

las utilizaciones **de los esquistos carboníferos** *en la construcción*

G. VIÉ, ingeniero de minas

602 - 1

sinopsis

Los escombros resultantes de los trabajos mineros son esquistos residuales, que se amontonan en volúmenes tan considerables que llegan a modificar el paisaje de la región. No era lógico desaprovechar tal cantidad de material, por lo cual se ha llevado a cabo toda una serie de estudios para buscarles un aprovechamiento en la construcción.

Así, los experimentos y trabajos realizados en las explotaciones carboníferas del norte de Francia han demostrado que era posible, bajo determinadas condiciones, sacar partido de los esquistos, tomados como materia prima sin valor, obteniendo áridos granulares que se pueden emplear para la fabricación de hormigones y ladrillos, y en trabajos de carreteras.

En el presente artículo se estudian los procedimientos y sistemas para la obtención de estos áridos granulares, así como sus campos de aplicación.

Los escombros resultantes de los trabajos mineros y de explotación de las minas, y los esquistos residuales originados en los lavaderos para el enriquecimiento y la calidad comercial de los carbones, constituyen considerables y voluminosos montones que pueden incluso modificar el aspecto de un paisaje.

Los estudios y experiencias llevados a cabo en las explotaciones carboníferas del norte de Francia han demostrado que era posible, bajo ciertas condiciones, sacar partido de los esquistos de los lavaderos.



Unidad de producción de esquistos carboníferos expandidos, instalada en el norte de Francia.

Así, pues, se ha llegado a producir, a partir de esta materia prima sin valor, granulados ligeros y ladrillos de esquistos.

Por otro lado, las implicaciones del entorno, que limitan cada vez más la explotación de las canteras, y la búsqueda de un mejor aislamiento térmico para las edificaciones, son factores que han favorecido la creciente utilización de los granulados ligeros.

I. LOS GRANULADOS LIGEROS

El principio está basado en una técnica original: la expansión de los esquistos hulleros en hornos rotatorios.

Los esquistos del lavadero de carbón presentan un poder calorífico del orden de 600 termías/t, lo que supone una selección preliminar de composición y calidad entre las diversas procedencias.

Después de la extracción, clasificación y dosificación, que permiten obtener el poder ca-

lorífico deseado, los esquistos son secados y triturados a 500 μ .

El polvo, mezclado con una cierta cantidad de agua (alrededor del 12 %), da una pasta que se extruye bajo la forma de «espaguetis», los cuales son posteriormente cortados, secados y almacenados. El huso granular obtenido en el corte se conserva para el siguiente paso.

Los nódulos sufren a continuación un tratamiento térmico en una línea de cuatro hornos en cascada, de control automático:

- horno de precalentamiento;
- horno de descarbonatación;
- horno de expansión;
- horno de enfriamiento, con recuperación de las calorías.

El agente de expansión es el óxido de carbono, que proviene de la reducción de los óxidos de hierro por el carbono incluido en los esquistos.

Un ejemplo de diagrama térmico de un esquisto bien determinado figura en el siguiente cuadro:

Duraciones	Temperaturas	TRANSFORMACION DE LA MATERIA
De 0 a 30 min	De 0 a 700° C	Precalentamiento, desaparición del agua de cristalización y de combinación, y de las materias volátiles. Este precalentamiento se ha de realizar en un medio reductor; no hay todavía oxidación del carbono, o existe muy débilmente en la superficie.
De 30 a 45 min	De 700° a 980° C	Creación brusca de un medio oxidante por soplado en la masa, con subida, lo más rápida posible, a la temperatura de descarbonatación, elegida lo más cercana a la vitrificación superficial.
De 45 min a 2 h 15	980° C	Descarbonatación por oxidación lenta del carbono en porosidad mineral bastante cerrada. Los óxidos férricos pasan al estado ferroso, convirtiendo al esquisto en máximamente fusible. El cierre de la porosidad hace que la descarbonatación no pueda realizarse totalmente.
De 2 h 15 a 2 h 30	De 980° a 1.030° C	Interrumpida la descarbonatación por supresión del medio oxidante, se vitrifica superficialmente el granulado, que se vuelve compacto y duro.
De 2 h 30 a 2 h 40	De 1.030° a 1.350° C (por ejemplo)	Subida ultrarrápida a la temperatura de expansión elegida y en un medio reductor. El granulado es termoplástico; los gases que se desprenden lo ponen en ebullición y lo hacen inflarse.
De 2 h 40 a 2 h 45	1.350° C	Mantenimiento de la temperatura de expansión en función del gradiente térmico existente y de la uniformidad necesaria.
De 2 h 40 a 3 h	De 1.350° a 60° C	Enfriamiento de los granulados ligeros para su utilización o almacenado.

Estos áridos ligeros han tomado el nombre de SUREX.

El procedimiento descrito permite obtener, en diversos tipos granulares (6/12, 8/15, 10/20), granulados cuya densidad a granel puede variar de 420 a 750 kg/m³, según el uso a que se los destine. El paso de una densidad a otra

se hace con rapidez y precisión, sin necesidad de detener la producción.

