

relación e influencia de la prehomogeneización sobre el control de dosificación de los crudos de cemento mediante «RFA» (análisis de fluorescencia Röntgen) y calculadora digital

SANDRO BUZZI*

INTRODUCCION

Una fábrica de cemento tiene que ser ante todo una instalación química, concepto que alcanza cada vez un mayor significado en este sector, al realizar la planificación de las instalaciones actuales; en otras palabras, los puntos de vista que entran en juego en la preparación del producto condicionan considerablemente el éxito cualitativo, cuantitativo y económico.

En los últimos años se ha presentado, cada vez más en primer plano, el problema de un exacto control de la dosificación de los componentes y ha ocasionado con ello un considerable gasto en instalaciones y experiencias.

En los siguientes casos está justificada la más extrema exactitud y, por ello, justificado:

- en la obtención de polvo con una composición previamente conocida, es decir, antes de la cocción, que debe ser imprescindiblemente constante (dentro de los límites de error de los análisis), sobre todo para los hornos con intercambiador de calor en ciclones tan extendidos y que trabajan cargados de polvo seco;
- en el aumento del rendimiento de molinos tubulares y, en correspondencia, aumento de la cantidad de crudo erróneamente dosificado, en los intervalos de toma de muestra;
- cuando la composición del clínker se puede diferenciar en corto tiempo y sin dificultades;
- cuando deba emplearse una materia prima en la que la granulometría y la composición mineralógica sean anormales y difíciles;

* Director técnico de Fratelli-Buzzi-Cementi-Casale. Cemeniería di Robilante (Italia).

- cuando deba ser automatizado el proceso, todo lo que sea posible, en donde, sin embargo, debe esquivarse la aplicación de calculadoras “on line” para el control del horno. Con un polvo ideal y constante se simplifica notablemente el desarrollo del proceso y puede regularse óptimamente con medios simples.

Los modernos progresos técnicos en el campo de una mayor exactitud para el control de la dosificación, pueden dividirse en tres grupos:

- a) Homogeneización de material triturado (la llamada prehomogeneización, distinta de la homogeneización del polvo).
- b) Análisis rápido y completo de todos los componentes, con el empleo de la fluorescencia de rayos X.
- c) Evaluación de los resultados de análisis mediante calculadora digital.

Con motivo de nuestro trabajo en la planificación y terminación de la nueva fábrica de cemento en Robilante, puesta en servicio en el verano de 1965, creo poder facilitar, para esos puntos, un artículo provechoso en el que describo nuestros puntos de vista en general, así como las experiencias de la práctica.

PARAMETROS DEL CONTROL DE DOSIFICACION

La forma más simple de vigilancia de la mezcla sólo conoce algunas variables químicas o de cálculo:

- químicas, con CO_3Ca o CaO (en calcinación standard);
- de cálculo, cuando se trata de cal standard (grado de saturación en cal).

Este caso se presenta frecuentemente con dos componentes, cuyo carbonato cálcico es variable pero cuyos módulos permanecen relativamente constantes.

Si se ha de alcanzar, sin embargo, un mayor grado de exactitud para el control de la dosificación, o si la mezcla no está suficientemente definida con una sola variable, se deben introducir otros componentes que definan matemáticamente los parámetros que se quieren determinar. Para ello se considera la siguiente fórmula:

$$\text{Número de los parámetros libres (variables)} = \text{número de componentes} - 1. \quad [1]$$

De ella resulta, que con tres componentes se pueden determinar dos módulos (por ejemplo: standard de cal y módulo de silicatos). En el caso de cuatro componentes pueden determinarse, por lo tanto, tres parámetros (por ejemplo: standard de cal, módulo de silicatos y módulo de fundentes o C_3S , C_3A , fase líquida, etc.).

Evidentemente, sólo es necesario un análisis completo, en el caso de parámetros determinados por cálculo (ecuaciones lineales del contenido porcentual en óxidos de Ca, Si, Al, Fe); por otra parte, el cálculo resulta tanto más complejo:

- según el número de parámetros a determinar;
- cuanto más se tengan en cuenta los análisis de las materias primas además de los del crudo en polvo.

Por lo tanto, es importante la aplicación en paralelo de un aparato de rayos X y una calculadora, en los casos donde deban determinarse varios parámetros (esto atañe a nuestra fábrica) o sólo uno "cal standard" (dos componentes), el cual debe, sin embargo, determinarse con la mayor frecuencia posible, a fin de compensar la falta de una instalación de homogeneización previa.

ASPECTOS DE LA PREHOMOGENEIZACION

Cuando se quiere alcanzar una gran exactitud en el control de la dosificación, son factor decisivo, para ello, la amplitud de las oscilaciones en la composición química, y la velocidad de variación con que se presentan dichas oscilaciones en la mezcla. Y precisamente por ese motivo, es decir, para reducir la velocidad de variación y hacer posible al químico intervenir antes, se utilizan, cada vez más, las instalaciones de prehomogeneización.

El mezclado de material triturado puede realizarse en depósitos intermedios, que constituyen una especie de reguladores para compensar las diferencias entre el servicio continuo de los molinos de crudo y el servicio discontinuo de la trituración. Esta mezcla tampón de material se ha generalizado con éxito.

