y en el país, que tratan sobre las aplicaciones de los estériles de mina.

Una vez estudiada la bibliografía existente se procedió a seleccionar los depósitos de estériles que ofrecían mayor interés para su utilización. Hay que tener presente que dentro del marco de este estudio se han considerado tanto las escombreras existentes como los lavaderos que son el origen inmediato de los estériles de mina. Obviamente si se consiguen aprovechar los estériles des de el mismo lavadero se evitarán los costes de almacenamiento con lo cual la operación será más rentable. Actualmente los esté riles de lavadero correspondientes a la fracción de granos se emplean totalmente como relleno de las explotaciones.

Se ha desarrollado una campaña de campo en la que se han caracterizado tanto las escombreras como los lavaderos que aparecían como más interesantes y se ha procedido a una completa toma de muestras para poder realizar los ensayos de laboratorio.

En el caso de las escombreras la toma de muestras se realizó en calicatas, hechas con una pala mecánica, que se ubicaron en las zonas consideradas como más representativas.

En los lavaderos la toma de muestras se efectuó sobre los estériles de menudos fraccionando las cantidades recogidas en grupos de 15 o 20 Kg. a fin de conseguir el mayor grado de representatividad.

Una vez obtenidas las muestras se han enviado al laboratorio para proceder a la realización de los ensayos que permita identificar las propiedades más interesantes de cara a su utilización industrial.

2.1. CRITERIOS DE SELECCION

El número de escombreras existentes en la Cuenca Central Asturiana, que es el área en donde se ha desarrollado este proyecto, es muy elevado razón por la cual fue preciso elaborar unos criterios de selección que permitieran escoger las

más idóneas para proveer de estériles aprovechables industrialmente.

Los factores que se han empleado para establecer la selección previa son los siguientes:

A.- Factores Constructivos:

- Características geométricas: longitud, altura, taludes y volúmenes de estériles almacenados.
- Tipología de la estructura
- Naturaleza del material, tanto en cuanto a procedencia, tamaños y formas, como a otras propiedades (humedad, densidad, etc.)

B.- Factores de emplazamiento:

- Ubicación
- Substrato
- Topografía
- Transporte y colocación del estéril
- Vías de acceso
- Cursos fluviales

C.- Factores de Seguridad

- Estabilidad
- Protecciones
- Drenajes

D.- Factores de Utilización

- Labores mineras cercanas
- Vías de comunicación

E.- Factores de Impacto Ambiental:

- Incidencia en el paisaje
- Núcleos urbanos próximos
- Contaminación de suelos y aguas
- Vertido de otros residuos (celulosa, madera, materias orgánicas, etc.)
- Ignición

F.- Posibilidades de Recuperación de los estériles en los aspectos de:

- Reexplotación comercial del carbón que contengan
- Recuperación del terreno

- Nuevas utilizaciones de los estériles (rellenos, consolidables, ladrillos, cementos, sub-bases de firmes de carretera, etc.).
- Posibilidad de transporte y manipulación
- Viabilidad económica

Una vez realizada la primera toma de datos se seleccionaron 19 escombreras y cinco lavaderos como posibles suministradores de estériles que pudieran ser aprovechados industrialmente. En el plano G-8110-1 están ubicadas las escombreras y lavaderos seleccionados que son los siguientes:

- 1.- Escombrera del Lavadero de Sovilla
- 2.- Escombrera del Pozo de Santiago
- 3.- Escombrera del Pozo San Antonio
- 4.- Escombrera de Marianas
- 5.- Escombrera del Lavadero de Moreda
- 6.- Escombrera de S. Inocencio (M. Figaredo)
- 7.- Escombrera del Pozo San José
- 8.- Escombrera de S. Benigno
- 9.- Escombrera de Espinos

- 10.- Escombrera de la Vegona
- 11.- Escombrera de Pumardongo
- 12.- Escombrera de Morgao
- 13.- Escombrera de Reicastro
- 14.- Escombrera (Carretera antigua Oviedo-León)
- 15.- Escombrera de M. Eskar
- 16.- Escombrera de Rioturbio
- 17.- Escombrera de Tres Amigos
- 18.- Escombrera de Lada
- 19.- Escombrera de Montsacro
- 20.- Lavadero de Modesta
- 21.- Lavadero de Mieres
- 22.- Lavadero de Turón
- 23.- Lavadero de Sovilla
- 24.- Lavadero de Candín

En el anejo N^o 1 se muestran las fichas de campo que contienen todos los datos referentes a las escombreras y lavaderos en principio seleccionados.

2.2. ESCOMBRERAS Y LAVADEROS SELECCIONADOS

Después de analizar detalladamente las 19 escombreras y los 5 lavaderos previamente seleccionados se escogieron definitivamente 5 Escombreras: S. INOCENCIO, MORGAO, REICASTRO, ESKAR y LADA, así como 5 lavaderos: MIERES, SOVILLA, CANDIN, MODESTA y TURON cuyas características más importantes exponemos a continuación.

2.2.1 Escombrera de S. Inocencio

Es una escombrera de gran importancia pues tiene almacenados más de $1,5 \text{ Mm}^3$ de materiales; está ubicada en una vaguada y en parte de una ladera, ligeramente cóncava, de las que jalonan el cauce del río Turón. Tiene por substrato un coluvial arcilloso sobre pizarra.

En ella están depositados escombros procedentes de aperturas de galerías, que no han sido utilizados como material de relleno, y estériles que provienen del lavadero. La naturaleza de estos materiales es fundamentalmente pizarra, en un 65%, con arenisca, finos de carbón y restos de madera de entibación.

La meteorización, degradación y alteración de los estériles es apreciable según zonas y según el tiempo que llevan depositados.

El transporte y vertido del estéril se ha realizado en un principio mediante vagonetas y despues con dumpers, lo que ha originado una clasificación natural de tamaños en algunas zonas de los taludes.

Han existido problemas de estabilidad con deslizamiento profundo por saturación, dado que existen surgencias cubiertas por la escombrera.

El acceso a la escombrera se realiza por la carretera que va de Figaredo a Urbies, vía que sirve también de acceso al pozo S. Inocencio.

Destaca en el paisaje de la zona por su gran extensión contrastando en colorido, al estar exenta casi en su totalidad de vegetación.

En la actualidad se desarrollan sobre ella estudios y trabajos encaminados hacia la posibilidad de recuperar los finos de carbón, para lo cual se ha realizado una campaña de toma de muestras mediante sondeos y posteriores análisis.

Se realizaron calicatas manuales en la superficie, escogiendose las muestras en sacos de unos 50 Kg que fueron enviados al laboratorio para efectuar ensayos.

2.2.2 Escombrera de Morgao

Esta es una escombrera de tipo medio pues contiene alrededor de $0,2 \text{ Mm}^3$ de estériles. Está ubicada en Mieres próxima al barrio de Arrojo. Los pozos de extracción más próximos son los de Barredo, S. Inocencio, S. José y Tres Amigos. El acceso a la escombrera se realiza a partir de un desvío de la N-630 en el término municipal de Mieres.

Los estériles almacenados son los típicos de la minería del carbón en los que, como es habitual, predominan los materiales pizarrosos en proporciones próximas al 70%.

Esta escombrera, que está asentada sobre una vaguada, ha tenido algunos problemas de estabilidad por lo que la E.N. Hulleras del Norte realizó los trabajos necesarios para corregir los problemas que se plantearon y que en la actualidad no se han vuelto a presentar.

2.2.3 Escombrera de Reicastro

Es una escombrera de llanura con un importante volumen de materiales almacenados que ronda los $2,5 \text{ Mm}^3$.

Está ubicada entre el río CAUDAL y el ferrocarril Madrid-Gijón frente al pueblo de Figaredo. Presenta un impacto visual muy acusado, pese a que se está generando una incipiente vegetación en la ladera próxima al río y, con frecuencia, su situación ha sido blanco de duras críticas que se fundamentaban en el peligro que supondría un deslizamiento que afectara al cauce del río Caudal.

A pesar del peligro potencial que representa esta escombrera hay que decir que su estabilidad no parece problemática. La escombrera está protegida en el lado del ferrocarril por un muro de contención y, en el lado del río Caudal por una línea de gaviones. Por otro lado la ignición de la escombrera antigua sobre la que se asienta favorece notablemente la estabilidad ante la erosión que pueden producir las aguas del río Caudal. A pesar de todo unas lluvias, extraordinariamente abundantes, que históricamente ya se han producido, acompañadas de una crecida del río podrían provocar un serio problema.

Las instalaciones mineras más próximas son las de minas de Figaredo y los pozos San José, Barredo y Santiago. Actualmente no está en actividad.

2.2.4 Escombrera de Mina Eskar

Es una escombrera de ladera, dispuesta en bancos, con un volúmen de materiales depositados importante que ronda los $1,5 \text{ Mm}^3$. Está ubicada en la carretera de Sama a Mieres en el Km 12 en el término de Cuestavil.

En esta escombrera están almacenados tanto estériles de lavadero como escombros procedentes de las labores de preparación; el sistema de vertido es el de caída por gravedad desde los camiones que transportan los estériles; razón por la cual se produce una segregación en los materiales ya que los tamaños más gruesos se desplazan hasta el pie de la escombrera.

Resultaría interesante aprovechar esta escombrera por su situación, próxima al núcleo urbano de Murias y la potencial contaminación del río S. Juan que erosiona su base y recoge sus aguas de escorrentía.

Las instalaciones mineras más próximas son las de Mina Eskar y los pozos de Tres Amigos, Polio y Barredo.

Actualmente esta en actividad y, a la vez, está siendo relavada.

2.2.5 Escombrera de Lada

Es una escombrera de ladera con un volumen de materiales almacenados que ronda 1 Mm^3 que está situada en las inmediaciones del casco urbano de Lada.

En esta escombrera se han almacenado fundamentalmente estériles de lavadero, realizando el transporte y vertido por camión con acceso por la carretera Mieres-Sama.

Esta escombrera está en estos momentos parada debido a los problemas de inestabilidad que produjeron la variación del cauce de un río situado al pie de la misma y la invasión de terrenos particulares que obligaron a desalojar varias viviendas. Dado que no se han efectuado posteriores trabajos de acondicionamiento su coeficiente de seguridad no será muy elevado y cualquier variación de los parámetros geomecánicos presentes podrá producir nuevas inestabilidades.

Los pozos mineros más próximos son los de Fondon, Tres Amigos, Polio y Sta. Eulalia.

2.2.6 Lavadero de Mieres

Está situado en la antigua carretera Mieres-Oviedo en las inmediaciones del casco urbano de Mieres junto a la orilla del río Caudal.

A esta instalación llega el material procedente de los pozos Montsacro, Tres Amigos, Polio, San Nicolás y Barredo, empleándose como medios de transporte el camión, el ferrocarril, y las cintas transportadoras.

Actualmente este lavadero produce unas 665.000t. al año que son transportadas fundamentalmente a la escombrera de Pumardongo y, por lo que se refiere a los estériles procedentes de los granos, a los pozos mineros próximos para ser empleados como relleno ca librado.

2.2.7 Lavadero de Sovilla

Esta planta de tratamiento se encuentra situada entre la carretera vieja a León y la carretera Nacional 630 en el término de Carabanzo, cercana a la desembocada dura de los ríos Lena y Aller en el río Caudal.

A este lavadero llega el todo uno de los distintos pozos que integran la Hullera del Aller. La producción de escombros puede cifrarse en unas 350.000 t. que, fundamentalmente, son transportadas por ferrocarril a la escombrera de Pumardongo.

2.2.8 Lavadero de Candin

Está situado en el Kilómetro 1 de la carretera de la Felguera a Tuilla. Recibe el todo uno procedente del pozo CANDIN y su producción de estériles puede cifrarse en unas 200.000 t. al año. Actualmente estos estériles son transportados a la escombrera de S. Pedro que dista del lavadero unos 15 Km.

2.2.9 Lavadero de Modesta

Está situado en la carretera que va de la Felguera a Ciaño en las proximidades del río Nalón. En este lavadero se concentra el todo uno extraído en los pozos de la Hullera del Nalón.

Anualmente este lavadero produce unas 400.000t. de estériles que son transportadas mediante camión a la escombrera de La Matona.

2.2.10 Lavadero de Turón

Está ubicado en La Cuadriella en las inmediaciones del río Turón, accediendo a él a partir de la carretera de Figaredo a Urbies. A este lavadero se transporta el carbón de las explotaciones de S. José, Sta. Bárbara y S. Victor; produciéndose al año unas 275.000 toneladas de estériles que se transportan por ferrocarril hasta la escombrera de Pumardongo.

