

# Automatización de fábricas de cemento: técnica del proceso y de la medición

**H. P. ELKJÄR**

**F. L. Smidth & Cía., S.C.**

## 1. INTRODUCCION

En ésta y en la siguiente comunicación voy a trazar las líneas que nosotros en la Casa F. L. Smidth & Cía., S.C. creemos que son de interés para la mayoría de las fábricas de cemento y que tendrán influencia en la implantación de instalaciones modernas de control y su mejor aprovechamiento.

Las conferencias están basadas en nuestras experiencias con amplio equipo de instrumentos, control y automatización de las fábricas de cemento. Respecto a los últimos años, estamos basándonos además en experiencias de fábricas, donde el ordenador forma parte del control de marcha.

La automatización no es nada nuevo en la industria del cemento. En la mayoría de las fábricas ya existen operaciones automáticas, como por ejemplo: Alimentación sincronizada del horno. Lo que se presenta como cosa nueva en el desarrollo de los últimos años es, por un lado, las más severas exigencias para la economía y la calidad, y por otro, un rápido desarrollo que actualmente se está verificando en los medios que se encuentran a disposición de la industria. Un desarrollo que, especialmente, se ha reflejado en métodos de medición, equipo electrónico de medición, equipo de regulación, y la utilización del ordenador en la industria.

En general, puede decirse que, dentro de una instalación de control moderna, las tendencias actuales son las siguientes:

- 1) Una instrumentación más completa y con ello un mayor control de los procesos químicos y físicos.
- 2) Una centralización del control de los procesos antes citados, con el fin de ofrecer una mejor visión de conjunto y una reducción de personal.
- 3) Un control eficaz de las máquinas que permita una marcha sin vigilancia local y permanente de la maquinaria.
- 4) Una automatización del control y dirección de los procesos químicos y físicos, de tal manera que sea posible, *por medio de un alto grado de estabilización*, aprovechar las unidades de producción con una elevada efectividad y economía, así como mejorar las calidades.

Dentro de estos cuatro aspectos tiene lugar hoy día un fuerte desarrollo, en parte como consecuencia del desarrollo antes citado dentro de los recursos disponibles en la industria,

y en parte debido a que la inversión necesaria para estos equipos auxiliares se reduce proporcionalmente cuando se aumenta el tamaño de las unidades de producción.

## **2. INSTRUMENTACION Y EQUIPO DE CONTROL**

Una cosa de suma importancia, si se piensa centralizar y automatizar el control de una fábrica de cemento, es una instrumentación eficiente y que, sobre todo, tiene que funcionar con seguridad y *facilitar indicaciones exactas*.

Desgraciadamente, todavía existen problemas con ciertas mediciones importantes.

Por ejemplo, para medir la temperatura de la zona de cocción, se pueden usar pirómetros de radiación total o de dos colores; pero, desgraciadamente, en muchos casos no es posible fiarse de esta medición y, en otros, se hace completamente imposible. Además, la zona de cocción puede ser vigilada por una instalación de televisión en circuito cerrado, pero, en ambos casos, si hubiera mucho polvo en el horno se obstaculiza la visión.

La medición del momento de giro del motor del horno puede además ser un factor muy importante para apreciar la temperatura en la zona de cocción, ya que las condiciones físicas del material que pasa por el horno varían según la temperatura.

Aparatos de pesaje para alimentación de materias primas, harina cruda, clínker, yeso, aditivos, carbón, etc., deben tener una exactitud elevada, y también ser apropiados para regulaciones automáticas.

El horno debe estar provisto, por lo menos, de un medidor de oxígeno; y cuando existe precalentador, preferiblemente con dos y, además, con un medidor de óxido de carbono. Estos aparatos han obtenido, con el tiempo, una gran seguridad de marcha; pero, por otro lado, en muchos casos no se cuida suficientemente de la extracción de gases de humo ni de su limpieza antes de introducirlos en los aparatos de medición. Actualmente existen en el mercado varios equipos aceptables para extracción de gases de humo con mucho polvo y muy calientes, pero hay que contar con el mismo precio para este equipo que para el resto del aparato analizador de gases de humo.

El analizador de rayos X pertenece también a la instrumentación, y su utilización será tratada con más detalle a continuación.