Sin embargo, una instalación de prehomogeneización sólo puede considerarse como tal, cuando satisface determinadas condiciones:

- la entrada de material debe transcurrir según un programa determinado;
- la cantidad almacenada debe corresponder aproximadamente a las necesidades de los molinos durante 1 semana;
- el tiempo de variación en la composición de los materiales por separado debe situarse muy por encima de los tiempos muertos de la instalación y de la vigilancia analítica.

En el fondo, en esto radica la diferencia entre el producto homogeneizado y el no homogeneizado.

En la planificación de una instalación de prehomogeneización se puede proceder según dos principios (figura 1):

- I) Homogeneización *total* del material triturado, que contiene ya todos los componentes principales y auxiliares (figura 2).
- II) Homogeneización *separada* de cada uno de los componentes, que es lo mismo pero con instalaciones trabajando en paralelo y por separado (figura 3).

Estos procedimientos pueden utilizarse, también, sólo para componentes que presentan una marcada variabilidad e irregularidad.

Por otra parte, la instalación puede planearse según dos puntos de vista constructivos distintos:

- A) *Instalaciones con lecho de mezcla*: con apilamiento horizontal del material de un lado a otro en toda la longitud del lecho de mezcla y extracción transversal mediante rueda de paletas frontal o mediante scrapper.

B) *Instalaciones con depósitos acanalados*: que reciben material programado, en montones sucesivos y unos junto a otros, formando capas casi verticales (figuras 5-6); la salida es por debajo en toda la longitud, con lo que se logra el corte de las citadas capas (figuras 7 y 8).

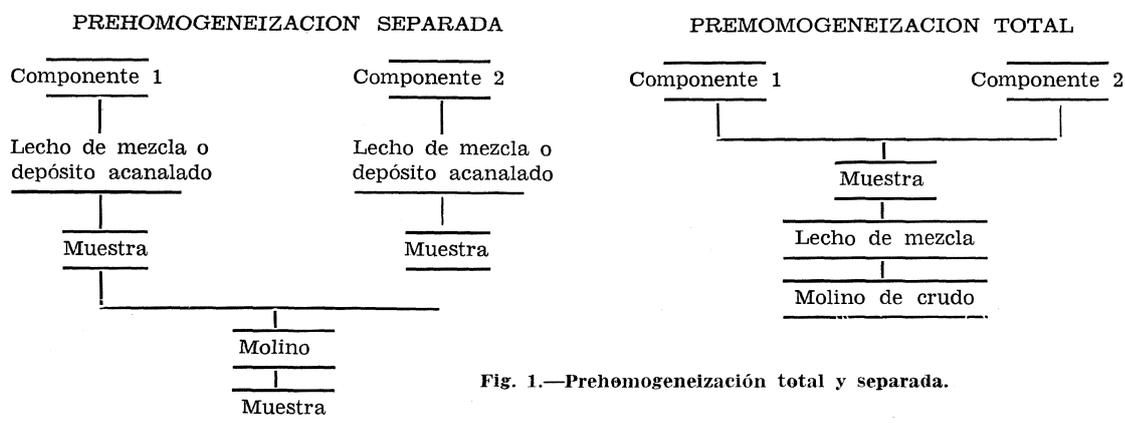


Fig. 1.—Prehomogeneización total y separada.

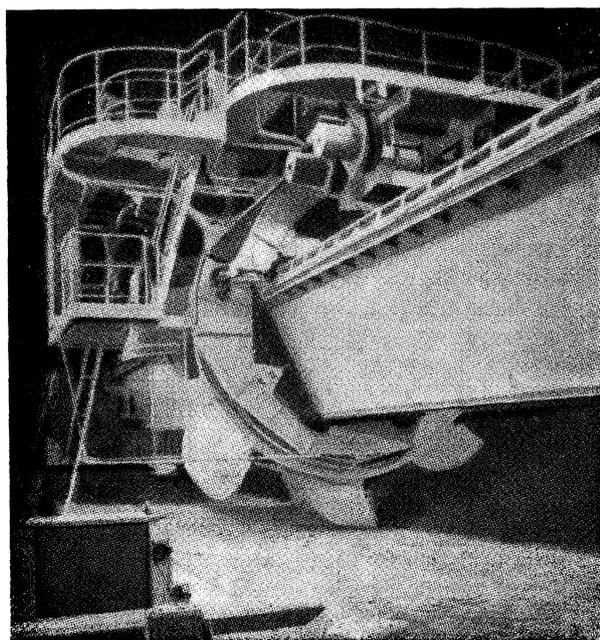


Fig. 2.—Instalación de prehomogeneización total.

La instalación A) posibilita el mezclado de productos que, almacenado en montajes, presentan fuertes diferencias en su composición porcentual (por ejemplo: 98 % de carbonato de calcio y 2 % de ceniza de piritita).

Por consiguiente, únicamente con esta instalación es posible emplear, por ejemplo, materiales de mediana calidad en producto triturado, ya que se distribuye uniformemente sobre todo el conjunto.

La mezcla de salida de esa instalación es constante considerada en el tiempo, es decir, la misma en cada momento (en la práctica real, a intervalos cortos).

La tecnología en este sector se desarrolla de forma que, con las correspondientes modificaciones de los elevadores, los intervalos se reducen todo lo que es posible, con lo que se consigue una composición constante del producto extraído (figura 9).

Con esta disposición se facilita bastante una toma de muestra representativa de la composición media del material almacenado, pues resulta suficiente examinar una capa más o menos delgada que la rueda de paletas saca a todo el ancho de la pila para que en dicha capa estén contenidos todos los componentes del mismo. Y precisamente ésta, es la "sección representativa".

