

# Automación del trabajo combinado de una instalación de molienda de crudo de cemento con molino de rodillos en corriente de aire

**E. G. LOESCHE**  
**Loesche K. G.**

**1. Exposición del tema.** Vamos a tomar nota a continuación de las interesantes consecuencias tecnológicas que se derivan de la instalación de los molinos de rodillos en corriente de aire dentro del marco de un mando automatizado de la preparación del crudo de cemento portland, en especial en combinación con la utilización de los gases de salida de los intercambiadores de calor para el secado de la harina cruda.

**1.1.** Para llegar a un proyecto real y con sentido de los elementos mecánicos y de los aparatos para la técnica de la regulación en la preparación de la harina cruda, debe uno de analizar las condiciones de funcionamiento individuales. Es indudable que no habrá ningún proyecto que pueda abarcar todas las condiciones necesarias, ni las interdependencias entre ellas, pero, sin embargo, hay ciertas exigencias básicas que la práctica muestra y que deberán ser estudiadas en cada caso.

**1.1.1.** La primera exigencia es, naturalmente, la seguridad de marcha, junto con un período de funcionamiento de todos los aparatos y unidades individuales lo más largo posible, que determine el que el molino de crudo pueda funcionar sin que se produzcan interrupciones en el horno.

**1.1.2.** Lo que la marcha automática trata de conseguir, en segundo lugar, es, por una parte, el ahorro de personal y el deseo de trabajar con independencia del ardor, el esmero, y los conocimientos especializados del personal, pero al mismo tiempo también la posibilidad de mantener constante la marcha por medio de controles y mandos a poder ser instantáneos, para que las oscilaciones en el régimen de marcha de la fabricación del cemento no repercutan en la calidad o en la rentabilidad del mismo.

**1.1.3.** De las dos primeras se deduce la tercera exigencia; a saber, una disposición sencilla y clara con un mínimo de aparatos individuales, de accionamientos y de órganos de vigilancia y control correspondientes.

**1.2.** Aquí se pueden hacer interesantes propuestas y encontrar soluciones que tengan presente las condiciones de marcha. Sobre ello existen abundantes publicaciones, y en especial debe hacerse mención al Seminario Internacional, celebrado en Bruselas en la segunda semana de septiembre de 1968, sobre la automatización de la cal, el cemento y la piedra, y las tierras industriales. Allí fueron descritos no solamente sistemas y aparatos

de análisis y control, sino que también se informó sobre los resultados prácticos que son de un valor sobresaliente para planear instalaciones de este tipo.

**1.3.** Como complemento de los sistemas y fases de trabajo mencionados en dicho Seminario, debe citarse, a continuación, cómo mediante la utilización elemental de métodos conocidos para la homogeneización previa —análisis por fluorescencia de rayos X y cálculo porcentual— se puede llegar a la automatización mediante la utilización de molinos de rodillos en corriente de aire.

**2. La disposición más sencilla y corriente utilizando una instalación de molienda de este tipo** puede verse en la figura 1. Los componentes premezclados son dosificados gravimétricamente desde una tolva intermedia sobre una cinta de transporte que los lleva hasta el molino. El molino mismo está calculado en su capacidad partiendo de la base de disponer de una reserva de marcha determinada, que, sin embargo, no debe ser superior a un 10 o un 15 % de las necesidades reales de crudo. La totalidad de los gases de salida del intercambiador de calor son llevados al molino y utilizados para el secado de la molienda. A la corriente de aire de salida del molino se le hace pasar por un electrofiltro en el que se deposita la harina cruda.

**2.1.** La sencillez de este esquema no debe apartarnos de circunstancias de producción poco frecuentes. A éstas pertenece, en primer lugar, la necesidad de que sea posible eliminar una parte de la instalación, que haya obligado a una parada del molino. Para este caso se prevé un by-pass que comunica la soplante del horno directamente con el electrofiltro y que puede ser abierto en caso de necesidad, mientras permanece cerrada la tubería de aire caliente que va al molino.

Durante el funcionamiento del by-pass entran en juego otras condiciones de separación para el electrofiltro, ya que la temperatura total aumenta aproximadamente hasta un valor tres veces superior al normal. Se debe tener en cuenta, sin embargo, que esta situación de marcha es una excepción y que normalmente el molino, con todos sus aparatos adicionales, funciona conjuntamente con el horno.

