

# El ordenador industrial

**F. PEREZ-POLO GIL**

**IBM, S. A. E.**

## **NECESIDAD DEL ORDENADOR INDUSTRIAL**

Todo proceso está caracterizado por unas causas (variables manipuladas y disturbios), que determinan unos efectos (variables que deciden el estado del proceso, temperaturas, presiones, caudales, características del producto, etc.).

Si no hubiese disturbios, bastaría con dar unos valores determinados a las variables manipuladas (posición de válvulas, reostatos de motores, etc.) y mantenerlas fijas en esos valores para obtener un producto de unas características constantes.

Desgraciadamente, la existencia de disturbios incontrolables (variaciones en las características de las materias primas, variaciones ambientales, distintas exigencias de la calidad del producto, variaciones del mercado, etc.) causa que, al variar los valores de los mismos, varíen las características del producto final, aún manteniendo las variables manipuladas en los valores fijos iniciales.

Estas consideraciones muestran la necesidad de conducir el proceso, es decir, actuar sobre las variables manipuladas, de modo a compensar los efectos de los disturbios en las variaciones del producto final.

Así, al ir evolucionando la historia de los procesos, que se fueron haciendo cada vez más complicados y rápidos, fue creciendo la necesidad de conductores cada vez más hábiles, capaces de realizar la conducción. Estos conductores, verdaderos artistas, capaces de obtener resultados asombrosos, cuentan sólo con la ayuda siguiente:

Experiencia, tanto propia como de sus predecesores; ayuda técnica recibida; existencia de instrumentos de medida, y, en los casos más avanzados, de reguladores automáticos.

Sin embargo, tienen cinco dificultades, que se pueden señalar como los mayores inconvenientes en su actuación:

- 1) Existencia de un número elevadísimo de instrumentos de medida, con la imposibilidad inherente de leerlos todos, no pudiendo sacar todo el partido posible, ni tan siquiera de los instrumentos leídos, por la necesidad de, unas veces, realizar cálculos con las lecturas, y otras, por la inexistencia de los instrumentos de medida necesarios, problema agravado por la dificultad de relacionar unas medidas con otras, aunque existan cuadros sinópticos que alivien hasta cierto punto esta situación.

Además, existen unas preferencias subjetivas por el conjunto parcial de instrumentos de medida a leer, variables de unos conductores a otros, que incrementan las diferencias existentes entre las actuaciones de los diferentes turnos.

- 2) Las relaciones entre causas y efectos son complicadísimas, lo que determina que una acción sobre una variable manipulada se refleje en un elevado número de efectos, y

así, la única acción humana posible es actuar sobre una causa (variable manipulada) y esperar el efecto, que tardará más o menos tiempo en hacerse sensible, dependiendo de la inercia del sistema; a continuación actuar sobre otra variable manipulada y esperar su efecto retocando, si fuese necesario, la primera y así sucesivamente.

Se desprende de ello que el hombre no puede ser consistente en sus acciones de conducción, pues no puede evaluar todas las relaciones mencionadas.

- 3) Abundancia de limitaciones a respetar, unas de seguridad, en las que normalmente el ser humano no se atreve a llegar a su valor límite, quedándose corto por miedo a no poder respetarlas; otras limitaciones son de índole física: muchas variables deben estar comprendidas entre dos cotas con vistas a obtener una calidad aceptable del producto.

Un conductor puede no detectar una violación de límites a tiempo y su actuación será tardía. Además, el no poder operar con todas las variables en sus valores óptimos, para cada conjunto de valores que tomen los disturbios, implica elevadas pérdidas por verse así obligado a producir calidades que varíen entre límites demasiado amplios o bien obtener productos fuera de especificaciones si estos límites fuesen más estrechos.

- 4) Toda acción tarda un tiempo en reflejarse (ejemplo: la actuación sobre la alimentación de materia prima tarda cierto tiempo en variar la producción instantánea, llamado tiempo muerto, y una vez iniciada la variación de la producción instantánea se tarda aún otro tiempo en llegar a la producción en régimen estacionario correspondiente al nuevo valor de la alimentación). Con ello existe el peligro de efectuar sobrecorrecciones, al ver el conductor que una acción efectuada no ha surtido efecto, con lo que volverá a actuar sobre la misma variable manipulada de un modo innecesario.

Los procesos no son lineales: la inercia es diferente, para distintas amplitudes de las correcciones y para distintos valores de las variables manipuladas y de estado del proceso.

La imposibilidad humana de tener en cuenta todo esto implica que las acciones correctoras de conducción no sean las mejores posibles, así como una inconsistencia en las mismas, pues se efectuarán distintas acciones en idénticas circunstancias.

- 5) Hay muy poco tiempo disponible para analizar una situación y actuar en consecuencia. Es imposible que el hombre conozca siempre el estado del proceso, ya que para ello necesitaría leer todos los instrumentos cada pocos segundos y verificar si existe alguna variable que se salga de límites o muestre alguna tendencia indeseable.

Al no poder comportarse así no puede decidir las mejores correcciones ni ser consistente en sus actuaciones.

Un ordenador convenientemente programado, conectado a los instrumentos existentes, puede aconsejar las acciones a efectuar o realizar las correcciones automáticamente, si está conectado a los reguladores y actuadores.

El ordenador resuelve el problema por su velocidad elevadísima, tanto para leer instrumentos como para efectuar cálculos, por su seguridad al tomar decisiones y por su acción consistente.

## **ACTUACION DEL ORDENADOR**

En la figura 1 (los esquemas utilizados en este trabajo se han basado en el diseño del ordenador IBM 1.800) se muestra la operación del ordenador industrial del modo más esquemático: Los captadores de un proceso envían la información del estado del proceso al ordenador por medio de señales eléctricas, sin intervención humana alguna en el camino proceso-ordenador. (Se dice que el ordenador está conectado sobre línea con el proceso). De este modo, el ordenador, dotado de un programa capaz de interpretar las señales de entrada y decidir la actuación más conveniente, es capaz de elaborar unas señales de corrección que envía al exterior, ya sea bajo forma de recomendaciones a los conductores (bucle abierto), o de señales eléctricas, que, sin intervención humana, sean capaces de activar convenientemente los actuadores (válvulas, motores, reostatos, reguladores, etc.) del proceso. Obsérvese cómo, en este segundo caso, existe un bucle alrededor del proceso. (Se dice que el ordenador trabaja en bucle cerrado).

## **SEÑALES ANALOGICAS Y DIGITALES**

En un proceso industrial hay instrumentos de medida que constan de un captador que envía una señal a un indicador (aguja que se desplaza sobre una escala), a un registrador, o a un regulador. Al conducir el proceso, un hombre necesita, para conocer su estado, leer los indicadores. A un ordenador, sin embargo, le basta con recibir la señal generada por los captadores, sin necesitar ni indicador ni registrador. Los captadores más universalmente extendidos producen una señal analógica, que se va a definir a continuación con un ejemplo: Sea un captador de velocidad, como el utilizado en un automóvil. Su indicador es una aguja que se mueve sobre una escala. Los valores que puede tener la velocidad son infinitos, comprendidos entre cero y la velocidad máxima que alcanza el automóvil: la velocidad es analógica. La aguja se desplaza sobre la escala y puede tomar cualquiera de las infinitas posiciones de la misma: el desplazamiento de la aguja es analógico. Ni la velocidad ni el desplazamiento de la aguja pueden representarse correctamente por un número, puesto que dos velocidades infinitamente próximas son distintas, pero para representarlas por dos números diferentes habrían de tener infinitas cifras. Sea ahora otro instrumento del automóvil: el contador de kilómetros. El indicador está constituido por unas ruedecitas cifradas. Dos distancias infinitamente próximas dan normalmente lugar al mismo número en el contador. El contador da una señal representable por un número. Una señal de este tipo se llama numérica o también digital.

## **SEÑALES DE ENTRADA AL ORDENADOR**

Un ordenador sólo puede trabajar con señales digitales. Por tanto, ha de disponer de un convertidor de señal analógica a señal digital.

