

¿Son demasiado sofisticados los sistemas de mando en las máquinas de inyección de la actualidad?*

ANALIZADO

Por Dr. Wilhelm ELBE*

Esta pregunta asalta a más de un interesado en la inyección, al leer el folleto descriptivo de una máquina o cualquier publicación sobre el tema. Se ve confrontado con conceptos que no le ayudan nada a tomar una decisión y más bien le confunden y le intranquilizan. Ocurre esto al leer cosas como mando analógico, mando proporcional, servomando, regulación de proceso, etc.

Lo más recomendable es que el inyector se concentre en definir las exigencias particulares de su programa de fabricación y, desde esa base, pasar a evaluar los diferentes sistemas de mando.

En la mayoría de los casos el inyector se dará cuenta entonces que el perfil de exigencias ha cambiado notablemente en los últimos años. Años atrás, el objetivo primario era resolver los problemas técnicos de la fabricación, quedando relegado a segundo término el tema de los costes. En cambio hoy, el transformador de plásticos se ve confrontado con unos costes que crecen sin parar y que en muy pocos casos puede trasladarlos a su cliente, al menos en toda su magnitud. Así pues, el problema del inyector se ha desplazado hacia la racionalización y la optimización de los costes de producción. Para series largas significa esto que hay que automatizar todo lo posible, considerando ya no la máquina aisladamente, sino todo el proceso de fabricación. La máquina de inyección se convierte así en un elemento más de una cadena de producción, la cual debe funcionar con el mínimo de personal, incluso a régimen de tres turnos. Pero un proceso de fabricación totalmente automatizado desde la materia prima hasta el producto acabado presupone un alto grado de seguridad de funcionamiento de las máquinas, moldes y aparatos y a la vez un gran número de dispositivos de control y vigilancia no sólo sobre la maquinaria, sino sobre la calidad de las piezas fabricadas. Además, los aparatos periféricos, anteriores y posterior-

es a la máquina de inyectar deben ser integrados en un sistema central de vigilancia.

Aparte de ello se hace necesario aprovechar al máximo las máquinas disponibles y además de forma óptima, por ejemplo, utilizando a fondo la fuerza de cierre u otros parámetros; reduciendo al mínimo la duración del ciclo, pero sin poner en peligro la calidad que se exige a las piezas. Y cuanto más se acerca uno a tales límites, mayor importancia adquiere que el ciclo de producción se desarrolle con un alto grado de constancia.

GRADUACION DIGITAL DE LA MAQUINA DE INYECCION

Hasta hace pocos años, los parámetros hidráulicos se graduaban accionando las válvulas a mano (fig. 1). Y la mayor parte de las máquinas que hoy trabajan corresponden a este nivel técnico. Las presiones y las velocidades hay que medirlas con manómetros y cronómetros, sistema del todo insuficiente, sobre todo con ciclos rápidos. Se producen errores de lectura y de graduación, y al reanudar una fabricación con el mismo molde, lo más normal es que haya que volver a optimizar la puesta a punto.

El nivel de la técnica actual (de casi cualquier fabricante) permite graduar desde el armario eléctrico las velocidades, las presiones, las temperaturas y los tiempos mediante elementos digitales (fig. 2). Ello permite definir claramente los datos graduados y registrarlos o anotarlos de forma inequívoca en un protocolo. El peligro de cometer errores al volver a graduar la máquina se reduce en gran parte y generalmente no hace falta volver a optimizar la puesta a punto. Se reduce también el tiempo de preparación de la producción, de modo que el personal especializado en estas puestas a punto queda más disponible para otros menesteres. Por otra parte se consigue hacer más transparente el proceso de inyección y, por tanto, más accesible a cualquier persona.

* Jornades Técnicas. Equiplast 83. Barcelona.

