

- Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento -

616-51 ULTIMOS AVANCES DE LA INDUSTRIA CEMENTERA EN LOS ESTADOS  
UNIDOS

(Récents développements de l'industrie cimentière aux États-Unis)

J. Walter

De: "REVUE DES MATERIAUX", nº 443-444, Agosto-Septiembre 1952,  
pág. 233.

- - -

Consideramos de un gran interés para nuestros lectores el presente estudio sobre el desarrollo de la industria cementera en Estados Unidos durante el año 1951 y comienzos de 1952. Se trata de una excelente recopilación de las tendencias e innovaciones de mayor actualidad, con inclusión de datos concretos del máximo interés.

1951 señala el año de la mayor expansión de la industria cementera en los Estados Unidos. Al mismo tiempo que el potencial de producción ha aumentado considerablemente, la productividad ha dado un paso decisivo hacia adelante, sobrepasando los límites - que le habían sido asignados.

Las realizaciones durante el curso del citado año incluyen la edificación y puesta en marcha de tres fábricas completamente nuevas, la ampliación de 20 de las 154 fábricas existentes y la instalación de 13 nuevos hornos rotativos. Con ello, la capacidad de producción ha pasado de 43 a 45 millones de toneladas de cemento artificial por año, o sea, un aumento de cerca del 5%.

Al comenzar el año 1952 estaba en curso la edificación de otras dos fábricas completamente nuevas, así como la modernización total de dos fábricas viejas, realizaciones que han de añá -

dirse a las del año anterior. Estas cuatro unidades, que serán -  
puestas en servicio durante 1952, incrementarán en 700.000 Tm. el  
potencial productivo de la industria cementera norteamericana. -  
Por otra parte, en el curso del mismo año, se instalarán y pondrán  
en marcha 19 nuevos hornos rotativos.

En conjunto, el potencial productivo habrá aumentado en  
el 10% en 24 meses. De diciembre de 1950 a diciembre de 1952, se  
habrán puesto en marcha 32 nuevos hornos rotativos, a los que co-  
rresponde una capacidad de producción anual de 4,5 millones de to-  
neladas de clinker. Por consiguiente, la capacidad media de los -  
hornos instalados durante los dos últimos años se eleva a 140.000  
Tm/año, dirigiéndose aún la preferencia de los fabricantes de ce-  
mento, por razones de normalización, al horno de dimensiones me-  
dias, 3,35 x 115 m. Se han montado también, a título de ensayo, -  
algunos hornos largos, como el segundo horno de la Allis-Chalmers  
de 3,7 x 145 m., instalado <sup>por</sup> la Marquette Cement Co., o el primer -  
horno grande F.L. Smidth de 3,7 x 152 m. de la Penn-Dixie Cement  
Corp. Es preciso decir que estos hornos largos no sobrepasan de -  
momento una producción de 200.000 Tm/año, pues su explotación es-  
tá en fase de experimentación.

Este movimiento de expansión de la industria cementera  
tiene la particularidad de estar orientada hacia los Estados del  
Sur, siguiendo con ello la reciente emigración de la industria pe-  
sada hacia esas regiones. Esta ola de industrialización del Sur -  
lleva consigo un incremento considerable en la demanda de aglome-  
rantes artificiales y de materiales de construcción, y precisa, -  
en consecuencia, la edificación de nuevas instalaciones.

Un ejemplo característico de estas instalaciones es la  
fábrica de Brandon (Estado de Mississippi), de la Marquette Cement  
Company, realizada por la Allis-Chalmers, que representa bien la

tendencia a concentrar las secciones de una fábrica de cemento en un bloque compacto alrededor del patio de almacenaje (fig. 1).

Los programas de modernización presentan, en general, - las siguientes tendencias:

Instalación de las trituradoras secundarias en circuito cerrado con tamices vibrantes, a fin de controlar las dimensiones máximas del crudo destinado a la molienda. La dimensión más común adoptada es de alrededor de 12 mm.

Mejora de los sistemas de alimentación de los molinos - de bolas (Instalación de balanzas dosificadoras-registradoras para controlar la dosificación de los constituyentes).