Según la densidad del granulado utilizado y la dosificación de arena y cemento, se pueden obtener hormigones de 1.200 a 1.800 kg/m³, cuya resistencia varía de 30 a 400 kp/cm² a los 28 días, como se observa en los ejemplos siguientes:

Hormigones ordinarios

Tamaño	Peso áridos (kg)	Peso cemento (kg)	Peso arena (kg)	Masa volumétrica seca (kg/m ³)	Resistencia a los 28 días (bares)
6/12 u 8/15	500	175	—	650 a 700	35 a 40
6/12 ó 10/20	450	200	Ligero 300	900 a 950	100 a 150
4/10 u 8/15	380	350	Mediano 625	1.350 a 1.400	250 a 300

Hormigones de estructura

— Esquisto expandido de 6,3/10 mm y con 35 litros de agua absorbida, es decir, el 6,5 % del peso	567 kg/m ³
— Arena de río 0/3 mm	599 kg/m ³
— Cemento CPA 325	425 kg/m ³
— Plastificante líquido	2 kg/m ³
— Agua de aportación	157 kg/m ³
	1.750 kg/m ³

— La porosidad abierta, medida en % del peso, evoluciona de la forma siguiente:

— en 1 hora	2 a 5 %
— en 3 horas	3 a 6 %
— en 24 horas	5 a 8 %
— en 48 horas	6 a 10 %

— La proporción de SO₃ no sobrepasa el 0,03 %.

— El aislamiento térmico es excelente:

$$\lambda = 0,15 \text{ a } 0,45 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$$

— El aislamiento acústico, en particular para los ruidos aéreos, es bueno.

— La resistencia al fuego es netamente superior a la de los hormigones tradicionales.

Estas diferentes características permiten el empleo de los áridos SUREX en el campo de los hormigones aislantes y débilmente portantes, así como en el de los hormigones de estructura, con las siguientes ventajas económicas:

- reducción del peso propio, con las consecuentes economías en estructura, encofrados, andamios, cimentaciones, transporte y montaje;
- transporte menos costoso de los agregados, tanto del hormigón fresco como de elementos prefabricados;
- aislamiento térmico;
- resistencia al fuego y al hielo,

ventajas, todas ellas, que permiten compensar ampliamente el precio más elevado del granulado ligero, y las precauciones que hay que tomar en el momento de su empleo.

Estudios recientes han demostrado, por otra parte, que la nueva reglamentación concerniente al cálculo de los hormigones tradicio-

nales se podrá aplicar perfectamente a los hormigones ligeros, y, más concretamente, a los hormigones SUREX.

A continuación se ofrece un análisis de la composición de los áridos SUREX 650, obtenidos según el procedimiento descrito anteriormente:

Sílice	63,51 %
Aluminio	20,86 %
Oxido férrico	8,44 %
Oxido de manganeso	0,15 %
Oxido de titanio	1,02 %
Oxido de calcio	0,33 %
Oxido de magnesio	1,56 %
Anhídrido sulfúrico	Indicios
Azufre de sulfuros	0,02 %
Pérdida al fuego	0,08 %
Oxido de sodio	0,79 %
Oxido de potasio	3,25 %
	100,01 %

Se calcula que el mercado potencial de este nuevo material se sitúa alrededor de 1.000.000 m³ por año, estando excluidas de esta cifra las cantidades necesarias para la fabricación de ladrillos. Sólo el mercado de la región parisina representa un poco más del 60 % del total.

Como obras importantes construidas a base de este material se pueden citar: dos puentes de hormigón ligero pretensado, uno en Remiremont (Vosges) y el otro sobre el Loira, cerca de Orleáns; pabellones de hormigón ligero; y otras obras de ingeniería civil que sería demasiado largo enumerar. Con él se abren interesantes perspectivas tanto en el campo de la construcción como en los trabajos de carreteras, lo mismo en capas de cimentación que en capas de rodadura, etc.

Al final del artículo se reproducen, bajo forma de gráficos, los ensayos hechos con este material. Del mismo modo se puede mencionar que los controles efectuados por el Laboratorio Central de Puentes y Calzadas, del Departamento de Hormigones y Metales, de París, han demostrado que el esquierto expandido, designado bajo el vocablo «SUREX 650», se caracterizaba por su bajo contenido en SO₃ y en azufre de sulfuros.

Esta propiedad y las buenas características físico-químicas del material justifican su em-

pleo en las estructuras pretensadas o de hormigón armado. Diversos análisis han confirmado los primeros resultados obtenidos.

Igualmente existe otro agregado ligero, el SUREX 425. La cifra indica la masa volumétrica a granel, es decir, en este caso, 425 kilos por metro cúbico.

Sus principales características son las siguientes:

- Densidad del grano 0,750
- Densidad de la materia 2.650
- Absorción de agua: del 5 al 6 % de su volumen en 72 horas.
- Tamaños: 4/10, 6/12, 8/15 y 10/20 mm.
- Conductibilidad térmica en estado seco:

$$\lambda = 0,15 \text{ a } 0,45 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C,}$$
 según la masa volumétrica.

Principalmente se le utiliza como: hormigón aislante, de pendiente, para revestimiento, hormigón ligero para estructura de hasta 250 bares, etc.