** De Manesmann Demag Kunststofftechnik.

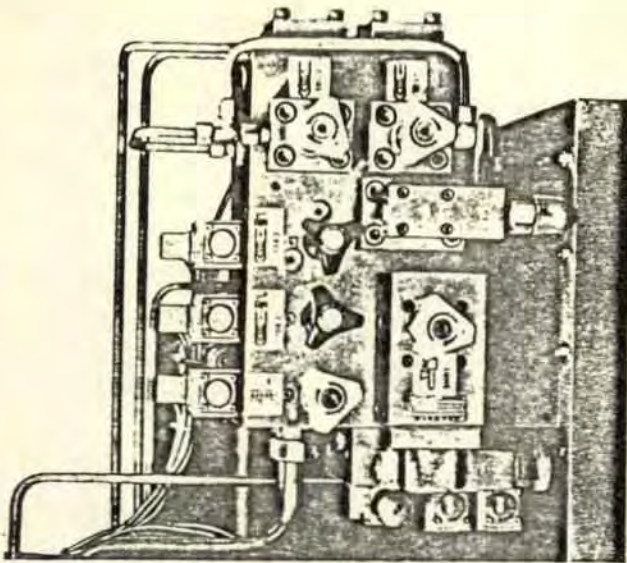


Fig. 1.—Bloque hidráulico con válvulas a comando manual, ejemplo clásico de máquinas de hace algunos años

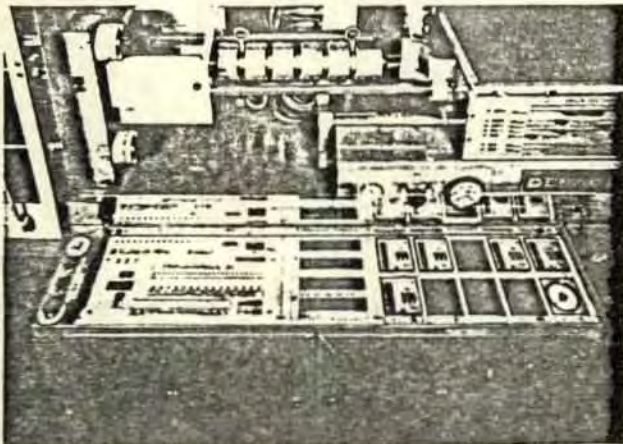


Fig. 2.—Panel de mandos para la graduación digital en una moderna máquina con hidráulica proporcional

DIVERSAS REALIZACIONES DE LA HIDRAULICA

La graduación digital de los parámetros hidráulicos desde el armario de mandos presupone que la máquina esté equipada con válvulas a comando eléctrico. El tipo de válvulas empleadas viene determinado de una parte por las exigencias de exactitud en la repetición de ciclo a ciclo y en la reproducción de antiguos valores, así como en la constancia de los valores después de largo tiempo. Pero de otra parte también cuenta el coste de dichas válvulas. Y según la técnica de los aparatos y válvulas empleadas se habla de:

- Hidráulica proporcional.
- Hidráulica digital.
- Servohidráulica.

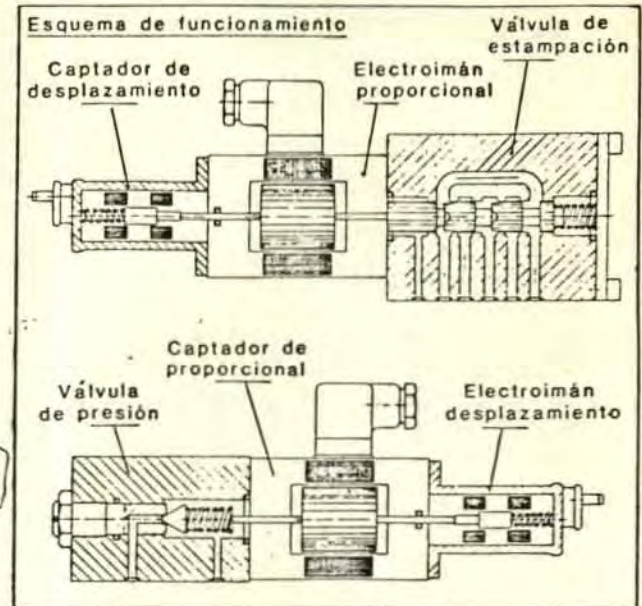


Fig. 3.—Representación esquemática de válvulas proporcionales con regulación de posición para el caudal (arriba) y para la presión (abajo)