Molienda del crudo en circuito cerrado, por vía seca o por vía húmeda, utilizando clasificadores de rastrillos en la - primera y separadores de aire en la segunda. Secado de los pro - ductos a molturar, durante la molienda en seco en circuito cerrado, por inyección de una corriente de aire seco en el sepa - dor.

Un incremento considerable de la capacidad de almacena - je de crudos, en particular en las fábricas de vía seca en las - que la homogeneización hace preciso un gran número de silos. Es - ta mayor capacidad asegura una reserva para la buena marcha de - las instalaciones y permite una explotación más flexible de las mismas.

Control del gasto en los elevadores, midiendo por medio de vatímetros la potencia consumida, y contraste de los aparatos de medida.

Mejora de los sistemas de alimentación de los hornos - rotativos, aislamiento térmico de la cubierta de los mismos, etc.

Una "instrumentalización" creciente de la marcha de los hornos por inclusión de aparatos de control que permiten seguir - todas las fases de la cocción y de la clinkerización: pirómetros que miden la temperatura en la zona de cocción por la radiación - de los refractarios, pirómetros que registran la temperatura de los gases, pirómetros que controlan la temperatura del clinker en los enfriadores, analizadores de oxígeno, termopares instalados - en distintas zonas del horno, etc.

Enfriamiento del clinker en enfriadores refrigerados - por medio de agua para recuperar el calor residual y facilitar la molienda del clinker por vitrificación previa de la parte fundida.

Molienda previa del clinker y almacenaje de corta duración en el patio. La mayor parte de las nuevas instalaciones funcionan con unas existencias de clinker prácticamente nulas; ya no se envejece el clinker.

Mejora de los sistemas de alimentación de los molinos - de clinker por inserción de balanzas dosificadoras-registradoras.

Molienda del clinker en circuito cerrado, con refrigeración de los separadores de aire por inyección de una corriente de aire fresco. Molienda del clinker en varias etapas. Control de la temperatura en el recinto de los molinos por inserción de termopares registradores, a fin de impedir que se sobrepasen las temperaturas límites.

Empleo intensivo de sistemas de recuperación de polvos, que realizan una selección de los mismos. Cada vez más, la recuperación se va efectuando en dos etapas: una separación grosera en un ciclón precipita los granos gruesos, y las partículas de gran finura se eliminan por separación electrostática. Este modo de actuar permite recuperar los polvos, que serán utilizados de nuevo

e introducidos en el circuito de fabricación del clinker, y eliminar los finos impalpables que son origen de cargas circulantes de polvo, que alcanzan a veces una magnitud prohibitiva. Se ha podido comprobar que, cuando las materias primas son ricas en álcalis, la recuperación selectiva del polvo permite eliminar los álcalis, perjudiciales, con los impalpables.

Recuperación y reutilización del polvo, en forma de nódulos que se suministran separadamente al horno, o bien en forma de polvos clasificados, que se añaden a los molinos de crudos a fin de homogeneizarlos bien con éstos.

Implantación en la mayor parte de las secciones de las fábricas de filtros de manga y de aspiradores, para evacuar los polvos en el mismo lugar de su origen. Particularmente los talleres de molienda se equipan cada vez más con estos sistemas, a fin de purificar la atmósfera e impedir la emanación de polvo a través de las ventanas de los edificios.

Aumento de la distribución a granel e incremento de las distancias servidas por este sistema.

Especialización de las fábricas, reduciendo las gamas de producción para hacer descender el precio de venta de los productos fabricados.

En lo que se refiere a procedimientos de fabricación del clinker, puede decirse que la vía húmeda conserva su preponderancia. No obstante, las nuevas instalaciones poseen cada vez más hornos que funcionan por vía seca, y este procedimiento está recuperando el terreno perdido porque es económico desde el punto de vista del calor consumido. Es verosímil que, en los años próximos, sean más numerosas las instalaciones de vía seca, por haberse mejorado la homogeneización de los crudos molidos; hasta el punto -

que la variación del contenido de  $\text{CaCO}_3$  no pasa de  $\pm 0,15\%$ . La nueva fábrica de Lone Star pone de manifiesto que parece preferirse la homogeneización mecánica a la agitación neumática.

