

300617

14,  
129



# UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE INGENIERIA  
Incorporada a la U.N.A.M.

## "LA APLICACION DE LOS MICROPROCESADORES COMO CONTROLADORES PROGRAMABLES PARA VALVULAS"

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**TESIS PROFESIONAL**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A  
**RICARDO EMILIO GUTIERREZ OBREGON**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# I N D I C E

## PAGINA

### INTRODUCCION

1

### PRIMERA PARTE

### INVESTIGACION

### CAPITULO I

#### ASPECTOS GENERALES DE LOS MICROPROCESADORES

1.1	Arquitectura de los microprocesadores	4
1.1.1	La unidad lógica aritmética (ALU) y el acumulador	4
1.1.2	El registro y el contador de programa	5
1.1.3	Registro de instrucciones, decodificador y unidad de regulación de tiempo	7
1.1.4	Registros de stack y apuntador	8
1.1.5	Registros de status	9
1.2	Características de los microprocesadores	10
1.2.1	Características	10
1.2.2	Interrupciones	10
1.2.3	Diferencia entre las computadoras de propósito general y los microprocesadores controladores	11
1.3	Programación de los microprocesadores	12
1.3.1	El hardware y el software de un microprocesador	12
1.3.2	Nivel de software	13
1.3.3	Lenguaje ensamblador	14

1.3.4 Algoritmos, diagramas de flujo y programas	14
1.4 Aplicaciones específicas de los microprocesadores	15
1.4.1 Aplicaciones al control de procesos industriales	17

## CAPITULO II

### FUNDAMENTOS DEL CONTROL DE PROCESOS

2.1 Introducción	18
2.2 Lazos de control abierto y cerrado	19
2.3 Modos de control	21
2.3.1 Los controladores	21
2.3.2 Modos de control	21
2.3.2.1 Control encendido-apagado (on-off)	22
2.3.2.2 Control proporcional	23
2.3.2.3 Control integral	25
2.3.2.4 Control derivativo	25
2.3.2.5 Control proporcional-integral (P-I)	26
2.3.2.6 Control proporcional-integral-derivativo (P-I-D)	27

## CAPITULO III

### INTRODUCCION A LAS VALVULAS DE CONTROL

3.1 Introducción	29
3.2 Válvulas de control y actuadores	29

3.2.1	Cuerpo de la válvula	30
3.2.2	Actuador	31
3.2.3	Posicionador	33
3.3	Clasificación de las válvulas de control	36
3.3.1	Válvulas de control con vástago de movimiento lineal	36
3.3.2	Válvulas de control rotatorias	37
3.3.3	Válvulas de bola	38
3.4	Característica de una válvula	39
3.5	Relación de gama	41
3.6	Selección y dimensionamiento de válvulas de control	42
3.6.1	Coefficiente de la válvula (Cv)	43
3.7	Fallas de suministro de energía	46

## SEGUNDA PARTE

### APLICACIÓN DEL MICROPROCESADOR COMO CONTROLADOR DE UNA VALVULA

#### CAPITULO IV

##### FUNCIONES E INTERFASES DEL MICROPROCESADOR

4.1	Las funciones del microprocesador en un sistema de control	47
4.1.1	Importancia del microprocesador en el sistema de control	48
4.2	Interfases del microprocesador con los elementos de medición y control	48
4.2.1	Buffers de entrada//salida del microprocesador	50

4.2.2	Interfases de información analógica	50
4.2.3	Convertidores digital analógico (DACs)	52
4.3	Convertidores analógico digital (ADCs)	53
4.3.1	El ADC de aproximación sucesiva	53
4.3.2	El ADC tipo contador	54
4.3.3	El ADC de integración	55
4.3.4	El ADC tipo paralelo	55
4.4	Interfase del microprocesador con la válvula de control: los transductores electro neumáticos	57

## CAPITULO V

	LA APLICACION DEL SDK-85 COMO CONTROLADOR DE VALVULAS	59
5.1	Características del sistema de diseño SDK-85	60
5.2	Descripción funcional del microprocesador 8085	60
5.3	Simuladores de procesos	62
5.4	Componentes que se añaden al microprocesador para establecer el sistema de control	62
5.5	Programas de control del MCS-85	66
5.5.1	Programa con algoritmo de control on-off	68
5.5.1.1	Diagrama de flujo del programa de control on-off	70
5.5.1.2	Programa de control on-off codificado en lenguaje ensamblador	71
5.5.1.3	Funcionamiento del programa de control on-off	72

5.5.2 Programa de control con algoritmo de control proporcional.	73
5.5.2.1 Diagrama de flujo del programa de control proporcional	75
5.5.2.2 Programa de control proporcional codificado en lenguaje ensamblador	75
5.5.2.3 Funcionamiento del programa de control proporcional	77
5.6 Aplicación de los controladores on-off y proporcional	78
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
GLOSARIO TECNICO INGLES-ESPAÑOL	86
APENDICES	
A) Características de funcionamiento del 8085	89
B) Juego de instrucciones del 8085	101
BIBLIOGRAFIA	103

## INDICE DE FIGURAS

NUMERO	DENOMINACION	PAGINA
1.1	El microprocesador y sus componentes	4
1.2	Forma básica de la ALU	5
2.1	Sistema automático de control	18
2.2	Diagrama de bloques de un sistema de control de lazo abierto y de lazo cerrado.	20
2.3	Gráfica que muestra el error residual	24
2.4	Control proporcional-derivativo con entrada rampa	26
2.5	Control proporcional-integral con entrada escalón	27
3.21	Válvula de control con las partes del cuerpo	30
3.22	Clasificación de los cuerpos de las válvulas	31
3.23	Actuador neumático de diafragma	32
3.24	a) Actuador de acción directa b) Actuador de acción inversa	33
3.25	Diagrama de bloques del posicionador	34
3.26	Esquema de funcionamiento del posicionador	35
3.31	Válvula de mariposa	38
3.32	Válvula de bola característica	39
3.41	Gráfica para válvula de característica lineal	40
3.42	Gráfica para válvula de característica de --- igual porcentaje	40
3.43	Gráfica de la característica de una válvula de apertura rápida	40
3.51	Relación de gama	42
4.2	Sistema básico de interfase	50
4.2.3a	DAC de resistencias ponderadas	52



