

tendencias actuales en la construcción de maquinaria para la fabricación de cemento

**Conferencia de la reunión de la Asociación Alemana
de Fábricas de Cemento el 13 de Septiembre de 1960 en Salzburgo**

(«Zement-Kalk-Gips», febrero 1961, pág. 41.)

A. BELLWINKEL



1. Introducción

La producción de la industria alemana del cemento en la Zona Occidental ha experimentado un gran desarrollo en el pasado año. El aumento de un 23 %, aproximadamente, en la venta de elementos de construcción motivó un incremento de un 18 % en el consumo de productos de la industria del cemento, en comparación con el año anterior. Comparado con el crecimiento normal del 9,8 % en Ejercicios anteriores, este aumento presenta unas exigencias anormales frente a la capacidad de producción de las fábricas. Este efecto resultó ser más considerable en la Zona sur de Alemania con un 23 %, mientras que en la Zona norte solamente se apreció un 13,5 % de aumento. Este desarrollo inesperado hizo que las fábricas de cemento, que en los años 1956 al 1959 habían montado nuevos hornos con un aumento de, aproximadamente, un millón de toneladas al año en la producción, se vieran ante la necesidad de ampliar su capacidad a marchas aceleradas. Si consideramos, por otra parte, los viejos hornos que se hallaban todavía en funcionamiento desde hace más de cincuenta años, no nos puede asombrar que en la época 1959-60 se encontrasen en construcción hornos para una producción equivalente a 3 millones de toneladas por año de producción de clínker, considerándose, al mismo tiempo, que en el presente año tengan lugar pedidos para otras unidades de hornos. Como al mismo tiempo deben adquirirse nuevas instalaciones de trituración y de mollienda, así como también otros dispositivos, aparece una necesidad de maquinaria para la industria del cemento de Alemania occidental en una medida no conocida hasta la fecha, que sobrepasa ampliamente las inversiones del año 1959: aproximadamente en 150 millones de DM. Bajo estas circunstancias se han realizado proyectos en todas las fábricas, y todavía se están realizando estudios con objeto de apreciar la tendencia que se refleja en el desarrollo de la maquinaria para el cemento.

2. Influencias sobre el desarrollo

Primeramente vamos a considerar los influjos a los que se encuentra sometido el desarrollo de la maquinaria del cemento.

Las 95 fábricas de cemento de la Alemania Occidental aparecen distribuidas con mucha uniformidad en toda la Zona Federal alemana. Las relaciones conocidas del mercado originan, en consecuencia, en primer lugar, una competencia en lo que respecta a calidades. Esta lucha exige una preparación cuidadosa de las materias primas para la elaboración de un clínker bueno, con el fin de poder conseguir un cemento uniforme y de elevada calidad.

Las exigencias que se fijan para los dispositivos mecánicos se refieren, principalmente, a los dispositivos dosificadores, a los dispositivos de mezcla y, también, a los aparatos de molienda, elementos todos que, justamente por los motivos indicados, han sufrido un desarrollo técnico especial. Al mismo tiempo se realiza una amplia racionalización, ya que, de lo contrario, no hubiera sido posible mantener hoy día el precio de la producción de cemento, que, según el índice del año 1957, era de 214 (calculado sobre la base de 1938), en oposición al caso del carbón, nuestro combustible más importante, cuyo índice ha aumentado en el mismo tiempo de 378 a 402.

La República Federal tiene precios más elevados en los combustibles en comparación con los países nórdicos vecinos, con un coste de explotación superior en más de un 40 %; y, en consecuencia, se ha fomentado especialmente el desarrollo de los sistemas de hornos. En nuestras fábricas se han creado hornos Lepol, precalentadores de gases, calcinadores y concentradores, como también hornos verticales de alto rendimiento, elementos todos ellos que son actualmente de interés general para la industria del cemento en todo el mundo. Los efectos del elevado coste de los combustibles en las fábricas que trabajan con la vía húmeda es preciso tenerlos muy en cuenta.

Puede apreciarse que existe una reducción en la producción de cemento por vía húmeda, incluso en los casos más favorables de hornos con un consumo de combustible superior en un 40-50 % a los de vía seca. La proporción anterior de fábricas de vía húmeda (un total de 11), que representaba aproximadamente un 25 % de la producción de Alemania, se ha reducido en el último año a un 22 %, y todavía sufrirá un descenso mayor. Cuando, por la naturaleza de las materias primas, no es posible desligarse del proceso de vía húmeda, por tenerse que separar el pedernal o los guijarros de la greda por el procedimiento de la pasta, resulta lógica una transformación o reforma al procedimiento de vía seca (2) (con un remanente de humedad de 15 a 18 %) por la que ya se han decidido tres fábricas; otras fábricas estudian detenidamente este problema. Una tendencia similar se observa también en Inglaterra, país clásico en el procedimiento de vía húmeda. Incluso en los Estados Unidos, donde hasta 1945 se trabajaba exclusivamente con instalaciones de vía húmeda, se pasó al procedimiento de vía seca en forma creciente después de la última guerra mundial, por haberse convencido que empleando modernas instalaciones para la mezcla y homogeneización de crudos pueden obtenerse cementos de igual calidad con la vía seca (3). A pesar de esto, en los Estados Unidos, un 55 a 60 % de las fábricas todavía trabajan por la vía húmeda con un consumo medio de 2.150 kcal/kg de clínker, frente a 1.200-1.700 kcal/kg de clínker en la República Federal Alemana.

La preparación más cuidadosa de las materias primas exige una molienda más fina y una homogeneización mejor antes de efectuar la cocción, lo que representa, además de un desgaste mecánico mayor, un aumento en el número de kWh por tonelada de cemento, si el desarrollo de procedimientos y maquinaria no nos ofrece un ahorro de energía. Esto no solamente afecta a los nuevos dispositivos para la preparación de los crudos, sino también a los de preparación de cemento. Las fábricas que disponen de materias primas favorables trabajan actualmente con un consumo de 75 a 80 kWh por tonelada de cemento, pero simultáneamente existen consumos de 120 a 140 kWh por tonelada de cemento, cuando se trabaja con materiales duros y escorias siderúrgicas; estos valores no deben asustarnos si tenemos en cuenta el consumo medio de los Estados Unidos, que es de 145 kWh por tonelada.

En relación con los gastos de fabricación, debe también considerarse de notable importancia la mano de obra, aunque su influencia sea menor.

El número de empleados en la industria del cemento alemana es de 21.500 personas aproximadamente, lo que representa una productividad de unas 1.100 toneladas/hombre/año; por cada tonelada de cemento se tienen que considerar dos horas de trabajo aproximadamente. Esto resulta, sin duda, elevado, frente a las cifras de Estados Unidos, donde en 1957 se obtuvo una media de 1,4 horas por tonelada—3,75 h/t como valor más desfavorable y 0,8 h/t como mejor rendimiento— (3). Si consideramos los gastos de un trabajador alemán en unos 8.000 DM por año, el coste por salarios en la producción de cemento resulta ser superior a 7,50 DM por tonelada. Como el salario de nuestra industria aumenta, en proporción, más de prisa que la productividad, este punto se debe tener en cuenta como muy importante en el proyecto y construcción de la nueva maquinaria. Otra influencia sobre el desarrollo aparece motivada por la falta de mano de obra; los operarios exigen condiciones de mayor facilidad y comodidad en el trabajo, es decir, disponer de naves de trabajo exentas de polvo y sin exposición a un calor y ruido excesivos.

Por parte del Estado (disposiciones oficiales) se fijan exigencias que tienen cierta influencia en el desarrollo de la maquinaria. En los últimos años, además del funcionamiento continuo de las

instalaciones de hornos, trabajaban también las instalaciones de los molinos durante los domingos, porque el personal de control resultaba reducido y las reparaciones que se efectuaban entre semana precisaban más personal y especialistas, ya que durante los domingos el trabajo no se tenía que realizar. Esta ocupación de los operarios, los sábados, los domingos y días festivos, se va a limitar todavía más, si se considera que en adelante se dispondrá únicamente de un horario de trabajo por semana de cuarenta horas. Todo esto no puede dejar de considerarse en los dispositivos mecánicos de las fábricas y debe conducir a una más amplia automatización de las instalaciones. Tampoco se deben olvidar las disposiciones cada día más severas para conservar puro el aire y proteger los contornos de la fábrica frente a cualquier tipo de emisiones.

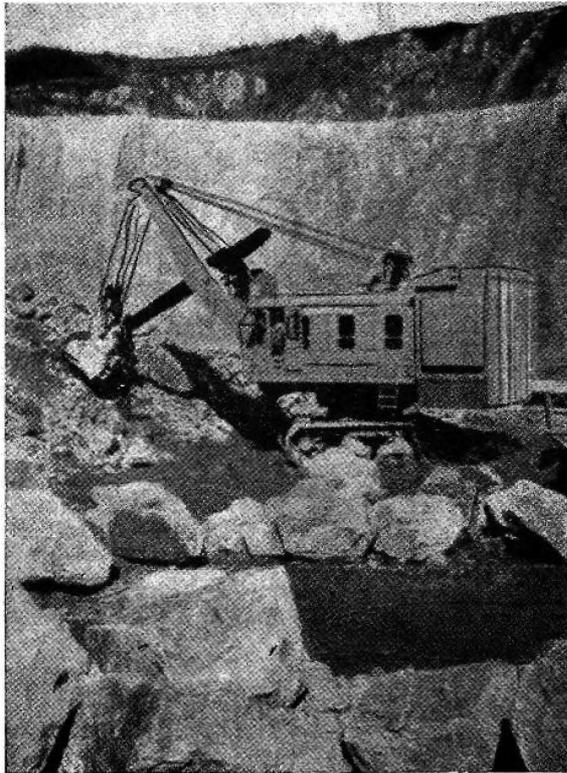
La capacidad acertada del rendimiento para la nueva maquinaria no se determina únicamente por la amplitud de la fábrica, si se toma como condición que las posibilidades de venta y la inversión de capital no pueden determinar, por sí mismas, el tipo de la maquinaria. En la República Federal Alemana predominan las fábricas pequeñas: aproximadamente 50 fábricas producen menos de 200.000 t de cemento al año; 20, menos de 100.000 t, y 15 fábricas, más de 400.000 t. La fábrica más grande ha producido en el último año 1.600.000 t de cemento, aproximadamente. Hay muchos puntos de vista cuando se tiene que estudiar cuál debe ser la capacidad de una nueva máquina. De los hornos pedidos en el pasado año, solamente dos son para una capacidad de 400 toneladas/día. La mayoría de ellos se han proyectado para 500 a 800 toneladas, y las fábricas mayores, que tienen una producción anual de más de 600.000 toneladas, disponen de hornos con un rendimiento por día de 800 a 1.000 toneladas. En lo que se refiere a las instalaciones de molienda, en la última temporada ya no se han construido molinos para crudo y para cemento con un rendimiento inferior a 15 toneladas/hora. Las fábricas mayores se han decidido por nuevos molinos de cemento de 80 toneladas/hora e instalaciones de molienda y secado de 100 toneladas/hora.

Estas disposiciones permiten apreciar que en las fábricas pequeñas se debe disponer de una nueva capacidad que pueda sustituir por lo menos la mitad de la producción obtenida hasta ahora. Al aparecer un aumento en la producción las fábricas podrán trabajar todavía con las máquinas antiguas, aunque considerando un coste más elevado en la fabricación. Si la situación en el mercado desciende, entonces las fábricas pueden trabajar con las máquinas modernas con un coste más bajo en la producción. Esto concuerda en todas las fábricas muy pequeñas, ya que son fábricas con hornos verticales y, actualmente, existe una posibilidad de ampliación de unas 50.000 toneladas al introducir un horno vertical moderno de alto rendimiento. Las fábricas mayores se han decidido, hace dos o tres años, por las unidades mayores que construye la industria de la maquinaria.

La distinta capacidad de rendimiento de las diversas fábricas origina una gran variedad de hornos y de instalaciones de molienda que complica la vida a nuestra industria de maquinaria. Esta no tiene una vida tan fácil como, por ejemplo, las fábricas de maquinaria de la industria rusa del cemento. En este país, y según un informe muy interesante sobre la Unión Soviética de B. Nikander, solamente se construyen tres tipos de hornos para vía húmeda con un rendimiento de 850, 1.200 y 1.700 toneladas por día, y para la vía seca (que se emplea únicamente en un 15 % para las nuevas instalaciones) solamente existe un tipo de horno con un rendimiento de 1.200 toneladas por día.