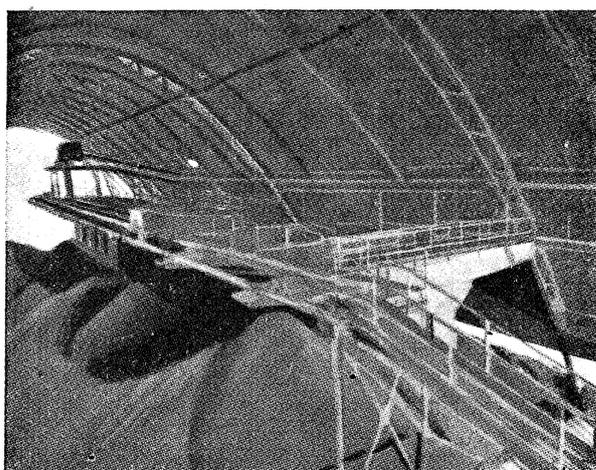


Fig. 3.—Instalación de prehomogeneización separada (Fábrica Presa-Robilante).

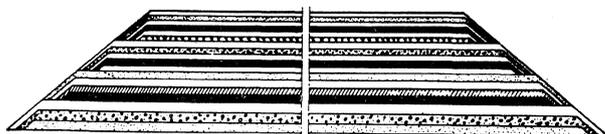


Fig. 4.—Sección longitudinal de un lecho de mezcla.

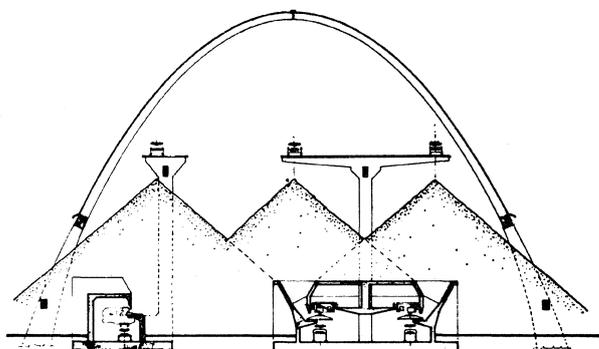


Fig. 5.—Instalación separada de prehomogeneización según el procedimiento de depósito acanalado (Fábrica Robilante-Italia).

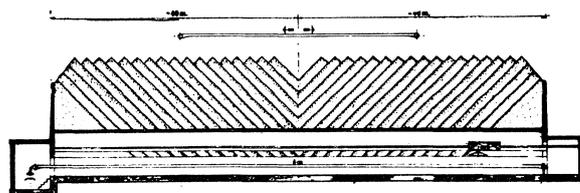


Fig. 6.—Depósito acanalado con el almacenamiento del material en capas casi verticales.

Es decir, que se trata de instalaciones de elevado costo, adecuadas para potencias medias y pequeñas. Estas, exigen grandes superficies y máquinas que necesitan un espacio considerable, factores que dificultan el problema de cobertura.

La instalación B), por el contrario, suministra “en cada instante” una mezcla constante a un ritmo determinado.

Dicho ritmo corresponde a un proceso de trabajo completo de la rueda de descarga; no obstante, el ritmo puede mejorarse con un almacenamiento cuidadosamente estudiado (ver figura 10) y con un considerable aumento en la velocidad de avance de la rueda de descarga.

Para determinar la composición media del producto almacenado se necesita una gran cantidad de muestra, así como un margen de tiempo relativamente largo. En este caso hace falta, detrás del molino, otra instalación de mezcla. Por lo tanto, este sistema es adecuado para un material único, que no presente nunca fuertes variaciones en su composición. La instalación es adecuada para cualquier capacidad con costos moderados.

En relación con esto, es interesante señalar que actualmente se efectúan experiencias en la instalación B) para un almacenamiento del material en capas horizontales y una evacuación en capas verticales, y esto debe reducir considerablemente el ciclo de la composición del material. Con este sistema se pone en funcionamiento el vehículo fresador de extracción frente al producto amontonado y trabaja contra el material que resbala, con lo cual tiene lugar el avance por pasos al descender la presión del producto sobre la rueda (figura 11).

Actualmente se realizan experiencias en nuestra fábrica sobre las posibilidades reales y la efectividad de ese sistema.



Fig. 7.—Canal subterráneo en un depósito de dos canales (Fábrica Buzzi, Trino).

Para la planificación de una instalación de prehomogeneización sólo pueden estar en consonancia, por lo tanto el procedimiento I) (prehomogeneización total) con el sistema A); mientras que con el procedimiento II) (prehomogeneización separada) puede aplicarse con ambos sistemas A) y B). En consecuencia, para una planificación existen las tres posibilidades siguientes:

- I-A) Prehomogeneización total con lecho de mezcla.
- II-A) Prehomogeneización separada con lecho de mezcla.
- II-B) Prehomogeneización separada con depósito acanalado.

Antes de empezar a hablar de las ventajas y desventajas de estos tres sistemas, voy a aclarar brevemente algunos puntos de vista del control de dosificación y de la toma de muestras.

PRINCIPIOS DE CONTROL DE DOSIFICACION Y TOMA DE MUESTRAS

Como sabemos, hay muchas posibilidades para el control de dosificación en una fábrica de cemento. Algunas entre ellas presentan, no obstante, pequeñas diferencias.