4.2.3b	DAC con red R-2R	53
4.4	Diagrama a bloques del transductor electroneu- mático	58
5.4a	Diagrama de secuenciación del ADC 0817	65
5.4b	Diagrama de bloques de la interfase con la válvula de control	65
5.4c	Diagrama de los componentes que se añaden al sistema SDK-85 para formar el controlador pro- gramable	67
5.5.1	Diagrama de las variables controlada y manipu- lada para un controlador on-off	69
5.5.2.1	Despliegue de los parámetros de control en el sistema SDK-85	79
5.6.1	Sistema controlador de nivel de un generador de vapor	80
5.6.2	Sistema de control de nivel basado en un up	81
<b>Figuras del apéndice A</b>		
1	Lógica del generador de reloj del 8085	94
2	Mascarillas de interrupción usando SIM	95
3	Efecto de las instrucciones RIM y SIM sobre las líneas seriales de datos	96
4	Secuenciación de la CPU para la instrucción STA 98	

## INTRODUCCION

Actualmente los circuitos integrados han alcanzado un alto grado de avance, miniaturización y perfeccionamiento. En su evolución, estos circuitos han pasado desde una pequeña escala de integración hasta una alta escala de integración. En esta última se habla de una enorme cantidad de componentes dentro de una misma pastilla o chip.

La alta escala de integración dió lugar a los microprocesadores o "computadoras dentro de un chip" que están revolucionando el campo del diseño digital.

El poder, la versatilidad y el adelanto en la fabricación del microprocesador han hecho que cada vez sean más numerosas sus aplicaciones en industrias, laboratorios y otras áreas. Por sus características, el microprocesador juega un papel muy importante dentro del control de procesos.

Por otro lado las válvulas son dispositivos esenciales dentro del control de procesos. La mayoría de las veces el elemento final de control es una válvula, lo cual implica que su función es muy importante. Sin ellas sería imposible lograr el control de variables como el flujo en una tubería o el nivel en un tanque. Es por esto que, si se automatiza el control de dichas variables de manera eficiente por medio del microprocesador, se obtiene un conjunto que tiene un alto grado de aplicación en la industria.

Además, el microprocesador ofrece muchas ventajas al compararse con sistemas convencionales. Esto se debe también

a su costo y relativa facilidad para implementarse.

Los propósitos de esta obra son: establecer una opción viable para la automatización dentro de la industria -- del control de procesos. Aprovechar las múltiples ventajas -- que ofrecen los microprocesadores en el área del control, -- haciendo a un sistema más eficiente. Y establecer una referencia más para las aplicaciones del microprocesador.

Todo lo anterior se deriva de la hipótesis de que -- los microprocesadores se pueden aplicar al control de válvulas por medio de la interfase adecuada.

El tema de esta obra se eligió por el hecho de que -- en muchas industrias es muy necesario implementar sistemas -- de control automático. El microprocesador es una gran herramienta que ayuda a la automatización. Y las válvulas son -- elementos susceptibles de controlarse por medio de un micro-- procesador. Esto implica que es aconsejable y lógico tratar de aplicar el microprocesador al control de válvulas.

El material de los capítulos se ordenó en dos partes. Esto se hizo de modo que al terminar la primera parte (investigación) se cuente con los elementos necesarios para poder entender la segunda parte (aplicación).

En el primer capítulo se habla de aspectos generales de los microprocesadores, tales como su arquitectura y programación. El capítulo 2 cubre los fundamentos del control de procesos, para establecer los modos de control. El capítulo 3 proporciona la ayuda para entender las válvulas de -- control.

En el capítulo 4 se muestran la importancia del microprocesador y las interfases que requiere para acoplarse a las válvulas. Por último, en el capítulo 5 se seleccionan -- tanto el microprocesador con sus accesorios, como los elementos de interfase para la válvula de control.

El uso productivo de los 4 primeros capítulos se demuestra en el quinto capítulo con la aplicación de un microprocesador en la práctica.

PRIMERA PARTE

INVESTIGACION

## CAPITULO I

### ASPECTOS GENERALES DE LOS MICROPROCESADORES

## 1.1 ARQUITECTURA DE LOS MICROPROCESADORES.

La arquitectura del microprocesador viene a ser la organización de las unidades que lo conforman. Los elementos importantes de esta arquitectura son: la unidad lógica aritmética (ALU), el acumulador, el contador de programa, el registro de instrucciones y la unidad de regulación de tiempo y decodificación. Estos elementos mantienen los datos temporalmente para ser procesados.

El microprocesador se enlaza con sus componentes por medio de canales, a través de los cuales circulan los datos y las señales de control, (fig.1.1).

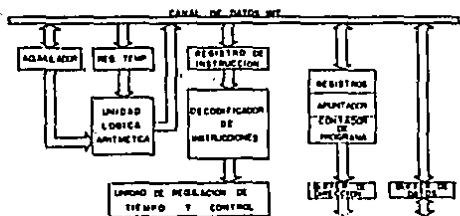


FIG 1.1).

### 1.1.1 LA UNIDAD LÓGICA ARITMÉTICA Y EL ACUMULADOR

La ALU es la parte del microprocesador donde se hace el manejo de datos. Aquí se ejecutan las operaciones lógicas y las funciones de adición, complemento, sustracción, comparación y sustitución. La forma básica de la ALU está constituida por un sumador y un acumulador, (fig.1.2).

Las funciones aritméticas y de comparación requieren de dos datos de entrada. El acumulador proporciona una entrada, mientras que la segunda es transmitida a la ALU directamente por el canal de datos.

