

# LA AUTOMATICA EN APLICACIONES INDUSTRIALES

WILLIAM IPANAQUE ALAMA,\* EDILBERTO VASQUEZ DIAZ\*\*

## RESUMEN

La Automatica paralelamente al desarrollo de las técnicas electrónicas ha tenido notable evolución en los últimos 20 años, evolución no solo en los aspectos teóricos ( desde hace ya 40 años se venían logrando buenos resultados) sino también en los aspectos de implementación de sistemas para resolver problemas reales sea en la industria, como en el campo militar, aeroespacial. Los objetivos de una planta industrial (planificación de la producción, calidad, productividad) disponen ahora de herramientas informáticas y electrónicas que permiten aplicar la Automatica en diferentes niveles. Una de las herramientas que han tenido notable éxito en la Automatización de la industria ha sido el Controlador Logico programable (PLC) y el Microcomputador (PC) que encuentra aplicación en la mayor parte de industrias no muy complejas (como las que existen a nivel latinoamericano), aunque vale decir que el continuo desarrollo de la técnica ha ampliado cada vez mas su campo de acción.

En nuestra Universidad se ha tratado de conjugar la disposición de recursos tecnológicos, con las condiciones del medio industrial en que nos encontramos, para dar a nuestros ingenieros una visión de lo que las nuevas técnicas pueden ofrecernos . Hemos tenido una experiencia en el campo de la Automatización que empezó primero con un enfoque didáctico realizando algunos módulos de aprendizaje, la experiencia adquirida luego se proyectó a la industria en dos líneas: por medio de capacitación de los profesionales

---

\* Departamento de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Universidad de Piura - Perú. Actualmente realiza el Doctorado en Ing. Automatica e Informatica en el Politécnico de Milano - Italia.

\*\* Departamento de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Universidad de Piura - Perú. Actualmente realiza un "Stage" en el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Pavia - Italia.

para elevar su nivel y luego en la realización de consultas y proyectos.

En este trabajo se pretende ilustrar el panorama general de la automatización describiendo las herramientas informáticas de mayor uso (PLC y PC), se describe las operaciones de una planta que normalmente se automatizan. Se ilustra las características del PLC y se describe un modulo didáctico realizado en nuestra Universidad. Un aspecto frecuente en las plantas industriales es el, referente a los accionamientos eléctricos sobretodo en la parte de regulación que en un proyecto de automatización merece particular atención. En los últimos años la aplicación del control digital, después que se superaron obstáculos técnicos en la parte de potencia, ha tenido resultados positivos . En el presente trabajo se describe también una técnica digital desarrollada e implementada sobre un accionamiento eléctrico (un motor de reluctancia variable) en donde se evidencia las bondades de la técnicas usadas: identificación, diseño del controlador y control. Un sistema así puede ser implementado con un simple PC o si las restricciones de precisión y velocidad lo exigen se hace uso de un sistema multiprocesador, concretamente en este trabajo se opta por este ultima haciendo uso de un PC con un DSP(Digital Signal Processing)

## I PANORAMA GENERAL DE LA AUTOMATIZACION DE UNA PLANTA

En la operación industrial nos podemos encontrar con mejoras que se deseen realizar en un sistema o equipo específico ya sea: un motor, un horno, un caldero, un secador, una maquina de producción o procesamiento etc. O también mejoras a realizar en un conjunto de esos sistemas. El tratamiento a seguir en uno u otro caso es diferente y las alternativas de automatizar también lo son, pero conservan compatibilidad entre si.

Las operaciones a automatizar se pueden referir a una o más de las siguientes:

a) **Supervision** se controla que los parámetros o especificaciones de un equipo o sistema, se encuentren bajo un determinado rango de operación, en caso contrario debe dar alguna señal de alarma y/o actuar sobre el sistema. Los primeros supervisores se limitaban a dar señales luminosas o sonoras, actualmente existen sistemas que además comunican la ocurrencia de fallas a otros puntos remotos y son capaces de actuar ellos mismos.

b) **Monitoreo** : se visualizan al usuario las medidas de determinados parámetros para verificar la dinámica o el estado del sistema. Los sistemas de monitoreo pueden ser de uno o varios canales según el número de parámetros que se deseen visualizar: velocidad, tensión, temperatura, presión etc., constituyendo básicamente sistemas de medición. Las técnicas clásicas dan automatización analógica, actualmente la lectura puede ser también digital y, cuando se basan en sistemas programables, pueden efectuar procesamiento de datos. A estos sistemas también se les denomina de adquisición y procesamiento de datos.

