

# Consideraciones y puntos de vista generales sobre automatización de fábricas de cemento

**José CALLEJA CARRETE**

**Investigador Científico del C.S.I.C. y Jefe del Departamento de Química  
del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento**

Sr. Presidente, Señores:

Ignoro las razones por las cuales he sido requerido para romper el fuego en estos Coloquios, iniciando la exposición de los temas de carácter técnico. Conozco, en cambio, varios motivos para no haber sido objeto de tal requerimiento. El más importante de todos es la gran limitación de mis conocimientos sobre el tema de la automatización de fábricas.

Pero, no habiendo podido declinar la designación, la disciplina me exige cumplir como mejor pueda, y para ello trataré de hacerme fuerte precisamente en esa parquedad de conocimientos.

Por lo tanto, voy a pensar en voz alta, haciendo exposición, tanto de mis ideas como de mis dudas, para dar lugar a que otros las aclaren y perfilen, con la intención de que ello sea de provecho, no sólo para mí, sino para cuantos eventualmente pudieran encontrarse en mi situación.

Y, al hacerlo, quiero también dar un carácter general y amplio a los puntos de vista que exponga, lo cual se aviene con la circunstancia de ser esta exposición la que abre plaza en la tarde de hoy. Yo estoy seguro de que detalles del máximo interés en todos los ordenes serán tratados a fondo y con autoridad por los restantes ponentes.

Hay una cuestión básica en torno al tema de la automatización: es la muy general de si la automatización es buena o mala, recomendable o no. Es evidente que planteada así, la cuestión no tiene respuesta precisa. Para que la tenga es menester matizar.

En primer lugar hay que concretar si, buena o mala, en función de qué; si, recomendable o no, con qué fin.

Es notorio que la automatización, realidad que puede calificarse de revolucionaria en el ámbito de la industria, tiene repercusiones técnicas, económicas y sociales que pueden afectar, no ya a una empresa, ni incluso a toda la industria de un determinado ramo, sino a un país y a la sociedad en general. Estas repercusiones pueden ser cuantitativamente diferentes y aún de signo contrario, según el nivel a que se considere su incidencia. Y, por supuesto, según las características de la industria de que se trate.

Según eso, centrándonos ya en nuestra industria, la del cemento, una de las que depende en gran medida la sociedad moderna, y teniendo en cuenta las opiniones y conclusiones de uno y otro signo recogidas en los 35 trabajos del Seminario Internacional de Bruselas celebrado en septiembre de 1968, sobre control automático en las industrias del cemento, cal y similares, cabe plantearse de nuevo la cuestión básica con mayor precisión: ¿es buena y recomendable la automatización para una determinada fábrica?; ¿lo es para un complejo fabril regional?; ¿lo es para toda la industria del cemento española? Y, de serlo en los diferentes casos, ¿en qué medida y hasta qué límite?

Si nos atenemos a uno de los aspectos en que mayor influencia tiene la automatización, o al menos alguna de sus etapas, cual es el ahorro de mano de obra, hay que convenir en que será más o menos aconsejable según el grado de industrialización general de un país, según la abundancia, el costo, la calidad y la permanencia en el empleo de la mano de obra; según la legislación social y laboral vigentes, etc. Está claro que en este aspecto, para Alemania por ejemplo, país altamente industrializado e importador de mano de obra, la respuesta sería distinta que para España, país de características diferentes, y que para Japón, con un alto grado de industrialización y abundante mano de obra, barata y de excelente calidad.

Pero, aún dentro de nuestro país, ¿quién se atrevería a asegurar a priori que la respuesta sería la misma para cada una de las zonas en que aparece dividido el mapa, por lo que se refiere al emplazamiento y distribución de las fábricas? Basta ver, como indica la figura 1, que en estas zonas, nueve en total, las fábricas con mínima capacidad de producción oscilan entre capacidades de 10.000 y 100.000 t, con un promedio de 40.000, y las fábricas con máxima capacidad de producción oscilan entre capacidades de 100.000 y 975.000 t, es decir, casi un millón, con un promedio de 450.000. Basta considerar, asimismo, que de las 60 fábricas que clinkerizan, 11 lo hacen con hornos verticales, 6 con verticales y rotatorios y 43 con rotatorios; que muy aproximadamente un tercio lo hace con fuel-oil, otro tercio con carbón y el otro tercio con ambos combustibles, aislados o mezclados. Tal heterogeneidad de condiciones implica necesariamente una correspondiente variedad de respuestas y tanto más, cuanto que unas fábricas son de factura antigua (con más o menos modernizaciones a lo largo del tiempo) y datan de principios de siglo, otras en cambio son modernas, y en otras coexisten las instalaciones veteranas con las recién estrenadas. Todo esto y más debe pesar a la hora de los planteamientos y de la respuesta, que no puede ser única ni general, sino por el contrario, y por desgracia, una para cada caso.

Por otra parte, la producción mundial de cemento arroja una cifra que por sí sola justifica los esfuerzos por mejorar en todos los aspectos esta rama de la industria, y no olvidemos que en la contribución a los 500 millones de toneladas anuales, España ocupa el octavo lugar, y el quinto entre las aportaciones europeas, siguiendo de cerca al Reino Unido y detrás de la Unión Soviética, los Estados Unidos, Japón, Alemania, Francia, Italia y la propia Inglaterra, por este orden, tal como ponen de relieve las figuras 2 y 3. Recordemos también que nuestro país ocupaba ya en 1966 el décimo lugar en el consumo de cemento por habitante y año, con algo más de 400 kg, entre dieciocho países europeos con un máximo de unos 700 kg y un mínimo de unos 180, siendo el promedio de 430. Hoy día el consumo es superior al promedio europeo, y del orden de los 550 kg por habitante y año. También esta realidad debe de contar en la postura frente a la automatización en nuestro país, sin perder de vista el hecho de que existe ya en el mundo cerca de una treintena de fábricas distribuidas en los tres continentes principales, automatizadas hasta el más alto grado posible en la actualidad.