3.- CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS DE LOS ESTÉRILES

Los estériles almacenados en las escombreras seleccionadas y los producidos en los cinco lavaderos estudiados corresponden a la minería del carbón y, como paso previo para definir las propiedades de estos materiales, haremos un bosquejo de la geología y estratigrafía de la zona.

3.1. ENCUADRE GEOLOGICO

La Cuenca Central Asturiana pertenece estructuralmente a la zona Cantábrica del Macizo Ibérico.

La morfología de la zona, es bastante compleja, con cimas sin alineaciones preferentes y valles cerrados por los que discurren cursos de agua condicionados por la estructura.

Esta cuenca tectónicamente se encuadra en el núcleo del arco que describen las estructuras hercínicas en la región arco o rodilla astúrica; localizándose geográficamente en su parte central entre las llamadas regiones de "mantos de corrimiento" al Este y de "pliegues o mantos" al Oeste .

La zona estudiada pertenece a la Unidad del Aller-Nalón, cabalgada por el W por la de Riosa. Ambas incluyen depósitos carboníferos, principalmente del Westfaliense, si bien los niveles productivos se sitúan en su gran mayoría en la unidad del Aller-Nalón. Las dos unidades anteriormente mencionadas están cabalgadas en el límite occidental de la zona por la unidad del Aramo perteneciente a la región de pliegues y mantos.

3.2. ESTRATIGRAFIA

En esta zona, afloran los materiales más antiguos hacia el extremo NW; son de edad devónica, y están dentro de la Unidad del Aramo.

La serie litológica del Devónico en Asturias, es muy variada, con abundancia de facies terrígenas, en las cuales se observan marcadas variaciones laterales, típicas de borde de Cuenca. En la base, aparecen pizarras y areniscas deleznables, de potencias muy variables, a las cuales siguen un paquete de cuarcitas blancas y areniscas (formación Ermita) sobre las que se apoya un tramo carbonatado de pequeña potencia (calizas de Candamo) que da paso al carbonífero Inferior.

Dentro del Carbonífero, pueden distinguirse dos series: la inferior con un espesor aproximado de 3000 m. considerada como improductiva, aunque en algunos tramos hayan existido localmente algunas explotaciones y la superior, más rica en carbón, que incluye los paquetes de la Unidad del Aller-Nalón.

Se inicia el carbonífero con unas calizas rojas y pizarras (Serie Griotte) a las que sigue una potente formación calcáreo-dolomítica (Caliza de Montaña), de aspecto masivo en la parte media, y de color gris claro y grano fino, en la parte alta, completandose así el Tournaisiense-Namuriense de la Unidad del Aramo. Dentro de la Cuenca propiamente dicha el Westfaliense queda definido por una primera serie de calizas a la que siguen pizarras arcillosas.

El primer tramo productivo de la Unidad del Aller-Nalón, forma una serie monótona y rítmica de los siguientes materiales, fundamentalmente: pizarras arcillosas y calcárreas, areniscas, micropudingas, calizas, cuarcitas y carbón. La potencia es de unos 2000 m.

El segundo paquete, con una potencia de unos 950 m. incluye series formadas por carbón, pizarras carbonosas, pizarras arenosas, calcáreas y arcillosas.

El tercer tramo, comprende los niveles más productivos de la cuenca, presentandose muy tectonizado. Fundamentalmente, aparecen pizarras .

El cuarto y último paquete del Carbonífero en esta zona, aflora en el extremo NE, su espesor medio es de 1100m. Comprende conglomerados . de cantos calizos y materia arenosa, en proporción claramente inferior frente a las capas de carbón y los de pizarras carbonosas y arenosas.

Al W de Mieres, en la Unidad de Riosa, se intercalan en la serie una alternancia de pizarras y areniscas duras, con niveles de calizas.

Al E y SE de Mieres las formaciones son más inestables; los suelos de alteración son más abundantes, predomin

nantemente arcillosos, y recubren practicamente casi todo el área, aunque con diferentes espesores según los lugares.

3.3. MATERIALES DEPOSITADOS EN LAS ESCOMBRERAS

Los materiales depositados en las escombreras corresponden en su mayor parte a los estériles que de forma natural acompañan a las capas de carbón. Son fundamentalmente pizarras arcillosas (fusca), areniscas y calizas que frecuentemente forman intercalaciones entre las capas o grandes bolos conocidos como "cazuelos". Por otro lado también se almacenan en las escombreras la mayor parte de los materiales que se obtienen en el avance de las galerías y, en este caso, las rocas presentes son las que integran la estratigrafía normal de la cuenca que, por orden de importancia, son: pizarras, areniscas, calizas y pudingas.

Por último hay que señalar que las fracciones finas de los materiales almacenados en las escombreras suelen poseer una importante proporción de carbón que varía en función de la calidad de los lavaderos que tratan el todo uno.

4.- DETERMINACION DE LOS PARAMETROS GEOMECAVICOS

Un grupo importante de aplicaciones de los estériles almacenados en las escombreras de la minería del carbón se basa en la utili zación de las propiedades resistentes de estos materiales y, por ello, se han determinado en el laboratorio los parámetros que mejor caracterizan su comportamiento geomecánico.

4.1. ENSAYOS DE IDENTIFICACION

Los primeros parámetros geomecánicos que hemos determinado son los que permiten caracterizar las propiedades básicas de estos materiales que, de acuerdo con la práctica geotécnica habitual, son: granulometría, peso específico y humedad natural.

4.1.1 Curvas granulométricas

A partir de las 270 muestras recogidas en las escombre ras y lavaderos seleccionados se han efectuado 76 ensayos granulométricos cuyos resultados están incluidos en el Anejo II.

En los ensayos efectuados se ha procurado utilizar la muestra completa recogida en el campo; pero, en el caso de las escombreras, esto ha planteado problemas de manejo con los tamaños grandes razón por la que las granulometrías están recortadas superiormente por la malla de 3".

En las figuras 1 a 5 se recogen los husos granulométricos de los materiales almacenados en las cinco escombreras seleccionadas, mientras que los correspondientes a los lavaderos estudiados están reflejados en las figuras 6 a 10.

En el cuadro nº 1 se muestra un resumen de los índices característicos, que habitualmente se utilizan para comparar la granulometría de los materiales sueltos, obtenidos a partir de los ensayos granulométricos efectuados.