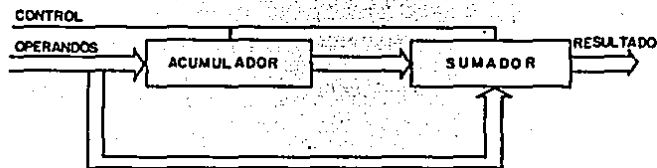


FIG 1.2) Forma básica de la ALU

La ALU no tiene capacidad de almacenamiento propia - pero se apoya en el almacenamiento provisto por el canal de datos (por ejemplo memoria) y el acumulador. Un microprocesador es de  $n$  bits si su canal de datos es de  $n$  bits de capacidad y su ALU está predeterminada para ejecutar operaciones con palabras de  $n$  bits.

El acumulador trabaja en conjunto con la ALU. Acepta datos del canal para las operaciones de la ALU y recibe sus resultados para que puedan ser regresados al canal.

#### 1.1.2 EL REGISTRO Y EL CONTADOR DE PROGRAMA

El registro es el elemento fundamental de la arquitectura del microprocesador. Es usado para almacenar una palabra de datos binarios y tiene una capacidad de 1 a 16 --- bits. Los datos son transferidos al registro donde permane--



cen mientras se mantenga la alimentación en el dispositivo.

Una vez que se introduzcan nuevos datos se sustituirán los datos iniciales. Un registro se distingue de la memoria principal porque no necesita direccionamiento para acceder sus datos. El registro consiste de un número de celdas de 8 ó 16 bits, cada celda está conectada a una línea de un canal. El movimiento de datos en un registro simplemente involucra la habilitación de celdas del registro para leerlos.

Un registro puede escribir en un canal al ser habilitado en la dirección opuesta. Los principales registros del microprocesador son bidireccionales. Un buffer es muy parecido a un registro, pero generalmente es usado para almacenar datos mientras se espera algún suceso de registro de tiempo. Por consiguiente, los datos se mueven a través de un buffer en una dirección. El movimiento de entrada y salida de datos de los registros y buffers es controlado a través de secciones de las instrucciones del microprocesador que se conocen como microinstrucciones.

El contador de programa (C.P.) es un registro de fundamental importancia. Mantiene la dirección de la siguiente instrucción que va a ser ejecutada por el microprocesador.

Su característica importante es que, cuando se activa agrega uno a su valor después de cada operación. Se usa para direccionar la memoria, para almacenar la dirección de memoria que está siendo leída o escrita y para ejecutar la secuencia de operaciones del programa que está realizándose.

Después de ejecutar la secuencia de operaciones del programa en memoria, el C.P. es automáticamente incrementado por la unidad. Al término de la instrucción, el C.P. se posiciona en la localidad de la siguiente instrucción o dato en la memoria.

La sencillez del funcionamiento del C.P. radica en que las instrucciones sucesivas de un programa son almacenadas siempre en orden ascendente en direcciones contiguas.

Con este modelo sólo se necesita establecer inicialmente el C.P. en un valor que represente la dirección de la primera instrucción del programa. Gracias a esto no es necesario un diseño elaborado para encontrar la localidad de la siguiente instrucción, ya que esta vendrá en la siguiente dirección.

### 1.1.3 REGISTRO DE INSTRUCCIONES, DECODIFICADOR Y UNIDAD DE REGULACION DE TIEMPO

El registro de instrucciones recibe el llamado código de operación (op code) y lo almacena hasta que se termina la instrucción. Este registro está directamente conectado al decodificador de instrucciones. Este decodificador interpreta el código de operación y junto con la unidad de regulación de tiempo gira las instrucciones detalladas a la ALU y a los otros registros.

La unidad de regulación de tiempo mantiene a todas las partes del microprocesador trabajando en sincronismo bajo el control de un cristal de cuarzo. Cada instrucción del microprocesador sigue una secuencia de operaciones reguladas -

por dicho cristal, que es exterior al circuito integrado.

El código de operación de ocho bits es descompuesto por el decodificador para generar un pequeño programa de acciones sucesivas que mueven y manipulan los datos a través de la ALU y los registros. Estas acciones son llamadas microinstrucciones y el programa, un microprograma. En algunos CPUs el microprograma puede ser modificado por el programador. En el tipo común de microprocesadores el microprograma de la unidad de control es una lógica determinada, establecida por el diseñador de chips e implementada en ROM, por lo que no es accesible al programador. De hecho, el microprograma es de muy poco interés práctico para el programador que sólo tiene que ver con los macroresultados de la instrucción y el tipo y número de instrucciones disponibles en el juego de instrucciones del microprocesador.

#### 1.1.4 REGISTROS DE STACK Y APUNTIADOR.

El stack es otra versatilidad de la programación proporcionada por la mayoría de los microprocesadores. Es un bloque de localidades de memoria contiguas que son usadas para almacenamiento temporal de datos.

Durante una interrupción - por ejemplo, cuando el microprocesador sale de un programa y atiende la rutina de interrupción - es necesario almacenar los contenidos del contador de programa y registro de trabajo. De esta forma el microprocesador podrá regresar al programa principal y co-

menzar en el punto donde fue interrumpido. El stack es un -- lugar conveniente para almacenar esta informacion y para recuperarla cuando se necesita. Este registro también es muy -- útil para manejar interrupciones con prioridad.

El apuntador es simplemente un contador que sigue la ruta de la dirección llamada "la cima del stack" (parte superior del stack). El apuntador siempre se queda señalando -- a la siguiente dirección de memoria en la que los datos pueden ser almacenados.

En muchos microprocesadores el stack está construido "hacia abajo" . Esto significa que la cima del stack inicialmente es la dirección más alta y al ir añadiendo otros datos ocuparán progresivamente direcciones inferiores.

Un uso importante que se le da al stack es para almacenar el valor del contador de programa cuando se llama a una subrutina. Las subrutinas son secciones de código usadas varias veces en un programa para realizar una tarea repetitiva, y pueden ser llamadas por una instrucción específica.

#### 1.1.5 REGISTROS DE ESTATUS

El registro de estatus del microprocesador también -- ha sido llamado el registro de banderas. Se basa en el principio de que sus bits individuales son indicadores o banderas que contienen la información importante. El contenido de este registro como una palabra completa carece de significado.