Algunos de los tipos de hormigones hechos con este árido se indican a continuación:

Hormigones porosos

- Masa volumétrica en estado seco: de 700 a 1.200 kg/m³.
- Resistencia a la compresión a los 28 días: de 35 a 200 bares.
- Dosificación de cemento: de 150 a 200 kg/m³.

Hormigones macizos

- Masa volumétrica en estado seco: de 1.200 a 1.400 kg/m³.
- Resistencia a la compresión a los 28 días: de 100 a 250 bares.
- Dosificación de cemento: de 200 a 350 kg/m³.

Por cada m³ de hormigón se utilizan alrededor de 1.000 litros de granulado para la preparación de hormigones porosos, y unos 850 litros para la fabricación de hormigones macizos, de acuerdo con el siguiente cuadro:

Tamaño (mm)	Peso áridos (kg)	Peso cemento (kg)	Peso arena (kg)	Masa volumétrica seca (kg/m ³)	Resistencia a los 28 días (bares)
6/12 u 8/15	500	175	—	650 a 700	35 a 40
6/12 ó 10/20	450	200	Ligero 300	900 a 950	100 a 150
4/10 u 8/15	380	350	Mediano 625	1.350 a 1.400	250 a 300

El procedimiento de fabricación de este árido ligero difiere muy poco del anterior:

- Molienda de los esquistos hulleros y formación de una pasta por adición de agua.
- Prefabricación de los gránulos por extrusión y corte.
- Secado cuidadoso de los gránulos, seguido de precalentamiento y descarbonatación de los gránulos secos en hornos rotativos especialmente acondicionados.
- Y, por último, expansión a muy alta temperatura en horno rotativo.

Los áridos ligeros pueden obtenerse, además de los esquistos de hulla, a partir de materias primas diferentes, tales como: arcilla, pizarra, mica, escoria de alto horno, piedra pómez volcánica, etc., siguiendo métodos apropiados para cada una de ellas. Su densidad a granel varía de 0,2 a 1,0, según la materia prima empleada.

La arcilla, en su forma expansiva, es la que se utiliza más corrientemente. El método que se sigue con ella consiste en provocar un desprendimiento gaseoso en el interior de los gránulos y plastificar su envoltura por fusión. Esta última se convierte en una especie de piel que impide que se escapen los gases, con lo que se provoca un hinchamiento y la expansión de los gránulos.

En el caso de la arcilla expandida, ésta, como material básico, puede ser de origen y naturaleza diferentes, siendo igualmente diferente su comportamiento en el transcurso del proceso.

La diferencia mineralógica entre el esquisto carbonífero y la arcilla no es demasiado grande, pudiéndose afirmar que el substrato mineral de un esquisto está principalmente compuesto de arcilla o marga, hasta el punto de

que los esquistos muy aluminosos, que representan la parte estéril de una explotación hullera, se utilizan en cerámica para producir excelentes refractarios.

II. LOS LADRILLOS DE ESQUISTOS

Los esquistos de hulla que provienen de ciertos lavaderos constituyen una materia prima de granulometría y naturaleza físico-química casi constantes, después del lavado del producto en un líquido denso.

En el caso que nos ocupa, la granulometría es de 20/130 mm.

El esquisto contiene una media del 0,5 % de carbón, un 1 % de materias mixtas y un 85 % de cenizas. Su poder calorífico es del orden de 300 a 400 cal/kg, y de este hecho se puede sacar como consecuencia que el aporte calorífico es de tal magnitud, que el complemento —gas pobre de cock— representa apenas el 50 % del consumo térmico mínimo necesario para la cocción de los ladrillos de arcilla tradicionales.

Los esquistos 20/130 son llevados por una banda transportadora hasta la tolva de almacenamiento de 300 t. A continuación se recogen con un transportador, pasan por un separador magnético que elimina toda la chatarra eventual, y luego a un tubo secador alimentado por un fogón de gas.

Los esquistos secos llegan, mediante bandas de alimentación, hasta dos células de trituración y amasado. Son trituradores de martillo, con una velocidad de 1.800 vueltas por minuto, que producen del 40 al 45 % de polvo inferior a una décima de milímetro y alrededor del 2 % de granos superiores a 2 mm. Con estos trituradores se alimentan las tolvas.

Básculas automáticas aseguran una dosificación rigurosa del material y del agua, siendo la cantidad de ésta un 11 % del peso del esquistoso seco.

Un primer amasado, en amasador de tren móvil, seguido de un segundo amasado, en amasador horizontal de paletas, homogeneizan perfectamente la pasta. Posteriormente, ésta es introducida, mediante bandas transportadoras, dentro de los extrusionadores, en donde es moldeada con moldes rectangulares, y después cortada con la ayuda de cuchillas para obtener los diferentes módulos de ladrillos.

Los ladrillos así fabricados se colocan sobre enrejados de madera, luego sobre elevadores, y por último en vagonetas con estantes, que pueden recibir unos 420 ladrillos del módulo $6 \times 10,5 \times 22$ cm.

Las vagonetas cargadas son introducidas en hornos túneles secadores, en donde el calor necesario es producido por la recuperación de los humos del horno de cocción.

