



MATERIALES DE CONSTRUCCION A PARTIR DE  
ESTERILES DE LAVADEROS DE CARBON

COMISION DEL PEN  
MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

Julio - 1.979

empresa nacional adaro de  
investigaciones mineras, s.a.  
enadimsa

50215

TITULO	ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE FABRICACION DE MATERIALES DE CONSTRUCCION A PARTIR DE ESTERILES DE LAVADEROS DE CARBON
CLIENTE	COMISION DEL PEN MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA
FECHA	Julio - 1.979

Referencia : P0/51/400

Departamento : PLANTAS MINERALURGICAS



## I N D I C E

	<u>Pág.</u>
1.- INTRODUCCION .....	1
1.1.- EVOLUCION TECNOLOGICA .....	2
1.2.- COMPETENCIA CON OTROS MATERIALES .....	3
1.3.- ENSAYOS .....	4
1.4.- UTILIZACION PARA LA FABRICACION DE ARIDOS LIGEROS .....	5
1.5.- UTILIZACION PARA LA FABRICACION DE LADRI LLOS .....	12
1.6.- UTILIZACION COMO AGREGADO EN LA INDUSTRIA DEL CEMENTO .....	17
1.7.- RECUPERACION DEL CARBON DE ESCOMBRERA ....	18
1.8.- PROCESOS PARA LA OBTENCION DE ARIDOS LIGE- ROS .....	19
1.8.1.- Proceso en horno tubular rotatorio Proceso LECA .....	21
1.8.2.- Proceso en horno vertical .....	23
1.8.3.- Proceso de cinta de sinterizar.Pro ceso HALDEX .....	26
1.9.- INCIDENCIA DEL TRANSPORTE .....	28
1.10.-INCIDENCIA DE LAS PERDIDAS DE CALOR EN LOS EDIFICIOS .....	30
2.- PLANTA DE ARIDOS LIGEROS .....	34
2.1.- DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA .....	34
2.2.- PROCESO Y DIAGRAMA DE TRATAMIENTO .....	35
2.3.- PARQUE DE ALMACENAMIENTO Y HOMOGENEIZACION	35
2.4.- TRITURACION, CLASIFICACION Y GRANULACION .	38
2.5.- SINTERIZACION .....	38

## 1.- INTRODUCCION

La presente memoria constituye una estimación previa de la viabilidad técnico-económica del proyecto que estudiaría la factibilidad de fabricación de materiales de construcción a partir de estériles de lavaderos de carbón, así como de las escombreras situadas en sus inmediaciones.

Como base de partida, inicialmente se ha tenido en consideración el estudio, que en marzo de 1977, presentó ENADIMSA en un plan conjunto con TATABANYAI SZENBANIAK sobre los estériles del Lavadero del Nalón.

La realización posterior del proyecto llevaría consigo la eliminación de escombreras y finos de flotación de los lavaderos, y por tanto una mejora económica en el balance de empresas carboníferas que verían disminuidos considerablemente sus costos debido principalmente a las crecientes dificultades de almacenaje de los residuos sólidos.

Las Empresas Carboníferas, y de manera especial HUNOSA, serían las más interesadas en este tipo de proyecto por ser las que soportan el problema de los residuos y las que se beneficiarían con su solución.

Las conclusiones a las que se ha llegado en la presente memoria son muy esperanzadoras, y dejan el camino abierto no sólo a la fabricación de materiales de construcción, sino también a la posibilidad, en ciertos casos, de recuperar carbón de las escombreras.

un ahorro considerable en superficie y un importante - ahorro económico, amén de una mejora ecológica del entorno de los lavaderos.

Una de las mayores preocupaciones en los lavaderos - modernos es la eliminación de los lodos de flotación, ya que pueden ocasionar peligro de corrimiento de alud en la escombrera. Aplicando estas técnicas disminuyen considerablemente las preocupaciones al hacer uso de los lodos en la obtención de subproductos.

El procedimiento HALDEX, que se estudia y es descrito más adelante, tiene la ventaja del uso más extendido de sus productos que son susceptibles de utilización como materia prima en la industria de la cerámica (arcilla), en la industria del cemento (arcilla y marga) y en la industria de la construcción (ladrillos, material de relleno , agregados para hormigones ligeros, áridos ligeros, etc.) . Actualmente existen diversas plantas en funcionamiento que utilizan este procedimiento. Como limitación económica debe citarse el transporte del material que obliga a ubica--ciones de las plantas en las proximidades de las escombres. ras.

#### 1.2.- COMPETENCIA CON OTROS MATERIALES

Los materiales más importantes con los que ha de competir como materia prima, son los siguientes:

- Industria cerámica: arcilla
- Industria del cemento: arcilla y marga
- Industria de la construcción:
  - . Aridos ligeros naturales: puzolanas, pómez y lava
  - . Aridos ligeros artificiales: arcilla, pizarras y escorias expandidas, perlita y vermiculita expandidas.

La gran ventaja de su uso en estas industrias es el contenido de carbón, ya que por ello se obtiene una importante economía de energía. Además, al utilizar un material de desecho, cuya eliminación lleva consigo una inversión de dinero, supone un ahorro en la inversión que produciría la citada eliminación.

### 1.3.- ENSAYOS

Para la realización de ensayos se empezaría por la toma de muestras tanto de estériles como de arcillas de la zona a estudiar.

Serían necesarias las siguientes muestras:

- a) Estériles de escombrera
- b) Estériles de gruesos lavados
- c) Estériles de menudos lavados
- d) Estériles de finos de flotación
- e) Arcilla de la zona

Entre los ensayos piloto y de laboratorio habría que incluir la observación preliminar de la idoneidad de los materiales en los campos de utilización que se indica a continuación:

- Utilización de los estériles como áridos para hormigón ligero; pruebas de sinterización.
- Experimentos tendentes a la utilización de los estériles en la industria ladrillera.
- Utilización de los estériles como áridos en la industria del cemento.
- Recuperación del carbón de escombrera.

Los ensayos a realizar con los materiales básicos , serían:

#### Ensayos físicos

- Análisis gravimétricos con el fin de determinar el contenido de carbón en el material con peso específico menor de 1,6.
- Ensayos de la composición del grano.
- Determinación de la humedad.

#### Ensayos químicos

- Pruebas térmicas
- Determinación de los componentes de la ceniza.

#### 1.4.- UTILIZACION PARA LA FABRICACION DE ARIDOS LIGEROS

Una vez analizada la composición de óxidos de la ceniza de estériles, se obtendrían unas características de sinterización, según el método de Riley-Wilson, que nos indicarían los estériles que pueden sinterizarse bien, no pueden sinterizarse o la sinterización es deficiente.

De acuerdo con los sistemas mencionados anteriormente se estudia la idoneidad del material en base a los componentes minerales solamente, sin considerar los valores caloríficos de las materias primas. Sin embargo, estos influyen también en la tecnología de sinterización.

Para realizar los ensayos habría que preparar una mezcla de material con un valor calorífico entre 500 y 600

kilocalorías/Kg/seco y la composición del contenido de ceniza adicional que satisface los requisitos de sinterización según Riley-Wilson.

Con la preparación de esta mezcla se pretende que los subproductos producidos durante el lavado del carbón, resulten comunmente utilizables. Para ello tendrían que realizarse experimentos en el reactor de sinterización del sistema de succión con la mezcla preparada con objeto de obtener un producto aceptable.

La especificación standard industrial BN-64/6722-06 del Comecón en relación con árido ligero producido a partir de estériles de carbón y en relación con las fracciones de sinterizado, especifica las cifras cualitativas siguientes:

<u>Densidad gravimétrica</u> <u>Kg/m<sup>3</sup></u>	<u>Mínima resistencia de</u> <u>compresión Kg/m<sup>2</sup></u>
401 - 600	7
601 - 800	10
801 -1.000	15

La especificación standard antes citada, no determina la mínima resistencia a la compresión del árido fino (0 - 5 mm).

Las pérdidas por ignición no deben exceder del 3%.

El contenido total de S (convertido a trióxido de sulfato) no debe exceder del 1,5%.

La cifra de la resistencia a la compresión, significa la fuerza de compresión que aparece durante la carga -

continúa de sinterizado, cuando se trata de un bidón o tambor de acero sin adhesivo y que cae a una unidad de superficie, medida en el momento del desprendimiento del material.

Una vez que se realicen los experimentos, podrán compararse las características de los productos de sinterización con las correspondientes especificaciones standard. De esta comparación podrá decirse si los productos obtenidos cumplen o no los requisitos standard y, por tanto, si pueden ó no emplearse para producir hormigón ligero.

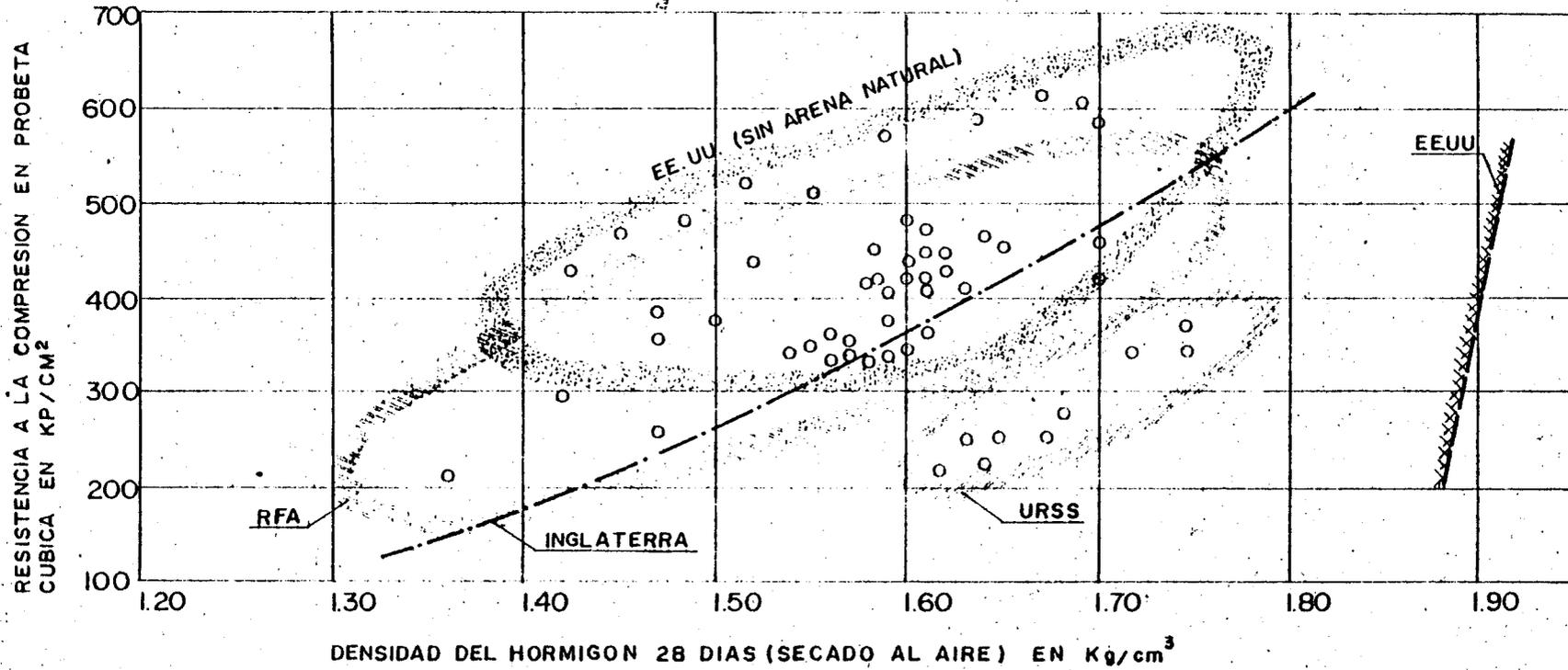
Dado que el hormigón ligero es de una técnica reciente se incluye a continuación las características más importantes de este tipo de hormigón:

a) Resistencia a la compresión y tracción

La resistencia a la compresión de los hormigones ligeros está comprendida entre 150 Kg/cm<sup>2</sup> y 700 Kg/cm<sup>2</sup> para densidades aparentes entre 1,30 y 1,90 Kg/dm<sup>3</sup>, como puede apreciarse en la Fig. 1.

La resistencia a los esfuerzos de tracción depende de la de los áridos y pasta de cemento y del grado de adherencia entre los granos y la masa de cemento.

La adherencia entre los granos y la pasta es mayor en los áridos ligeros, y en cambio es menor su resistencia a los esfuerzos de tracción.



COMPARACION DE LAS RESISTENCIAS  $f_{cub\ 28}$  Y DENSIDADES  $\delta_{cd\ 28}$  DE VARIOS HORMIGONES LIGEROS EXTRANJEROS

<u>Tipo de hormigón</u>	<u>Resistencia Compresión</u>	<u>Resistencia tracción</u>	<u>Relación</u>	<u>Compresión Tracción</u>
L Cu 100	150	32	21	
L Cu 150	200	38	19	
L Cu 250	300	48	16	
L Cu 350	400	58	14	
L Cu 450	500	67	13	
L Cu 550	600	73	12	

b) Adherencia entre armadura y hormigón

Los ensayos efectuados demuestran que, en el hormigón ligero la adherencia es peor que en el normal aunque no excesivamente, y por ello deben tomarse precauciones especiales en la construcción de hormigones ligeros armados.