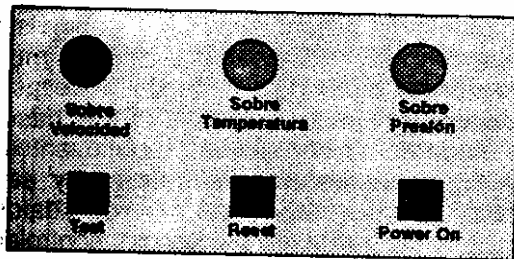


Fig. 1 Supervisor Clásico

c) **Control**: uno o más parámetros del sistema debe ser lo más aproximado posible a una señal conocida como "set point" o señal de referencia, para lo cual se sigue una estrategia o algoritmo de control. Estos algoritmos pueden ser desde muy básicos, como el sistema ON/OFF, u otros muy usados a nivel de control de procesos y que son comerciales (por ejemplo: controladores proporcional-integral-derivativo PID), hasta estrategias más complejas y eficientes como las basadas en algoritmos de control óptimo.

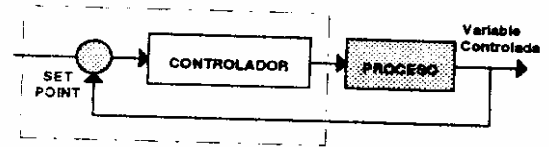


Fig.2 Esquema del Sistema de Control

d) **Mandos secuenciales**: son tareas que normalmente siguen una serie de secuencias predeterminadas, las cuales consisten en activar o desactivar determinados mecanismos, cuando se verifican ciertas condiciones conocidas como condiciones de transición. Este tipo de comandos inicialmente se realizaban con componentes electromecánicos (relays, temporizadores, contactores, etc.) su programación se basa en el conocido diagrama escalera o "ladder diagram". Los controladores programables nacieron para reemplazar esos componentes electromecánicos, de frecuente uso industrial, alcanzando notable éxito.

La fig.3 ilustra la estructura general de un sistema automatizado en donde a manera de diagrama de bloques se representan los diversos componentes a tener presente en el proyecto. Hay dos formas de encuadrar el proyecto una es teniendo ya la planta funcionando y la cual es sujeta a automatización la otra es el diseño total del equipo es decir planta mas sistema de automatización. el primero caso es mas frecuente. La evaluación de las partes de la planta susceptibles a automatizar debe ser clara planteándose criterios claros de decisión: por ejemplo lo usual es encontrar el cuello de botella del proceso y aqui evaluar la estrategia a seguir. En general se busca: reducir los tiempos muertos, aumentar la productividad, tener productos terminados con mejor calidad y homogénea, crear un ambiente de trabajo mejor: ordenado y limpio, disponibilidad ON LINE sobre el estado de la planta, que permita: evaluar su eficiencia, prever planes de producción para poder satisfacer pedidos de clientes etc.

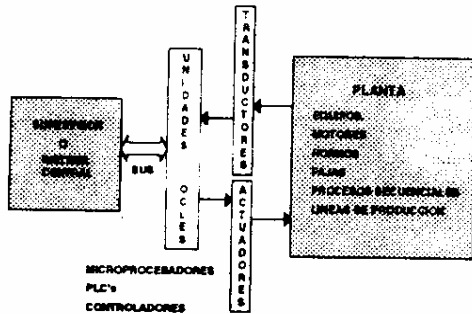


Fig. 3 Estructura General de una Planta Automatizada

Los Transductores y Actuadores son elementos encargados de interfazar a la planta con los equipos "inteligentes" en su evaluación se toma en cuenta las condiciones de trabajo (ruido vibración, temperatura), rango de los parametros físicos a manipular y el grado de precisión de esos parámetros.

Los sistemas procesadores o a veces denominados "inteligentes" constituyen el cerebro del sistema, su configuración depende tanto del tipo de procesos a automatizar como de los elementos de interface (transductores y actuadores). Entre otras cosas se toma en cuenta: número de entradas/salidas y su respectiva naturaleza, tipo de operaciones a automatizar, dimensión y complejidad de las operaciones a automatizar ( que al final se traduce en un programa cuya memoria se tendrá que dimensionar así como evaluar el tipo de instrucciones a usar). Como elementos usados pueden optarse: por sistema de control distribuido (de uso clásico en procesos), Controladores programables o usar el microcomputador.

