

aplicación del control por computador digital a los procesos de fabricación del cemento

M. R. HURLBUT, D. L. LIPPITT, E. A. E. RICH
General Electric Company - U.S.A.

INTRODUCCION

Unas veintisiete fábricas de cemento están trabajando actualmente con funciones controladas por sistemas de computador digital de control de procesos. La tabla 1 da las funciones principales llevadas a cabo por tales sistemas y el porcentaje aproximado de las veintisiete fábricas de cemento que emplean cada función. Las plantas de cemento reseñadas están situadas en Europa Occidental, Japón, Canadá y los Estados Unidos de América.

La mayoría de estos proyectos han instalado su propio procedimiento de control por computador digital. Muchos de los proyectos ya instalados tienen en funcionamiento el control de sus operaciones por computador. Algunos tienen ya pedido su sistema de control de proceso automático, y han tomado decisiones detalladamente sobre las funciones precisas que han de incluirse en el sistema. Se espera que este control esté en funcionamiento para fines de 1969.

En varias plantas de cemento están en servicio las combinaciones de funciones, dadas en la tabla 1. No hay todavía ninguna fábrica en la que estén en funcionamiento todas estas funciones simultáneamente. La tendencia parece ser a incluir la mayoría de las funciones que se citan en la lista, sobre todo cuando el proyecto de la fábrica puede adaptarse rápidamente a la incorporación fácil de estos sistemas de control de proceso automático.

Por lo menos el 63 % de las veintisiete fábricas dadas en la tabla 1 han incluido su sistema de control de proceso automático como parte de la construcción de una nueva planta, o al realizar la modernización de una planta existente. El resto incorporó los sistemas de control de proceso automático con reajustes relativamente pequeños en sus actuales medios de control.

La tabla 1 muestra también la gran importancia que han dado los empresarios de fábricas a lograr un control adecuado de la composición química de los crudos y al control

de los hornos y enfriadores. Las funciones de “control de validez sensorial y datos de alarma”, “datos de producción” e “informes diarios de operación”, también se han utilizado ampliamente. Estas últimas funciones fueron en parte un aspecto integral de las funciones de control básicas, o fueron fáciles de establecer, una vez conseguidas dichas funciones de control básicas.

DESCRIPCION DE LAS FUNCIONES

A continuación se da una breve descripción de cada una de las funciones de la tabla 1.

TABLA 1

Status de las fábricas de cemento controladas por computador digital

<u>Función</u>	<u>Porcentajes aproximados que emplean esta función</u>
1. Planificación de la cantera	15
1A. Control de la formación de la pila de prehomogeneización	15
2. Control del crudo	85
3. Control de la carga en la instalación de molienda	15
4. Control del sistema horno-enfriador	93
5. Control de la molienda de cemento	11
6. Chequeo del cálculo y sistema de alarma visual	100
7. Cálculo de datos de producción y tendencias	96
8. Informes diarios de operación	96
9. Control digital directo	41
10. Recopilación de datos de accionamiento y/o control por lógica programada	11

Función 1. Planificación de la cantera

En esta función la cantera se divide en bloques. La composición química de cada bloque se añade a la memoria del computador. Se añaden al computador medios para mantener al día fácilmente la composición de cada bloque, a medida que se obtienen datos más precisos de su composición química.

Si se quiere, el computador calcula varias combinaciones de bloques de cantera seleccionadas por el operario, que, de emplearse, ayudarán a conseguir la composición química global deseada. Para cada combinación, se registran a máquina las toneladas por bloque, y el número del bloque, de forma que el operario de cantera puede emplear el material del modo óptimo para conseguir las composiciones deseadas. Hasta ahora esta función ha sido muy útil en relación con la Función 1A “Control de la formación de la pila de prehomogeneización”, que se describe a continuación. No obstante, el principio de utilizar el computador para organizar la cantera, y para realizar los cálculos teóricos de crudos por bloques y tipo de crudo deseado, es válido para muchas condiciones de las canteras de fábricas de cemento.

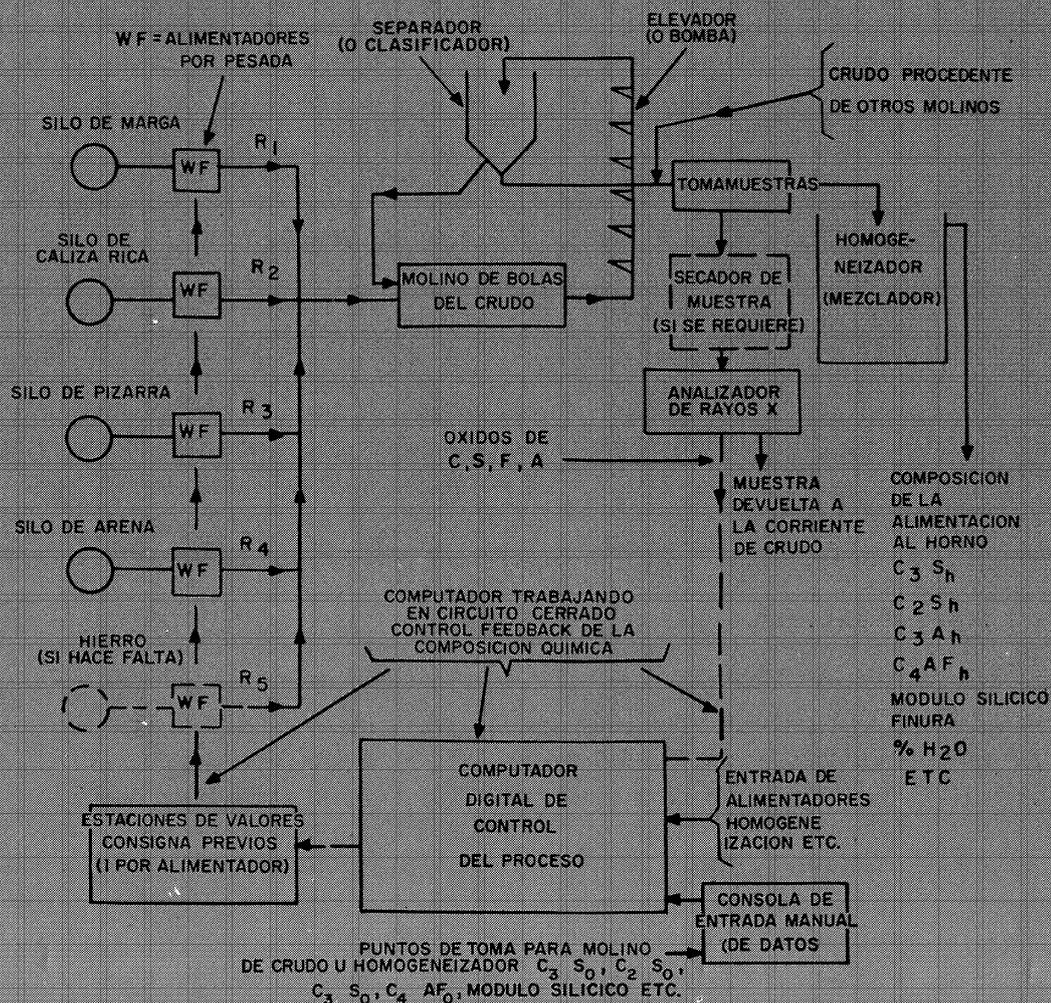


Fig. 1.—Control de crudos.

Función 1A. Control de la formación de la pila de prehomogeneización

Esta función sólo se relaciona con aquellas fábricas que emplean la prehomogeneización para reducir las variaciones químicas y otras que, de otro modo, surgirían en la explotación de la cantera, durante el machaqueo y subsiguiente manejo de los crudos. El empleo de pilas de prehomogeneización, junto con el equipo de amontonamiento y reducción asociados, hace más accesibles aquellas fábricas en las que las desviaciones de la composición de la cantera de un valor medio son las mayores, o donde la separación de los materiales machacados en grupos definidos es difícil de conseguir.

Al irse formando cada pila, esta función acumula la composición química de la pila de prehomogeneización por peso de cada compuesto químico de interés, y compara estos resultados con los valores consigna que se han colocado en el sistema del computador por el operador. Junto con la Función 1 "Planificación de la cantera", se envían instrucciones a la dirección de cantera en momentos determinados y partiendo de combinaciones de prioridad de los bloques de cantera elegidos para proveer los tonelajes designados y completar la pila, de forma que se mantenga dentro de las especificaciones. Se incorporan

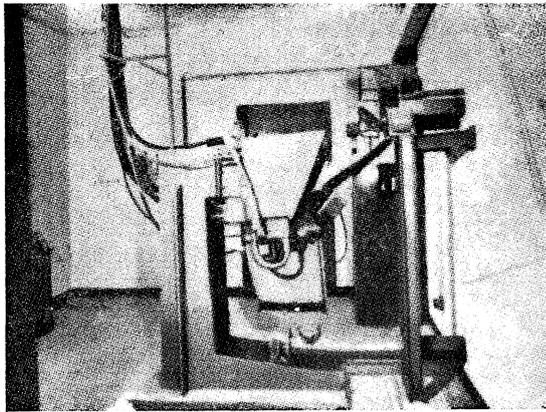


Fig. 2.—Un analizador de rayos X on-line, instalado en una fábrica de cemento.

datos retrospectivos de composición química obtenidos por analizadores de rayos X que muestrean la corriente de material a la pila, para registrar los datos acumulados de la composición de la pila, y para corregir las previsiones en la Función 1, hasta completar correctamente cada pila.