Algunos captadores industriales son también de tipo digital, y el ordenador ha de poder leerlos directamente.

Los captadores producen una señal, eléctrica, neumática, mecánica, etc. Si la señal no es eléctrica, hay que convertirla en eléctrica por medio de un transductor, uno por cada señal no eléctrica.

Si la señal eléctrica producida es muy débil, se necesitan elementos de amplificación o transmisores para elevar su nivel.

El ordenador debe leer todos los captadores necesarios, aunque sean analógicos. Por consiguiente, ha de disponer de un conjunto de interruptores electrónicos o electromecánicos

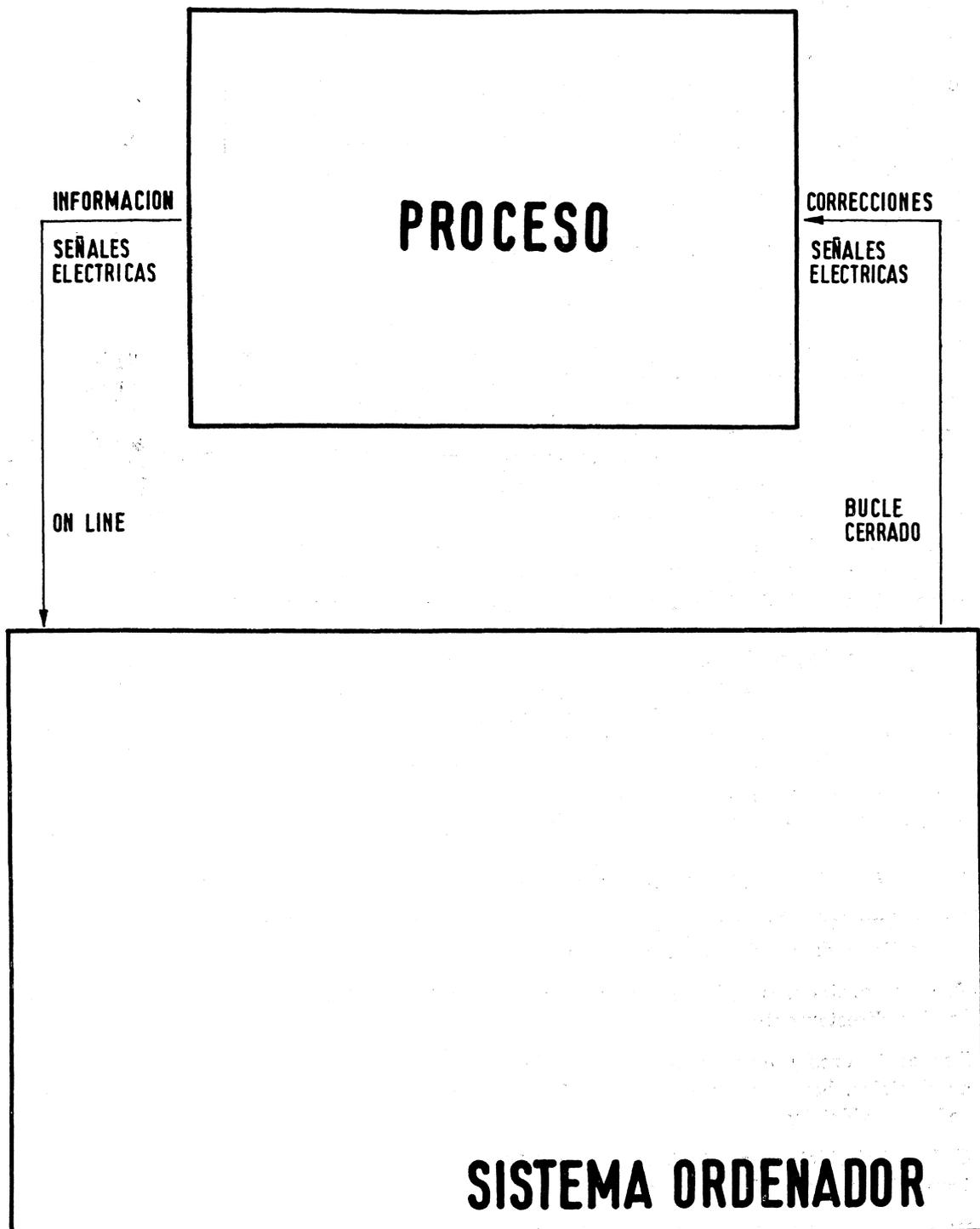


Fig. 1.—Diagrama esquemático de la operación de un ordenador industrial.

que conecten sucesivamente los conductores de llegada de las señales analógicas al convertidor analógico-digital. Esta operación ha de ser rapidísima (conexión de cada señal al convertidor durante tan sólo unos milisegundos) para que la lectura de los instrumentos no ocupe tiempo apreciable al ordenador, ya que su trabajo de mayor envergadura es asimilar esa información, efectuar todos los cálculos necesarios con ella y tomar las decisiones oportunas y ha de disponer de tiempo suficiente para ello.

En cuanto a entradas digitales, éstas pueden estar constituidas por pulsos eléctricos a contar. (La no existencia de pulso en un momento dado es un cero y su existencia es un uno. Se trata, pues, de una señal numérica o digital). Estos pulsos pueden ser generados por básculas, por células fotoeléctricas, etc.

Asimismo, interesa enviar información al ordenador por medio de teclados especiales, dotados de contactos conectados al ordenador. Un contacto abierto es un cero y un contacto cerrado es un uno. Un relé del proceso es otra señal de este tipo, y análogamente, la existencia o no de tensión eléctrica entre dos bornes de cualquier dispositivo.

Otro tipo muy interesante de señales digitales lo constituyen las entradas de interrupción. El sistema ordenador se encuentra normalmente efectuando trabajos rutinarios. Sin embargo, existen tareas que se requieren ejecutar de tarde en tarde, de un modo imprevisto. Ejemplos de tales tareas son:

- Un instrumento de laboratorio, tal como un analizador, ha terminado un trabajo y tiene el resultado a disposición del ordenador.
- Ha ocurrido un suceso anormal (nivel de una materia prima inferior a un límite mínimo, una temperatura superior a su límite de seguridad, etc.).

En general, todas las causas de interrupción pueden manifestarse por cierre de contactos o por aparición de tensión entre dos puntos.

Se dice que un ordenador está conectado a un proceso sobre línea (“on-line”) cuando el proceso le envía información sin intervención humana. El ordenador está conectado en línea (“in-line”) cuando la información se suministra con intervención humana, pero sin transcurrir tiempo apreciable entre la variación de esa información y el reconocimiento de esa variación por el ordenador.

La figura 2 muestra un resumen de los tipos de entradas al ordenador y de los conceptos enunciados.

## **SEÑALES DE SALIDA DEL ORDENADOR**

Después de efectuar el ordenador todos los cálculos necesarios y de tomar sus decisiones, tiene dos modos de actuar sobre el proceso:

Puede emitir una serie de recomendaciones por medio de una impresora. La persona adecuada ejecutará estas recomendaciones o no. A este conjunto de recomendaciones se le denomina “guía de operador”.

Otra posibilidad consiste en que sea el propio ordenador quien envíe señales eléctricas directamente a servomotores, actuadores, reóstatos, relés, etc.

Además de estas actuaciones sobre el proceso, cabe la posibilidad de que el ordenador emita todo tipo de informes, no sólo por impresora, sino por medio de registros luminosos, lámparas, etc., situados en los lugares más adecuados.