## 1.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS MICROPROCESADORES.

### 1.2.1 CARACTERÍSTICAS DE ARQUITECTURA ADICIONALES

Una característica que sirve para ahorrar tiempo, -- pasos de programación y memoria ROM es utilizar varios acumuladores o registros que mantengan los resultados parciales.

Otra característica valiosa es el tener puertos de -- entrada/salida múltiples o de propósito especial porque permiten comunicación con otros periféricos. En muchas aplicaciones también es importante el direccionamiento directo de memoria, ya que permite la comunicación directa con la memoria independiente de la unidad de control y el Programa de -- operación. De esta manera se ahorran tiempo y pasos de programación.

### 1.2.2 INTERRUPCIONES

En muchas aplicaciones de control es importante el -- prestar atención a los sucesos externos, por ejemplo, alarmas de condiciones anormales. Debido a que estos sucesos --- pueden causar la suspensión de un programa son llamados interrupciones. Existen varias maneras de manejar las interrupciones. La máquina puede estar programada para registrar --- sensores y para buscar sucesos en algún ciclo predeterminado. Este método es satisfactorio para aplicaciones tales como detectar el cierre de un interruptor o el cambio de estado de un relevador. Sin embargo, la respuesta al suceso puede ser lenta. Otra forma sería darle prioridad al suceso a -- través del programa básico. En este caso es importante guardar la dirección de la última instrucción a ejecutar para --

que así la máquina pueda regresar a la secuencia de programa después de haber atendido el suceso.

En los microprocesadores pueden existir niveles de prioridad múltiples o sencillos para las interrupciones.

### 1.2.3 DIFERENCIA ENTRE LAS COMPUTADORAS DE PROPOSITO GENERAL Y LOS MICROPROCESADORES CONTROLADORES

Una computadora pasa a ser un controlador cuando deja de ser un ordenador de propósito general y es usada de acuerdo con un programa prefijado para el control de algún dispositivo.

Mientras que una computadora es una máquina que procesa datos por medio de programas ideados por el usuario, el microprocesador es en cambio programado por el diseñador para que realice alguna tarea de control.

Las características más importantes que diferencian a los microprocesadores son:

SU ARQUITECTURA

SU ORGANIZACION DE MEMORIA

SUS INSTRUCCIONES

SU PROGRAMACION

SUS CARACTERISTICAS DE DISEÑO

SU ESTRUCTURA Y LONGITUD DE PALABRA

La organización global de un microprocesador controlador se asemeja mucho a la de otras computadoras. El microprocesador admite el programa de instrucciones a seguir de una memoria de acceso aleatorio (RAM) de lectura y escritura. El microprocesador ejecuta las operaciones lógicas y

aritméticas que le sean pedidas por la entrada de datos del exterior a través de los dispositivos de entrada/salida.

Los programas están almacenados en memoria solo para lectura (ROM) o en memoria RAM con alimentación de respaldo.

La longitud de palabra determina generalmente la exactitud de los datos, velocidad de cálculos, la cantidad de memoria o el intercambio entre estos factores.

El bit es el elemento básico de memoria para sistemas digitales. Una palabra consiste de  $n$  bits que pueden ser almacenados, transferidos y procesados por el microprocesador como una unidad. Para la mayoría de los microprocesadores el rango es de 4, 8 o 16 bits.

Mientras más bits tenga una palabra, más modos tendrá o lo que es lo mismo podrá transmitir mas información.

Por ejemplo una palabra de 8 bits puede tener de 0 a 255 datos o puede indicar hasta 256 localidades de memoria donde se encontrarán otros datos o instrucciones.

## **1.2 PROGRAMACION DE LOS MICROPROCESADORES**

### **1.2.1 EL HARDWARE Y EL SOFTWARE DE UN MICROPROCESADOR**

Se necesitan conocer estas dos ramas de la computación para poder aplicar un microprocesador al control de un proceso, y en este caso para controlar una válvula.

El hardware es el núcleo inalterable de circuitería electrónica, registros, sumadores y canales que son la parte material del microprocesador. El software, en cambio, es una lista de instrucciones que hacen que todo este hardware trabaje en conjunto para producir un resultado útil. Por esto -

se le ha llamado también la inteligencia de la computadora.

Por otro lado está el llamado firmware que es un programa de software puesto en una memoria ROM para que así nunca pueda ser cambiado. La diferencia entre software y firmware se ha hecho confusa por el aumento del uso en las memorias EPROM.

### 1.3.2 NIVEL DE SOFTWARE

El software es una estructura y se considera como un puente entre la mente humana y la máquina. El nivel de software está definido en la medida en que las instrucciones son entendibles para la máquina. Este nivel será más alto mientras un concepto se exprese más cerca del lenguaje humano -- que al mismo tiempo estará más alejado del lenguaje de máquina.

La tarea del microprocesador consiste en buscar y -- jalar una instrucción de la memoria, decodificar los caracteres digitales y ejecutar la operación. Luego procede a copiar la siguiente instrucción y hace lo mismo. De aquí que la máquina sólo entiende las instrucciones al nivel más elemental. Además, estos caracteres sólo son reconocidos como instrucciones cuando se le dice a la máquina que realmente lo son, de otra manera los podría tomar como datos. El código binario o su equivalente hexadecimal es por consiguiente el nivel más bajo conocido como código de máquina. Escribir software a otro nivel requiere pasos adicionales para adecuar las instrucciones a ese nivel.



### 1.3.2 LENGUAJE ENSAMBLADOR

Un lenguaje de ensamblador es un juego de mnemónicos (abreviaturas) que representan instrucciones para la máquina. Este lenguaje es más allegado a la máquina en su ejecución paso por paso y puede reducir la cantidad de memoria requerida y acelerar la ejecución del programa. Para poder codificar eficazmente el lenguaje ensamblador se requiere más conocimiento de las propiedades de la máquina.