En la práctica hay múltiples ejemplos en Europa y América de estructuras de hormigón ligero armado, entre las que se pueden citar puentes, hangares, edificios, etc.

c) Absorción de agua e impermeabilidad

Los áridos ligeros, al ser más porosos, llevan a un hormigón que absorbe más agua que el normal, pero esta influencia negativa queda compensada por ser la relación agua-eficaz-cemento menor. Esto significa que la pasta de cemento, y con ello el mortero, contienen menos poros capilares y son más impermeables, obteniéndose en los ensayos una penetración de agua similar al hormigón normal de igual resistencia.

d) Resistencia al desgaste

La resistencia al desgaste de los hormigones ligeros es

menor que la de los normales; aún así, en USA y Canadá, se han realizado buenas experiencias en calzadas y losas de puentes en hormigón ligero sobre las que circula tráfico pesado.

e) Coefficiente de dilatación térmica

El coeficiente de dilatación térmica del hormigón depende fundamentalmente de los coeficientes de dilatación térmica, de los módulos de elasticidad y de las proporciones en volumen de los áridos y cemento, así como también del grado de humedad y de la temperatura.

En los hormigones ligeros el valor del coeficiente de dilatación térmica es menor que en los normales.

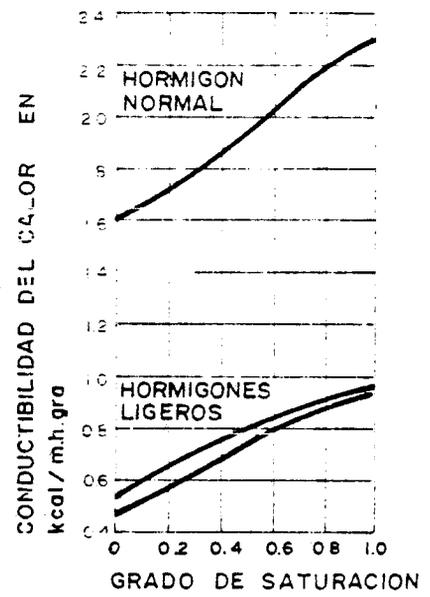
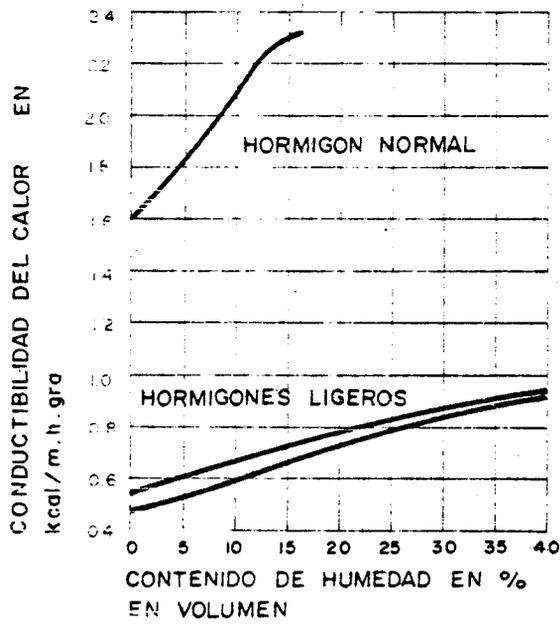
La conductancia térmica es también menor en los hormigones ligeros que en los normales. Sus valores son: 2,4919 Kcal/m<sup>2</sup>h °C en el normal y 1,2690 Kcal/m<sup>2</sup>h °C en el ligero.

Por ello, las pérdidas de calor en edificios usando uno u otro, y con el resto de las condiciones iguales, es de dos veces menor en el ligero.

En la Fig. 2/a/b/c, se puede observar las variaciones entre un hormigón y otro en función de distintas variables.

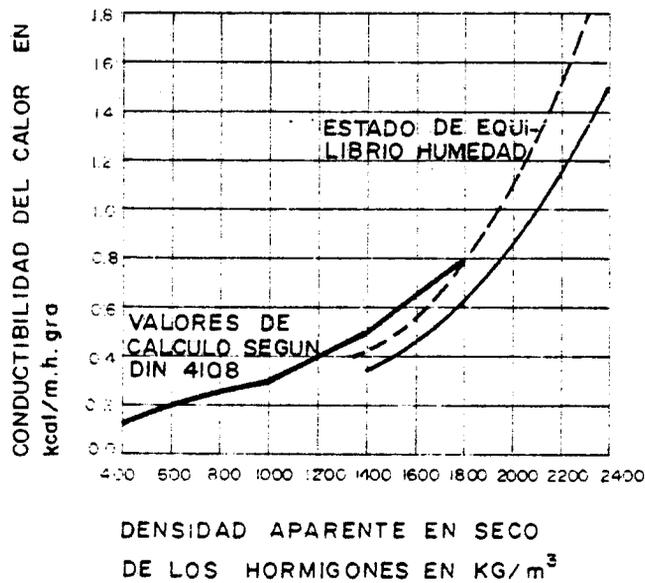
f) Comportamiento a la temperatura

Las experiencias americanas demuestran que los hormigones ligeros se comportan más favorablemente que los normales respecto a la resistencia a la compresión en caliente.



VARIACION DEL CONTENIDO DE CONDUCTIBILIDAD DEL CALOR A 20°C EN HORMIGONES LIGEROS Y NORMALES

- a/ EN FUNCION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD
- b/ EN FUNCION DEL GRADO DE SATURACION



CONDUCTIBILIDAD DEL CALOR EN HORMIGONES LIGEROS EN FUNCION DE LA DENSIDAD APARENTE EN SECO

Figura 2./a/b/c

Debido a que la resistencia a la transmisión del calor es mayor en los hormigones ligeros (Fig. 3) con un coeficiente de dilatación algo más bajo y un módulo de elasticidad menor, la exposición al fuego conduce a menores tensiones térmicas evitando el peligro de grietas y desconchados.

En la Fig. 4 se puede apreciar que la duración al fuego es de un 20 a 25% mayor, con lo que, el recubrimiento de soportes de acero o soportes de hormigón armado, pueden tener una mayor esbeltez con un menor peso.

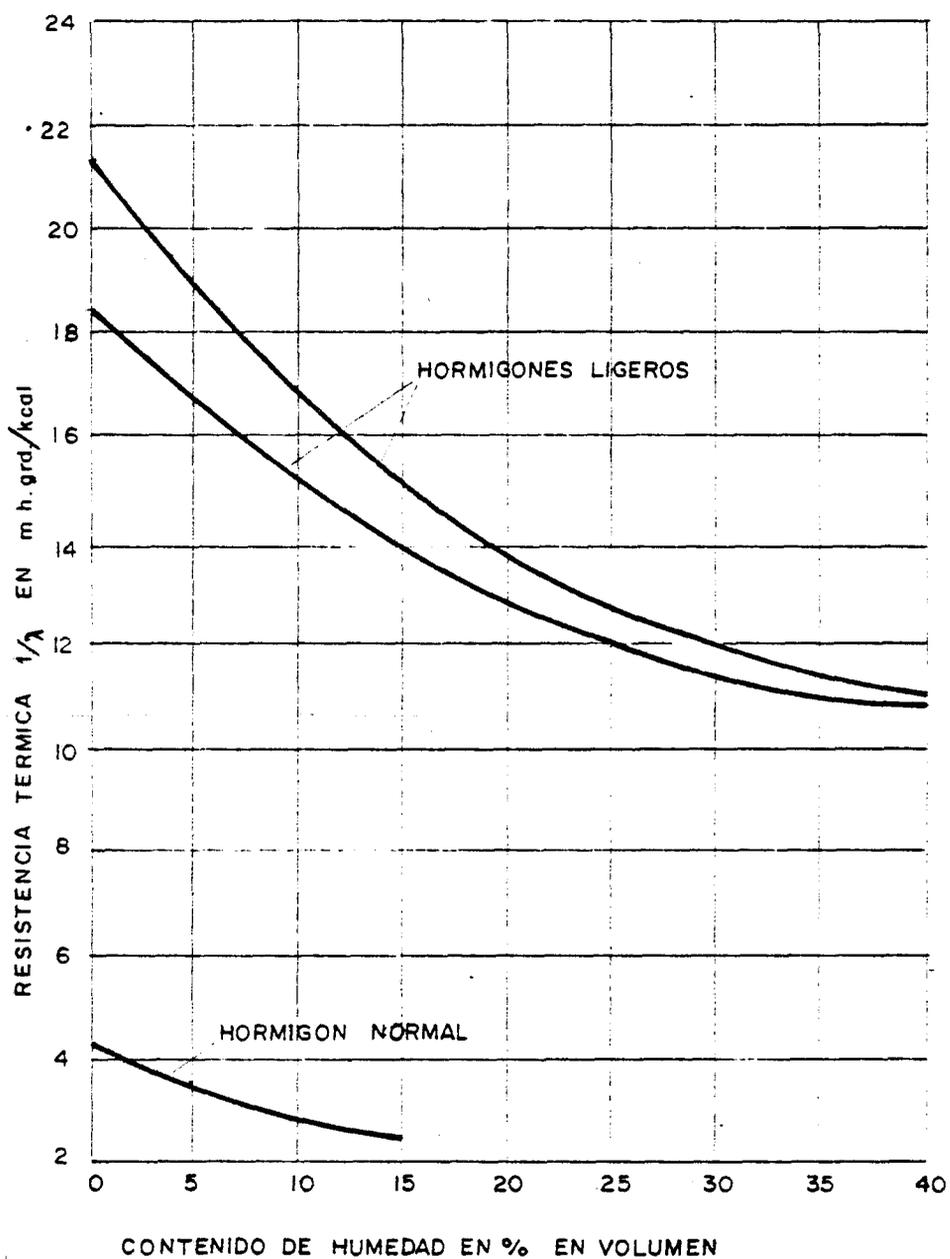
g) Protección acústica

Por diversos ensayos realizados por franceses y holandeses, se ha visto que los hormigones ligeros expandidos se comportan sensiblemente igual a los normales del mismo espesor de pared en cuanto al aislamiento acústico.

En el "ESTUDIO TECNICO-ECONOMICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS ESTERILES DEL LAVADERO DEL NALON", realizado por ENADIMSA para el INI en marzo de 1977, se llevaron a cabo dos experimentos con distinta composición de material procedentes de las muestras tomadas entonces, dando por resultado en ambos casos la posibilidad de poder emplearse perfectamente los productos de sinterización para producir hormigón ligero.

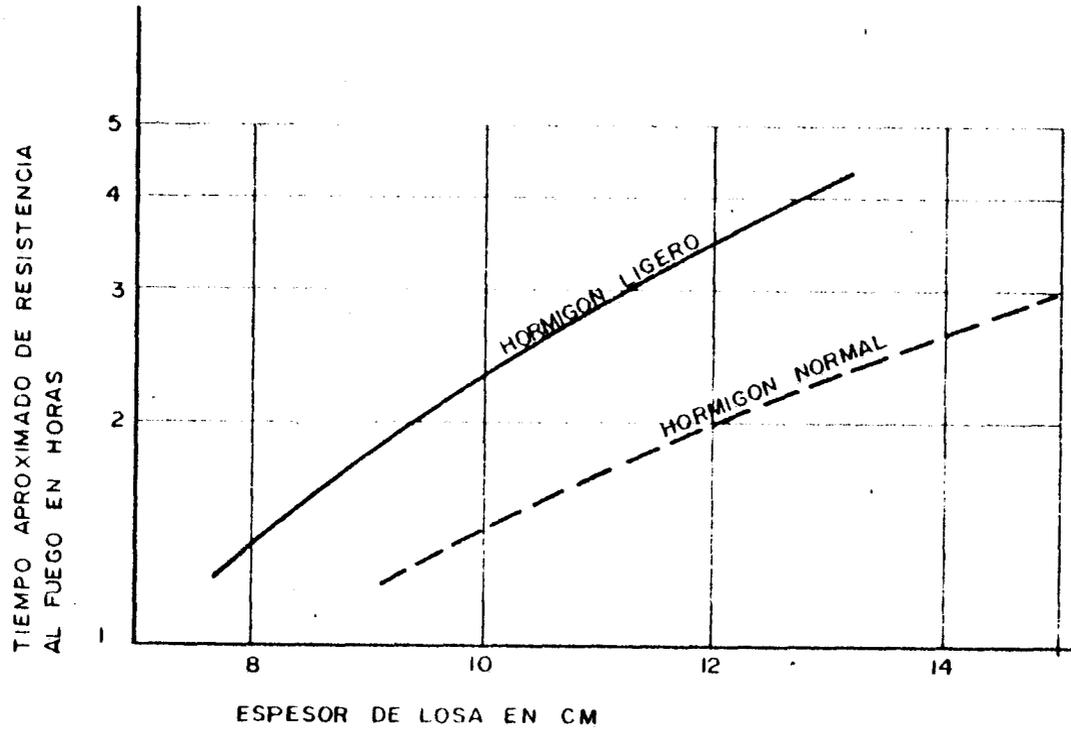
1.5.- UTILIZACION PARA LA FABRICACION DE LADRILLOS

La aplicación satisfactoria de estériles de mina de carbón de bajo valor calorífico en la fabricación de ladrillos, ha sido verificada por varios millones de toneladas de estériles transformados en Polonia y en otras plantas - HALDEX.



RESISTENCIA A LA TRANSMISION DEL CALOR EN PAREDES DE GROSOR  $l$  DE HORMIGON LIGERO Y NORMAL EN FUNCION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

Figura 3.



DURACION DE LA RESISTENCIA CONTRA INCENDIOS EN FUNCION DEL ESPESOR DE LA LOSA, EN EL HORMIGON LIGERO Y EN EL HORMIGON NORMAL (SEGUN DATOS AMERICANOS)

Figura 4.

Las fábricas de ladrillos añaden a su propio material básico entre el 20 y el 40 por ciento de escombros de mina de carbón. El empleo de estos subproductos está justificado por los siguientes hechos:

- Ahorro de energía

La cantidad de calor que se libera durante la combustión o calcinación del carbón del estéril, reduce la cantidad de calor exterior que se necesita en el proceso.

- Ahorro de arcilla

En relación con el estéril añadido, se reduce la cantidad de arcilla empleada en el proceso.

- Mejores características

Debido a la adición de estériles, el material básico lo gra características favorables, como por ejemplo, una mayor resistencia a la compresión, porosidad y aislamiento térmico.