**2.2.** Si partimos de la disposición sencilla indicada, surgen las siguientes necesidades de la regulación automática:

**2.2.1.** El crudo debe ser extraído de un almacén de primeras materias, o de diversas tolvas. Además deben mezclarse los diversos componentes mediante básculas dosificadoras o valiéndose de otros dispositivos de regulación, y de forma que la cantidad total sea determinada regulándola desde el molino sin cambiar la relación de mezcla que, a su vez, se controla en función de los análisis. Tenemos aquí el primer circuito de regulación que trabaja con independencia de todos los demás: La regulación de la alimentación. Su determinación se hará mediante la diferencia de presión antes y después del molino y debe tratar de que el molino trabaje con la carga óptima o de que funcione con una alimentación constante que corresponda a la producción del horno.

**2.2.2.** Igualmente, con independencia de otros circuitos de regulación, se deberá mantener constante la temperatura detrás del molino. Para la regulación es indiferente el valor nominal que se fije, siempre que éste se encuentre comprendido entre los 75° y los 110°C.

**2.2.3.** Como la marcha del horno debe tener preferencia a la marcha del molino, es necesario todavía una regulación de presión. Esta regulación, modificando las revoluciones de la soplante del molino detrás del electrofiltro, mantiene constante la depresión detrás de la soplante de los gases de salida del horno así como delante del molino, cuando se producen modificaciones en el caudal de los gases de salida del horno.

**2.2.4.** Para mantener el caudal de gases a un nivel óptimo en el molino de rodillos, está prevista una regulación del caudal de gases que permite introducir aire fresco en el sistema por delante del molino. El esquema muestra que el procedimiento adecuado es muy sencillo, y que permite montar el conjunto de instrumentos en un armario relativamente pequeño que se encuentra situado en el puesto de vigilancia del horno.

**3. El contenido de humedad de las materias primas tiene gran influencia en el régimen de marcha de la instalación de molienda** y, en dependencia directa de ella, la temperatura con la que los gases portantes son llevados hasta el electrofiltro, a la salida del molino.

**3.1.** Partiendo de que el molino está adaptado en su capacidad de producción a las necesidades de crudo del horno en la forma mencionada anteriormente, la construcción del molino de rodillos en corriente de aire es tal, que permite pueda absorber la totalidad de los gases de salida del horno después del intercambiador de calor. A continuación damos un par de cifras:

Calculando un caudal de gases de salida de 1,6 a 1,8 m<sup>3</sup> nominales/kg clínker, resulta un promedio de 1,4 m<sup>3</sup> efectivos a 80°C por kg de crudo, o sea, un contenido de crudo en el gas portador del molino de aproximadamente 700 g/m<sup>3</sup>.

Los valores indicados varían, por una parte, entre sí con el tipo de molino de rodillos, y, por otra, están influenciados por la molturabilidad de las materias primas. Además se pueden admitir también, sin pérdida notable en el rendimiento absoluto, distintos contenidos de polvo en el aire de salida del molino y variar además la temperatura dentro de ciertos límites; en general, entre los 75° y los 110°C.

Con ello resulta una gama para el contenido de humedad en el material de alimentación, que incluye ya una gran parte de los regímenes de marcha que se presenten; aproximadamente, del 5 hasta el 8 por 100.

**3.2.** Los contenidos de humedad que se desvían por debajo del 5 % se compensan fácilmente introduciendo aire frío o inyectando agua en el molino. La introducción de aire frío es posible dentro de un margen limitado, para el cual no sea necesario aumentar el tamaño del filtro, ya que éste deberá estar ajustado de todas formas al caudal de los gases de salida del horno con temperaturas de servicio de 310°-350°C sin la intercalación del molino; y por lo tanto, cuando éste se encuentra en servicio, el caudal de los gases de salida es ya menor debido a la diferencia de temperatura. Si no es suficiente el aire frío adicional, no debe despreciarse la inyección de agua. No ofrece problemas si es que hay disponibilidades de agua en cantidad suficiente, y también tiene la ventaja de que, gracias al humedecimiento del gas, se mejora el rendimiento absoluto del filtro.