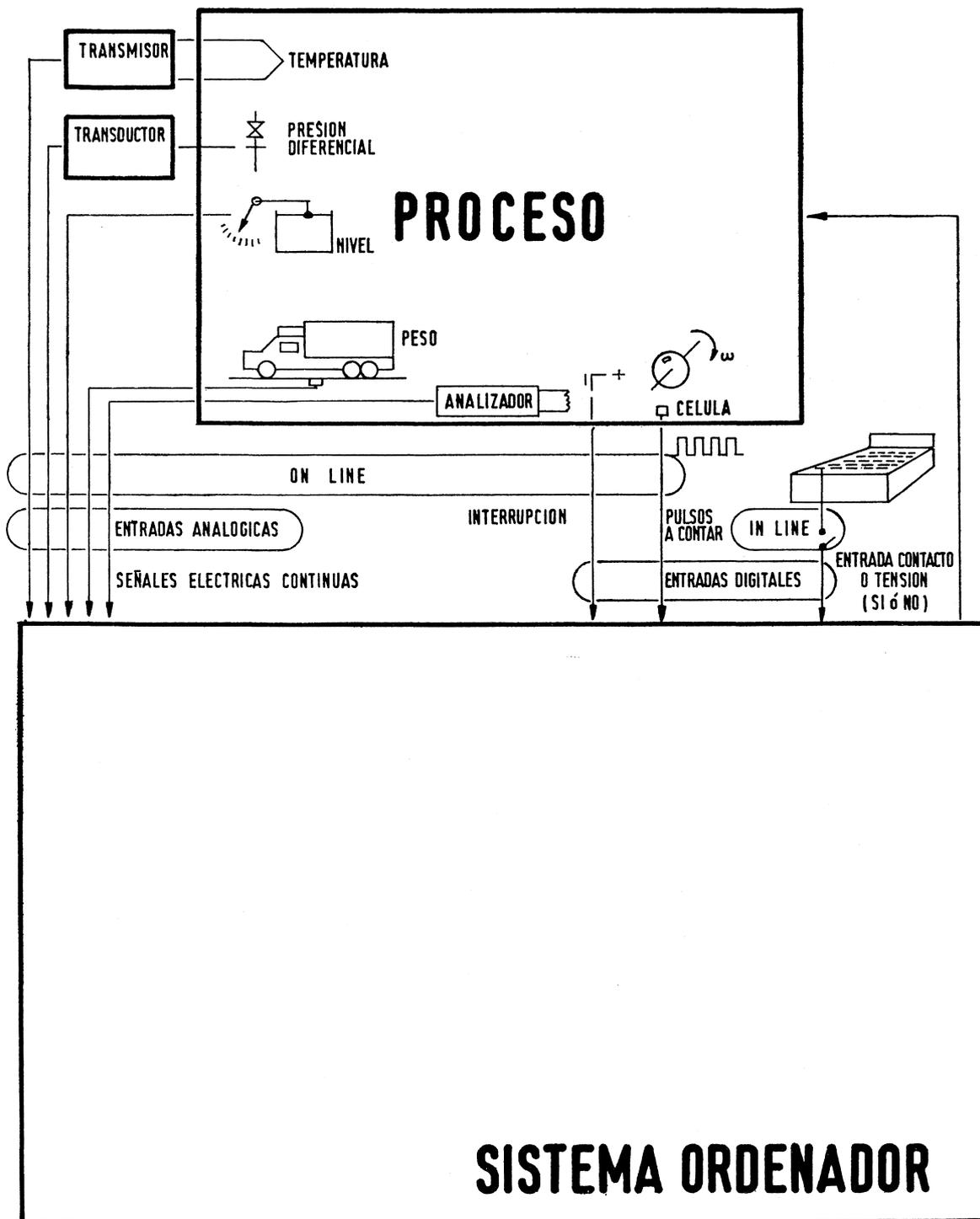


Fig. 2.—Entradas analógicas y digitales en un ordenador y tipos de conexiones del mismo ("on-line" e "in-line").

Del mismo modo que hay instrumentos de medida analógicos y otros digitales, los actuadores pueden ser de ambos tipos. En efecto, un actuador de una válvula de tipo analógico admite una entrada de tensión y su salida es la apertura de la válvula. A cada valor de la tensión de entrada le corresponde una apertura distinta. Así pues, el ordenador, que sólo trabaja con señales digitales, habrá de estar dotado de un convertidor digital-analógico por cada actuador analógico a conducir. A cada número entregado por el ordenador al convertidor le corresponde un valor de tensión, y a cada valor de tensión una apertura distinta.

Otros actuadores son activados por trenes de pulsos. Tal es el caso de motores paso a paso. Finalmente, otros actuadores varían su característica de conducción (apertura de válvula, velocidad de un motor) proporcionalmente al tiempo que dure un pulso de tensión aplicado a su entrada. Un ordenador industrial ha de poder enviar trenes de pulsos o pulsos de duración variable a actuadores digitales.

Finalmente ha de ser capaz de abrir y cerrar contactos, dar o quitar tensión y de enviar información a registros externos (caso de telemetría).

## **UNIDADES DEL SISTEMA ORDENADOR**

Las figuras 2 y 3 han presentado al lector los distintos tipos de entradas y salidas de proceso, sin entrar en detalles internos del sistema. En la figura 4 aparecen las unidades que componen el sistema:

Una unidad central de tratamiento y coordinación, dotada de dispositivos electrónicos aritméticos, lógicos y de control, así como de una memoria formada por anillos de ferrita. Según el sentido del magnetismo remanente en cada anillo de ferrita, los dispositivos electrónicos interpretan que almacena un cero o un uno. Obsérvese que todo número se puede representar por medio de ceros y unos (basta con pasarle a base 2).

Del convertidor analógico-digital y de los digital-analógicos se habló con anterioridad.

También está dotada la unidad central de los dispositivos electrónicos necesarios para detectar la aparición de una interrupción, su causa y la prioridad que debe conceder a su tratamiento.

En la figura 4 se muestran además, esquemáticamente, los demás dispositivos internos, terminales de las otras entradas y salidas digitales.

El sistema está dotado de otras unidades de entrada-salida, tales como teclados-impresoras, unidades de lectura y perforación de fichas, de cinta de papel, unidades de discos magnéticos y cintas magnéticas (las dos últimas sirven de ampliación de la memoria de ferritas de la unidad central).

## **PROGRAMAS**

Para que el ordenador pueda realizar las tareas que se le encomiendan, es preciso dotarle de un programa. Un programa es un conjunto de órdenes que se le dan al sistema, codificadas en determinado lenguaje de programación. Estas órdenes se teclean en una perforadora de fichas no conectada al sistema, en una cinta de papel o en una unidad teclado-impresora. Al pulsar las teclas se perforan fichas de cartulina, cinta de papel, o se envían pulsos eléctricos a la unidad central, respectivamente. Con los dos primeros métodos se obtiene un paquete de fichas o una cinta de papel, que leídos por la lectora de fichas o por la lectora de cinta son transformados en pulsos eléctricos a la unidad central. Estos

pulsos, lo mismo que los del tercer método, activan las ferritas de la memoria, en donde queda almacenado el programa después de algunas operaciones, pudiendo permanecer allí o ser a su vez almacenado total o parcialmente en un disco magnético.