## PRODUCCION DE CEMENTO EN EUROPA EN EL AÑO 1967

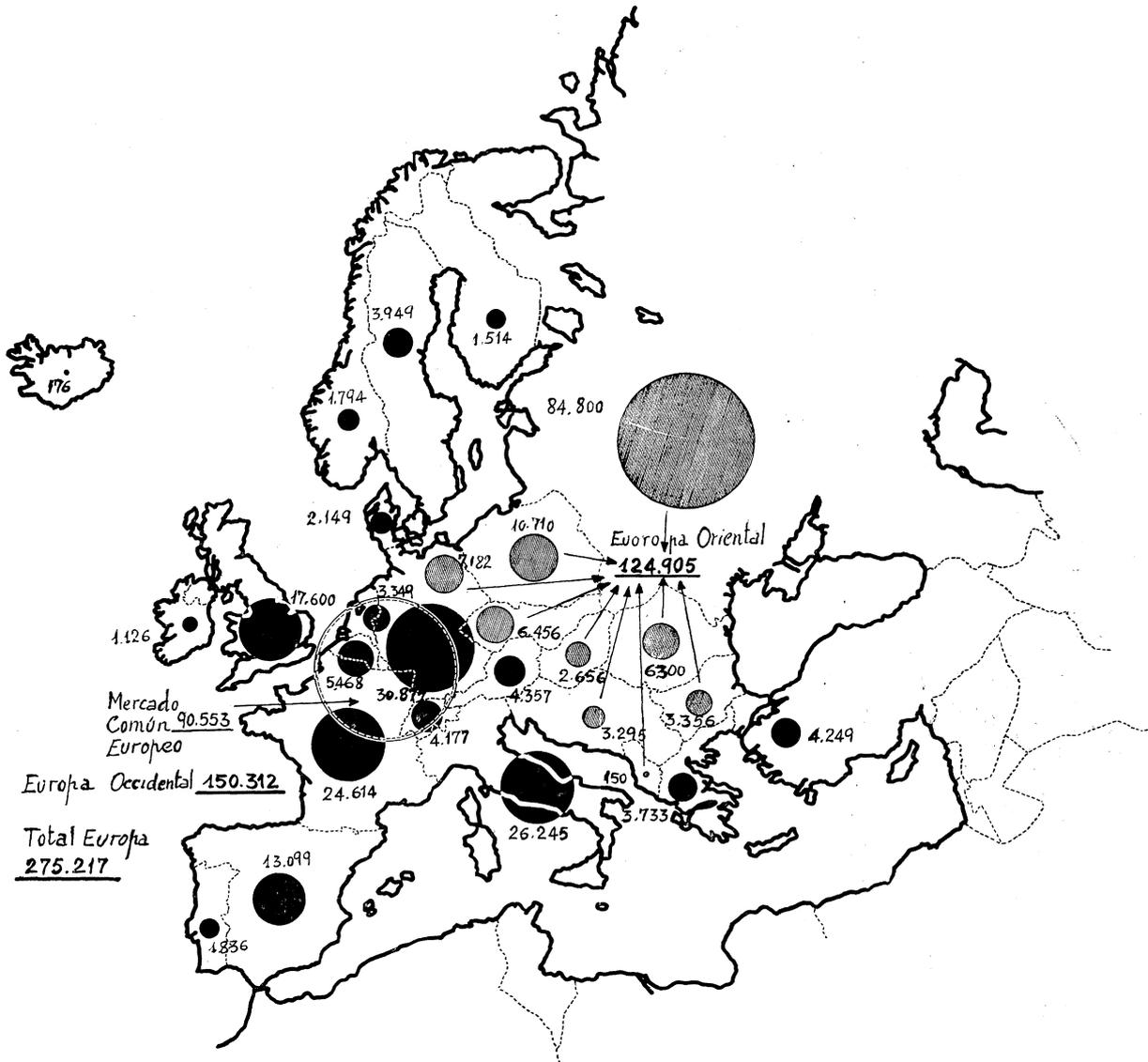


Fig. 2

Pero para precisar aún más, ¿qué se entiende y qué debe entenderse por automatización? Para contestar a esto hay que ser sinceros y reconocer que los menos informados acerca del tema queremos creer que la automatización consiste en resolverlo todo a base de ordenadores. En éste, como en otros aspectos, el deseo va muy por delante de la realidad; ya que, si la automatización sólo muy difícilmente puede llegar a tal extremo, mucho menos aún puede hacerlo en una industria como la del cemento, poco apta en general para ello, como muy acertadamente ha sido señalado, y que en determinados casos como el de España, por la situación antes expuesta, puede entrañar mayores dificultades. De los ordenadores, por su propia naturaleza y por los sensacionales avan-

ces que rápidamente se logran en su técnica y en cuanto a sus posibilidades, puede decirse que son equipos que “están de moda”, si bien, rápidamente también, pueden quedar “démodés”. Y puesto que son muy caros, ello ha de tenerse en cuenta.