**3.3.** Si la humedad del crudo sobrepasa el límite del 8 %, hay que preocuparse del calor necesario para un secado adicional. En muchos casos el aire de salida del enfriador de clínker será suficiente. Se ofrece además, naturalmente, la posibilidad de los hogares, ya que en la mayoría de los casos para la primera puesta en marcha del molino se coloca un hogar auxiliar. Con una temperatura relativamente alta en el campo de, por ejemplo, 600°C, la necesidad de aire adicional, en función del contenido de agua, es tan exígua que el electrofiltro no debe preverse que sea mayor que lo que debería ser en el caso de un servicio directo del horno al filtro.

**4. La regulación de la proporción de los diversos componentes del material crudo entre sí** puede realizarse, en condiciones especialmente favorables, utilizando un molino de

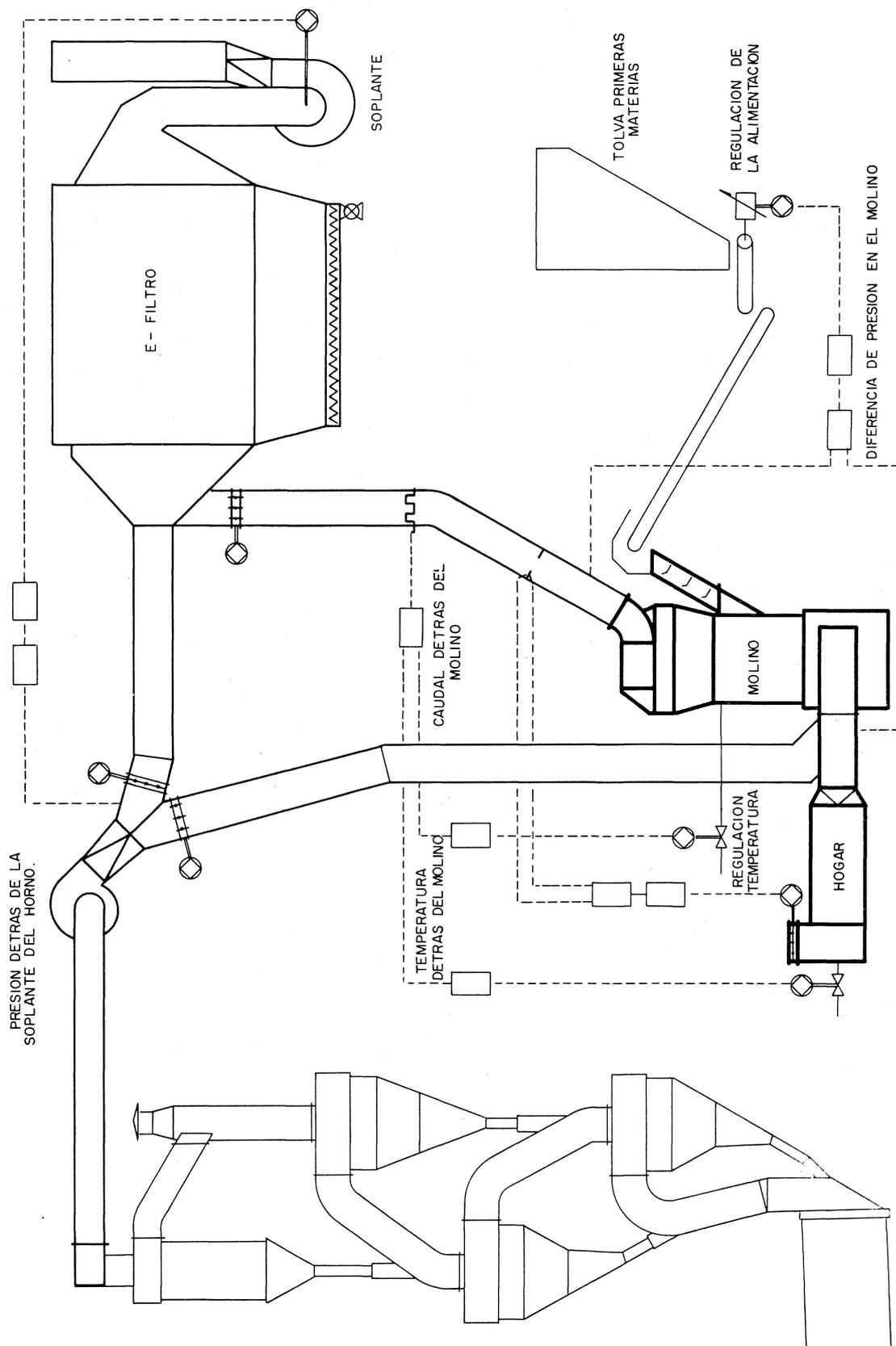


FIG. 1

rodillos en corriente de aire, ya que la cantidad de material que está en circulación en el molino es solamente una fracción de la cantidad de llenado de un molino tubular de igual capacidad; aproximadamente de 1/30 a 1/40.

**4.1.** Mediciones hechas en molinos de rodillos Loesche han puesto de manifiesto que la modificación de un componente del crudo en la alimentación del molino necesita un tiempo de 2,5 minutos, desde el momento del mando de la regulación al dosificador hasta el cambio completo al valor nuevo de dos componentes similares en su molturabilidad. Esto lo demuestra la curva de la figura 2. Sobre este tiempo hay que tener presente el necesario para el transporte de la muestra hasta el laboratorio y el análisis de la misma.

**4.2.