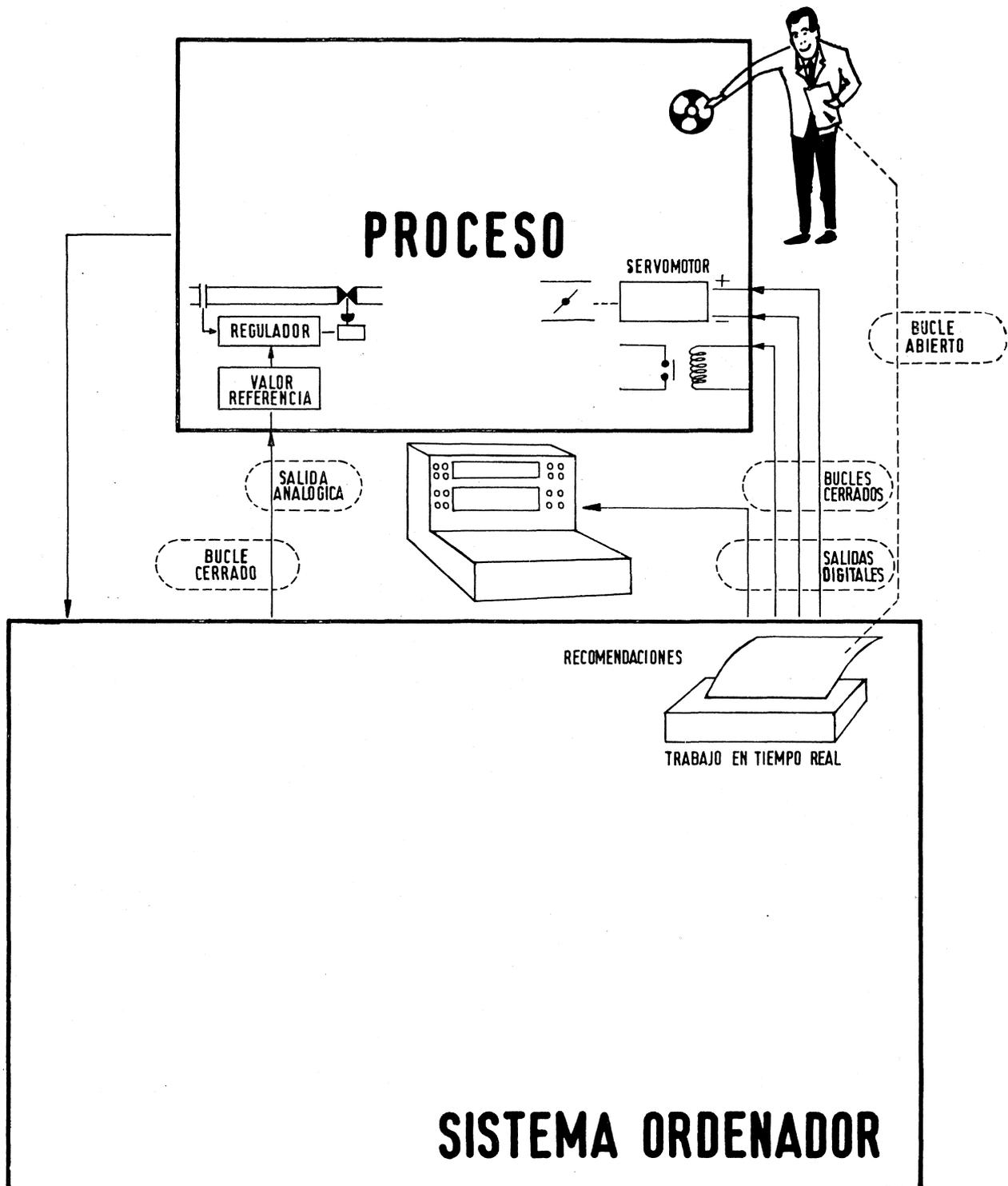


Fig. 3.—Tipos de salidas del proceso.

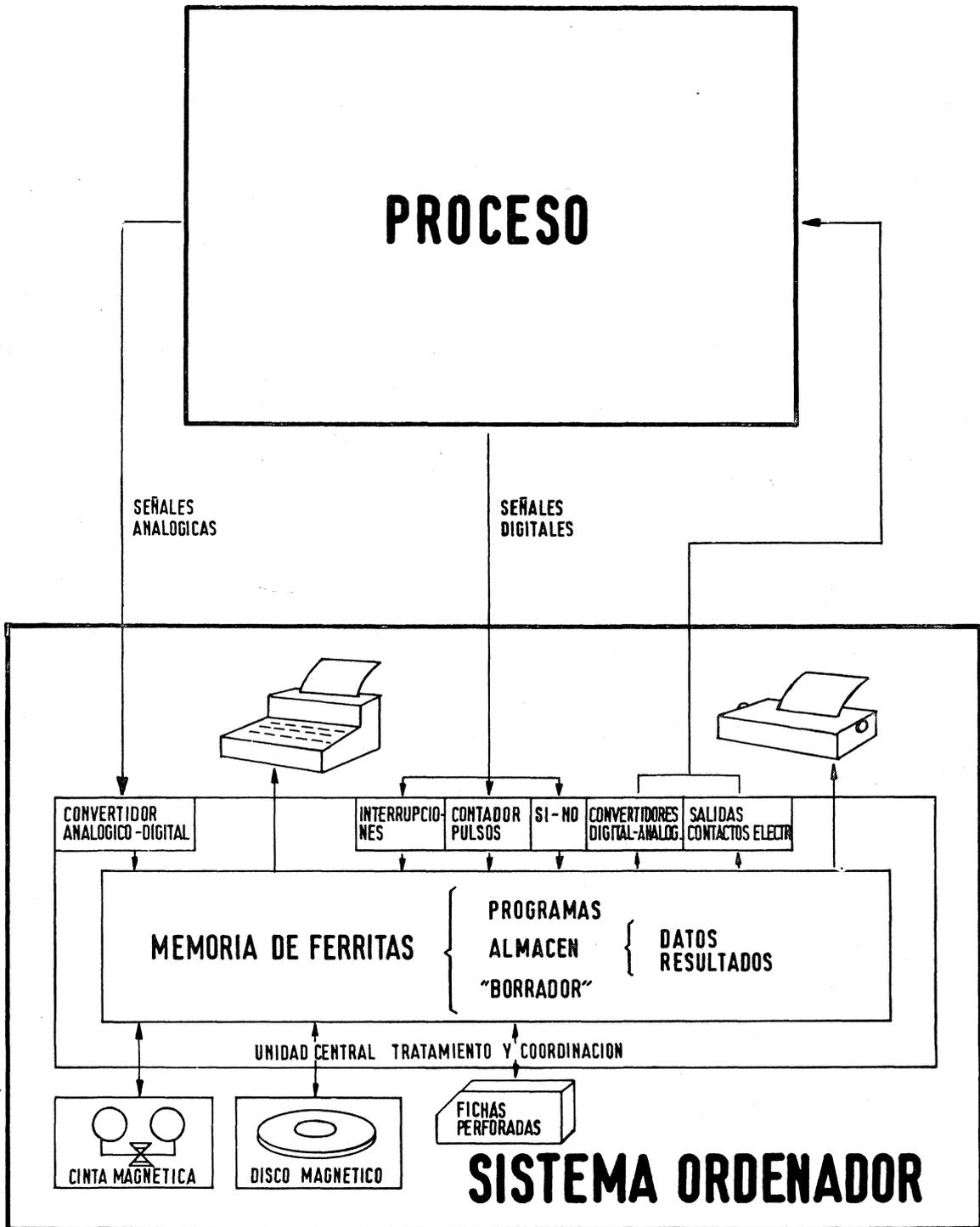


Fig. 4.—Unidades que componen el sistema ordenador.

Cada trabajo a ejecutar requiere un programa.

En la figura 5 se ha representado un conjunto de programas. Unos son de supervisión del proceso, otros de conducción automática del mismo y otros no son del proceso (nómina, gestión de "stocks", etc.).