## Producción de cemento en América en 1967

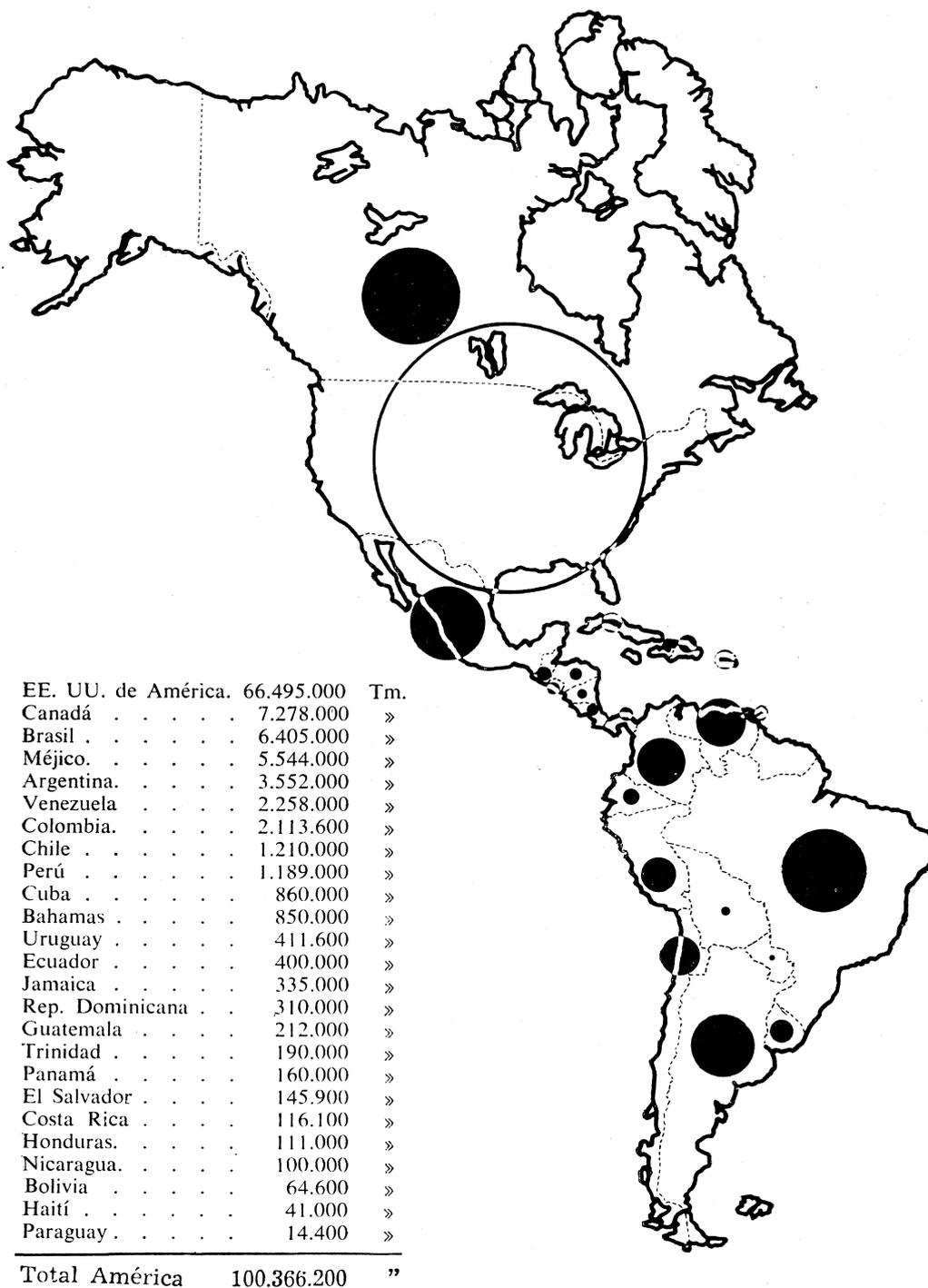


Fig. 3

La automatización desarrollada hasta su grado máximo, no es un estado en el que las industrias se hayan situado de repente, sino al que se ha llegado cubriendo etapas parciales sucesivas. Por lo que se refiere a la industria del cemento, estas etapas se han extendido a lo largo de 50 años, desde el uso del primer pirómetro, fase que se ha mantenido estacionaria hasta el comienzo de la década de los años 50, hasta el montaje del último ordenador.

Un estado inicial de partida, correspondiente a una automatización nula, sería el caracterizado por un control, absolutamente manual y descentralizado, y por una ausencia total de instrumentación. La primera etapa cubierta a partir de este estado ha correspondido cronológicamente a la instrumentación; la segunda, al control centralizado, aunque manual; la tercera, al control automático; y la cuarta y última, al control por ordenador.

La automatización podría definirse muy concretamente como el conjunto de recursos que hacen posible una marcha de proceso continua, estable y óptima, permitiendo aumentar la producción y mejorar la calidad a menor costo.

Por ello, las varias razones aducidas o que pudieran aducirse como justificativas de la automatización se pueden reducir a tres:

- a) abaratar el proceso;
- b) mejorar la calidad del producto;
- c) homogeneizar la calidad, regularizando la marcha del proceso.

En el abaratamiento de éste influyen como factores principales las siguientes reducciones:

- a) del consumo de combustible,
- b) del consumo de fuerza,
- c) de la mano de obra,
- d) de los gastos de entretenimiento,
- e) del capítulo de amortización,
- f) del número de averías y paradas,

sin contar con las del desgaste de parrillas, cadenas, refractarios y otros elementos auxiliares.

La incidencia de las distintas etapas de la automatización en estos diferentes factores es varia y a veces de distinto signo.

Así, por ejemplo, la instrumentación incide favorablemente en el ahorro de combustible y fuerza, en la reducción de los costos de mantenimiento y de amortización, y algo desfavorablemente en la reducción de gastos de mano de obra; en general, puede decirse que es la etapa que más positivamente influye de forma global en la reducción de gastos totales de producción.

El control centralizado no influye casi nada en el ahorro de combustible y fuerza, ni en los gastos de entretenimiento y amortización, pero en cambio reduce de forma muy sustancial la mano de obra; en conjunto influye favorablemente en los gastos totales de producción, y, más o menos, en la misma medida en que lo hace la instrumentación.

El control automático influye a favor de la reducción del consumo de combustible y fuerza, así como de los gastos de entretenimiento y de amortización, y desfavorablemente, aunque en muy escasa medida, en la mano de obra; en general, el balance de

su influencia en la reducción de los gastos totales de producción es positivo y algo menor que los balances correspondientes a instrumentación y a control centralizado.

En cuanto al control por ordenadores, los datos de que se dispone son escasos, por ser escasas las instalaciones con ordenadores en marcha, y en consecuencia los valores, o mejor aún, las tendencias, tienen un carácter más meramente estimativo todavía que en el caso de la instrumentación y del control centralizado o el automático. Puede aceptarse por vía de aproximación, que las influencias del control por ordenadores son del mismo signo, aunque algo más acusadas, que las del control automático, salvo en lo que se refiere a la amortización, en la que el control por ordenadores incide de forma negativa; se puede decir que, en general, la influencia en los gastos totales de producción es favorable y del mismo orden, o tal vez algo menor, que la del control automático.

Las consideraciones anteriores quedan reflejadas en el gráfico de la figura 4.

Es de destacar el hecho de que los gastos de mano de obra son los únicos que aumentan en lugar de disminuir, cuando se introducen las etapas de instrumentación, de control automático y de control por ordenadores. Ello se debe a la necesidad de personal preparado que maneje y mantenga los equipos, y programe para el ordenador. Sin embargo, el control localizado con mando a distancia y desde un cuadro central por un solo operador, hace innecesaria la vigilancia, indispensable en otras condiciones, y proporciona un considerable ahorro de mano de obra.

En el aspecto de la mejora de la calidad, así como en el de la homogeneidad de la misma a un alto nivel, y en el de la máxima regularidad en la marcha del proceso, influyen como factores más destacados:

- a) las materias primas y el crudo;
- b) la cocción;
- c) la molienda.

La repercusión de las diferentes etapas de la automatización en estos distintos factores es también varia, aunque siempre del mismo signo. Nadie pone en duda que la instrumentación, tanto de hornos como de molinos, es una etapa imprescindible para alcanzar y mantener un nivel de calidad aceptable. Lo mismo sucede por lo que hace a la combinación de instrumentación y control centralizado, si bien este último por sí solo no influiría en la mejora de la calidad.