Los ladrillos perforados secan en unas 9 horas, y los huecos, en 6.

A la salida de los hornos secadores, las vagonetas son retenidas y conducidas hasta los apiladores automáticos, recuperándose los enrejados de madera para la fabricación de los nuevos productos crudos.

Una carretilla para horno de cocción mide unos 3×3 m, y puede contener 13.500 kg de ladrillos perforados o 7 u 8 t de ladrillos huecos.

En la fábrica de Hulluch, al norte, han sido instalados dos hornos sucesivamente. Uno de ellos mide 128 m de largo, y el otro, 135 m. Cada horno puede recibir de 41 a 42 carretillas, a las que hace avanzar progresivamente, de modo semicontinuo, por propulsores hidráulicos. La duración del paso es de 60 horas para los ladrillos perforados, y de 35 horas para los huecos.

Además del aporte calorífico propio del esquistoso, se llega a la temperatura de cocción —de 1.040° a 1.060° C— con ayuda de quemadores laterales de gas de cok en bruto.

El proceso de subida de la temperatura es el siguiente:

— Hasta 400° C, inflamación y descarbonatación parcial.

— De 400° a 900° ó 950° C, por niveles sucesivos, descarbonatación casi total.

— Zona de cocción entre 1.040° y 1.060° C. Liberados casi totalmente del carbono, los ladrillos de esquistos entran en la fase de vitrificación superficial (temperatura de fusión de los fundentes: óxidos férricos y de la cal).

— Por último, la zona de enfriamiento progresivo.

A la salida del horno-túnel las carretillas son llevadas a estaciones de clasificación y apilado. Al atravesar un horno especial, los ladrillos son acondicionados bajo un plástico retráctil.

El rendimiento de un efectivo total de 170 personas es de 350 t/día o de 175.000 ladrillos/día de los de módulo $6 \times 10,5 \times 22$ cm.

El contenido de carbón de los esquistos varía mucho según la mina de donde proceden. Para la utilización en fábricas de ladrillos, los ensayos alemanes convinieron en la necesidad de no sobrepasar el 6 % de carbón en los esquistos.

Después de la cocción, la masa volumétrica de los ladrillos es del orden de $1,8 \text{ kg/dm}^3$. Estos ladrillos pueden ser utilizados en muros y paramentos de inmuebles, en obras decorativas, y en construcciones industriales.

Como ejemplo complementario se puede señalar que un esquistoso de Javorna (Bohemia occidental) tiene, en estado bruto, la siguiente composición:

SiO_2	53,8 a 60,4 %
Al_2O_3	26,8 a 31,2 %

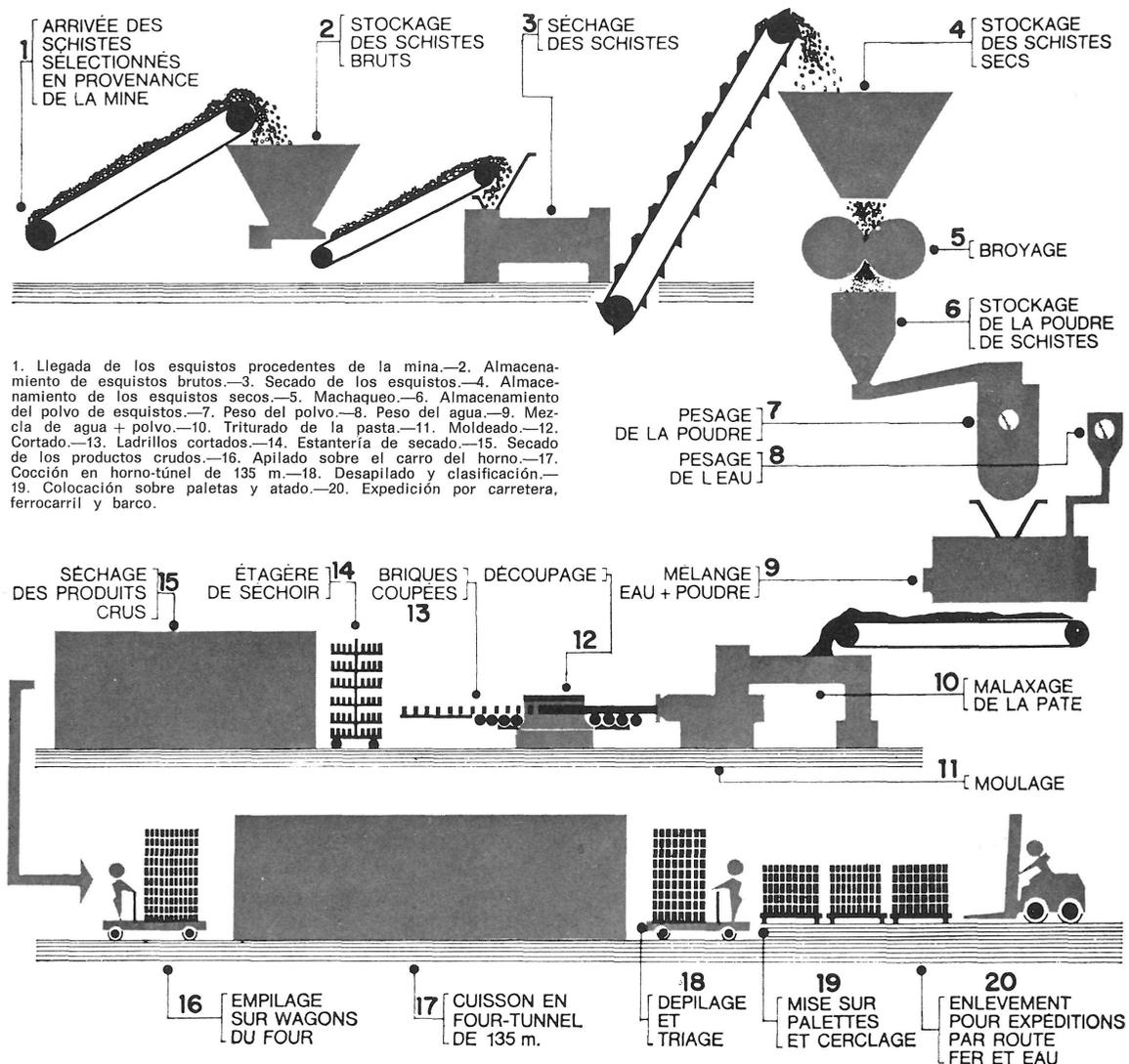
Este esquistoso debe ser explotado con vistas a un destino particular, como el de la porcelana electrotécnica.