Un trabajo interesante de esta compleja cuestión fue presentado con gran éxito por W. G. Quittkat en ZKG de septiembre 1967 bajo el título "Fabricación de mezclas de crudo en la fábrica de cemento, principalmente a través de una dosificación controlada de

componentes". En este trabajo se definen cuatro aspectos principales para el control de dosificación, a los cuales se pueden reducir casi todas las variantes. Para conseguir claridad, recorro de nuevo a la casuística expuesta por Quittkat, que para más detalle recomiendo la publicación indicada.

Yo me serviré de la terminología del autor y confío en que ésta se generalice, apareciendo así una forma de expresión común que simplificará, con toda seguridad, el intercambio de experiencias.

CONTROL CONSTANTE

En este caso se supone que la composición de las materias primas es conocida y constante y que la parte proporcional de los componentes es invariable a lo largo de la capa.

CONTROL SINCRONO

También este sistema se basa en un conocimiento continuo y simultáneo (sincrono) de cada una de las materias primas.

Durante la preparación de las muestras y análisis se detiene cada componente en un silo, del que fluye como consecuencia del porcentaje determinado analíticamente.

Para una mezcla sin errores debe equilibrarse el tiempo de permanencia de los materiales, con el tiempo muerto para toma de muestras y análisis.

CONTROL DE TENDENCIA

Este sistema se basa en el análisis de la mezcla ya formada, bien del material triturado a la entrada del molino o bien del polvo a la salida del mismo. Aquí se limita la variación de los componentes, ya que corre tras ella el impulso de control correspondiente a su composición analítica. Es decir, que se determina el sentido sobre la composición deseada con un "más" o "menos", alcanzándose valores por encima o por debajo de la media.

Para delimitar las oscilaciones debe darse con frecuencia el impulso corrector.

Mientras que éste es quizás el sistema que se encuentra con más frecuencia en instalaciones tradicionales (pequeños silos sin mezcla), no parece adecuado para una instalación de prehomogeneización.

Este sistema se puede mejorar considerablemente mediante una calculadora que, con el error en el polvo, determina la composición hipotética de uno o de varios componentes, unos tras otros, y mejora con ello el control de dosificación por aproximaciones sucesivas.

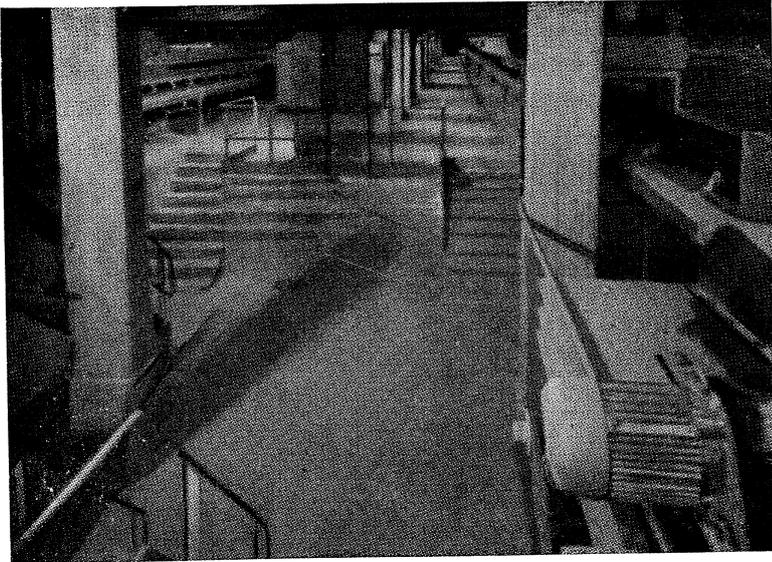


Fig. 8.—Gran túnel para dos vagones de vaciado en depósitos acanalados (Fábrica Presa - Robilante).

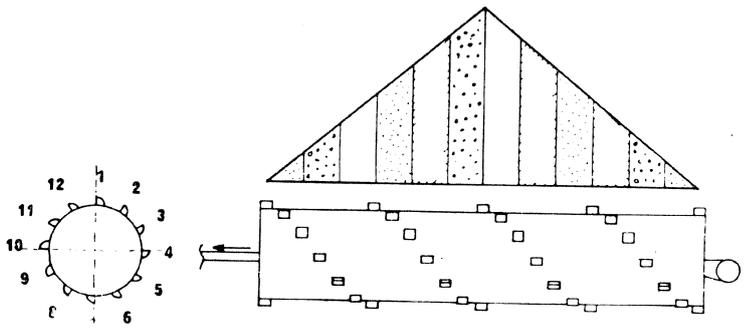
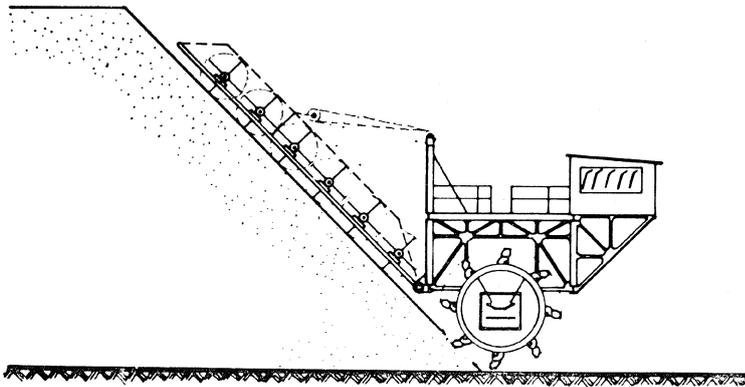


Fig. 9.—Elevador tubular de paletas.