Como parte integral del programa se incluyen muchas funciones de chequeo fuera de límite y alarma para ayudar a controlar la composición química de la pila, detectando rápidamente errores humanos u otros errores, antes de que sus efectos sean importantes.

Función 2. Control del crudo

La figura 1 ilustra un sistema de bucle cerrado típico para el control de la composición química de los crudos, tal como se emplea en la mayoría de fábricas de la tabla 1, y con las que los autores están familiarizados. En su forma óptima, la fábrica descrita en la figura 1 tiene un mínimo de retrasos de transporte de materiales entre los alimentadores de material machacado y el punto de análisis de muestras. A su vez, un analizador de rayos X continuo u "on-line" registra el contenido en cuatro elementos (calcio, sílice, hierro y aluminio) en la corriente de material (fig. 2). El computador explora frecuentemente el analizador de rayos X, realiza los cálculos necesarios de control del crudo, basado en los errores registrados y en los datos de composición potencial deseada (valor consigna) insertados manualmente por el operador, y más tarde da instrucciones a los alimentadores para que modifiquen su velocidad de suministro, y reduzcan al mínimo en el sistema los errores en la composición química global.

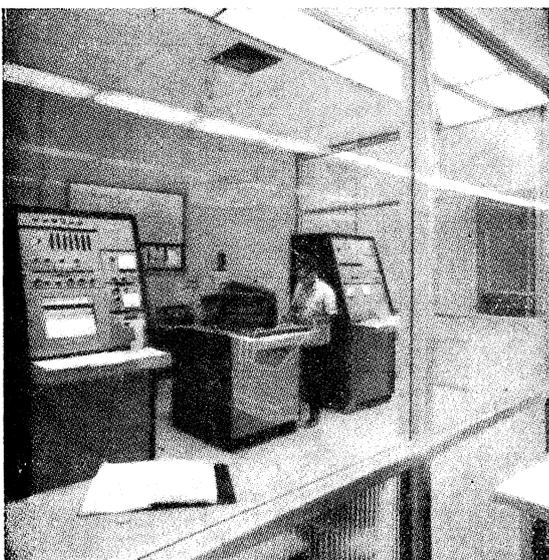


Fig. 2A.—Analizador de rayos X off-line, instalado en una fábrica de cemento.

La combinación del analizador de rayos X, su dispositivo tomamuestras, el computador y el material situado entre el computador y los alimentadores constituyen la parte básica del bucle que regula la composición química básica. Este bucle dispone además de pequeños tiempos muertos y se emplea para corregir los errores de composición, a intervalos de tiempo adecuados, en la corriente de material una vez sobrepasado el mecanismo de muestreo. Si la composición en cada silo o tolva de alimentación de crudo es uniforme y conocida, entonces el problema de control es bastante sencillo y se reduce a mezclar las distintas corrientes de material, en proporciones que se puedan establecer rápidamente.

Sin embargo, el caso más práctico en la mayoría de las fábricas de cemento es que la

composición exacta en los recipientes de crudos sea incierta. Todo lo que se sabe es que la caliza alta estará en el recipiente de caliza alta; la pizarra, en el recipiente de pizarra; la piedra mezclada, en el recipiente de piedra mezclada; etc. Además, se conoce la composición aproximada, a largo plazo, de cada uno de los recipientes.

Es raro que la composición media se aproxime a la composición real que existe en un momento dado en el tiempo para un recipiente determinado, a medida que su contenido fluye por el alimentador.

Para tener en cuenta estos errores o desviaciones desconocidos, se incluye, generalmente, una función de control adicional previa a la alimentación. Esta función integra la composición hasta el momento actual en el silo de homogeneización, calcula los errores de composición actuales, y los que probablemente existirán al final del próximo intervalo de control; más tarde, aplica las correcciones de compensación necesarias al bucle de control de composición química, de modo que la composición integral del recipiente de homogeneización quede dentro de los límites en un plazo de tiempo breve.

El 55 % de los sistemas de control automático suministrados por la General Electric incluyen captadores continuos, lineales, de emisión de rayos X, que detectan al menos los contenidos calcio, silicio, hierro y aluminio en la corriente de los crudos. El resto del sistema de control de crudos, que forma parte de los sistemas de control automático de los procesos generales de la fábrica, según los suministra la General Electric, incluye los analizadores de rayos X de laboratorio que se emplean para dar información sobre la composición química de cuatro elementos en la corriente de mezcla y en la posición que se muestra en la figura 1. Los intervalos de muestreo para estos sistemas suelen ser de 1 a 2 horas (ver fig. 2A).

En los casos en que los componentes que constituyen la corriente de crudos tienen un precio distinto por tonelada, se incluyen datos económicos en las ecuaciones básicas de control de la composición de los crudos, de tal modo que se logren las combinaciones menos caras de materiales para conseguir los límites deseados de composición química. Al menos, este es el caso de los sistemas que conocen los autores.

El sistema de control de crudos empleado debe considerar cuidadosamente los efectos sobre la estabilidad de control de la composición química, y sobre la finura, en cualquier programa que se emplee, para corregir la posición de los alimentadores de crudos. Incluso con el empleo de analizadores continuos, on-line, que se utilizan para registrar la composición de la corriente de crudo, al salir de los molinos, el retraso total en el circuito de la figura 1, por el transporte y otras partes esenciales del bucle de control, suele ser de 30 a 40 minutos.

La corrección rápida de la posición de los alimentadores, cuando se observan errores en la composición química, tiende inherentemente a producir inestabilidad en el control de dicha composición química, debido a estos retrasos antes mencionados. La mayoría de los circuitos de molienda de crudo y cemento operan con bucles cerrados, con lo que aumenta el tiempo total de respuesta a los cambios en la posición del alimentador y en la composición del material que procede de cada alimentador de crudo (o de acabado). Además, la finura que se obtiene en cada circuito de molienda tiende a afectarse por cambios sustanciales en la posición de cada alimentador en particular. En total, es condición esencial que un buen sistema de control del crudo equilibre cuidadosamente las necesidades impuestas por aspectos del control de la composición química antes y después de la alimentación, teniendo además en cuenta las necesidades impuestas por la es-

tabilidad del proceso y reduciendo al mínimo las desviaciones en el control de finura. El hecho de que varios de estos sistemas de control continuo estén funcionando con éxito, indica que esta técnica ha alcanzado ya un estado de perfeccionamiento en el que no hay apenas riesgo al implantarlo en otras fábricas de cemento.

La figura 3 incluye el impreso de datos químicos empleado en una de las fábricas de cemento de la tabla 1.

Función 3. Control de la carga en la instalación de molienda

Esta función busca primariamente el control de la finura, tanto en las instalaciones de molienda de crudos, como en las de molienda de cemento. En los casos realizados hasta ahora, según ha podido observar el autor, la falta de detectores continuos de finura no ha sido impedimento para conseguir una finura muy bien controlada.

La técnica básica ha sido la de obtener, por el computador, información frecuente del consumo de kilovatios en partes auxiliares seleccionadas del molino; consumo de kilovatios y ruido (en los casos apropiados) en el propio molino; velocidad de alimentación al circuito de molienda. Es mejor también controlar la velocidad de salida de material rechazado. Como razón práctica, la mayor parte de los circuitos de molienda no tienen detectores de la velocidad de salida de material rechazado. Por ello este refinamiento no se ha empleado en la mayoría de los casos.

El computador analiza el esquema de comportamiento de cada una de las entradas ("inputs") observadas, de forma tal que pueda detectar taponamientos en los circuitos en movimiento, sobrecarga en las transmisiones y otros impedimentos mecánicos que puedan surgir. Entonces se adopta una acción de control apropiada sobre la velocidad de alimentación para aliviar rápidamente los taponamientos o estados de sobrecarga. Se restaura rápidamente la velocidad de alimentación en cuanto se elimina la condición anómala o el impedimento.

Hay diferentes métodos que trabajan, bien con valores consigna estipulados de nivel de carga en la medida que ello es compatible con las condiciones impuestas, o bien que operan en la máxima capacidad de producción de todo el circuito de molienda, según lo haya escogido inicialmente el empresario de la fábrica.

Los dos sistemas se han practicado con éxito. Los empresarios han informado que se ha conseguido una mejora considerable en los circuitos de molienda al someterlos a control automático, si se comparan con su rendimiento bajo control manual, con ajustes de producción fijados por los operarios de acuerdo con los sistemas más convencionales.

Pensando en el futuro, parece que una inmediata extensión de la tecnología actual será el empleo de captadores de finura, on-line, cuando los empresarios decidan la instalación de estos captadores, y equipar los separadores (o mecanismos similares) con métodos de control a distancia.

Función 4. Control del sistema horno-enfriador

El objetivo de la función de control del sistema horno-enfriador es mantener un funcionamiento seguro y estable de este equipo. Puesto que el horno y el enfriador están íntimamente relacionados a través del flujo de clínker y aire secundario, la operación estable sólo se consigue por medio de un eficaz control de ambos.