Para máquinas pequeñas, la hidráulica proporcional ofrece una buena solución desde el punto de vista económico para graduar presiones y velocidades desde el armario eléctrico. La figura 3 muestra este tipo de válvulas proporcionales, en las que se regula eléctricamente su posición mediante un electroimán. El desplazamiento del electroimán es proporcional a la corriente de entrada. En la válvula de caudal el curso va unido al electroimán. En la de presión, el electroimán oprime el muelle del cono que regula la presión. Unido al electroimán, ambos tipos de válvula disponen de un captador de desplazamiento, que envía señales al regulador electrónico. En caso de desviarse la válvula del valor consignado, su posición es corregida de forma inmediata.

El empleo de tales válvulas en la práctica viene demostrando que significan una solución aceptable para muchos casos, pero no alcanzan el grado de exactitud de la hidráulica digital, ni en la repetición de ciclo a ciclo, ni en la reproducción de valores utilizados en anteriores ocasiones, ni tampoco en la constancia de los valores a lo largo de periodos de tiempo dilatados (1, 2).

En máquina de inyección de tamaños medianos o grandes, la diferencia de coste entre una hidráulica proporcional y una hidráulica digital se aprecia ya muy poco o no tiene ya ninguna importancia comparada con el precio de la máquina misma o incluso con el de algún equipo extra.

El principio de la hidráulica digital se basa en la adición de valores fijos para obtener un valor total determinado. Los escalones individuales son invariables y, por tanto, están claramente definidos. Sólo se trata de sumar o restar escalones mediante conexiones eléctricas, lo que explica su óptima reproductibilidad y su fantástica constancia (3). La

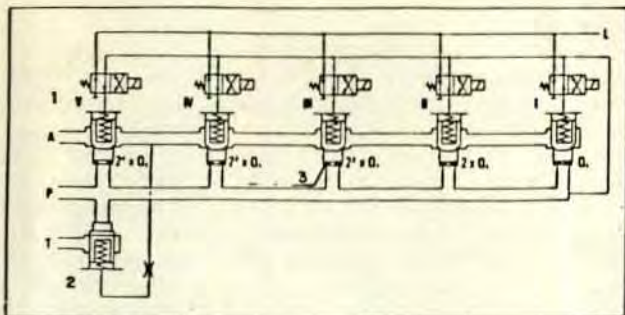


Fig. 4.—Esquema de un comando digital de caudales para graduar la velocidad en $2^5 - 1 = 31$ escalones. 1. Escala de caudal. 2. Medidor de presión. 3. Diafragma de medición

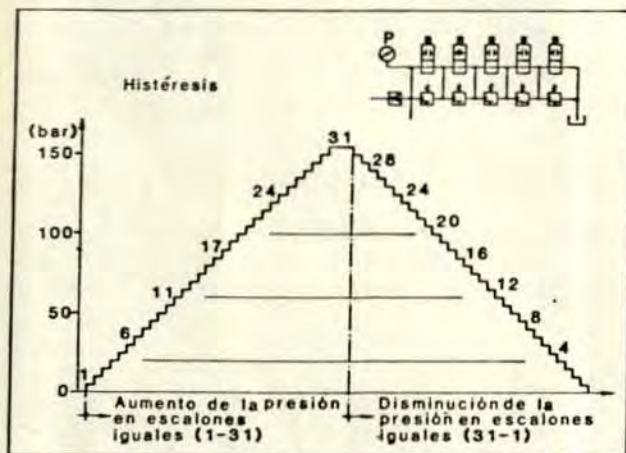


Fig. 5. Comando de presión exento de histéresis mediante válvula digital por adición de presiones

finura de graduación depende del número de elementos individuales escalonados de forma binaria. En la graduación de caudal = velocidad se consiguen, por ejemplo, con 5 diafragmas fijos, pero de distinto tamaño $2^5 - 1 = 31$ caudales diferentes (fig. 4).

De manera similar podemos comandar digitalmente una válvula limitadora de presión convencional (fig. 5), a base de añadir o quitar resistencias hidráulicas fijas. En las máquinas actuales se emplean para esto 7 elementos fijos distintos, que permiten una disolución del ámbito de graduación en $2^7 - 1 = 127$ presiones diferentes (fig. 6).