## **3. CONTROL Y AJUSTE QUIMICO AUTOMATICO DE LA CALIDAD CON AYUDA DE UN ANALIZADOR DE RAYOS X**

El propósito de la automatización, que en seguida será mencionada, es primordialmente mantener condiciones constantes para los procesos físicos y químicos que suceden en los molinos y en los hornos, ya que, de esta forma, será posible obtener la producción máxima con el mínimo consumo de combustible y energía y, al mismo tiempo, la mejor calidad posible del producto terminado. En este sentido, el horno ocupa una posición singular porque normalmente es el horno el que determina la producción de la fábrica y, consecuentemente, tiene por ello una gran influencia en el precio de coste del cemento.

Es natural, por tanto, que uno de los factores más importantes para conseguir *condiciones estables* en la marcha del horno, es que esté alimentado con un *material crudo que presente variaciones físicas y químicas lo más pequeñas posibles*.

También hoy día, dentro de la industria del cemento, ha sido aceptado, en general, que se obtienen muy grandes ventajas mejorando la preparación del material que se alimen-

ta al horno, de tal manera que se consigan *cualidades físicas constantes y una composición química homogénea*. Además, se tienen experiencias de que, una vez conseguido esto, es mucho más fácil automatizar las demás secciones de la fábrica e, incluso, se ha visto que la necesidad de automatización del equipo en ciertas secciones se ha reducido considerablemente, llegando a veces casi a eliminarse.

Las medidas tradicionales para obtener una alimentación constante al horno han sido las siguientes:

- 1) Un estudio de las canteras de arcilla y caliza.
- 2) Pre-homogeneización en mayor o menor extensión. Esta pre-homogeneización puede ser efectuada en el hangar con grúa, o, mejor aún, en "stock-piles" especialmente previstos para este propósito, o en almacenes especiales donde la distribución y la extracción del material es efectuada según un programa predeterminado.
- 3) Una mezcla de los diferentes componentes de las materias primas por medio de los aparatos de alimentación en la sección de molienda.
- 4) Una homogeneización posterior de la harina cruda en los silos de homogeneización y silos de almacenaje.

El control químico de las varias fases de la producción de harina cruda ha estado basado en valoraciones y análisis completos, ejecutados según el método húmedo; pero estos análisis tardan mucho y la reproductibilidad de los resultados no es muy buena. Las variaciones en la saturación de cal pueden alcanzar hasta  $\pm 2,5\%$  y el módulo de sílice  $\pm 0,15\%$ . Como los análisis completos requieren mucho tiempo, no se pueden compensar las rápidas fluctuaciones de la harina cruda ni de la pasta; y las inexactitudes de los análisis admiten que salgan tan grandes oscilaciones en la composición química, que no se puede obtener una marcha óptima del horno.

Las dificultades antes mencionadas pueden ser vencidas en gran parte instalando un espectrómetro de rayos X y una unidad de cálculo para calcular los resultados de los análisis. La principal ventaja de tal instalación es su rapidez. De esta manera, un análisis completo puede ser efectuado en 10-15 minutos. *La reproductibilidad de los resultados es mucho mayor que la conseguida con análisis convencionales*. Las variaciones en la saturación de cal, por ejemplo, pueden ser  $\pm 0,5\%$  y el módulo de sílice  $\pm 0,03\%$ .

Con una regulación adecuada de los alimentadores del molino de crudo basada en los análisis de rayos X, se puede obtener ahora una compensación de las fluctuaciones rápidas, tanto en la saturación de cal como en el módulo de sílice y de hierro.

Como es muy importante para un control y ajuste químico de la calidad que los análisis y las correcciones necesarias en la alimentación del molino sean efectuados lo más pronto posible, la instalación puede mejorarse mucho al automatizar toda la preparación de muestras. Esto implica el montaje de equipos automáticos para la extracción de muestras, instalación de un sistema de transporte neumático con estación automática de llenado y vaciado, y el equipo automático para el espectrómetro de rayos X ya explicado en comunicaciones anteriores.

Sin embargo, hay que subrayar aquí, que la instalación de un aparato analizador de rayos X no puede sustituir a ninguna de las instalaciones mencionadas anteriormente, ya que quizá lo máximo que se obtiene es cierta simplificación de la instalación de homogeneización para harina cruda.