Los niveles de automatización se esquematizan en la fig.4 las estrategias se pueden implementar con diversas topologías como por ejemplo las que se ilustran en la fig. 5 y 6.

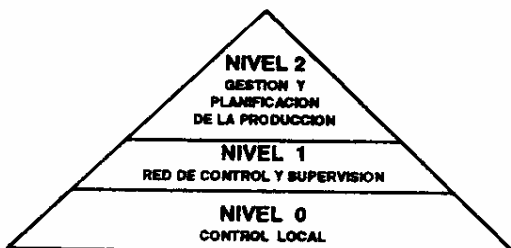


Fig. 4. Niveles de Automatización

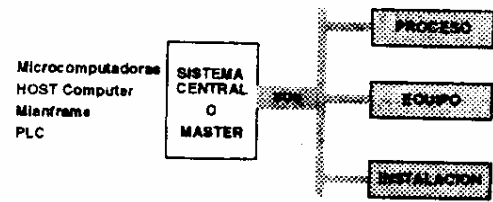


Fig. 5 Sistema Centralizado

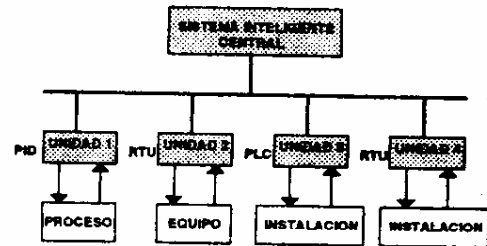


Fig. 6 Sistema Distribuido

## II. EL CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE ( PLC )

El PLC es considerado como un instrumento de informática industrial:

- Diseñado para realizar las funciones principales de automatización: supervisión y regulación. El PLC puede usarse en muchas aplicaciones industriales, desde aquellas que requieren un simple control ON/OFF, hasta los más exigentes y complejos requerimientos de un sistema secuencial de entradas y salidas analógicas, en manipulación de datos y regulación de variables físicas que controlan un proceso.

- Previsto para operar en tiempo real. El tiempo de ejecución de uno "scan" está en el orden de los cientos de milisegundos lo que garantiza una velocidad de recolección de datos adecuada para la mayor parte de las instalaciones industriales.

- Diseñado para trabajar en un ambiente industrial. La tecnología electrónica utilizada por los fabricantes de PLC's garantiza su operación dentro de un ambiente industrial, el cual se caracteriza por condiciones especiales de trabajo: ruido eléctrico, alta/baja temperatura, vibraciones mecánicas etc.

-Son flexibles, los PLC's se adaptan fácilmente a una amplia gama de aplicaciones debido a que su operación depende directamente del programa que se diseñe con el fin de controlar cada una de las operaciones que conforman un proceso

-Programable por personas no necesariamente informáticas. La programación normalmente no requiere de lenguaje sofisticado, son capaces de funcionar en el medio industrial con versiones que utilizan lenguajes de los electricistas: contactos "normalmente cerrados" y "normalmente abiertos". Incluyen funciones internas que facilitan la introducción de un programa, detectan, corrigen errores y supervisan la puesta en marcha del sistema.

-Comunicación en red. Pueden interconectarse a través de toda la planta con un conjunto variado de dispositivos de entrada/salida como: controles locales en base a microprocesadores, microcomputadores, PLC's compatibles periféricos, etc. permitiendo configurar un sistema distribuido.

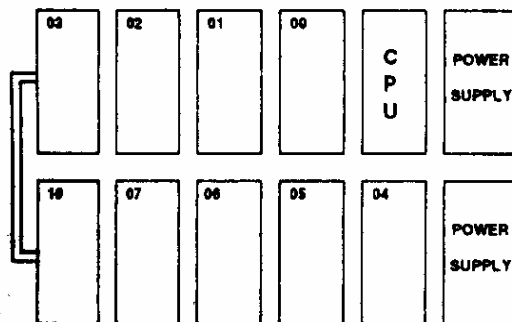


Fig. 7 Esquema de un PLC

### III. MODULO DIDACTICO

El módulo didáctico ha sido diseñado para ilustrar el uso e implementación del PLC. En la industria existen varios sistemas compuestos por elementos neumáticos o componentes electromecánicos de modo que el módulo ayuda a conocer e identificar la utilidad del PLC en este tipo de instalaciones.

El sistema simula un autómatas para almacenar y extraer materiales o piezas; está compuesto por un motor de corriente continua, un cilindro neumático, "microswitchs" sensores de

posición, electroválvulas tal como se representa en la fig. 8.