Pero las ventajas de la hidráulica digital no se limitan a unos pocos casos en que se requiere mucha precisión. Hay que tener en cuenta la sencillez y la robustez de las válvulas de asiento cónico (tipo cartridge), acreditadas por su seguridad de funcionamiento desde hace muchos años. Y además la precisión de una máquina inyectando piezas de calidades digamos «medianas» tiene tanta mayor importancia cuanto más nos acercamos al límite de capacidad de la máquina. Como botón de muestra tenemos la figura 7. Se trata de una claraboya de PC de $1 \text{ m.} \times 1 \text{ m.} = 10.000 \text{ cm}^2$, que se está fabricando con una máquina de 16.000 kN (1.600 Mp). Para evitar la formación de rebabas

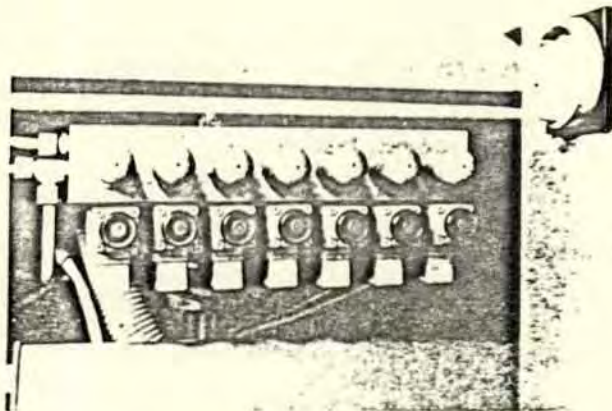


Fig. 6.—Válvula digital para graduar la presión en $2^7 - 1 = 127$ escalones



Fig. 7.—Claraboya de PMMA, de $1.000 \times 1.000 \text{ mm}$, fabricada con una máquina de 16.000 kN de fuerza de cierre

se requiere la máxima precisión en el cambio de presión de llenado a presión remanente y que el valor de la presión remanente se repita con toda exactitud de ciclo a ciclo.

La regulación de los parámetros hidráulicos por medio de servoválvulas también mejora notablemente la constancia de las velocidades y de las presiones, si la comparamos con la que se consi-

que con una hidráulica proporcional. Pero el coste del equipo mismo y los costes energéticos se ven aumentados de forma nada despreciable.

Se han llevado a cabo experimentos con una máquina de inyección equipada con dos sistemas hidráulicos paralelos, uno digital y otro con servoválvulas, de modo que la máquina en cuestión podía inyectar utilizando uno u otro sistema. Pues bien, las piezas obtenidas resultaron de igual calidad en ambos casos (2) y el comportamiento al comenzar la producción o tras alguna interrupción era muy similar —por no decir igual— con ambos sistemas. Pero la conclusión obtenida es la siguiente: una servoválvula siempre acusa el fenómeno negativo de la histéresis y además pierde los valores de consigna al cabo de cierto tiempo. Por otra parte, el consumo energético de la máquina equipada con servohidráulica se sitúa aproximadamente a un 30 por 100 por encima de la máquina con hidráulica digital.

¿COMANDAR O REGULAR?

En la práctica no hay lugar a esta pregunta en una forma pura, pues todas las máquinas existentes poseen circuitos comandados y circuitos regulados. Hay toda una fila de funciones en cada máquina, para las cuales lo más adecuado es un circuito de regulación y otras, para las que conviene más un simple comando. Por ejemplo, la velocidad del plato portamolde o la presión de apoyo de boquilla basta con poderlas comandar con precisión, mientras que la calefacción del plastificador debe depender forzosamente de circuitos reguladores.

Así pues, los sistemas de regulación con servoválvula tienen una aplicación relativamente baja. Por lo general, sólo se utilizan para regular magnitudes hidráulicas a un valor constante, como es la presión o el caudal del aceite. Al evaluar tales sistemas no se debe olvidar que las válvulas son muy caras y que consumen más energía que otras. Y hay que tener presente que la hidráulica digital es una solución más barata y más segura para la obtención de una misma meta, es decir, para que los parámetros hidráulicos mantengan una elevada constancia, tanto de ciclo a ciclo como a lo largo del tiempo.