** Tal y como Vds. han podido escuchar en interesantes disertaciones habidas estos días sobre la materia, existen hoy en día aparatos para el análisis por fluorescencia de rayos X que suministran valores que poseen la exactitud necesaria y que normalmente permiten realizar un análisis en pocos minutos. Con crudos en los que puede utilizarse un aparato continuo para el análisis químico de la corriente de harina cruda y que tenga suficiente exactitud, la pérdida de tiempo será todavía menor.

**4.2.1.** Como es natural, hay que tener presente aquí el problema de la toma de muestras, y la dificultad de que éstas sean lo suficientemente representativas para un análisis de las mismas. Es aconsejable analizar el crudo detrás del molino y regular inmediatamente a distancia los componentes (método de Feedback); y con objeto de evitar el tiempo muerto que se produce en el electrofiltro y en los elementos de descarga del mismo, así como las segregaciones del polvo que inevitablemente se presentan en las diversas cámaras, debe de pensarse en la toma de muestras directamente de la corriente de aire entre el molino y el electrofiltro. Sobre este sistema de toma de muestras tenemos abundante experiencia en instalaciones de molienda de carbón en polvo para los hogares de las calderas.

**4.2.2.** Si se toman en consideración las ventajas de los molinos de rodillos en corriente de aire en comparación con los molinos de alto grado de llenado, y el desarrollo futuro de la técnica que puede llegar a reducir prácticamente a cero el tiempo necesario para la toma de muestras, el transporte de éstas y su análisis, no es aventurado prever la posibilidad de eliminar la homogeneización del crudo.

Esta eliminación no impedirá el que si, es necesario, se pueda disponer de unos silos de reserva.