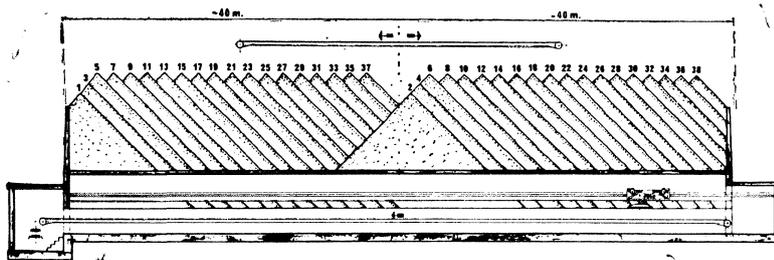


Fig. 10.—Depósito acanalado con aplado en montones alternos.

TIPO Instalación	PREHOMOGENEIZACIÓN					
	TOTAL			SEPARADA		
	Lecho de mezcla	Lecho de mezcla	Lecho de mezcla	Depósito acanalado	Depósito acanalado	Depósito acanalado
Toma de muestra a efectuar en	Material triturado antes de la instalación de prehomogeneización	Material triturado antes + polvo después del molino	Material triturado tras la instalación de prehomogeneización	Material triturado tras la instalación de prehomogeneización	Material triturado tras la instalación de prehomogeneización	Polvo tras el molino
Procedimiento de control	Control de integración	Control de integración + valor constante	Control de valor constante	Control sincrónico	Control sincrónico	Control de integración
Vigilancia por personal	(1)	(2)	(3)	(4)	(4)	(5)
Exactitud alcanzable para Kst y Mod.	1,5	0,4	0,3	0,6	0,6	1,0
Desviación estandard x)	Permanente para servicio de trituración	Permanente para servicio de trituración	Una a dos veces diarias	Diario	Diario	En dos turnos

Fig. 12.—Esquema de diversos procedimientos de prehomogeneización.

CONTROL DE INTEGRACION

Este método se basa en el análisis de un polvo y en la evaluación simultánea en peso del mismo.

Los valores nominales no se logran con los ensayos que siguen inmediatamente, sino mediante una integración de los controles de dosificación sucesivos de una cantidad global (por ejemplo de un silo) de la mayor dimensión.

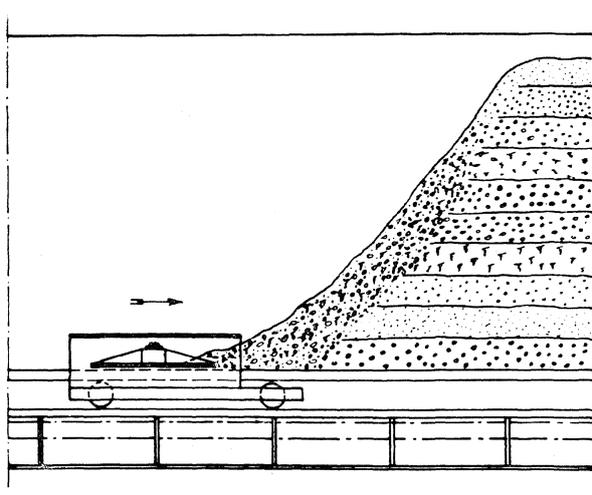


Fig. 11. Carro fresador al pie del talud.

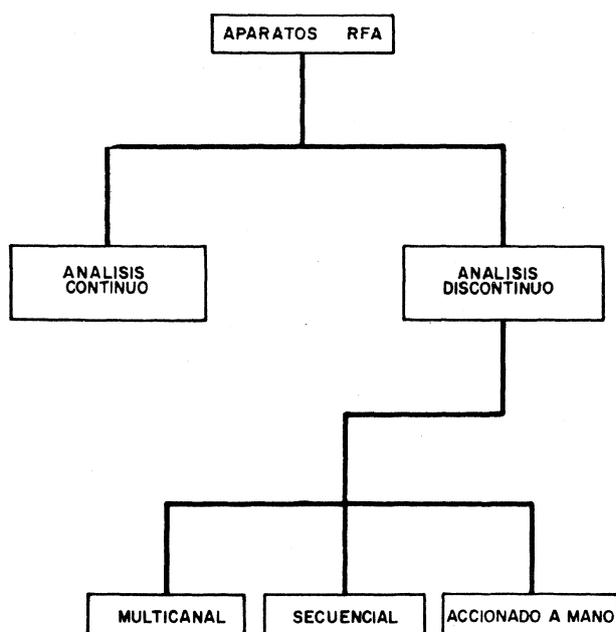


Fig. 13.—Aparato de fluorescencia de rayos X.

Frecuentemente, este sistema se acopla con el llenado de los silos de homogeneización del polvo con salida discontinua.

Además esta manera de proceder no se influencia por el tiempo muerto del sistema, pues hay un gran intervalo de tiempo hasta que se logran los valores nominales.

El control de integración se utiliza también, desde los mismos puntos de vista, para material triturado amontonado en un lecho de mezcla.

En la práctica son posibles varias combinaciones de los casos principales citados.