La disposición de las nuevas fábricas se asemeja a la forma de una L, como pone de manifiesto la fig. 2, estando constituida la rama larga por la sección de hornos, y la rama corta por el patio de almacenaje, los talleres de molienda, etc. Se tiene a concentrar las instalaciones para aproximar y facilitar el acceso a las diferentes secciones. Resultan de aquí en el interior de la fábrica unas menores distancias a recorrer por el personal y por los materiales con que se trabaja.

El resultado de las mejoras de detalle y de conjunto realizadas en el curso de los diez últimos años ha sido un incremento en la productividad de las fábricas. Para una mano de obra igual, se fabrica un 30% más de cemento en 1951 que en 1939. Sin embargo, no se han utilizado las instalaciones más allá del 81 al 90% de sus posibilidades.

Se menciona el caso de una fábrica que ha aumentado su capacidad de producción en el 90% desde 1945 a 1952: el 75% solamente por un equipo nuevo, debiéndose el 15% restante a una mejor utilización de los aparatos y a modificaciones en el sistemas de proceder.

Con relación a 1926 el precio del cemento en los Estados Unidos corresponde actualmente a un índice de 47,2 (el de los materiales de construcción es de 123,6 y el de la madera de 244). Esta cifra de 47,2 es tanto más honrosa cuanto que entre 1926 y 1952 se han elevado considerablemente los costes de la mano de obra y de las máquinas industriales.

Las generalidades precedentes sobre los actuales esfuerzos para modernizar las instalaciones para la fabricación del ce-

mento se concretan en el artículo con varios ejemplos sumamente ilustrativos.

El primero es el de la fábrica de Permanente, de la Permanente Cement Corp., en la que se ha instalado un sistema de recuperación de polvo, inédito y particularmente interesante. Esta potente planta comprendía hasta 1951 4 hornos; recientemente se ha montado un quinto para fabricar clinker a partir de nódulos de polvo, sin modificar notablemente las secciones de preparación de crudos y de molienda del clinker. El nuevo procedimiento de nodulización del polvo ha permitido incrementar en 230.000 Tm. la producción anual de cemento de la fábrica, que, en lo sucesivo, producirá 1.200.000 Tm. anuales.

La fábrica de Permanente fabricaba el clinker a partir de una materia prima difícil de tratar. La cantidad de polvo producida se elevaba al 30% del clinker fabricado. Una gran parte de este polvo era introducida de nuevo en el ciclo de fabricación, del modo usual, añadiéndola a la pasta con que se alimentaban los hornos. Este procedimiento, ortodoxo por otra parte, presentaba el inconveniente de que no eliminaba los polvos. Peor aún, daba lugar a la formación de importantes cargas circulantes, que alcanzaban la cifra prohibitiva del 30%. Este polvo disminuía la capacidad neta de los hornos, exigía un dispositivo de recuperación engorroso y complejo, era origen de la formación de anillos en los hornos y obstaculizaba la elaboración de un clinker de calidad y composición constantes, a causa de su elevado contenido de CaO libre y de SiO<sub>2</sub>.

La falta de espacio puso a los técnicos de Permanente en la obligación de encontrar un procedimiento de eliminación de polvo que sacase el mejor partido posible de las instalaciones existentes, sin necesidad de ampliar el área de la fábrica, que se encuentra enclavada en el fondo de un valle.

Así pues, se pensó en la nodulización del polvo para - eliminarlo o recuperarlo, con el fin de disminuir el influjo per judicial de su reintroducción en el ciclo de fabricación sobre - la producción de clinker. Se ha puesto de manifiesto, por medio de ensayos de laboratorio, que, con nódulos químicamente equili- brados, puede alimentarse un horno y obtenerse un clinker de ca- lidad.

Se realizaron ensayos para encontrar la mejor forma de granulación. Dió excelentes resultados la mezcla del polvo con - una lechada de arcilla. Otro procedimiento que consistía en mez- clar previamente en seco el polvo y la arcilla, y humedecer des- pués la mezcla, no dió buenos resultados. Era precisa una nueva adición de agua, mientras que el anterior procedimiento permitía el empleo de una pasta de arcilla de las producidas en la fábr- ica para la corrección de las pastas. Era, pues, más ventajosa la primera fórmula de granulación.