Sin embargo, la servohidráulica permite además algo que parece muy interesante: modificar de forma automática la curva de presión de la masa en la fase de remanencia de inyección, igualándola a la curva ideal consignada. Pero el sentido de esta reacción automática está muy discutido y genera hoy día mucha polémica. Cuando la curva se desvía se debe a diferentes causas y el sistema servo corrige la curva modificando únicamente la presión. Es más lógico controlar los valores que realmente se establecen y mantenerlos constantes mediante circuitos de regulación individuales y actuar a la vez de acuerdo con el principio de causalidad, es decir, eliminando las perturbaciones en el lugar mismo donde se originan. Por ejemplo: si la temperatura del molde cambia, se producirá un cambio en la presión de la masa en el molde. Desde luego que este cambio de presión puede compensarse a través

de la presión hidráulica que empuja el husillo, pero simultáneamente cambiará el tiempo de enfriamiento de la pieza y, en el caso de materiales parcialmente cristalinos también cambiará la estructura y la contracción de la pieza. Otros criterios de calidad como es el brillo superficial también se verán afectados por la temperatura del molde. En un caso como el descrito es mucho más recomendable regular automáticamente la temperatura del molde y puede prevverse un dispositivo de vigilancia integrado en el mando de la máquina, con una alarma automática en caso de exceder una tolerancia determinada.

Otra causa frecuente del cambio de presión de la masa en el molde puede ser que cambie la viscosidad del material de una partida a otra. También para estos casos es más racional utilizar una alarma (con un captador de presión en el molde), que no corregir automáticamente la presión, pues esto afectará también a diversos criterios de calidad, entre otros a las dimensiones de la pieza.

LA MICROELECTRONICA Y SU MISION

Ante todo hay que dejar claro que el empleo de componentes altamente integrados como microprocesadores o procesadores bit en el mando de

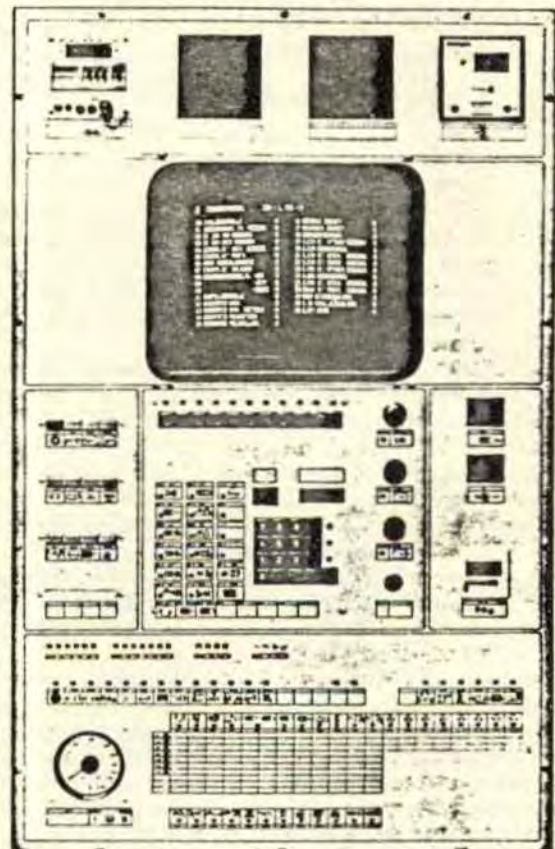


Fig. 8.—Panel de mandos de un armario NC II

una máquina de inyección ni mejoran la calidad de las piezas producidas ni tampoco acortan el ciclo. Comparando estos componentes con los de una electrónica convencional encontraremos que su volumen y su cantidad se han reducido enormemente, a la vez que se han suprimido casi todas las conexiones por cable. Este último detalle confiere a la microelectrónica una mayor seguridad de funcionamiento.