La figura 4 muestra un diagrama simplificado de un control de horno-enfriador. El computador comprueba, a intervalos cortos, la temperatura del gas que fluye a través del sistema, la temperatura de la carga en algún punto próximo a la zona de clinkerización, y el par necesario para accionar el horno. Estos datos se combinan para detectar las indicaciones transitorias, desequilibrio de calor, o falta de uniformidad en el movimiento del material en el horno. El computador realiza correcciones idóneas ajustando la alimentación de combustible al quemador, la velocidad del horno, y la alimentación de crudo al horno. El control también está programado para detectar condiciones anormales, tales como las que originan las avalanchas de material, en cuyo caso el computador hace ajustes de velocidad, combustible y alimentación. Cuando ha pasado la perturbación, el computador restablece la marcha normal de control por el computador. La intervención del operador se limita a casos en que funciona mal el equipo y el detector.

El control del enfriador ayuda a mantener las condiciones de máxima recuperación de calor, sin interferir con el horno. El computador ajusta la velocidad de la parrilla y la corriente de aire, como respuesta a medidas de la presión debajo de la parrilla, y de la temperatura del aire secundario.

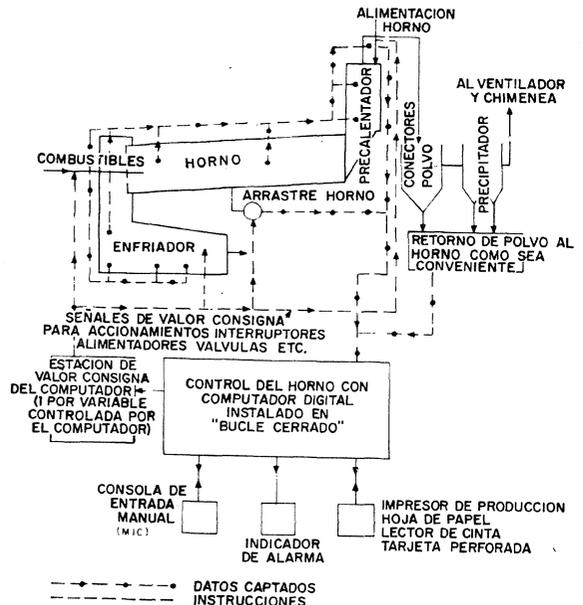


Fig. 4.—Control por computador del conjunto horno-enfriador.

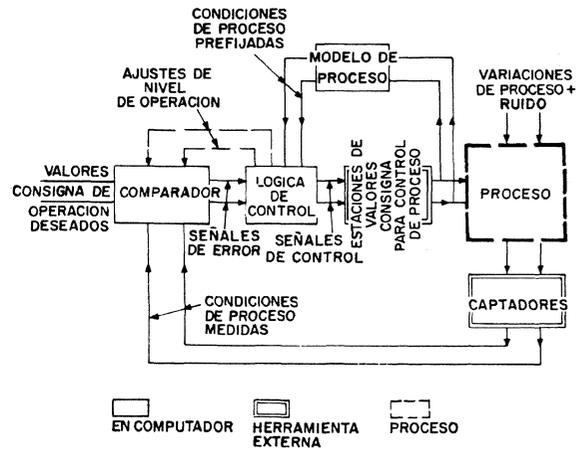


Fig. 5.—Diagrama en bloque simplificado del sistema de control por computador de horno-enfriador.

En el caso de enfriadores con aire recirculado a través del lecho, debe controlarse el esquema de flujo para estabilizar la temperatura del aire recirculado.

El flujo de gas a través del horno se controla por el computador para mantener un valor constante del oxígeno residual en los gases de escape del horno. Puesto que se consigue la máxima eficacia calorífica con el mínimo flujo de aire, el oxígeno residual se fija en el punto más bajo posible.

La figura 5 muestra un diagrama integrado del sistema de control por computador. Los datos de salida de los detectores se alimentan al computador y se comprueban, para

ver si son razonables, y se “pulen” para reducir el ruido del proceso. Los valores “pulidos” se comparan con los valores consigna de control, almacenados en la memoria del computador. Los valores consigna son entradas que efectúa el operador, en el caso de la temperatura de la zona de cocción y del oxígeno residual, por ejemplo, y se computan por la lógica del control para otros datos tales como el par de accionamiento del horno. La señal de error que se obtiene de estas comparaciones se utiliza por la lógica del control para calcular los valores consigna de las variables manipuladas, tales como la velocidad del horno y el flujo de combustible. Los tiempos muertos que surgen en la operación de un horno son tan largos que se emplea un modelo de proceso dinámico para estabilizar el sistema.

El método por el cual se transmiten las señales al proceso depende de si se emplea la Función 9, “Control digital directo” (CDD). Si se establece dicha función, las salidas del control analógico se convierten en valores consigna para el CDD, el cual, de paso, desarrolla señales para controlar las válvulas, los registros y los reguladores de velocidad del proceso. Si no se establece el CDD, la salida del control lógico dirige directamente las condiciones de los valores consigna de los controladores analógicos.

Función 5. Control de la molienda de cemento

Hasta ahora la función de control de molienda de cemento sólo se ha empleado en algunas de las instalaciones más recientes. En su definición, el control de cemento es algo parecido a la Función 2 “Control del crudo”, excepto que los analizadores de rayos X de laboratorio han sido la principal fuente de información química en relación a la composición de la descarga del molino de cemento. Esta composición química se hace entrar manualmente en el computador a intervalos adecuados. Después, el computador calcula el valor consigna de cada alimentador del molino de cemento. Las relaciones entre los alimentadores se mantienen a pesar de variaciones en la velocidad de alimentación total, causadas por las necesidades del sistema de control de la carga del molino.

En general, el objeto es emplear el computador para realizar todos los cálculos en función del tipo de cemento que se fabrica. El operador establece el tipo de cemento que se ha de fabricar, introduciendo información manualmente en el computador, manipulando un mando. Después, el cálculo mismo y el ajuste de los alimentadores se hace automáticamente por el sistema de control del computador.

En muchos casos es razonable incluir, con el sistema de “control de la mezcla de cemento”, mecanismos para seleccionar el silo de cemento y para recoger datos sobre la producción de cemento de distintos tipos que entra en cada silo. Para ser totalmente útil, esto requiere que haya válvulas accionadas por control a distancia, para dirigir la corriente de cemento a los silos. Sin embargo, en las fábricas que no tienen estas válvulas de control a distancia, se considera que el obtener datos es una ayuda importante para comprobar la precisión de las decisiones del operador y de las manipulaciones de las válvulas, y facilita información sobre la producción de los distintos tipos de cemento, tonelaje, y el tiempo que tarda en llenarse cada silo.

Los resultados globales reducen la probabilidad de errores por parte del operador, gracias a la información inmediata y objetiva de los resultados de producción, relacionados a ese aspecto del proceso.

Función 6. Chequeo del cálculo y sistema de alarma visual

La tabla 1 muestra que de todas las fábricas citadas, sólo seis emplean esta función. En términos generales, la comprobación de validez del detector y la recopilación de datos de alarma es parte esencial de las funciones de control, que han sido mencionadas anteriormente en relación con las Funciones 1-5, y también en algunas de las funciones que se citan a continuación.

La función que comprueba la validez de la detección y los datos de alarma explora frecuentemente un grupo de detectores seleccionados, comprueba la validez de cada lectura y de las alarmas, registrando el resultado cuando se detecta una situación no válida o de alarma. La misma función podría realizarse por un operador; lo que pasa es que serían necesarios muchos operadores para realizar lo que puede hacer el computador con poco esfuerzo, durante 24 horas, día tras día.

Si se combina con la Función 7, que se cita a continuación, el obtener información de vez en cuando sobre las condiciones de ciertos detectores, variables del proceso y tendencias del mismo, representa un potente instrumento para supervisar la fábrica haciéndolo en el momento actual, y no con un fuerte desfase en el tiempo, o “supervisión histórica”. Por “supervisión histórica” se entiende la situación en la cual los supervisores de la fábrica obtienen información superficial sobre las condiciones de la fábrica y de los procesos que han tenido lugar hace muchas horas y, a veces, días. La información en el tiempo, objetivamente conseguida, ha tenido como consecuencia, en las fábricas recogidas en la tabla 1, el que los supervisores de procesos y conservación se hayan hecho mucho más eficaces descargando su responsabilidad en aquellos sistemas que han adoptado estas técnicas.

Función 7. Cálculo de datos de producción y tendencias

Esta función recopila datos (por hora, por jornada de trabajo y por día) de materiales seleccionados que se consumen, o producen, y recoge tendencias de zonas elegidas del proceso, o de los procesos específicos de la maquinaria de la fábrica. La mayor parte de los datos de producción y datos de tendencia es un resultado directo conseguido de las funciones de control citadas anteriormente. Esta información sobre producción y tendencias es una adición relativamente barata al sistema de control de proceso por computador.

Es de especial interés para el personal de supervisión de la fábrica disponer de datos informativos de tendencia, tales como kWh/t para ciertos elevadores, instalación de mollienda, separadores, etc. De igual interés son los datos sobre la tendencia de las kcal/kg en cada horno, y de cada secadero, en el caso en que éstos existan. Las relaciones de tendencia de POLVO RECIRCULADO/ALIMENTACION DE CRUDOS cada hora o cada jornada de trabajo, son también de interés para supervisar y comprobar el comportamiento general del horno y del sistema de captación de polvo de la fábrica.

La figura 6 es un impreso típico empleado para registrar estos datos.