En vista de los resultados concluyentes de estos ensa- yos se decidió pasar a la etapa de experimentación semiindustrial. Esta puso de manifiesto una considerable economía de combustible, un incremento en la producción neta del horno de ensayo, una re- gularidad de marcha desconocida hasta entonces y una importante - disminución en el porcentaje de polvo producido. Igualmente se - sacaron útiles enseñanzas en lo que concierne al control de la - mezcla destinada a la granulación. En efecto, era preciso asegu- rar la constancia de las características físicas y químicas del - material de alimentación del horno, así como la regularidad de - marcha de éste. Se han puesto a punto dispositivos especiales pa- ra sincronizar la alimentación de la pasta, la alimentación de - gránulos y la rotación del horno; por otra parte, han debido mo- dificarse las cortinas de cadenas para tener en cuenta las nuevas condiciones de marcha.



Habiendo sido muy alentadores los ensayos en escala semiindustrial, se decidió pasar a la recuperación industrial y añadir a la fábrica, a este fin, un quinto horno. Este se alimentaría exclusivamente con nódulos, absorbiendo la totalidad de los polvos producidos en la fábrica, y estaría equipado con un sistema de introducción de nódulos por medio de cucharas. Además otro horno, de los 4 restantes, se equiparía igualmente para poder ser alimentado con nódulos o para absorberlos en caso de parada del quinto horno.

En la fig. 3 se indica el esquema de la recuperación industrial. El polvo recogido en el Cottrell se almacena en una tolva de fondo cónico, de 120 Tm. de capacidad, en cuyo interior se impide la segregación por agitación mecano-neumática. Por medio de tornillos sin fin y elevadores se conducen los polvos a los dos trommels de granulación. Estos giran con una misma velocidad periférica de 1,06 m/seg. La lechada de arcilla, cuya densidad es controlada y registrada automáticamente por un densímetro Foxboro, se mantiene en una tina con agitación neumática y es propulsada por una bomba revestida de caucho.

El polvo que se desprende en la zona de entrada en el horno de los nódulos y el que se produce en los trommels, es conducido de nuevo a las cámaras Cottrell. Pero el polvo que se produce en la entrada en el horno de los nódulos es transportado por medio de gases húmedos. Así, para evitar la condensación, y la coagulación de las conducciones, se ha previsto una insuflación de aire caliente que mantiene la temperatura por encima de 100° C.

La instalación de nodulización es capaz de tratar 1000 Tm. de polvo en el espacio de 24 horas y de producir gránulos de consistencia media, de 25 mm. de diámetro por término medio. Los nódulos contienen un 18% de agua; este contenido se controla rigu

rosamente y su variación no puede pasar de  $\pm 1\%$ . La lechada de arcilla contiene, según sea preciso, del 12 al 16% de sólidos, de una finura correspondiente al 10% de residuo en un támiz de malla 200 ( $74\mu$ ). Esta lechada se mezcla con el polvo en una proporción del 3 al 5%, referida al peso seco. La temperatura de los gases en el interior del horno, en el punto de carga de los nódulos, es de 650 a 700° C. La marcha industrial de este quinto horno está todavía en vías de experimentación; es alimentado, de momento, con un 50% de nódulos. Los productos con que se alimenta el horno tienen una humedad media del 26 al 27%. Este horno es capaz de cocer una mezcla cuyo contenido en nódulos varíe entre el 10 y el 75%, estando constituido el resto por una pasta.

En enero de 1952, 6 meses después de puesto en marcha este quinto horno, se habían obtenido los siguientes resultados, en comparación con la marcha de los otros 4 hornos sin granulación: la pasta se han podido concentrar hasta un 36-39% de agua, en lugar del 40-44%; el quinto horno recibe una mezcla con un 26-27% de agua. El consumo de calor por tonelada de clinker producida por la fábrica en conjunto ha descendido en el 6,5%. Estos resultados serán superados cuando este horno marche alimentado exclusivamente con nódulos y otros hornos reciban una alimentación mixta.