El análisis por un aparato analizador de rayos X sirve para que estas instalaciones puedan ser utilizadas *más eficazmente que antes*, pero no puede sustituirlas. En una fábrica existente puede ocurrir, en muchos casos, que para obtener el máximo rendimiento de un espectrómetro de rayos X haya que introducir *al mismo tiempo* una u otra forma de pre-homogeneización de las materias primas.

#### **4. AUTOMATIZACION**

Las automatizaciones más corrientes en las fábricas de cemento que se llevan a cabo para reducir el trabajo del personal se basan, principalmente, en aquellos bucles de regulación análogos que estabilizan la marcha de las diferentes secciones. Para tales regulaciones se utilizan en general reguladores *proporcional-integral*, cuyas constantes se pueden adaptar de una manera simple a las características del sistema a regular.

##### **4.a Automatización de las secciones de molienda de crudo**

La automatización en una sección de molienda de crudo tiene por objeto lo siguiente:

- 1) Asegurar una finura constante del producto terminado.
- 2) Asegurar un secado constante de los materiales, antes y durante el proceso de molienda.
- 3) Asegurar una producción óptima.
- 4) Evitar que el molino se llene de material.

Estos efectos se obtienen con los bucles automáticos, indicados en la figura 1, que representa la sección de molienda con secador Flash y utilización del calor del horno para el secado:

- 1) Regulación de la alimentación según la carga del elevador + Foláfono (aparato acústico de nuestra construcción), de tal manera que se mantenga una carga constante del elevador y, consiguientemente, una alimentación constante al separador, mientras que el Foláfono asegure que, en caso de variación del ruido de molienda fuera de los límites fijados, se efectuará una intervención en la cantidad de la alimentación.
- 2) Regulación de la cantidad de aire caliente que pasa a través del Flash, según la temperatura después del molino, en cascada con la temperatura después del Flash.

La cantidad de aire que pasa a través del molino debe ser constante; pero, en la práctica, por lo general no es necesario prever un circuito automático para conseguir ésto.

##### **4.b Automatización de la instalación del horno**

Existen algunos circuitos automáticos que siempre pueden instalarse con ventaja en la sección del horno; pero, por lo demás, hay que indicar que normalmente no debe ser realizada una automatización más amplia antes de haberse introducido un control y ajuste químico de la calidad en la producción de la harina cruda, preferentemente con el citado analizador por rayos X, porque esta instalación fácilmente podría cambiar toda la base de la automatización completa de la sección del horno.

Ejemplos de bucles de regulación análogos son mostrados en la figura 2, que representa un horno de vía seca con enfriadores satélites y precalentador de ciclones de 2 etapas, ven-

tilador de gases de humo + aprovechamiento de gases calientes en la sección de secado y molienda + filtro + ventilador del filtro:

- 1) Cantidad constante de aceite mediante regulación de la abertura en el mechero de aceite. Este bucle elimina la influencia de las variaciones en la presión y la temperatura del aceite.
- 2) Presión constante después del ventilador de gases de humo mediante regulación de la velocidad del ventilador del filtro, de tal manera que la marcha del horno se independice de la marcha de las instalaciones de secado conectadas.
- 3) Un exceso constante de aire mediante regulación de la velocidad del ventilador de gases de humo o la válvula de celosía para mantener constante el contenido de  $O_2$ , eventualmente en conexión con una regulación en cascada con la depresión después del ciclón o el consumo de energía del ventilador de gases de humo.
- 4) Una relación constante entre la velocidad del horno y su alimentación, o sea, la sincronización.

#### **4.c Automatización de las secciones de molienda de cemento**

La automatización en una sección de molienda de cemento tiene los siguientes objetivos:

- a) Asegurar una finura constante del producto terminado.
- b) Evitar temperaturas demasiado altas del cemento durante el proceso de molienda.
- c) Asegurar una producción óptima.
- d) Evitar la sobrealimentación del molino.

Estos propósitos los obtenemos con los circuitos automáticos mostrados en la figura 3, que representa un molino de cemento con refrigeración interior por agua y con medición de la temperatura del tabique intermedio:

- 1) Regulación de la alimentación según la carga del elevador + Foláfono, tal como se ha indicado para el molino de crudo.
- 2) Control de las temperaturas del tabique intermedio y del cemento a la salida del molino mediante regulación automática del enfriamiento interior por inyección de agua a la entrada y a la salida del molino.