El control automático de hornos y de molinos constituye, en cambio, el factor más decisivo para el incremento de la calidad, así como el control por ordenadores lo es en lo referente a la dosificación del crudo y a los cambios, frecuentes y rápidos, que a veces es preciso introducir en ella.

Las consideraciones que precedan se pueden ver reflejadas en el gráfico de la figura 5.

Si difícil es evaluar la economía de un proceso, más aún lo es, a veces, evaluar la calidad de un producto. La economía en la fabricación del cemento puede cifrarse, en definitiva, mediante números concretos expresados en una única unidad: la monetaria en cada caso, y la peseta en el nuestro. En cambio, la calidad del cemento no es expresable por un solo parámetro, y los varios que parcialmente (e insuficientemente las más de las veces) la pueden definir —resistencias mecánicas, resistencias químicas, estabilidad— son lo bastante heterogéneos como para agravar la dificultad.

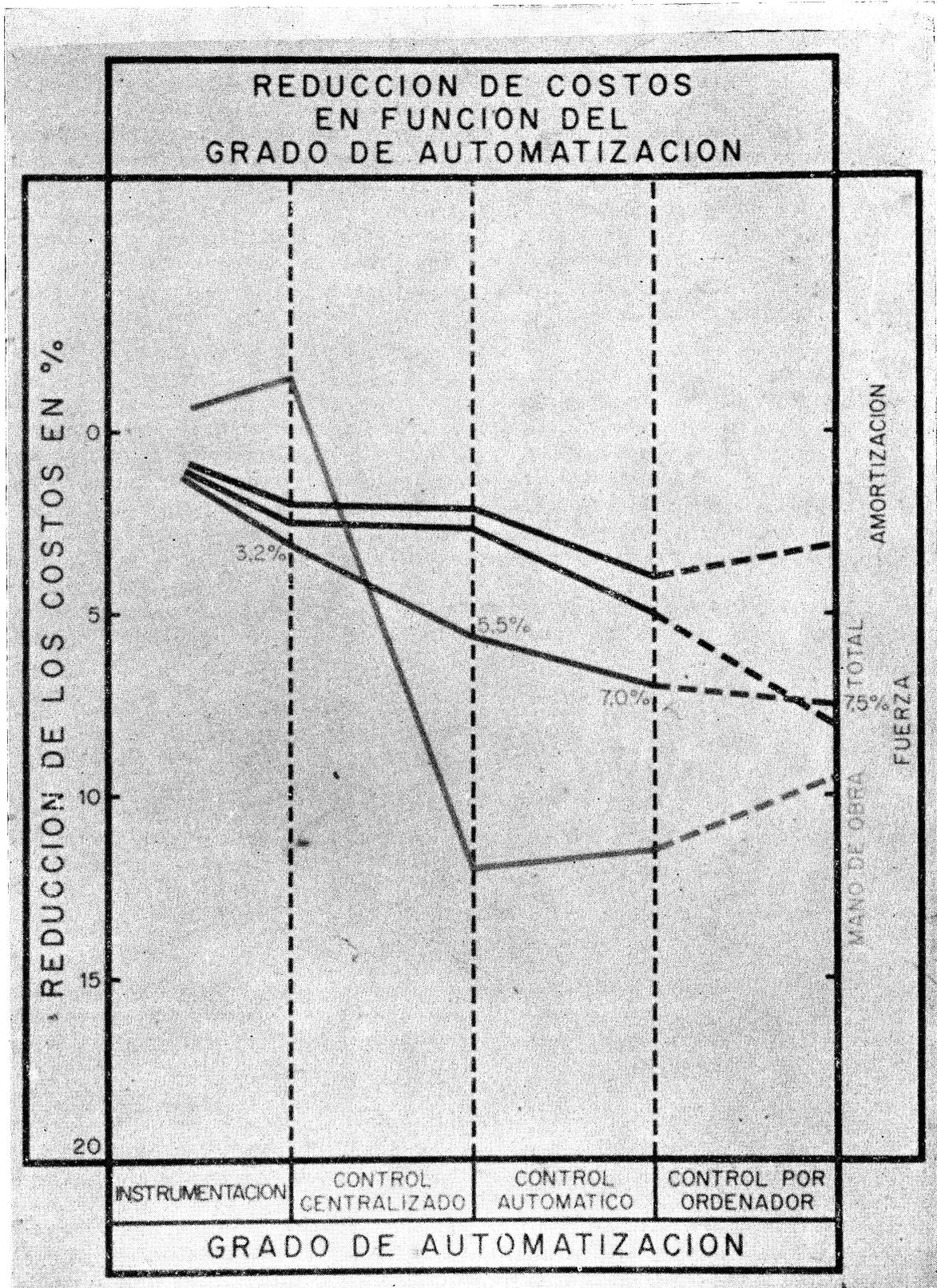


Fig. 4

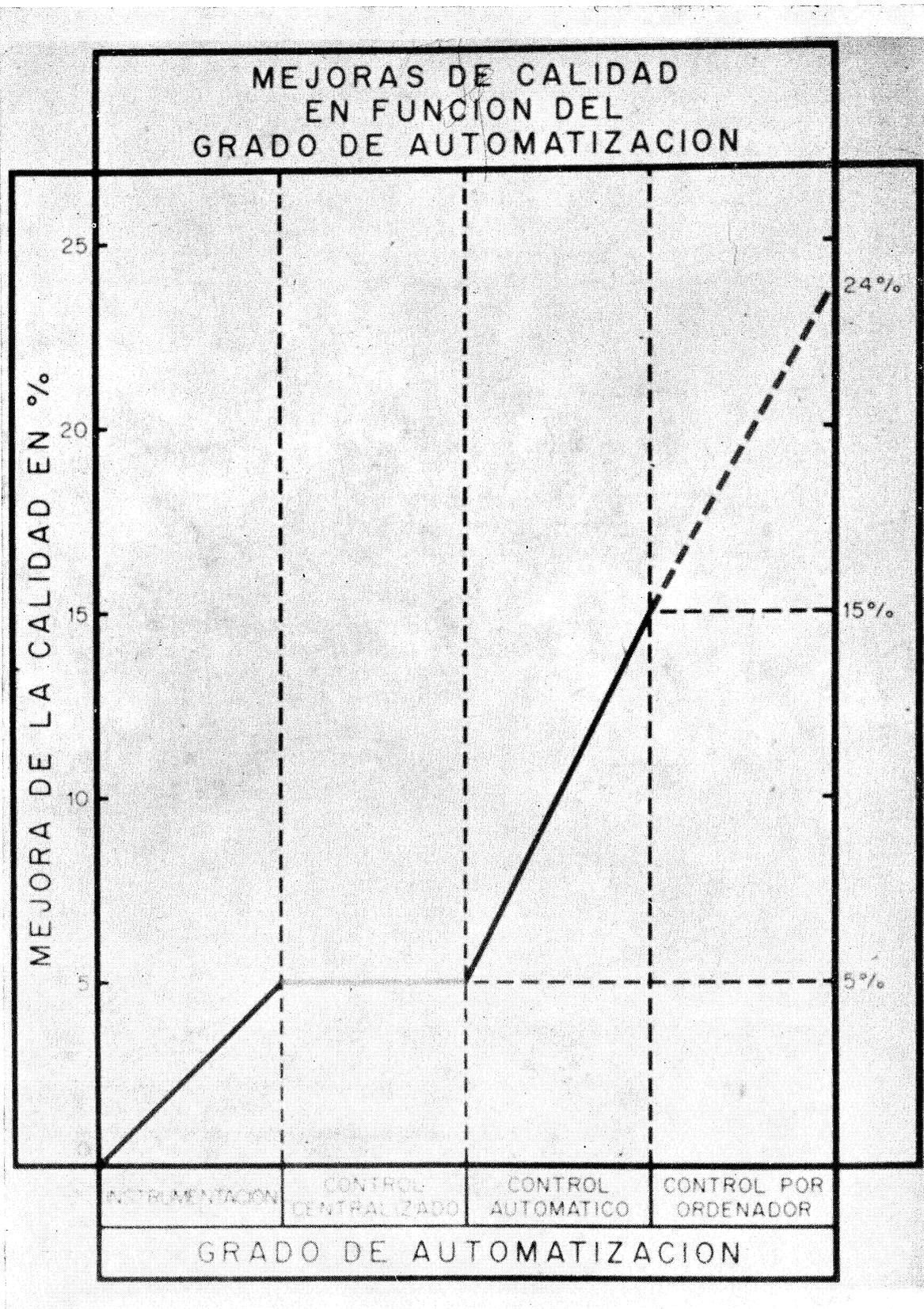


Fig. 5

De otro lado, la uniformidad de la calidad a un determinado nivel suficientemente alto, es para el usuario del cemento mucho más deseable que una calidad oscilante entre máximos innecesarios que no valora, y mínimos alarmantes que le preocupan. Si se acepta por rutina la resistencia a compresión a 28 días como índice de calidad, y la dispersión de dicha resistencia como índice de uniformidad de la misma, los gráficos de distribución de frecuencias para las distintas etapas de la automatización son los indicados en la figura 6. Ellos hacen ver que la calidad mejora (como muestra la elevación de las curvas de Gauss y el desplazamiento de las mismas hacia la derecha) y la uniformidad aumenta (como indica el estrechamiento de dichas curvas hacia arriba), tanto más cuanto mayor es el grado de control y de automatización. De tal manera, que con el grado de automatización aumentan, tanto las resistencias máximas como las medias, disminuyendo en todo caso la dispersión.

El control por ordenador, cuya eficacia es prácticamente del mismo orden que la del control automático, afecta de modo casi exclusivo a la dosificación y homogeneidad del crudo, así como a la mayor constancia de su composición, por razones obvias. En efecto, el proceso del ordenador, basado en fundamentos matemáticos y realizado por equipos y herramientas adecuados, exige, como condiciones previas inexcusables, por una parte, un planteamiento matemático —el algoritmo y el modelo matemático— preciso