La instalación de cocción es el corazón de una fábrica y a ella se tienen que adaptar las restantes instalaciones de maquinaria y los restantes dispositivos. Las plantas corrientes hasta ahora prevén un almacén central de materiales (silo-hangar), equipado con un puente-grúa, y próximos a él, los hornos y los departamentos de molienda. Las instalaciones de puentes-grúa requieren siempre reparaciones y precisan una conservación, necesitándose además un cierto número de personal. En las nuevas fábricas la nave se construye con descarga de fondo, por la que el material cae automáticamente a las cintas transportadoras para ser transportado a los depósitos o silos de la instalación de molienda. Estos dispositivos de transporte se pueden automatizar con relativa facilidad y resultan muy útiles cuando, con el fin de poder aprovechar el calor del horno, se tiene que secar el crudo los domingos y los días festivos o, también, cuando las instalaciones de molienda tienen que trabajar los domingos o durante la noche sin personal de servicio.

La disposición prematura que permite este proyecto prolonga ciertamente los transportes; pero debe considerarse, por otra parte, que un material en forma de polvo puede transportarse por los canales neumáticos a grandes distancias con un esfuerzo reducido, lo mismo que el material en forma de grano por transportadores de cinta. Los gastos de conservación de ambos dispositivos de transporte son reducidos.

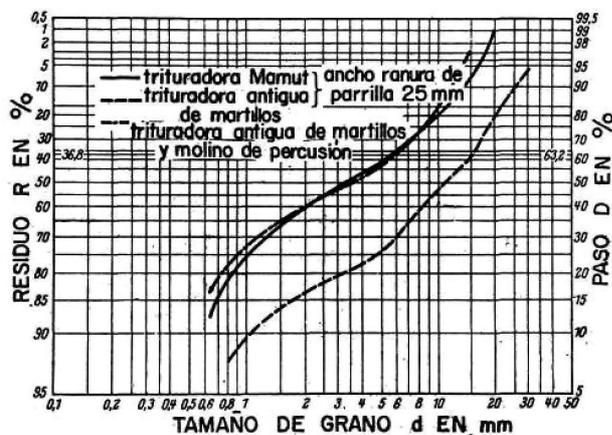
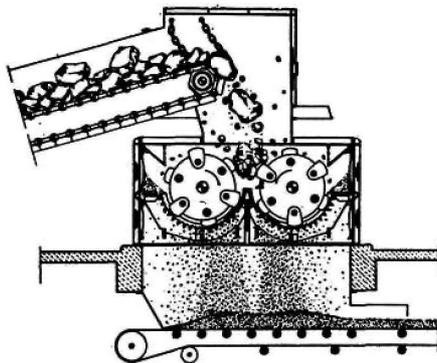


El control eléctrico de las máquinas y de los aparatos de transporte ha sufrido una gran simplificación con la televisión industrial (5), resultando posible hoy día con su ayuda el trabajo en colaboración de diferentes zonas de la instalación aun cuando éstas se encuentren distantes entre sí (6).

A continuación trataremos sobre el desarrollo de la maquinaria en relación con los diferentes departamentos de las fábricas de cemento.

3. Explotación de materias primas

Nuestras canteras se encuentran en reforma para un funcionamiento de cinco días, con el fin de obtener en este tiempo el material necesario para la semana, lo que, por otra parte, requiere la aplicación de nuevos métodos de explotación (7). Donde las condiciones de la cantera lo permiten se realizan voladuras con grandes perforaciones (8), empleando perforadoras giratorias o de percusión de gran potencia (9). La evacuación del material en grandes trozos del frente de la explotación se realiza en coordinación con la instalación de trituración, que por su parte debe encontrarse en la misma cantera y, si es posible, a una distancia no muy grande del frente de la explotación.



La pala-excavadora (10) (fig. 1), accionada eléctricamente en la mayor parte de los casos, carga el material. El transporte por carriles a la instalación de trituración debe cambiarse, cuando las condiciones del terreno lo permitan, por un transporte con camiones-volquete de gran capacidad de carga (11), pues éstos, sin dificultad alguna, pueden seguir el desplazamiento de la excavadora y descargar el material directamente en la tolva de alimentación de la instalación de trituración.

Fig. 1.—Pala excavadora accionada eléctricamente (casa DEMAG).

Fig. 2.—Trituradora de martillos (casa MIAG).

Fig. 3.—Comparación de las curvas granulométricas; las dos fases de las trituradoras antiguas de martillos y una fase de la trituradora Mamut (Hirschmann).

Las palas-excavadoras que se encuentran delante del frente de explotación deben ser apoyadas en el trabajo por máquinas para el arrastre y recogida de material. Para el equipo de cantera, la industria alemana de maquinaria y vehículos ha previsto construcciones con un número suficiente de tipos.

En las fábricas alemanas se trata la piedra casi exclusivamente por trituradoras pesadas de martillos (12) (fig. 2). Mientras que anteriormente la trituración de grandes trozos, hasta de 1 m³, se efectuaba con dos trituradoras en serie, las nuevas máquinas rompen el material procedente de la excavadora de cuchara en una sola fase, como puede apreciarse en las curvas granulométricas del gráfico 3 (comparación del proceso de las dos trituradoras de tipo antiguo de martillos con la trituradora moderna de martillos).

El consumo de piedra por día en una fábrica de tipo medio exige un gran rendimiento de la trituradora, por lo que se han seguido perfeccionando las trituradoras de martillos. Se han llevado a cabo las siguientes ampliaciones: diámetro de la circunferencia de golpeo, hasta 2,5 m; peso de los martillos, hasta 80 kg; velocidad periférica, hasta 30-40 m/s. En los dispositivos de golpeo desarrollados como discos aparecen cuatro martillos en el contorno. Estos discos se convierten en un tambor rotatorio que hace superflua la cesta de parrilla en la entrada. La posibilidad de disponer los martillos en todo el ancho de la parrilla ha sido realizada por Krupp, que construye los discos con cuatro segmentos desplazados (fig. 4) y, por tanto, se aprovecha mejor la superficie de la parrilla inferior. Una trituradora muy robusta de un solo eje es la trituradora Mamut de Hirschmann y Claes, que se ha montado mucho en los últimos años y cuyo modelo mayor consigue 300 toneladas por hora de material preparado a la medida apropiada para molinos. En el mercado se encuentran diferentes trituradoras de dos ejes. El tipo mayor de la nueva trituradora Titán, de la casa MIAG, tiene un paso por hora de 600 toneladas. En este caso surge un problema de transporte difícil de solucionar en relación con la alimentación correspondiente de piedra para poder corresponder con la capacidad de rendimiento de la trituradora (11).

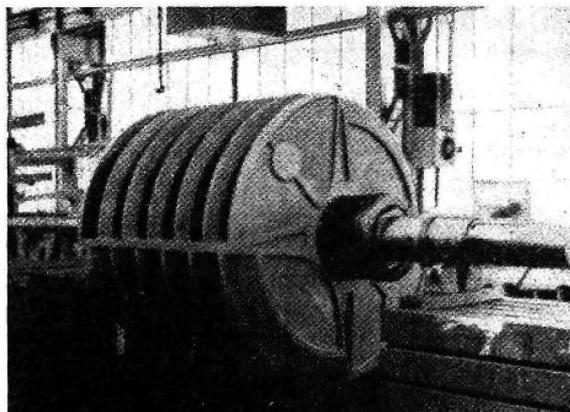


Fig. 4.—Rotor de discos de la trituradora de martillos (Krupp).

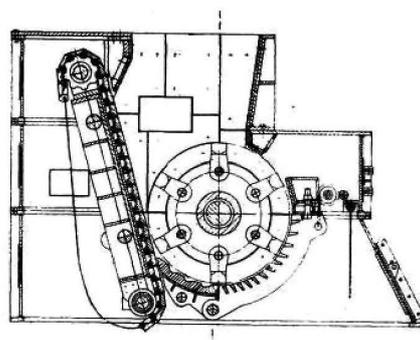


Fig. 5.—Trituradora de martillos con cinta de placas (Wedag-Licencia Seffrey).

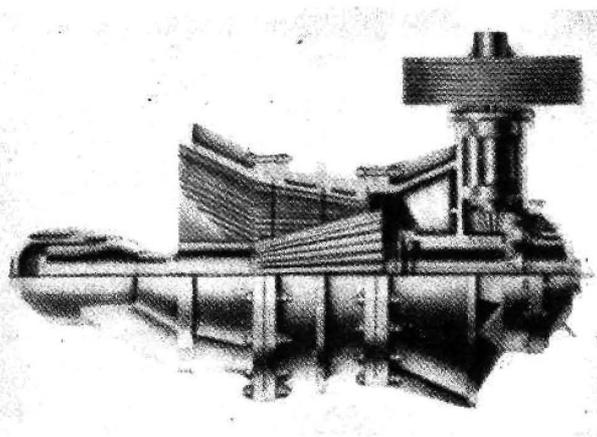


Fig. 6.—Trituradora giratoria de mandíbulas (Esch-Werke).

Para trabajar materiales muy adherentes, la carcasa y la parrilla trituradora se disponen de forma tal que no queden pegadas las partículas de arcilla; con este fin, la casa WEDAG ha dispuesto una placa trituradora giratoria siguiendo el ejemplo del extranjero (fig. 5).

Las trituradoras de martillo se alimentan por cintas de placas de tipo muy pesado, en posición inclinada, que son necesarias por tratarse de material en grandes trozos. Para poder trabajar sin estas cintas de placas de alimentación, en una de nuestras fábricas se introdujo, de una vez, todo el contenido de un volquete en una trituradora de percusión de la casa Hazemag. En otras industrias se emplea con este mismo fin la trituradora giratoria grande, que en los Estados Unidos trabaja como pretrituradora. En la República Federal la casa Esch-Werke ha creado con este mismo objeto una trituradora giratoria de mandíbulas (fig. 6), cuyo tipo mayor trabaja con 2.000 t/h. Un anillo de arrastre (o transportador) extrae el material toscamente triturado para alimentarlo a una cinta transportadora o a una trituradora de finos dispuesta en el mismo plano (fig. 7).

La trituradora móvil en el frente de explotación presenta la ventaja de poder transportar el material pretriturado en forma continua con un transporte de cinta más económico hasta la trituradora de fino. La casa Krupp ha desarrollado una trituradora de martillos montada sobre orugas, con un rendimiento de 150 toneladas por hora (fig. 8). Una construcción similar que ha sido equipada con neumáticos por la casa WEDAG (fig. 9) se encuentra trabajando hace años en las fábricas de la Baja Sajonia. El transporte de la piedra hasta la trituradora secundaria se realiza mediante cintas transportadoras que se desplazan con la trituradora móvil. En rendimientos superiores de la cantera es preciso montar varias trituradoras, dependiendo este procedimiento de la economía y apareciendo delimitado para canteras de tipo medio.

La arcilla se obtiene por medio de excavadoras de cangilones y excavadoras de rueda de cangilones (fig. 10). Una nueva solución se ha empleado en una de nuestras mayores fábricas valiéndose de una excavadora con cuchara de arrastre desarrollada por la casa Menck & Hambrock (figura 11). La cuchara, con un contenido de 3 m³, cuelga de una pluma de 25 m, dando a esta máquina una capacidad de explotación y carga de 200 toneladas/hora.

La margas blandas y la greda se pueden explotar en las capas superiores sin voladura, usando excavadoras de cuchara con suficiente fuerza de arranque. La greda húmeda en las capas de mayor profundidad se explota con excavadoras de rueda de cangilones o por excavadoras con cinta de cangilones (fig. 12). Debido al elevado rendimiento y al esfuerzo motivado por las piedras de pedernal más o menos grandes que se encuentran en la greda, se necesitan construcciones especialmente sólidas. Estas dragas o excavadoras descargan, como mejor solución, sobre transportadores de cinta (13), que llevan el material explotado a la fábrica para el proceso de fabricación. El material muy pegajoso requiere medidas especiales bajo las condiciones rudas del invierno, con el fin de poder mantener limpias las cintas y conservar un funcionamiento perfecto.