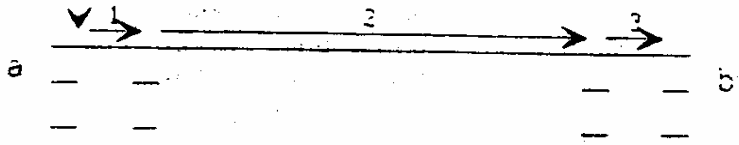
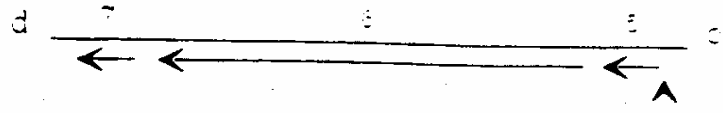
Tiene dos tipos de movimiento:

1) Vertical: es gobernado por el cilindro neumático que ocasiona el movimiento de la plataforma donde está ubicado el motor de c.c. y la barra B. Según la electroválvula que se active, la plataforma puede subir (EV1) o bajar (EV2). Las posiciones superior e inferior son detectadas por los sensores S13 y S14.

2) Horizontal: gobernado por el motor de corriente continua, la barra B puede desplazarse a lo largo de la plataforma hacia la izquierda o derecha según la polaridad de alimentación del motor. El desplazamiento puede realizarse en dos velocidades según el nivel de tensión aplicado al motor (hay dos niveles disponibles: baja velocidad, 55Vcc, y alta velocidad, 110Vcc). Para determinar la posición o ubicación de la barra B se han ubicado tres pares de "microswitchs" que indican posición central, posición extrema izquierda y extrema derecha.

La secuencia de movimientos se ilustra en la fig.8. Se han ubicado en cada una de las tres posiciones dos "microswitchs" para poder realizar los cambios de velocidad por ejemplo para un movimiento en la secuencia a-b-c-d en los tramos 1,3,5, y 7 la barra B se moverá a baja velocidad mientras que para los tramos 2 y 6 son a alta velocidad. Como se puede ver todas las señales son del tipo discreto (ON/OFF), para el accionamiento del motor asumiremos 4 contactores dos que determinan a polaridad y (sentido de giro) y dos para seleccionar la velocidad (alta y baja).

Para resolver el caso hay que configurar las entradas y salidas, luego se describen la secuencia de operaciones para el recorrido a-b-c-d-a, haciendo uso por ejemplo de la programación "grafcet" o realizar el diagrama de escalera.