De entre los estériles procedentes del lavadero, los estériles gruesos y finos, desde el punto de vista de la composición de silicatos, son considerablemente similares a determinadas materias primas utilizadas con éxito por HALDEX. Por lo tanto, está justificado esperar que los estériles procedentes de un lavadero puedan emplearse con éxito en la fabricación de ladrillos.

Los lodos de residuos de flotación serán sometidos a distintas estimaciones, ya que el almacenamiento y el tratamiento de este producto de lavadero son la causa de la

mayor parte de los problemas, como por ejemplo, el peligro de corrimiento o alud en la escombrera.

Habría que realizar diversos experimentos de fabricación de ladrillos con la muestra de arcilla de la zona - (indicada en 1.3.) mezclada, en distintas proporciones, - con estériles finos de flotación.

Estos experimentos de laboratorio, tendentes a la utilización en la fabricación de ladrillos de materias primas de distinta composición, incluirían los siguientes procesos: Preparación de materias primas, secado, calcinado y ensayo del producto.

El estudio y análisis de los diferentes procesos de los experimentos, tales como:

- Comparación con la arcilla respecto a sus características de conformación.
- Cantidad de agua de tratamiento según la adición de lodos.
- Merma de los productos.
- Porosidad.
- Resistencia a la compresión.
- Temperatura de calcinación.
- Posibles deformaciones, etc.

llevarían a una selección de mezclas idóneas susceptibles de emplearse como sustitutas de materias primas tradicionales en la fabricación de ladrillos.

Indicaremos que en estudios ya realizados, se ha comprobado y verificado la viabilidad de utilización de estériles de lavaderos en la fabricación de ladrillos.

#### 1.6.- UTILIZACION COMO AGREGADO EN LA INDUSTRIA DEL CEMENTO

La idoneidad de las materias primas empleadas en la industria del cemento es determinada, tanto por la práctica industrial como por los proveedores, por la composición química del polvo de machaqueo crudo y por las prescripciones de los parámetros técnicos.

La composición química es determinada por el factor de saturación, el módulo de silicato y de aluminato, en relación con las contaminaciones de trazas.

En el caso de utilizar para la combustión fuel-oil y gas natural, el factor de saturación deberá ser de 0,9; y en caso de emplear polvo de carbón, estará comprendido entre 0,92 y 1,00 según el contenido de cenizas del carbón.

El módulo de silicato debe estar comprendido entre 2,2 y 2,8. El módulo de aluminato de los cementos portland entre 1,6 y 2,5 .

En las técnicas en seco actuales, los distintos componentes son limitados; por ejemplo:

$K_2O + Na_2O$	debe ser inferior a un valor del 1,0 al 1,2%
Ión de Cl	no superior al 0,02%
Ti O <sub>2</sub>	no superior al 2%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	no superior al 0,5%

El contenido de MgO no es esencial, ya que viene de terminado básicamente por la composición de la caliza.

El contenido de silicato del polvo de machaqueo crudo varía entre el 18 y 24%, según la contaminación de la caliza con arcilla.

Esto quiere decir que los módulos de silicato y de aluminato, en relación con las contaminaciones perniciosas, están determinados básicamente por la composición química del componente de materias primas.

Por lo expuesto anteriormente, los estériles finos de flotación deben seguir unos análisis tendentes a la obtención de los componentes sujetos a limitaciones técnicas en la fabricación de cemento. Resultado de estos análisis, es la determinación de poder, o no, aplicarse los lodos de estériles de flotación en la fabricación de cemento.

#### 1.7.- RECUPERACION DEL CARBON DE ESCOMBRERA

Los estériles de los lavaderos de carbón contienen porcentajes variables de carbón.

Para que la recuperación del carbón de los estériles resulte rentable, su contenido ha de ser a partir de un 10%, aunque hoy día esta cifra puede ser rebajada.

En cualquier caso, el carbón que queda en los estériles proporcionará parte de la energía térmica precisa para quemar, y por lo tanto se economizará el aporte exterior de energía.

Cuando el contenido de carbón en los estériles de un lavadero es bajo, no podría emplearse económicamente la re

cuperación del mismo. No obstante, hoy en día, parece del máximo interés, tanto técnica como económicamente, la recuperación del carbón de escombreras. De todas formas, con los precios actuales, sería conveniente una toma de muestras en escombreras para conocer el contenido de carbón, sobre todo en aquellos casos que en un pasado dieran resultados no favorables.

#### 1.8.- PROCESOS PARA LA OBTENCION DE ARIDOS LIGEROS

Los procesos empleados para la obtención de áridos ligeros son todos muy similares, diferenciándose unos de otros en el procedimiento utilizado en la expansión de la materia prima para la inclusión de gases en los áridos ligeros.

En la actualidad se emplean principalmente los procedimientos siguientes:

- Expansión en horno tubular rotatorio. Proceso LECA.
- Expansión en horno vertical.
- Expansión en cinta de sinter. Proceso HALDEX.

Estos procesos se utilizan indistintamente con los siguientes materiales:

- \* - Arcilla
- Pizarra arcillosa
- Arcilla pizarrosa
- Estériles de carbón

Los procesos utilizados en la obtención de áridos ligeros constan fundamentalmente de dos etapas diferenciadas:

- Etapa de preparación mecánica
- Etapa de tratamiento térmico.

La materia prima, durante la etapa de preparación, debe someterse a las siguientes operaciones:

- Trituración
- Secado
- Molienda fina
- Granulación

El objetivo perseguido durante esta primera etapa, es el de conseguir una mezcla homogénea tanto en composición como en granulometría.

Realizada esta etapa, se continúa con la del tratamiento térmico que consta de las fases siguientes:

- Fase de secado, en la que se elimina el agua de cristalización y de combinación, así como las materias volátiles.
- Fase de descarbonación, por oxidación del carbono, en el caso de que la materia prima contenga carbono.
- Fase de expansión, en la cual el material adquiere las propiedades adecuadas para su utilización como árido ligero, tales como: densidad, elasticidad y resistencia. Esta operación se realiza entre 1.160°C y 1.300°C.
- Fase de enfriamiento, durante la que el producto es enfriado hasta 80 ó 60°C.

1.8.1.- Proceso en horno tubular rotatorio. Proceso LECA

El proceso LECA, en horno tubular rotatorio, aplicado a la obtención de áridos ligeros a partir de estériles de lavaderos de carbón se describe a continuación; se acompaña el esquema de tratamiento en la Fig. 5.

a) Preparación de la materia prima

El material se tritura en dos etapas. En la primera se efectúa una trituración entre 30 y 40 mm. Y en la segunda se realiza una molienda en seco en un molino de muelas alrededor de 400 micras.

El secado del producto, antes de la molienda fina se realiza con aire caliente que procede del enfriador situado a la salida del horno de expansión.

El producto molido y homogéneo es moldeado en piezas cilíndricas de 6 mm de diámetro y cortadas a una longitud igual al diámetro. Esta operación se realiza con una adición de agua para obtener una masa plástica moldeable con el 15% de humedad.

b) Tratamiento térmico

El tratamiento térmico se efectúa en un horno tubular rotativo dividido en tres secciones. Cada sección tiene una velocidad de rotación distinta y diferente inclinación.

En la primera sección se realiza la descarbonación por oxidación lenta del carbono. Para ello se in

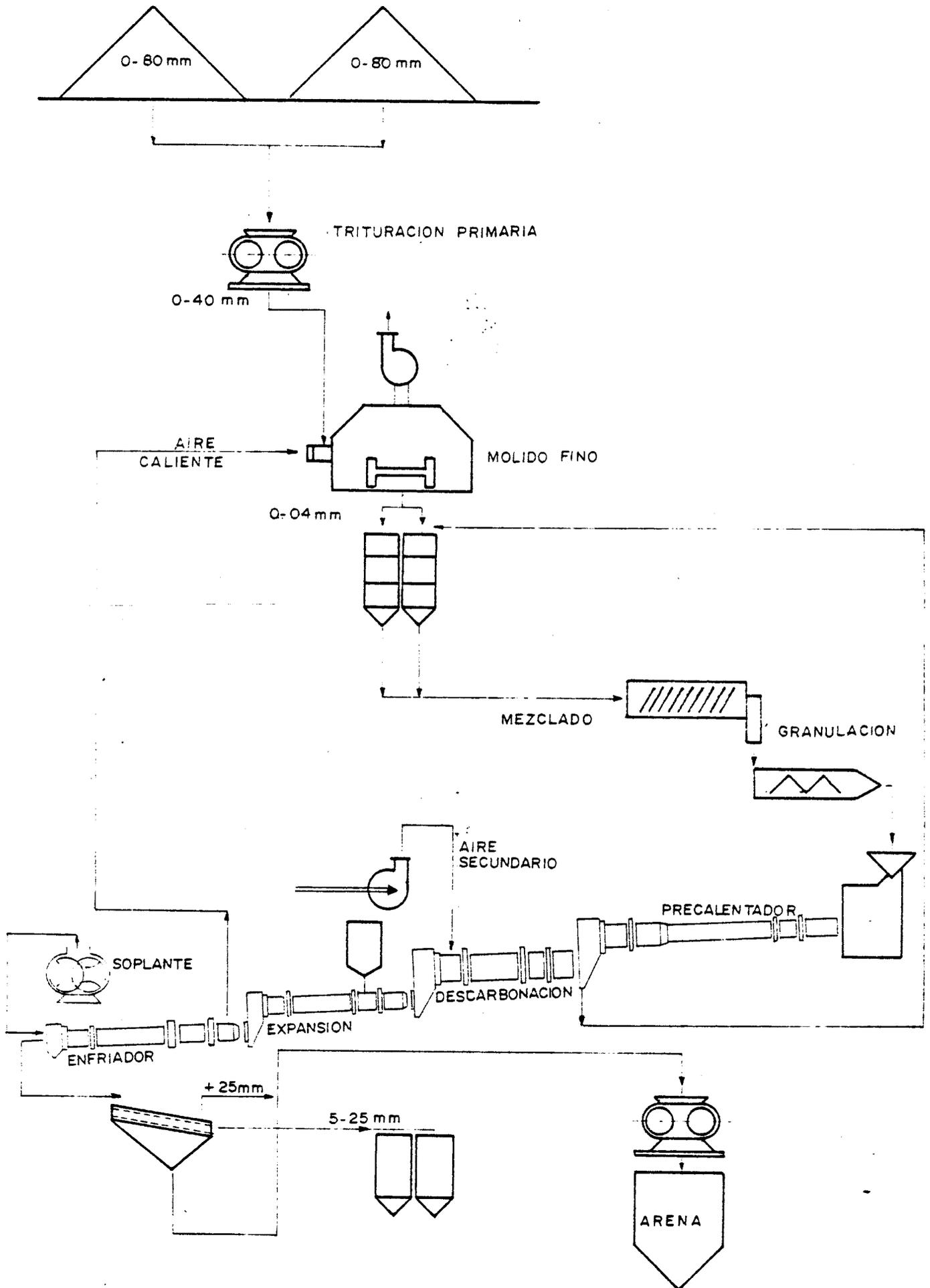


Figura 5.

introduce aire térmico, lo que permite controlar en caso necesario la combustión del carbono excedente. La temperatura en esta sección es de 600 a 980° C.

Entre la sección de secado y la de descarbonación se realiza un cribado para eliminar los finos producidos por abrasión, choque térmico y mecánico, que no conviene que pasen a la sección de expansión.

En la tercera sección se realiza la expansión y sinterización. El material se desliza, a causa de la ligera pendiente del horno, en sentido contrario a los gases de combustión. Los gases que se forman en la masa termoplástica producen el hinchamiento del material. Un dispositivo introduce finos pulverulentos en el horno para evitar que los granos se apelmacen durante la fase de reblandecimiento. La temperatura de expansión está comprendida entre 1.160°C y 1.350°C.

#### c) Tratamiento final

Los gránulos de material son enfriados hasta una temperatura de 60°C y clasificados entre 5 y 25 mm. La parte mayor de 25 mm y la menor de 5 mm es triturada en un molino de rodillos para su comercialización como arenas. El producto seleccionado de 5 - 25 mm es el empleado como árido ligero.

#### 1.8.2.- Proceso en horno vertical

El proceso en horno vertical con corriente de circulación se utiliza fundamentalmente para la

obtención de arcilla expandida. El esquema de la Fig. 6, muestra este sistema.

La preparación de la materia prima de alimentación del horno es similar a la empleada en la alimentación del horno tubular rotativo descrita en 1.8.1. a); es decir, consta de:

- Trituración primaria
- Secado
- Molienda fina

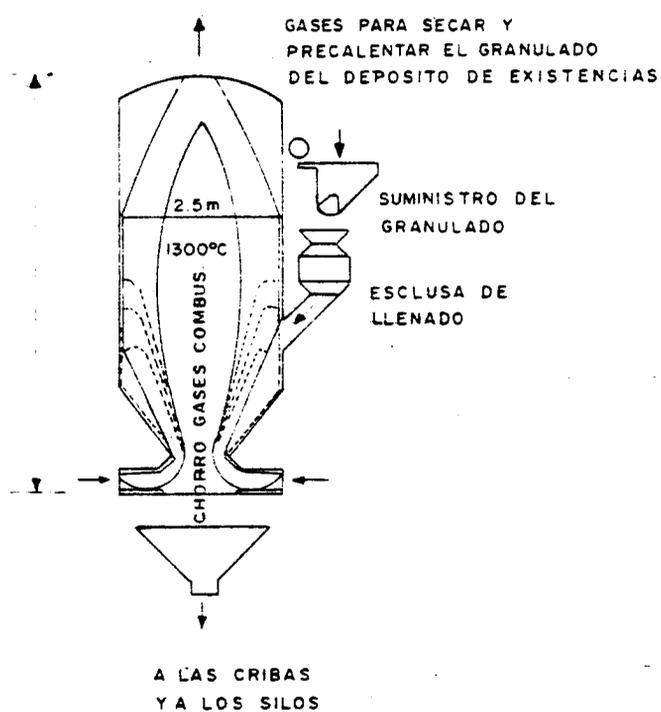
Una vez realizada la molienda fina, la arcilla debe granularse en un plato granulador para producir granos redondos. Con estos granos redondos se alimenta el horno en cargas sucesivas, después de pasar por un tambor de secado.