Las ganancias reales obtenidas hasta el momento presente por la instalación del nuevo horno exceden de lo previsto en un 10-11%, a consecuencia de la inclusión del proceso de granulación. En realidad, la capacidad de la fábrica ha aumentado en un 28%, y no en un 25%, como se había previsto; así pués, la nodulización ha conferido a la fábrica un aumento de capacidad del 3%.

En segundo lugar, la nodulización ha reducido en un 25% la cantidad de polvo producida, siendo así que la inclusión de un

quinto horno permitía prever un aumento del mismo orden. En lo sucesivo, habrá un 40% menos de polvo a recoger, y, con ello, se consumirá únicamente el 55% de la energía que se gastaba cuando funcionaban 4 hornos sin nodulización. Además, la disminución del volumen de polvos ha permitido simplificar el dispositivo de captación de los mismos.

Por otra parte, la nodulización ha influido favorablemente sobre la marcha de la cocción. Esta es más regular, los fallos del revestimiento refractario son menos frecuentes y las campanas de marcha se han prolongado considerablemente. Estos efectos beneficiosos actúan igualmente en el sentido de un aumento de capacidad.

En resumen, la granulación y la instalación de un quinto horno han dado lugar en la fábrica de Permanente a un aumento real del 29,5% de la capacidad de producción, por supresión de las cargas circulantes de polvo.

El sistema de recuperación de polvo ha sido puesto a punto por los técnicos de la Permanente, en colaboración con la F.L. Smidth (se ha registrado una patente, propiedad de la Permanente Cement Company).

Otro interesante ejemplo sobre las actuales tendencias, incluido en el artículo, son las innovaciones que, en materia de molienda en circuito cerrado, supone la nueva fábrica de Lone Star

La molienda del crudo se realiza en dos molinos de bolas de 2,9 x 4,58 m., que funcionan en paralelo, y cada uno en circuito cerrado con un separador de aire de 4,9 m. (fig. 4). En los separadores se inyecta una corriente de aire caliente a fin de secar el material que pasa a través de los mismos.

Los circuitos cerrados de la fábrica de Lone Star presentan un montaje muy especial e inusitado: la alimentación de las materias primas se realiza en el separador y no en el molino. De este modo se evita una molienda excesiva. El material de alimentación procede de un molino de martillos en circuito cerrado con un tamiz; así pues, posee una dimensión controlada -12 mm.- y ya contiene finos, pues el molino de martillos tiene cierta tendencia a producirlos.

Como el único material que se envía al molino en este tipo de circuito es aquel cuya molienda se requiere, el consumo energético propiamente dicho es reducido. Por otra parte, se produce menos polvo impalpable, porque es imposible una molienda excesiva. Finalmente, la carga circulante se mantiene en un valor bajo y fácil de controlar.

El aire de secado se aspira del separador por medio de un filtro de manga a fin de recuperar los finos. Los separadores, así como las tuberías de conducción de aire caliente y de envío de aire hacia el filtro, están revestidos exteriormente con lana de vidrio, a fin de evitar pérdidas de calor por radiación.

Los resultados actuales de la sección de molienda del crudo son los siguientes, para 2 molinos de bolas en circuito cerrado:

Producción media mensual . . . . .	72 Tm. netas por hora
Finura de molienda . . . . .	7,5% de residuo en la malla 200 (74 $\mu$ )
Carga circulante . . . . .	300%
Humedad del material de alimentación . . . . .	3,5% (media) 7 % (máxima)
Humedad del producto molido . . . . .	inferior al 0,5%

Consumo de energía:

2 molinos . . . . .	1.000 Kw.
2 separadores de aire . . . . .	129,6 Kw.
2 elevadores que enlazan los molinos con los separadores . . . . .	33,8 Kw.
2 ventiladores de aspiración . . . . .	48,6 Kw.
2 hogares auxiliares para calentar el aire, de diversa manutención . . . . .	<u>41,7 Kw.</u>
	1.271,9 Kw.
Transporte neumático Fuller Kinyon	139,1 Kw.