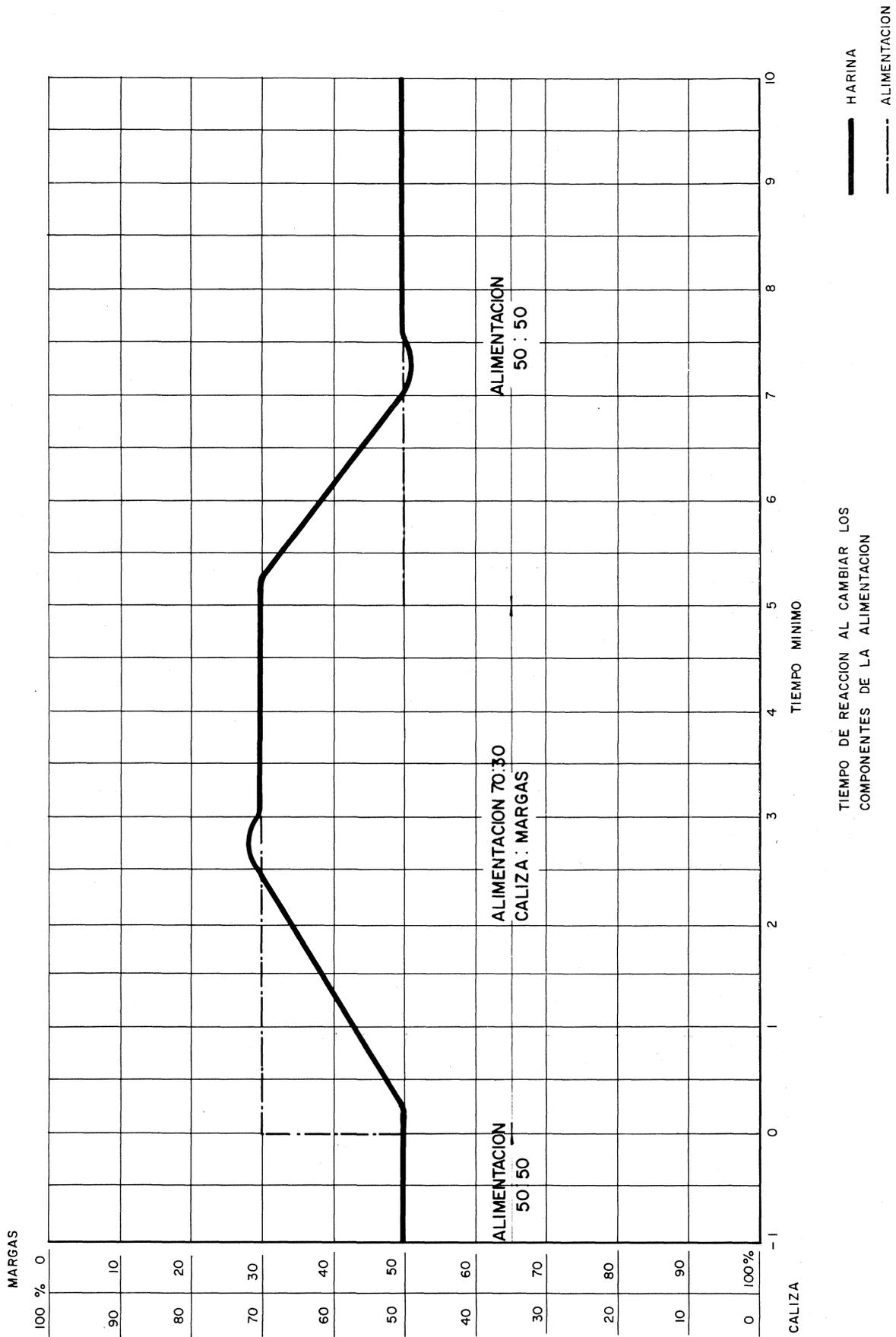
**4.3.** La figura 3 muestra una instalación de molienda que se alimenta desde un lecho de mezcla en combinación con un horno con intercambiador de calor.

Además de los circuitos de regulación mostrados al principio, cabe aquí todavía el mando por medio del aparato por fluorescencia de rayos X de los dosificadores de salida del lecho de mezcla.

Así se consigue una instalación de tratamiento de crudo completamente automática, desde el almacén de primeras materias hasta la entrada del horno, sin que sean necesarios en la instalación instrumentos individuales de vigilancia ni personal de servicio.

## **5. RESUMEN**

La figura 4 muestra un molino de rodillos en corriente de aire que funciona en las condiciones anteriormente citadas. Los gases de salida del intercambiador de calor del horno deberán ser absorbidos totalmente por el molino para su utilización en el secado del crudo y purificados en un electrofiltro único para el horno y el molino. Los componentes del