Pero aparte de ello, los microprocesadores y los procesadores bit tienen una gran capacidad de acumulación de datos (memoria) y por un módico precio ofrecen al inyector unas posibilidades muy superiores a las que estaba acostumbrado. Para explicar mejor las posibilidades que ofrece este sistema utilizaremos unos ejemplos gráficos:

La figura 8 muestra el panel frontal de un armario de mandos. Los parámetros a graduar se introducen de forma central mediante un teclado numérico y aparecen de forma textual y ordenados por grupos en una pantalla.

Al graduar la primera vez la máquina para un molde determinado hay que rellenar a través del teclado absolutamente todos los valores de los formularios que aparecen en la pantalla sucesivamente. En tal caso se procede a rellenar «ordenadamente» cada parámetro, es decir, siguiendo el orden de los números de codificación correlativos. Si el operador se salta por olvido un número, la pantalla avisa con una señal de «error de maniobra». En cambio, cuando la máquina ya trabaja y el operador desea optimizar algún parámetro, puede conmutar a «graduación libre» y corregir así directamente el parámetro deseado.

Además de permitir leer y rellenar los valores de consigna, la pantalla sirve también para seleccionar los programas de trabajo (fig. 9) y, en la medida adecuada y necesaria para la representación gráfica de datos o para indicar valores reales momentáneos (fig. 10 y 11).

Si se dispone de un impresor o de un ordenador con teclado alfa-numérico pueden introducirse además en la pantalla textos informativos con datos sobre el molde, el material, sobre la máquina misma y accesorios necesarios o equipos periféricos, detalles importantes referentes a la calidad que debe tener la pieza, etc. Una vez optimizada la puesta a punto de la máquina, los datos pueden grabarse en un portadatos. Cuando más tarde se vuelva a utilizar el mismo molde, los datos de ajuste se introducirán rápidamente y sin error. Como portadatos existen diversos tipos de mayor o menor sofisticación y precio: cinta magnética (fig. 12), cinta perforada (fig. 13), floppy disk, ordenador, etc. En combinación con un impresor, los protocolos pueden imprimirse sobre papel para conservar legible toda la información de cada molde, cada producto. Pero para que un portadatos tenga utilidad hay que disponer de una hidráulica fiable a lo largo del tiempo, que permita reproducir con exactitud los valores introducidos eléctricamente, es decir, una hidráulica digital.

Para el taller de inyección, este mando ofrece las siguientes ventajas:

- graduación de la máquina muy simplificada, muy clara y muy rápida a través del teclado central,