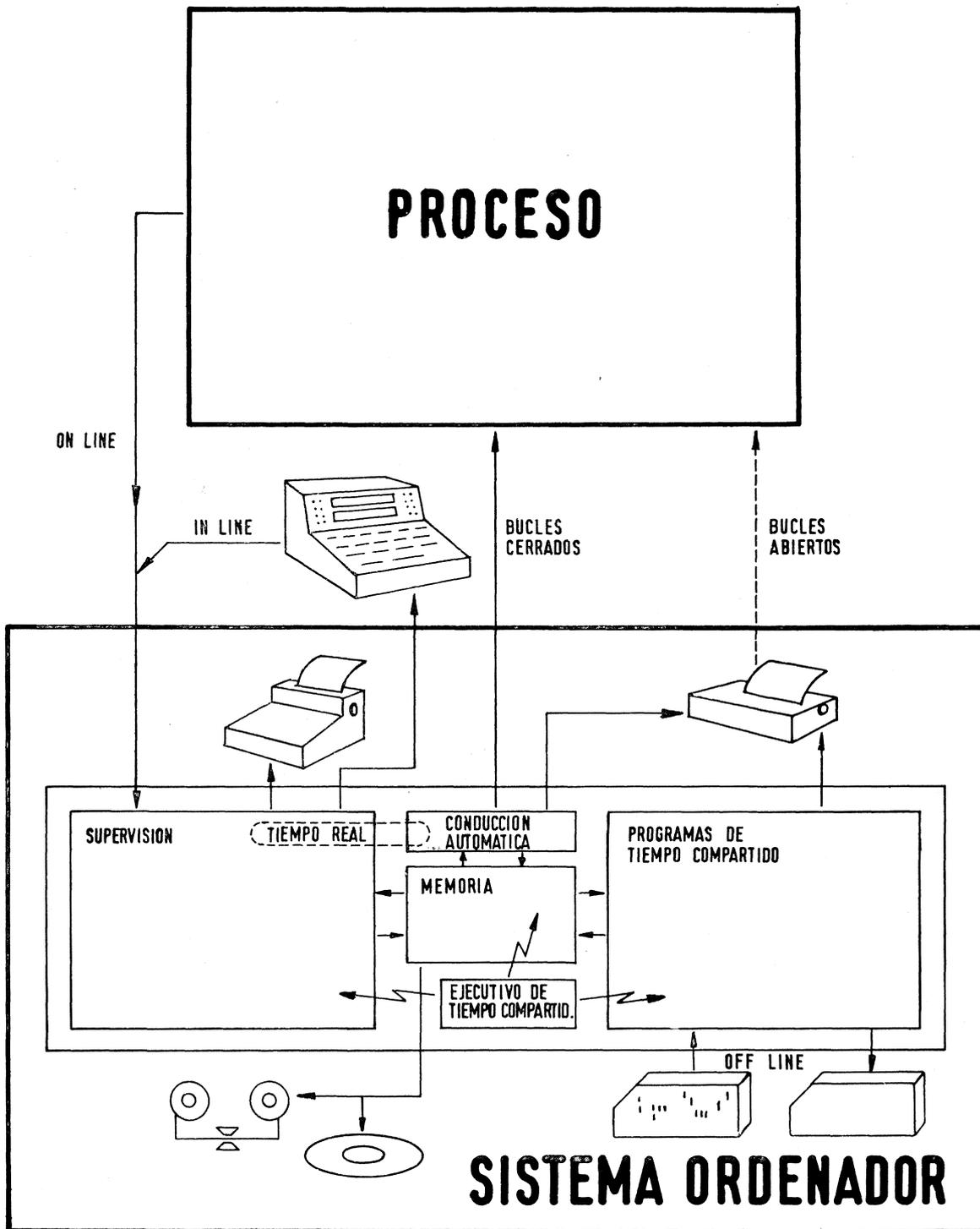


Fig. 5.—Representación de varios programas (supervisión del proceso, conducción automática del mismo y otros que no son de dicho proceso). Asimismo se señala el método "off-line" de introducción de datos.

De estos programas, unos serán periódicos (habrán de ejecutarse cada diez segundos, cada minuto, cada hora), otros serán esporádicos (los de tratamiento de interrupciones) y otros se realizarán bajo petición humana. Ejemplo de estos últimos son los programas de no proceso.

En la figura 5 se ha representado otro método de introducir los datos al ordenador: "off-line", o fuera de línea. El ejemplo muestra información suministrada en fichas perforadas. Este método requiere escribirla primero en un papel, después perforarla en fichas y, finalmente, dársela al ordenador para que la procese. Obsérvese que este método no es de tiempo real. Ha pasado un lapso desde que se produjeron los datos hasta que son procesados. En cambio, la información introducida sobre línea o en línea ("on-line" e "in-line") es tratada generalmente en tiempo real, es decir, sin demora apreciable entre la variación de la información y su tratamiento.

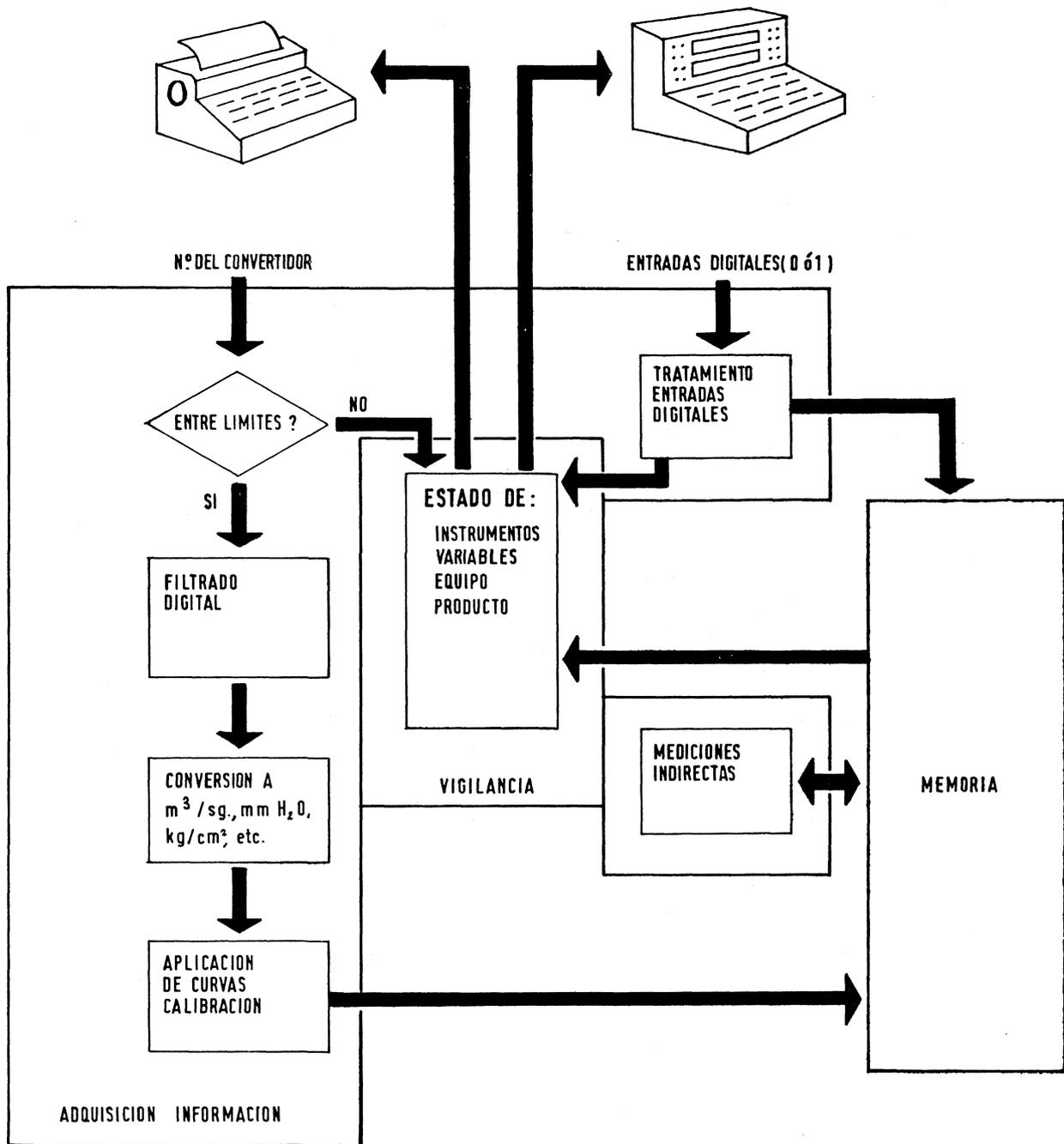
Así pues, el ordenador cuenta con un gran número de programas, a ejecutar en distintas circunstancias. Es preciso disponer de otro programa que se encargue constantemente de explotar el conjunto de programas, llevando del disco a la memoria central en cada momento el programa adecuado. Este programa lo ha de proporcionar la casa suministradora, conjuntamente con el ordenador.