TIEMPO DE REACCION AL CAMBIAR LOS COMPONENTES DE LA ALIMENTACION

Fig. 2

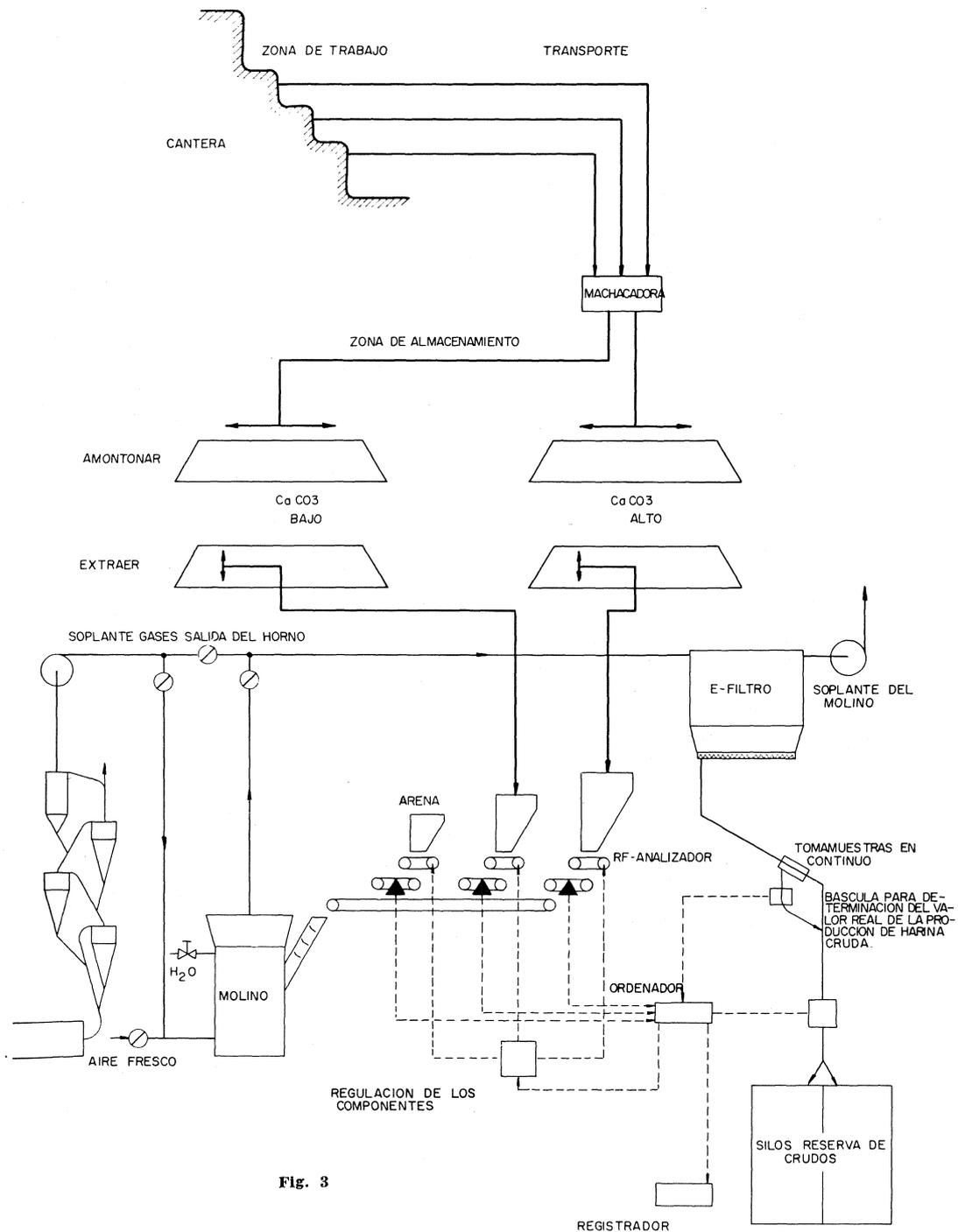


Fig. 3

crudo se regularán en cuestión de pocos minutos mediante el análisis del mismo por fluorescencia de rayos X en combinación con un ordenador. La cantidad total de material para la alimentación del molino, así como la temperatura de los gases de salida y la relación de presión para el horno, se regularán mediante circuitos de regulación independientes entre sí. La vigilancia total está concentrada en el puesto de mando central.