El código de ensamble puede ser traducido a código de máquina a mano -una tarea pesada y laboriosa- pero también existe un programa de computadora llamado ensamblador que ejecuta esta traducción para ahorrar trabajo. Con este programa se pueden escribir programas de aplicación en mnemónicos y después pasarlos a la computadora para su traducción.

El programa de lenguaje ensamblador se conoce como programa fuente que, después de la traducción al código de máquina es llamado programa objeto. Los mnemónicos de lenguaje ensamblador no están estandarizados para todos los microprocesadores. Al contrario, cada fabricante hace sus propias variaciones.

Para cada microprocesador existe un mnemónico de ensamble correspondiente a cada tipo de instrucción.

### 1.3.3 ALGORITMOS, DIAGRAMAS DE FLUJO Y PROGRAMAS

Dentro del software, los términos de algoritmos, diagramas de flujo y programas son muy conocidos, y es necesario manejarlos para hacer que el microprocesador ejecute la fun-

ción que se desea.

Un algoritmo es un procedimiento preciso, paso por paso, para resolver un problema, y debe contener los siguientes puntos:

- a) Debe ser una lista finita y precisa de las instrucciones para resolver el problema.
- b) Debe funcionar para todos los problemas de la misma clase sin importar la entrada.
- c) Puede ser iterativo, pero el número de iteraciones no se conoce si no se han definido las entradas.

El diagrama de flujo es un gráfico, donde por medio de bloques y flechas, se representa la secuencia lógica de ejecución para resolver el problema. A partir de este diagrama se obtiene el programa, que es la lista de instrucciones que seguirá el microprocesador para ejecutar la tarea que se le asigna.

#### 1.4 APLICACIONES ESPECIFICAS DE LOS MICROPROCESADORES

Además de que los microprocesadores pueden realizar funciones de procesamiento y control tienen la característica adicional de que son programables. De hecho se pueden considerar como bloques que tienen una función de transferencia que se define por medio del software. Al ir leyendo cada instrucción, el microprocesador se dispone a ejecutar una nueva función.

Así como cualquier otro diseño, la aplicación del microprocesador, requiere como primer paso el entendimiento del problema que se va a resolver. Es decir, el planteamiento

to de la situación con sus características y restricciones.

Después se hace un análisis de la naturaleza de la aplicación. Esto consiste en dar un acercamiento a la solución estableciendo la forma en que se van a medir las variables, los medios para el control de dichas variables y el uso que se le va a dar al controlador programable. Es aquí donde se deben hacer las consideraciones de diseño.

Al terminar lo anterior es necesario hacer un diagrama de flujo de la solución, que servirá como guía para formular el programa de control. El sistema de control leerá las variables y tomará las acciones correctivas necesarias de acuerdo a lo establecido en el diagrama de flujo.

El controlador consistirá por lo menos de un circuito microprocesador y uno de memoria para mantener el programa de control y los datos leídos por los dispositivos de medición. Además de algunos dispositivos de Entrada/Salida para comunicarse con los transductores (de nivel, presión, o temperatura) y con los controladores (actuadores o relevadores).

Frecuentemente se debe tomar una decisión para saber cual es el mejor microprocesador para un propósito específico, por supuesto que no hay una respuesta sencilla para todas las aplicaciones, ya que cada dispositivo tiene características y costos individuales que los hacen más idóneos para un trabajo u otro. Se debe considerar el número de bits, la capacidad de direccionamiento, la velocidad de ejecución, y otros criterios que incluyen la versatilidad del juego de

instrucciones y la habilidad para manejar la memoria eficientemente. La manera más segura de evaluar un microprocesador es probarlo para la aplicación en cuestión.

Los siguientes puntos también se deben tomar en cuenta para las aplicaciones de los microprocesadores:

- \* En una aplicación específica las familias de circuitos integrados determinan a menudo si un microprocesador funcionará o no. Estas familias son las diseñadas para trabajar con el microprocesador, o sea las memorias RAM, ROM, - PROM, así como unidades de regulación de tiempo e interfases.

- \* No hay necesidad de usar microprocesadores con una capacidad que exceda a la requerida para hacer un trabajo -- determinado. Ya que el sobre-desempeño incrementa el costo de hardware.

#### 1.4.1 APLICACIONES AL CONTROL DE PROCESOS INDUSTRIALES

Un sector en el que los microprocesadores han tenido un mayor impacto es en el control de procesos industriales.

Este involucra en primer lugar la medición de las -- variables del sistema - como la presión, el nivel, la temperatura, el PH de una sustancia o la velocidad de un motor - y después, el ajuste del sistema cuando el valor de cada variable se iguala a su punto de ajuste correspondiente. El -- controlador debe mantener cada variable lo más apegada a este punto de ajuste y compensar cualquier cambio en el sistema de la manera más rápida y exacta posible.

## **CAPITULO II**

### **FUNDAMENTOS DEL CONTROL DE PROCESOS**

## 2.1 INTRODUCCION

Existen tres conceptos básicos que intervienen en cualquier proceso y que son necesarios para entender el control automático de procesos. El primer concepto es la variable controlada (VC), que es la condición que el operador desea mantener a un nivel deseado. Puede ser un valor de flujo, nivel, presión, temperatura o composición química. Para cada una de estas variables controladas se establece un valor de referencia llamado punto de ajuste (PA).