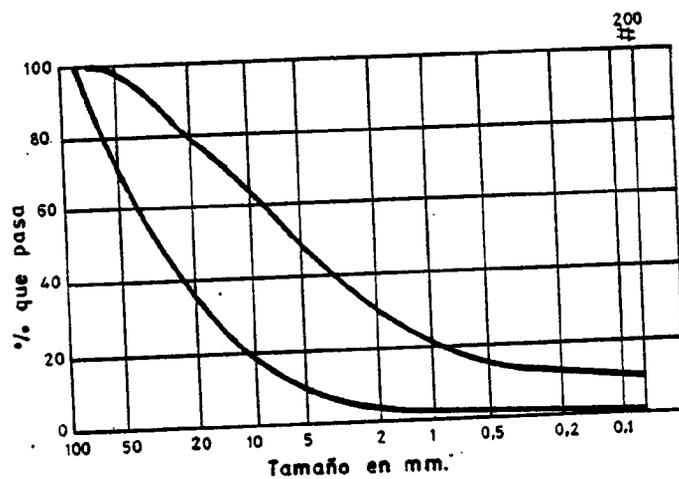


Fig. N° 1 HUSO GRANULOMETRICO DE LA ESCOMBRERA DE S. INOCENCIO

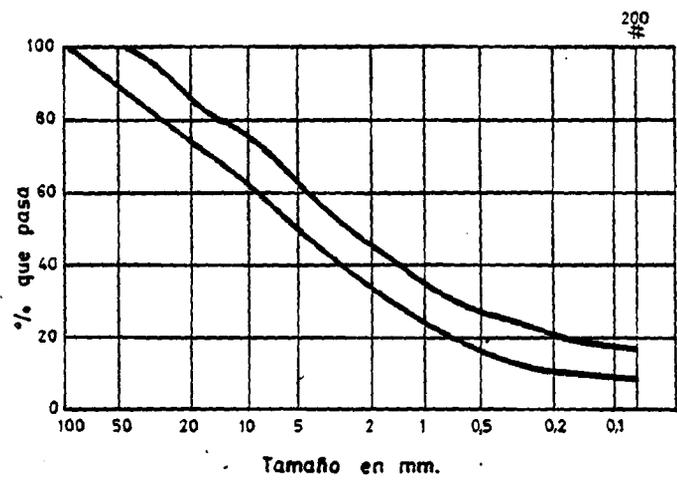


Fig. N°2 HUSO GRANULOMETRICO DE LA ESCOMBRERA DE MORGAO

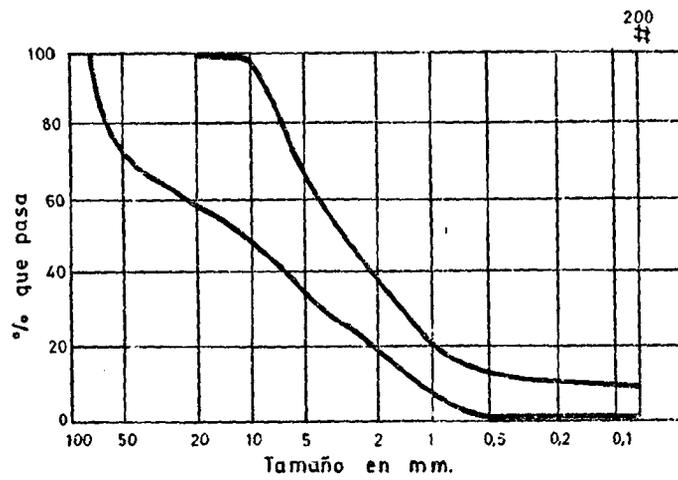


Fig. Nº 3 HUSO GRANULOMETRICO DE LA ESCOMBRERA DE REICASTRO

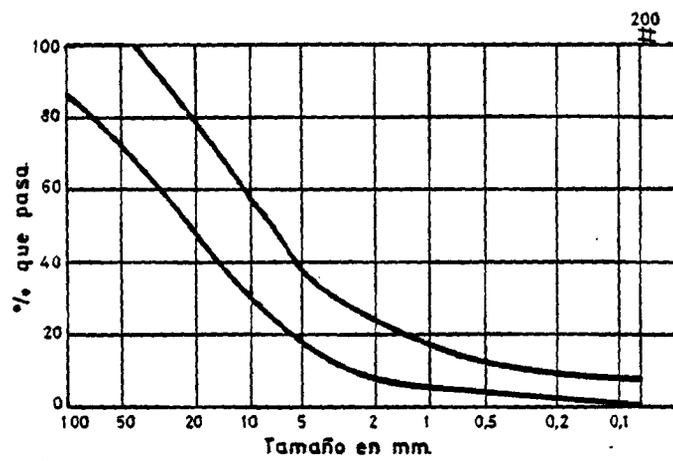


Fig. Nº 4 HUSO GRANULOMETRICO DE LA ESCOMBRERA DE MINA ESKAR

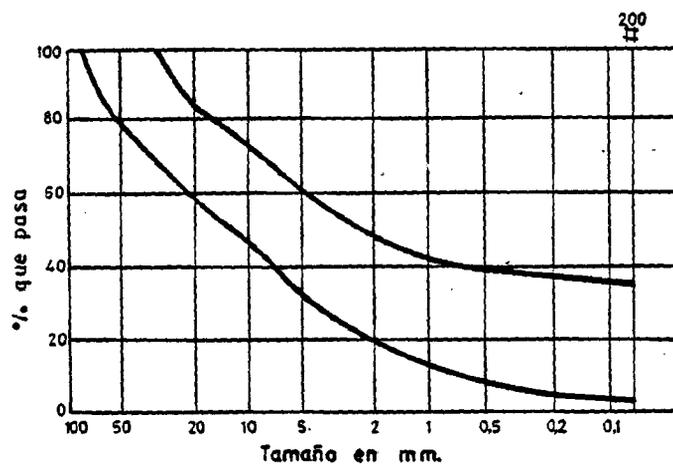


Fig. Nº5 HUSO GRANULOMETRICO DE LA ESCOMBRERA DE LADA

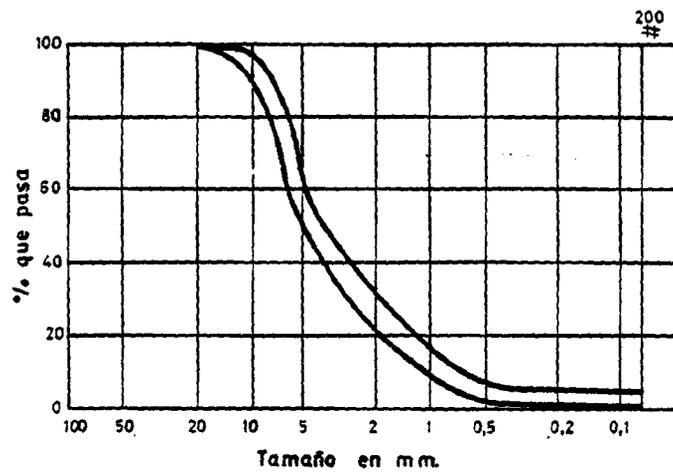


Fig. N°6 HUSO GRANULOMETRICO DE LOS MENUDOS DEL LAVADERO DE MIERES

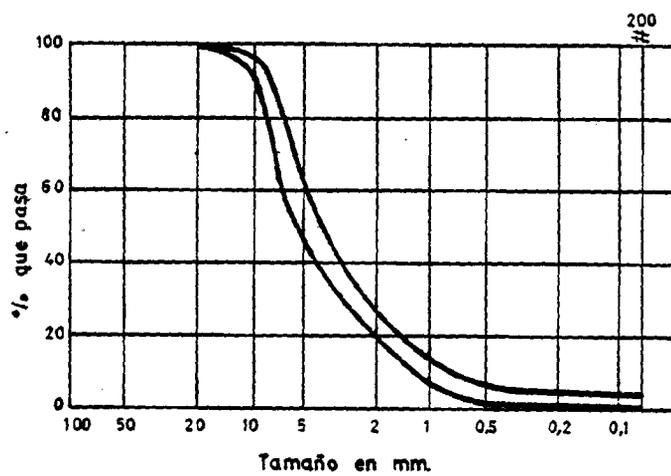


Fig. N° 7 HUSO GRANULOMETRICO DE LOS MENUDOS DEL LAVADERO DE SOVILLA.

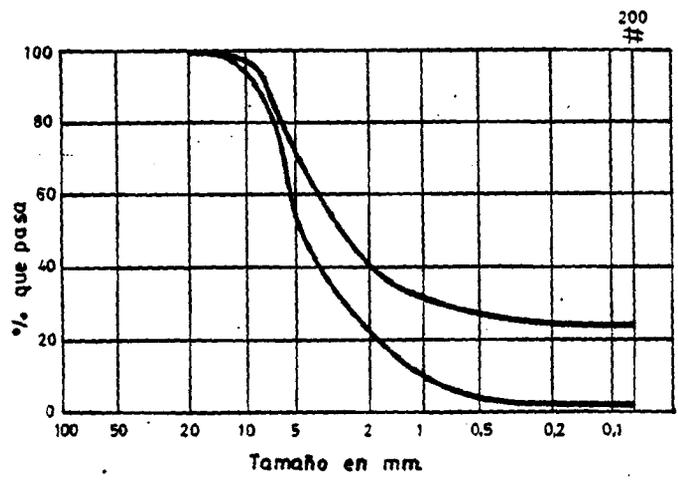


Fig. Nº 8 HUSO GRANULOMETRICO DE LOS MENUDOS DEL LAVADERO DE CANDIN

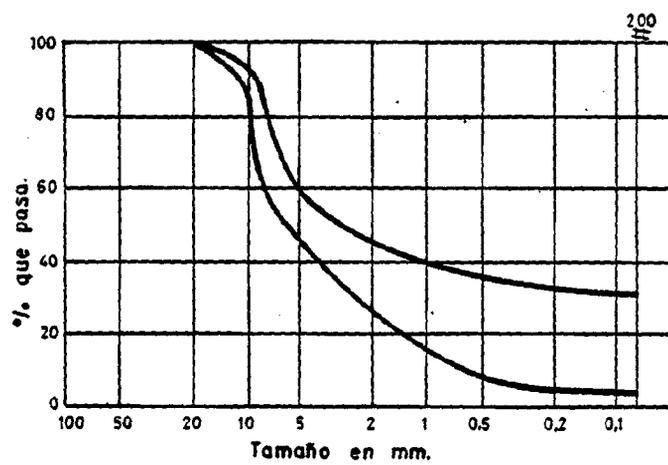


Fig. N°9 HUSO GRANULOMETRICO DE LOS MENUDOS DEL LAVADERO DE MODESTA

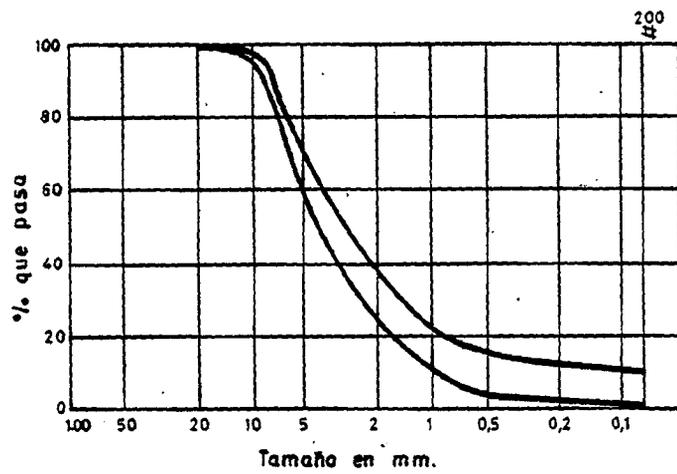


Fig. Nº 10 HUSO GRANULOMETRICO DE LOS MENUDOS DEL LAVADERO DE TURON

MUESTRA		TAMAÑO MAXIMO mm.	D ₁₀ mm.	D ₆₀ mm.	# n° 4 %	#n° 200 %	$C_n = \frac{D_{60}}{D_{10}}$
NOMBRE	Ficha campo						
MORGAO	A-12	38-76	0,05-0,15	4,5-8	48-60	9-18	30- 400
FIGAREDO	A-6	63-76	0,07-5	8-45	8-46	2-10	1,5-650
ESKAR	A-15	38- 100	0,2-2,5	12-31	16-36	2-10	5-160
LADA	A-18	38-76	0,05-0,7	4,7-19	32-60	4-35	7- 400
REICASTRO	A-13	19-76	0,07-1	3,5-24	34-68	1-10	3,5-350
MEDIA		39-80	0,08-1,87	6,5-25	26-54	3,6-16	9,4-3,92
MIERES	A-21	19	0,7-1,2	4,5-7	50-62	1-6	3,7-10
SOVILLA	A-23	19	0,8-1,5	4,6-7	46-60	1-4	3-8,5
TURON	A-22	19	0,7-1	3,7-5,6	56-67	2-11	3,7-8
CANDIN	A-24	19	0,6-1,5	4-6	50-66	2-24	2,6-10
MODESTA	A-20	19	0,3-0,7	5-7	45-58	5-31	7-23
MEDIA		19	0,6-1,18	4,3-6,5	49-62	2,2-15	4-12

Cuadro n° 1 INDICES CARACTERISTICOS DE LOS HUSOS GRANULOMETRICOS OBTENIDOS EN LAS ESCOMBRERAS Y LAVADEROS ESTUDIADOS

A partir de los datos presentados en el cuadro nº 1 podemos resaltar que la granulometría de los materiales procedentes de los lavaderos es mucho mas cerrada y uniforme que la de los materiales depositados en las escombreras. Ello es debido por un lado a que en los lavaderos solo se envia a las escombreras la fracción correspondiente a los menudos y, por otro, a la menor manipulación que tienen estos materiales.

En el caso de las escombreras hay que resaltar también la gran variación del coeficiente de uniformidad que es un reflejo de que las granulometrías son muy abiertas.

En las figuras nº 11 y 12 se muestra el huso total de granulometrías en el caso de las escombreras y lavaderos estudiados.

Para tener una idea comparativa de los índices granulométricos obtenidos en el cuadro nº 2 se muestran los índices homólogos obtenidos en un estudio realizado por el NCB (1972) sobre escombreras y lavaderos de la minería inglesa del carbón.

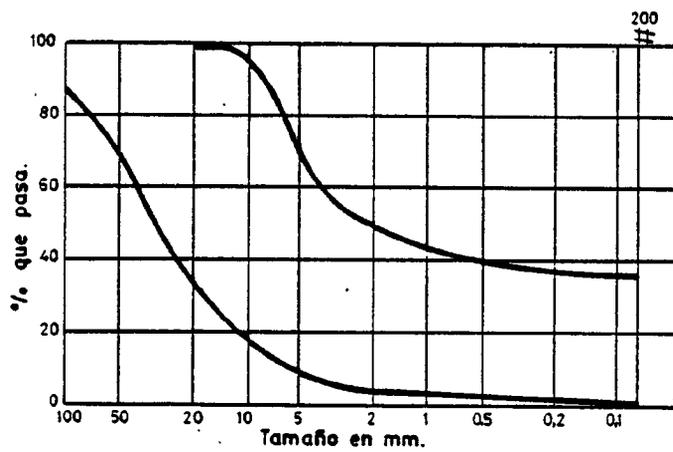


Fig. N° 11 HUSO GRANULOMETRICO DEL CON-
JUNTO DE ESCOMBRERAS ESTUDIADAS

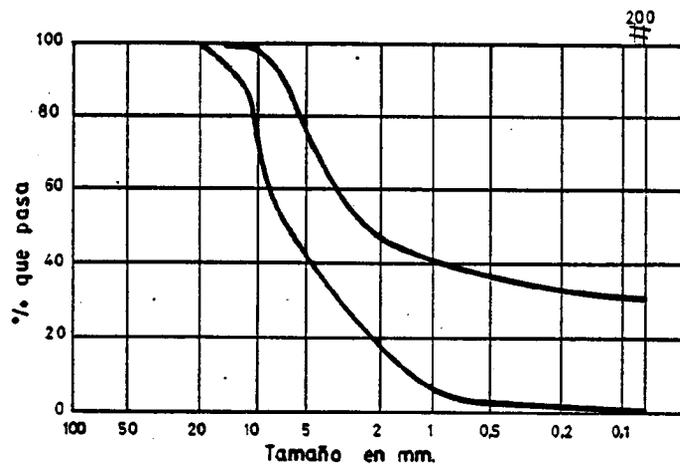


Fig. N° 12. HUSO GRANULOMETRICO DE LOS MENUDOS PROCEDENTES DEL CONJUNTO DE LAVADEROS ESTUDIADOS

Procedencia del Esteril	TAMANO MAXIMO mm	D ₁₀ mm	D ₆₀ mm	# n° 4 %	#n°200 %	$C_n = \frac{D_{60}}{D_{10}}$
MINA	100+	0,05-1	0,3-30	30-90	5-55	0,3- 600
LAVADERO	100	0,75-30	5- 100	1-58	18-55	0,15- 130

Cuadro n° 2 INDICES CARACTERISTICOS DE LOS HUSOS GRANULOMETRICOS OBTENIDOS EN LAS ESCOMBRERAS Y LAVADEROS DE LA MINERIA INGLESA DEL CARBON.

Puede observarse que en el caso de los estériles que proceden directamente de la mina los índices característicos son semejantes a los de las escombreras estudiadas. En el caso de los estériles de lavadero hay una mayor disparidad ya que en los lavaderos estudiados los estériles de la fracción de granos no están incluidos, pues se utilizan en estos momentos en su totalidad como material de relleno en las explotaciones, y los de la fracción de finos se almacenan en balsas.

Por esta razón el coeficiente de uniformidad de los estériles de lavadero de la NCB oscila entre 0,15 y 130 mientras que en el caso de los cinco lavaderos estudiados el rango de variación es mucho más pequeño ya que el coeficiente de uniformidad varía entre 2,6 y 23.

4.1.2 Peso específico

A partir de las muestras obtenidas se han realizado en el laboratorio 141 determinaciones del peso específico de los materiales depositados en las escombreras y lavaderos estudiados que se incluyen en el Anejo II. Para su determinación se ha empleado el método del mercurio.

En el cuadro nº 3 se recogen los valores medios obtenidos para cada caso que presentan un rango de variación entre 1,99 y 2,83 t/m³.