Fig. 9.—Formulario de la pantalla para selección de programas

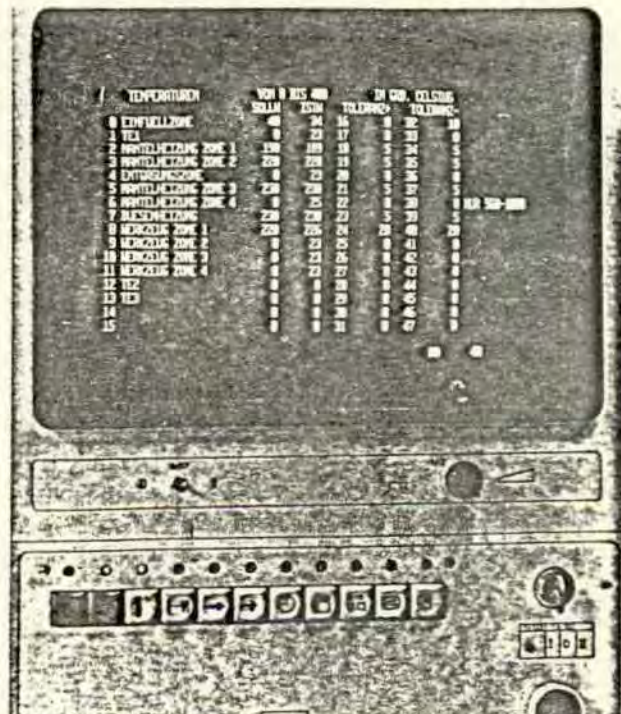


Fig. 10.—Formulario para temperaturas

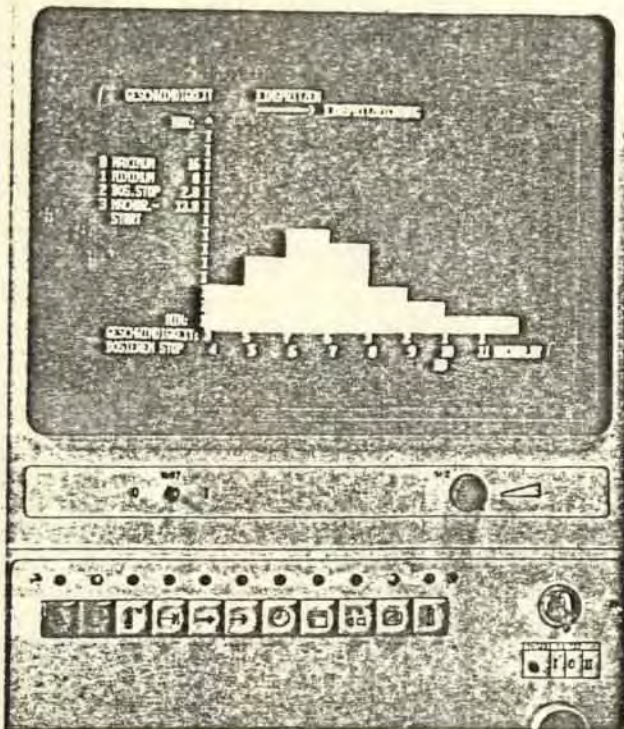


Fig. 11.—Diagrama de velocidad de inyección en 8 etapas

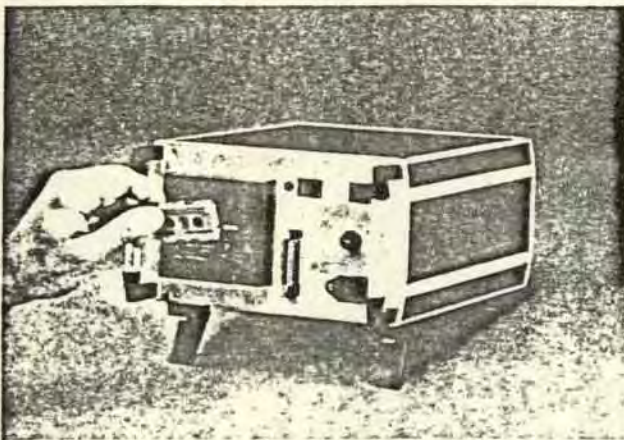


Fig. 12.—Portadatos a minicassette, portátil

- memoria sobre informaciones adicionales de libre elección como seguridad supletoria para el personal encargado de la producción, p. ej., sobre si la combinación de máquina-molde-aparatos periféricos es la correcta,
- agilidad en la preparación del cambio de molde. En el protocolo impreso o en la pantalla de un ordenador externo pueden leerse todos los datos generales,
- documentación sin errores sobre los datos de graduación, lo que equivale a una «memoria transparente» sobre los conocimientos del proceso de inyección,

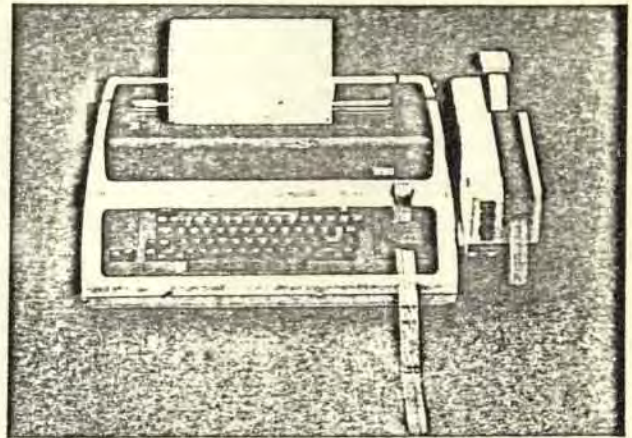


Fig. 13.—Perforador de cinta con impresor rápido

- rápida graduación de la máquina desde el portadatos (1-4 minutos, según tipo), normalmente sin necesidad de optimizar nuevamente los valores. Por tanto, mayor tiempo disponible para el personal especializado en estas labores.