4. Proceso de vía húmeda

La subsiguiente preparación de la pasta del crudo con greda se efectuaba hasta ahora en un gran depósito desleidor, en el que se retenían los trozos de pedernal o trozos duros arrastrados por la greda, al no poderse desleír en el conjunto de la pasta. Las máquinas para hacer la pasta tienen que liberarse en momentos determinados de las piedras. Si resultan muy frecuentes los períodos de limpieza por el elevado contenido de piedras, entonces es ventajosa la desleidora de trabajo continuo desarrollada por la casa F. L. Smidth en los últimos cinco años (figura 13). En tambores de 3 m de diámetro y 6 m de longitud se pueden desleír por hora de 200 a 300 toneladas de greda con 70 % R. en 0,09 mm (las piedras se lavan y se expulsan continuamente). Este tambor, desarrollado en principio sólo para greda con elevado contenido de piedra, se emplea ahora también para greda pura (sin piedras) y arcilla, obteniéndose, en estas condiciones, un rendimiento de 500 toneladas por hora. Dadas las propiedades, la pasta tiene que pasar todavía por un molino de refinado para moler las partículas groseras. El consumo específico de trabajo para el desleimiento y la molienda fina se considera de 6 a 10 kWh/t de material seco.

La greda que contiene pocas piedras (flint) también se desleía en la trituradora de percusión de la casa Hazemag (fig. 14). Las piedras gruesas se separan por un tamiz y la pasta en bruto se somete a nuevo desleimiento. El trabajo principal lo efectúa la trituradora de percusión; una de estas máquinas puede ofrecer un rendimiento de hasta 400 t/hora.

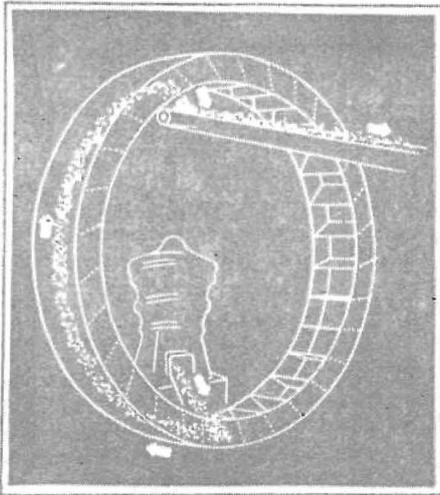


Fig. 7.—Trituradora giratoria de mandíbulas con anillo transportador (Esch-Werke).

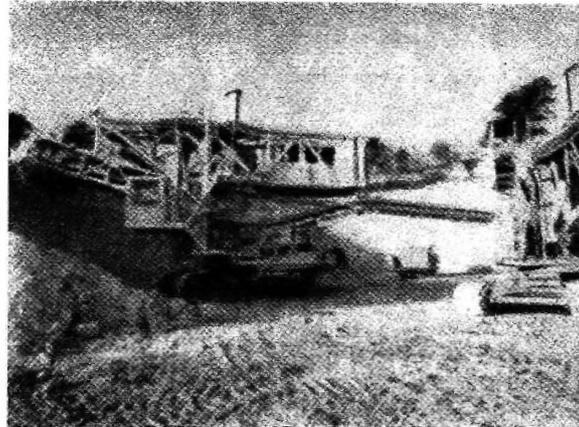


Fig. 10.—Excavadora de rueda de cangilones (Orenstein & Koppel).

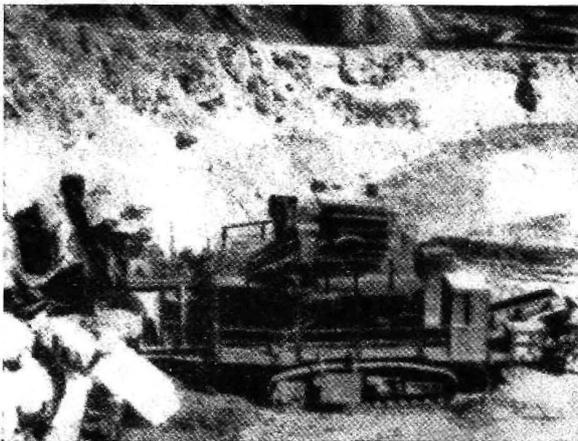


Fig. 8.—Trituradora de martillos montada sobre orugas (Krupp).

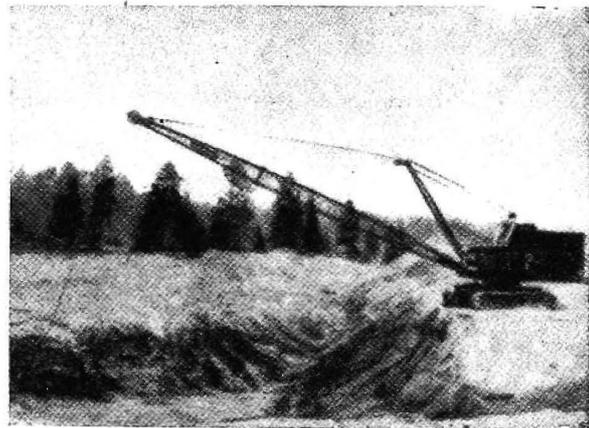


Fig. 11.—Excavadora con cuchara de arrastre para arcilla (Menck & Hambroek).

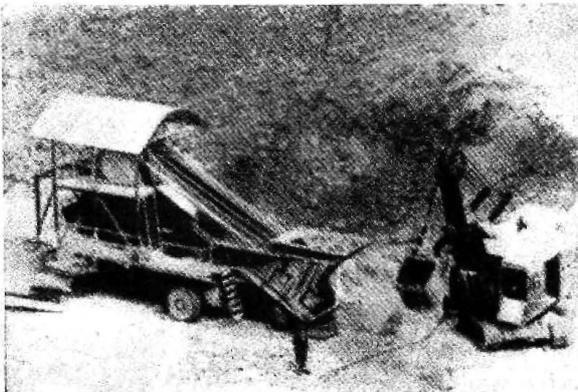


Fig. 9.—Trituradora móvil sobre neumáticos (WEDAG).

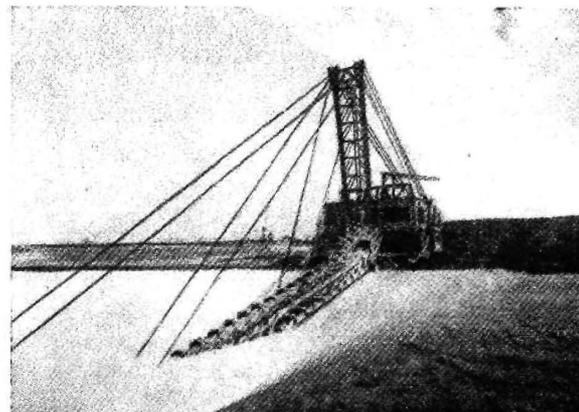


Fig. 12.—Excavadora de rosario para grada (Buckau-Wolf).

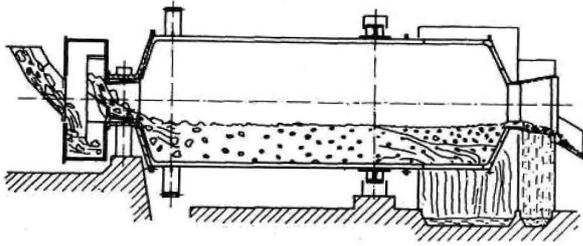


Fig. 13.—Tambor para pasta (F. L. Smidth).

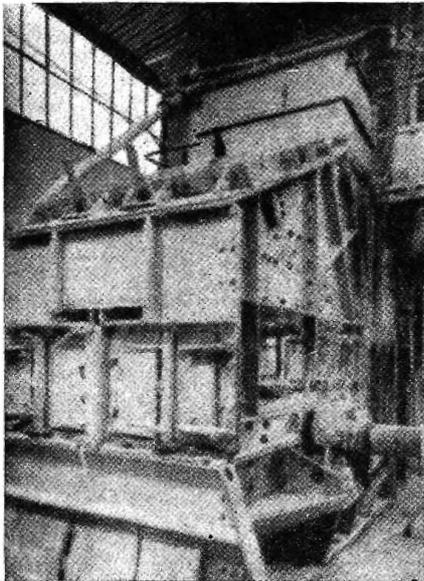


Fig. 14.—Trituradora de percusión con humedad (Hazemag).

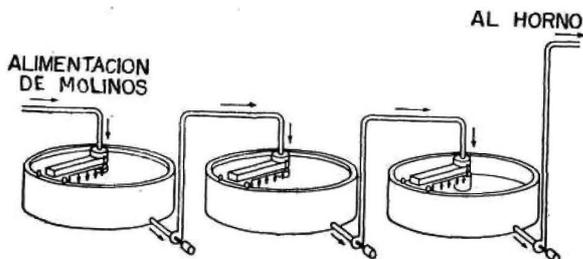


Fig. 15.—Instalación de homogeneización para pasta (F. L. Smidth)—del departamento de molinos—al horno.

A continuación de cada trituradora de percusión se expulsan los residuos de guijarro en una o dos desleidoras.

La molienda húmeda de la caliza (14) no ofrece casi ningún nuevo desarrollo; se sigue realizando en molinos preparadores y molinos de refinó o en molinos compuestos con una fuerza de arrastre de hasta 2.000 kW. En el caso de calizas duras aparece un residuo desfavorablemente elevado en el tamiz de 0,2 mm (DIN 4188). Para separar las chinás de caliza de la pasta acabada son inadecuados los tamices húmedos; el tamizado intermedio antes de la molienda fina, que podría eliminar los trocitos mayores de caliza, aumenta el contenido de agua en la pasta. Una solución de este problema podría conseguirse con los molinos de barras acreditados en el tratamiento de minerales, que deberían ser aprovechados en la industria del cemento. En USA ya se ha seguido esta solución con éxito (15).

Las instalaciones de molienda húmeda no deben trabajar en el futuro durante los domingos. Las materias primas con un elevado contenido de humedad en cantera, solamente se pueden distribuir en el hangar con el puente-grúa y, por tanto, siempre se precisa personal de servicio. En consecuencia, las instalaciones para la preparación en vía húmeda tendrán que disponerse como el trabajo de cantera, para un servicio de cinco días, con el fin de conseguir la cantidad de pasta necesaria para los siete días de la semana.

Los silos de pasta deben poder contener una cantidad de pasta preparada para un funcionamiento de tres días, con objeto de poder cubrir las necesidades de la producción para el siguiente día de trabajo. Cuando las materias primas varían considerablemente, la preparación de la pasta tendrá que llevarse a cabo mediante el procedimiento de corrección. Esto requiere o exige un número mayor de silos para las pastas correspondientes valoradas, que tienen que aparecer por separado en relación con el contenido de cal, arcilla y ácido silícico.

Las instalaciones son costosas y complicadas en comparación con la homogeneización continua con sólo tres recipientes (fig. 15), los que en relación con la producción tienen que tener una capacidad unitaria de 3.000 a 5.000 m³.

Mediante tomamuestras que trabajan en forma continua se realiza la valoración a la salida del molino, corrigiendo la composición de la mezcla del crudo. Procedente del molino se reparte la pasta en toda la superficie del primer recipiente de pasta por un mecanismo removedor, equipado con homogeneización neumática. Cuando este recipiente se completa tiene lugar un rápido equilibrio. La siguiente homogeneización se efectúa en el recipiente siguiente, que también debe estar lleno, mientras que el horno se alimenta por el tercer recipiente. En el tiempo que se para la molienda se puede vaciar el tercer recipiente. Para diferentes calidades de clínker se deben prever, en casos determinados, depósitos de reserva.