Secuencia a-b-c-b-a

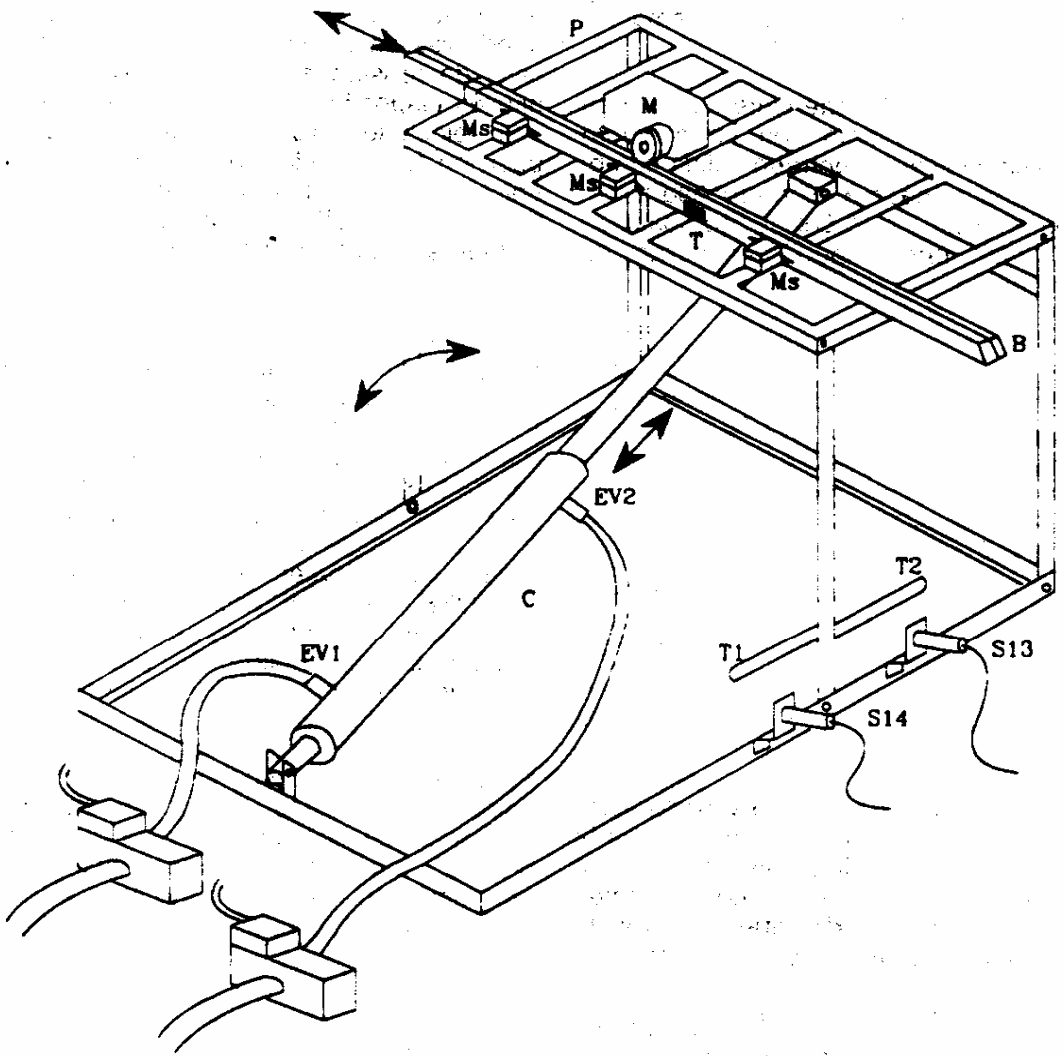


Fig. 8 Módulo neumático-electromecánico

## IV DESCRIPCION DEL SISTEMA CON PC

El objetivo del sistema de desarrollo es el de contar con un instrumento informático que permite, trámite un sistema de adquisición de datos (hardware y software), la elaboración de algoritmos de identificación y control. La aplicación se orienta a un accionamiento eléctrico, motor de reluctancia variable.

La fig 9 presenta un esquema del hardware del sistema.

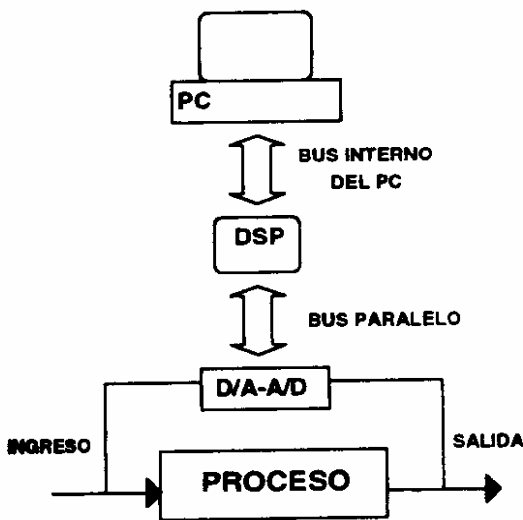


FIG 9

La etapa de adquisición de datos y pre-procesamiento está conformada por una tarjeta de conversión Analógica / Digital y Digital / Analógica (A/D - D/A) y por un Procesador Digital de Señales (Digital Signal Processing - DSP).

## V. CONVERSION A/D - D/A

El sistema cuenta con dos convertidores A/D y dos convertidores D/A, ambos de 12 bits; una lógica de inicio de conversión sincronizada trámite un trigger externo o el timer interno programable. Puede producir una señal de interrupción, para comunicación externa, generada del timer o de la señal de fin de conversión del A/D (EOC).

En la tarjeta de conversión se configura: un convertidor A/D para recibir la señal analógica

de referencia, un convertidor D/A para el envío de la señal de comando al proceso y un convertidor A/D para recibir la señal de salida del proceso. El inicio de conversión es sincronizada a través de un trigger externo generado por el timer del DSP, programado de acuerdo al tiempo de muestreo que se utilice.

## VI EL PROCESADOR DIGITAL DE SEÑALES: DSP

Sistema digital basado en un microprocesador de arquitectura RISC que permite una elaboración de datos con velocidad elevada. Su librería de programas incluye algoritmos sofisticados para el procesamiento matemático de datos, como la FFT (Fast Fourier Transformation) y filtros digitales, frecuentemente utilizados en la adquisición de datos y en el control tanto a nivel de investigación como de aplicación industrial.