El segundo concepto es la variable manipulada. Generalmente es un flujo que se maneja a través de alguna válvula de control. Por último, está la llamada perturbación que al entrar al proceso tiende a alejar a la VC del punto de referencia. La tarea del controlador es ajustar el estado del proceso manejando la variable manipulada de tal modo que se contrarresten los efectos de las perturbaciones. FIG 2.1)

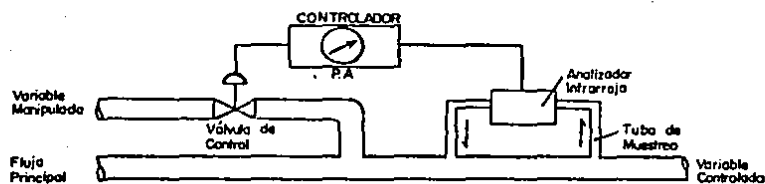


FIG 2.1) Sistema automático de control  
(Controlador de composición química)

A la VC también se le llama variable de proceso. La diferencia entre la variable de proceso (VP) y el punto de ajuste es lo que se conoce como error:

$$\text{ERROR} = \text{Variable de proceso} - \text{punto de ajuste}$$

Para poder ajustar la variable manipulada, el controlador actúa sobre este error y envía la señal al elemento final de control - generalmente una válvula - para que se lleve a cabo la acción correctiva. Esto se logra porque la variable del proceso se modifica en el sentido opuesto que indica el PA y se reduce el error. Al aplicar el microprocesador como controlador es importante considerar lo siguiente:

"Para el control de una variable de proceso independiente hay que llegar primero a los algoritmos implementados normalmente en un controlador de proceso, y describir el comportamiento dinámico del proceso controlado. Después es necesario traducir las descripciones analógicas (funciones continuas de las variables) a algoritmos digitales. Por último ilustrar como puedan ser implementados en un microprocesador en particular." (1)

## 2.2 LAZOS DE CONTROL ABIERTO Y CERRADO

Es conveniente clasificar a los sistemas de control en estas dos categorías. En el control de lazo abierto (CLA) no hay sensores ni elementos que indiquen los valores de la variable de proceso. El control se establece a partir del punto de ajuste sin importar lo que suceda a la variable de proceso ni al proceso en sí. Este tipo de control manual puede ser suficiente en muchos casos de procesos elementales con un comportamiento lento, en los que no se requiere gran exactitud o en los que las perturbaciones son relativamente pequeñas.

-----  
(1) Bibbero Robert J. "Microprocessors in instruments and control"

El sistema de CLA no puede considerar las perturbaciones de la variable controlada. El sistema de control de lazo cerrado (CLC) se diferencia básicamente del sistema de CLA en que el flujo de energía o material al proceso es gobernado por la medición de la condición real del proceso.

La manera más sencilla de automatizar el control de un proceso es por medio del CLC, también llamado control de retroalimentación. Para esto son instalados sensores que detecten los valores de las variables controladas. FIG 2.2)

Estos valores son transmitidos al controlador para compararlos con sus puntos de ajuste y determinar el error.

Después, el controlador actúa para corregir el error calculando las señales que reflejan los valores requeridos de las variables manipuladas. Estas señales se transmiten para ajustar las válvulas de control que manipulan las entradas al proceso en una dirección que disminuya el error.

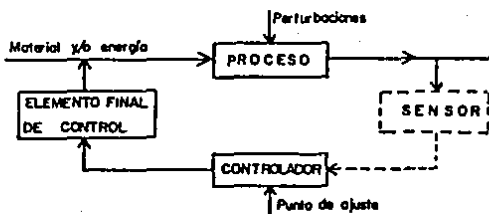


FIG 2.2) Diagrama de bloques de un sistema de CLA. Si se añade el sensor, se cierra el ciclo y se forma un sistema de CLC.



## 2.2 MODOS DE CONTROL

### 2.2.1 LOS CONTROLADORES

El controlador es una calculadora de propósito específico que utiliza como entrada la señal de error del comparador y detecta los cambios repentinos en la variable manipulada.

Los controladores generalmente están clasificados de acuerdo a la fuente de poder que usan. Esta puede ser electrónica, neumática, mecánica o hidráulica. En los últimos años los controladores básicos utilizados en la mayoría de las aplicaciones han sido electrónicos o neumáticos.

Las ventajas importantes de los controladores neumáticos son su seguridad intrínseca y su simplicidad. Sin embargo, las señales electrónicas también tienen sus ventajas debido a la sencillez de su transmisión y manejo. Esto se destaca más cuando la instrumentación involucra un importante hardware digital.

### 2.2.2 MODOS DE CONTROL

Los sistemas de control retroalimentado deben ser diseñados tomando en cuenta a todos los componentes del lazo de control. Sin embargo, es de mayor consideración la forma en la que va a responder el controlador cuando se detecte un error, es decir, el modo de control que se va a escoger.

Los controladores están contruidos para operar de varias maneras, cada una tiene su función característica en el desempeño del sistema. Para seleccionar el modo de control adecuado a una aplicación, es necesario conocer sus ca-

racterísticas generales.

### 2.3.2.1 Control encendido- apagado (on-off)

El control de dos posiciones (on-off) entra en la categoría del control discontinuo. En él se considera que el elemento final de control tiene sólo dos estados: completamente abierto o completamente cerrado. Este es el tipo de control más ampliamente usado en el servicio industrial. Se considera el más simple, confiable y económico en cuanto a su funcionamiento.

En este modo de control la variable manipulada es rápidamente cambiada a un valor alto o bajo, dependiendo si la variable de control es mayor o menor al punto de ajuste.

En los controladores de dos posiciones es necesario establecer la llamada zona neutral, que es una región de valores que abarcan al punto de ajuste. Si la variable de control no sale de esta zona, no se tomará ninguna acción de control. Esto es para evitar que con desviaciones pequeñas del PA el controlador se esté disparando continuamente de manera innecesaria haciendo al proceso muy inestable.

El control on-off es oscilatorio por su naturaleza; pero para muchos sistemas la amplitud de tal oscilación puede ser bastante pequeña. La desventaja del controlador on-off es que no toma en cuenta la magnitud de la señal de error. La acción correctiva es la misma para errores grandes o pequeños.

Si se trata de seleccionar un modo de control para un problema real, se empieza con el control on-off y sólo se

va a uno más complicado si el primero no demostrara ser recomendable.

### 2.2.3.2 Control excepcional

Este es el modo básico de control continuo y es un refinamiento del control on-off, en el que la salida del controlador es proporcional a la magnitud del error.

El control proporcional se puede encontrar solo o en conjunto con otros modos de control. Existen otros nombres para definirlo, como control de correspondencia, control modulante y control de decaimiento.