ORIGEN DE LA MUESTRA	RANGO DE VARIACION(t/m ³)
ESCOMBRERA DE S. INOCENCIO	2,22 - 2,76
ESCOMBRERA DE MORGAO	2,35 - 2,78
ESCOMBRERA DE REICASTRO	2,30 - 2,69
ESCOMBRERA DE MINA ESKAR	1,99 - 2,77
ESCOMBRERA DE LADA	2,25 - 2,83
LAVADERO DE MIERES	2,28 - 2,50
LAVADERO DE SOVILLA	2,43 - 2,63
LAVADERO DE CANDIN	2,14 - 2,61
LAVADERO DE MODESTA	2,35 - 2,47
LAVADERO DE TURON	2,10 - 2,49

Cuadro nº 3 RANGO DE VARIACION DE LOS PESOS ESPECIFICOS DETERMINADOS EN LAS ESCOMBRERAS Y LAVADEROS ESTUDIADOS

En la figura nº 13 se muestra la distribución de los pesos específicos determinados que fundamentalmente varían entre 2,3 y 2,6 t/m³ que es un rango bastante estrecho.

Los valores extremos obedecen a la mayor concentración de materiales pesados, fundamentalmente arenisca, o materiales más ligeros sobre todo carbón. En cualquier caso estos valores están de acuerdo con los pesos específicos de los materiales que constituyen la litología de la Cuenca Central Asturiana.

4.1.3 Contenido en humedad

Se han realizado 140 determinaciones del contenido de humedad de las muestras obtenidas cuyos resultados se muestran en el anejo II.

Las determinaciones del contenido de humedad natural se han realizado por el método de secado en estufa a una temperatura comprendida entre 105-110°C hasta conseguir un peso constante, generalmente al cabo de 24 horas.

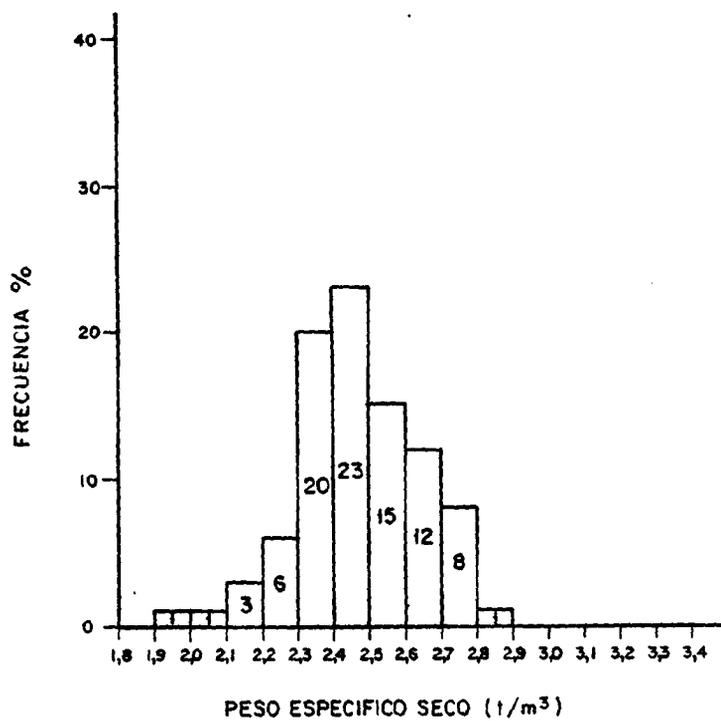


Fig. N° 13 DISTRIBUCION DE PESOS ESPECIFICOS EN LAS ESCOMBRERAS Y LAVADEROS ESTUDIADOS

En el cuadro nº 4 se muestran los rangos de variación del contenido de humedad en cada una de las escombreras y lavaderos estudiados.

ORIGEN DE LA MUESTRA	RANGO DE VARIACION(% peso)
ESCOMBRERA DE S. INOCENCIO	2,11-10,05
ESCOMBRERA DE MORGAO	2,44-9,76
ESCOMBRERA DE REICASTRO	1,01-7,13
ESCOMBRERA DE MINA ESKAR	1,30-6,14
ESCOMBRERA DE LADA	2,82-10,97
LAVADERO DE MIERES	2,33-5,37
LAVADERO DE SOVILLA	2,00-4,06
LAVADERO DE CANDIN	2,01-19,6
LAVADERO DE MODESTA	2,84-11,73
LAVADERO DE TURON	2,20-7,02

Cuadro nº 4 RANGO DE VARIACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DETERMINADO EN LAS ESCOMBRERAS Y LAVADEROS ESTUDIADOS

En la figura nº 14 se muestra el histograma de distribución de frecuencias del contenido de humedad de las muestras ensayadas. Como conclusión a los ensayos realizados para determinar la humedad natural de los estériles podemos destacar la gran variabilidad de este parámetro y el hecho de que el contenido de los estériles almacenados en las escombreras sea algo mayor que el de los estériles de lavadero.

La gran variación del contenido de humedad de los estériles se debe fundamentalmente al propio proceso de toma de muestras que, para ser representativo, exige tomar distintos montones que luego son cuarteados con lo cual se produce un secado artificial de los materiales. Por otro lado los materiales más finos, en razón de su mayor superficie específica y de posibles fenómenos de capilaridad, retienen mejor la humedad que los gruesos. Por último la posición de los materiales de la escombrera tiene una notable influencia sobre el contenido de humedad ya que los materiales superficiales están más secos que los profundos ya que estos guardan mejor el agua procedente de las lluvias.

Por término medio puede admitirse que la humedad natural de estos materiales oscila entre el 2 y el 8 %.

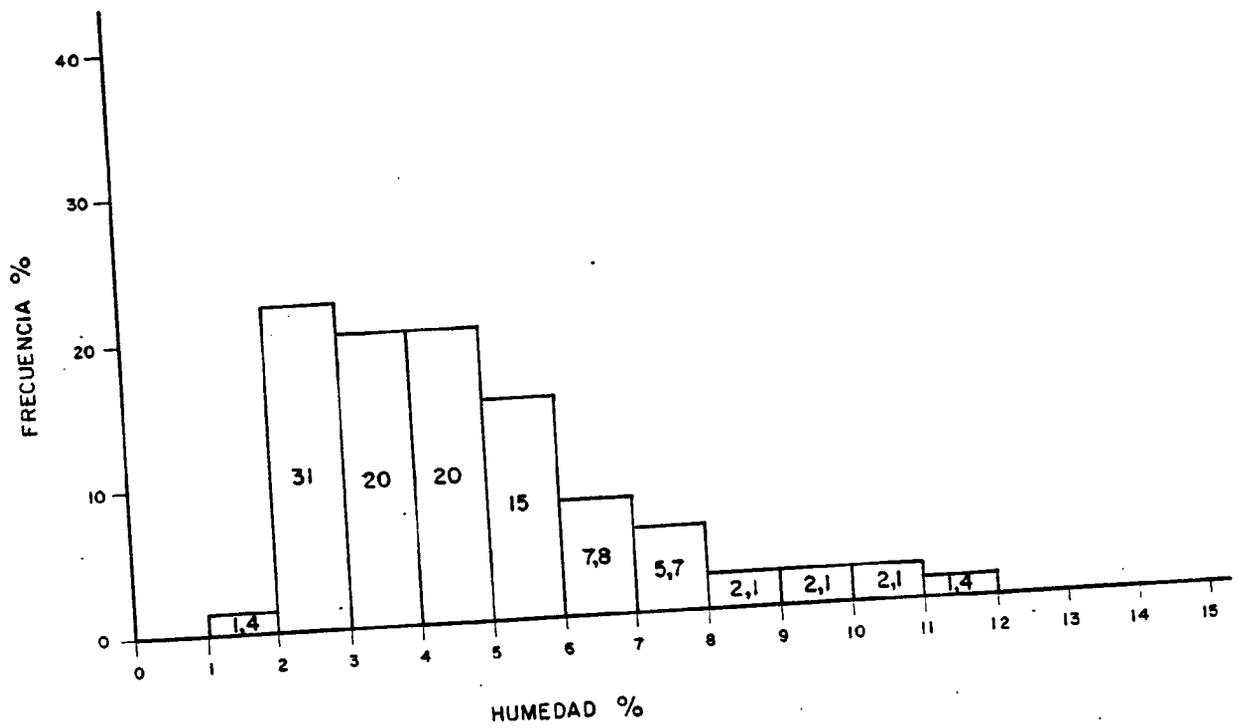


Fig. Nº 14 DISTRIBUCION DE HUMEDADES EN LAS ESCOMBRERAS Y LAVADEROS ESTUDIADOS

4.2. ENSAYOS DE TENSION-DEFORMACION

Habitualmente en las utilizaciones que se pueden dar a los estériles de mina juega un papel muy importante el comportamiento de estos materiales en los procesos de tensión-deformación. Los estériles almacenados en las escombreras pueden asimilarse a materiales sueltos de apariencia granular y por lo tanto para estudiar su comportamiento en los procesos de deformación pueden realizarse los clásicos ensayos edométricos.

En cuanto al comportamiento de estos materiales en los procesos de carga se admite que la rotura está definida por la envolvente de Mohr que tiene como expresión generalizada

$$\tau = f(\sigma) \quad (1)$$

Habitualmente la envolvente de Mohr, o curva intrínseca, tiene la forma de una parábola que pasa por el origen, en el plano (τ, σ) y su eje es paralelo al de tensiones normales.

Dado que la expresión (1) no es lineal, muchas veces se adopta el criterio simplificado de Mohr-Coulomb definido por

$$\tau = C + \sigma \cdot \text{tg } \emptyset \quad (2)$$

En donde C es la cohesión del material y \emptyset el ángulo de rozamiento interno. Dado que esta expresión es muy simplificada, lo cual es bueno para el cálculo, y puede apartarse de la realidad, muchas veces se adoptan hipótesis intermedias. Así por ejemplo HOEK y BRAY (1981) recomiendan aproximar la curva intrínseca mediante tres rectas conforme se ilustra en la figura nº 15 con lo cual el comportamiento de estos materiales se define por tres pares de valores de la cohesión y del ángulo de rozamiento efectivo.

Los ensayos que se emplean para definir las curva intrínseca de estos materiales son los de corte y triaxiales. Los ensayos triaxiales dan más información que los de corte pero en contrapartida son mucho más complejos de realizar en buenas condiciones de representatividad y por otra parte los ensayos de corte están más indicados para presiones normales de trabajo bajas, inferiores a 3 Kg/cm².

Como normalmente las aplicaciones de los estériles de escombreras a la construcción y a la minería suponen que estos materiales van a trabajar con tensiones normales bajas

es por lo que en esta investigación se han considerado más representativos los ensayos de corte que los triaxiales.

4.2.1 Ensayos de compresión confinada

Se han realizado diez ensayos de compresión confinada con muestras remoldeadas a partir de los materiales recogidos en la campaña de campo.

Los ensayos se han realizado en edómetros tipo Rowe de 4 pulgadas de diámetro, en condiciones de drenaje, aplicando la carga en escalones sucesivos hasta llegar a presiones máximas del orden de 10 Kg/cm^2 . En el Anejo II se muestran las gráficas de los ensayos efectuados.

En el cuadro nº 5 se muestran los módulos edométricos obtenidos en los procesos de carga y descarga en cada uno de los ensayos efectuados.

MUESTRA N°	DENSIDAD SECA INICIAL gr/cm ³	MODULO EDOMETRICO	
		RAMA DE CARGA	RAMA DE DESCARGA
1	1,41	91	1095
2	1,44	86	585
3	1,50	112	1290
4	1,51	50	232
5	1,56	90	330
6	1,59	127	593
7	1,40	86	660
8	1,39	70	607
9	1,53	75	296
10	1,45	86	495
X	1,48	87,3	618,3
σ_{n-1}	0,07	21,2	338,8
$\frac{\sigma_{n-1}}{X} \times 100$	4,7	24,3	54,8

Cuadro n° 5 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS EDOMETRICOS

De los resultados obtenidos merece la pena destacar el bajo módulo edométrico en la rama de carga 87,3 Kg/cm², que está en consonancia con los asentamientos que se producen

en las escombreras debido al propio peso de los materiales almacenados. Normalmente este asentamiento está comprendido entre el 2-3% de la altura de los escombros; aunque, en casos extremos, puede llegar hasta el 8% conforme se ha puesto de manifiesto en las investigaciones realizadas por el IGME (1980).

La mayor variación que se observa en el módulo edométrico de descarga es atribuible a la heterogeneidad de cada muestra, fundamentalmente por lo que se refiere a su composición granulométrica y características litológicas de los materiales presentes.