Se sabe que la *toma de muestra* es un componente importante del análisis:

- cuando es representativa y ha satisfecho su fin el trabajo analítico y los cálculos de corrección;
- si el tiempo necesario para la toma de muestra representativa es un factor importante en el marco del tiempo muerto total del sistema, condicionando por lo tanto los impulsos de corrección.

La cantidad necesaria para una muestra representativa es función exponencial del tamaño del grano, puesto que para ensayos de polvo bastan con algunos kg, mientras que en el caso de piedra triturada la unidad es del orden de tonelada (alrededor del 0,5 % del flujo de material).

Es decir, que es mucho más difícil y costoso el control de dosificación con la toma de muestra de material triturado. Como consecuencia de las ventajas concretas que resultan para la exactitud y la reducción de la cantidad de crudo mal dosificado, las tendencias más recientes se dirigen a establecer instalaciones de toma de muestras en las que tenga lugar el secado, la trituración, la molienda y la partición de las toneladas de muestra.

Si se considera la totalidad de los aspectos que se presentan como ya se ha indicado, en la prehomogeneización, dosificación y toma de muestras, se pueden colocar en un esquema que abarca todas las instalaciones que son levantadas o técnicamente posibles para la moderna preparación de las materias primas.

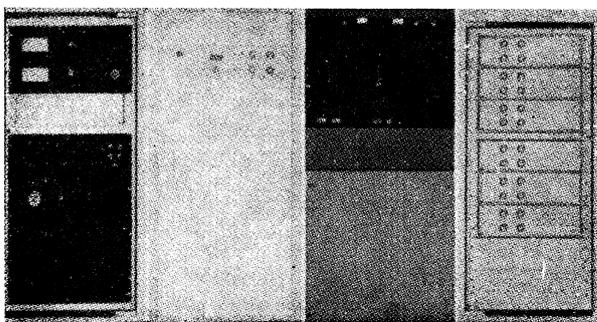


Fig. 14.—Aparato multicanal simultáneo.

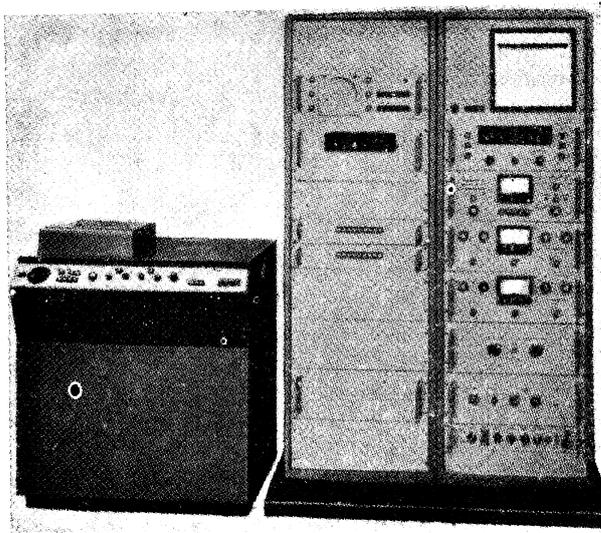


Fig. 15.—Aparato secuencial.

Ya que hemos mostrado diversas posibles soluciones, surge la cuestión de si hay un “control ideal” para el caso particular que se presenta ante el ingeniero de planificación.

Como también debe tratarse cada fábrica en particular, por la importancia de las materias primas disponibles, de las exigencias cualitativas y de la cuestión de costos, es interesante mencionar algunas ventajas y desventajas de las soluciones representadas esquemáticamente.

Para ello no deben perderse de vista las ideas fundamentales de estas realizaciones en lo que se refiere a la planificación de una fábrica de cemento:

- ante todo las exigencias químicas para la fabricación de un polvo correcto, y
- que esto tenga lugar con unos costos mínimos en energía y personal, lo que representa un mínimo en vigilancia.

Nosotros opinamos que:

- el caso ideal, desde el punto de vista químico, es la existencia de materiales separados, *con composición química conocida y*

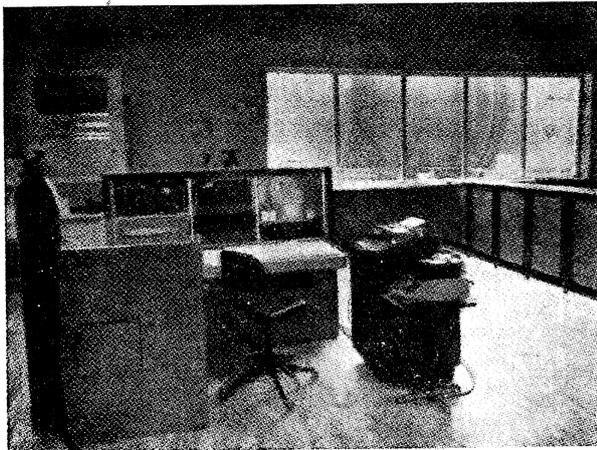


Fig. 16.—Aparato para el manejo de material con máquina teletipo.

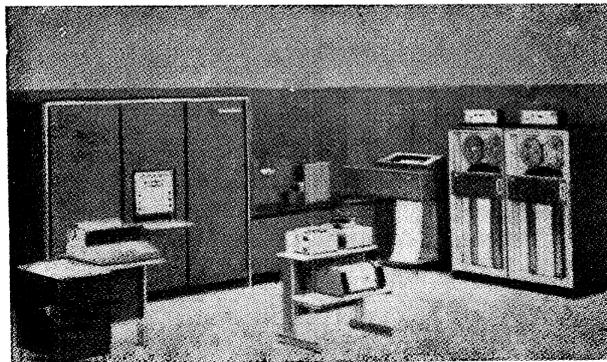


Fig. 17.—Computadora con gran capacidad de memoria (IBM 1800).