Las variaciones de la Función 7, en algunas de las fábricas citadas en la tabla 1 incluyen:

- A. Recopilación de datos sobre el sistema horno-enfriador: incluye datos mecanografiados, a intervalos frecuentes, de variables seleccionadas.
- B. Recordatorio histórico: incluye el archivo de información seleccionada durante períodos de al menos 24 horas. Esta información archivada en el computador se vierte diariamente en fichas perforadas, cintas o equivalentes, que luego se clasifica en otros computadores para conseguir información adicional que permita mejorar el control de proceso y la supervisión por la dirección.
- C. Recopilación de tendencias trazando curvas de canal múltiple de condiciones de procesos seleccionadas, de relaciones y de criterios de rendimiento. La figura 9 es una parte de un registro de tendencia, para un sistema horno-enfriador controlado por computador.

Función 8. Informes diarios de operación

Esta función, aplicable a la mayoría de las fábricas que emplean computadoras, incluye información integrada diaria. Esta información incluye asimismo las totalidades de los diversos materiales consumidos y producidos. En algunos casos también se incluyen relaciones seleccionadas. Estos informes diarios de operación constituyen en general resúmenes de la información obtenida por medio de la Función 7, pero ordenada en forma más apta para el alto personal directivo.

Función 9. Control digital directo

La tabla 1 indica que una parte importante de las instalaciones emplean control digital directo (CDD). La tendencia parece inclinarse hacia un mayor uso del CDD.

El CDD participa del empleo del computador para dirigir directamente los elementos finales de control tales como una válvula, o un registro con arrastre de velocidad variable. En el pasado esta función se realizaba con computadores analógicos.

Aunque el número de bucles de regulación en una planta de cemento media es relativamente pequeño, el computador CDD está descentrando su sitio en el control de procesos de fábricas de cemento de modo creciente, por las siguientes ventajas si se compara a los computadores analógicos más tradicionales:

- A. El computador CDD comprueba fácilmente los límites; realiza filtrado digital, incluso durante largos períodos de tiempo; cuando ello es necesario, hace cálculos matemáticos y toma decisiones, muchas de las cuales son difíciles o impracticables con un equipo instrumental analógico.
- B. En muchos casos se obtiene un control más preciso porque se elimina el problema de giro del regulador. Además, las constantes de control pueden tener una mayor duración en el tiempo, lo que es importante para algunos de los bucles de regulación, en las partes relativamente lentas del proceso de fabricación del cemento.
- C. El empleo del CDD obliga a los operadores a ser sistemáticos en la documentación de todas las constantes relacionadas con cada bucle de regulación. Esto rara vez se hace con los sistemas de regulación analógica, aunque tales sistemas *funcionarían mejor si se realizara esta documentación y se mantuviese al día, y se empleara para obtener un ajuste óptimo.*

DATOS DE OPERACION

FECHA _____

Tiempo	TONELADAS DE MATERIAL						Mol. de crudo 1		Mol. de crudo 2		Mol. de crudo 3		HORNO 1					HORNO 2					IMP kWh	IMP kWh	ID K1 kWh	ID K2 kWh	
	SILO 1	SILO 2	SILO 3	SILO 4	SILO 5	SILO 6	Alimentación (t)	kWh/t	Alimentación (t)	kWh/t	Alimentación (t)	kWh/t	Alimentación (t)	t de polvo	Producción t	kcal/kg	kg crudo/t	Alimentación (t)	t de Polvo	Producción	kcal/kg	kg crudo/t					

Fig. 6

- D. El CDD se puede adaptar fácilmente para conseguir una transferencia suave, en diferentes formas de operación, incluyendo la molestia de reajustes fáciles de realizar, y la detección automática de fallos.
- E. Con el CDD, si se le ajusta adecuadamente, se puede conseguir fácilmente la adición y eliminación de bucles y de cambios en las ecuaciones de control.
- F. En un computador CDD el alto nivel general de control de proceso, que a veces se llama control de supervisión, tiende a ser más fácil de realizar, puesto que el computador sólo necesita comunicarse consigo mismo para cambiar los valores consigna, conectar los bucles, modificar las ecuaciones de control, etc.
- G. Al analizar las instalaciones montadas hasta ahora que están dentro de la experiencia de los autores, es evidente que, en lo que se refiere a los procesos de fabricación de

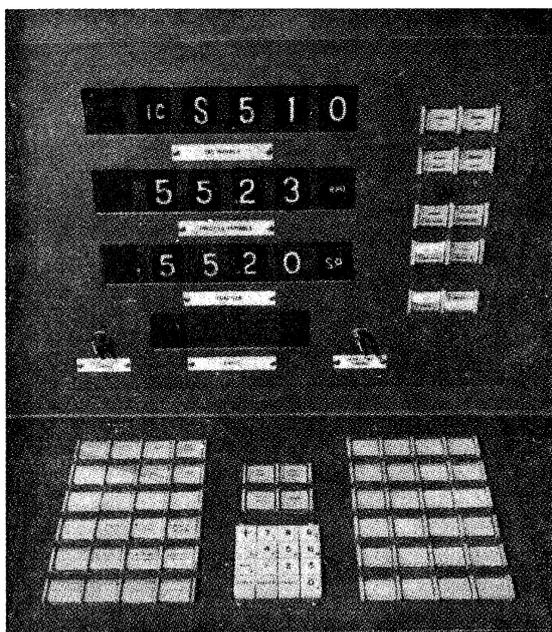


Fig. 7.—Pupitre de operador CDD.

de cemento, un sistema de computador digital, bien realizado y bien pensado, que emplee reguladores analógicos, puede dar un control de proceso tan bueno como el CDD. A medida que aumenta la complejidad de los bucles de regulación, como en algunos casos en que existen esquemas complejos de flujo de gases entre la molienda de crudo y el departamento de horno-enfriador, el CDD puede tener ventajas significativas al poder conectar mandos de regulación, y modificar sus formas, según sea necesario, para seguir el flujo variable de gas que se origine en la instalación.

La figura 7 muestra una forma de pupitre de mando empleada en la interfase hombre/computador en el sistema CDD.

La mayor parte de las instalaciones CDD emplean estaciones de apoyo situadas sobre un panel central del operario, que suele estar cerca de la consola del operador CDD. Estas estaciones de apoyo dan al operador los medios para ajustar manualmente cada válvula final, registro o motor de velocidad variable, cuando el computador no funciona. En algunos casos este sistema de apoyo es un controlador analógico completo, que está también dispuesto para funcionar con computador. La mayoría de los bucles de regulación en los sistemas CDD, sin embargo, no emplean controladores de apoyo, sino que son del tipo de manipulación manual sin controlador.

Función 10. Recopilación de datos de accionamiento y/o control por lógica programada

Esta función, tal como se emplea en las relativamente pocas fábricas de cemento adaptadas para el uso de control de proceso con computador digital, incluye:

- A. Recopilación de datos sobre el estado de los accionamientos seleccionados. Un ejemplo es la recopilación de datos de todos los accionamientos relacionados con una instalación de molienda en circuito cerrado.

En esta forma de operación con bucle cerrado, la parada de un accionamiento casi inmediatamente detiene todos los accionamientos del grupo. El resultado tiende a ser que, en el sistema convencional, el personal de entretenimiento pueda consumir mucho tiempo para encontrar el accionamiento que motivó la paralización total del circuito de molienda. La capacidad del computador digital para detectar el accionamiento que se detuvo primero, aun cuando todos los demás se parasen unos milisegundos después del primero, es tal que descubre rápidamente al causante del fallo y mecanografía la causa.

- B.** El control de accionamientos empleando computador permite conseguir la puesta en marcha y la parada, secuenciadas en el tiempo, de todos los accionamientos seleccionados de la fábrica de cemento. De hecho, la lógica programada se emplea para establecer el orden correcto y momento de poner en marcha o parar una serie de accionamientos, en vez de los métodos más convencionales de mecanismos conectados por cables (“hard wired”).

LOS EFECTOS SOBRE EL DISEÑO Y OPERACIONES DE LA FABRICA

Los mejores resultados se dan cuando se incluye el sistema de control automático de proceso como parte integral del proyecto de la fábrica, empezando el proceso en las fases iniciales de concepto. Las máximas economías de inversión y la máxima simplificación se consiguen haciéndolo así. A continuación se dan unos cuantos ejemplos.

CONTROL DE LA MEZCLA DE CRUDOS Y DISEÑO DE LA FABRICA

La figura 1 muestra una distribución ideal para el departamento de crudos de una fábrica. Esta disposición es óptima porque incluye:

- A.** Alimentadores ajustables a distancia para cada material empleado.
- B.** Suficientes fuentes independientes de material para conseguir capacidad de lograr realmente una mezcla de tres o cuatro componentes.
- C.** Minimizar los tiempos muertos en el bucle de transporte adelante entre los alimentadores y el tomamuestras y los puntos de análisis. Las tolvas de alimentación del molino, que suelen ser de capacidad para 2 horas, no tienen realmente lugar en un sistema en que se quiera conseguir un buen control químico del proceso. Es evidente su ausencia en la figura 1.
- D.** La minimización de tiempos hacia atrás entre el tomamuestras y la corrección del ajuste de los alimentadores, se consigue preferentemente por medio de un análisis químico on-line continuo, acompañado de rápidos cálculos de los resultados y del suministro a los alimentadores de la necesaria información correctora, en forma estable.
- E.** Si se logra de un modo adecuado la minimización del tiempo de transporte “forward” y del tiempo feedback entre el tomamuestras y los alimentadores, según es el caso en algunas de las fábricas mencionadas en la lista de la tabla 1, entonces, desde el punto de vista de control, el tamaño del recipiente de homogeneización, en la figura 1, se puede reducir a unas 12 horas de trabajo. Dos fábricas de cemento han adoptado este principio y han construido sus homogeneizadores con esta capacidad relativamente pequeña. Se espera que el diseño de futuras fábricas de cemento tienda a aprovecharse, cada vez más, de esta posibilidad para reducir la inversión total.