De cara al futuro, este tipo de mando significa una mayor seguridad, pues permite poner en práctica ciertos desarrollos que van a ser muy frecuentes en un futuro inmediato y que en parte ya están practicando muchos usuarios. Entre ellos cabe destacar:

- mayor acortamiento aún de los tiempos muertos para el cambio de fabricación, empleando sistemas de anclaje rápido del molde al plato y de sus conexiones de agua. La ventaja de la graduación rápida desde el portadatos se hace en tal caso mucho más notoria.
- mayor desarrollo de los sistemas de vigilancia automática de la producción. En una fabricación automática de piezas inyectadas es ya frecuente poseer un sistema de alarma automática para vigilar determinados patámetros relacionados directamente con la calidad de la pieza, como puede ser la presión de la masa en la cavidad del molde. En caso de excederse cierta tolerancia, las piezas son desechadas automáticamente y, si la alarma se repite con frecuencia, la máquina se para sola. Con tales sistemas se reduce notablemente el trabajo en el departamento de verificación, pues se evita fabricar piezas desechables.
- integración del mando de equipos periféricos en el mando de la máquina, inclusive las alarmas necesarias. Esto es especialmente frecuente en el caso de los robots para manipulación de piezas tras el desmoldeo.
- la memorización y el cómputo de los datos de una o de múltiples máquinas en una unidad central procesadora de datos (fig. 14).

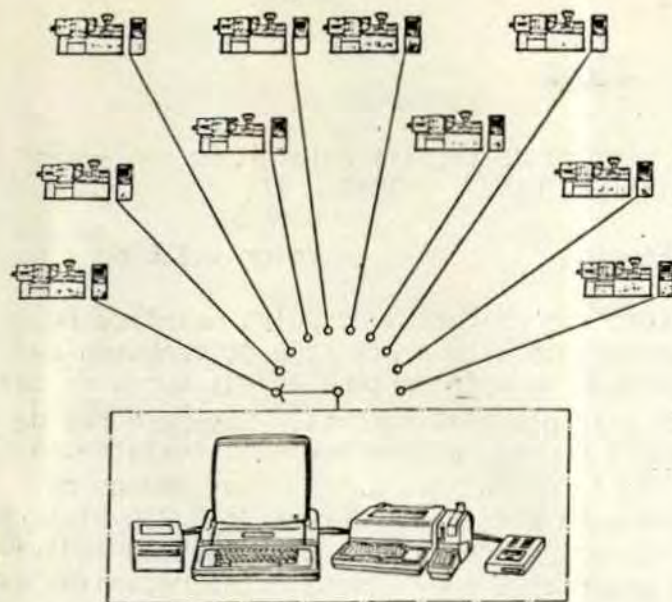


Fig. 14.—Estación central de comando de la producción y de control de datos

RESUMEN

El mando de las actuales máquinas de inyección ofrece al usuario un sinfín de mejoras, las cuales

se están acreditando a diario en las más diversas fabricaciones. Son sistemas de alto nivel técnico, que muestran muy claramente sus ventajas. Por tanto, están más que justificados y en ningún caso merecen el apelativo de excesivamente sofisticados.

El empleo de la técnica digital facilita la puesta a punto de forma inequívoca y precisa, pero también facilita la obtención de una documentación clara. Combinada con una hidráulica adecuada, garantiza una reproductibilidad impecable para muchos años. Y esto es lo que justifica el empleo de portadatos para memorizar los parámetros y reutilizarlos cuando convenga. Se puede decir que los actuales sistemas de mando constituyen la base sobre la que se asentarán los próximos sistemas de comando y control centralizado de la fabricación de piezas por inyección, incluyendo el control de detalles relevantes sobre la calidad de las piezas, e incluyendo asimismo la memorización de los datos y la elaboración de documentación impresa.

BIBLIOGRAFIA

- (1) F. Johannaber, revista *Kunststoffe* 71 (1981) 10, páginas 702-715.
- (2) W. Elbe, revista *Plastverarbeiter* 32 (1981) 9, páginas 1183-1186.
- (3) H. Blueml, revista *Oelhydraulik + Pneumatik* 23 (1979) 3, páginas 175-182.