Kwh/Tm. netos:

En los molinos . . . . .	13,9
En los elementos auxiliares . . . . .	<u>3,8</u>
Total . . . . .	17,7
En el transporte Fuller Kinyon . . . . .	1,94

Cantidad de calor consumida para el secado:

4,3 l. de fuel por tonelada neta,  
36.200 cal. por tonelada neta secada,  
12.900 cal. por tonelada de cemento -  
producido en la fábrica.

La molienda del clinker en circuito cerrado presenta - la particularidad inversa a la de la molienda del crudo: el clinker que se está moliendo se refrigera por inyección de aire fresco en el separador.

La fig. 5 representa el circuito de molienda y la fig. 6 la sección del separador. El cemento molido abandona el separador a una temperatura inferior a 64° C. Cuando es preciso controlar el interior del separador o del filtro de manga, la inyección de aire fresco permite descender instantáneamente la temperatura

de estos recintos y el rápido acceso a los mismos, lo que significa una menor pérdida de tiempo en el control.

La molienda del clinker en Lone Star tiene lugar en tres circuitos paralelos, que comprenden idénticos aparatos: un molino dividido en 3 secciones, de 2,5 x 9,8 m., un separador de aire de 4,9 m., un filtro de manga y un aspirador. Los resultados obtenidos hasta el momento presente son los siguientes:

Producción neta por molino . . .	18,8 Tm/h.
Finura obtenida . . . . .	4-5% de residuo en la malla 325 - (44 $\mu$ )
Superficie específica . . . . .	1.750-1.800 cm <sup>2</sup> /g.
Carga circulante. . . . .	400%
Consumo del motor de cada molino.	640 Kw.

Kwh/Tm. neta de cemento:

En el molino . . . . .	34
En los elementos auxiliares . . .	<u>6,6</u>
Total . . . . .	40,6

Finalmente, se menciona la corrección de pastas por flotación llevada a cabo actualmente por la Universal Atlas Cement - Company en Northampton. Las calizas utilizadas en esta fábrica son pobres en CaCO<sub>3</sub>. Se impone, pues, un enriquecimiento de las pastas.

Desde 1940 viene funcionando una instalación piloto para poner a punto el tratamiento más apropiado para las mencionadas calizas. Los resultados de la experimentación semiindustrial se han aprovechado para montar una sección industrial de tratamiento, cuyo esquema se representa en la fig. 7.

La pasta, cuyos constituyentes sólidos han sido molidos hasta una finura de 10% de residuo en la malla 200 (74 $\mu$ ), y que ha sido concentrada hasta un 25% de materia sólida, se acumula en

un primer espesador de 61 m. de diámetro para elevar la concentración al 54%. De aquí, pasa a una mezcladora que la diluye al 34% de materia sólida y, a continuación, a un separador centrífugo, - que reduce el tamaño de las partículas a 30  $\mu$ .

La pasta con que se alimenta el separador tiene un contenido de  $\text{CaCO}_3$  del 72%, el concentrado recogido del 75% y las - aguas que se separan de alrededor del 71%. La pasta concentrada - se conserva para servir de correctivo, y las aguas son conducidas a las células de flotación, después de diluidas a un contenido de sólido del 17%.

La sección de flotación comprende 3 series de 18 célu - las. La célula en cabeza de cada serie sirve para eliminar los - fragmentos de grafito contenidos en la pasta; las células restan - tes sirven para flotar el  $\text{CaCO}_3$ . La experiencia ha puesto de mani - fiesto que es más económico flotar el carbonato cálcico que los - silicatos y las impurezas.

El material que pasa a las células de flotación tiene - un contenido de  $\text{CaCO}_3$  de alrededor del 71%. Después de la flota - ción, este contenido se eleva al 84%. Las aguas de desecho contie - nen aún un 10% de sólidos, lo que representa un 30% de  $\text{CaCO}_3$  en - el residuo. El concentrado de la flotación se almacena en un se - gundo espesador de 61 m. de diámetro.

Como pone de manifiesto el esquema, la alimentación de los hornos está constituida por una mezcla de la pasta original - (33%), del concentrado de centrifugación y de pasta enriquecida por flotación.

El procedimiento descrito ha demostrado ser de explota - ción muy económica y ha dado excelentes resultados.

- 16 -

El autor promete la publicación de ulteriores notas técnicas sobre los progresos más recientes, es decir, sobre los realizados en el curso de 1952.