La figura 8A muestra el diagrama global de un sistema simplificado de control de mezcla de crudos, que se analizó para mostrar el efecto de los tiempos muertos en el transporte y toma de muestra en la respuesta del sistema. La respuesta del circuito de molienda a un cambio en la composición química de la alimentación se representa por el tiempo muerto (T_d) y una constante de tiempo (T_g). La transformación de Laplace de esta respuesta viene dada por la ecuación [1]:

$$\frac{X(S)}{D(S) - C(S)} = \frac{\exp(-T_d S)}{1 + T_g S} \quad [1]$$

El sistema de muestreo que corresponde a las muestras, secador de muestras y analizador químico por rayos X, de la figura 1, se representa por el tiempo muerto puro (T_s):

$$\frac{X(S)}{Y(S)} = \exp(-T_s S). \quad [2]$$

El silo de homogeneización acumula la producción del circuito de molienda, y así se representa por una integración. La perturbación (D), adoptada para el estudio, es un desplazamiento lineal en la composición del material de alimentación que ocurre durante un período de media hora y origina un error unidad en la composición de la mezcla.

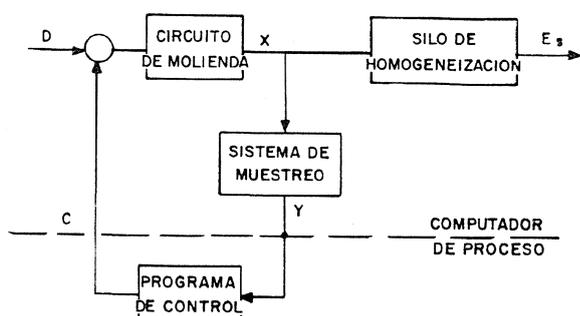


Fig. 8A.—Diagrama en bloque de un sistema de control de crudos idealizado para analizar tiempos muertos frente a tamaño de silo de homogeneización.

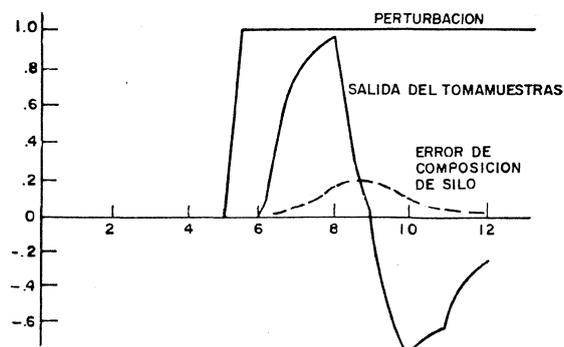


Fig. 8B.—Curvas respuesta del sistema de crudos de la figura 8A a una perturbación química unidad.

El programa de control acumula la producción de salida del analizador continuo y calcula la composición del material de silo. Periódicamente se realiza una corrección de los alimentadores (C) y es la suma de los dos cálculos.

La primera parte de las correcciones es suficiente para corregir la parte observada de la desviación en la producción del circuito de molienda. Se hace una corrección adicional para corregir la composición del silo. En ambos casos se emplea un modelo de proceso para compensar el tiempo muerto del proceso y de la toma de muestra. El control se idealiza, en cuanto que el modelo de proceso corresponde exactamente al proceso. Así, los errores que se observan se deben sólo a los tiempos muertos que se producen. En la práctica los errores serán mayores.

La figura 8B muestra la respuesta del sistema a la perturbación que tiene lugar en la 5.^a hora durante el llenado de un silo con una capacidad de 12 horas de producción del molino de crudo. Los parámetros empleados en este caso fueron: 0,75 horas para tiempo muerto de molienda (T_d); 0,5 horas para la constante de tiempo de molienda (T_g), y 0,25 horas para el tiempo muerto de muestreo (T_s).

La señal de corrección fue calculada una vez por hora. Debe señalarse que, aunque la perturbación empezó en la 5.^a hora, la acción de corrección no se tomó hasta la 7.^a hora, y el efecto de la corrección no se hizo notar hasta la 9.^a hora. La sobrecorrección durante las 3 últimas horas sirve para corregir el error acumulado en el silo.

Las figuras 8C y 8D muestran el efecto al variar el tiempo total de retraso ($T_d + T_s$) sobre el error final en la composición del silo. Para estos cálculos la perturbación fue iniciada de modo que el error máximo en la composición del silo (E_s) se diera al final del proceso de llenado, originando así el caso más desfavorable. La figura 8C muestra el error final del homogeneizador para una gama de retrasos o tiempos muertos de hasta 2 horas y para tiempos de llenado (T_F) de 18, 12 y 6 horas. Para mostrar la implicación de estas curvas, considérese un sistema con retrasos de 1,6 horas y tiempo de llenado de 18 horas. Si el retraso se redujera a 0,86 horas, se podrían conseguir los mismos resultados con un silo de sólo 12 horas de capacidad. Para una capacidad de 6 horas se podría tolerar un retraso de sólo 0,1 horas si se quiere alcanzar el mismo rendimiento.

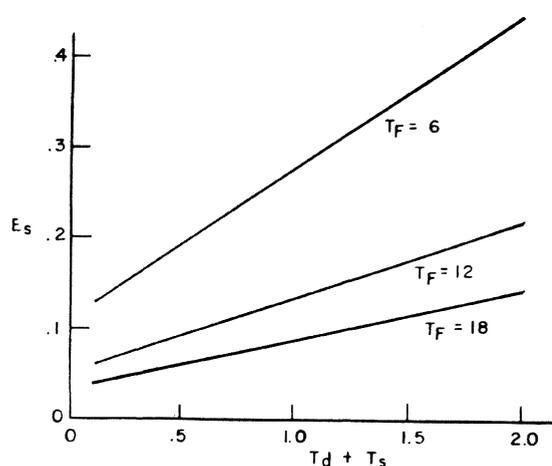


Fig. 8C.—Efectos de los tiempos muertos frente al tamaño del homogeneizador en el sistema de control de crudos.

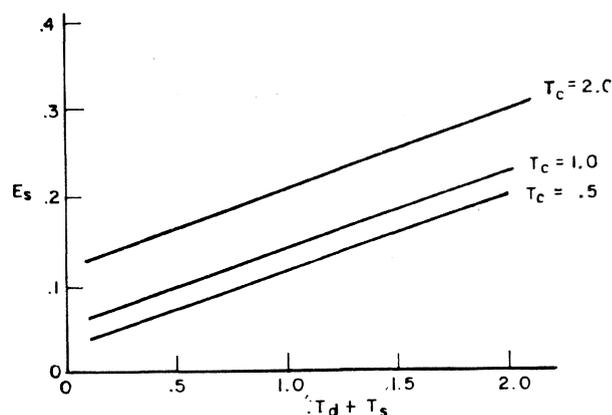


Fig. 8D.—Efectos de la frecuencia de toma de muestras frente a los tiempos muertos en un sistema de control de crudos.

Los resultados mostrados en la figura 8C se consiguieron con correcciones efectuadas a intervalos de 1 hora. La figura 8D muestra el efecto de aumentar y decrecer el intervalo entre correcciones (T_c). Puede observarse que al decrecer el intervalo a 0,5 horas se consigue una ganancia muy pequeña, con un tiempo de llenado de 12 horas, pero, al aumentar el intervalo a 2 horas, se origina una gran pérdida de precisión.

Estos resultados muestran la necesidad de reducir los tiempos muertos a la salida del molino y entre alimentación y molino en los sistemas de mezclas de crudos.

CONCEPTOS DE PROYECTO DEL SISTEMA HORNO-ENFRIADOR DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL CONTROL

La experiencia del autor con las fábricas en las que ha participado, y que son una parte importante de las que se representan en la tabla 1, demuestra lo siguiente:

- A.** Hay que hacer hincapié en mantener la continuidad del proceso y conseguir que los mecanismos auxiliares del circuito horno-enfriador sean lo más sencillos posible.
- B.** Los mecanismos empleados para controlar el flujo de gas han de ser preferiblemente del tipo de ajuste variable de la velocidad de transmisión. Tanto si los accionamientos son del tipo de velocidad variable como si el flujo de gas se controla por registros o por otros medios, los mecanismos empleados han de estar lo más libres posible de inercia.
- C.** Los enfriadores mayores son más controlables, si los accionamientos individuales están adaptados para controlar el flujo de aire a cada compartimiento principal y los gases de escape del enfriador. El empleo de un número muy pequeño de ventiladores en el enfriador, provistos de registros separados para controlar el flujo de aire a cada compartimiento principal, tiende a afectar de modo adverso la posibilidad de control del enfriador, en el sentido de lograr su mejor comportamiento como recuperador de calor y como enfriador de clínker (ver Ref. 9).
- D.** En los casos en que se emplea el carbón como combustible para el horno, las amplias variaciones en el contenido de cenizas producirán inevitablemente grandes variaciones en la composición química del clínker obtenido en un circuito horno-enfriador. El control del horno-enfriador poco puede hacer para mejorar la composición química del clínker que se clinkeriza en los casos en que un componente importante de la composición química total varía ampliamente el contenido de cenizas, al entrar el carbón en el proceso de cocción del horno.