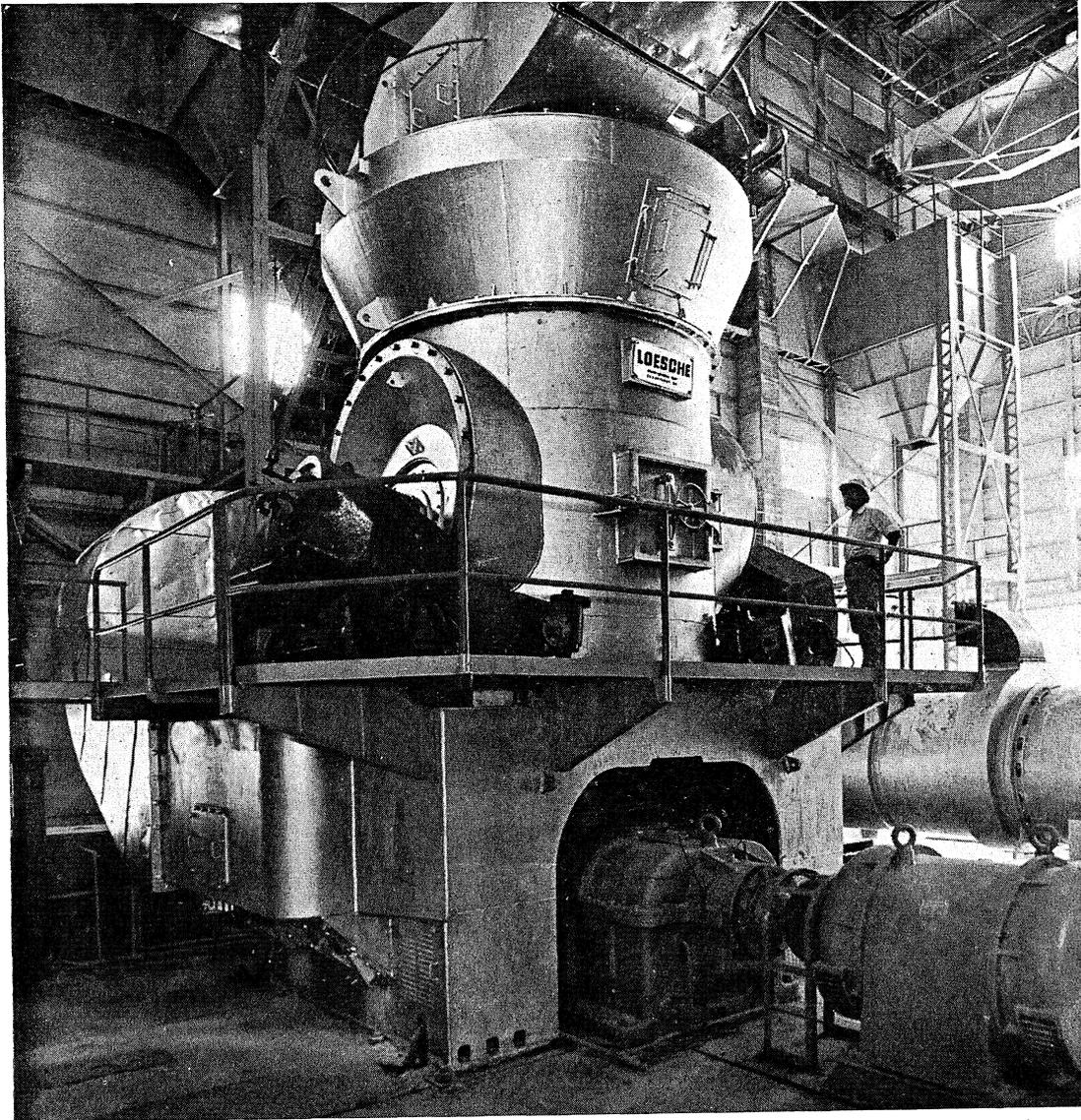


Fig. 4

Para terminar quisiéramos hacer resaltar una idea fundamental. Vds. disponen de unas primeras materias determinadas y con ellas quieren producir un cemento, y quieren también que la instalación que les permita realizarlo pueda ser automatizada en todo lo posible, y sobre todo que la rentabilidad de la misma compense la inversión realizada sin descuidar la calidad del cemento.

Partiendo de estas bases, y en cuanto a la instalación de preparación del crudo se refiere, y que va desde la cantera hasta la alimentación del horno, verán que solamente hay una solución óptima para cada caso. Esta solución será, sin duda, la más rentable y la mejor; pero no deberán dejarse influenciar por preferencias hacia tal o cual tipo de maquinaria, que realmente, es sólo una pequeña parte de un proceso que, en definitiva, es el que interesa.