4.2.2 Ensayos de corte.

Se han realizado 75 ensayos de corte en la caja de HOEK de 14 x 17 cm empleando para ello las muestras que se han obtenido en la fase de campo de esta investigación. Los ensayos de corte se han agrupado de tres en tres de tal forma que con material procedente de una misma muestra se han realizado tres ensayos que permitan estimar la curva intrínseca. A partir de los valores obtenidos se ha realizado un ajuste lineal para determinar la cohesión y el ángulo de rozamiento.

miento interno del material. Los ensayos se han realizado en condiciones de drenaje que son los más representativos para el trabajo de estos materiales.

En el cuadro nº 6 se muestra el resumen de los resultados obtenidos agrupando las muestras según su contenido en finos.

PROPORCION DE FINOS EN LOS ESTERILES	PARAMETROS EFECTIVOS DE CORTE	
	C' (Kg/cm ²)	ϕ' (°)
20%	0 - 0,6	32 - 26
10-20%	0 - 0,3	36 - 32
10%	0 - 0,1	45 - 36

Cuadro nº 6 VALORES MEDIOS DE LOS PARAMETROS EFECTIVOS DE CORTE

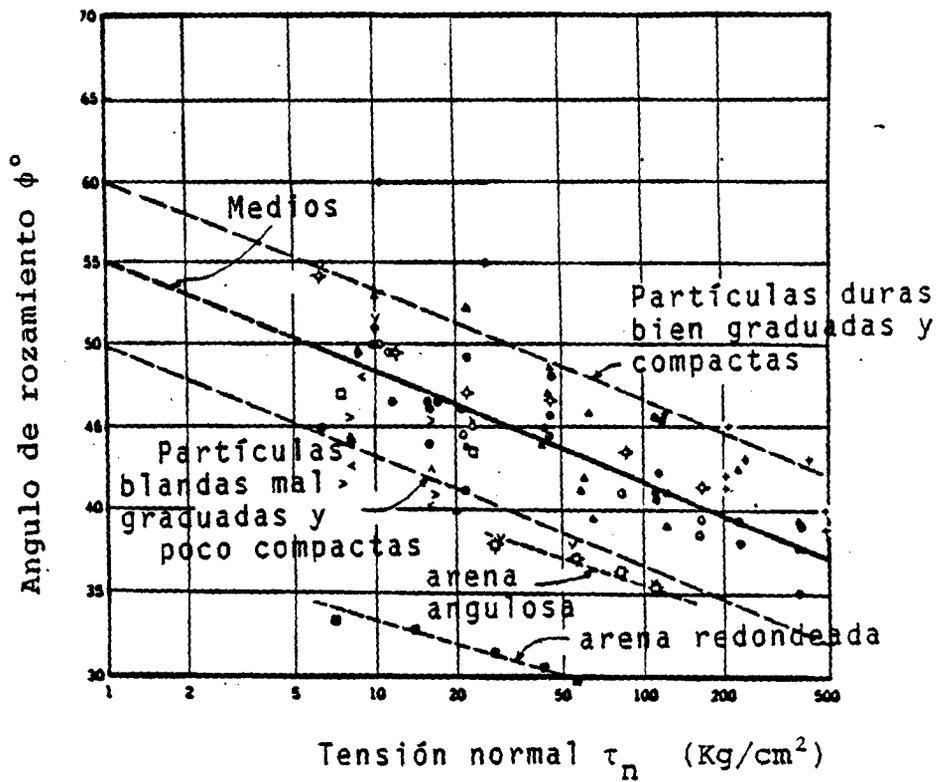


Fig. N° 16 VARIACION DEL ANGULO DE ROZAMIENTO INTERNO EN FUNCION DEL TAMANO DE LOS FRAGMENTOS Y DEL VALOR DE LA TENSION EFECTIVA NORMAL

salinos, tienen en la creación de una importante cohesión a largo plazo.

Es de destacar que de los ensayos realizados se deduce que a medida que aumenta el ángulo de rozamiento interno disminuye la cohesión lo cual es coincidente con los resultados obtenidos por el IGME (1980) en anteriores investigaciones.

5.- APROVECHAMIENTO DE LOS ESTERILES

Los estériles de la minería del carbón pueden tener unos aprovechamientos variados que pueden clasificarse en tres grandes grupos: utilizaciones sin modificaciones sustanciales de los estériles, empleo de aditivos para mejorar las características de los estériles y empleo de los estériles como base de procesos químicos complejos. En cualquier caso, en las dos últimas aplicaciones, juegan un papel decisivo la composición química de estos materiales.

5.1. COMPONENTES QUIMICOS DE LOS ESTERILES

Ya hemos indicado que los residuos de la minería del carbón son de una naturaleza similar a las rocas encajantes de los yacimientos explotados. En este orden de ideas KNATZ y PLOGMANN (1979) ponen de manifiesto que en el caso de la cuenca

del Ruhr las rocas ricas en minerales arcillosos son en el plano cuantitativo, notablemente más frecuentes que las variedades de rocas con mayor proporción de cuarzo. Para estimar las posibilidades de utilización de los estériles de lavadero es necesario, por lo tanto, resaltar el carácter de las pizarras como materias primas. El cuadro nº 7 muestra los análisis elementales de los minerales arcillosos fundamentales, Illita y Kaolinita, comparándolos con los de una pizarra sin cuarzo.

MATERIAL	ANALISIS ELEMENTAL								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O
ILLITA	49,78	26,35	4,30	0,61	2,75	0,32	0,25	7,02	7,12
KAOLINITA	45,20	37,02	0,27	0,06	0,47	0,52	0,36	0,49	13,27
PIZARRA ARCILLOSA	56,2	23,6	3,0	2,2	0,4	1,2	0,7	3,4	7,2

Cuadro nº 7 COMPARACION ENTRE LAS PIZARRAS ARCILLOSAS DEL RUHR Y LAS ESPECIES ARCILLOSAS TIPICAS

Puede observarse que las tres especies son similares químicamente a pesar del mayor contenido en SiO₂ de la pizarra que se debe a la presencia de cuarzo libre; por otro lado la Kaolinita contiene la mayor proporción de Al₂O₃ lo cual es una ventaja en la mayoría de las utilizaciones que se puede hacer de estos productos.

Por lo que se refiere a los estériles procedentes de la minería del carbón inglesa SHERWOOD (1974) ofrece los resultados que se muestran en el cuadro nº 8 en el caso de estériles naturales y calcinados.

COMPONENTE	RESIDUOS CALCINADOS % en peso	RESIDUOS NO CALCINADOS % en peso
SiO ₂	55,2	51,9
Al ₂ O ₃	25,8	19,4
Fe ₂ O ₃	6,7	6,1
TiO ₂	0,21	1,03
Ca O	1,46	0,66
Mg O	1,34	1,21
Na ₂ O	0,37	0,44
K ₂ O	2,78	3,00
SO ₃	1,95	0,35
S	0,05	0,02
Pérdida al fuego	3,71	16,13

Cuadro nº 8 COMPOSICION QUIMICA DE LOS ESTERILES DE LA MINERIA INGLESA DEL CARBON

En la minería asturiana los estériles de carbón pueden clasificarse según la fracción de que provengan y, de acuerdo con LUQUE (1981), podemos establecer las características que se muestran en el cuadro nº 9.

FRACCION DE ESTERILES	TAMAÑO mm	%ESTERIL SOBRE TO DO UNO	% SOBRE ESTERIL	% CONTE NIDO EN CARBONO	PODER CA LORIFICÓ MEDIO
GRANOS	10-150	13	35	3,5	350
MENUDOS	0,5-10	19	45	5,5	700
FINOS	0,5	8	20	11,4	1200
TOTAL		40	100		

Cuadro nº 9 CARACTERISTICAS DE LAS FRACCIONES TIPICAS DE LOS ESTERILES DE LA MINERIA ASTURIANA DEL CARBON

Para las mismas fracciones granulométricas GONZALEZ-CAÑIBANO (1981) da las proporciones presentes de las especies minerales más comunes, cuadro n° 10, y su composición química elemental conforme se indica en el cuadro n° 11.

COMPONENTE MINERALIGICO	FRACCION DE ESTERILES		
	GRANOS	MENUDOS	FINOS
Caolinita	9,8 %	14,4 %	15,6 %
Clorita	8,4 %	8,0 %	9,4 %
Illita	46,0 %	49,6 %	41,0 %
Interestratificados	5,8 %	8,0 %	12,0 %
Cuarzo	20,0 %	10,0 %	5,0 %
Otros	10,0 %	10 %	17,0 %

Cuadro n° 10 COMPONENTES MINERALIGICOS DE LAS DISTINTAS
FRACCIONES DE ESTERILES DE LA MINERIA DEL
CARBON

COMPONENTE QUIMICO	FRACCION DEL ESTERIL					
	GRANOS		MENUDOS		FINOS	
	No calci nados %	Calcina dos %	No calci nados %	Calcina dos %	No calci nados %	Calcina dos
SiO ₂	49,2	56,5	47,1	55,6	43,1	56,0
Al ₂ O ₃	21,7	24,9	23,7	27,9	23,2	30,2
Fe ₂ O ₃	6,8	7,8	5,3	6,2	4,6	6,0
K ₂ O	3,0	3,3	3,2	3,8	2,9	3,8
Ca O	1,4	1,6	1,1	1,3	2,0	2,5
Mg O	1,5	1,7	1,4	1,6	1,2	1,5
TiO ₂	1,1	1,3	1,2	1,4	1,1	1,6
F	0,01		0,01		0,01	
Spiritico	0,6		1,4		1,0	
C	3,5		5,5		11,4	

Cuadro nº 11 COMPONENTES QUIMICOS DE LAS DISTINTAS FRACCIONES DE ESTERILES DE LA MINERIA ASTURIANA DEL CARBON

Los resultados de las investigaciones realizadas ponen de manifiesto la gran homogeneidad de los estériles de mina lo cual es una gran ventaja ante cualquier proceso de utilización de estos materiales.

En general estos materiales poseen una fracción arcillosa importante debido fundamentalmente a la presencia de illita, montmorillonita y caolinita. También es de destacar su elevado contenido en alúmina y la presencia de otros componentes interesantes como K_2O y TiO_2 . Por último el hecho de que en todas las fracciones exista una cierta proporción de carbón supone la indudable ventaja de que estos materiales tienen un poder calorífico apreciable.

5.2. UTILIZACIONES PRIMARIAS DE LOS ESTERILES

Las utilizaciones primarias de los estériles, son aquellas en que estos no son sometidos a ningún proceso ni se les añade ningún aditivo antes de ser empleados. Las aplicaciones más comunes de este tipo son: terraplenes, base y subases de carreteras y fabricación de hormigones. En general dado el poco valor añadido que se consigue con estas utilizaciones solo son rentables si el punto de aplicación está a menos de 30 Km. del origen de los estériles.

5.2.1 Empleo en terraplenes

El empleo de los estériles como material de terraplén presenta la gran ventaja de que esta puede ser una utilización que admita volúmenes muy importantes.

poco tráfico. Así mismo parece interesante la sustitución de las gravas tradicionales, que se emplean en las mezclas ternarias, por estériles calibrados.

Los estériles de las escombreras que han entrado en combustión presentan muchas más ventajas que los estériles de lavadero ya que la combustión produce una "vitrificación" del esqueleto silíceo haciendo que estos materiales, típicos por su color rojo, sean muy resistentes al agua; desaparezca su actividad plástica y tengan mejores propiedades mecánicas. La National Coal Board (U.K.) y la Bergbau Forschung (RFA) han puesto a punto sendos procesos para la combustión de los estériles de la minería del carbón.

Por lo que se refiere a la investigación desarrollada en Inglaterra, HODGKINSON (1979) indica que la combustión de los estériles más finos se ha realizado en un horno con lecho fluidificado previo tratamiento de los finos en un filtro prensa.

Los estériles, que a la entrada del horno contenían el 24% de carbón y entre el 45 y 55% de agua, eran pulverizados encima de un lecho fluidificado que funciona con una velocidad superficial del gas de fluidi

ficación de 1,2 m/seg y una temperatura de 800°C. Los estériles tienen un poder calorífico aproximado de 7500 KJ/Kg y más de la mitad de las partículas sólidas tienen un tamaño inferior a 45 micras.

El horno de lecho fluidificado en el que se han hecho los ensayos tiene 1,5 m de diámetro y trata más de 1 t/h de finos. Se obtienen dos tipos de productos, el más grueso que tiene un tamaño medio próximo a 1 mm y otro mucho más fino que se recupera en ciclones.