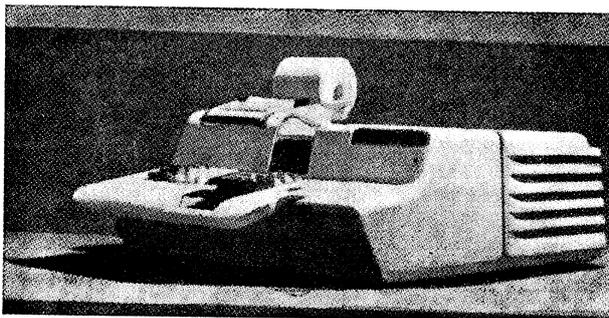


Fig. 18.—Pequeña calculadora digital con programación por cinta magnética (Olivetti Programa 101).

constante en el tiempo, y en número mayor a los parámetros a determinar.

Únicamente así se puede alcanzar exactitud y juego en el control simultáneo:

- el caso ideal, desde el punto de vista de ocupación de personal, se da en un control, en el que la toma de muestras tiene lugar en largos intervalos, y los análisis sólo se efectúan de tiempo en tiempo; por ello, se dan *pocos impulsos de corrección*, con lo cual se completa la vigilancia en el primer turno.

A causa del tiempo, no es posible extenderse sobre las diferencias entre los cinco sistemas expuestos esquemáticamente.

Fundamentalmente se indicará lo que sigue (fig. 12):

- En las instalaciones (1) y (2) no es posible realizar en cualquier momento y a voluntad *diversas composiciones de clínker*. Su volumen corresponde a una carga completa.
- La toma de muestras, que siempre es muy difícil en el caso de material triturado, se simplifica cuando es efectuada detrás de la instalación de prehomogeneización [instalaciones (3) y (4)], como consecuencia de la reducida cantidad de paso y del efecto medio del elevador*.

Si la toma de muestras se realiza en el polvo molido, como en la instalación (5), las distintas ruedas de paletas deben trabajar con la misma velocidad de avance. De este

* La salida depende de la producción de los molinos y de la potencia consumida para el triturador, el cual a menudo sólo trabaja algún turno.

modo se conocerá el intervalo de tiempo para la salida de la “sección representativa” de los diversos materiales que corresponden a la toma de muestras:

- el *personal necesario* para la toma de muestras, análisis y cálculos es mínimo en el caso de la instalación (3), mientras que para la instalación (2) es el más elevado;
- la *exactitud de control*, que debiera determinarse mediante la desviación cuadrática de los parámetros, es tanto mayor cuanto más se dan las siguientes condiciones:
 - a) el control se refiere al “conocimiento momentáneo” de los análisis de componentes,
 - b) se evitan los excesos de control y se trabaja, por lo tanto, armónicamente en el ritmo de la instalación de prehomogeneización.

También en este caso ni la instalación (3) y menos las (2) y (4) cumplen la condición a).

En un depósito acanalado, como fue exigido en nuestra fábrica, queda aún abierta una cuestión: de si sería rentable trabajar según el sistema (4) o sobre el polvo según el sistema (5).

En relación con el costo total de instalación y el deseo del ingeniero de servicio de evitar otras homogeneizaciones del polvo, se puede establecer que los únicos sistemas en los que se puede renunciar en general a una homogeneización del mismo, son los tipos (3) y (1). En este caso debiera, no obstante, elegirse un elevador con ciclo adecuado que procure un flujo continuo de material.

La renuncia a una instalación de homogeneización de polvo choca de todas maneras con otras dificultades y es un complejo de cuestiones muy delicado.

ANÁLISIS POR RAYOS X

La aplicación de este sistema de análisis, que presupone un considerable importe en costos y conocimientos, se ha extendido hasta ahora en la vigilancia rutinaria, en donde:

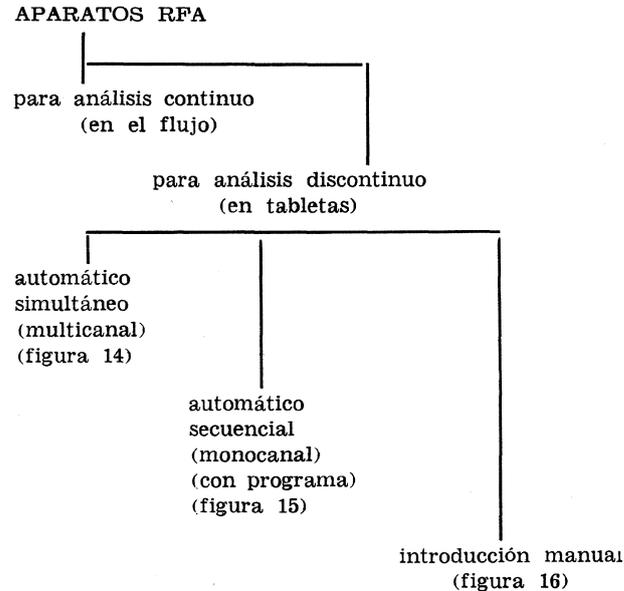
- como consecuencia de la variabilidad de los óxidos secundarios (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3), no es suficiente la determinación del carbonato cálcico;
- los valores de análisis deben de estar disponibles en el tiempo más corto, debido a la frecuente modificación de las materias primas y la elevada producción de los molinos modernos.