## **PROGRAMAS DE SUPERVISION**

### **1. Adquisición y depuración de la información**

La figura 6 muestra los programas de supervisión del proceso. Un primer programa de supervisión, que se ejecutará muy frecuentemente (por ejemplo cada 5 ó 10 segundos), es el de adquisición de información. Consta, a su vez, de un subprograma de lectura de señales analógicas (convertidas a numéricas por el convertidor analógico-digital). Según van entrando estos números del convertidor en la memoria, son comparados con límites de seguridad y físicos. Si la lectura no está entre límites, el programa de adquisición de la información anota en la memoria tal hecho para que sea tratado posteriormente por el programa vigilante. Si está entre límites, puede que presente una tendencia peligrosa, hecho que asimismo anotará para posterior tratamiento. Este subprograma de lectura de instrumentos se ejecuta sobre cada punto de medida analógico, almacenándose todas las lecturas en una tabla de la memoria de ferritas. El tiempo empleado es muy breve. Supóngase cien entradas analógicas y una velocidad de lectura de diez milisegundos por entrada. El ordenador lee todas las entradas en tan sólo 1 segundo, durante cuyo tiempo ha detectado incluso violación de límites. En el ejemplo, esta lectura se realiza cada cinco segundos. Compárese esta potencia con la del ser humano.

Las señales de los captadores no se ajustan enteramente a la realidad, por ir acompañadas de señales espúreas (ruidos). Es preciso eliminar el ruido por medio de filtros. Los filtros eléctricos no pueden, sin embargo, eliminar el ruido de muy baja frecuencia, porque, o debilita la señal, o producen más ruido ellos mismos. Existen técnicas de filtrado digital muy superiores en eficacia a los filtros eléctricos. El subprograma de filtrado digital entra en funcionamiento a continuación del de lectura y comparación de límites, filtrando la tabla de valores. El siguiente paso consiste en modificar los números sin unidades (tal como los entrega el convertidor) existentes en la tabla, a unidades técnicas (m/s, r. p. m., kp/cm<sup>2</sup>, etc.). De nuevo esta conversión se realiza a velocidad elevadísima. Pero estas lecturas no son aún las definitivas. Es preciso aplicar las curvas de calibración de los instrumentos, almacenadas en memoria por puntos o bien por su ecuación. Así se compensará un termopar, se determinará un caudal a partir de una presión diferencial, etc.



# PROGRAMAS DE SUPERVISION

Fig. 6.—Programas de supervisión del proceso.

El ordenador es muy útil en el campo de la compensación. Otros ejemplos de compensaciones efectuadas por él son: Convertir las lecturas de temperatura y presión de un gas a caudal del mismo y efectuar una corrección por no ser un gas ideal.

Un caso más difícil aún: El funcionamiento de un regulador de consistencia en una fábrica de papel se ve perturbado por variaciones en la velocidad de la pasta, temperatura, contenido en cenizas y características de la fibra. Un ordenador puede vigilar estos disturbios y aplicar una corrección por su efecto conjunto, ajustando automáticamente el valor de consigna del regulador, lo que es imposible de realizar sin un ordenador.

Otro ejemplo, también pertinente a una fábrica de papel, es la compensación del instrumento de radiaciones beta, utilizado para medir el gramaje del papel. Las lecturas del instrumento dependen no sólo de la masa total por unidad de área, sino también de las proporciones relativas de agua, fibra y aditivos químicos existentes en la hoja. El ordenador tiene en cuenta estas proporciones relativas, compensando así la lectura del instrumento.

De este modo, en poco más de un segundo se efectúa la lectura de las entradas analógicas. A velocidad mayor aún se leen las entradas digitales. Estas sirven, unas veces, para indicar que se realice cierto programa si son de valor uno, y otro si cero. Otras veces son datos introducidos por teclado o por otros medios, que hay que almacenar en memoria para su tratamiento posterior, lo mismo que los datos analógicos.

Una vez almacenada la información en memoria, entra en funcionamiento el programa de explotación, que elimina de la memoria, almacenándolos en disco, los programas de adquisición, si es preciso, y carga del disco los programas de mediciones indirectas.

Hay variables del proceso que no se pueden medir, pero cuyo valor puede deducirse de otras variables medidas, aplicando ciertas ecuaciones. Esto ocurre si los instrumentos de medida no han sido aún desarrollados, si su precio es excesivo, si son deficientes o si la variable no se presta a ser medida por un instrumento.

Este es el caso de medir el rendimiento de una caldera, vapor consumido por kilogramo de papel fabricado, etc. Los programas correspondientes efectúan los cálculos pertinentes y los valores así obtenidos se añaden a los existentes en la tabla de memoria.

## **2. Programa de vigilancia**

A continuación entra en funcionamiento el programa de vigilancia, que apoyándose en los datos adquiridos ahora, así como en los pasados, sirve para determinar el estado de instrumentos, de variables, del equipo y del producto.

Se efectúa la comprobación de los instrumentos, detectando el programa fallos de reguladores, termopares abiertos, lecturas absurdas, series de lecturas erráticas, violación de límites, inconsistencia de datos interrelacionados, desequilibrios progresivos de balances térmicos o másicos que indican el mal estado de algún instrumento.

Las lecturas falsas son sustituidas por otras, ya sea por valores fijos lógicos o por una extrapolación.

El ordenador puede vigilar asimismo cada elemento del equipo y detectar su estado: Por ejemplo, midiendo caudales y temperaturas en un intercambiador de calor puede descubrir el estado de la superficie del mismo. Puede también detectar fugas, vigilando reguladores de nivel, caudalímetros o instrumentos analíticos y observando sus discrepancias.

Otras veces será interesante que vigile el estado conjunto de válvulas, bombas, motores,

compresores e interruptores, detectando combinaciones peligrosas, previniendo errores que resultasen en accidentes, daño del equipo y pérdidas materiales de cientos de miles de pesetas. Ejemplo típico es la vigilancia ejercida por los ordenadores en centrales productoras de energía.

Entre la información adquirida por los programas de adquisición está la relativa a cantidad del producto y la relativa a pruebas efectuadas en el laboratorio, esta última proveniente de teclados y de instrumentos analíticos situados en el mismo.

De este modo puede el ordenador, por medio de su programa de vigilancia, enviar información del laboratorio a producción y viceversa, modificando, si es preciso, alguna característica del proceso para mejorar la calidad o el beneficio económico.

### **3. Listado de datos y alarmas**

Como resultado de los programas de adquisición, de medidas indirectas y de vigilancia, se almacenan unos datos en memoria o en disco, que han de ser utilizados por otros programas, entre ellos los de listado de datos y alarmas.

El ordenador está informado en todo momento, según se ha visto, sobre los valores de las distintas variables y el estado de los instrumentos, del equipo y del producto. Se encuentra, por consiguiente, en posesión de la información necesaria para efectuar un listado completo, preciso y actual, tanto de lectura de instrumentos, como de situaciones de alarma. Así, quedan los conductores liberados de tal tarea. El ordenador imprimirá la información automáticamente cada cierto tiempo, o al ser interrogado (por medio de un contacto), o al ocurrir una anomalía o circunstancia especial en el proceso. Estos programas de listado presentan estos impresos de un modo organizado y en el lugar más adecuado a cada conductor, de modo que éste pueda tomar sus decisiones basándolas en los datos más recientes, fiables y significativos del proceso.

El personal supervisor precisa normalmente de unos informes con distintos datos y presentados en un lugar diferente. Estos informes pueden listar valores medios y totales, o bien sólo un resumen de situaciones anormales, reduciéndose así la labor del personal calificado a las situaciones anormales, encargándose el ordenador de realizar toda gestión rutinaria. Se puede concebir un sistema completo de información que provea a la Dirección de informes de estado y anormales, por medio de una unidad visual situada en el despacho del Director.

Asimismo, puede existir un programa para suministrar información por medio de gráficos, sobre uno o más registradores, o incluso en un osciloscopio. Obsérvese que se pueden representar así las variaciones de variables calculadas, además de las medidas.

En caso de situación de alarma, el ordenador puede poner alerta al conductor encendiendo una lámpara y haciendo sonar una sirena, además de imprimir el mensaje correspondiente.