El DSP es conectado al PC a través de un slot ocupando, en este caso, la dirección I/O 279Hex, se comunica con el PC trámite la señal de interrupción IRQ2. En este trabajo el DSP realiza:

- Control y supervisión del funcionamiento de a tarjeta de conversión A/D - D/A,
- pre procesamiento de los datos adquiridos: filtrado digital y almacenamiento en memoria,
- ejecución de un algoritmo de control digital, convirtiéndose de esta manera en el sistema regulador del proceso.

## VII. EL COMPUTADOR PERSONAL (PC)

El computador debe: inicializar el DSP a nivel Hardware y Software, comunicarse con la memoria del DSP, elaborar los datos provenientes de la adquisición con un algoritmo adecuado (identificación, simulación, etc..), presentar los datos y resultados en el monitor y generar reportes. Alternativamente el PC puede trabajar como sistema de supervisión y monitoreo cuando el DSP realice el control digital.

## VIII CONFIGURACION DEL SISTEMA

La figura 10. presenta un esquema de la configuración del sistema aplicado a la identificación del proceso. Es decir, trámite la adquisición de los datos de ingreso y salida, se

puede determinar un modelo matemático que describe el funcionamiento del proceso. En este caso el algoritmo de identificación es realizado en el PC aprovechando su capacidad matemática y utilizando un software comercial tipo CAD orientado al diseño de sistemas de control.

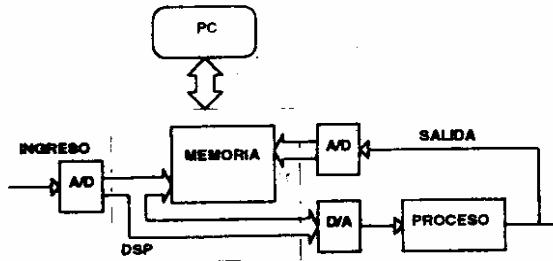


FIG 10 Identificación.

La figura 11. presenta la configuración del sistema cuando realiza un control digital, el DSP cierra el anillo de control procesando un algoritmo cuyos parámetros son determinados por el PC. Es importante tener en cuenta que el DSP está en condiciones de poder elaborar "ON-LINE" un algoritmo de identificación y de encontrar automáticamente los parámetros del controlador (control adaptativo). En este caso el PC puede trabajar como supervisor, cambiando los parámetros del regulador o la estrategia de identificación de acuerdo a las condiciones de funcionamiento del proceso, y/o como un sistema de monitoreo de las variables de control.

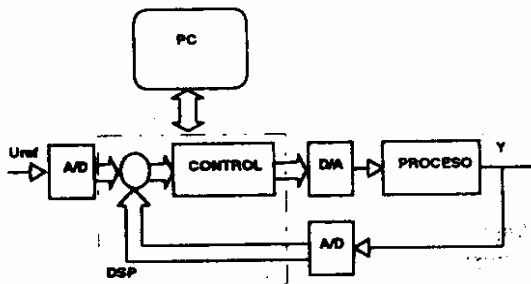


FIG. 11 Control

## IX. SOFTWARE

La figura 12 presenta un esquema de la relación de los programas del sistema y el usuario.

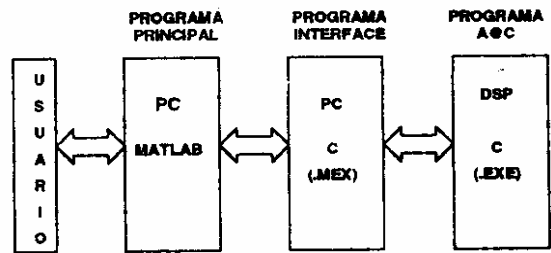


FIG 12 Esquema del Software.

### Programa Principal

Se ha empleado como herramienta CAD el MATLAB usando los tools: Signal, Identificación, Control, Mex (interface con programas en Lenguaje C). El programa principal interactúa con el usuario pidiendo los parámetros necesarios: tiempo de muestreo y número de datos para la adquisición. Se comunica con el programa interface para pasar los datos al DSP. Elabora los datos obtenidos por el DSP, realizando las siguientes fases: Identificación, Simulación, diseño de un sistema de control y taratura del mismo; cada fase puede ser realizada con rutinas propias del usuario, aprovechando la capacidad matemática del Matlab, o con rutinas ya implementadas como funciones Matlab.