y correcto, y, por otra parte, el disponer de los datos necesarios y suficientes para obtener la solución del problema planteado, esto es, lograr mediante ordenadores idóneos informaciones continuas y confiables, que sean fielmente representativas de las magnitudes que caracterizan la marcha del proceso y el funcionamiento de las máquinas. La interrelación entre información y algoritmos es materia de la teoría de procesos. Estas circunstancias se dan en el cálculo y en la realización de la dosificación de crudos, pues, como en un clásico problema de mezclas que es, se trata, en definitiva, de hallar la proporción de componentes de una mezcla, cuando se conocen las composiciones de dichos componentes y la composición que ha de tener aquélla.

En todo caso el problema se puede reducir siempre, y en último término, a eso o a algo equivalente. Y en todo caso también, a base de los datos analíticos y de determinados criterios, se pueden plantear sistemas de ecuaciones de dosificación que resulten siempre determinados. De aquí que el control de dosificación de crudos por ordenador exija métodos analíticos precisos y rápidos, automáticos a su vez, y de aquí la alianza de los ordenadores con los equipos de análisis por fluorescencia de rayos X, y, eventualmente por otras técnicas, tales como la absorción atómica, de las cuales voces autorizadas, sin duda han de tratar en estos Coloquios.

Pero no basta un método rápido y preciso de análisis, que reduzca a un mínimo los “tiempos muertos”, que por cierto en la industria del cemento son grandes en general, sino que es menester también que los resultados de dichos análisis se refieran a una muestra que sea lo más representativa posible del conjunto de que procede. He aquí una gran dificultad, pues las muestras para el análisis constan de pocos gramos, en tanto que los silos o pilas contienen muchas toneladas. Y dado que esta dificultad no se puede resolver sólo a base de una gran frecuencia en los análisis, que por otra parte tiene una limitación, es corriente que el conjunto analizador de rayos X-ordenador se alíe a su vez con las que pudieran llamarse “canteras artificiales”, es decir, con las “stock-piles”, o similares, de cuya utilidad y rendimiento no cabe hablar aquí, y que suponen una aproximación a la resolución de un problema que en sí se resuelve por aproximaciones sucesivas. Es la solución dada por la prehomogeneización, ayudada hoy día por los métodos estadísticos aplicados a la resolución del problema de la representatividad de la toma de muestras.