El chorro de gases de combustión que irrumpe por el centro de la cámara de combustión, alcanza al material que lo arrastra hacia arriba hasta que el empuje de expansión del gas es menor que la fuerza de gravedad. El material cae rodando en la base de la cámara, que tiene forma de tolva, donde recibe de nuevo el chorro de humos viéndose otra vez arrastrado hacia arriba. Este proceso se repite varias veces.

El tiempo de combustión es de 40 segundos, y el tiempo de expansión de 1 minuto.

El funcionamiento por cargas sucesivas del horno permite controlar las propiedades del árido, regulando el tiempo de combustión o la temperatura.

PROCESO DE CORRIENTE DE CIRCULACION  
HORNO VERTICAL



1.8.3.- Proceso de cinta de sinterizar. Proceso HAL-  
DEX

El proceso HALDEX difiere esencialmente de los descritos anteriormente en el sistema utilizado en el proceso de expansión de la materia prima procedente de los estériles del lavadero. El esquema del proceso puede verse en la Fig. 7.

En este caso, la expansión se realiza en una cinta de sinterización donde se mezcla la materia prima con el combustible, siempre que dicha materia prima no contenga, ya de origen, suficientes componentes combustibles, como son los casos de algunas cenizas rolantes y de estériles de carbón. Los elementos combustibles que se mezclan son, en la mayoría de los casos, carbón molido ó coque.

Primero se realiza una operación de trituración y de clasificación, ambas en circuito cerrado, con objeto de obtener un producto con el tamaño de grano adecuado para esta tecnología.

Posteriormente, el producto triturado, pasa a un tambor granulador que con adición de agua prosigue la formación del granulado.

De esta manera se realiza la etapa de preparación de la materia prima para la alimentación de la cinta de sinterización.

El material producido en el granulador, pasa a la instalación de sinterización dispuesto en una capa uniforme sobre la cinta de sinterizar. En la primera parte el producto se seca y al continuar -

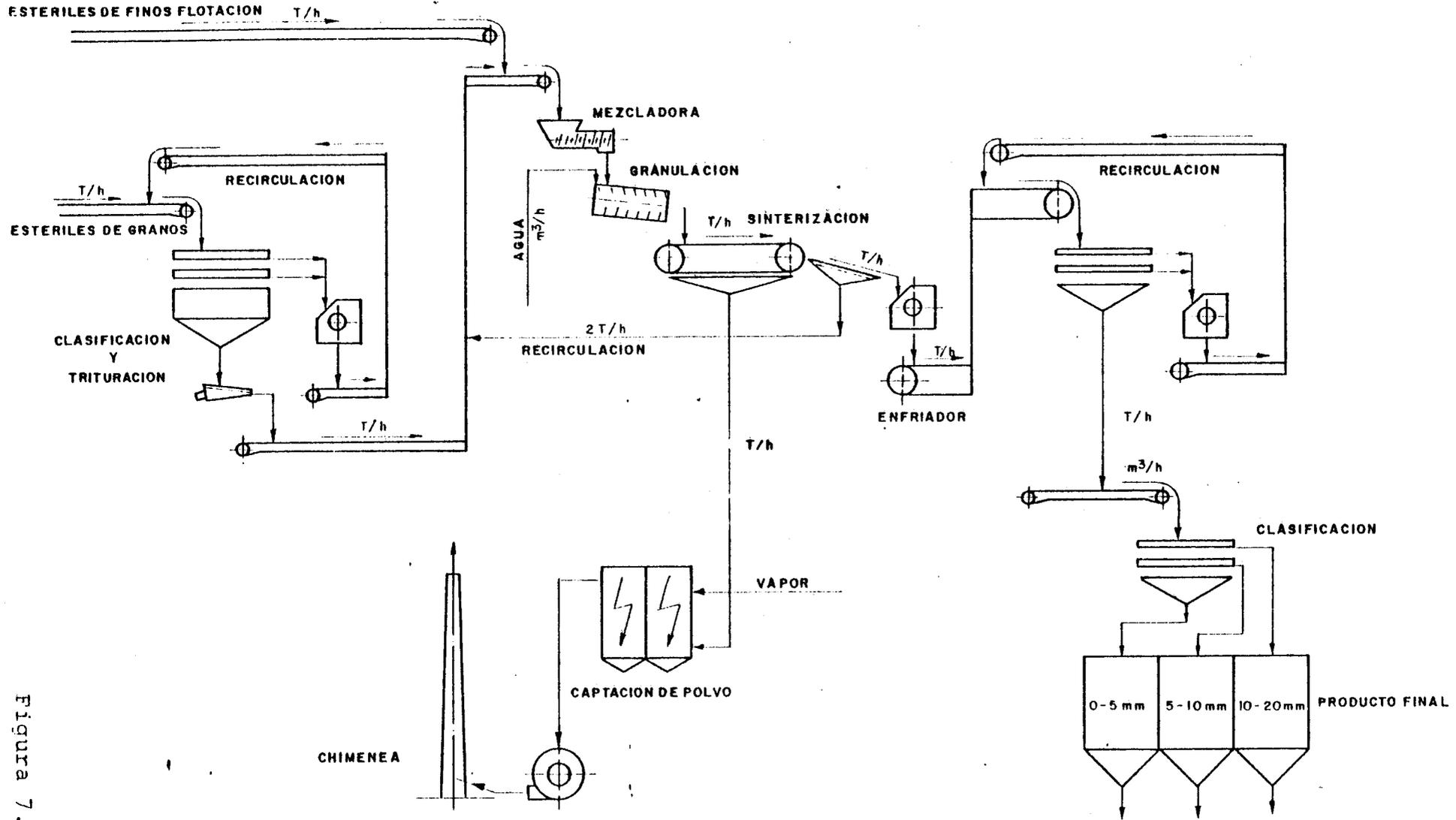


Figura 7.

DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE TRATAMIENTO

PROCESO "HALDEX"

avanzando se produce la calcinación debido al contenido en carbón y al aire aspirado que le atraviesa. La combustión, que inicialmente afecta a la superficie, atraviesa todo el grueso de la capa.

Los gases originados producen la expansión de los granos en estado caliente y plástico. Sus gases de combustión, una vez purificados, son impulsados a la atmósfera mediante un ventilador extractor.

El producto sinterizado pasa a un enfriador mediante una rejilla clasificadora que devuelve el material inadecuado al tambor granulador. En el enfriador alcanza la temperatura adecuada para su posterior transformación.

Finalmente el producto es triturado, clasificado y almacenado por categorías granulométricas como producto terminado.

#### 1.9.- INCIDENCIA DEL TRANSPORTE

Cuando en el apartado 1.1.- se exponía el ahorro considerable en superficie y económico que suponía la supresión de las antiguas escombreras y el evitar formar nuevas, nada se indicaba de la posible economía que supondría el transporte de los materiales acabados.

En el caso de fabricar ladrillos, por tener éstos un peso similar a los tradicionales, la incidencia que tendría el transporte es prácticamente nula. Pero en el caso de que la fabricación fuese áridos ligeros, la incidencia del transporte sí hay que tenerla en cuenta.

En el transporte de áridos hay que considerar, en primer lugar, la densidad aparente de los mismos y, en se

gundo lugar, la capacidad de la caja del camión.

La densidad aparente de los áridos naturales ó machacados se puede considerar que es  $1,6 \text{ Kg/m}^3$  y la de los áridos ligeros fabricados por los procesos descritos varía entre  $500$  y  $800 \text{ Kg/m}^3$ . Por este motivo, para un tonelaje fijo de camión se puede competir en precio de transporte hasta una distancia doble, siempre que la capacidad en volumen de la caja permita llevar el doble número de metros cúbicos.

En el caso de hormigones estructurales el transporte no tiene una incidencia fundamental cuando el terreno es pobre, aunque sí la tiene cuando el ahorro se busca en estructuras ó en pérdidas de calor, en cuyo caso se deberá buscar un compromiso entre los distintos factores que influyen en el costo.

Cuando se trata de bloques de hormigón fabricados con áridos ligeros, la diferencia de peso entre los bloques tiene gran importancia.

Veamos lo que ocurre con un ejemplo de bloque de  $40 \times 20 \times 30$ , en hormigón ligero de  $1.200 \text{ Kg/m}^3$  y de  $1.800 \text{ Kg/m}^3$ . En el primer caso, con un volumen de  $0,013 \text{ m}^3$ , su peso sería de  $15,6 \text{ Kg}$ . mientras que en el segundo caso su peso sería de  $23,4 \text{ Kg}$ . Si suponemos un vehículo de  $20 \text{ t}$ , podría transportar en el primer caso  $1.282$  bloques y en el segundo  $855$  bloques. Realizando el transporte a una distancia de  $50 \text{ Km}$ . con un precio de  $8 \text{ Pts/t/Km}$ , el coste por bloque sería de  $6,24 \text{ Pts}$  para el primer caso y de  $9,36$  para el segundo, por lo que con el mismo coste por bloque se podría transportar a  $75 \text{ Km}$  la carga en el primer caso en lugar de  $50 \text{ Km}$ .

Consecuencia del ejemplo anterior es que se deduce - que el radio de influencia de la fábrica se aumenta a consecuencia del peso del bloque, solamente en cuanto a transporte se refiere.

Esta incidencia habrá de tenerse en cuenta al diseñar el bloque, pues existirán dos soluciones: mantener el peso aumentando la superficie, ó mantener la superficie - disminuyendo el peso.

#### 1.10.-INCIDENCIA DE LAS PERDIDAS DE CALOR EN LOS EDIFICIOS

Las pérdidas de calor a través de las superficies exteriores en los edificios tienen cada día una mayor transcendencia, pues su reducción representa un ahorro importante de divisas para la nación en fuel para calefacción.

En este tema es en el que mayor incidencia tienen - los áridos ligeros, que compensa con creces su precio más elevado.

A continuación se estudian dos paredes: una de hormigón normal y otra de hormigón ligero.

La fórmula de la resistencia térmica es:

$$R = \frac{1}{a_i} + \frac{e}{k} + \frac{1}{a_e}$$

siendo:

$a_i$  = Coeficiente de transmisión superficial del interior a la pared.

$e$  = Espesor de la pared.

$k$  = Conductividad térmica de la pared.

$a_e$  = Coeficiente de transmisión superficial de la pared al exterior.

Según las Normas y Manuales I.E.T. se pueden tomar los valores: para  $a_i = 6$ , para  $a_e = 25$ .

La fórmula de la resistencia térmica quedaría:

$$R = 0,2 + \frac{e}{k}$$

Para un espesor de pared de 20 cm y siendo la conductividad térmica  $1,10 \frac{\text{Kcal}}{\text{h } ^\circ\text{C m}}$  para el hormigón normal y  $0,35 \frac{\text{Kcal}}{\text{h } ^\circ\text{C m}}$  para el ligero, obtendríamos:

$$R_1 = 0,38 \text{ m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C/Kcal.} - \text{Hormigón normal } K_1 = 2,63 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}}$$

$$R_2 = 0,77 \text{ m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C/Kcal.} - \text{Hormigón ligero } K_2 = 1,29 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}}$$

Supongamos que durante tres meses de calefacción se tenga una diferencia media de temperatura de  $15 ^\circ\text{C}$ , calcularemos las pérdidas por  $\text{m}^2$ .

- Tiempo =  $3 \times 30 \times 24 = 2.160$  horas

- Pérdidas de calor por  $\text{m}^2$  en muro de hormigón normal:

$$2.160 \times 15 \times 1 \times \frac{1}{R_1} = 92.571 \text{ Kcal.}$$

- Pérdidas de calor por  $\text{m}^2$  en muro de hormigón ligero:

$$2.160 \times 15 \times 1 \times \frac{1}{R_2} = 42.077 \text{ Kcal.}$$

$$\text{Diferencia} = 50.494 \text{ Kcal.}$$

Si el combustible utilizado tiene un precio comprendido entre 7 y 10 Pts/10.000 Kcal, se tendría un ahorro

anual (tres meses de calefacción) de 35 a 50 Pts, que compensa con creces el mayor coste inicial.

El Decreto 1.490/1.975 del 12 de junio, de la Presidencia del Gobierno, fija los valores mínimos de aislamiento térmico que deben poseer las edificaciones de acuerdo con la zona climática (Fig. 8) y el factor de forma del edificio.

Valores máximos de K en un edificio

Factor de forma f en m <sup>-1</sup>	(K) Kcal/h °C m <sup>2</sup>			
	Zona Climática			
	W	X	Y	Z
0,20	2,00	1,70	1,55	1,45
0,25	1,80	1,45	1,35	1,20
0,30	1,60	1,30	1,20	1,10
0,35	1,45	1,20	1,10	1,00
0,40	1,35	1,10	1,00	0,95
0,50	1,20	1,00	0,90	0,85
0,60	1,10	0,90	0,85	0,78
0,80	1,00	0,82	0,75	0,70
1,00	0,95	0,78	0,72	0,67
1,20	0,90	0,76	0,70	0,65

Al utilizar hormigón con áridos ligeros, se cumplen con las exigencias de la normativa vigente de aislamiento aún en los casos más desfavorables.