Los programas de tratamiento de las situaciones de alarma pueden, además, efectuar una corrección automática. Por ejemplo, si una concentración está fuera del campo de acción de su regulador y la válvula de dilución correspondiente se encuentra abierta al máximo, el ordenador puede modificar automáticamente el valor de consigna del regulador, para reestablecer la regulación.

En resumen, los programas de supervisión convierten al ordenador en un supervisor infatigable, siempre alerta. Nunca se distrae. Lee y utiliza toda la información provista. Es

uniforme y lógico en sus interpretaciones. Responde siempre de la misma manera ante la misma causa, siguiendo exactamente las instrucciones que se le den.

Sin embargo, lo hace de modo ciego, sin imaginación ni iniciativa; sólo hace aquello que se le programa y según se le programa.

### **PROGRAMAS DE CONDUCCION**

En la figura 5 se indican también en un recuadro la existencia de programas de conducción. Estos consisten en esencia de lo siguiente:

Partiendo de los datos de estado del proceso y conociendo los objetivos del mismo, resolver unas ecuaciones matemáticas más o menos sencillas (modelo matemático), tomar unas decisiones de acuerdo con los resultados obtenidos y actuar en consecuencia (en bucle cerrado) sobre los actuadores y reguladores, o bien emitir un informe recomendando las acciones de conducción manual más convenientes (en bucle abierto).

La actuación de los programas de conducción queda relegada a otro manual posterior.

### **PROGRAMAS DE TIEMPO COMPARTIDO**

Los programas enumerados hasta ahora son de proceso, unos de control automático y otros de conducción automática. Sin embargo, un ordenador trabaja a una velocidad tal que normalmente le sobra tiempo si sólo ha de ejecutar los programas de proceso. Así, si en un momento dado tiene dos segundos libres antes de que llegue el momento de ejecutar el próximo programa de proceso, puede aprovechar este tiempo para realizar un trabajo distinto. En la figura 7 se listan tales trabajos.

### **Programas de registro e información**

Unos son de emisión de informes a los distintos niveles de la Dirección, para satisfacer las necesidades de los distintos departamentos. Además, puede encargarse él mismo de tomar las decisiones rutinarias, presentando a la Dirección informes de situaciones anormales que requieran una decisión de importancia, facilitando así la labor de la Dirección.

Entre los informes más corrientes están los de consumo de materiales, informes de producción por producto, turno, día y mes, contabilidad de costos y beneficios, gestión de inventario, mantenimiento (optimización de frecuencia de visitas a los diversos órganos, lanzamiento, etc.), informes de rendimiento de equipos (estudios comparativos de calidades de telas metálicas, de fieltros de distintos suministradores), informes de calidad, análisis del proceso, registros de tipo legal (por ejemplo de descarga de aguas residuales, registro interesante para conocer si se han violado las reglamentaciones sobre contaminación de aguas), informes que supongan una selección de información de entre la gran cantidad de datos almacenados en discos y en cintas y análisis de tiempo improductivo. Un ejemplo de este último tipo de informe es el siguiente: Sea la ruptura de la hoja en una máquina de papel. Un conjunto de células fotoeléctricas detectan la ruptura, enviando una señal de interrupción al ordenador. Los dispositivos internos de interrupción detectan la existencia de una interrupción inmediatamente, determinando si la prioridad de tratar su causa es superior a la de la tarea en curso en ese instante. Supóngase que así sucede. El programa de explotación busca el de tratamiento de ruptura de hoja entre el conjunto total de programas y le pone en funcionamiento. La primera parte del mismo puede ser que el sistema se ocupe de leer las señales de los captadores inmediatamente y

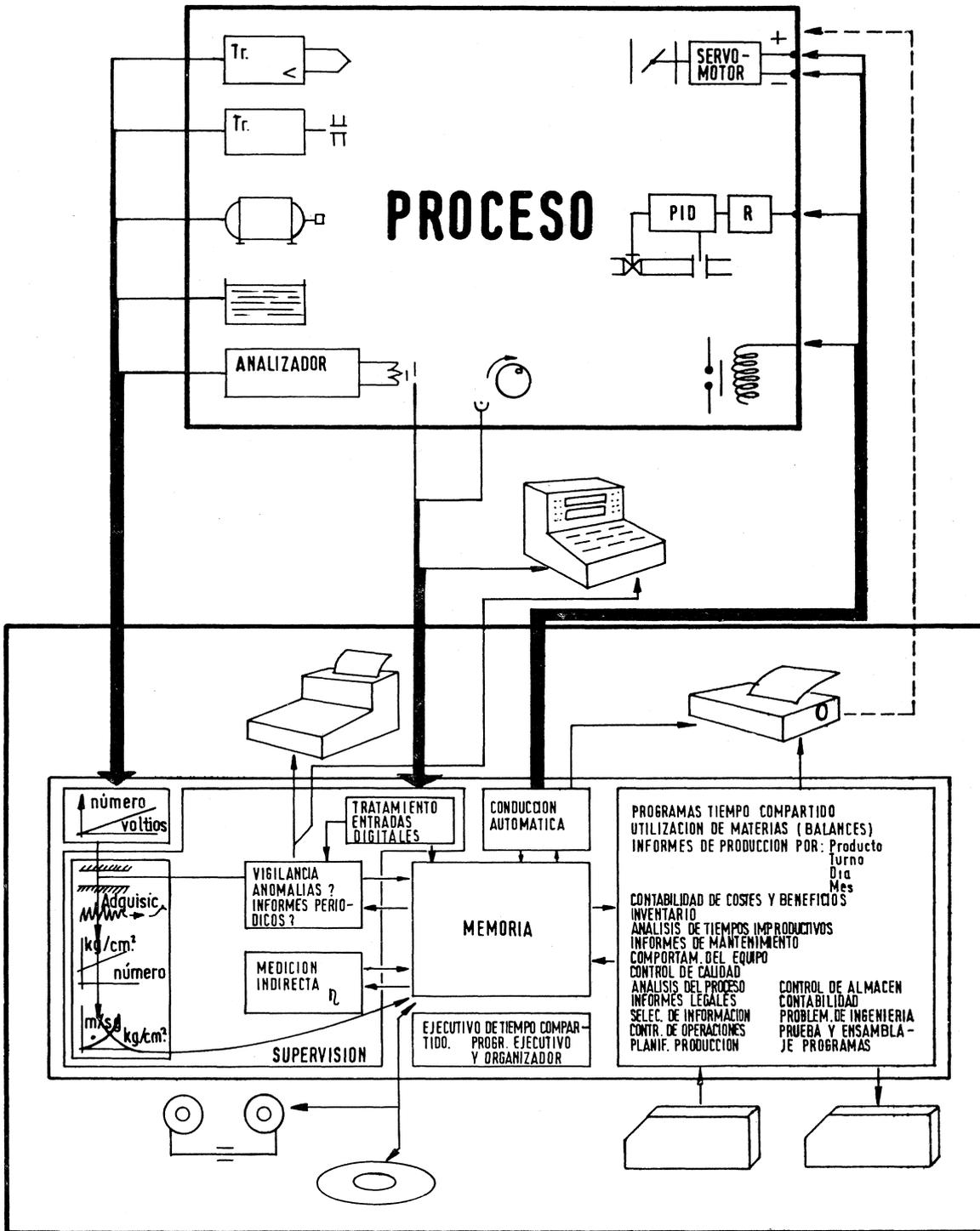


Fig. 7.—Programas de tiempo compartido.

repetidas veces. Como los valores pasados de las variables, tomados cada cinco o diez segundos, más importantes, están almacenados en la memoria del ordenador, la segunda parte del programa en cuestión puede consistir en trazar una gráfica en donde se vea la evolución de estas variables antes de ocurrir la ruptura, al ocurrir e inmediatamente después. De este modo se facilita la investigación de la causa de la ruptura y la confección de un nuevo programa para que no se reproduzca en el futuro, al producirse las mismas circunstancias.