### Programa de Interface.

Elaborado en Lenguaje C y luego convertido en una rutina del Matlab, de extensión .MEX. Inicializa al DSP: carga el programa de adquisición de datos o control, inicializa los parámetros de la prueba y ordena al DSP la ejecución del programa.

Instala un programa de gestión de interrupción que funciona cuando se genera una interrupción en IRQ2, con la finalidad de sincronizar la comunicación con el DSP. Finalmente carga los datos obtenidos por el DSP en la memoria del PC para ser usados por el programa principal.

### Programa de adquisición de datos y control

Se ejecuta en el DSP, programa en lenguaje C compilado en formato DSP. Inicializa la conversión A/D y controlar la conversión D/A. Instala una rutina de interrupción que funciona en cada muestreo, esta rutina puede trabajar

En la adquisición de los datos y/o como algoritmo de control, el modo de funcionamiento lo determina el programa principal.

### APLICACION PRACTICA

El sistema ha sido utilizado para la identificación y control de un motor de reluctancia variable: MEGATORQUE SYSTEM (Model RS0608) incluyendo su accionamiento (control de corriente). La figura 13. presenta un esquema a bloques del sistema, la señal de ingreso es la corriente de referencia al accionamiento y la señal de salida: la velocidad del motor (V/rpm), medida con una dinámico taquimétrica.

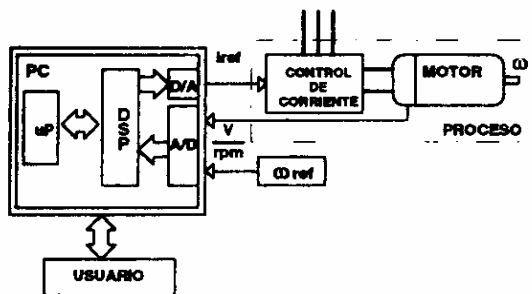


FIG 13

Se parte considerando al proceso (motor - accionamiento) como un sistema de primer orden:

$$\frac{\omega(s)}{i^*(s)} = \frac{K}{Ts + 1}$$

Donde  $\omega$  es la velocidad angular del motor [rpm] e  $i^*$  la corriente de comando, con una constante de tiempo  $T=J/f$  (J inercia del motor, f [Nms/rad] rozamiento viscoso). Los parámetros K y T son obtenidos como resultado del procedimiento de identificación, considerando al motor en modo torque y sin carga. Para una señal de referencia (comando de corriente) equivalente a 0.4V. se obtiene una velocidad de salida equivalente, aproximadamente, a 8V. Fig 14.

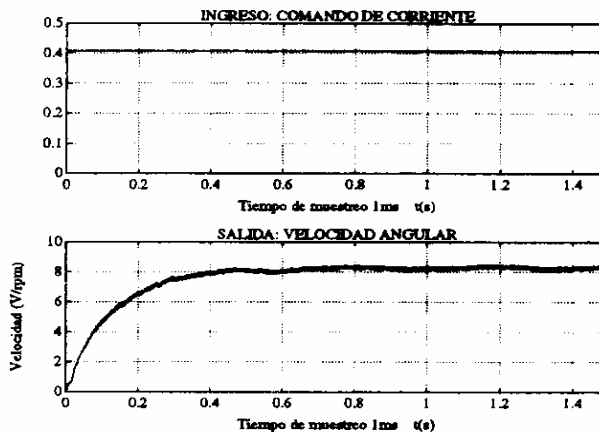


Fig 14. adquisición de datos

A partir de los datos reales, se ha realizado la identificación usando los algoritmos: ARX, ARMAX e IV4, implementados como funciones Matlab. Fig 15.

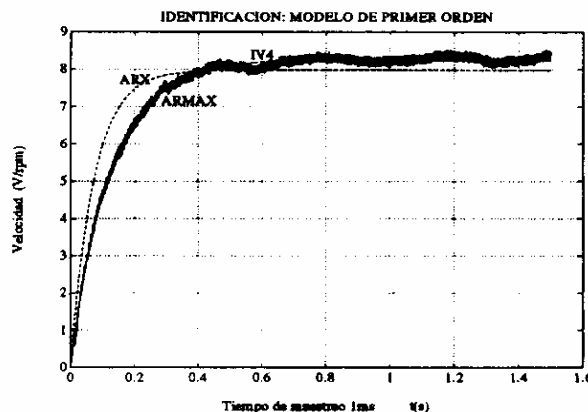


Fig 15. Identificación.