## DIVISION DE ESPAÑA EN ZONAS CLIMATICAS

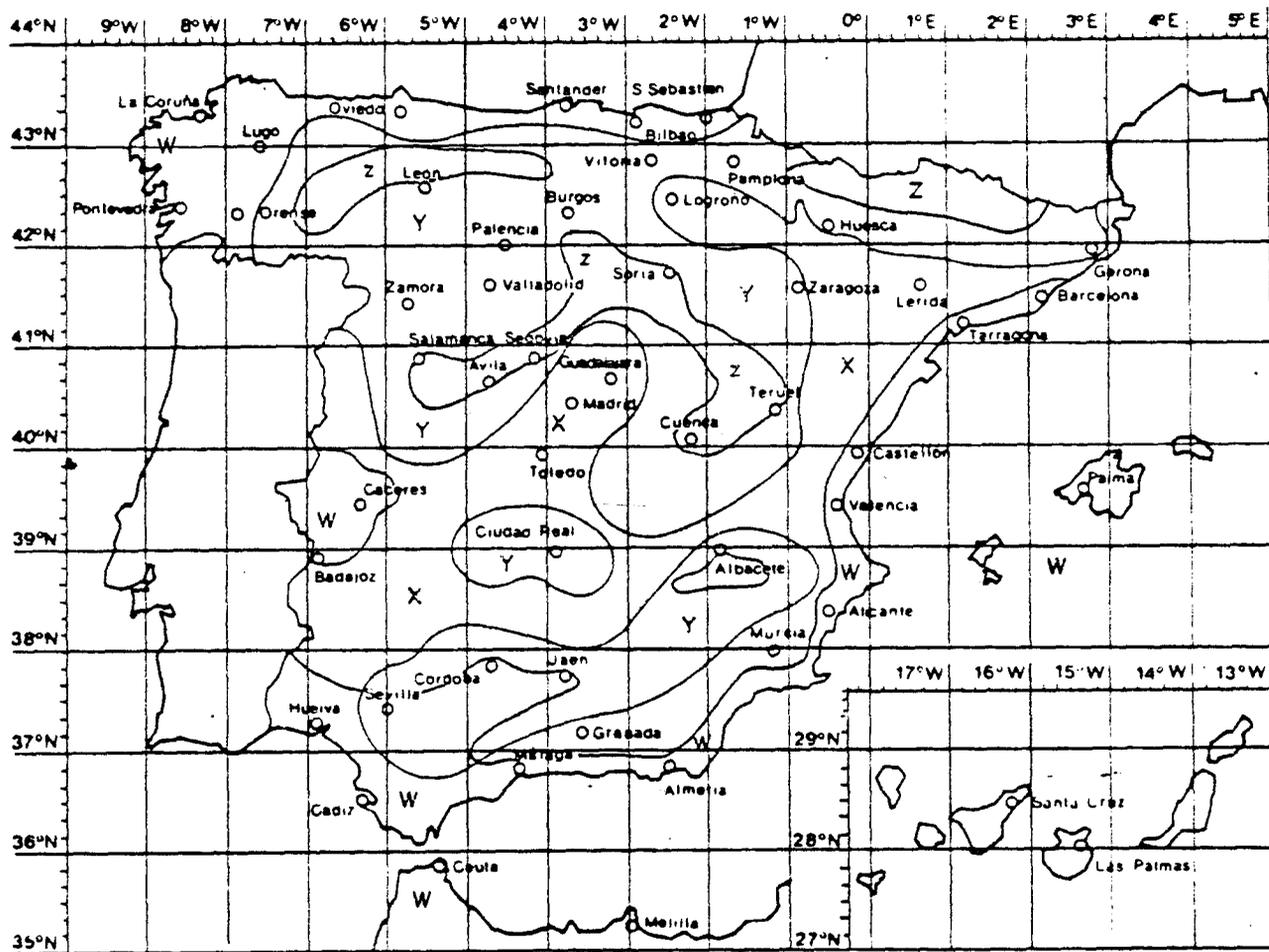


Fig. 8.

## 2.- PLANTA DE ARIDOS LIGEROS

Para la implantación de la planta es necesario haber realizado los ensayos sobre las muestras de estériles de carbón, que se indican en el apartado 1.3. con objeto de poder determinar el dimensionamiento idóneo de la planta.

También es necesario un estudio previo sobre la ubicación de la misma en el entorno del enclavamiento de las principales hulleras y/o de las fábricas de materiales de construcción.

En el desarrollo de esta memoria, y con el fin de que no sea considerada como una disquisición teórico-filosófica, se van a considerar todos los datos de un caso real estudiado anteriormente por ENADIMSA, en marzo de 1.977, del que ya se ha hecho mención: "ESTUDIO TECNICO-ECONOMICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS ESTERILES DEL LAVADERO DEL NALON".

### 2.1.- DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA

El factor más importante a tener en cuenta para el dimensionamiento de una planta, es el absorber la totalidad de los estériles finos de flotación, ya que su eliminación causa el mayor problema a los lavaderos.

El total de los estériles finos de flotación se estimaba en 110.000 t/año. Este tonelaje se absorbía con el siguiente reparto:

- 60.000 t/año de estériles para la producción de 50.000 - millares de ladrillos, equivalentes a unas 160.000 t/año
- 50.000 t/año de estériles para la fabricación de áridos ligeros con una producción de unas 100.000 t/año.

Partiendo de los ensayos realizados en su día por TA TABANYAI sobre las muestras de estériles de carbón, se confeccionó un esquema de tratamiento para una planta que produjera 375.000 m<sup>3</sup>/año.

Se ha realizado una estimación de las inversiones y costes de tratamiento para una planta de dicha capacidad, partiendo de las cifras de aquel estudio y pasándolas a cifras actualizadas.

## 2.2.- PROCESO Y DIAGRAMA DE TRATAMIENTO

En la Fig. 9 se indica el esquema básico de proceso de una planta de tratamiento para la obtención de áridos ligeros y el balance de materias, sólidos, agua, vapor y combustibles.

En la Fig. 10 se muestra el diagrama simplificado de tratamiento, con los equipos fundamentales de proceso.

La planta de tratamiento está constituida por las siguientes secciones:

## 2.3.- PARQUE DE ALMACENAMIENTO Y HOMOGENEIZACION

La capacidad del parque de almacenamiento es para 6.000 t .

El material se almacena en tres pilas según la calidad y granulometría. Estériles de flotación, 0-0,5 mm, estériles de menudos, 0,5-10 mm y estériles de grano, 10-150 mm.

Por debajo de cada una de las pilas, se ha previsto un sistema de alimentadores y cintas transportadoras para

PROCESO DE TRATAMIENTO "HALDEX"

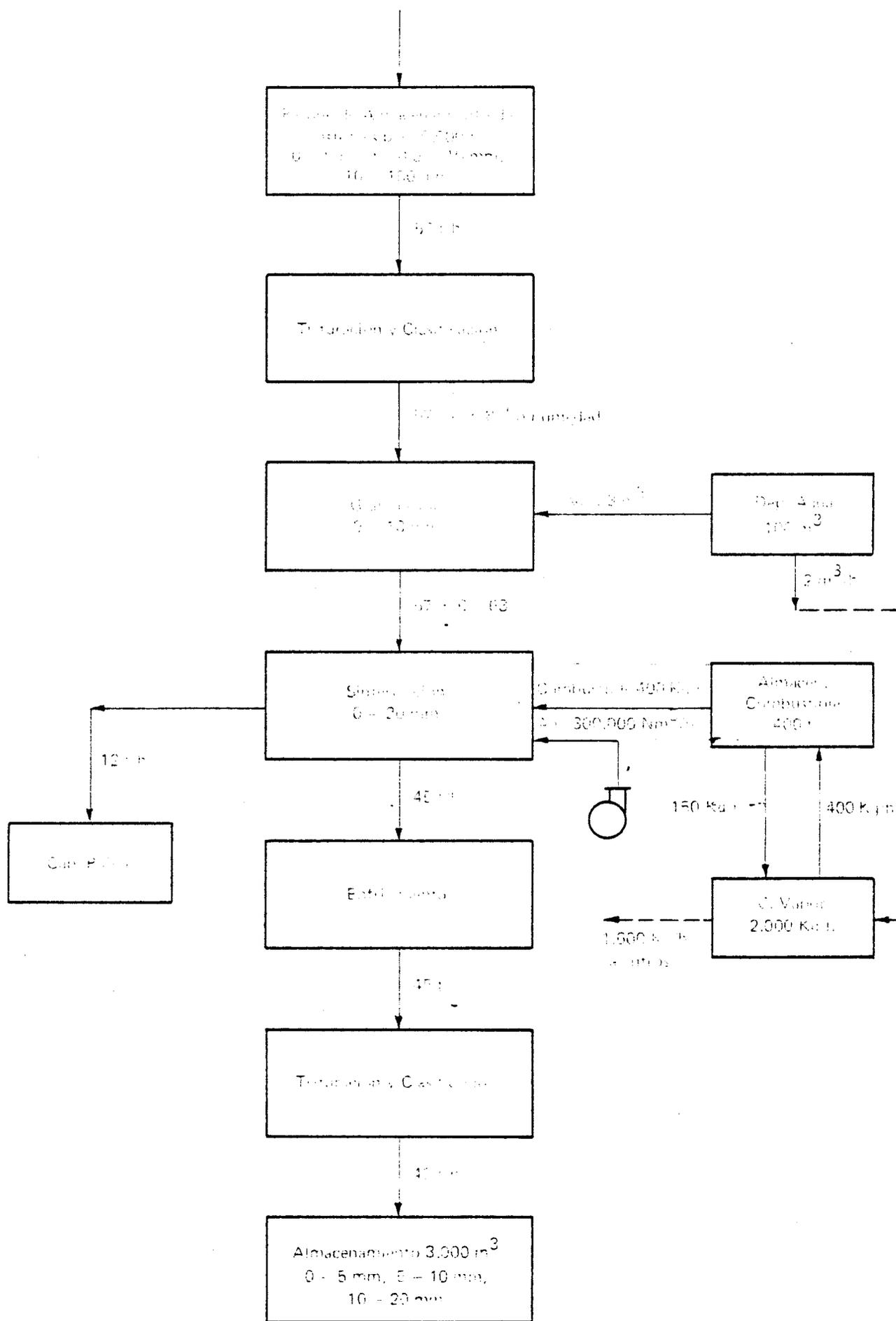
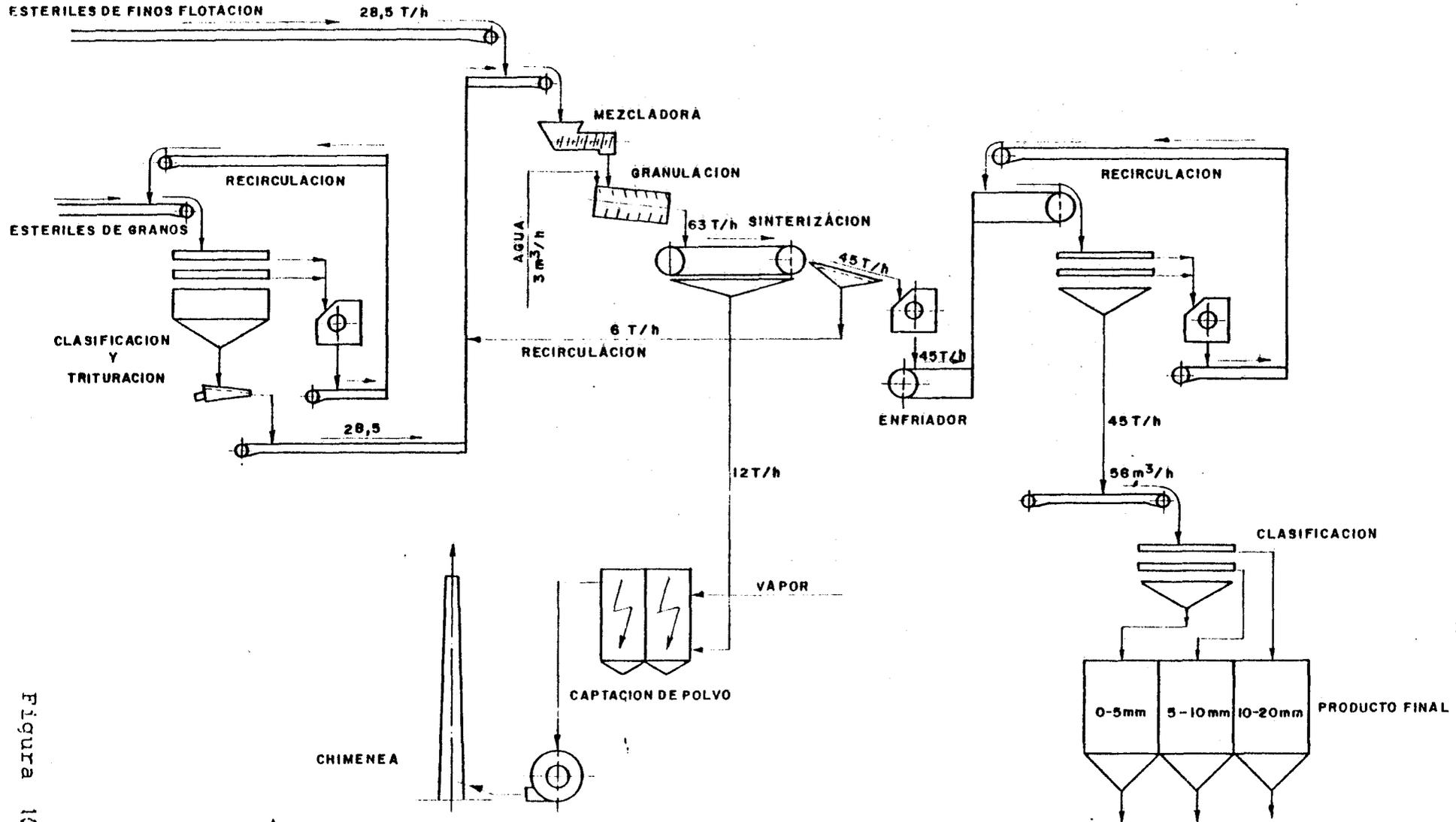


Figura 9.