Los hornos rotatorios de vía húmeda permiten apreciar—más que en otros casos—la tendencia a mayores unidades en las máquinas, de tal forma que, en la actualidad, los hornos de 500 toneladas pertenecen ya a los tipos pequeños. La casa Miag construye hornos, con precalentadores por separado, calcinator; la casa Krupp, con el concentrator; Polysius, con el seccator, y la casa Vickers, con el deseccator. Un horno de 750 a 800 toneladas se construye con una longitud de 90 m y con un diámetro de 4,20 m, con un ensanche de 4,5 m ϕ en el lado de la carga. El concentrator (fig. 16) de un horno tan grande tiene una cesta de 5 m de diámetro y un ancho de 4 m. La construcción de este gran tambor de parrilla, que en una vuelta o giro aparece expuesto a los gases calientes y a los gases más fríos de salida, requiere una experiencia especial. Aumentando las dimensiones de la cesta, resulta cada vez más difícil conducir uniformemente los gases de la salida del horno por el precalentador. La distinta dilatación de la carcasa y la cesta permite el libre paso de los gases calientes alrededor de la cesta, de forma que éstos pasan sin aprovechamiento al ventilador de salida. Por este motivo se prefieren, para gran paso de material, los hornos rotatorios de vía húmeda largos; éstos presentan la ventaja, frente a los hornos equipados con precalentadores independientes, de que entre el horno y el precalentador siempre penetra aire falso (16) que desvirtúa la elevada temperatura de los gases del horno. Hace ya siete años, la S. A. Ciments d'Obourg hizo el paso hacia unidades mayores, construyendo un horno de 1.200 toneladas de 4 ó 4,50 metros de diámetro y una longitud de 165 m (7). La instalación ha sido ampliada posteriormente con un horno de 5 m. El horno ha sido suministrado por la casa francesa Fives-Lille, la cual, en Portugal, ha montado hornos todavía mayores. En Rusia están construyendo dos hornos de 175 m de longitud que tienen los siguientes diámetros: 5,7 m, en la zona de sinterización; 5,2 m, en la zona de calcinación, y 6,2 m, en la zona de secado. Cada uno de estos hornos deberá tener una producción de 2.750 toneladas de clínker por día (4), correspondiendo con una carga específica del horno de 700 kg/m³/día. Estas son las perspectivas en la construcción de hornos rotatorios que por el momento sobrepasan nuestras ideas. Frente a nuestros tipos de 800 a 900 toneladas por día surge la duda de si trabajan más favorablemente desde el punto de vista térmico, según los conocimientos que tenemos hasta la fecha (18). Seguramente los medios de inversión no son considerables calculados en relación con la capacidad de rendimiento por tonelada por año, resultando para los gastos de funcionamiento también un divisor favorable.

Al crecer la longitud de los hornos crece también el número de anillos de rodadura, los cuales tienen que encontrarse bien alineados entre sí (19), si se quiere mantener reducido el desgaste de los anillos de rodadura frente al de los rodillos donde se apoyan, interesándose, por otra parte, en mantener reducido el consumo de energía para el accionamiento. Ahora, al fin, se construyen grandes hornos rotatorios sobre rodillos de compresión (fig. 17) que absorben el desplazamiento o deformación longitudinal del horno (19), de forma que los rodillos de apoyo se pueden orientar en paralelo con los anillos de rodadura.

5. Proceso de vía seca

El desarrollo de la maquinaria para la vía seca se ha tratado anteriormente con más detalle. Para la explotación de la cantera y para la instalación de trituración rige lo anteriormente indicado. En el pasado año, E. Voos informó sobre las modernas instalaciones de homogeneización de crudo (20), con lo que en el proceso de vía seca se consigue una mezcla del crudo tan buena como en la vía húmeda. Esto hace que el proceso de vía seca pueda emplearse, no solamente para materiales que van bien por su reducido contenido de agua, sino también para materiales con mayor humedad, cuando el consumo superior de calor en el secado pueda cubrirse o contrarrestarse con el calor expulsado y recuperado del horno. Los sistemas de hornos con precalentadores en suspensión gaseosa ofrecen todavía un calor residual en los gases de escape superior a 150 kcal/kg de clínker.

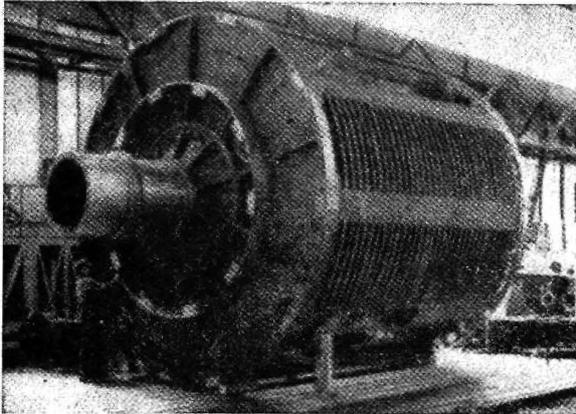


Fig. 16.—Cuerpo de parrilla giratoria de un concentrador (Krupp)

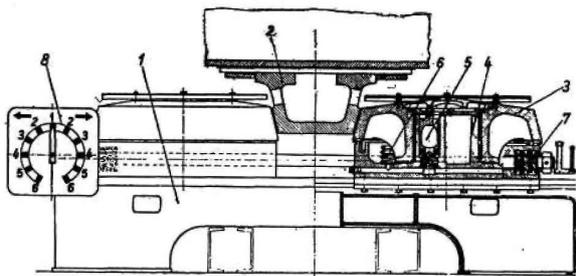


Fig. 17.—Apoyo de compresión para hornos rotatorios, que absorbe el empuje longitudinal (MIAG).

1. Caballete de apoyo de construcción soldada.—2. Anillo de rodadura.—3. Rodillo de compresión.—4. Carcasa con muñón.—5. Bomba de émbolo para circuito cerrado de aceite.—6. Serpentin de refrigeración.—7. Muelle para absorber el empuje elástico.
8. Dispositivo indicador de la amplitud y sentido del desplazamiento.

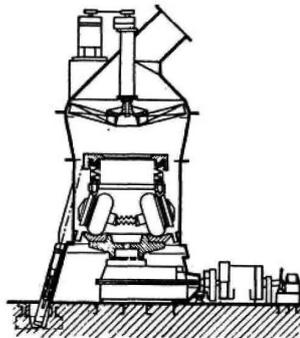


Fig. 18.—Molino de rodillos (vertical) (M. Berz).

Los gases del enfriador Fuller—que se emplea tanto en el horno Lepol como en el procedimiento de suspensión gaseosa—contienen, con una temperatura de 200 a 250° C, de 60 a 80 kcal/kg de clinker (21 y 22). Cuando se desea aprovechar estas cantidades de calor relativamente elevadas a bajas temperaturas, deben aparecer especialmente previstos los dispositivos de preparación del crudo.

En los últimos años se han construido en gran escala, como elementos secadores y de molienda simultánea, los molinos en circuito cerrado con elevador de cangilones (23). Esta disposición, presentada en el mercado por primera vez por la casa Polysius, se construye actualmente por todas las casas importantes. Los molinos con 3,6 m de diámetro y la longitud correspondiente, que molturan 100 toneladas hora de material, son ya muy frecuentes. Según la aptitud a la molienda de las materias primas, el consumo específico de energía de 10 a 12 kWh/t se corresponde con 10 % de residuo sobre 0,09 mm y 0,5 % sobre 0,2 mm. En el caso de un contenido reducido de humedad (hasta un 3,5 %) se puede secar con este sistema de molienda aprovechando sólo el aire caliente de las salidas del enfriador Fuller sin calentamiento especial. Con los gases del precalentador de suspensión gaseosa puede trabajarse un material hasta con un contenido de humedad de 4,5 %. Cuando surgen porcentajes de humedad superiores se tienen que calentar los gases o el aire, incluso en el caso de disponer de mayores cantidades de gases recuperados, que ya no se pueden emplear en el molino de circuito cerrado con elevador de cangilones (22).

Para el más amplio aprovechamiento del calor recuperado a baja temperatura se tiene que alargar el tiempo de paso del calor, lo que realmente requiere la disposición de secadores de tambor a velocidad más reducida, los que, en la actualidad, aparecen en disposición hasta con las mayores medidas.

Si aumentamos durante el secado la superficie del material, el intercambio de calor puede tener lugar en un plazo más breve.

Esta solución (23) ha sido introducida en los Estados Unidos por G. Claes y Hischmann, disponiendo trituradoras de martillos delante de los viejos molinos tubulares, por las que se pasaba aire caliente.

A la vez se calientan los separadores del circuito cerrado, para secar completamente el material en forma granular antes de su entrada en el molino tubular. Este principio, empleado también por otras fábricas de maquinaria en forma variada, ha sido aplicado con éxito en un molino moderno de circuito cerrado con elevador de cangilones, en el que se ha secado, con gases del precalentador que salen del horno a 300° C, crudo con una humedad del 4,5 %. Este molino que se encuentra en la zona de Beckun, con sólo un diámetro de 2,6 m, tiene la longitud correspondiente para una producción de 75 t/h, resultando al mismo tiempo un consumo total de energía de unos 10 kWh/t. Sería interesante comprobar hasta qué contenido de agua se puede trabajar con esta instalación sin tener que emplear un recalentamiento.

Un nuevo desarrollo se presenta con los molinos verticales de rulos comprimidos por muelles. Hace aproximadamente diez años, M. Berz creó un nuevo molino vertical con rodillos, actualmente mejorado hasta tal punto que puede competir con el mejor molino de circuito cerrado con elevador de cangilones (fig. 18). En Neubeckum trabaja desde hace medio año un molino Berz con un paso de material de 70 a 80 t/h. Con 10 % R en 0,09 mm ó 1,5 % R en 0,02 mm, resulta un consumo de energía de 11,5 kWh/t para todos los motores, incluyendo el ventilador del filtro. El molino con la soplante consume 10,3 kWh/t; de éstos, solamente 5,5 kWh/t se dedican al trabajo de molienda en sí. En el molino vertical con rodillos, tres rodillos de diámetro relativamente grande se desplazan sobre la pista accionada desde abajo. Cada uno de los rodillos de molienda marcha bajo un anillo común de compresión, el cual transmite la presión de molienda sobre la superficie de la pista. Con este molino ha aparecido en el mercado una máquina de elevado rendimiento, que destaca por su tranquilidad en el funcionamiento y por su reducido desgaste.

De la colaboración con Berz se ha creado en la fábrica Barbarossa un gran molino vertical con rodillos que presenta una variación, ya que los rodillos de molienda están apoyados por pesados cojinetes de rodillos en una pieza de compresión, por la cual se transmite la compresión por un anillo de presión a los rodillos (fig. 19). Esta construcción debe reducir el desgaste de la superficie de rodadura en el anillo de compresión. La fábrica Barbarossa prepara el suministro de este tipo de construcción para un paso de material de 60 a 65 t/hora. Estos nuevos molinos han dado también nuevo impulso a los constructores de Loesche, cuyo mayor modelo hasta ahora (LM 16) presenta un rendimiento de 30 t/hora. La casa Loesche, que fue la fábrica alemana que desarrolló el primer molino útil por compresión de muelle, y que se encuentra en funcionamiento en la industria del cemento para la molienda de carbón y materias primas, tiene además un molino, tipo LM 20, como modelo más grande y está ya en marcha en una fábrica italiana de cemento (figura 20). Este molino tiene un rendimiento de 50 a 55 t/hora con un consumo específico de energía de solamente 10,2 kWh/t para molino y soplante conjuntos. Loesche hace trabajar su sistema de molino directamente sobre un filtro eléctrico, que descarga al exterior el aire soporte cargado con 850 g/m³. En el proceso de molienda y secado, este molino trabaja con material con un contenido de humedad de hasta un 18 %; esto resulta posible con un hogar Loma, que recalienta, de una manera muy sencilla, el gas recuperado del horno rotatorio o del enfriador. Las dos fábricas últimamente citadas han desarrollado otros tipos de molinos para una circulación de material de 80 a 90 t/hora.

El molino de rodillos trabaja con una carga circulante de material muy elevada, por cuyo motivo puede trabajar con un material muy húmedo, ofreciendo, al mismo tiempo, nuevas posibilidades para el aprovechamiento del reducido calor recuperado del horno. Para el trabajo real de trituración se invierte mucha menos energía en comparación con la que se necesita en los molinos de bolas, con lo que queda compensado el consumo elevado del circuito neumático y de la separación en el molino. Los resultados obtenidos hasta ahora con este molino prometen mucho y ocupan un espacio reducido, ya que no tiene más accesorios que la soplante. Con esto se consiguen instalaciones de molienda de mucho rendimiento para materiales blandos y de dureza media con un contenido elevado de agua, gran seguridad de funcionamiento y buen aprovechamiento térmico, con un gasto reducido de inversión. Por su simple construcción y el reducido accesorio de máquinas resulta muy simple la automatización de la instalación, de forma que éstas pueden marchar sin personal durante el domingo y durante la noche.