La mezcla de varias calidades de carbón, o la adquisición de carbón con un contenido de cenizas más uniforme, por lo menos en períodos de una o dos semanas, indudablemente conducirá a una composición química más uniforme, y mejorará la posibilidad de control del proceso.

- E.** El método adoptado de devolver polvo al horno afecta también la controlabilidad del horno-enfriador. Una de las instalaciones estudiadas por los autores devolvía el polvo directamente al horno a medida que salía de los recuperadores. En la práctica, el polvo recogido en los precipitadores se acumula en los recipientes hasta que el peso total llega a causar una "avalancha". El tamaño de los tornillos sin fin desde los recipientes al sistema de alimentación de polvo de retorno al horno, era lo suficientemente grande para que con frecuencia se dieran súbitos aumentos, impredecibles de polvo de retorno, que variaban entre 7 y 30 % de la media de alimentación de crudo. La tendencia de los aumentos súbitos de hasta 30 % de polvo, a su entrada en el horno, era circular por encima de la alimentación de crudo básica, y avanzar rápidamente por el horno hasta la zona de cocción. A su vez, esto requería una acción de control bastante violenta para responder a tales perturbaciones del proceso de alimentación. Una solución mucho mejor es instalar una tolva para las avalanchas del polvo de retorno, y luego controlar la cantidad de polvo que entra. El nivel

de la tolva de polvo de retroceso se controla modulando gradualmente la media de alimentación del polvo de retorno, para mantener el nivel de la tolva dentro de unos límites.

Aquí el concepto esencial es reducir las perturbaciones del proceso lo más posible, diseñando la instalación de tal modo que tanto el polvo de retorno como la alimentación de crudos entren en el horno del modo más uniforme posible. Esperar que un buen sistema de control del horno pueda corregir cambios violentos de la alimentación de crudos y de polvos de retorno, y seguir obteniendo un clínker de composición química y molturabilidad uniformes, es razonar incorrectamente.

Sin embargo, un buen sistema de control de horno-enfriador según está incluido en, al menos, algunas de las fábricas resumidas en la tabla 1, tiene características de respuesta dinámica suficientes para mantener un buen control del horno-enfriador a pesar de importantes desajustes, incluyendo la rotura de anillos de clínker, avalanchas de material en la zona de calcinación, etc.

- F.** La evaluación de todos los componentes del proceso sujetos a control ha de ser lo suficientemente amplia como para hacer posible el control a niveles máximos de productividad. El control de alta calidad es muy difícil, si no imposible, si el ventilador de corriente inducida, el arrastre del horno, el alimentador de combustible, etcétera, están funcionando en su mayor parte en los límites máximos, es decir, “a tope”.
- G.** Puesto que una proporción alta de la entrada de calor al horno procede del enfriador, sería una ventaja disponer de una buena medición de la temperatura de aire secundario. En muchos casos esta medición es difícil de conseguir, pero vale la pena los esfuerzos de los empresarios para mejorar la calidad de este dato.

EL DISEÑO DEL CIRCUITO DE MOLIENDA Y EL CONTROL AUTOMÁTICO DEL PROCESO

Aquí el objetivo básico es controlar la finura dentro de estrechos límites de tolerancia. Otros objetivos son llevar al máximo la producción en armonía con procedimientos seleccionados y limitaciones mecánicas.

En la mayoría de los casos se efectúan medidas indirectas, puesto que se cree que en las fábricas incluidas en la tabla 1 no están todavía en funcionamiento detectores continuos de finura.

Algunos aspectos del proyecto de fábricas para conseguir un buen control del circuito de molienda son los siguientes:

- A.** Conseguir mediciones bien hechas de la velocidad de alimentación del molino. Si se emplean alimentadores por peso, como los de la figura 1, el total de estos alimentadores de pesada será suficiente para el suministro total del molino. En el caso de que algunos de los alimentadores sean por volumen, del tipo que no pesa, es conveniente disponer de una balanza para pesar la alimentación total del molino.
- B.** En el caso de registrar la carga circulante en la molienda en circuito cerrado, los datos de vatios consumidos en el arrastre de los elevadores, separadores y molinos de bolas, son preferibles a la medida de amperios en dichos accionamientos. Los amperios están afectados demasiado a menudo por el voltaje del suministro de fuerza.

Este tiene la consecuencia de que la acción de control que se adopta detectando los amperios se basa a menudo en información falsa, debido a las variaciones en el voltaje. Los vatios son un dato mucho más exacto para suministrar señales útiles de control, sobre todo cuando están adecuadamente filtrados digitalmente.

- C. El tamaño de los mecanismos auxiliares de la carga circulante, en la molienda en circuito cerrado, debe ser adecuado para manejar el margen de carga circulante que ha de atender. Es difícil conseguir un buen control si alguno de los componentes impide que se puedan manejar adecuadamente las variaciones en la velocidad de suministro, que son inherentes en la manipulación de los materiales que se empleen.
- D. De cara al futuro, se observa que pueden tener muchas ventajas los separadores regulables a distancia, conectados en circuito cerrado y con detectores de finura continuos.

SISTEMA DE CONTROL CENTRAL DE FABRICAS

La mayoría de las fábricas resumidas en la tabla 1 tienen una considerable centralización de control de los procesos, que existían ya, o que fueron añadidos cuando se instaló el computador. Aunque es posible el control automático por computador digital de todo el proceso, sin que haya un control centralizado, el gasto adicional de este control se reduce considerablemente cuando existe un control centralizado.

Es posible un importante ahorro de inversión en el montaje de un control centralizado, si este control se coordina cuidadosamente con el control automático por computador del proceso. Una fábrica redujo su inversión de instalación del control centralizado en más de 70.000 dólares, al coordinar cuidadosamente las funciones del panel central de control con las del computador. El resultado total fue una reducción considerable en el número de componentes que habría que instalar en el panel central del operador. La simplificación en el mantenimiento y en el manejo son también una consecuencia de esta coordinación, debido al número bastante inferior de mecanismos que hay que emplear en el panel central. Varios años de operación han demostrado lo correctas que han sido las decisiones de simplificar el panel central de control, como parte del proceso total de diseño, al añadir un sistema de control por computador automático de procesos para esta fábrica.

Para el muy pequeño número de fábricas que emplean el computador para controlar la secuencia de accionamientos por medio de lógica programada, es esencial la modernización de la teoría tradicional de control de accionamientos en estas fábricas. El efecto es la reducción de inversiones en transmisión de funciones conectadas mecánicamente, y modificar sustancialmente la manera tradicional de parar y poner en marcha la maquinaria de trabajo y sus elementos auxiliares, así como sentar la base para una simplificación total importante en el sistema de conexiones por medio de cables, después de pensar bien las modificaciones.

Mirando al futuro, uno prevé el día en que el computador esté también adecuadamente coordinado con el panel central de control de la fábrica y con la programación de los centros de control motores, tanto para el voltaje alto como bajo, de modo que las interrupciones momentáneas de fuerza, tales como las que surgen debido a las retracciones rápidas en la mayoría de los sistemas de fuerza de servicio público, apenas si ten-