PROCESO "HALDEX"  
 DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE TRATAMIENTO

Figura 16.

extraer el material de cada una de las pilas en la proporción adecuada y enviar los gruesos a la sección de trituración y clasificación y los finos a granulación.

La proporción de la mezcla es de 50% de estériles de flotación, 24% de estériles de menudos y 26% de estériles de granos. El poder calorífico de la mezcla es de 500 a 600 Kcal/Kg/seco.

#### 2.4.- TRITURACION, CLASIFICACION Y GRANULACION

La mezcla de productos gruesos llega a la sección de trituración por medio de una cinta transportadora que alimenta a un molino de martillos que trabaja en circuito cerrado con una criba vibrante.

La granulometría del producto de entrada es de 0-150 mm. La granulometría de salida es de 0-10 mm.

Estas operaciones se realizan en seco y, por lo tanto, está previsto un sistema de captación de polvo.

El producto de salida de las cintas pasa a un tambor de granulación, al que se le añade agua para ayudar a la aglomeración de las partículas y conseguir un producto granulado con el tamaño adecuado para su posterior sinterización.

La adición de agua es de  $3 \text{ m}^3/\text{h}$ .

#### 2.5.- SINTERIZACION

Los gránulos procedentes de la sección anterior, pasan a la cadena de sinterización.

En la primera parte de la cadena, es decir, en el

horno de calcinación, el granulado comienza a ponerse in candescente y al continuar avanzando por la cadena resulta calcinado por su propio contenido en carbón. La calcinación es regulada por medio de aire aspirado.

La cantidad de combustible que se consume en los que madores es de 400 Kg/h de fuel, que proporcionan 3,6 mi llones de Kcal/h. El aire aspirado es de 300.000 Nm<sup>3</sup>/h.

Los polvos producidos en esta operación son recogi dos por un separador eléctrico-estático.

Los gases de combustión , una vez purificados y sepa rado el fluido denominado "Tar" (que es un combustible sin ninguna aplicación), son enviados a la atmósfera a través de una chimenea mediante un ventilador extractor. El conte nido máximo de sólidos en los gases es inferior a 100 mg / m<sup>3</sup>.

En el separador eléctrico-estático se inyecta vapor de agua con objeto de evitar explosiones.

El consumo de vapor es de 1.600 Kg/h.

## 2.6.- ENFRIAMIENTO

El material que sale de la cadena del sinter, es en friado a una temperatura entre 60 y 80 °C para su poste rior transformación en productos comerciales.

Entre el horno de Sinter y el enfriador hay una reji lla clasificadora, a través de ella pasa el material de ta maño inadecuado que se reenvía a la sección de granulación.

## 2.7.- TRITURACION, CLASIFICACION Y ALMACENAMIENTO DEL PRODUCTO FINAL

El material de salida del enfriador, es triturado y clasificado en tres categorías granulométricas: 0-0,5 mm 5-10 mm y 10-20 mm. Cada una de estas categorías es almacenada, por separado, en tolvas de 1.000 m<sup>3</sup> de capacidad unitaria.

La producción en volumen de cada una de las categorías es aproximadamente igual; es decir, un tercio cada una.

## 2.8.- SERVICIOS

Para el funcionamiento de la planta se necesitan - agua, combustible y vapor. De acuerdo con los consumos se ha previsto un depósito de agua con una capacidad de 100 m<sup>3</sup>, un depósito de fuel de 400 t, para 30 días de marcha de la planta, y una caldera de vapor de 2.000 Kg/h.

### 2.8.1.- Consumo de agua

Para el proceso se necesita un consumo de - agua de 3 m<sup>3</sup>/h, mientras que para la caldera el consumo es de 2 m<sup>3</sup>/h.

El consumo total de agua, por tanto, es de 5 m<sup>3</sup>/h.

En el caso que nos ocupa el consumo de agua para producir 375.000 m<sup>3</sup>/año de árido ligero, es de:

$$5 \text{ m}^3/\text{h} \times 6.600 \text{ h/año} = 33.000 \text{ m}^3/\text{año}$$

### 2.8.2.- Consumo de combustible

- Sinter .....	400 Kg/h
- Caldera ....	<u>150</u> Kg/h
Total ...	550 Kg/h

El consumo de combustible para producir 375.000 m<sup>3</sup>/año de áridos ligeros, es:

$$550 \text{ Kg/h} \times 6.600 \text{ h/año} = 3.630 \text{ t/año}$$

es decir, 9,68 Kg de fuel por m<sup>3</sup> de producido.

### 2.8.3.- Consumo de vapor

- Vapor para filtros .....	1.600 Kg/h
- Vapor calentamiento fuel ...	<u>400</u> Kg/h
Total .....	2.000 Kg/h

El consumo de vapor para producir 375.000 m<sup>3</sup>/año de áridos ligeros, es:

$$2.000 \text{ Kg/h} \times 6.600 \text{ h/año} = 13.000.000 \text{ Kg/año}$$

## 2.9.- COSTES DE INVERSION

En la estimación de los costes de inversión de una planta de 375.000 m<sup>3</sup> de áridos para hormigón ligero, se han tenido en cuenta los costes reales de otras plantas - HALDEX, actualizándolas a precios del año 1.979.

Los costes de la maquinaria y estructuras se han calculado tomando como base los siguientes precios unitarios:

- Estructura de acero ....	80 Pts/Kg
- Maquinaria .....	300 Pts/Kg

Teniendo en cuenta lo anterior, la estimación de la inversión total para una planta que produzca 375.000 m<sup>3</sup> de árido ligero, a precios del año 1.979 podría ser del orden de 1.200 millones de pesetas.

#### 2.10.-COSTES DE PRODUCCION

Para el cálculo de los costes de producción, se han tenido en cuenta las operaciones siguientes:

a) Amortización

Se ha considerado una amortización anual del 7% de los costes de inversión, es decir, de unos 96 millones de Pts/año.

b) Material y repuestos

Se ha considerado un gasto aproximado de 128 Pts/m<sup>3</sup> de producto, como la producción es de 375.000 m<sup>3</sup>/año, el coste por este concepto podría ascender a unos 48 millones de Pts/año.

c) Mano de obra

Trabajando en tres turnos, para una planta de estas dimensiones, se necesitarían 40 personas; considerando un coste medio aproximado por persona de 1.185.000 Pts/año, incluyendo sueldo, impuestos, seguros, etc. el coste total por este concepto ascendería a unos 47,4 millones de Pts/año.

d) Energía

El consumo anual específico es de 32 Kwh/m<sup>3</sup> de producto

a un precio de 2,1 Pts/Kwh, el coste anual de 375.000 -  $m^3$ /año por este concepto ascendería a unos 25,2 millones de Pts/año.

e) Combustible

El consumo de combustible es de 400 Kg/h para el horno de sinterización y de 150 Kg/h para la caldera de vapor, es decir, un total de 550 Kg/h. El precio del fuel-oil es de 7,60 Pts/Kg y las horas totales de trabajo estimadas son 6.600. Por lo tanto el precio de coste por este concepto podría ser de unos 27,6 millones de Pts/año.

f) Agua

El consumo de agua es de 3  $m^3$ /h para el proceso y de 2  $m^3$ /h para la caldera de agua, lo que totaliza 5  $m^3$ /h. Como el precio del agua es aproximadamente de 15 Pts/ $m^3$  y se trabaja en la planta 6.600 h/año, el coste por este concepto ascendería a unas 495.000 Pts/año.

Por tanto, y referido a una producción anual de - 375.000  $m^3$ , el precio de coste de producción podría ser del orden de 653 Pts/ $m^3$ .

### 3.- ESTUDIO PRELIMINAR DE INVERSIONES Y COSTES DE PRODUCCION

#### 3.1.- PLANTA DE ARIDOS LIGEROS

La capacidad de producción de una planta de este tipo puede ser del orden de 100.000 t/año de áridos ligeros, clasificados en tres productos de tamaños 0-5 mm, 5-10 mm, y 10-20 mm, alimentándose con 50.000 t/año de estériles de flotación y 50.000 t/año de estériles de grano.

El diagrama simplificado de tratamiento puede verse en la Fig. 11.

Una estimación previa de la inversión que podría realizarse, sería del orden de unos 450 millones de Pts.

Como la materia prima a utilizar son los estériles - del lavadero, no se valorarán, aunque su utilización supone un ahorro en gastos de escombrera.

El personal necesario para tres turnos, incluido el personal de mantenimiento, se estima de unos 40 hombres.

El consumo de energía eléctrica puede ser del orden de 32,5 Kwh/m<sup>3</sup>, con una potencia instalada de unos 824 Kw, el de fuel-oil de unas 2.000 t/año para sinterización y caldera de vapor, y el de agua de aproximadamente 13.000 - m<sup>3</sup>/año.

Se calculan 6.600 horas de producción, dedicándose - el resto a mantenimiento, y se considera un gastos aproximado de materiales y repuestos de 128 Pts/m<sup>3</sup>.

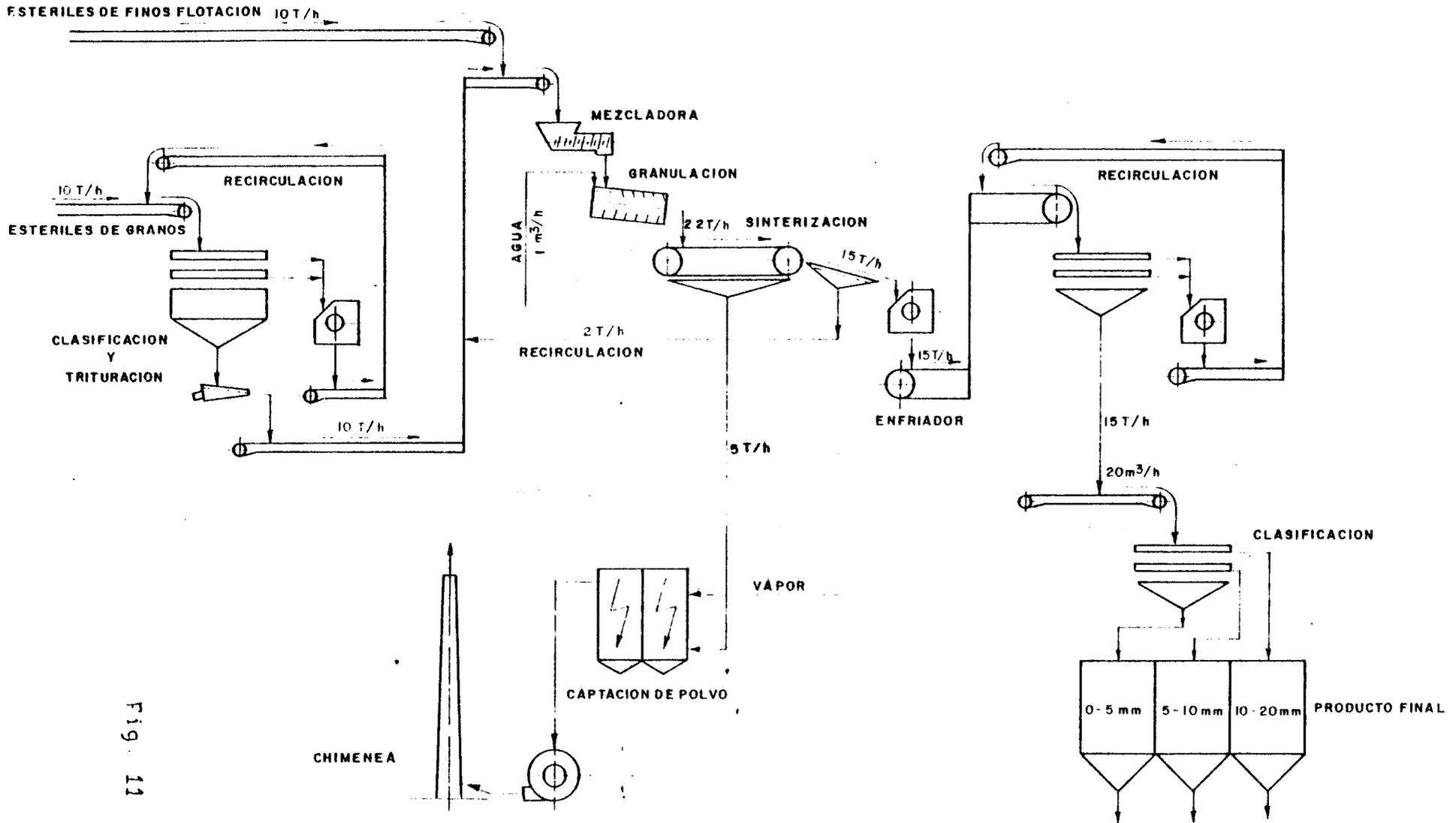


DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE TRATAMIENTO

PROCESO "HALDEX"

Fig. 11

En estas condiciones, el costo estimado de producción podría ser del orden de 80 millones de Pts, lo que equivaldría a unas 800 Pts/m<sup>3</sup>.

### 3.2.- PLANTA DE LADRILLOS

La producción de la planta a considerar puede ser de 160.000 t/año de ladrillos, en diferentes tamaños, alimentándose con 60.000 t/año de estériles de flotación y con 100.000 t/año de estériles de granos.

El diagrama simplificado de tratamiento puede verse en la Fig. 12.

La inversión podría estimarse en unos 710 millones de Pts.

La materia prima, de igual manera que en la planta de áridos ligeros, no se valora.

El personal necesario para tres turnos, incluido el personal de mantenimiento, sería de unos 30 hombres.

La potencia instalada del orden de 900 Kw y el consumo de combustible de 1.000 t/año de fuel-oil.

Se pueden calcular 6.000 horas de producción, dedicándose el resto a mantenimiento, y se considera un gasto aproximado de materiales y repuestos de 126 Pts/t.

Con estas condiciones el coste de producción se estima del orden de unos 120 millones de Pts. que nos daría unas 750 Pts/t.