LEININGER (1979) ha expuesto los resultados de las investigaciones desarrolladas en Alemania Federal en la BABCOCK-BSH AG, en Krefeld, donde se disponía de un horno de lecho fluidificado de 0,6 m de diámetro y 2,5 m de alto provisto de amplios elementos de control. Los primeros ensayos indicaron que era posible conseguir una zona de pos-combustión por encima del lecho fluidificado de tal forma que se consiguiera la combustión total de los estériles. En los materiales obtenidos tras la combustión el contenido en carbono no llegaba al 6%. Pero el contenido en silicatos de los residuos obtenidos en forma de polvo, constituidos por cenizas finas y las partículas obtenidas por la abrasión de las arenas silíceas del lecho, llegaba al

70% de SiO_2 cuando en los estériles de alimentación el % de SiO_2 estaba próximo al 55%. Por ello se substituyó el lecho fluidificado por materiales de composición similar a los estériles de lavadero. Por otro lado existían problemas de alimentación de los estériles si su contenido en humedad superaba el 30%; por ello se sometió a los estériles a un secado previo en un horno rotativo para que su contenido en humedad no supere el 2%. Con estas modificaciones los productos, tras la combustión en el horno con lecho fluidificado presentan un contenido en carbono del 1,2% y tienen unas excelentes propiedades aglomerantes.

5.2.3 Aridos para hormigones

En la National Coal Board se han realizado numerosos ensayos para el empleo de los estériles de la minería del carbón como áridos para hormigones llegandose a la conclusión de que los resultados son sumamente variables. Así mientras con unos estériles se llega a fabricar hormigones con resistencia a compresión simple a los ocho días comprendida entre 200 - 250 Kg/cm^2 ; con otros estériles estos valores que daban reducidos a 30 Kg/cm^2 .

Con los estériles de flotación es posible obtener hormigones con resistencia a compresión simple, a los 28 días, de unos 70 Kg/cm^2 que tienen la particularidad de deformarse y aplastarse sin fracturarse lo cual los hace interesantes como material de sostenimiento en las minas.

En cualquier caso el empleo de los estériles de la minería del carbón como áridos para hormigones está condicionada a la realización de ensayos previos.

5.2.4 Materiales de relleno en minería

Ya hemos indicado que la fracción de los estériles correspondientes a los granos se emplea actualmente en Asturias como material de relleno en los talleres de explotación pero la fracción que se obtiene en el tratamiento de los menudos es almacenada en escomb_{re}ras ya que en estado natural su ángulo de rozamiento interno es excesivamente bajo. Hemos indicado en el cuadro nº 9 que la fracción de menudos representa el 45% de los estériles producidos en los lavaderos razón por la que la utilización de estos materiales adquiere una gran importancia.

Dado que las características granulométricas de esta fracción son mejores que las de los materiales de relleno empleados en la minería metálica parece que se puede plantear una investigación para determinar la metodología más conveniente para el empleo de estos materiales como relleno en las explotaciones.

CORSON et. al. (1980) indica que el empleo de rellenos hidráulicos se remonta en USA al año 1864 donde se empleó para disminuir la subsidencia producida por la explotación de capas de carbón en Pennsylvania; pero desde 1961 el US Bureau of Mines, en su centro de investigación de SPOKANE, promovió unas intensas investigaciones para determinar las condiciones más idóneas de fabricación y puesta en obra de rellenos consolidables.

En la minería subterránea del carbón española, dada la gran inclinación que presentan las capas que se explotan, la práctica del "relleno colgado" es una solución que debe mejorarse ya que actualmente es costosa, supone un freno importante a la mecanización de las explotaciones y representa un riesgo potencial apreciable para las condiciones de seguridad de estas explotaciones, CELADA et. al. (1981). Dado que, para

poder aprovechar la fracción de los estériles que genera el lavado de los menudos como material de relleno, será preciso utilizar mezclas de estos materiales con aglomerantes del tipo cemento portland se puede aprovechar la investigación que será necesario realizar para estudiar la viabilidad de conseguir no solo aprovechar estos materiales como relleno sino llegar a fabricar, económicamente, un relleno consolidable que alivie los problemas que actualmente presenta la práctica del "relleno colgado".

5.3. EMPLEO DE LOS ESTERILES EN PROCESOS INDUSTRIALES

Los estériles de la minería del carbón poseen una composición química que les hace ser potencialmente una fuente apreciable de materia prima en muchos procesos industriales entre los que cabe destacar la fabricación de productos cerámicos, áridos ligeros, cementos y combustibles pobres.

5.3.1 Productos cerámicos

Dado que los estériles del carbón de hulla se componen de especies arcillosas (illita, caolinita, clorita, etc) como se ha indicado en el cuadro nº 10 y que su análisis químico no difiere considerablemente del de las arcillas empleadas normalmente, es lógico pensar se puedan usar en la fabricación de aquellos productos en que se utilicen arcillas como materia prima, como son los cerámicos: ladrillos, tejas, gres, etc.

5.3.1.1 Ladrillos

La idea de usar los estériles del carbón como materia prima para la fabricación de ladrillos y de incorporar a la pasta el combustible necesario para su cocción con el fin de mejorar el balance energético, es relativamente antigua, pues en Asturias ya se utilizaron en la década de los 30 y son numerosos los ceramistas que han añadido carbón, serrín, etc., a las materias primas a lo largo del tiempo.

Sin embargo, debido a la falta de estudios técnicos adecuados, los productos presentaban algunos inconvenientes como "corazón negro", etc. Por otra parte, dado que los problemas de almacenamiento, costo, contaminación,... no eran acuciantes y que el precio de los combustibles de los derivados del petróleo era bajo, ambos temas fueron abandonados.

No obstante, como consecuencia de la crisis energética mundial y los cada vez más graves problemas que los estériles plantean, se han vuelto a poner de actualidad, siendo muchos los países que han efectuado investigaciones en este sentido, principalmente Francia, en donde han puesto a punto el procedimiento Surschiste para la fabricación de ladrillos a partir de los estériles de escombreras del carbón, HANQUEZ y BOUTRY (1971).

En España HUNOSA ha puesto a punto un proceso de fabricación de ladrillos, partiendo de los diversos tipos de estériles de la minería del carbón, mediante un sistema clásico de vía húmeda cuyo esquema se muestra en la figura nº 17.

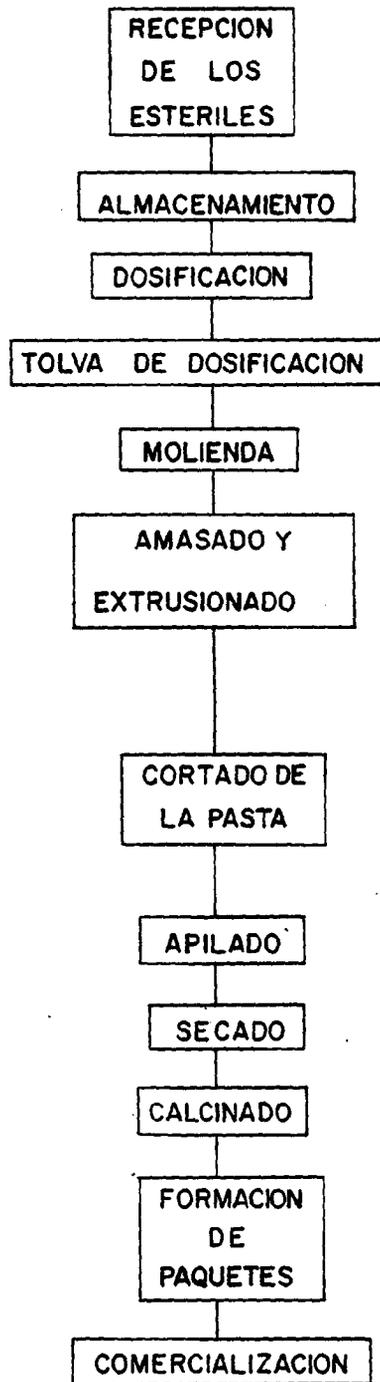


Fig.Nº17 ESQUEMA DEL PROCESO POR VIA HUMEDA DE FABRICACION DE LADRILLOS A PARTIR DE RESIDUOS MINEROS DE CARBON.

Ambos procesos, el Surschiste y el desarrollado por HUNOSA son, en esencia, similares, no presentando diferencias acusadas, salvo que en este no se seca el material antes de su molienda, está totalmente automatizado, la preparación de la pasta (mezcla de estériles y agua) es continua - en el primero se produce de forma discontinua -, aplica las últimas técnicas en maquinaria, hornos, secaderos, etc. y el combustible a utilizar es carbón; mientras que en el Surschiste es gas bruto de coquería.

Los dos procesos aprovechan el carbón contenido en los estériles, el cual es suficiente para alcanzar una temperatura de 900°C, aproximadamente, sin aporte de calor exterior. La cocción se realiza entre 1.025 - 1.050°C. El calor excedente, debido a la mayor necesidad de aire, se recupera para el secado del material. Todo ello hace que el consumo de energía para efectuar el secado y la cocción sea menor de 350 termias/t, mientras que en las cerámicas convencionales se encuentra alrededor de 700 termias/t, es decir, el doble.

Los ladrillos obtenidos con estériles poseen características superiores a las de los elaborados a partir de arcillas. Así por ejemplo, la resistencia a la compresión de estos es prácticamente, la mitad que la de aquellos.

5.3.1.2 Gres

El gres es un producto que tiene una gran demanda en el momento actual por lo que en Francia se han realizado numerosas investigaciones para conseguir su fabricación a partir de los estériles de la minería del carbón.

En este caso y a diferencia de lo que sucede en los ladrillos donde los estériles se pueden utilizar al cien por cien, sin plantear problemas, su uso integral presenta algunos inconvenientes debido a factores tales como textura, deformación, altas temperaturas de cocción, etc., por lo que es necesaria la adición de otros materiales, como por ejemplo, chamota, ..., para mejorar dichas características, tal y como

se desprende de las pruebas de laboratorio realizadas a tal efecto en HUNOSA que han permitido poner a punto la tecnología necesaria para la fabricación de gres a partir de los estériles de finos.

Asimismo, se están realizando las pruebas a escala industrial con los otros tipos de estériles, por lo que, en un plazo muy breve, se dispondrá también de la tecnología correspondiente para la fabricación de gres a partir de estos.

La utilización de los estériles del carbón como materia prima para la fabricación de gres, presenta las ventajas, con respecto a la de las materias primas tradicionales, de un abaratamiento de estas ya que se trata de un material de desecho y de un considerable ahorro de energía al poseer aquellos un contenido importante de carbón. El uso de los estériles de finos tiene, además, la particularidad de no ser necesaria su molienda, sobre todo en el gres extrusionado, lo cual conlleva a una menor inversión, mantenimiento, etc.

El proceso de fabricación de gres extrusionado es el clásico de una instalación de cerámica por vía húmeda, figura 18, totalmente automatizada con secadero y horno modulares. Aunque, en principio la instalación está diseñada para utilizar gas como combustible tambien se tiene previsto la utilización de carbón.

Este proceso aprovecha el carbón contenido en los estériles, el cual es suficiente para alcanzar temperaturas de 900°C sin aporte de calor exterior. La cocción se efectua a 1200°C y el ciclo es de 48 horas.

El calor excedente debido a la mayor necesidad de aire para la combustión de carbón se recupera para el secado del material con lo que el consumo de energía para efectuar el secado y la cocción es bastante menor que en las fábricas de gres tradicionales. Así, se tiene previsto un ahorro mínimo del 40% con respecto a estas conforme a los datos obtenidos en las pruebas industriales. Este ahorro, en el caso de los estériles de finos se verá incrementado por las menores necesidades de molienda.

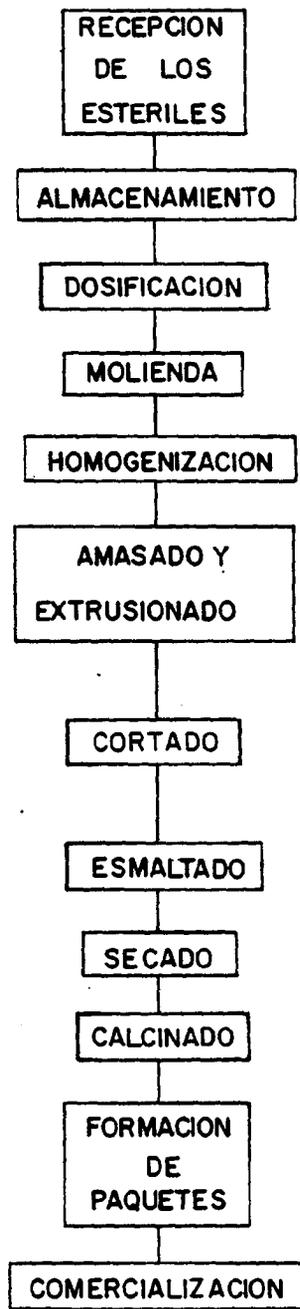


Fig. Nº 18 ESQUEMA DEL PROCESO POR VIA HUMEDA DE FABRICACION DE GRES POR EXTRUSION A PARTIR DE ESTERILES DE LA MINERIA DEL CARBON.