Determinada la función de transferencia que mejor describe el funcionamiento del motor (modelo IV4):

$$\frac{\omega(s)}{i^*(s)} = \frac{19.94}{0.124s + 1}$$

se ha diseñado un control analógico PI:



$$\frac{i^*(s)}{E(s)} = \frac{K_p(s + \frac{K_i}{K_p})}{s}$$

cuyos parámetros han sido encontrados por el método del lugar de las raíces:  $K_p=0.51$ ,  $K_i=14.28$ . La implementación del control de velocidad PI digital (Fig. 16) se ha realizado aplicando la transformación de Tustin:

$$s = \frac{2(z - 1)}{T(z + 1)}$$

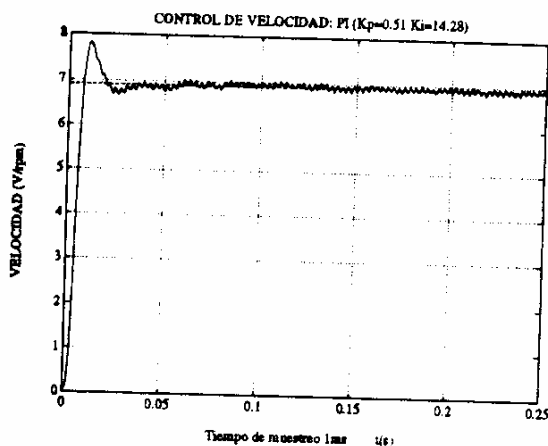


Fig 16. Control de Velocidad: PI Digital.

## XI. CONCLUSIONES

-La Automática ha dado por resultados técnicas de producción industrial que han llevado a mejorar la operatividad de las plantas, aumentando la productividad, la calidad de los productos, la flexibilidad, ha permitido también bajar los costos de producción disminuyendo los tiempos muertos y bajando la probabilidad de fallas por intervención humana.

- La formación profesional en el campo de la automatización debe conjugar los sectores de la informática con la ingeniería de procesos, buscando una interrelación. Nuestros profesionales del sector industrial deben estar al tanto de las bondades de las herramientas que les pueden ser útiles.

- La aplicación a accionamientos eléctricos representa un campo de notable interés, el presente trabajo aun continua su ejecución

profundizando el diseño de algoritmos propios para la identificación y el control ON-LINE implementados en el DSP.

-Aprovechando la flexibilidad y la potencia que ofrece un moderno PC, se ha desarrollado un sistema de base para la adquisición de datos y el control que permite de estudiar algoritmos de identificación y estrategias de control. El sistema trabaja con datos reales que describen el comportamiento dinámico del proceso. Además permite realizar pruebas directamente en el proceso para verificar los resultados y evaluar las prestaciones de los algoritmos.

- Una de las características más importantes que tiene el DSP, como sistema digital, es la elevada velocidad en la elaboración de datos, característica que lo hace adecuado para la implementación de algoritmos de control. En realidad con un DSP se pueden también implementar algoritmos de identificación "ON LINE", en grado de determinar los parámetros del proceso y de sintonizar un controlador en manera automática. Es decir realizar un control adaptativo.

-El uso del "C" como lenguaje de programación permite realizar un software flexible que tiene las siguientes características:

- Modularidad, se pueden utilizar módulos iguales en aplicaciones diversas.
- Fácil configuración de la estructura lógica del programa.
- Eficiencia y potencialidad, se puede interfazar con otros programas.
- Facilidad de mantenimiento para modificar eventualmente los programas.

## BIBLIOGRAFIA:

1. "Sistemas con Microprocesadores" William Ipanaque Alama. Piura 1987
2. "Automatización en Supervisión y Operación de Plantas Industriales" William Ipanaque. Ing. Irene Alvarado.
3. "L'applicazione dei controllori programmabili industriali" Gérard Mara

**4. "Control Engineering" March 1991 pp 57-60 .  
Michael Babb**

**5. "Un editor interattivo per il linguaggio grafcet"  
Lorenzo Mezzalana, Piencarlo Invernizzi, Paolo  
Mainardi Milano 1990**

**6 "Arquitectura Interna del Microcomputador"  
William Ipanaque. Edilberto Vásquez Díaz.  
Piura 1991**

**7 "Sistema di sviluppo per l'identificazione e il  
controllo con PC basato su un DSP" Edilberto  
Vásquez Díaz. Pavia 1993.**

**8. "Digital Control of Dynamic System" David  
Powell, Gene Franklin, Michael Workman.  
Ediciones Adinson Wesley**