Generalmente los esquistos carboníferos tienen una gradación del 44 al 59 % de sílice, químicamente combinada o en granos de cuarzo, y del 25 al 36 % de aluminio.

La pérdida por calcinación varía, por ejemplo, de 14,9 a 7,1.

III. UTILIZACION EN CONSTRUCCION DE CARRETERAS

En el norte de Francia, los escoriales mineros acumulan los esquistos y otros materiales estériles sacados del fondo, antes o durante la extracción del carbón, en montones



1. Llegada de los esquistos procedentes de la mina.—2. Almacenamiento de esquistos brutos.—3. Secado de los esquistos.—4. Almacenamiento de los esquistos secos.—5. Machaqueo.—6. Almacenamiento del polvo de esquistos.—7. Peso del polvo.—8. Peso del agua.—9. Mezcla de agua + polvo.—10. Triturado de la pasta.—11. Moldeado.—12. Cortado.—13. Ladrillos cortados.—14. Estantería de secado.—15. Secado de los productos crudos.—16. Apilado sobre el carro del horno.—17. Cocción en horno-túnel de 135 m.—18. Desapilado y clasificación.—19. Colocación sobre paletas y atado.—20. Expedición por carretera, ferrocarril y barco.

fabricación de ladrillos esquistos

que pueden llegar hasta un número de 200, con alturas que alcanzan los 60 m.

Son escoriales cónicos que desfiguran el paisaje llano característico de Flandes.

En total representan más de 500 millones de toneladas, y es lógico que se les haya buscado una utilización en técnicas de carreteras y de acondicionamiento; más aún dado que las carreteras de piedra dura en la región son inexistentes, y que la continuación de los trabajos mineros aporta cada año nuevos tonelajes de estos materiales estériles.

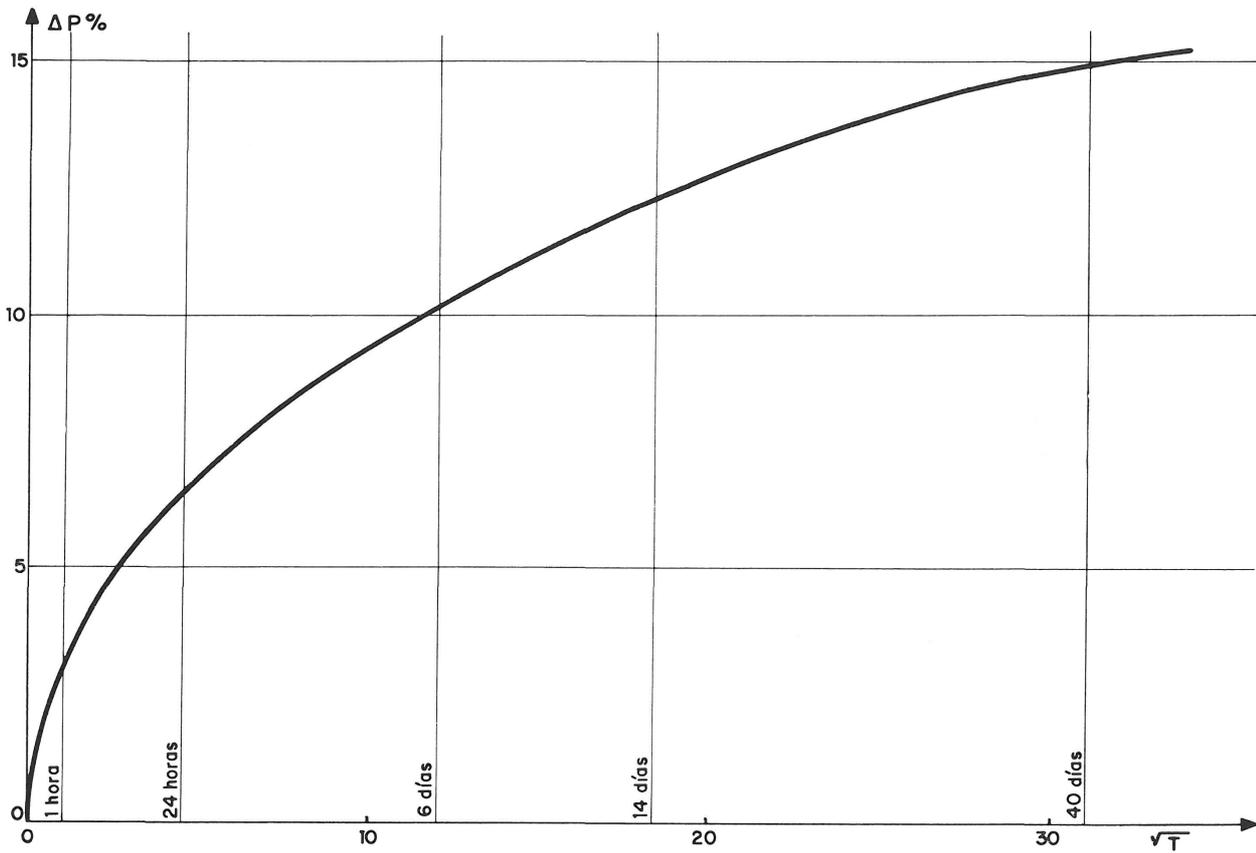
Fuera de las aplicaciones que han sido objeto de lo expuesto hasta ahora, se ha tratado de valorar y comercializar estos escombros, bien sea en el estado que vengan, negro o