### **Programas de coordinación de operaciones**

Al estar el ordenador informado de todos los datos de interés relativos a cada unidad de proceso (cada máquina de papel, por ejemplo), por medio de los programas de supervisión, se convierte en una herramienta ideal para controlar la operación conjunta de todas las unidades de proceso, del control de la producción integrada de toda la fábrica, resolviendo los problemas de coordinación, pertinentes a un nivel superior al de una unidad de proceso. Los procesos continuos en que se produzcan varias calidades son unos candidatos excelentes para esta aplicación de un ordenador.

Un programa de este tipo es el de seguimiento de pedidos: En el área de acabado de una fábrica de papel se puede utilizar el ordenador para identificar y seguir la pista de los distintos pedidos. Hay distintos puestos de trabajo y un número de pedidos de distintos clientes en cola, esperando ser procesados en cada puesto. Con un teclado existente en cada uno se puede enviar al ordenador información desde cada puesto, o desde cada zona intermedia de almacenamiento, de manera que pueda seguir de un modo preciso el movimiento de cada pedido y así poder informar en el acto y con toda exactitud sobre la localización, estado de acabado y disponibilidad de cualquier pedido en la fábrica y la lista de lanzamiento de cada puesto.

### **Otros programas de tiempo compartido**

Finalmente, cabe citar las aplicaciones de control y planificación del negocio, tales como la planificación de la producción, la gestión de inventario, las aplicaciones de contabilidad y administrativas.

## **TAREAS QUE COMPRENDE UNA APLICACION INDUSTRIAL**

La siguiente es una clasificación de las tareas que ha de ejecutar un ordenador industrial, para realizar una aplicación de adquisición de datos y conducción automática.

1. Manejo de todos los dispositivos de entrada-salida clásicos.
2. Manejo de entradas y salidas de proceso.
3. Manejo de las interrupciones.
4. Compilaciones (traducciones de programas fuente escritos en FORTRAN a lenguaje de máquina y ensamblajes) (traducciones de programas escritos en lenguaje simbólico).
5. Diagnósticos de su propio funcionamiento.
6. Tareas de utilidad (entrada de información por una unidad de entrada-salida de esa información por otra. Ejemplo: Almacenar el contenido de un paquete de fichas en un disco).
7. Manejo de los relojes internos del ordenador.
8. Resolución de funciones matemáticas (trigonométricas, logarítmicas, exponenciales, etc.).
9. Tareas específicas de la aplicación, tales como adquisición de datos, conducción automática, solución de problemas técnicos, etc.

Cada uno de estos aparatos comprende numerosas tareas y cada una de ellas requiere un programa para que el ordenador la ejecute.

Un usuario está interesado tan sólo en el apartado último. No dispone de medios para desarrollar el inmenso esfuerzo de programación que suponen los ocho primeros. Por lo tanto, los programas correspondientes ha de proporcionarlos la casa suministradora del ordenador.

## **SISTEMA DE EXPLOTACION**

Aun disponiendo de los programas correspondientes a las distintas tareas, queda por hacer lo más difícil: un programa capaz de manejar todo el conjunto de programas. He aquí las características que ha de reunir un buen sistema de explotación, como se denomina a tal programa:

1. Ha de permitir que el usuario escriba cada programa de aplicación con independencia de los demás, es decir, como si fuese el único programa. Así, escribirá un programa de adquisición de todos los datos analógicos, otro de regulación automática de una temperatura, otro de regulación automática del rendimiento de una reacción química, otro de gestión de inventario, otro de mantenimiento preventivo, etc., y cada programa lo escribirá como si él solo fuese lo que ha de ejecutar el ordenador.

Sólo se requiere facilitar al sistema de explotación unos pocos datos, tales como si ha de ejecutarse el programa cada minuto, cada hora, o al ocurrir una interrupción o prioridad del programa, en caso de tener que ejecutar otro a la vez.

2. Ha de permitir que todos los dispositivos de entrada-salida funcionen al mismo tiempo y que, a la vez, la unidad central siga realizando otras actividades.
3. Ha de incluir programas de tratamiento de los dispositivos de entrada-salida y otros programas que hagan que la unidad central no esté inactiva mientras se intercambia información entre su memoria y las memorias externas.
4. Ha de poner en funcionamiento cada programa en el momento oportuno.
5. Ha de ser capaz de formar colas de espera de programas y de controlar la secuencia de los mismos.
6. Ha de controlar los relojes internos, que dictan la puesta en funcionamiento de cada programa.
7. Ha de procesar todas las interrupciones: hallar la causa de cada interrupción y tratarla con el programa oportuno, si su prioridad es superior a la del programa que se estaba ejecutando al ocurrir. Por el contrario, ignorarla hasta terminar los programas de mayor o igual prioridad para averiguar la causa y tratarla después de ejecutados aquéllos.
8. Ha de permitir que el ordenador esté en comunicación con el proceso todo el tiempo (sin detener el control ni la conducción automática del mismo). Para ello, los programas de diagnóstico (mantenimiento del ordenador) han de ejecutarse sin detener la actuación automática de éste. Del mismo modo, ha de permitir realizar cualquier compilación, ensamblaje, prueba o modificación de programas, así como incluso de otros nuevos, sin que el ordenador deje de controlar el proceso.
9. Ha de hacer máxima la utilización de los dispositivos de entrada-salida, poseyendo ade-

más programas potentes de corrección de errores. Los programas escritos por el usuario han de contener programas de manejo de estos dispositivos. Ha de bastar con que tengan llamadas a estos programas, contenidos en el sistema de explotación.

10. Ha de contener un programa simulador, tal que todo programa de conducción automática pueda probarse con el simulador antes de aplicarlo directamente al proceso.

## **SOPORTE DE PROGRAMACION Y CONCLUSION**

Este sistema de explotación forma parte del soporte de programación de un ordenador, junto con todos los programas que resuelven las tareas generales enumeradas anteriormente, excepto las especificadas de cada aplicación.

Está claro que la calidad de un ordenador no queda definida por sus características electrónicas y electromecánicas, sino que a ellas, y con mayor importancia aún, hay que añadir las del soporte de programación con que cuenta.

## **COLOQUIO**

Sr. KAERKES: *Hablaba Vd. antes de que un ordenador puede llevar un programa y ese programa tiene que suministrarlo la Casa, según me ha parecido entender. Hablando por ejemplo de una fábrica de cemento, vamos a poner el caso de un ordenador en un horno. ¿Quién suministra un programa para el horno? Yo creo que es absolutamente imposible encontrarlo. Entonces, los programas que debe suministrar para eso la Casa suministradora son los de funcionamiento básico del ordenador y los de coordinación.*

Sr. ABRISQUETA: *El programa de la marcha, del funcionamiento dentro de un horno que utilizamos nada más que en la mitad, vamos a poner por caso, porque el programador tenga más capacidad. Este programa ¿tiene que hacerlo cada fábrica?*

Sr. PEREZ-POLO: *Efectivamente, cada fábrica es un mundo aparte; cada horno, igual. El suministrador del ordenador lo que sí puede hacer es poner su experiencia, y si no son confidenciales traer programas análogos. No valen, pero valen en 30 %. Eso sí, no valen un 100 %.*

— *Pero son las mismas variables.*

*No puede haber un programa que sea una panacea universal para todas las fábricas. Eso no puede ser.*

Sr. ABRISQUETA: *Yo quería decir ¿no puede ser en el futuro?*

Sr. PEREZ-POLO: *Es posible que sí. Por ahora no se ha demostrado que todos los hornos gemelos con el mismo crudo, con el mismo combustible, funcionen igual.*

Sr. ALCOVERRO: *Entonces podemos decir que el programa base que suministra el fabricante, le enseña al ordenador a sumar y restar y cada fábrica, en cada caso concreto, tendrá que restar, sumar o dividir según el caso de cada fábrica.*

Sr. PEREZ-POLO: *Efectivamente, cada fábrica deberá indicar la guía de puestos, que es el programa de conducción automática, contando con el asesoramiento y ayuda que suministra el ordenador.*