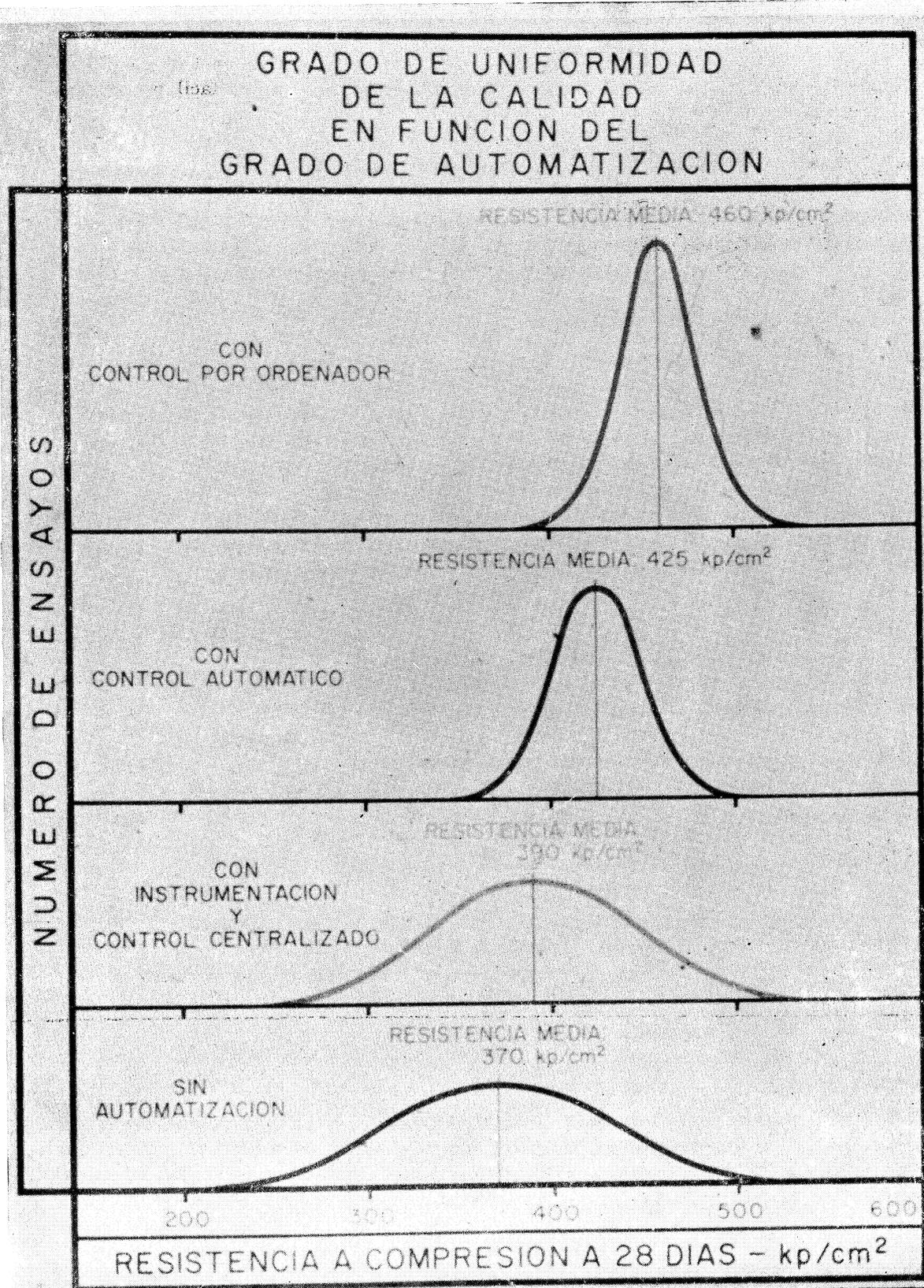


Fig. 6

Así como la misión y eficacia del ordenador en la dosificación y en el control del crudo son evidentes, es muy difícil poder asegurar lo mismo en el caso del control y de la optimización de marcha del sistema horno-enfriador, ya que aquí no es fácil precisar, en general, cuántos y cuáles son los parámetros necesarios y suficientes para establecer un sistema de ecuaciones determinado, que los ligue con unas ciertas condiciones de marcha, las cuales jamás pueden ser tan bien definidas ni tan fijas como la composición final de un crudo. Además, las relaciones entre parámetros y condiciones de proceso las desconoce el hombre en gran medida, y lo que nunca puede hacer un ordenador por sí solo es suplir este desconocimiento. La gran complicación que supone la automatización del sistema horno-enfriador reside en su gran inercia, en el elevado número de factores que influyen en el proceso, los cuales sólo pueden ser tratados en bloque y son causa de una complicada dinámica del mismo.

En suma, es la falta de información o la dificultad de obtener una que sea valedera, lo que impide o dificulta el establecimiento de las necesarias relaciones cálculo-proceso. Tampoco la estadística, que es otro camino para llegar al establecimiento del modelo matemático por el que opera el ordenador, parece poder ayudar al hombre en este caso, tanto como en otros. Quedaría, en fin, retrocediendo a una etapa anterior, el recurso de los numerosos bucles de regulación, cada uno de los cuales recogería el efecto global de cada una de las muy variadas acciones sobre el proceso. Acciones y efectos que, a su vez, habría que medir para obtener con ello un gran stock de información con que alimentar el ordenador, en una etapa final de la automatización.

Se ha dicho y con razón que se puede medir “casi todo”. De hecho, y muy acertadamente, se mide mucho y cada día más, y buena prueba de ello son los centenares de captadores de señal de todo tipo instalados en las fábricas automatizadas. Pero el problema está en qué hacer y cómo relacionar todo lo que se mide, entre sí y con las incidencias del proceso, a fin de poder influir a voluntad y conveniencia en él, automáticamente y a distancia. Por otra parte, no basta con medir mucho, sino que es indispensable medir bien, con garantía de precisión y fidelidad en las medidas, para evitar la dislocación de los procesos controlados y con ella el caos en la marcha del proceso total. La presencia de polvo en la atmósfera de los hornos y en los gases de la combustión, el contenido de humedad de éstos y tantas otras circunstancias, dificultan y perturban las mediciones de temperaturas, los análisis de gases, etc. También supone una gran dificultad el hecho de no poder medir de forma continua ciertos parámetros, la mayoría de los cuales cuenta entre los más influyentes. He aquí la razón por la cual el “robot” que pudiera pretenderse fuese una fábrica de cemento en el futuro, gobernada por un solo hombre atento exclusivamente a la supervisión de las alarmas transmitidas por un ordenador, es hoy por hoy una entelequia.

A ello y a otras causas análogas se debe asimismo el hecho de que en el momento actual no haya todavía ninguna fábrica en el mundo que tenga ya integradas todas sus operaciones.