Las piezas fabricadas con estériles del carbón cumplen los requisitos exigidos de absorción, resistencia a la flexión, etc., por las normas EN del Comité Europeo de Normalización, quedando encuadradas en el grupo AI según la clasificación establecida en la E.N. 87.

5.3.2 Aridos ligeros

En la actualidad, debido a la gran profusión de utilización del hormigón, las canteras de áridos son cada vez más escasas en determinadas regiones. Por otro lado, las grandes construcciones que se realizan hoy en día, altos edificios, puentes, viaductos, etc, exigen el empleo de hormigones ligeros que sin perder las características resistentes permitan acometer proyectos cada vez más esbeltos.

Por ello, una alternativa a los áridos convencionales es el uso de áridos ligeros bien naturales o artificiales. Estos, además pueden facilitar un mayor aislamiento térmico en las viviendas, conforme a la normativa existente al respecto.

Dado que los estériles del carbón son rocas arcillosas y poseen un contenido en carbón que pudiera servir como agente de expansión al combustionar, se pensó en utilizarlos como materia prima para la fabricación de áridos ligeros, teniendo en cuenta que ya se usan por el procedimiento Haldex y las experiencias realizadas principalmente en Francia así como en Inglaterra y Alemania.

Si bien el proceso Haldex, que usa la cinta de sintetizar, lleva funcionando varios años, sus densidades son demasiado altas, superiores a $0,550 \text{ g/cm}^3$, para los objetivos fijados en el estudio.

Por otro lado, aunque en Francia han conseguido resultados muy positivos con horno rotatorio a escala piloto; en escala industrial no han tenido el éxito esperado en cuanto a densidades. Además su instalación requiere inversiones muy elevadas, poseen cuatro hornos y efectúan la cocción a $1350 - 1400^\circ\text{C}$ con lo que el consumo de combustible es muy elevado a pesar del aporte calorífico que suministran los estériles.

Con objeto de evitar los inconvenientes señalados en los párrafos anteriores y dado que la representación

de la composición de los estériles del carbón en el diagrama de Riley están situados fuera de la zona teórica de expansión, es necesaria la adición de otros materiales como calizas o compuestos ricos en hierro, que contengan potenciales agentes de expansión. Ello ha permitido obtener árido ligero de densidades a granel comprendidas entre 0,350-0,800 g/cm³ dependiendo del porcentaje de aditivos añadido.

Los mejores resultados se han conseguido añadiendo polvo de acerías en un 20%, que al ser un material de desecho no encarecerá el proceso.

Aunque en la actualidad se están realizando pruebas industriales para la optimización del proceso, las efectuadas hasta el momento han permitido confirmar los resultados obtenidos en el laboratorio y en un plazo muy breve se dispondrá de la tecnología necesaria para la fabricación de áridos ligeros a partir de los estériles del carbón, cuyo proceso se representa en la figura nº 19.

A diferencia del procedimiento desarrollado en Francia (Surex) el proceso térmico está dividido en dos partes, en donde las operaciones de secado y precalentamiento

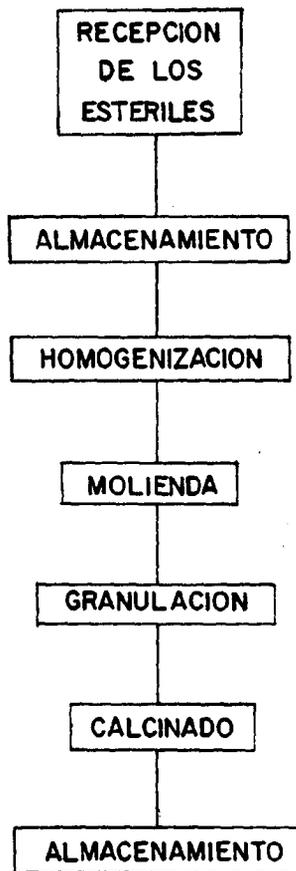


Fig. Nº 19 ESQUEMA DE LA FABRICACION DE ARIDOS LIGEROS A PARTIR DE ESTERILES DE LA MINERIA DEL CARBON

se realizan de forma diferenciada. El secado se hace a 130°C y se aprovecha parte del calor excedente de la cocción.

En el segundo horno, de un diámetro mayor que el anterior, se somete el material a 1200 - 1225°C. En el límite de los dos hornos la temperatura es de unos 800°C. A la salida, los nódulos, más o menos esféricos caen sobre una rejilla de enfriamiento a partir de la cual se criban y almacenan.

El combustible a usar es una mezcla de carbón y fuel aunque se tiene previsto, quemar carbón solamente.

La cocción a estas temperaturas permite rebajar el consumo de energía en comparación con el proceso SUREX, así como una menor inversión y simplificación del mismo, al poseer, solamente dos hornos.

El uso de los estériles del carbón como materia prima para la fabricación de árido ligero, presenta las ventajas, con respecto al de las arcillas, de un abaratamiento de aquellas ya que se trata de materia

les de desecho y de un considerable ahorro de energía al aprovechar el carbón que contienen los estériles.

5.3.3 Fabricación de cemento

CHAUVIN (1979) ha expuesto las investigaciones llevadas a cabo en Francia para incorporar los estériles de la minería del carbón a la industria del cemento. En esta aplicación los estériles pueden remplazar total o parcialmente a las arcillas que habitualmente integran la composición de los materiales crudos para la fabricación del cemento, Por otro lado, según su poder calorífico, pueden aportar una fracción importante de las calorías consumidas en el proceso.

En esta utilización se exige que los estériles tengan un poder calorífico superior a 800-1000 Kcal/Kg y que su composición mineral no contenga elementos perjudiciales para las características de los cementos que se desea obtener.

Como ya hemos indicado en los cuadros 9, 10 y 11 las condiciones anteriores se cumplen en especial para

la fracción que proviene del lavado de los finos, que además presenta la ventaja de exigir una molienda menor, razón por la cual esta es una aplicación muy interesante.

5.3.4 Combustibles pobres

Es conocida la práctica del relavado de las escomb_{re}ras antiguas para aprovechar el contenido de carbón que se encuentra entre los estériles como consecuencia de la imperfección de los aparatos que antes se emplea_nban. Una solución alternativa consiste en quemar en centrales térmicas la fracción de los estériles más rica en carbón.

Para cada central térmica existe un contenido en cenizas a partir del cual la explotación resulta difícil y antieconómica. Este límite depende sobre todo de las condiciones de trabajo que se han considerado al realizar el proyecto de la central.

Con la tecnología actualmente disponible es posible realizar una central de gran capacidad que pueda

consumir carbones con un contenido límite en cenizas comprendido entre el 40 y 50%. A título de ejemplo CAHUVIN (1979) cita que muchas centrales térmicas de la Hullera del Norte y Paso de Calais están previstas para funcionar con carbones que tengan un 42% de cenizas.

En este orden de ideas debemos recordar los ensayos realizados en Inglaterra y Alemania Federal para la combustión de los estériles en lecho fluidificado, de los que hemos hecho mención en el apartado 5.2.2. Además de permitir la calcinación de los estériles estos procesos logran generar una energía apreciable. Así HODGKINSON (1979) indica que los ensayos realizados con estériles que contenían el 55% de sólidos, de los cuales el 24% es carbón y el 76% material mineral, con un poder calorífico de 1800 Kcal/Kg han permitido diseñar una instalación industrial capaz de quemar 30 t/h de estéril produciendo una potencia útil de 20MW.

5.3.5 Obtención de alúmina

En el cuadro nº 11 hemos indicado los componentes químicos más importantes de los estériles de la minería del carbón; los elementos más importantes que están

presentes son: Silicio, Aluminio, Hierro, Calcio, Tita
nio, Magnesio, Sodio y Potasio. De estos, en el momento
actual, parece que pueden aprovecharse económicamente
el Aluminio y el Silicio.

Aluminium-Pechiney ha puesto a punto el procedi
miento H^+ que permite extraer la alúmina de compues
tos silico-aluminosos como pizarras, arcillas... los ensa
yos realizados en Francia con estériles calcinados, a
una temperatura controlada, han mostrado que estos
materiales constituyen una materia prima interesante
para la fabricación de alúmina ya que además, como
subproducto se obtendrá una sílice extraordinariamente
pura.

En España el Consejo Superior de Investigaciones
Científicas ha conseguido una patente para la extrac
ción de alúmina de los estériles de la minería del car
bón que está en fase de ensayo.

5.4. PROCESOS DE ALTAS TEMPERATURAS

Todas las aplicaciones de los estériles que hasta ahora se
han señalado se basan en su incorporación a procesos conven

cionales a los que aportan fundamentalmente su poder calorífico y una materia prima que sustituye a materias de mayor coste. Una vía completamente distinta es el proyecto de investigación que se está realizando entre HUNOSA y la compañía Thagard Research Corporation para estudiar las posibilidades de empleo de un reactor de pared fluida de alta temperatura (HTFW) para poner a punto procesos de aprovechamiento de los estériles mineros, LUQUE (1981).

El reactor desarrollado por el grupo Thagard permite llevar a cabo reacciones químicas a temperaturas muy elevadas, próximas a los 3000°C.

El reactor HTFW presenta dos diferencias fundamentales con respecto a los reactores convencionales a alta temperatura: a) El método de transferencia de energía, pues el calor se transfiere a los materiales reactantes por radiación, en vez de por conducción y/o convección; b) El concepto de pared fluida, ya que una corona de gas, impermeable a la radiación, protege a las paredes del reactor de todo contacto con los materiales reactantes y los productos de reacción. Estas características del Reactor HTFW le confieren unas condiciones de operación difícilmente alcanzables en otros reactores, con grandes posibilidades de aplicación en numerosos procesos.

En una primera fase de los ensayos realizados con estériles enviados a USA quedó demostrada la formación de un clinker precursor de cemento y de diferentes tipos de vidrios, así como la obtención de una fracción devolatilizada de los estériles, que por otra parte no había sufrido vitrificación. En el caso del cemento, los resultados fueron tan espectaculares que se pudo obtener el clinker con tiempos de residencia en el reactor del orden de décimas de segundo, lo cual hace pensar en las posibilidades de este proceso ya que, por ejemplo, las pérdidas de energía por calor sensible serían mínimas. Como contrapunto puede compararse este proceso con el clásico de obtención del clinker donde los tiempos de residencia son de varias decenas de minutos y las pérdidas por radiación extraordinarias ya que en la zona de calcinación es muy difícil llegar a conseguir un aislamiento adecuado.

En la fase de investigación que se va a abordar en un próximo futuro se desarrollaron los procesos de obtención de alúmina, vanadio y fabricación de cemento portland y fibra de vidrio.

6.- CONCLUSIONES

Según las previsiones de producción en 1981 España producirá algo más de 13 Mt. de hulla y antracita lo cual quiere decir que se producirán más de 5 Mt. de estériles de los cuales sólo se aprovecharán como materiales de relleno en los talleres de explotación algo más de 1,5 Mt. De esta forma anualmente deberán almacenarse unos 3,5 Mt. provenientes de la minería subterránea de la hulla y la antracita. A estas cifras hay que agregar las correspondientes a los residuos almacenados hasta la fecha que totalizan un volumen indeterminado de varias decenas de millones de metros cúbicos.

Esta situación es difícil de mantener ya que tanto el impacto ecológico como el coste del almacenamiento de estos productos es elevado. En Asturias se estima el coste de almacenamiento entre 200 y 300 Pts/t según la distancia a que es preciso transportar los estériles. Esto supone, si se mantiene este coste a nivel nacional, unos gastos anuales comprendidos entre 700 y 1050 MPts.

Una solución para evitar este problema consiste en aprovechar los estériles mineros para lo cual se han investigado las propiedades más interesantes que presentan estos materiales

y, para ello, se han recogido muestras de las escombreras de Morgao, Figaredo, Eskar, Lada y Reicastro, así como de los estériles obtenidos en el lavado de los menudos en los lavaderos de Mieres, Sovilla, Turón, Candín y Modesta. Los materiales almacenados en las escombreras son de una granulometría mucho más abierta que los menudos de lavadero y su tamaño máximo es mayor. El peso específico de estos materiales es bastante uniforme y se mueve entre 2,3 y 2,6 t/m³. El contenido en humedad es muy variable, oscila entre el 1,01% y el 19,6% pues está influenciado por la procedencia de la muestra y las condiciones climáticas; aunque por término medio el contenido de humedad está comprendido entre el 2 y 10%. Entre las características mecánicas de estos materiales hay que destacar su gran compresibilidad, pues el módulo edométrico de la fase de carga solo es del orden de 87Kg/cm², y su apreciable resistencia al corte que está caracterizada por un ángulo de rozamiento interno comprendido entre 45 y 26° y una cohesión que oscila entre 0 y 0,6 Kg/cm².