A primera vista no parece, por lo tanto, justificada la aplicación de una instalación de prehomogeneización; pero hay motivos concluyentes que apoyan el empleo de un análisis por fluorescencia de rayos X, incluso para raras correcciones, debido a:

- a) la considerable reducción del tiempo muerto y la correspondiente disminución de las cantidades mal dosificadas del polvo crudo;
- b) la ejecución de los análisis en una muestra de 10 g en lugar de en una de 1 g con el procedimiento húmedo, con mucha más calidad, principalmente, en el caso de muestras de material triturado;

- c) la posibilidad de sustituir, dado el caso, los largos y penosos análisis, así como la exacta repartición y preparación de una muestra media, por valoración estadística de análisis mucho más rápidos y muestras sin preparar (tomadas directamente, por ejemplo, del molino).

Como ya sabemos, los aparatos RFA se clasifican como sigue (figura 13):



Además, según las posibilidades de cálculo se clasifican como sigue:

- con tiempo fijo;
- con número de impulsos fijo;
- con canal de referencia; o
- según la relación a un standard externo variable.

En casi todos los casos arriba citados, con la existencia de una instalación de prehomogeneización, el ritmo de análisis que es necesario para un control libre de errores es mucho más lento que cuando falta una de dichas instalaciones.

Además, sería ilógico prevenir un ritmo de análisis más rápido en el caso de toma de muestras a la salida de la instalación de prehomogeneización que en la toma en la muestra representativa.

Con la cantidad de datos y de los hechos que se tratan continuamente en un “control de integración” se eliminan los aparatos con análisis continuo (que además sólo permiten análisis de polvo) y los aparatos con análisis discontinuo, que son menos costosos, encuentran un sector más amplio de aplicación.

Los espectrógrafos rápidos, con análisis simultáneo de los diversos componentes, son especialmente interesantes para la aplicación rutinaria del caso c) antes indicado.

Según nuestra experiencia hay otro punto de importancia en esta exposición:

- el RFA realizado frecuentemente en muestras medias para largo tiempo de toma de muestra, exige un grado de exactitud especialmente alto.

De ello resulta que debe encontrarse un sistema analítico que mantenga este grado de exactitud incluso para grandes intervalos, sin ser necesaria una vigilancia continua de las desviaciones en el aparato.

En nuestra opinión, es importante que el aparato pueda trabajar según “el procedimiento de la relación a un standard externo para la misma matriz” y que esta relación en el caso de aparatos multicanales sea calculada para cada componente en su propio canal y no por un canal de referencia separado.

En otras palabras, para cada componente y para cada canal se debe:

- calcular la serie según el mismo componente de la muestra standard, mediante impulsos determinados;
- fijarla según el tiempo necesario para ello;
- calcularla según la muestra desconocida, en el mismo tiempo.

Cuando el aparato presenta estas posibilidades analíticas, puede facilitar también resultados exactos bajo condiciones adversas.

CALCULADORA DIGITAL

Con esta expresión no nos queremos referir a grandes calculadoras provistas con una enorme capacidad de memoria, elaboración de datos y eventuales dispositivos de control; nosotros nos referimos más bien a un aparato que es adecuado para:

- el cálculo rápido de ecuaciones lineales y sistemas partiendo directamente de los valores de análisis de RFA;
- cálculos estadísticos.

Es decir, que se trata más bien de una calculadora digital que una computadora (figuras 17-18).

El tamaño y las posibilidades de esa calculadora son muy distintos de un modelo a otro. En la técnica electrónica se han presentado últimamente las exigencias individuales mediante máquinas fáciles de manejar.

Nosotros hemos conseguido una experiencia positiva en ese sector.

Debemos indicar aquí en qué casos son imprescindibles dichas calculadoras:

- a) siempre para el control, que fue calculado de los componentes particulares;
- b) en un control de integración del crudo, cuando éste afecta a dos o más parámetros;
- c) cuando el valor de análisis válido para la corrección fue calculado mediante elaboración estadística de diversos análisis.

Con una calculadora se puede efectuar en todos los casos la programación, fácilmente con costos moderados en comparación con una computadora. Además garantiza la calidad, en el mayor número de casos, el mejor polvo para nuestro horno, juntamente con la instalación de prehomogeneización.

Cuando se ha logrado la meta principal, cual es producir un polvo perfecto, puede ser fácilmente el ingeniero si hace falta extender la automatización y de qué forma se debe realizar la vigilancia de los hornos y molinos, teniendo en cuenta:

- 1) El perfeccionamiento de los circuitos de control analógico, mediante secuencias lógicas que centralizan sus actuaciones en un proceso.
- 2) El ajuste continuo de sus "set-point" (valores consigna) mediante la conexión en bucle cerrado, con computadora para el denominado control analógico-digital (DCA = Digital Analogical Control).
- 3) La sustitución radical del regulador analógico por una computadora para el control digital directo (DDC = Direct Digital Control).

Hay que considerar aquí, que para los puntos 2) y 3) es necesario un enorme gasto de tiempo, personal y medios, debiéndose, por lo tanto, comprobar exactamente su rentabilidad.