- - -



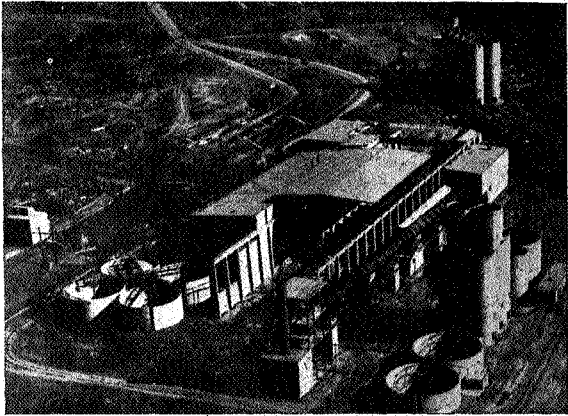


Fig. 1.

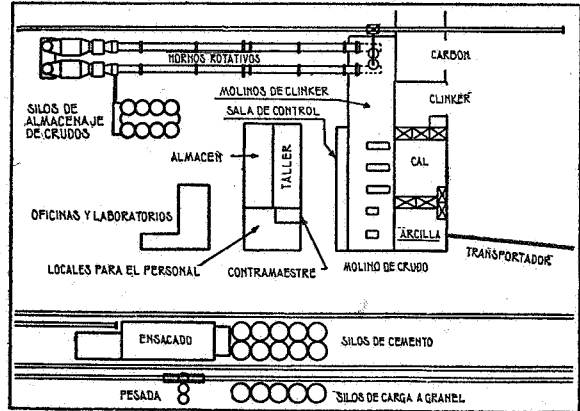


Fig. 2.

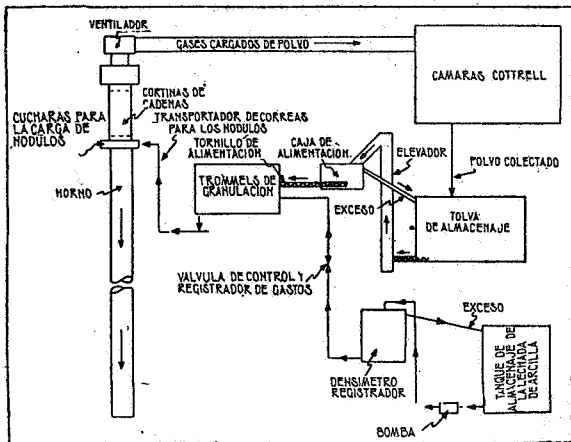


Fig. 3.

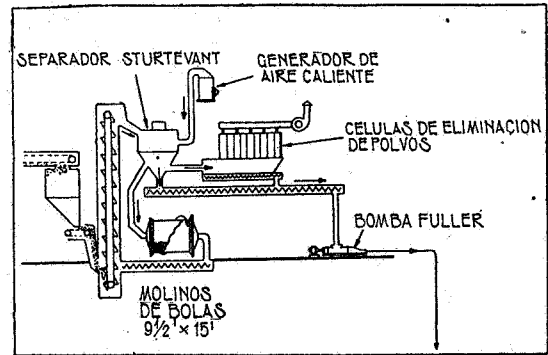


Fig. 4.

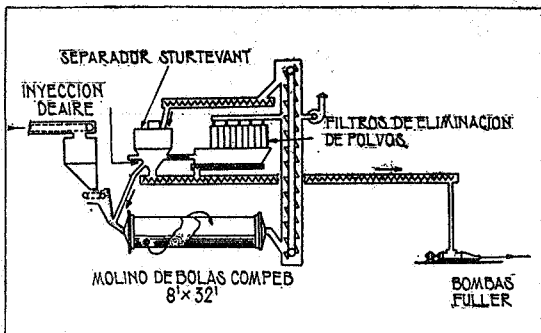


Fig. 5.