El desarrollo indicado por E. Voos para la homogeneización de crudo ha continuado. Entretanto, se han montado instalaciones que trabajan tanto por el procedimiento de corrección como por el sistema de instalaciones de homogeneización en silos de gran capacidad.

Los hornos rotatorios de vía seca merecen una atención especial en la República Federal por su reducido consumo de combustible. La parte técnico-económica ya se ha tratado ampliamente.

Un buen horno Lepol consume aproximadamente 800 kcal y de 10 a 12 kWh/t de clínker. El aire saliente del enfriador permite una recuperación de 60 a 80 kcal (22).

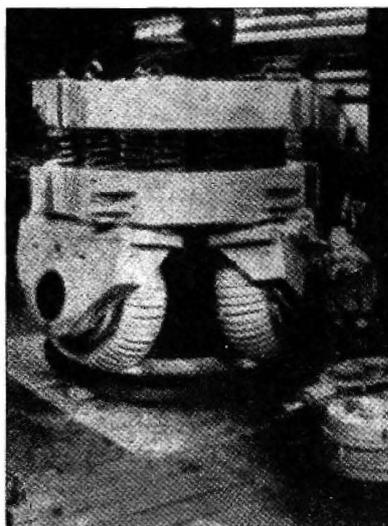


Fig. 19.—Elemento de molienda del molino de rodillos MPS 200 (Gebr. Pfeiffer).

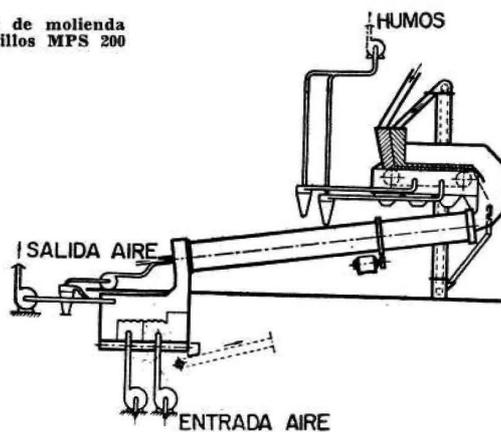


Fig. 22.—Horno rotatorio con precalentador en dos fases (MIAG).

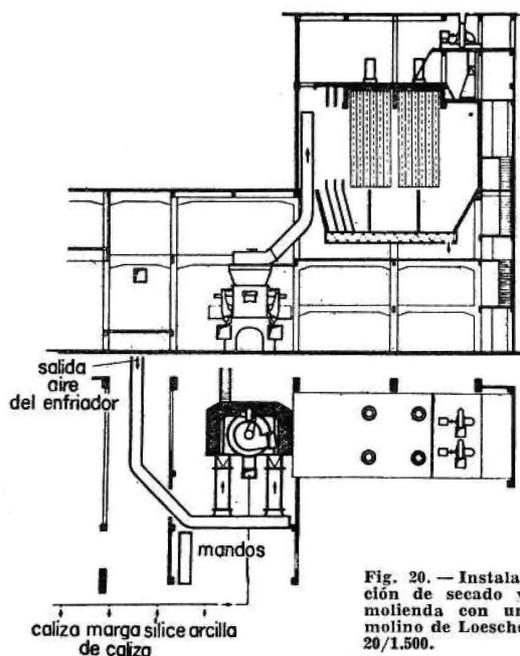


Fig. 20.—Instalación de secado y molienda con un molino de Loesche 20/1.500.

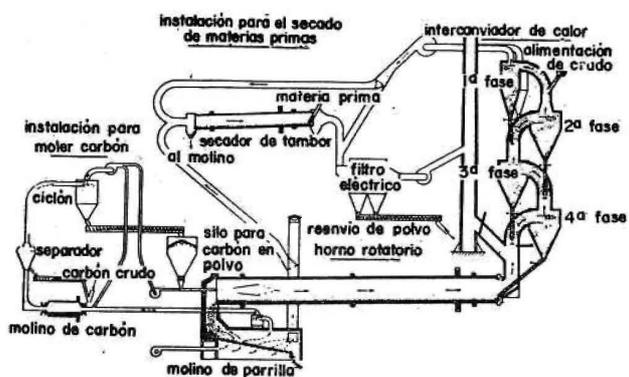


Fig. 23.—Horno rotatorio Humboldt con intercambiador de calor, junto con el secado de crudo y de carbón.

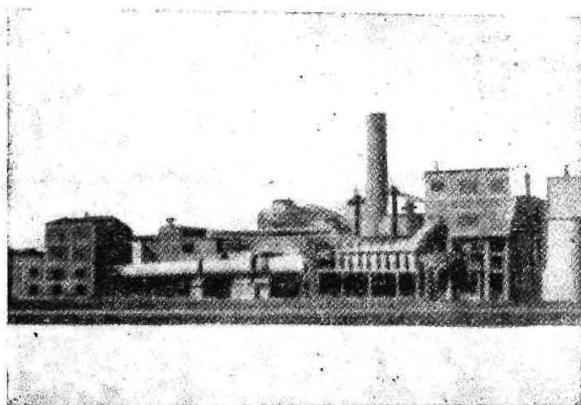


Fig. 21.—Horno Lepol con una producción de 1.000 t/día (Polysius).

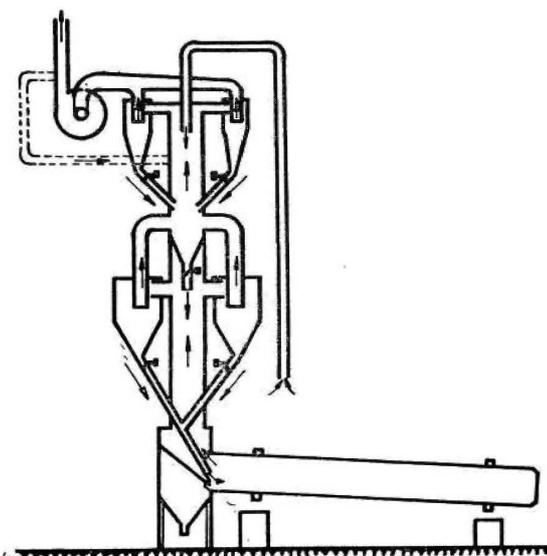


Fig. 24.—Precalentador vertical de torbellino (Poisyus).

Se encuentran en funcionamiento hornos Lepol con una capacidad de 1.000 toneladas (figura 21), esperándose alcanzar una capacidad de 1.200 t/día en las nuevas construcciones. El poder conseguir tipos más grandes de hornos dependerá de la parrilla Lepol. Las parrillas más anchas (4 m) y largas son más sensibles a los fallos mecánicos en comparación con las parrillas pequeñas. Los hornos Lepol son los más empleados actualmente, y la mayoría de los hornos de la República Federal son hornos Lepol. El precalentador de parrilla encontró una nueva solución en la casa MIAG, que ha desarrollado una parrilla (fig. 22) que trata el material en dos etapas. Esta parrilla no ha sido empleada todavía para la producción de cemento, pero presenta ventajas para la cocción de material en trozos pequeños. La casa Fellner & Ziegler efectúa también un desarrollo en este sentido.

El horno Humboldt de suspensión gaseosa ha surgido en los últimos años como una gran unidad para una producción de 700 a 800 toneladas. El consumo de combustible de las pequeñas instalaciones de este tipo es de 4 a 5 % mayor en comparación con el consumo del horno Lepol (22); en los modelos mayores se debería disminuir esta diferencia. El consumo específico de energía de los nuevos modelos se ha reducido hasta 14 ó 16 kWh/t de clínker. Del aire del enfriador y de la salida de gases del horno se pueden recuperar, en total, más de 200 kcal por kg de clínker. Al poder conseguir este aprovechamiento, para el que aparecen nuevas posibilidades cuando se emplean materias primas de mayor humedad en el proceso de vía seca, se consigue con este sistema un rendimiento térmico considerable. Se encuentra en período de construcción una instalación con un secador de tambor para una producción de 700 a 800 t/día (fig. 23). Próximamente se pondrá en marcha un horno de las mismas dimensiones en conexión con un molino de circuito cerrado con elevador de cangilones. El progresivo desarrollo de Humboldt, realizado muy cuidadosamente, hace prever un éxito de estas instalaciones tan rotundo que no aparecerá ningún obstáculo en el paso siguiente para conseguir una producción de 1.000 t/día. Los constructores opinan que predominarán los hornos hasta de una producción de 1.500 t/día. Por parte del horno rotatorio y por el enfriador no se aprecian dificultades, pero falta todavía la experiencia en relación con el comportamiento del crudo en el intercambio de calor en los ciclones de grandes dimensiones.

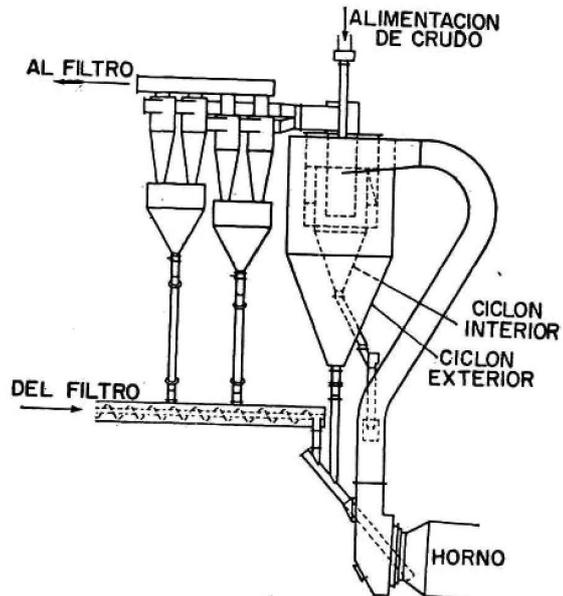


Fig. 25.—Intercambiador de calor (F. L. Smidth).

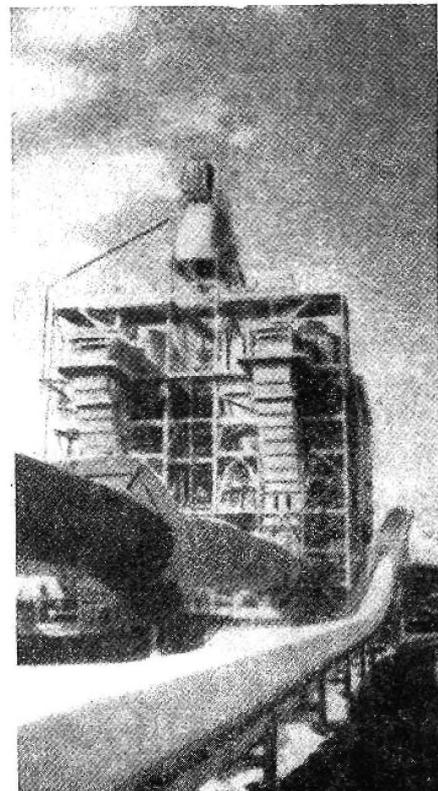


Fig. 26.—Horno rotatorio con intercambiador de calor (F. L. Smidth).

Se observa que podrán efectuarse mejoras en los precalentadores de suspensión gaseosa, ya que tanto Polysius como F. L. Smidth han desarrollado un precalentador; y lo mismo Krupp, en relación con un precalentador para crudos con un intercambio de calor en fases. Polysius emplea un sistema abreviado de intercambio de calor: dos ciclones trabajan en paralelo en un canal con torbellino (fig. 24), en el que se realiza el intercambio de calor. La primera instalación, con una producción diaria de 200 toneladas, trabaja satisfactoriamente durante un año después de haber solventado las dificultades iniciales y refleja un consumo térmico en correspondencia con el paso reducido de material. La casa F. L. Smidth tiene en funcionamiento en el extranjero un sistema de dos fases, cuya forma de trabajo aparece representada en la figura 25. Los gases del horno transmiten su calor en el precalentador—que está formado por un ciclón exterior y uno interior—al crudo alimentado por el conducto del ciclón interior. También están previstos pequeños ciclones para la captación de polvo. La figura 26 muestra una instalación que se encuentra en funcionamiento en el extranjero, sin conocer hasta el momento sus resultados. La casa Krupp ha construido un precalentador que no se desarrolla en altura. Su disposición se puede apreciar en la figura 27. Se halla en periodo de construcción una instalación para una producción de 700 t/día, de forma que pronto se dispondrá de los resultados de su funcionamiento.