Por grande que haya sido el progreso de la técnica de la fabricación de hornos y sea el conocimiento de los procesos de la clinkerización, y hay que reconocer lo mucho que se ha conseguido en tales aspectos en los últimos veinte años, no se ha llegado aún a explicar hechos frecuentes, al menos en España, en la década de los años 40, y aún en la de los 50, conocidos de una buena parte de los aquí presentes. Me refiero, por ejemplo, al caso desconcertante de dos hornos de una misma fábrica, gemelos hasta la identidad en todos los aspectos, marchando en vecindad inmediata, alimentados con un mismo crudo, quemando un mismo combustible, y conducidos de igual forma para obtener la mis-

ma producción y calidad. En tales circunstancias debería lograrse esto sin duda alguna. Pues bien: o uno de los hornos formaba anillos y el otro no; o el clínker de uno tenía cal libre y distinto grado de saturación y composición potencial que el del otro; o la producción no era la misma. Y, si se buscaba la igualdad en estos aspectos, era preciso variar las condiciones de marcha de uno de los hornos en relación con la del otro.

Se podrá decir que, aunque en apariencia todo era igual, algo habría de distinto. Ciertamente; pero no lo es menos que si el hombre no fue capaz de determinar qué era lo distinto, tampoco hubiera podido hacerlo un ordenador por sí solo. A no ser que por tal entendamos ese monstruo absurdo que nos presentan en ciertas películas dadas por la televisión.

Otro hecho mucho más reciente, destacable por lo insólito, es el de una fábrica instalada en la costa de un país centroamericano, en una zona con vientos cambiantes, mar-tierra o tierra-mar, y con distinto grado de humedad y temperatura, según la estación del año. Un horno de esa fábrica, alimentado con un mismo crudo invariable, y sujeto a una misma marcha, producía clínkeres en los que, de verano a invierno, los contenidos potenciales de silicato tricálcico y de silicato bicálcico variaban respectivamente de 40 a 25 % y viceversa, y la relación  $C_3S/C_2S$  oscilaba, por consiguiente, entre 1,60 y 0,62. Puestos a interpretar tal hecho, y teniendo en cuenta que las oscilaciones de temperatura y humedad iban de 30°C y 90 % HR en el verano a 20°C y 60 % HR en el invierno, cabe pensar que la capacidad calorífica y la conductividad térmica del aire con tan distintos contenidos de vapor de agua varían tanto, que son capaces de modificar su potencial de enfriamiento, influyendo en el proceso de resorción del silicato tricálcico en silicato bicálcico y cal libre. En tal sentido la solución estaría en variar las condiciones de cocción, y sobre todo, las de enfriamiento del clínker, de verano a invierno, sin necesidad de modificar la composición del crudo.

En este aspecto se recuerda también la influencia de los factores atmosféricos (presión, temperatura y humedad del aire, así como dirección y velocidad del viento) en la marcha y rendimiento de algunos hornos verticales antiguos, asunto bien conocido de los que hayan tratado con este tipo de hornos.

La formación de anillos, las avalanchas de material, la destrucción de gránulos, la presencia de polvo y otros muchos factores análogos contribuyen ya de por sí a dificultar seriamente el control del proceso.

Todo esto lleva a la conclusión de que, ante tantos factores nunca mejor llamados imponderables, la cocción de clínker no es proceso para cuyo control se vea tan clara y a priori la posibilidad de acoplar un ordenador, al revés de lo que sucede en el control de la dosificación del crudo, y aún en el de la molienda.

Y, sin embargo, no cabe duda de que ello es de desear al máximo, por cuanto que un operador es incapaz de determinar por sí, con precisión y rapidez, cuáles son las relaciones mutuas, a lo largo del tiempo, entre las distintas y numerosas variables que intervienen en el proceso de clinkerización, lo que impide la optimización del mismo, es decir, la obtención de calidad y rendimientos máximos para una producción prevista.

Es esperanzador pensar que el problema puede tener solución a base de que el hombre ayude al ordenador, antes que esperar todo de él, pues, repetimos, el ordenador no supe el desconocimiento del hombre. Y ¿cómo ayudar al ordenador? Se ha preconizado, con buena lógica, y creemos que ello representa el estado más avanzado de la cuestión en la actualidad, multiplicar los circuitos de regulación con valores consigna que hay que tratar de gobernar por ajuste automático, a base de que el ordenador analice un

número elevado de variables relacionadas entre sí e influyentes en la marcha del sistema horno-enfriador y, entre ellas, también, por qué no, esas variables que hemos calificado antes de imponderables. Abona esta esperanza el hecho que parece ya probado, y que no dejó de llamar la atención al observarse por primera vez, de que la energía necesaria para mover el horno es un dato válido para el ordenador y ayuda a controlar y optimizar el proceso de la clinkerización.

Y así están las cosas: la etapa de control por ordenadores alcanza, en general, sólo a la preparación del crudo y eventualmente a la molienda, en tanto que la clinkerización puede llegar cuando más y hoy por hoy, en una gran mayoría de casos, a la etapa de control automático.

También es cierto que sin una alimentación uniforme en cuanto a composición de crudo se refiere, es muy difícil regular la marcha de un horno y, en consecuencia, aplicarle un sistema de automatización por ordenador. Lo cual prueba que el automatismo en la etapa de la dosificación y homogeneización del crudo es condición previa necesaria y con frecuencia suficiente, que hace posible y facilita la automatización del horno.

Dentro del planteamiento de la automatización como medio de abaratar el proceso y/o de mejorar la calidad, no somos los únicos, ni siquiera los primeros, en pensar que no se debe tratar, tanto de decidir a qué grado de automatización es rentable llegar en una fábrica, cuanto de establecer a qué nivel de automatismo obliga una creciente demanda de calidad y de regularidad en la misma. Porque, que la batalla de la competencia, a la hora de la verdad se da en el campo de la calidad, o de la uniformidad de la calidad al nivel exigido, es cosa fuera de toda duda. Y la tendencia en el futuro se manifiesta aún más derechamente orientada en la misma dirección, como prueba la demanda de calidades cada vez con más estrechos márgenes de tolerancia. Y téngase presente que la automatización será más necesaria allí donde se exija mayor nivel de calidad, lo que a su vez ocurrirá allí donde más se produzca y más se consuma. A este respecto se indica que ya en 1966 la producción mundial de casi 460 millones de toneladas se repartía entre unos 145 millones de Europa Occidental, unos 130 millones del bloque comunista euroasiático, unos 100 millones del continente americano y unos 86 millones del resto del mundo.

La homogeneidad del cemento es suma de dos homogeneidades principales: la del crudo y la del proceso, y en ambas se ha visto que el automatismo, auxiliado por otras técnicas y medios, ha hecho o puede hacer grandes progresos. Es, pues, a la meta de una calidad alta y uniforme donde la automatización debe dirigir principalmente su mira, con un espíritu competitivo y de investigación.