Para establecer el control proporcional se necesita fijar manualmente una posición de la válvula que corresponda al error cero, bajo condiciones normales de proceso. El controlador se encargará de cerrar la válvula proporcionalmente al error positivo y de abrirla proporcionalmente al error negativo.

La ley de control para el modo proporcional es:

$$V = K \cdot E + M$$

Donde E error

K ganancia del controlador

M posición constante de la válvula cuando E=0 (también llamado reajuste manual)

El diagrama de bloques del control proporcional es el siguiente:



La ganancia K indica el cambio en la apertura de la válvula por unidad de cambio en la señal de error. Equivale a la amplificación que puede ser ajustada por el operador.

El mecanismo de ajuste de ganancia en muchos controladores industriales está expresado en términos de banda --- proporcional (BP). Esta se define como el cambio porcentual en error, requerido para causar el cambio completo en la posición de la válvula. Por lo tanto, a una banda proporcional grande le corresponde una sensibilidad proporcional pequeña y viceversa.

La relación entre ganancia y banda proporcional es:

$$\% BP = 100/K$$

El controlador proporcional es simple y es el más --- fácil de sintonizar de los controladores continuos. Sus ventajas son la respuesta rápida y la buena estabilidad. Su --- desventaja es que presenta una diferencia ---llamada error --- residual (offset)--- entre el punto de ajuste y el valor --- efectivo de la variable controlada. FIG 2.3)

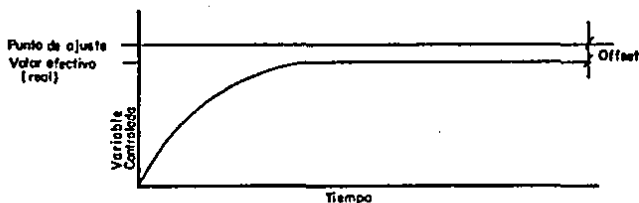


FIG 2.3) Gráfica que muestra el offset

### 2.2.2.3 Control integral

Existen otros modos de control que pueden sustituir o añadirse al control proporcional cuando éste no puede disminuir el error lo suficiente para cumplir con las especificaciones. Uno de estos modos de control es el control integral y consiste en una integración de la señal de error que viene del comparador. La variable manipulada será proporcional a dicha integración. El efecto será una rápida respuesta correctiva al aumentar las desviaciones. La ventaja de este control es que corrige el offset.

### 2.2.2.4 Control derivativo

El control derivativo debe ser combinado con otro modo de control como el proporcional. La razón es que el modo derivativo puro no genera acción correctiva si el error no cambia aunque sea muy grande. El principio del control derivativo se basa en la razón de cambio de la señal de error.

Al añadir la acción derivativa al controlador se le agrega un efecto de adelanto para compensar el atraso del lazo de control. Sin embargo, es una acción de control difícil de implementar y sintonizar. Su uso está limitado a casos en los que hay un exceso de atraso en el proceso.

En el diagrama de bloques, la entrada al controlador es una señal de rampa. (FIG 2.4).

Al observar la salida se ve que el tiempo derivativo es un ajuste de la cantidad de adelanto especificada. El tiempo derivativo se ajusta en el controlador.

El agregar la acción derivativa hace que el lazo de

control sea más estable siempre y cuando esté bien sintonizada. La ventaja de este control es que también disminuya el offset.

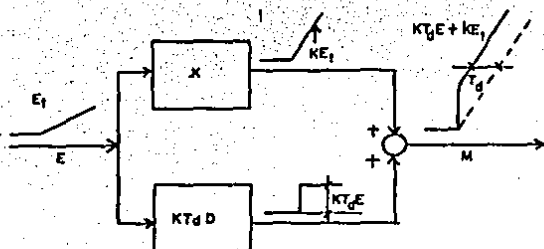


FIG 2.4 Control P-D con entrada rampa

### 2.3.2.5 Control proporcional-integral (P-I)

El control integral generalmente está combinado con el control proporcional, formando un controlador de dos modos. A esta combinación se le llama control proporcional-integral (PI). Cada uno de los modos de control tiene su propia característica; sin embargo, la salida del controlador es la suma de ambos. FIG 2.5)

Sintonizar un controlador PI es más difícil que sintonizar un controlador proporcional sencillo, puesto que se tendrán dos ajustes de sintonía y uno depende del otro. Para algunos controladores integrales el parámetro ajustable es el tiempo de reajuste, y para otros es el recíproco (repeticiones/min.).

La ventaja de conjugar estos modos de control es que se corrige el offset. Sin embargo, la adición de la acción integral hace que el lazo de control sea un poco menos estable.

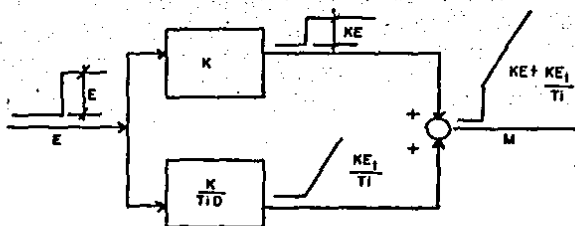


FIG 2.5 Control P-I con entrada escalón

### 2.3.2.6 Control proporcional-integral-derivativo (PID)

Este es el controlador continuo más complejo disponible. Por lo tanto su ley de control es la más complicada. No obstante, es ampliamente utilizado en procesos industriales por su gran versatilidad. Para operar, estos controladores generalmente se basan en principios neumáticos o eléctricos.

Su funcionamiento es como sigue:

El controlador compara la variable controlada con el punto de ajuste, genera la señal de error y luego calcula la derivada y la integral de dicha señal. Después suma estos cálculos con una señal proporcional al error. Finalmente multiplica el conjunto por la ganancia ( $K$ ), generando una

sola salida (neumática o eléctrica).

Su ley de control es:

$$M = K (TdD + I + 1/TiD) E$$

Donde M = Salida del controlador

K = Ganancia proporcional

Td = tiempo derivativo

D = derivada con respecto al tiempo

I = tiempo de integración

E = Señal de error

En este tipo de controladores se puede ajustar la banda proporcional (BP), el tiempo derivativo y el tiempo de integración.