Todavía queda por comprobar si F. L. Smidth suministra también su horno largo para la vía seca, con un consumo de 1.050 kcal/kg de clínker y hasta 950 kcal en condiciones favorables, alimentando crudo seco. Esto es aceptable cuando se pueda aprovechar el calor saliente del horno para el secado del material, considerando, al mismo tiempo, que el consumo específico de energía de este horno largo es de unos cuantos kWh/t menos que el de los hornos con precalentadores.

Un problema de actualidad en USA y que en Europa tiene todavía poca importancia, es la reducción de los álcalis en el clínker (24). Los compuestos alcalinos acumulados en el circuito del horno (25) pueden extraerse del proceso con el sistema del horno Lepol a través del polvo sedimentado en el captador de polvo intermedio. Cuando no existe otra posible aplicación, este polvo enriquecido en álcalis hay que eliminarlo del proceso; representa del 2 al 3 % de la producción de clínker y origina una reducida pérdida de material para el horno. En el horno con suspensión gaseosa se tiene la posibilidad de absorber los gases del horno antes de su entrada en el primer ciclón separando el polvo fino, enriquecido con álcalis, mediante un captador especial de polvo. Este procedimiento representa un gasto y origina pérdida de calor, que podría considerarse aceptable si, por otra parte, se puede compensar con una marcha más uniforme del horno, con una producción superior y con un consumo térmico total más reducido.

Los hornos largos, que en el proceso de vía húmeda no usaban hasta ahora captador de polvo, tienen un retorno tan considerable de polvo, si están equipados con filtros eléctricos—al igual que los hornos de vía seca—, que pueden perturbar considerablemente las condiciones de funcionamiento de los precalentadores. Por este motivo la casa F. L. Smidth ha previsto un dispositivo especial, que recoge el polvo separado por el filtro eléctrico en un silo, que después se alimenta uniformemente en la zona de precalentamiento, con lo que se consigue una mayor uniformidad en el funcionamiento del horno.

Un procedimiento completamente nuevo para la cocción del clínker, que consiste en cocer el crudo en la zona o capa de torbellino, ha sido inventado por el americano Pycel. La casa Fuller ha montado una instalación de ensayo cuya marcha puede apreciarse en el esquema de este principio (figura 29). La idea de la posibilidad de elaborar un clínker aprovechable se basa en lo siguiente: una cantidad determinada de clínker acabado, de granulometría fina, se introduce como semilla en el lecho con torbellino, con el fin de que las partículas del crudo en su fase de sinterización queden adheridas a la semilla para formar gránulos gruesos de clínker. La instalación de ensayo trabaja en escala semi-industrial, apareciendo, por el momento, con un rendimiento térmico por debajo de lo esperado, pero suministrando un clínker perfecto en calidad.

No debemos olvidar las parrillas de cinta para la cocción de clínker de Lurgi, sobre las que ha informado R. Rohrbach (22) en el coloquio de la Asociación Alemana de Cementeros. En la fábrica de Dotternhausen, la capacidad de rendimiento de las cintas se ha aumentado considerablemente con perfeccionamientos en el procedimiento; la producción por día se ha aumentado desde 300 toneladas hasta 500 por unidad de maquinaria. Con una cuidadosa preparación del coque se consigue reducir el consumo térmico total de hasta 1.050 kcal/kg de clínker. Los gases de salida se aprovechan en la instalación de secado y molienda, mientras que se mantienen a una temperatura superior a los 400° C, con lo que se recuperan 80 kcal/kg de clínker.

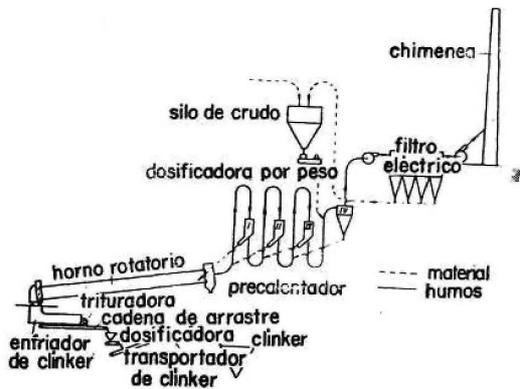


Fig. 27.—Intercambiador de calor (Krupp).

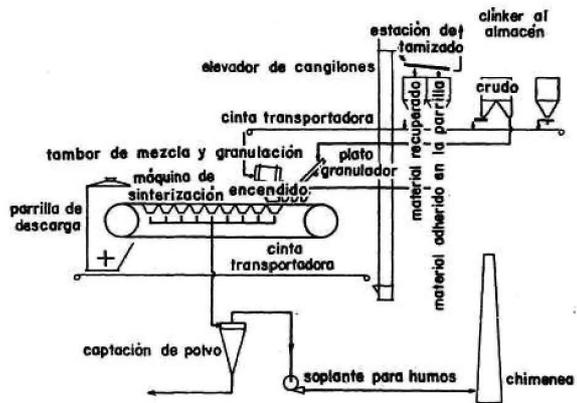


Fig. 30.—Parrilla de sinterización trabajando en doble capa (Lurgi).

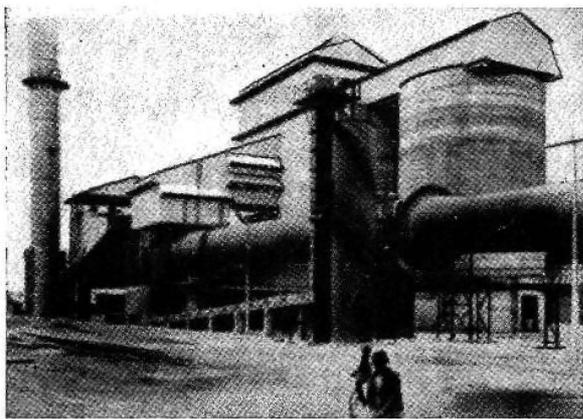


Fig. 28.—Horno rotatorio vía húmeda con recuperación de polvo en el centro del tubo (F. L. Smidth).

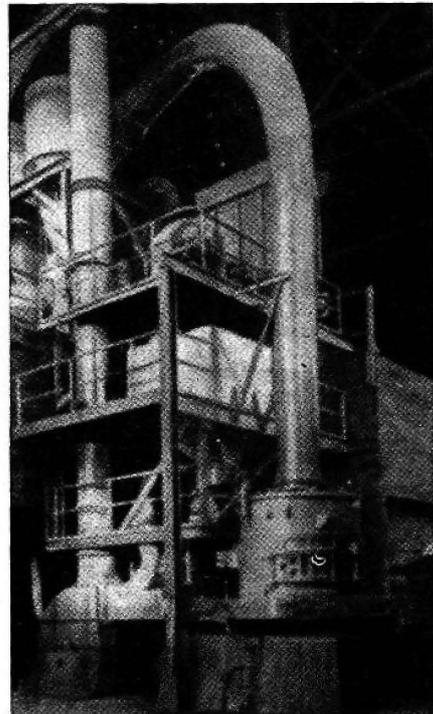


Fig. 31.—Instalación central de molienda para carbón (Cl. Peters).

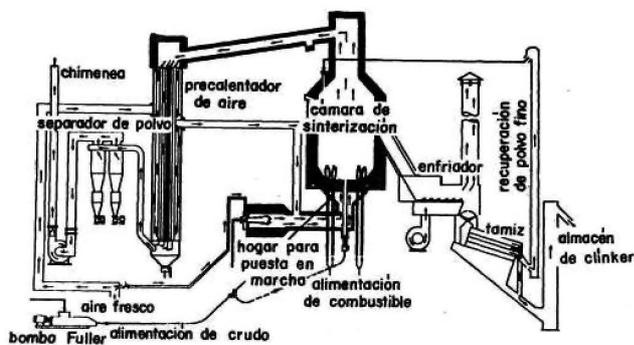


Fig. 29.—Procedimiento de cocción de cemento de Pycel (Fuller).

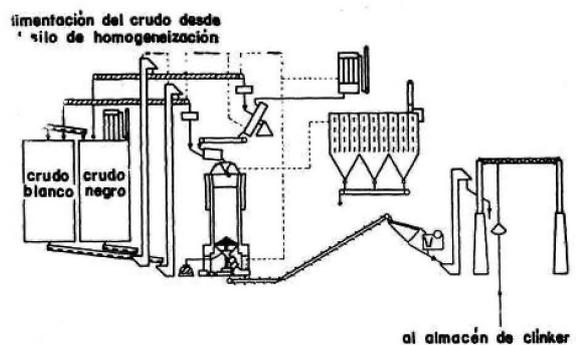


Fig. 32.—Instalación de horno vertical por el procedimiento de Spohn de crudo negro (Loesche).

En el nuevo procedimiento en dos fases (fig. 30), el material recuperado se mezcla con una cantidad de combustible menor en comparación con la mezcla del crudo, empleándose, después de una granulación por separado, como capa superior sobre los gránulos frescos y capa superior sobre la parrilla. Con esta disposición podría conseguirse una nueva economía de combustible. Aunque este sistema de cocción puede ser interesante para las fábricas de cemento con materias primas normales (en Dotternhausen tienen ciertas ventajas por funcionar con pizarras bituminosas), depende de la adaptación funcional de la novedad y los gastos de inversión comparados con la instalación de hornos rotatorios.

El desarrollo de los grandes hornos rotatorios se ha fomentado considerablemente por el invento del enfriador de parrilla (26), puesto en el mercado por la casa Fuller. La casa F. L. Smidth ha desarrollado para sus hornos una construcción especial y propia (Folax), y Polysius construyó para sus hornos Lepol un enfriador con los mismos elementos constructivos empleados para la parrilla Lepol (Recupol). La mayoría de los hornos, incluso los grandes hornos Lepol, aparecen equipados con enfriadores Fuller, fabricados en la República Federal Alemana por la casa Cl. Peters. Además del enfriador normal con parrilla inclinada se construye para los hornos grandes el enfriador horizontal, que ahorra 2,5 m de altura. Como es de importancia decisiva la marcha del aire para la recuperación de calor y duración de los elementos del enfriador, cada cámara de refrigeración va equipada con un ventilador independiente; con ello, también puede graduarse mejor la marcha del proceso.

Las trituradoras de clínker, sobre todo el ancho del enfriador, se han convertido en elementos imprescindibles del proceso. Los grandes enfriadores tienen un dispositivo de expulsión en el canal de alimentación del enfriador para eliminar las "bolas", ya que no es posible efectuar este trabajo a mano. Los enfriadores de parrilla presentan las siguientes ventajas; una radiación de calor más reducida, un precalentamiento elevado del aire secundario y la posibilidad de una elevada sobrecarga, a lo que también hay que añadir, en los hornos de reducido consumo de calor, la recuperación del calor del clínker de la salida de aire del enfriador.

6. Alimentación del hogar del horno rotatorio

El hogar de los hornos rotatorios ha sufrido un nuevo desarrollo al aparecer el aceite pesado y el gas natural en el mercado europeo. El cambio a este combustible resulta muy tentador, ya que no requiere ninguna preparación previa en comparación con el carbón; a pesar de esto, no se aprecia una transformación completa en este sentido en las fábricas alemanas de cemento. En USA, el año 1957, todavía se alimentaba un 66 % de los hornos rotatorios con carbón (3); el gas natural se empleaba en el 9 % de los hornos, y solamente un 6 % se alimentaba con aceite. El 19 % restante se alimentaba con una mezcla de combustibles: carbón con aceite o con gas natural. En Alemania, 16 fábricas alimentan los hornos rotatorios con aceite o con carbón y aceite mezclados.

El hogar de aceite (27) de los hornos rotatorios se ha perfeccionado con el tiempo. Mientras que en los inyectores antiguos se empleaba vapor o aire comprimido para la pulverización del aceite, en los nuevos inyectores este combustible se pulveriza finamente con inyectores de presión (28) que proporcionan una combustión completa, resultando el consumo de calor no superior al de carbón en polvo (22). Como los quemadores solamente precisan de 2 a 3 % del aire de combustión como aire de refrigeración, el aire primario es más reducido y el aumento de la cantidad del aire secundario mejora la recuperación de calor del clínker, consiguiéndose un ahorro de energía calorífica.