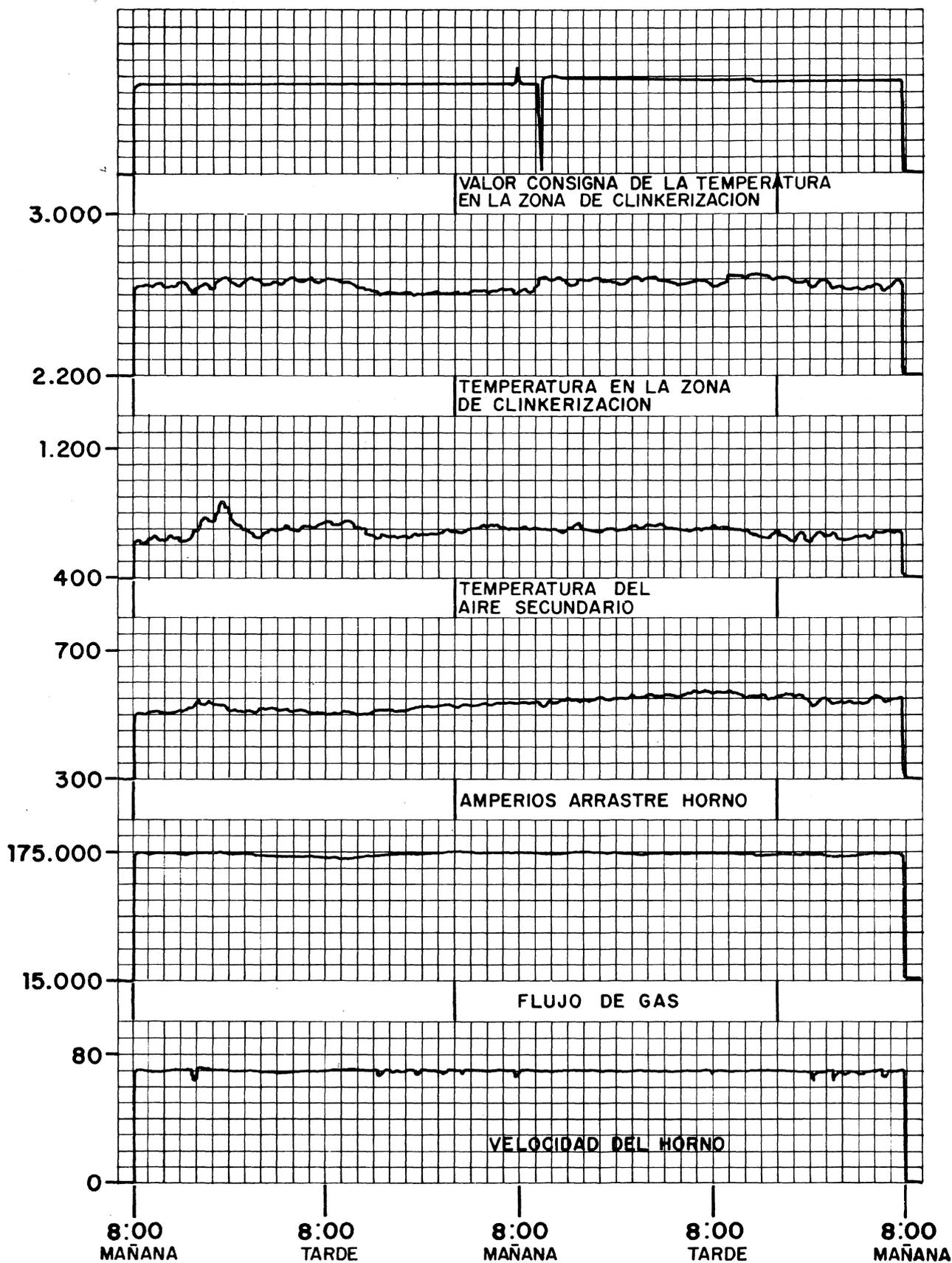


Fig. 9.—Control por computador de un horno de cemento durante dos días.

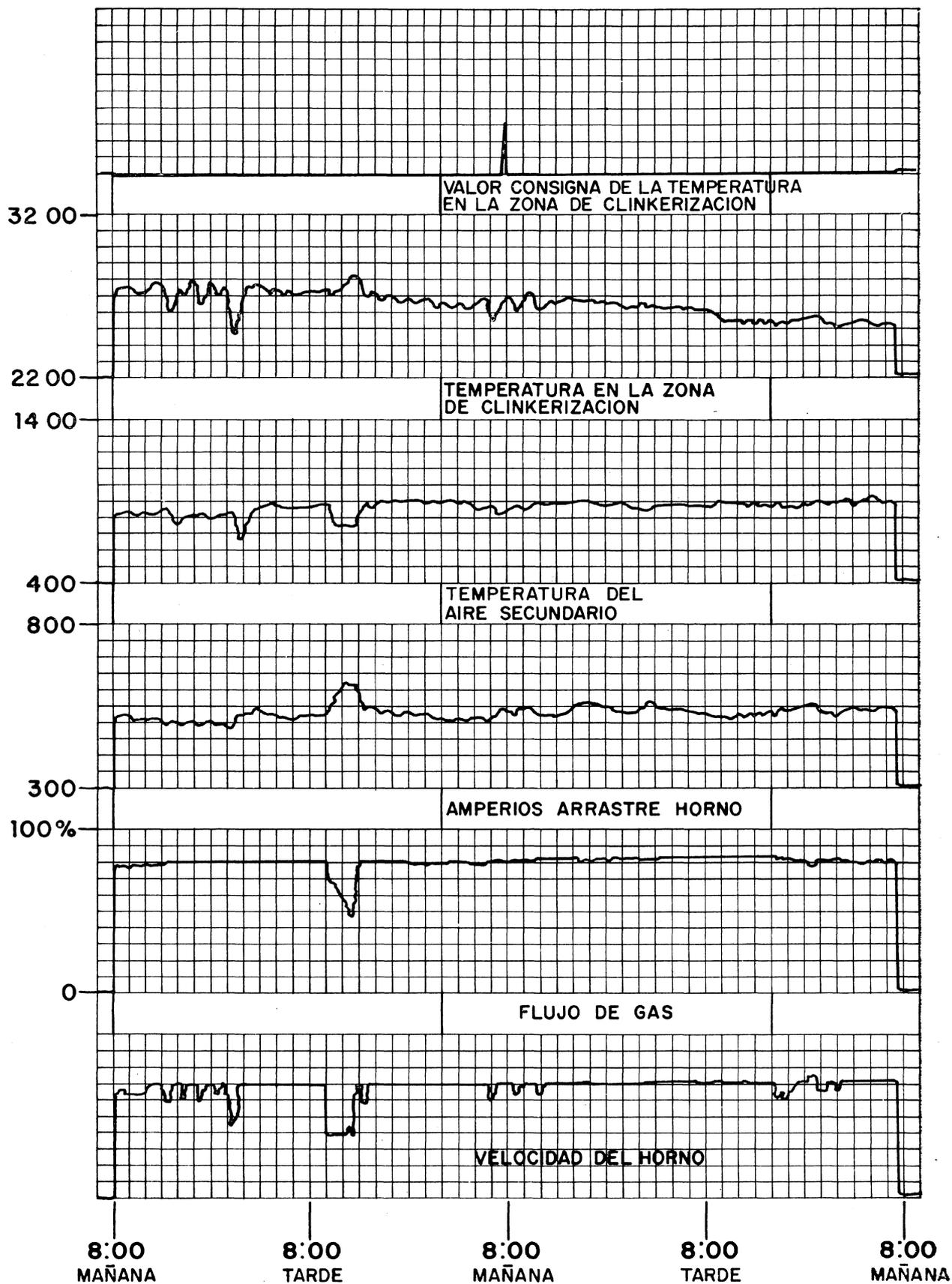


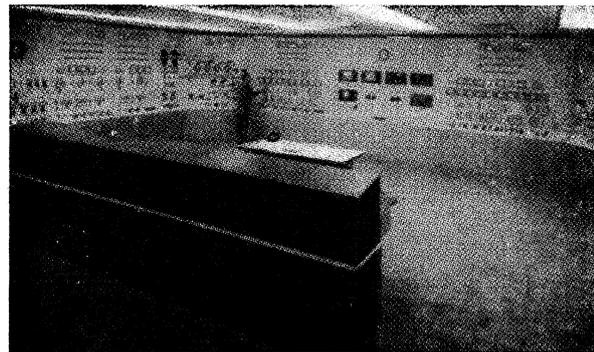
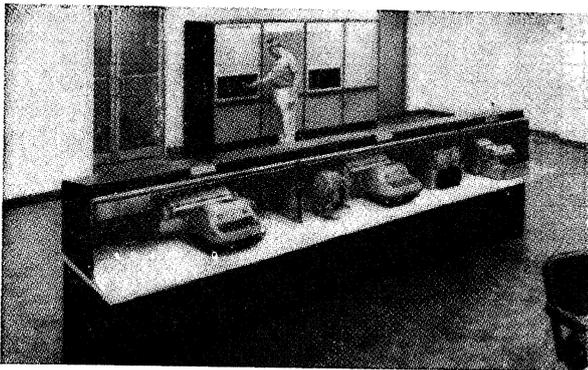
Fig. 10.—Control manual durante dos días del mismo horno de cemento de la figura 9.

gan efecto sobre las fábricas de cemento, excepto que las paralicen durante períodos muy breves, volviéndoselas a poner en marcha rápidamente en forma ordenada, por el computador. Estas puestas en marcha darán información sobre la cantidad de kWh que se necesitan, y se espaciarán adecuadamente para que esta demanda de fuerza se mantenga dentro de límites razonables.

ALGUNOS RESULTADOS DE LA EXPLOTACION

Algunos resultados importantes de la explotación, dados por los fabricantes de cemento incluidos en la tabla 1, indican lo siguiente:

- A. Una fábrica, que emplea un sistema de planificación en la cantera, control de composición en la formación de la pila de prehomogeneización y control de la mezcla de los crudos, pudo eliminar los homogeneizadores entre el molino de crudos y el horno. No es seguro que todas las fábricas que adopten el control de formación de la pila de prehomogeneización puedan conseguir los mismos resultados que en este caso, pero el hecho es que esta fábrica ha conseguido un control aceptable de calidad en la alimentación del horno por medio de un buen control automático de los tres campos que acabamos de citar.
- B. Varias plantas que han adoptado la planificación del departamento de crudos según la figura 1, han conseguido el control automático de la composición química dentro de límites muy estrechos y aceptables. Algunas de estas fábricas han estado funcionando durante varios años. El químico en jefe de una de estas fábricas dijo recientemente: "Con este sistema de análisis químico continuo y ajuste automático de los alimentadores, yo puedo controlar la composición química en esta fábrica por primera vez, en vez de ser un historiador reaccionando a hechos pasados, como pasaba antes."



Figs. 11 y 11A.—Una instalación con computador en una planta de cemento en el este de U.S.A.

- C. Las figuras 9 y 10 muestran una comparación de control manual y por computador de un horno de cemento y enfriador. Cada diagrama se refiere a dos días de operación empezando a las 8 de la mañana, y acabando a las 8 de la mañana, dos días más tarde. Lo conseguido por el control por computador en la figura 9 es típico de lo que puede hacer un control por computador, y se ha escogido un intervalo en el

que ninguna dificultad obligase a que interviniesen los operadores. Los dos días seleccionados son el 3.º y el 4.º de un conjunto de días que abarcan seis días seguidos de funcionamiento. Durante este tiempo el operador separó el control del sistema sólo tres veces por algún período de tiempo significativo; en ningún caso, estos períodos de parada se relacionó con una mala marcha del sistema. El tiempo total fuera de control fue de 7 horas, de un total de 144. El intervalo de control manual, de la figura 10, es ejemplo de un control más bien suave.