Volviendo un tanto al principio, veamos ahora un aspecto social, interesante a nuestro juicio, de la automatización en cuanto medio de economizar mano de obra. No creemos que por tal debe entenderse, en general y a ultranza, suprimir puestos de trabajo. La automatización exige personal especializado a distintos niveles y personal de vigilancia, conservación, estudio y control; pero este personal debe estar familiarizado con el proceso que tiene parcialmente a su cargo. Podría decirse que lo importante en una fábrica de cemento es, en definitiva, fabricar mucho y buen cemento en condiciones económicas rentables, y que la electrónica, por citar un sólo ejemplo de auxiliar de la automatización, es tan sólo una herramienta más, y no precisamente primaria, para lograrlo. La automatización da pie, por consiguiente, para una liberación del hombre de las tareas pesadas o peligrosas, contribuyendo así a una mayor seguridad en el trabajo. Esta liberación no debería conducir en ningún caso al paro del personal, sino a su promoción me-

diante un cambio de misiones y tareas y el adecuado entrenamiento, en cada caso, con las consiguientes ventajas de todo orden para la propia empresa.

En este mismo orden de ideas creemos que la obtención y acumulación de información, la instalación y operación de circuitos de regulación, la creación de modelos matemáticos de trabajo, estáticos o dinámicos, el empleo de ordenadores analógicos o digitales como sistemas de control, el establecimiento de valores de consigna, la utilización de cartas de control estadístico en su caso, la optimización de procesos y, en suma, la solución más completa y acabada del problema de la automatización de fábricas de cemento, debe salir de una colaboración coordinada y estrecha entre especialistas en automática, técnicos de las diversas ramas ligados a ella —mecánicos, electrónicos y de ordenadores— y técnicos en la fabricación de cemento, pues no cabe olvidar que tanto monta en ello el conocimiento de la teoría del automatismo, como el de la industria que se quiere someter a control. Esta colaboración debe comenzar ya en las fases de estudio y proyecto, pues el control debe considerarse hoy día como parte integrante de ellos; debe extenderse durante las fases de construcción y puesta en marcha, y es aconsejable que se prolongue a lo largo de la producción en régimen normal, hasta la perfecta consecución del fin propuesto, ya que hay que tener en cuenta que un enjuiciamiento ponderado de los resultados de un sistema de control automático sólo puede hacerse al cabo de varios meses de marcha continua de todo el proceso.

En conclusión, señores, yo resumiría lo expuesto diciendo:

- que la automatización es por sí misma buena y aconsejable, en general;
- que la forma en que haya de plantearse y la medida en que haya de resolverse dependen de las condiciones particulares y de las circunstancias locales de todo tipo que concurren en cada fábrica o empresa;
- que en las fábricas de nueva planta resulta ya obligado contar con ella en el proyecto, como un capítulo más, tan importante como el de hornos o el de molinos;
- que en las fábricas en marcha, siempre puede haber la posibilidad de mejoras, introduciendo automatismos en un cierto grado y en determinadas secciones y procesos, aún sin necesidad de llegar al último extremo del ordenador;
- que, aparte de la incidencia favorable del automatismo en la economía de la producción inseparable de todas otras ventajas y consecuencia de ellas, es la mejora de la calidad y la uniformidad de ésta a un alto nivel, el móvil primario que debe perseguirse con la automatización, si se quiere mantener en el futuro un prestigio en el mercado nacional; y más aún, si se pretende competir internacionalmente, sea o no dentro del Mercado Común Europeo, situación a la que más pronto o más tarde se ha de llegar, una vez anuladas las importaciones y con excedentes de producción nacional;
- que la automatización, lejos de suprimir puestos laborales y crear paro o contribuir a él, puede y debe mejorar las condiciones y la seguridad en el trabajo y promocionar al personal de las fábricas a puestos más dignos y de mayor responsabilidad;
- y, como final, que el logro de todos estos avances técnicos, económicos y sociales por la vía de la automatización puede ser y debe ser obra conjunta de las dos partes implicadas en el problema: el sector de la automática y el sector del cemento, reunidos hoy aquí con afán de estrecha y fructífera colaboración, que todos deseamos.

## COLOQUIO

Sr. PEREZ POLO: *Acerca de la primera Conferencia Técnica de esta tarde quisiera decir que efectivamente estoy de acuerdo en que la obtención de un modelo matemático perfecto que describa completamente el comportamiento del horno rotativo, es prácticamente imposible de conseguir. Y, sobre todo, existe la enorme dificultad de no poder ser utilizable por un ordenador, puesto que para ello haría falta poder medir en continuo muchos y diversos parámetros.*

*Quiero, pues, hacer notar que, efectivamente, no podemos obtener una marcha óptima de la conducción del horno con el ordenador. Pero lo que se pretende con un ordenador, no es realmente obtener el óptimum optimorum, sino, simplemente, sacarle un rendimiento económico aceptable. Por ello, un modelo matemático no tan exacto, sino simplemente aproximado, tal vez sería la solución, si no una solución perfecta, sí, en cambio, una solución aceptable. De ello les voy a hablar dentro de unos días desarrollando más este punto.*

*Asimismo estoy de acuerdo en que, efectivamente, existen unos tiempos muertos muy largos en el proceso de cocción. Por lo tanto, una acción de corrección sobre los parámetros de marcha del horno tardará mucho en reflejarse totalmente. Pero es que ocurre exactamente igual en el crudo: los tiempos muertos desde que se actúa en los dosificadores hasta que la actuación se refleja en el silo, son muy considerables. Así, pues, no se puede decir de un modo totalmente categórico que el ordenador no puede servir más que para el crudo. Sin embargo, estoy de acuerdo en que es mucho más fácil obtener un modelo matemático de la dosificación del crudo que del control del horno.*

Sr. CALLEJA: *En efecto, estoy conforme en que no se puede decir de un modo categórico que el ordenador es aplicable totalmente al crudo y no es aplicable en absoluto al control del horno. Lo que creo haber dicho —o haber querido decir— al respecto es que, si bien la misión del ordenador en la dosificación y en el control del crudo es evidente, no lo es tanto ni tan a priori en el caso del control y de la optimización de la marcha del horno, y ello por las mismas razones que muy bien señala el Sr. PEREZ POLO. Lo que no impide intentar lograr, si no la máxima optimización, sí al menos mejoras sustanciales en la marcha y en el control del proceso de la clinkerización, conseguible tal vez en etapas y por aproximaciones sucesivas, con ayuda de un ordenador.*

Sr. PEREZ POLO: *Veo que ambos hemos expresado lo mismo, y que, por lo tanto, estamos de acuerdo.*