Para el hogar con carbón en polvo surgió como molino soplante el molino Fuller-Peters, que vino a Europa después de la guerra y se encuentra montado en USA en un 60 % de los hornos alimentados con carbón. Frente a una instalación central de molienda con silo intermedio, el molino soplante tiene la ventaja de su sencillez y mayor seguridad. Por el contrario, tiene peor adaptación cuando hay que cambiar el tipo de carbón. El proceso de secado y separación en un molino exige una cantidad de aire-soporte relativamente elevada; con ello, la cantidad de aire primario del horno se convierte en una considerable desventaja para la cantidad del aire secundario, y la recuperación del calor del clínker se ve reducida en unas 25 kcal/kg de clínker. De unos 20 hornos que trabajan en la República Federal Alemana con molinos soplantes, en gran número de ellos, por el motivo antes indicado, se ha cambiado el proceso normal por un funcionamiento con depósito intermedio.

Las instalaciones centrales de molienda con depósitos se deben utilizar preferentemente, sobre todo por no poder apreciar si en un plazo muy breve puede ser interesante la combustión conjunta con aceite pesado y hasta con gas natural.

Para las instalaciones centrales de molienda se emplea, además de los molinos tubulares y los acreditados molinos Loesche, el molino Fuller-Peters (fig. 31), después de la introducción del nuevo tipo EM con un número inferior de revoluciones, bolas mayores, una mayor presión de molienda (de un 35 a 50 %) y un mayor rendimiento en comparación con los modelos antiguos (el modelo mayor tiene una producción de hasta 50 t/h). En instalaciones centrales de molienda, estas grandes unidades poseen la ventaja de la sencillez y, por consiguiente, se pueden automatizar fácilmente.

7. Hornos verticales

En el grupo de hornos para el proceso por vía seca se incluyen también los hornos verticales modernos de alto rendimiento, cuyo consumo de calor se ha mejorado considerablemente. Aparte de los consumos mínimos aislados de 700 kilocalorías, un horno de 2,5 metros de diámetro puede mantenerse en un trabajo continuo produciendo 180 toneladas por día (29, 30). Con una buena homogeneización del crudo y con cintas dosificadoras para el crudo y el carbón, se puede cocer un clínker de primera calidad.

La casa Barbarossa, especialista en la construcción de hornos verticales, equipa sus hornos con parrillas giratorias. El crudo se granula con el combustible por medio de platos.

La casa Loesche ha adquirido los derechos de realización del procedimiento de crudo negro de Spohn (fig. 32), en el que los hornos van equipados con la parrilla giratoria de Spohn. Se cree que con esta parrilla los hornos con tres metros de diámetro y mayores pueden conseguir perfectamente una producción de 250 toneladas/día. Aunque este procedimiento exige una preparación cuidadosa del material y buenos dispositivos de dosificación complican un tanto el trabajo, este horno vertical será interesante para muchos usuarios.

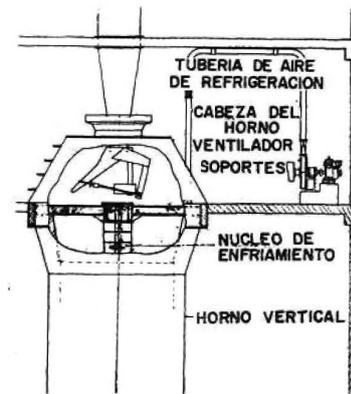


Fig. 33.—Horno vertical con cuerpo de retención (L. von Roll).

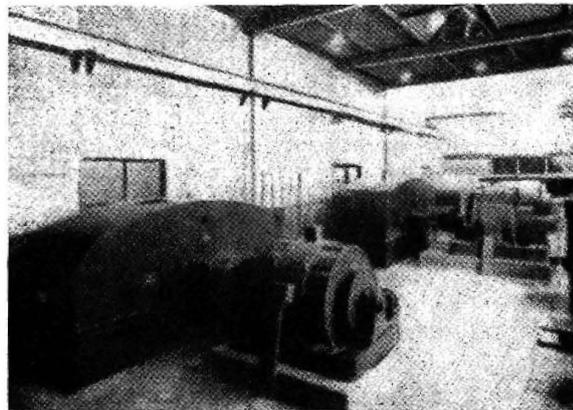


Fig. 34.—Simetromecanismo, 1.600 kW (F. L. Smidth).

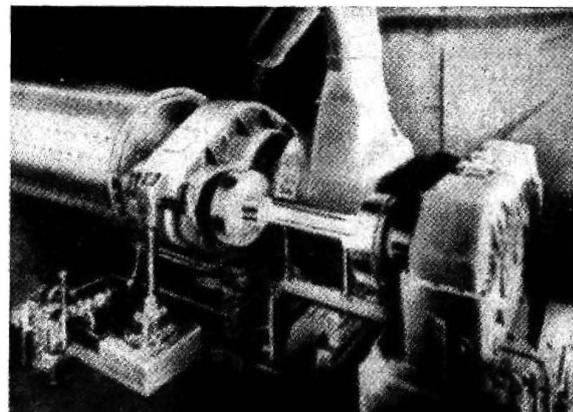


Fig. 35.—Accionamiento doble (Polysius y Wülfel).

La L. von Roll AG ha introducido en los hornos verticales para cemento el cuerpo refrigerado de expulsión (fig. 33) en la parte superior del eje del horno, con objeto de evitar el desprendimiento de clínker en el eje del horno. Un horno de este tipo, que la fábrica suministradora lo ha equipado con los correspondientes dispositivos de dosificación de procedencia suiza, se encuentra instalado hace algunos meses en una fábrica de Westfalia con un funcionamiento satisfactorio. La distorsión de la columna del material en el centro del horno aumenta la velocidad de la cocción, con lo que la producción del horno de 2,4 m aumenta por día hasta 200 toneladas. En esto se tiene que considerar que el combustible se tritura previamente a 6 mm, de forma que queda envuelto por el crudo con toda seguridad. Von Roll ha montado fábricas completas con hornos verticales, basándose en la idea de este modelo, disponiendo una amplia automatización. Este tipo de instalaciones se ha tratado preferentemente en países de ultramar para el montaje de instalaciones nuevas.

En la República Federal Alemana existen todavía 20 fábricas equipadas solamente con hornos verticales y 22 fábricas de cemento en las que, al lado de los hornos rotatorios, trabajan hornos verticales que representan un complemento económico y de valor para los hornos rotatorios, ya estas fábricas pueden adaptarse con más facilidad a las exigencias del mercado. El desarrollo de los hornos verticales, que hemos tratado en forma breve, es, en consecuencia, un problema vital para las fábricas pequeñas y de tipo medio por lo anteriormente expuesto, que no debe restringirse en ninguno de los casos, como, por ejemplo, por la obligada parada durante los domingos.

8. Molinos para cemento

El desarrollo de las instalaciones para la molienda de cemento ha avanzado muy de prisa en los últimos años, de tal forma que el estado de hace dos años ha sido renovado por completo (23). Para producciones de molienda elevadas ya no se montan máquinas para molienda gruesa y molienda fina, ya que no es fácil coordinar ambos procesos. La industria de la maquinaria ha ampliado sus talleres, hasta tal punto que, en la actualidad, está en disposición de construir molinos con un arrastre de 2.000 kW. Esto permite construir molinos de varias cámaras con un diámetro de 3,6 m y una longitud de 11 m, los cuales, con una buena aptitud a la molienda del clínker de horno rotatorio, pueden alcanzar una producción de 80 t/hora. En el extranjero estos molinos ya están en funcionamiento, y en la República Federal la casa F. L. Smidth está construyendo, en la actualidad, varias instalaciones de molienda accionadas por un simetromecanismo muy sencillo (fig. 34). Se consigue un grado elevado de finura con circuito cerrado de elevador de cangilones y con separador de aire, trabajando normalmente con un Blaine de 2.600 cm²/g. La captación de polvo se obtiene mediante un pequeño filtro eléctrico para 0,3 N m³ de aire por kilogramo de cemento.

Con estos avances quedan anticuados los molinos de cemento de 3,20 ó 3,40 m de diámetro suministrados en los últimos años por la industria alemana de maquinaria para cemento, pero entretanto Wülfel y Polysius han desarrollado nuevos mecanismos gemelos que disponen de un dimensionamiento aceptable para elevados rendimientos de accionamiento de los piñones para la transmisión de momentos elevados de giro. El accionamiento gemelo (fig. 35) presenta, por su disposición especial, la ventaja de descargar el material por el interior del muñón.

Con este ritmo de desarrollo podemos esperar pronto molinos de 3,8 m con 2.500 kW, que alcancen una producción de 100 t/hora. Estas instalaciones de molienda de cemento con una producción elevada resultan simples en su construcción y, como consecuencia, se pueden automatizar fácilmente, siendo un punto de vista muy importante respecto a la economía en este tipo de inversiones elevadas.

Para la molienda fina de cemento, con un Blaine superior a 3.500 cm²/g, el separador de aire se convierte en una parte imprescindible de los grandes molinos. Es muy grande el número de tipos que aparecen en el mercado. La casa WEDAG construyó primeramente un dispositivo con rueda de aletas en sentido opuesto e independiente (fig. 36), que permite una graduación simple de la finura, para lo que se dispuso un motor debajo del separador. Heyd mejoró esta construcción con el accionamiento por arriba de la rueda de aletas en sentido opuesto, y sobre todo, con la alimentación lateral del material a separar (fig. 37), lo que en los tipos grandes consigue un ahorro de algunos metros en la altura de la construcción. Este nuevo separador, que se puede regular eléctricamente, se ha introducido bien y se ha acreditado de mejor forma. También la fábrica Barbarossa, el más antiguo fabricante de separadores de aire, ha considerado este nuevo punto de

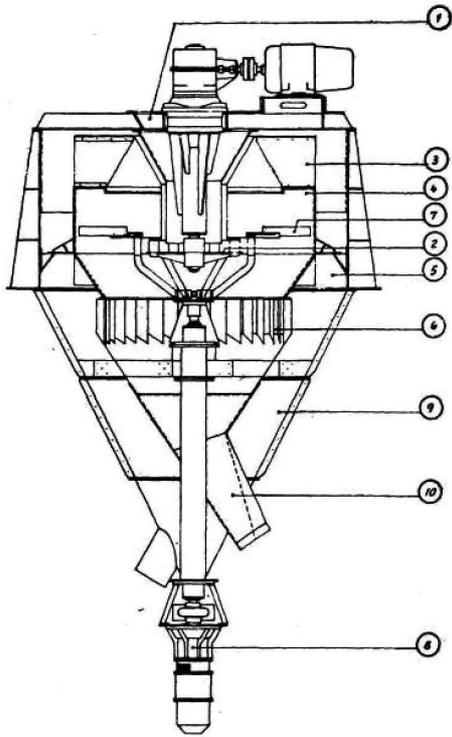


Fig. 36.—Separador de aire con accionamiento inferior de la rueda de aletas de efecto contrario (WEDAG).

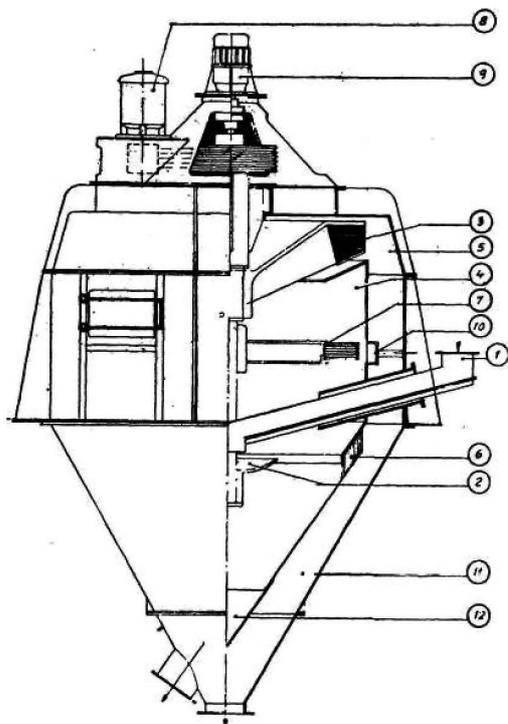


Fig. 37.—Separador de aire con accionamiento superior de la rueda de aletas de efecto contrario (Heyd).