## COLOQUIO

Sr. PALOMAR LLOVET: *Por tener esta instalación un filtro único para el horno y para el molino, en la parte que procede del horno, se recoge un producto que no es crudo ni es clínker, sino que es una mezcla de ambos y material en grado variable de cocción. Entonces, en estas instalaciones, la muestra para análisis ¿Se toma después de incorporarse este polvo?, ¿qué dificultades se han encontrado en su representatividad?, ¿se ha visto que la parte de polvo del horno, que podía ser variable, influía en las otras partes, más concretas, y en qué proporción? Solicito un poco más de información, por favor.*

Sr. LOESCHE: *Es una pregunta muy interesante. Hasta ahora no se han presentado dificultades por el polvo del horno. En efecto participa de lleno en la línea del crudo y, en consecuencia, se le hace participar en la corriente total del analizador. Al cabo de un cierto tiempo, relativamente corto, se presenta una estabilización, en la cual el caudal de polvo del horno ya no es por lo menos irregular. Entonces, en el momento que se ha estabilizado la cantidad de polvo, el análisis no representa dificultades.*

Sr. PONT BIOSCA: *Me ha parecido entender que era posible suprimir la homogeneización por el sistema de ordenadores ¿Quiere esto decir que será posible llegar a dirigir directamente el crudo del molino al horno, sin homogeneización de ninguna clase?*

Sr. LOESCHE: *Lo que se ha dicho en la comunicación sobre la posibilidad de eliminar totalmente la homogeneización es un pensamiento hacia un desarrollo posterior, una consecuencia de lo que acabamos de hablar. Creo que es muy importante para todos los fabricantes de aparatos analizadores, por ejemplo, los de fluorescencia de rayos X, acortar el tiempo en todo lo posible, tanto de análisis como de preparación de la muestra. La casa Loesche está trabajando y desarrollando la posibilidad de tomar las muestras en la propia corriente del molino en forma continua, de manera que la toma de muestra y la llegada al analizador sea instantánea. A esto es a lo que se va.*

Sr. GARCIA GIL: *En el caso de existir una cierta cantidad de álcalis ¿No se irán acumulando al volver del horno, y se producirá una descorrección por este motivo? Realmente, iremos teniendo cada vez más álcalis en las primeras materias.*

Sr. LOESCHE: *Efectivamente, al pasar por el horno todo el polvo, se puede producir una acumulación. Entonces, si se presentan problemas, no hay más remedio que sacar del circuito una parte de los gases de escape del horno; esta purga de la corriente final se puede hacer, o bien delante del intercambiador de calor como se ha dicho en la comunicación, o bien directamente por medio de un escape de by-pass, como lo hemos visto en otro molino, extrayendo del 30 al 40 % de la corriente total.*

*Cabe otra posibilidad, que es extraer material de la tercera cámara del electrofiltro, que es donde se depositan mayormente los álcalis y no volverlo a incorporar al proceso, sino eliminarlo.*

Sr. PONT BIOSCA: *Me ha parecido entender que el control del molino estaba en el horno. Entonces, en la sección del molino de crudo ¿No hay ningún hombre para el control?*

Sr. LOESCHE: *La sección del cuadro de mando que hemos enseñado, está incorporada en los mandos totales centralizados de la fábrica, donde está la persona que dirige toda la planta.*

Sr. OLIVEIRA: *Me interesaría saber si hay un límite de capacidad de producción en este tipo de molinos para la preparación del crudo y, caso de ser así, si estos molinos se podrán emplear para trabajar en las líneas de fabricación de altas producciones tales como 3.000 t/día.*

Sr. LOESCHE: *Están en marcha molinos de rodillos de hasta 130 t/hora y, en construcción, molinos de hasta 160 t/hora. En cuanto a la segunda parte de la pregunta, el poder alimentar hornos de 3.000 t/día, citaré como ejemplo que en el Japón se está montando una fábrica con hornos de 3.300 toneladas. No es posible alimentar estos hornos con una sola unidad de molienda, porque todavía no se ha llegado a conseguir un molino que dé las 300 t/hora. Como es lógico, están trabajando mucho para poder conseguir llegar a esas grandes producciones.*

Sr. OLIVEIRA: *Completo mi pregunta. ¿Es fácil, por tanto, instalar en la línea de fabricación dos o tres molinos, trabajando en paralelo sobre el mismo horno?*

Sr. LOESCHE: *No presenta ningún inconveniente y, de hecho, hay bastantes instalaciones con un horno y dos o tres molinos trabajando en paralelo para alimentar aquél.*