PLANTA DE LADRILLOS  
DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE TRATAMIENTO

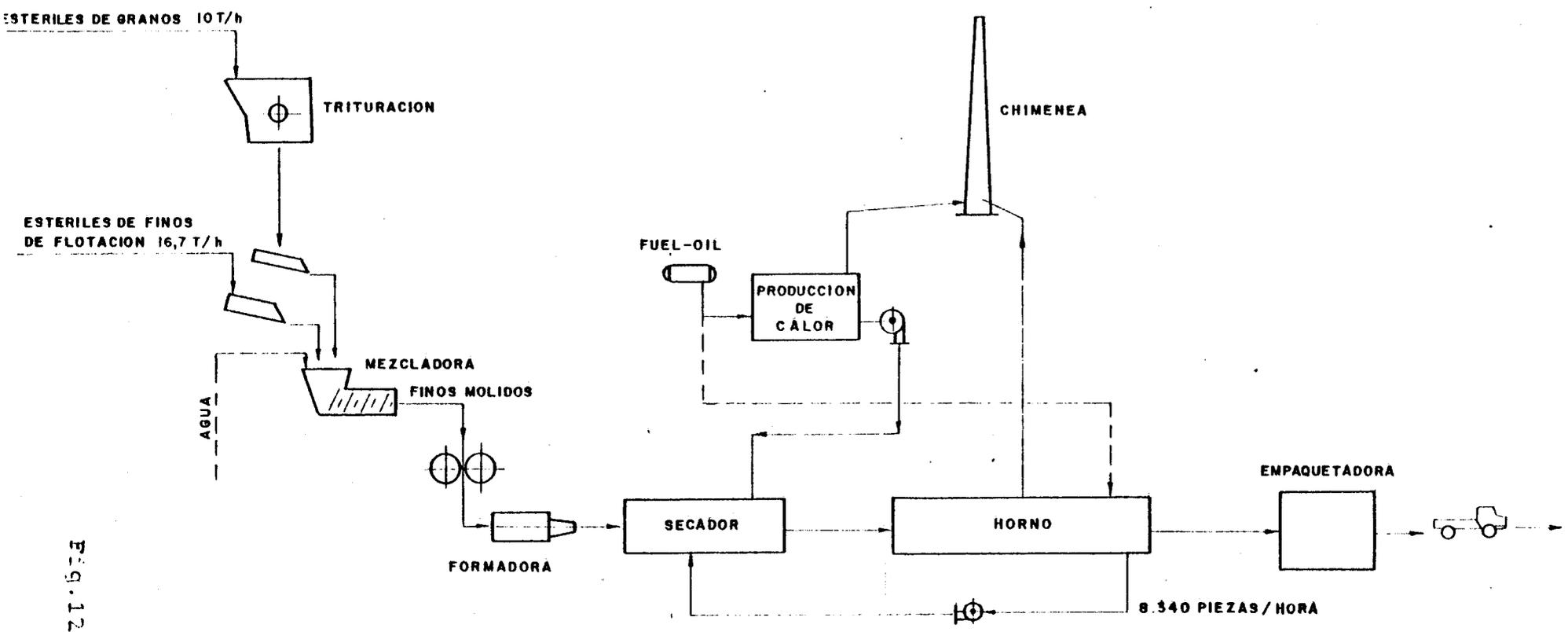


Fig. 12

### 3.3.- ESTIMACION APROXIMADA DE LA RENTABILIDAD

Teniendo en cuenta los epígrafes 3.1. y 3.2. y que los precios de venta de los productos son del orden de 1.500 Pts/m<sup>3</sup>, para áridos ligeros, y de 2.100 Pts/t. para ladrillos, se puede hacer una primera estimación de la rentabilidad.

El ingreso total anual por ventas viene a ser aproximadamente de 486 millones de Pts., el coste total anual es del orden de 200 millones de Pts y la inversión total representa unos 1.160 millones de Pts. Calculando con estas cifras se obtiene un  $I_e$  de 24,6 , que entrando en el ábaco preparado por ENADIMSA, y como primera aproximación, se estima la tasa interna de retorno de la inversión en un 16,6% que, aunque no es muy alta, justifica el profundizar en el estudio de factibilidad.

#### 4.- CONCLUSIONES

Como consecuencia de los ensayos realizados por TATABANYAI SZENBANIAK para el "ESTUDIO TECNICO-ECONOMICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE ESTERILES DEL LAVADERO DEL NALON", que podría hacerse extensibles a otros lavaderos similares, y por la presente Memoria, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- 1ª - Los estériles de los lavaderos pueden emplearse, con una mezcla adecuada, para producir áridos ligeros.
- 2ª - Igualmente es posible su utilización para la fabricación de ladrillos.
- 3ª - Para determinar si se pueden ó no utilizar los estériles finos de flotación en la fabricación de cemento, deben realizarse análisis determinantes de los componentes sujetos a limitaciones de tipo técnico.
- 4ª - La recuperación del carbón de escombreras encierra el máximo interés hoy día, resultaría rentable si su contenido es de 10%, e incluso inferior.
- 5ª - Los áridos ligeros tienen como principales ventajas técnicas, su menor peso y su mayor aislamiento térmico.
- 6ª - Por su menor peso el costo de transporte resulta menor quedando ampliada la zona de influencia de la fábrica.
- 7ª - Su mayor aislamiento térmico significa un ahorro de energía en calefacción.
- 8ª - El costo del producto terminado resulta, generalmente, rentable.

9<sup>a</sup> - El costo de fabricación de ladrillos es bajo.

10<sup>a</sup>- Las estimaciones de inversión y costes de producción son en general, aceptables.

11<sup>a</sup> - Al poder utilizarse los estériles de lavaderos y escombros existentes, se llegaría a una mejora ecológica del entorno de los mismos.

## 5.- PRESUPUESTO

Para la realización del Estudio de Factibilidad, objeto de esta memoria, se propone dividir su ejecución en dos fases, de manera que, según los resultados obtenidos en la primera, pueda deducirse la conveniencia ó no de seguir con la segunda. Para conseguir ésto, en la primera fase se incluiría la ejecución de actividades que determinen, con un margen de error admisible, la viabilidad del proyecto. Si el proyecto resultase viable, en la segunda fase, se realizarían estudios técnico-económicos más detallados para definir la solución a adoptar.

Cada una de las fases contendría las siguientes actividades:

### a) Fase Primera

- Recogida y envío de muestras de materiales
- Ensayos, pruebas y fabricación de muestras con los materiales recogidos.
- Especificaciones técnicas.
- Confección de la solución técnico-económica preliminar.
- Estudio de mercado.
- Estimación previa de viabilidad del proyecto.

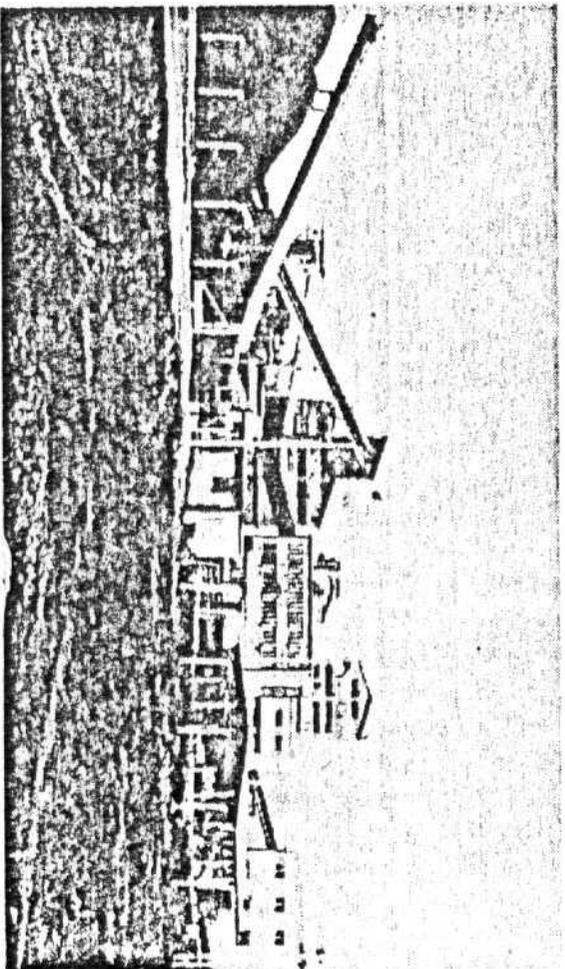
### b) Fase Segunda

- Estudio de las capacidades óptimas de producción.
- Estudio de la ubicación más idónea de la Planta.
- Determinación de la solución más adecuada.
- Selección y elección de fabricantes de maquinaria.

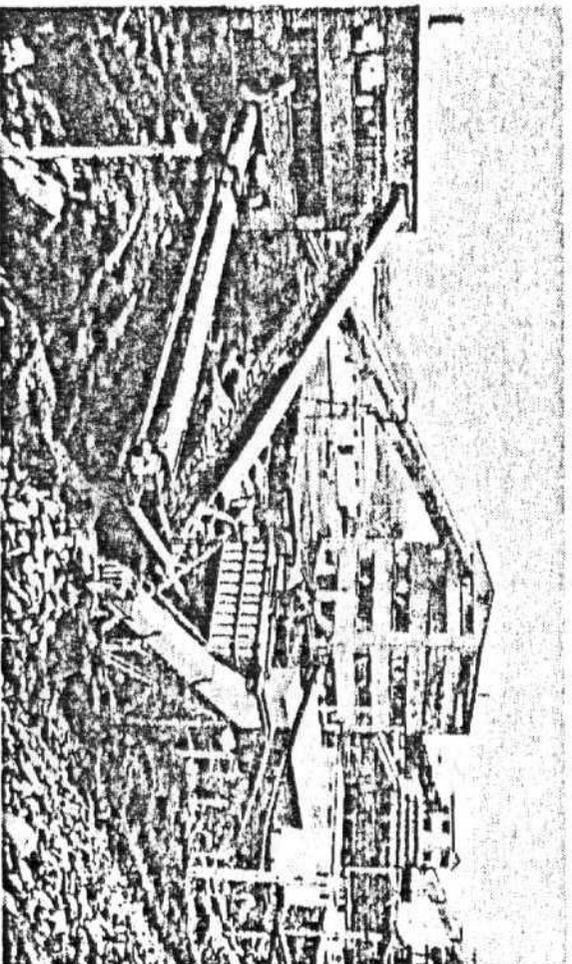
- Inversiones y costes.
- Preparación de la ingeniería de Proceso.
- Ejecución de los trabajos de ingeniería.
- Estudio de la rentabilidad.
- Estudio de sensibilidad y del riesgo de la inversión.

El presupuesto estimado para el Estudio de Factibilidad es de unos 15 millones de Pts, en las que se incluyen la participación española y la colaboración tecnológica extranjera.