#### **4.d Automatización del control y ajuste químico de la calidad**

Para todos los circuitos automáticos estabilizantes mencionados, se ha tratado de circuitos bastante simples, fáciles de dividir en funciones sencillas y, por consiguiente, muy apropiados para regulaciones análogas. Por otra parte, el asunto es diferente cuando se trata de control y ajuste químico de la calidad. En la regulación automática de ésta, hay que tener en cuenta una serie de factores especiales como:

- Frecuencia de medición.
- Errores de medición que tienen que ser corregidos a base de las mediciones de control periódicas de muestras standard.
- Conversiones de los impulsos del contador en porcentajes de los elementos del análisis por medio de curvas de correlación correspondientes.
- Balances de cal y sílice.

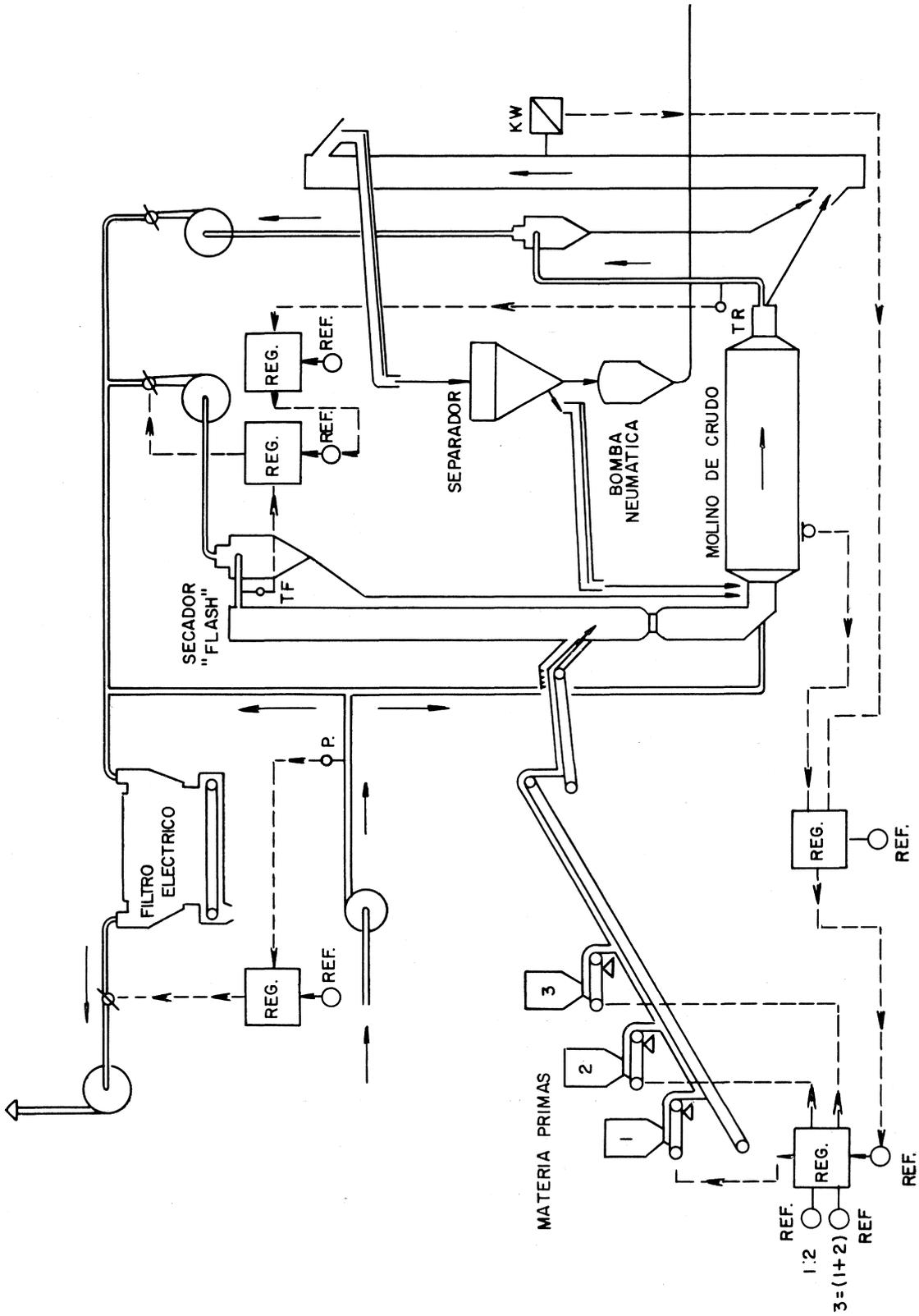


Fig. 1

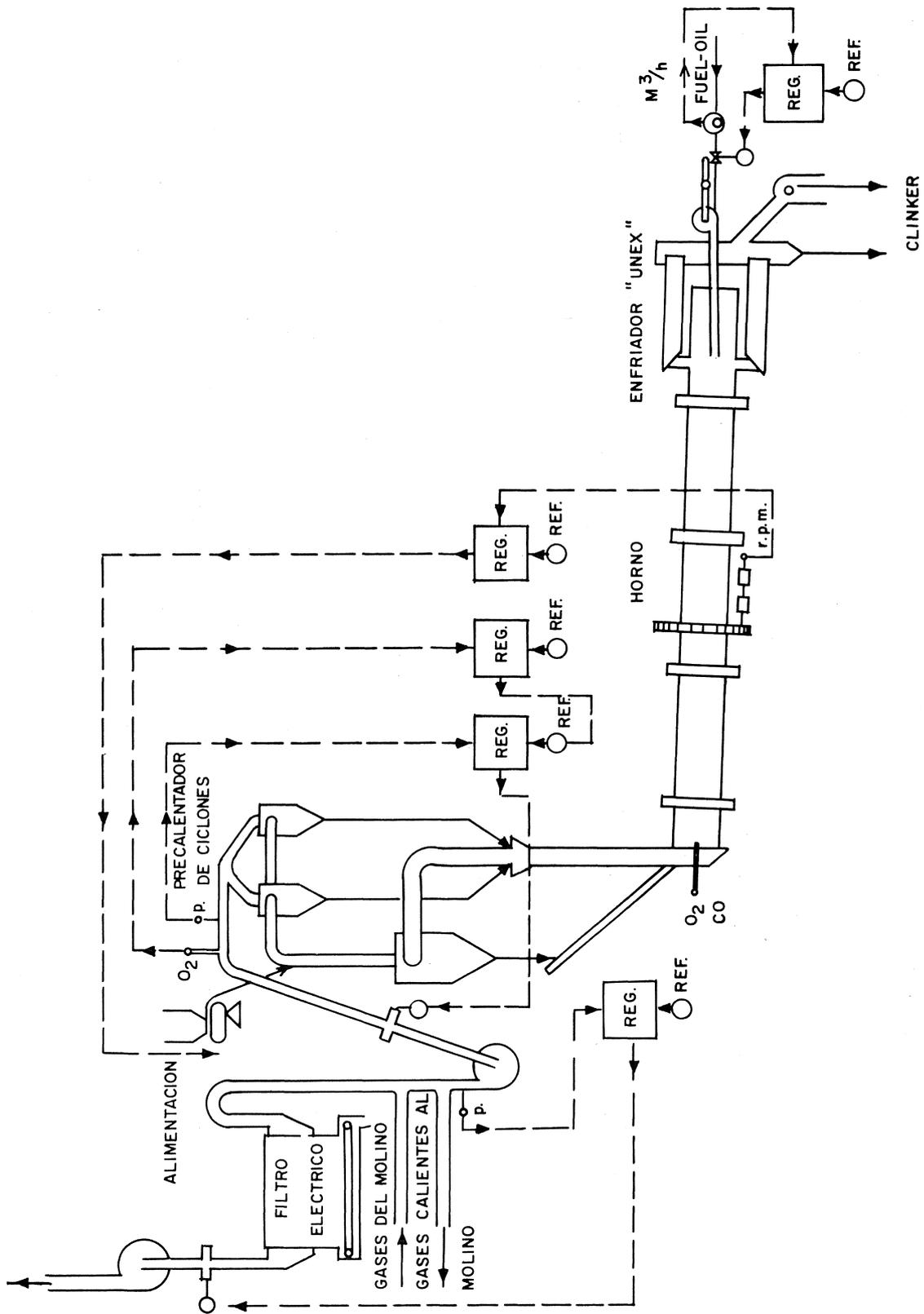


Fig. 2

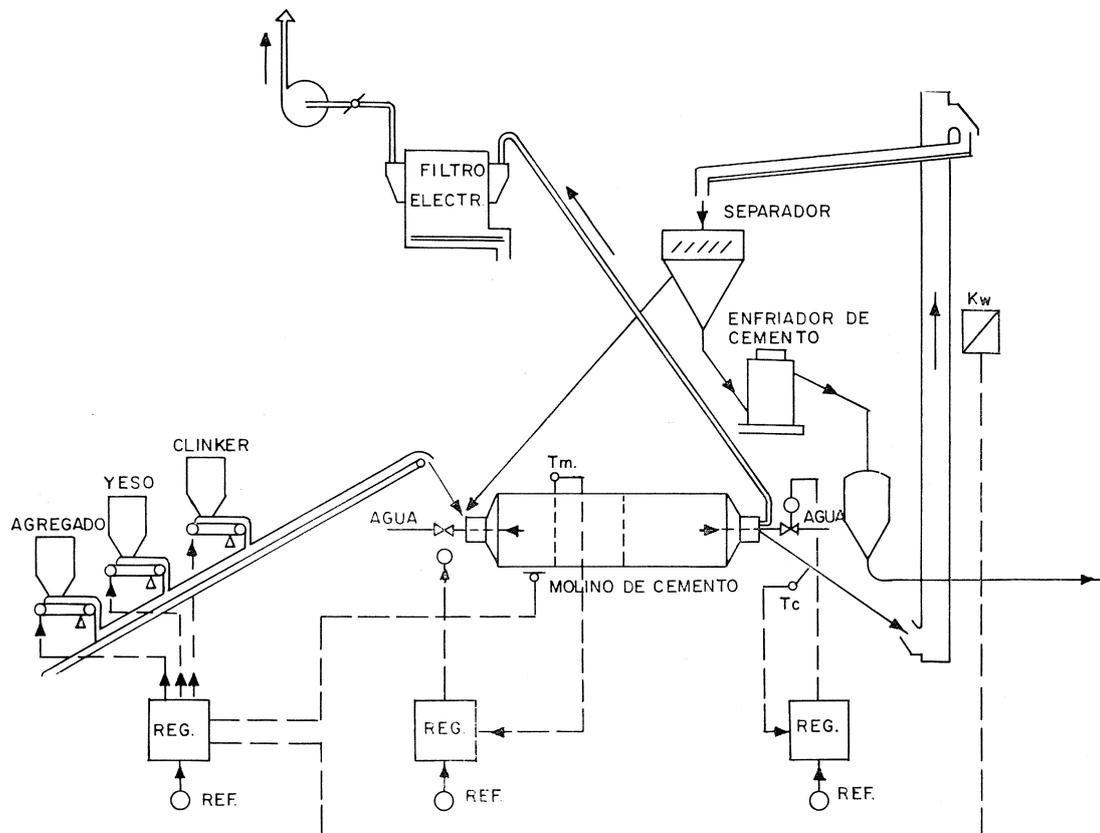


Fig. 3

## COLOQUIO

Sr. PRESIDENTE: *Es fácil felicitar al Sr. Elkjær por el contenido de su importante información. Hay que felicitarle además porque no ha consumido los 20 minutos. Nos ha hecho ver la importancia del horno, como elemento fundamental de toda fabricación; por consiguiente, de la aportación de los crudos y la buena utilización del proceso, al mismo tiempo que una exposición completa de todos los sistemas de automatización de todo el proceso. Los que deseen hacer alguna pregunta de aclaración, pueden hacerlo.*

Sr. GARCIA CAVANILLES: *Quisiera saber ¿cómo regulan la finura del cemento en esta instalación?*

Sr. ELKJAR: *Manteniendo constante la cantidad de material que alimenta al separador. La finura del cemento también resulta en la práctica lo suficientemente constante regulándola también, de tal manera, que la del molino no se sobrecargue, y esto se hace por medio de la señal del ruido. Hemos visto que no es necesario con un circuito especial para regular el separador.*

Sr. GARCIA CAVANILLES: *Pero, ¿solamente por la alimentación del molino, con alimentación constante del molino consiguen una finura constante también?*

Sr. ELKJAR: *No; la alimentación del molino no es mantenida constantemente. En realidad, lo que es mantenido constante es el material que pasa a través del molino y este material es la alimentación más el retorno del separador.*