rojo, o bien después de la clasificación de los esquistos rojos.

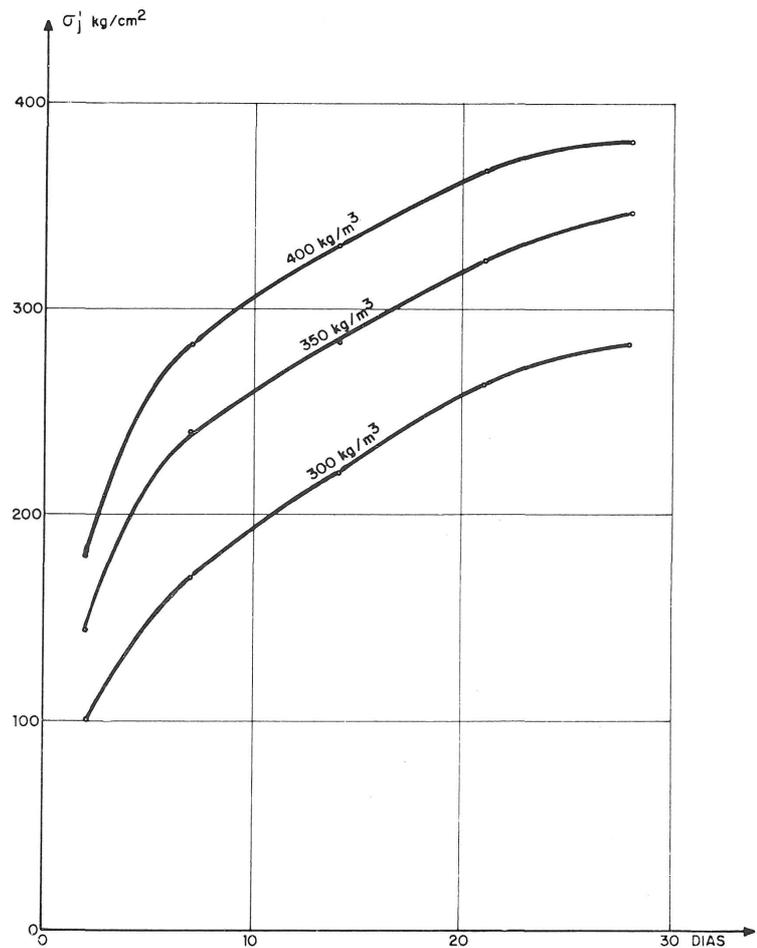
Los esquistos de extracción, o del lavado del carbón, son el 50 % del total bruto que se saca del fondo por los pozos.

Estos escoriales sufren los efectos del tiempo al contacto con el aire. Se transforman, por combustión natural, en piedras llamadas «esquistos rojos», de granulometría 0/800 mm y de densidad aparente de 1,5 kg/dm³.

Como en todos los escombros de las minas, la inflamación de los materiales estériles es espontánea al cabo de cierto tiempo, por el calentamiento debido a la presencia de la pirita de hierro que se oxida.