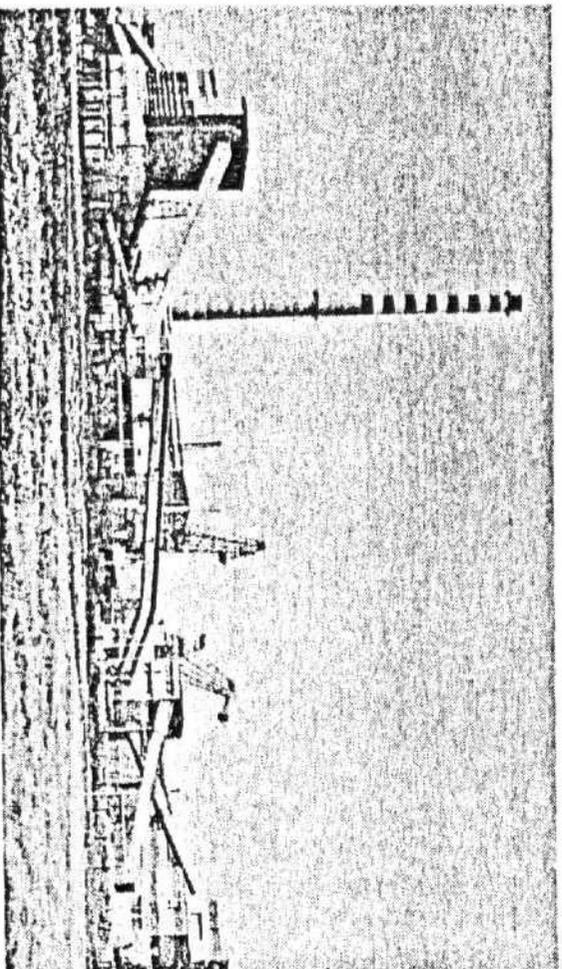
6.- REFERENCIAS



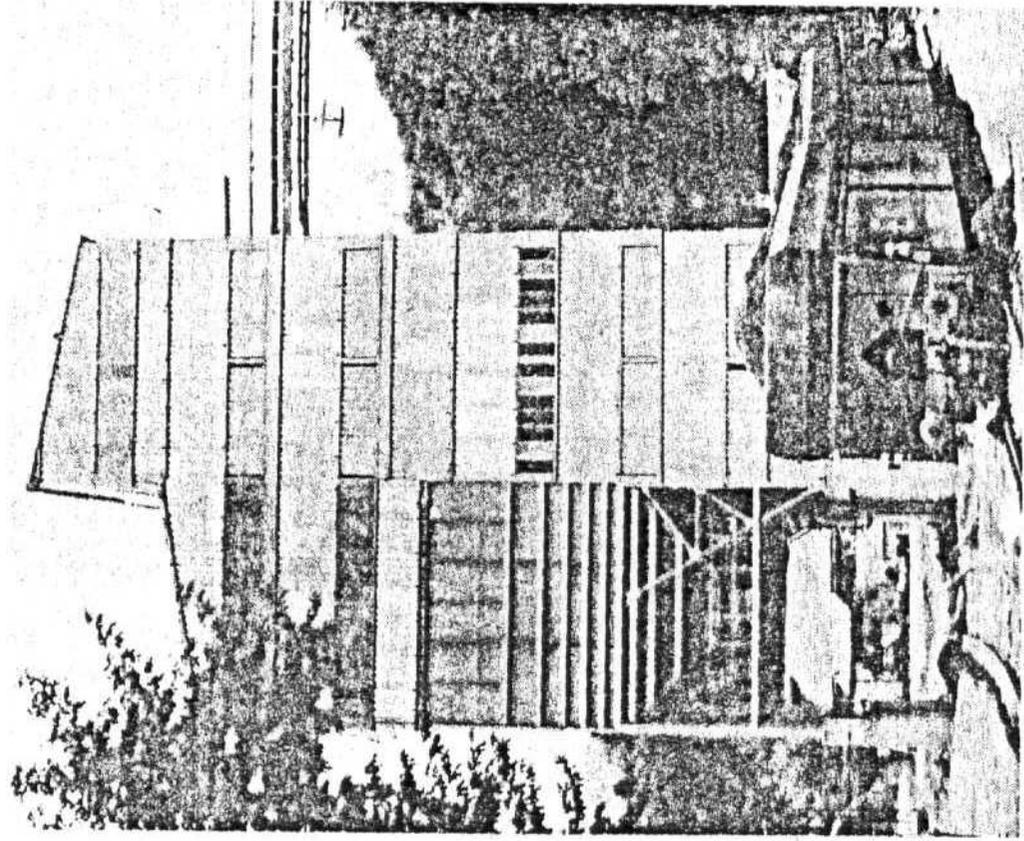
*HALDEX-Plant in Makaszowa (Poland)*



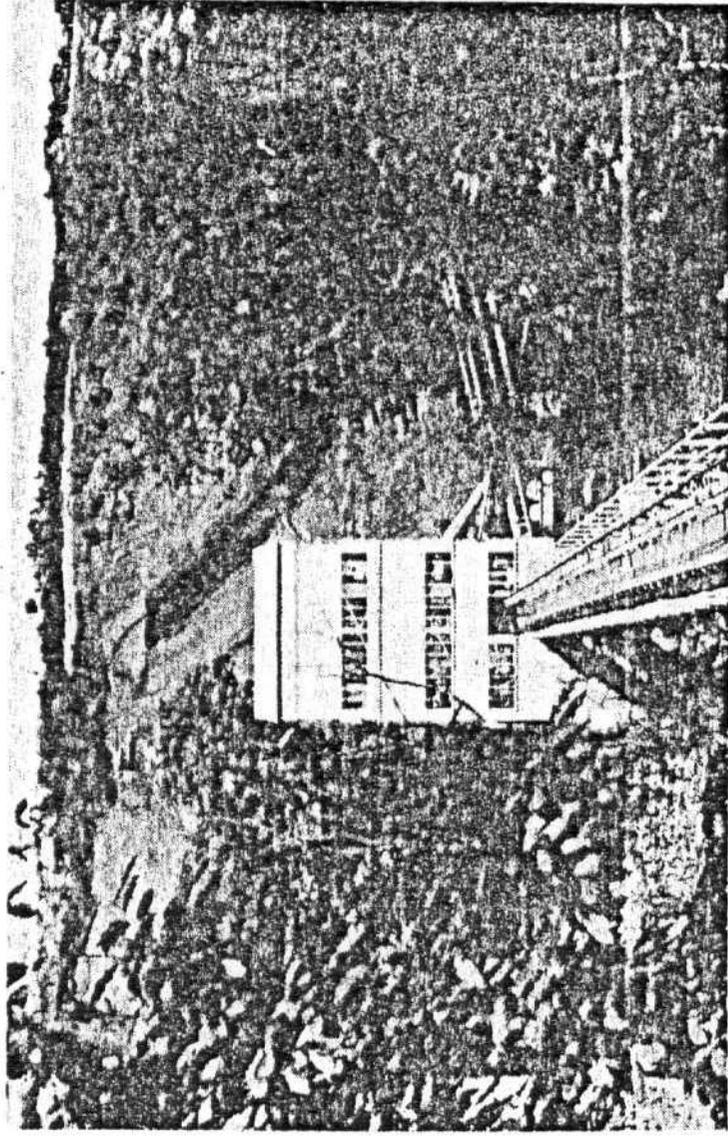
*HALDEX-Plant in Szombierki (Poland)*



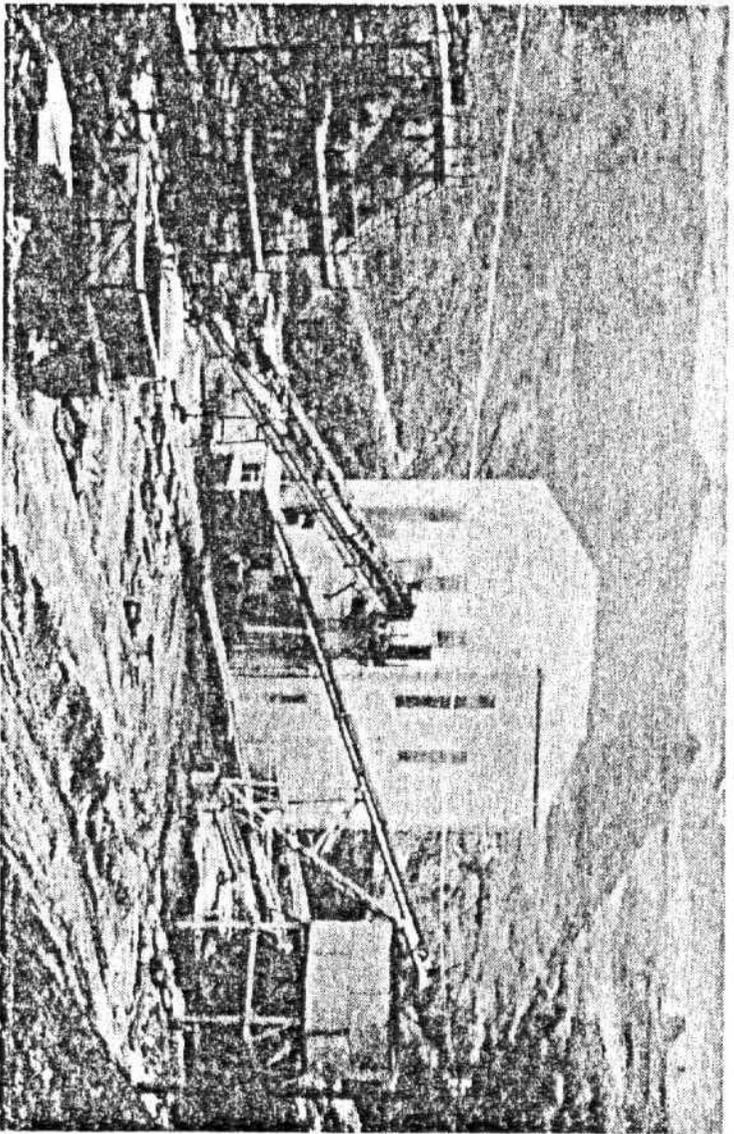
*HALDEX-Lightweight Concrete Aggregate (Aggloporit)-Plant in Michal (Poland)*



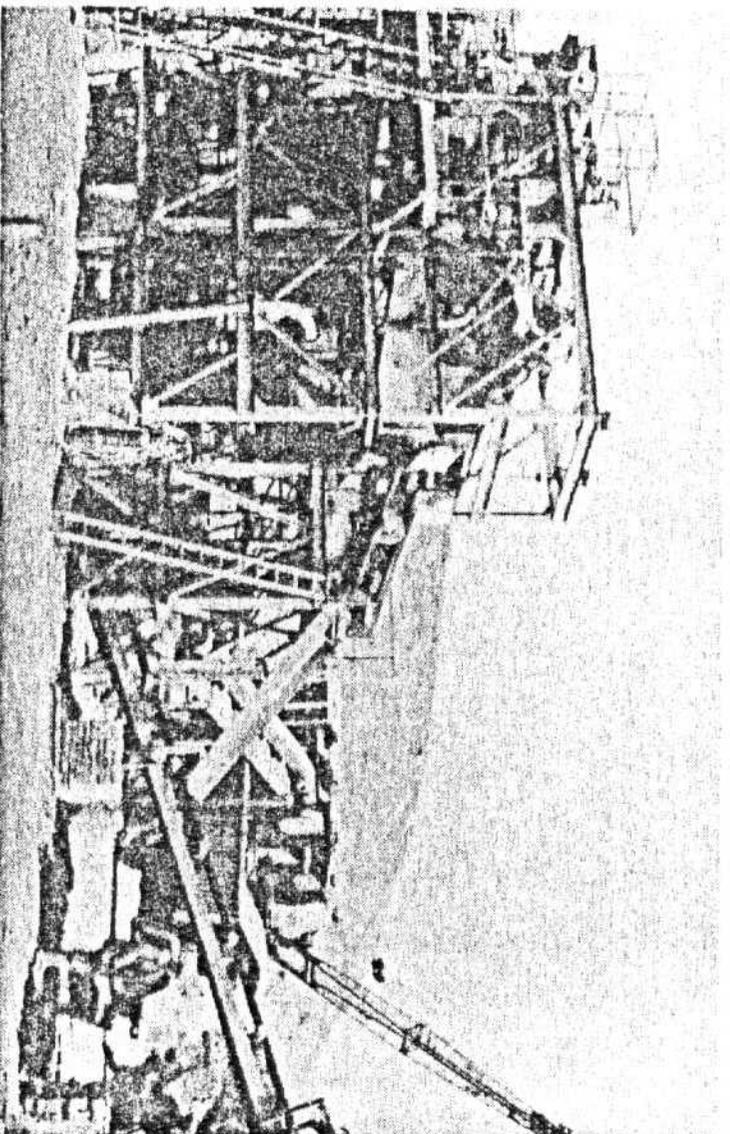
*HALDEX-Plant in Zonguldak (Turkey) Washery*



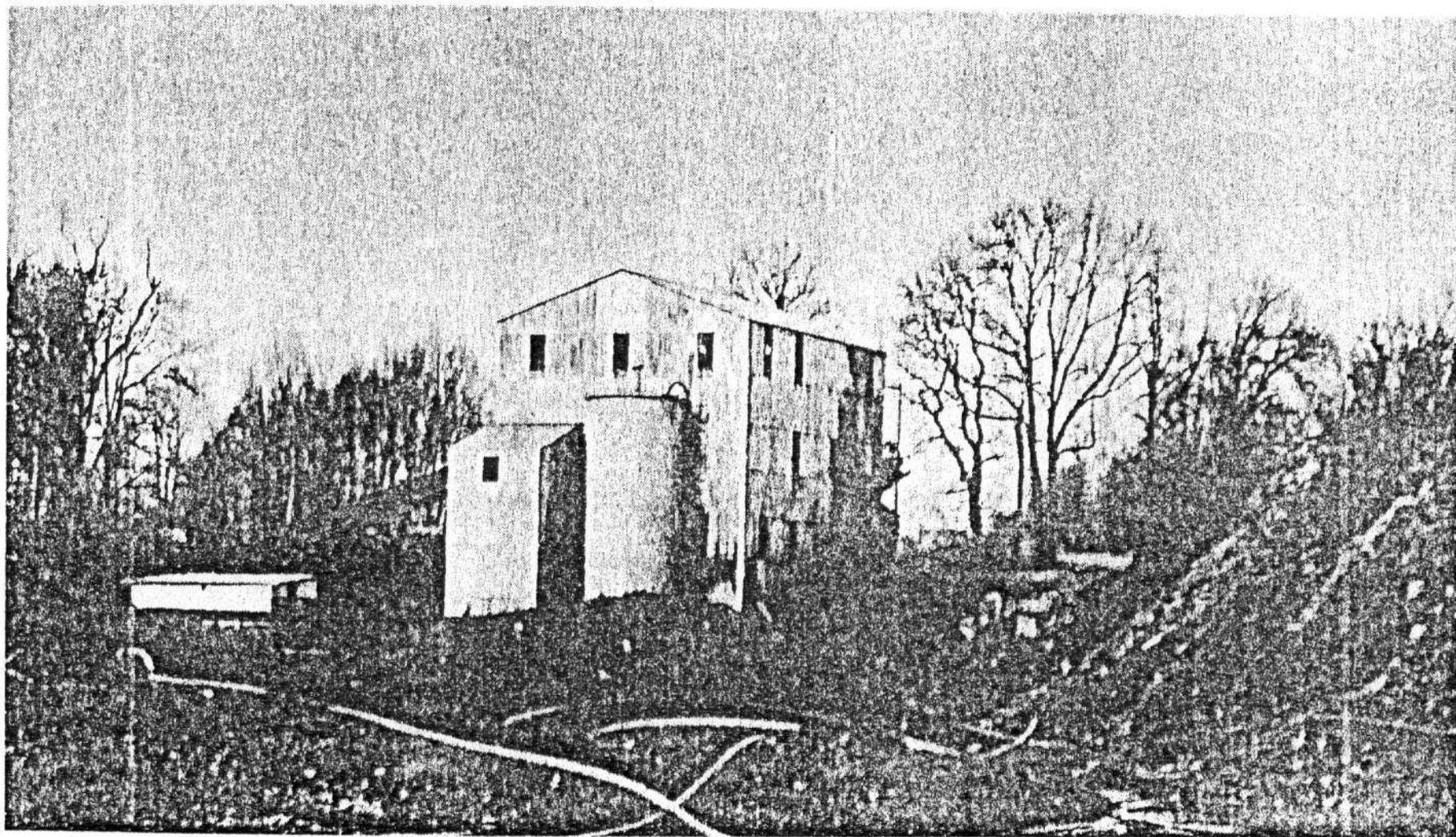
*HALDEX-Plant in Zonguldak (Turkey) Crushery*



*SIMDEX-Plant in CWM Park (Great Britain)*



*SIMDEX-Plant in Fourtain (Great Britain)*



*SIMDEX-Plant in Petit Try (Belgium)*