Los datos recogidos en las figuras se obtuvieron de datos recopilados. En varias instalaciones el computador de proceso ha sido programado para retener en la memoria global una recopilación de variables importantes del proceso, cada 6 minutos. Estos datos se consiguen introduciendo las cintas de datos en el computador de proceso GE-PAC, en nuestro sistema simulado, y creando una señal analógica para cada variable a través de un convertidor digital-analógico. Este procedimiento ha resultado ser muy eficaz para valorar la eficacia del control en el momento de conseguir la puesta a punto final del control.

El trazo en la parte alta de la página es el valor consigna de la temperatura de la zona de cocción. Este valor se fija por el operario basándose en una instrucción de la dirección, y se modifica ocasionalmente según lo requieran las circunstancias. Este trazo no tiene significado en la figura 10, puesto que el computador no está en control. Los trazos 2, 3 y 4 muestran la respuesta del horno-enfriador. El trazo 2 es la temperatura de la zona de cocción medida por un pirómetro de radiación. Esta es la señal que se asocia con el valor consigna de la temperatura de la zona de cocción. El segundo trazo es un termopar en la corriente de aire secundario. Es evidente que mide una parte fría de la corriente global, puesto que el balance térmico requiere una temperatura media del aire secundario mucho más elevada.

Sin embargo, se incluye aquí, porque probablemente indica cambios sobre una base relativa. El trazo 4 es la corriente que pasa al motor de arrastre del horno. Esta señal es una indicación muy aproximada del par de arrastre e indica transitoriamente las condiciones de transporte del material en el horno. Los trazos 5 y 6 son flujo de combustible y velocidad del horno. En la figura 9 estos dos valores son datos de salida del computador. Bajo control manual, según se ve en la figura 10, se fijan por el operador.

El aspecto interesante de comparación entre las figuras 9 y 10 es que, mientras el comportamiento del horno es comparable en ambos casos, el computador realizó movimientos de control mucho menos drásticos. Al iniciar su acción antes, y en forma proporcional a la perturbación, el computador consiguió una marcha más uniforme con menos esfuerzo. Conviene señalar que las reducciones de velocidad indicadas en la figura 10 representan pérdida de producción bajo control manual, ya que la alimentación está asociada a la velocidad.

- D.** Hay en funcionamiento varios sistemas de control automático de carga del molino. En el caso de aquellos que han estado en funcionamiento durante más de un año, los empresarios informan haber conseguido mejoras notables en la producción y en las desviaciones de finura.
- E.** La tabla 2 señala algunas ventajas que se han conseguido con sistemas automáticos de control de proceso por medio de computadores digitales, que parecen haberse instalado en algunas de las fábricas de la tabla 1. Es difícil obtener datos para

su publicación, puesto que la mayoría de las empresas consideran estos datos como de su propiedad secreta.

CONCLUSIONES

1. El control automático del proceso de fabricación de cemento se consigue, con éxito, en un suficiente número de fábricas como para afirmar que se puede realizar y que da beneficios importantes e identificables al empresario que adopta estos sistemas.
2. Los mejores resultados se obtienen en los casos en que los representantes de las empresas y de los suministradores del equipo de control automático cooperan y planean cuidadosamente todo el diseño de la instalación, empezando en un estudio muy inicial de la planificación.
3. Se consiguen los mayores rendimientos cuando el empresario organiza una formación adecuada de personal seleccionado y crea un clima apto para que sus empleados sean promovidos a este trabajo y aprovechen estos nuevos medios con la máxima comprensión. Un camino seguro al fracaso es el de que el empresario suponga que el vendedor de sistemas de control automáticos del proceso puede, por sí mismo, garantizar un rendimiento eficaz sin tener muy en cuenta la manera de emplear este sistema por los empleados de la empresa.

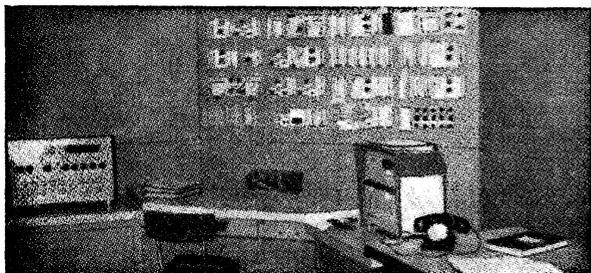


Fig. 12.—Consola de operador CDD, panel de control central y consola de entrada manual de un computador de control de procesos GE-PAC 4040 de General Electric en una fábrica de cemento.

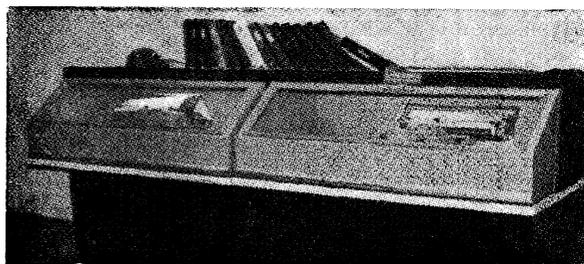


Fig. 13.—Registrador químico y de alarma para un computador CDD de General Electric GE-PAC 4040, instalado en una fábrica de cemento.

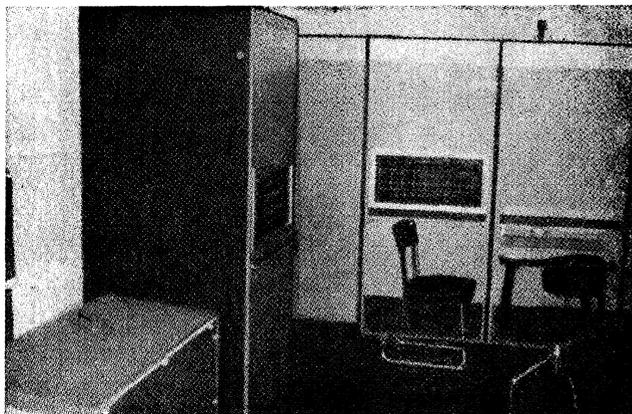


Fig. 14.—Computador de control de procesos CDD de General Electric (GE-PAC 4040), instalado en una fábrica de cemento.

TABLA 2

Beneficios de utilización

Dato	Valores % típico
1. Consumo de combustible reducido por unidad de peso del producto fabricado ...	3 - 12
2. Aumento anual de producción con el mismo sistema básico ...	7 - 15
3. Reducción en el entretenimiento del revestimiento del horno, parrilla del enfriador, etc. ...	10 - 40
4. Reducción en el desgaste de las cadenas del horno ...	10 - 40
5. Ahorro de energía en la molienda, además de reducir el desgaste de forros y elementos de molienda ...	2 - 4
6. Extensión de las reservas de la cantera. Minimización de costo de aditivos adquiridos. Mejor uso del polvo sobrante ...	No se dispone de datos
7. Uniformidad de la calidad a corto plazo, así como uniformidad media a largo plazo ...	
8. Información de producción obtenida continuamente, así como cantidades totales de producción (para medir tendencias de rendimiento unitario, informes de la dirección, etc.) ...	
9. Mano de obra ...	
10. Menor inversión en:	
A. Facilidades para la homogeneización ...	Según necesidades
B. Cabina central de control y panel central del operario ...	Según necesidades

REFERENCIAS

1. *Computer Direction of Quarry Operations*, by F. Lebel, A. Guy and D. E. Hamilton, ROCK PRODUCTS magazine, March 1967.
2. *Sophisticated Sampling Systems Optimize Computer Operations at Allentown Portland Cement*, by S. Levine, ROCK PRODUCTS magazine, April 1967.
3. *Direct Digital Control - A Total Systems Approach*, by S. R. B. Opie, 1967 IEEE International Convention Record.
4. *Cement Automation - 1965*, by E. A. E. Rich, 1965 IEEE Cement Industry Conference at Allentown, Pa., U. S. A.
5. *Application Of A Digital Computer To The Cement Making Process*, by J. R. Romig and W. R. Morton, at Sept. 1964 Stockholm, Sweden, International Conference of IFAC-IFIP.
6. *Making Cement With A Computer Control System*, by J. R. Romig, W. R. Morton and R. A. Phillips, 1964 IEEE Cement Industry Conference at Pasadena, Calif.
7. *Instrumenting Cement Plants For Digital Computer Control*, by D. D. Bedworth and J. R. Faillace, Nov. 1963 ISA Journal.
8. *Some basic Concepts Involved in Automating Cement Plants*, by E. A. E. Rich, 1961, AIEE Cement Industry Conference at Detroit, Michigan, U. S. A.
9. *Large Size Clinker Cooler Operations*, by C. J. Dick and R. G. Schlauch of the Fuller Co., Third Annual Cement Industry Operations Seminar at Chicago, Ill., Nov. 26-28, 1967, sponsored by ROCK PRODUCTS magazine.
10. *Instrumentation and Control for Industrial Minerals-Current and Future*, by J. Scrimgeour, Canadian Mining and Metallurgical Bulletin, July 1967.