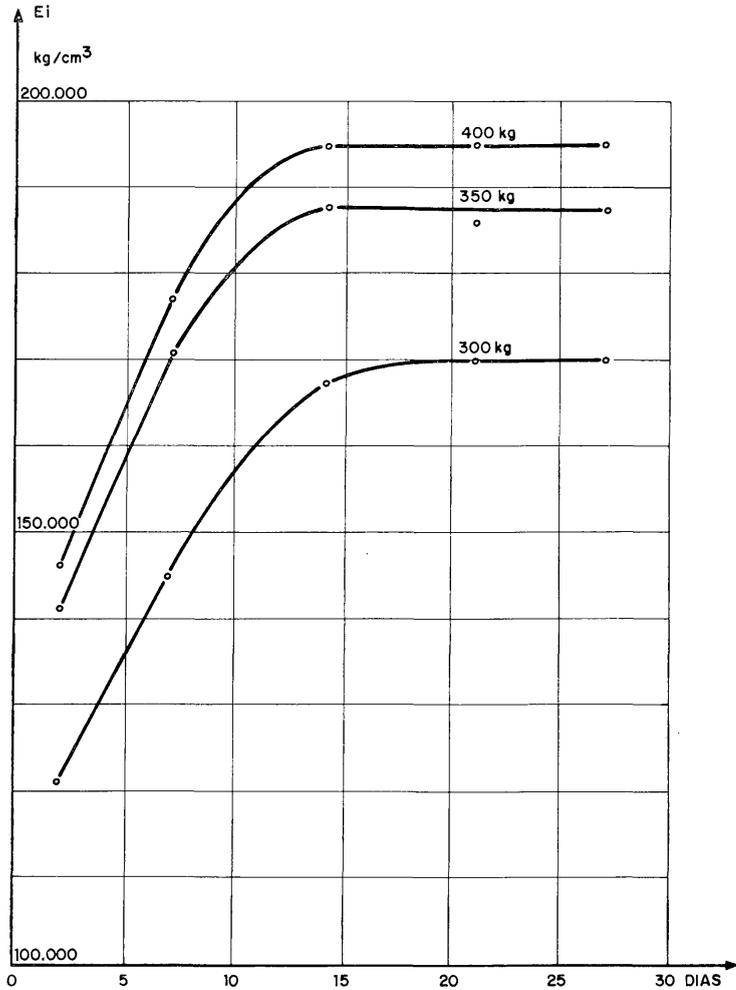


Absorción en agua de los áridos ligeros.

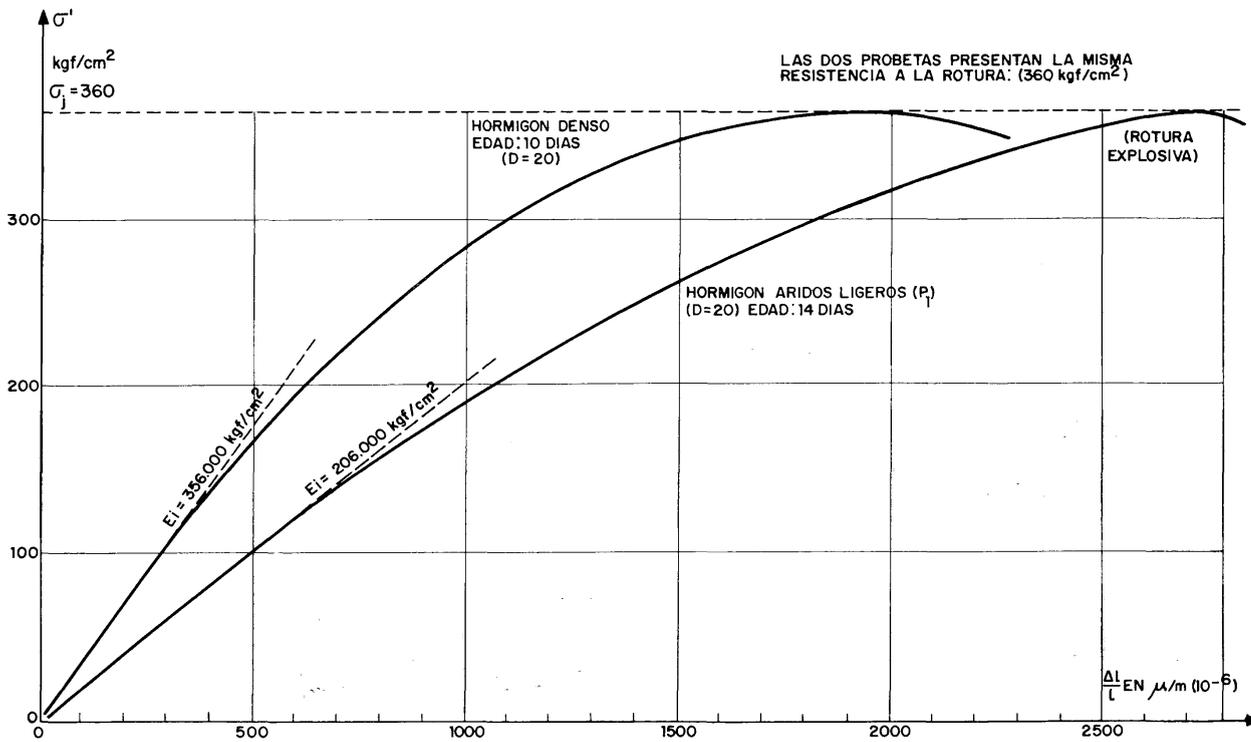


Evolución de la resistencia en compresión en función del tiempo, para diferentes dosificaciones de cemento (hormigón de áridos ligeros).