En cuanto a su composición química; los estériles de la minería del carbón son ricos en las principales especies arcillosas: caolinita e illita y en su composición están presentes: Sílice, Alúmina, Hierro, Titanio, Calcio, Magnesio, Potasio, Sodio, Azufre y algún metal de especial valor como el Vanadio.

El aprovechamiento de estos estériles hay que buscarlo bajo dos prismas distintos: aprovechamientos masivos de bajo valor añadido y utilizaciones de alto valor añadido que, a corto y medio plazo, no significará la utilización de elevados volúmenes de estériles.

A la vista de los ensayos realizados y de la información obtenida la utilización que parece más atractiva, por los volúmenes que se emplearían, sería la fabricación de materiales de rellenos para ser empleados en los talleres de explotación. Dado que, en el caso de los lavaderos, solo está disponible la fracción correspondiente a los menudos sería necesario realizar una investigación para obtener unos rellenos de características geomecánicas adecuadas. En este caso, ya que es preciso mejorar la calidad de los materiales, sería muy conveniente investigar su posible aplicación al método de explotación con "relleno colgado" con vistas a aumentar la seguridad del sistema y abaratar los costes.

De la investigación efectuada resulta que estos materiales pueden ser utilizados para formar terraplenes y como componentes de las bases y sub-bases de las vías de comunicación.

Dado el contenido en especies arcillosas de estos materiales, pueden ser empleados como materia prima en la fabricación de productos cerámicos: ladrillos, tejas y gres. Así mismo dado el importante poder calorífico que posee la fracción de finos pueden emplearse con éxito en la fabricación de clinker para cemento.

A más largo plazo parecen muy prometedoras las investigaciones que se están llevando a cabo en HUNOSA con reactores de pared fluída de alta temperatura que permitirán obtener productos de alto valor añadido comparado con otras aplicaciones.

En cualquier caso los resultados de esta investigación han puesto de manifiesto que los estériles de la minería del carbón no son materiales de desecho sino que presentan una elevada potencialidad de utilización en diversos campos tanto de la geomecánica como de la industria.

Si estas vías de utilización se desarrollan adecuadamente será posible paliar el grave problema ecológico y económico que ahora plantea el almacenamiento de estos estériles y se podrán obtener beneficios importantes.

7.- BIBLIOGRAFIA

AYALA, F.

Propiedades índice de los materiales sueltos de residuos mineros
II Curso sobre escombreras y presas de residuos.

FUNDACION GOMEZ-PARDO, Madrid 10-13 Noviembre 1981.

CELADA, B.; LUQUE, V.; RAMBAUD, C.

Recursos de carbón en España. Prospectiva de la mecanización
de las capas inclinadas.

SIMPOSIO SOBRE EL USO INDUSTRIAL DEL SUBSUELO

Madrid, Abril 1981.

CELADA, B.

Tipología de escombreras y criterios de construcción

II Curso sobre escombreras y presas de residuos.

FUNDACION GOMEZ-PARDO, Madrid 10-13 Noviembre 1981.

CHAUVIN, R.

Les schistes houillers, source de matériaux pour la construction
et le genie civil.

COMMISSION DEL COMMUNAUTES EUROPEENNES

Nouveaux procedes de valorisation du charbon

Luxembourg, 26-28 Septiembre 1979.

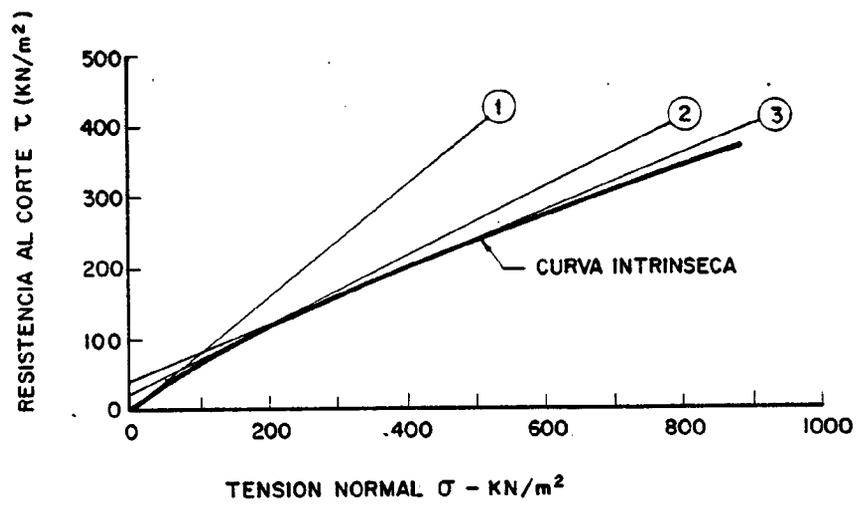


Fig. N° 15 APROXIMACION DE LA CURVA INTRINSECA DE LOS MATERIALES GRANULARES

CORSON; D.R.; DORMAN, K.R.; SPRUTE, R.H.

Improving the support characteristics of hydraulic fill
SYMPOSIUM ON "APPLICATION OF ROCK MECHANICS TO CUT AND
FILL MINING"

Lulea, Suecia, 1-3 Junio 1980.

GONZALEZ CAÑIBANO, J.

Fabricación de materiales de construcción a partir de los esté
les del carbón.

II Curso sobre escombreras y presas de residuos.

FUNDACION GOMEZ-PARDO, Madrid, 10-13 Noviembre 1981.

HANQUEZ, M.M.; BOUTRY, J.

La valorisation des cendres volantes et des schistes houillers
dans le bassin du Nord et du Pas de Calais

ANNALES DEL MINES, Marzo 1971.

HOEK, E.; BRAY, J.W.

Rock Slope Engineering

INSTITUTION OF MINING AND METALLURGY

London 1981, Revised Third Edition

HODGKINSON, N.

Combustion des steriles houillers

COMMISSION DES COMMUNAUTES EUROPEENNES

Nouveaux procedes de valorisation du charbon

Luxembourg, 26-18 Septiembre 1979

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

Estudio de los problemas de estabilidad planteados por las balsas y escombreras en la minería del carbón.

DIVISION DE GEOLOGIA APLICADA A LA INGENIERIA

IGME, Madrid 1980

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

Estudio de parámetros geomecánicos con vistas al estudio de estabilidad de balsas y escombreras en la minería del carbón

DIVISION DE GEOLOGIA APLICADA A LA INGENIERIA.

IGME, Madrid, 1980

KNATZ, H.; PLOGMANN, H.

L'utilisation des schistes houillers du point de vue matieres premiers

NOUVEAUX PROCEDES DE VALORISATION DU CHARBON

Luxembourg, 26-28 Septiembre 1979

LEININGER, D.

Utilisation des schistes de flottation

COMMISSION DES COMMUNAUTES EUROPEENNES

Nouveaux procedes de valorisation du charbon

Luxembourg, 26-28 Septiembere 1979

LEPS, T.M.

Review of shearing strength of rock fill

J. SOIL MECH. FOUND. DIV. ASCE

Julio 1970, pg. 1159-1170

LUQUE, V.

Procesos de revalorización de estériles de mina

II Curso sobre escombreras y presas de residuos

FUNDACION GOMEZ-PARDO, Madrid, 10-13 Noviembre 1981

NATIONAL COAL BOARD

Spoil Heaps and Lagoons

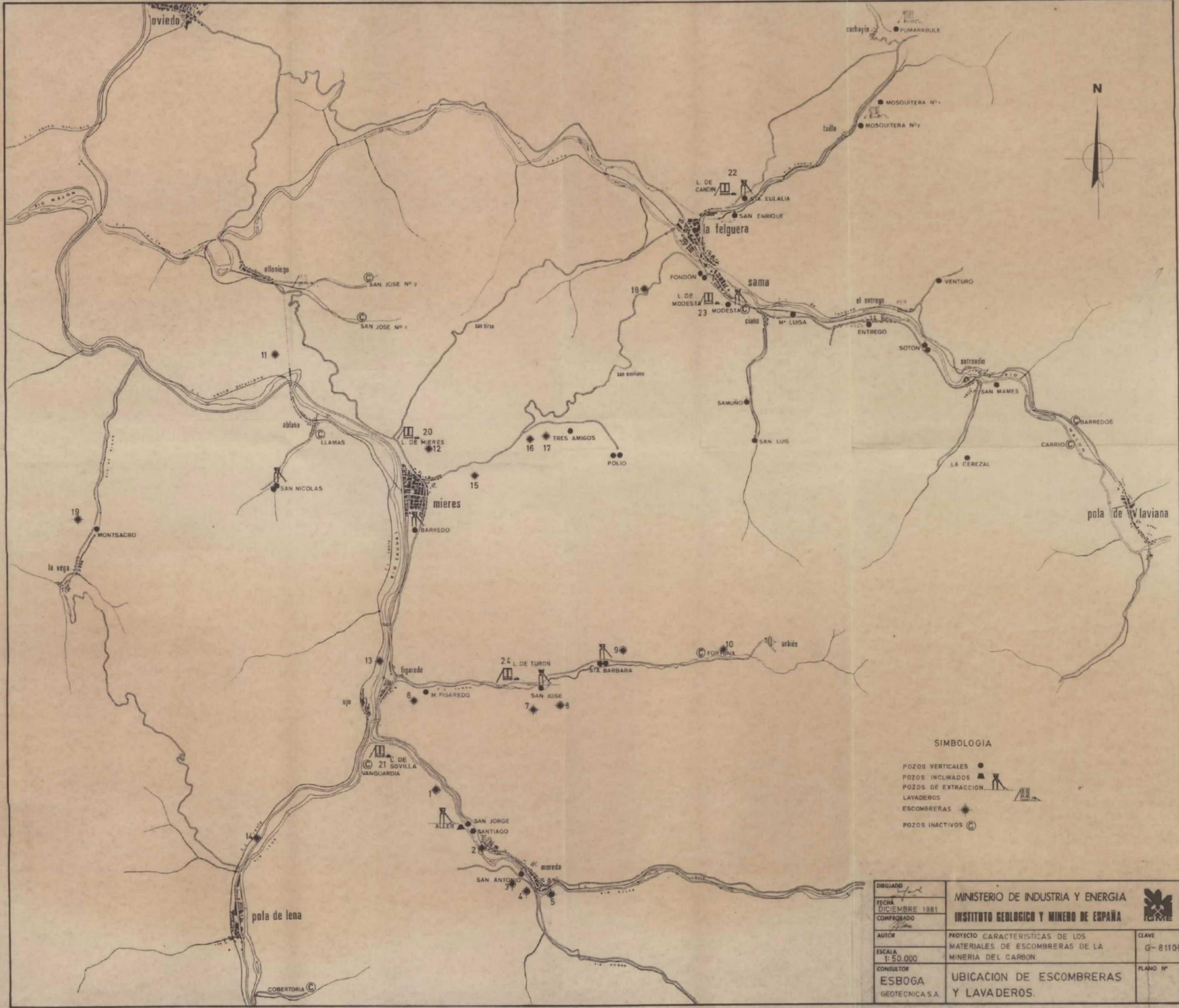
NATIONAL COAL BOARD, TECHNICAL HANDBOOK

Second Draft, Septiembere 1970

SHERWOOD, P.T.

The use of waste and low-grade materials in road construction

COLLIERY SHALE T.R.R.L. LABOR Rep 649 London 1974



SIMBOLOGIA

- POZOS VERTICALES ●
- POZOS INCLINADOS ▲
- POZOS DE EXTRACCION □
- LAVADEROS ▭
- ESCOMBRERAS ▭
- POZOS INACTIVOS ○

DIBUJADO	MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA		
FECHA DICIEMBRE 1981	INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA		
COMPROBADO	AUTOR	PROYECTO CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES DE ESCOMBRERAS DE LA MINERIA DEL CARBON.	CLAVE G-81101
ESCALA 1:50.000	CONSULTOR	UBICACION DE ESCOMBRERAS Y LAVADEROS.	PLANO Nº
	ESBOGA GEOTECNICA S.A.		