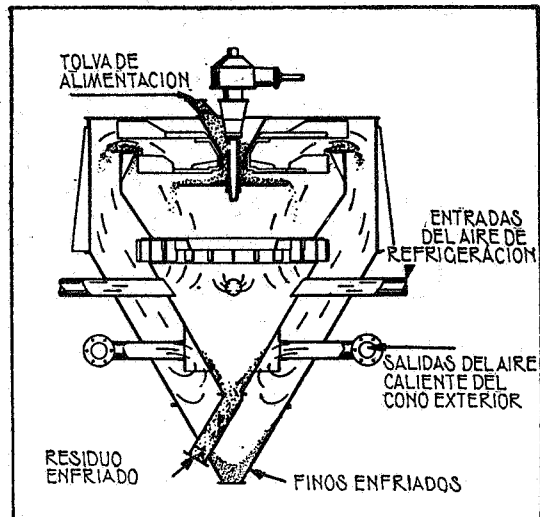


Fig. 6.

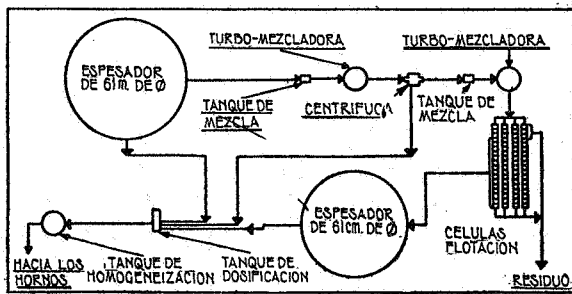


Fig. 7.

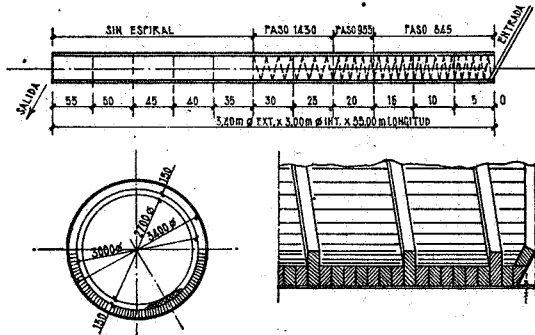


Fig. 9.

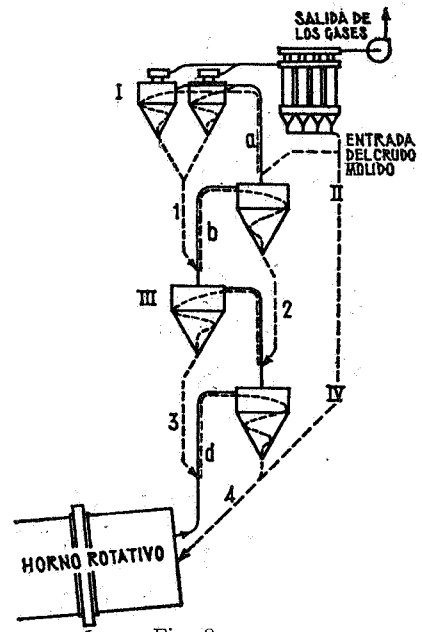


Fig. 8.

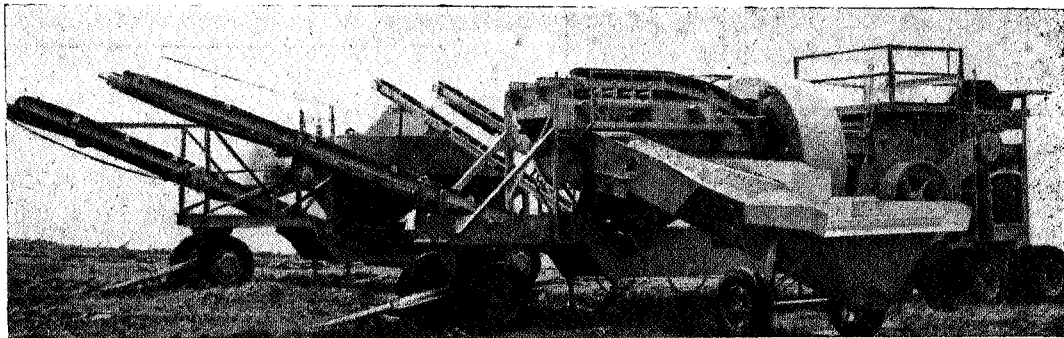


Fig. 10.