Evolución del módulo de elasticidad en función del tiempo para diferentes dosificaciones de cemento (hormigón de áridos ligeros).



Ensayo de compresión. Comparación entre hormigón denso y hormigón ligero.



La trituración y clasificación de los esquistos rojos, o esquistos que han sufrido la auto-combustión, permite obtener productos particularmente apreciados, como el 5/15 y el 10/20.

En toda la región del norte, la Picardía y la zona parisina, cerca de 500.000 t de esquistos 0/6 rojos son utilizados para la decoración de espacios verdes —avenidas, plazas, jardines, etc.— y para el revestimiento de plazas públicas, aceras y aparcamientos.

Estos esquistos rojos puede ser empleados, mezclados con cenizas volátiles, cal y yeso, en la construcción de capas de cimientos de calzadas.

Otras experiencias han consistido en el empleo, sustituyendo a las gravas, de esquistos clasificados mezclados con cal y escorias de horno alto granuladas, con o sin adición de cenizas volantes.

Las cenizas volantes procedentes de centrales térmicas han llegado a emplearse corrientemente en la mayor parte de las fábricas de cemento.

Volviendo a los esquistos rojos calcinados en los escoriales, mencionaremos el empleo que se hace en los ferrocarriles para la conservación de las vías, toda vez que el alejamiento de otras fuentes de aprovisionamiento de materiales clásicos los convierte en económicamente utilizables.

Existe un sistema húngaro, el HALDEX, que tiende también a la valoración de los materiales acumulados en los escoriales mineros. Este sistema se extendió, principalmente, desde hace una docena de años, en algunos países del este y un poco en Gran Bretaña.

Difiere del que acabamos de describir, y que es propio de las minas de hulla francesas del norte y del Paso de Calais, en la recuperación previa de combustibles en los escoriales mineros, y la calcinación sobre parrilla del subproducto estéril triturado. Este procedimiento es bastante parecido al sistema AGLITE.

Hasta ahora las minas francesas no han sido atraídas por este método.

Igualmente se puede mencionar el relavado de los escoriales mineros proyectado por el sistema inglés RYAN.

Parece ser que la proporción de combustibles contenidos en los esquistos hulleros del norte de Francia, y en general de los carbones franceses, es demasiado débil para que el procedimiento HALDEX sea rentable.

Se puede fijar, como regla general, que no es aconsejable realizar gastos de recuperación para un material de débil valor mercantil, sobre todo cuando se trata de sacar cantidades considerables de estériles para una recuperación, a pesar de todo, aleatoria.

résumé

Utilisation des schistes carbonifères en construction

G. Vié, ingénieur des mines

Les déblais résultant des travaux miniers sont des schistes résiduels, qui constituent des amas considérables et modifient l'aspect d'un paysage. Il n'était pas normal de ne pas profiter d'une telle quantité de matériau, ce qui a conduit à effectuer une série d'études pour chercher une bonne utilisation des schistes en construction.

Des études et expériences faites dans les exploitations carbonifères du nord de la France ont montré qu'il était possible, sous certaines conditions, de tirer parti des schistes, pris comme matière première sans valeur, en obtenant des granulats légers qui peuvent être employés pour la fabrication de bétons et de briques, et pour les travaux routiers.

Dans cet article, l'auteur fait une étude des procédés et des systèmes pour l'obtention de ces granulats, ainsi que de leurs champs d'application.

summary

Use of carboniferous shale in the construction industry

G. Vié, Mining engineer

The quarry waste resulting from mining is shale that piles up in such quantities that they get to change the landscape of the region. There is no logic in wasting such great amounts of material and this is the reason why studies have been carried out to get to know to what extent this material could be used in the construction industry.

Thus, the experiments and works carried out in the coal mines in northern France have demonstrated that under certain conditions it was possible to take advantage of the shale, taken as raw material with granulated aggregates as end result, which can be used in concrete and brick manufacturing and in road works.

The present article studies the procedures and systems for obtaining these granulated aggregates, as well as their field of use.

zusammenfassung

Verwendung von Kohleschiefer im Bauwesen

G. Vié, Bergingenieur

Der von den Zechenarbeiten erhaltene Abbruchschutt ist Schieferabfall, der sich dermassen anhäuft, dass er die Landschaft der Gegend verändert. Es ist durchaus unlogisch, eine derartige Menge Material nicht auszunützen und folgentlich ist dem Problem eingehende Studien gewidmet worden, um zu versuchen, diese Materialien im Bauwesen zu verwenden.

Als Beispiel können die in Nordfrankreich ausgeführten Arbeiten und Experimente angeführt werden, die es nachgewiesen haben, dass es unter gewissen Bedingungen möglich ist, von dem Schiefer Nutzen zu ziehen, indem er als Rohmaterial ohne Wert genommen wird und als Endprodukt körnige Zuschlagstoffe, die in der Herstellung von Beton und Ziegel, und in Wegarbeiten verwendet werden können, ergibt.

Der vorhandene Artikel studiert die Verfahren und Systeme für das Erhalten dieser körnigen Zuschlagstoffe, wie auch ihre Anwendungsgebiete.