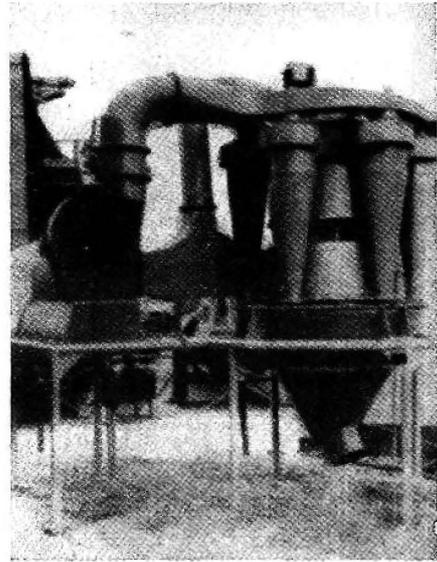


Fig. 38.—Separador de aire con circuito cerrado (WEDAG).

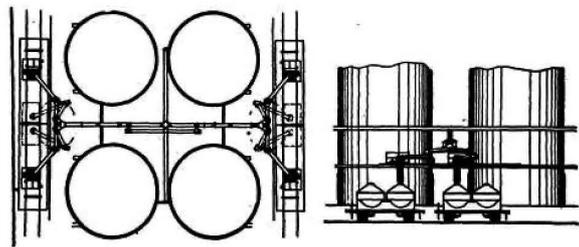


Fig. 39.—Canalón de transporte giratorio para la carga de cemento a granel (Cl. Peters).

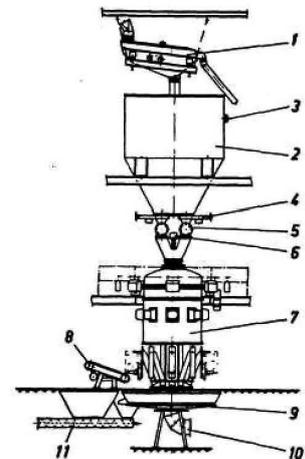


Fig. 40.—Ensayadora circular (Haver & Boecker).

vista. Polysius, Saint-Jacques y otras firmas se esfuerzan en buscar soluciones completamente nuevas. Por ejemplo, la WEDAG dispone la soplante para el movimiento de aire en circuito cerrado hacia el exterior (fig. 38) y capta el material fino separado en cuatro ciclones pequeños en el perímetro de la zona de separación, por una parte, por motivos técnicos de las corrientes y, por otra parte, por perseguir una mejor selectividad.

Hace poco tiempo se ha publicado un amplio informe sobre este tema y sobre el desarrollo de nuevas construcciones (36).

Desde el punto de vista técnico estos separadores de aire presentan la ventaja de que el material se enfría en el circuito cerrado. La molienda fina en una zona de temperatura por debajo de los 100° C reduce la resistencia a la molienda (32), por cuyo motivo se disponen otros dispositivos de enfriamiento en el circuito cerrado del material (33), o se inyecta agua pulverizada en la cámara de molienda fina, para conseguir, por todos los medios, una reducción del consumo específico de energía.

El desarrollo de las instalaciones para moler cemento sigue estas soluciones. Los ensayos de funcionamiento tendrán que mostrar qué ventajas presentan las grandes máquinas desde el punto de vista técnico de la molienda. Las pocas comprobaciones realizadas hasta estos momentos han dado los mejores resultados en la aptitud a la molienda.

9. Ensacado y carga

Recientemente ha informado W. Frankenberger, con mucho detalle (34), sobre la nueva disposición de las instalaciones de ensacado y carga. La casa C. Peters ha desarrollado un sistema giratorio de aerodeslizador (fig. 39) para la más rápida realización del suministro a granel, que acelera la carga en recipientes, cuando se dispone una buena salida de aire.

En el pasado año, la casa F. L. Smidth ha conseguido la ensacadora circular de mayor rendimiento. Entretanto, la casa Haver & Boecker ha montado en una fábrica de cemento de la provincia de Westfalia una ensacadora circular de seis bocas para 1.500-1.600 sacos (35) (fig. 40), que equipada con ocho bocas puede cargar más de 2.000 sacos en una hora. Estas dos instalaciones resultan naturalmente muy costosas o, mejor dicho, más costosas que las ensacadoras automáticas en línea de cuatro bocas, pero permiten una cumplimentación más rápida por parte de los ensacadores.

La tendencia a conseguir un cemento refrigerado o enfriado ha originado que algunas fábricas hayan dispuesto enfriadores que enfrían el cemento desde 100-120° C hasta unos 50-60° C. F. L. Smidth ha construido enfriadores verticales para 30 t/h con ducha de agua, de 2 m de diámetro y una altura de 5 a 6 m. Fuller y Lurgi construyen, para este fin, serpentines refrigerados por agua, que no son tan efectivos.

La casa Holderbank ha desarrollado un nuevo enfriador para cemento, que aparece como un conducto neumático de transporte, en cuyo interior cuelgan unos elementos con circuito de agua. Este aparato, no muy costoso, lo construye la casa Beumer de Beckum (fig. 41).

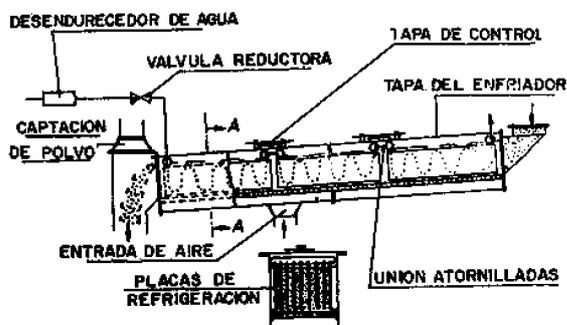


Fig. 41.—Enfriador de cemento Holderbank (Beumer).

10. Observaciones finales

Tomando como punto de partida las exigencias del mercado, que son las que marcan el desarrollo de las fábricas, se han mostrado las influencias que determinan el desarrollo de los dispositivos mecánicos de nuestras fábricas.

Partiendo de esta base se han intentado destacar las tendencias en el desarrollo de la maquinaria siguiendo las fases de la fabricación del cemento, tratando únicamente los elementos importantes y sin considerar los detalles constructivos ni tampoco los productos que se encuentran en el mercado. Por este motivo deseamos recalcar que una descripción más amplia o más breve de la maquinaria y los procedimientos, así como también la circunstancia de no haber indicado algunas fábricas, no quiere decir en ningún caso que esto representa una valoración de mejores aptitudes o de peores propiedades. No es posible tratar este amplio tema con detalle en un informe breve, siendo el fin de este artículo ofrecer a grandes rasgos una información general de la maquinaria más importante para la elaboración del cemento, que nunca ha presentado un desarrollo tan precipitado como en los últimos años.

bibliografía

- (1) BOMKE, K.: *Kohle und Zement. Sonderausgabe* Nr. 6 der "Zeitschrift Zement-Kalk-Gips", Wiesbaden, 1958.
- (2) PLASSMANN, E.: *Beitrag zur Wärmewirtschaft von Naßdrohöfen*. "Zement-Kalk-Gips", 10 (1957), 41-46.
- (3) CLAUSEN, F. C.: *Der heutige Stand der Zement-Industrie in Nordamerika*, Beton 8 (1958), 47-51.
- (4) NIKANDER, B.: *Cement production skyrockets in Soviet Russia*. "Rock Products", 63 (1960), 6; 102, 104, 106, 108.
- (5) MESCHTER, E.: *One man controls two cement plants*. "Rock Products", 63 (1960), 3; 80-85.
- (6) FLACHSENBERG, P.: *Anpassung der Arbeit an den Menschen*. "Zement-Kalk-Gips", 13 (1960), 249-259.
- (7) MINDERMANN, H.: *Höchste Wirtschaftlichkeit in einem Steinbruch mittlerer Leistung durch geeignete Mechanisierung*. "Steine und Erden", 70 (1960), 55-63.
- (8) STUMPF, K.: *Großbohrlochsprengungen in den Vereinigten Staaten*. "Steine und Erden", 69 (1959), 203-209.
- (9) ERLER, A.: *Drehbohrmaschinen für den Steinbruchbetrieb*. "Zement-Kalk-Gips", 10 (1957), 196-202.
- (10) STUMPF, K.: *Baggergroßen, Leistungen und Kosten*. "Zement-Kalk-Gips", 10 (1957), 498-500.
- (11) GLATZEL, G.: *Neue Ergebnisse der gleislosen Förderung. Schriftenreihe des Bundesverbandes der Deutschen Kalkindustrie e. V. Heft 3* (1958), 109-140.
- (12) VEREIN DEUTSCHER ZEMENTWERKE e. V. Merkblatt MT 18, Hammerbrecher, febrero 1959.

- (13) STUMPF, K.: *Ergebnisse mit Bandtransporten im Steinbruch*. "Schriftenreihe des Bundesverbandes der Deutschen Kalkindustrie e. V. Heft", 3 (1958), 75-87.
- (14) ROWLAND, C. A.: *Wet Grinding - past, present, future*. "Rock Products", 61 (1958), 8; 102, 104, 106, 108, 110, 119.
- (15) BOND, F. C.: *Action in a rod mill*. "Engineering Mining Journal", 61 (1960), 3; 82-85.
- (16) WEBER, P.: *Wärmeübergang und Wasserverdampfung beim Naßdrehofen*. "Zement-Kalk-Gips", 12 (1959), 208-223.
- (17) LYDAKIS, N.: *Le nouveau four rotatif de la S. A. des Ciments d'Obourg*. "La Technique des Travaux", 1955, 3 u. 4.
- (18) EIGEN, H.: *Der thermische Wirkungsgrad des Zement-Naßdrehofens*. "Tonindustrie-Zeitung", 83 (1959), 474-476.
- (19) KAMINSKY, F.: *Über Lagerungen und Längsführungen von Drehöfen*. "Zement-Kalk-Gips", 4 (1951), 322-327.
- (20) VOOS, E., und BLATTON, B.: *Das pneumatische Homogenisieren*. "Zement-Kalk-Gips", 12 (1959), 519-529.
- (21) WEBER, P.: *Praktischer Grenzwert des Wärmeverbrauchs von Trockendrehöfen mit Vorwärmer*. "Zement-Kalk-Gips", 11 (1958), 543-549.
- (22) RUPPERT, G.: *Fortschritte in der Ausnutzung der Abwärme von Trockendrehöfen*. "Zement-Kalk-Gips", 13 (1960), 366-375.
- (23) BELLWINKEL, A.: *Neuzeitliche Mahlanlagen*. "Zement-Kalk-Gips", 12 (1959), 41-55.
- (24) GOES, C.: *Über das Verhalten der Alkalien beim Zementbrennen*. "Schriftenreihe der Zementindustrie, Heft, 24, Düsseldorf, 1960.
- (25) CLAUSEN, C. F.: *Low alkali cement from high-efficiency kilns*, "Rock Products", 63 (1960)1; 148-154 u. 164.
- (26) *Verein Deutscher Zementwerke e. V.*: Merkblatt WE 4, Rostkühler für Drehöfen. Octubre 1960.
- (27) MICHELS, H.: *Oelfeuerungen an Zementdrehöfen*. "Zement-Kalk-Gips", 9 (1956), 218-223.
- (28) *Verein Deutscher Zementwerke e. V.*: Merkblatt WE 7, Drehofenfeuerungen, Noviembre 1960.
- (29) SPOHN, E.: *Der Zementschachtofen heute*. "Zement-Kalk-Gips", 11 (1958), 345-357.
- (30) NARJES, A.: *Wo steht der Schachtofen heute?* "Zement-Kalk-Gips", 13 (1960), 409-418.
- (31) WHITE, C. A.: *African cement firms took a look-then when to vertical kiln*. "Rock Products", 60 (1957), 10; 108-111 y 187-188.
- (32) TAKEMOTO, K.; ITO, I., und HIRAYAMA, K.: *The effect of grinding temperature on the grindability and the quality of Portland cement*. "Reports of Japan Cement Engineering Association", 1958, 23-25. (Kurzfassung).
- (33) KOLB, E. R.: *Cement cooling in the grinding circuit*. "Rock Products", 59 (1956), 118-129.
- (34) FRANKENBERGER, W.: *Verpacken und Verladen in Zementwerken*, "Zement-Kalk-Gips", 13 (1960), 1-16.
- (35) KROGEBUMKER, G.: *Ein neuer Rundpacker*. "Zement-Kalk-Gips", 13 (1960), 360-363.
- (36) FLECK, K.: *Streu-Windsichter*. "Zement-Kalk-Gips", 13 (1960), 501-522.