Como ventaja, proporciona una rápida respuesta y no muestra offset; pero es muy difícil de sintonizar. Esto se debe a que tiene tres parámetros para ajustar.

El control proporcional-derivativo (PD) y el proporcional-integral (PI) son casos particulares del control PID y sus leyes de control respectivas son:

$$M = K (1 + TdD) E \quad (PD)$$

$$M = K (1 + 1/TiD) E \quad (PI)$$



## CAPITULO I.II

### INTRODUCCION A LAS VALVULAS DE CONTROL

### 3.1 INTRODUCCION

Una válvula de control es un dispositivo capaz de -- controlar el paso de un fluido, dejando pasar solamente la -- cantidad requerida. Se han desarrollado una gran variedad de válvulas de acuerdo al fluido, la temperatura, la presión, y el control que se desea ejercer sobre dicho fluido. Debido a esto es necesario hacer una selección de la válvula que proporcione el mejor servicio.

La salida del controlador es una señal para el elemento final de control, que gobierna a la variable manipulada. En la gran mayoría de las aplicaciones de control de --- procesos el elemento final de control es una válvula. De --- aquí que sea una pieza tan importante dentro de esta área.

### 3.2 VALVULAS DE CONTROL Y ACTUADORES

Una válvula de control está formada por la parte inferior o cuerpo de la válvula y la parte superior o actuador. El actuador es el dispositivo que proporciona la fuerza motriz a la válvula. Ambos están acoplados por medio de sus vástagos correspondientes.

Las válvulas están clasificadas de acuerdo al tipo de cuerpo de la válvula y a las características de flujo, -- mientras que los actuadores se clasifican de acuerdo a su -- fuente de poder. Existen muchas variaciones y combinaciones de válvulas y actuadores en la industria.

Las válvulas se pueden clasificar de la siguiente -- manera:

- 1) Válvulas de control con vástago de movimiento lineal

2) Válvulas de control rotatorias

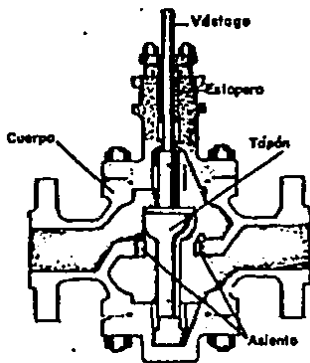
3) Válvulas de control de bola

### 3.2.1 CUERPO DE LA VALVULA

En la figura 3.21) se ilustran las distintas partes del cuerpo de una válvula. Existen algunas piezas que no forman una sola unidad con el cuerpo en sí, como son el asiento sobre el que sella el tapón, las piezas que sirven de guía a la parte móvil y algunas piezas que forman parte del estopero.

Estas piezas, junto con la parte móvil, forman lo que se conoce como interiores de la válvula, que pueden ser de un material diferente al del cuerpo de la válvula.

FIG 3.21)  
Válvula de control  
con las partes del  
cuerpo.

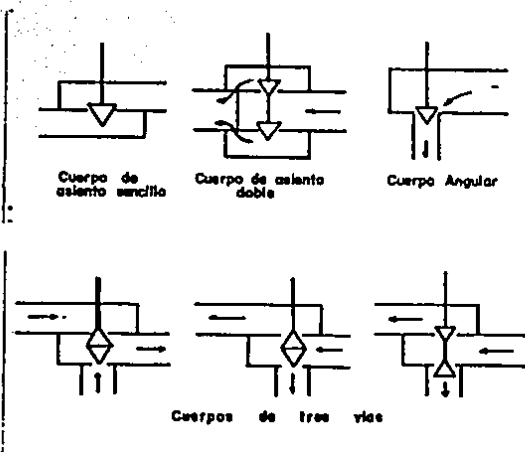


Los cuerpos de las válvulas se pueden clasificar de la siguiente manera: Fig.3.22)

a) Cuerpos de asiento sencillo

- b) Cuerpos de asiento doble
- c) Cuerpos angulares
- d) Cuerpos de tres vías

FIG 3.22)  
Clasificación de  
los cuerpos de  
las válvulas



### 3.2.2.2 ACTUADOR

Las válvulas de control están operadas por accesorios llamados actuadores. El actuador se utiliza para transformar la señal de salida del controlador a una posición del vástago de la válvula.

Los actuadores se pueden clasificar en:

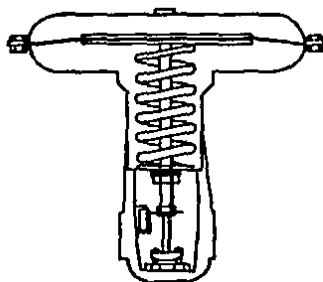
- a) Actuadores neumáticos
- b) Actuadores eléctricos
- c) Actuadores hidráulicos

Los actuadores comúnmente más utilizados son neumáticos. Los actuadores eléctricos no son muy aceptados por su costo y complejidad, mientras que los hidráulicos son

usados básicamente en áreas donde no hay aire como fuente de poder disponible.

En el actuador neumático se trata de que a cada valor de la presión recibida corresponda una posición determinada del vástago. Este actuador está provisto de un diafragma --hecho de un material flexible-- que está soportado por un resorte en sentido opuesto a la presión del aire motriz, fig.3.23). De este modo la posición del vástago de la válvula es proporcional a la presión del aire.

FIG 3.23)  
Actuador neumático  
de diafragma



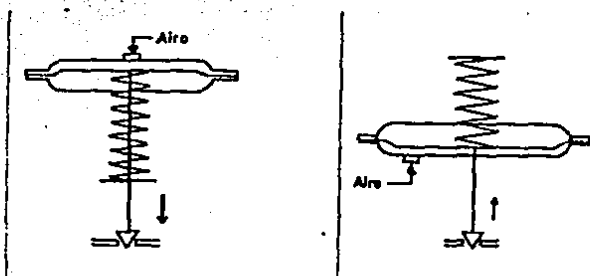
El actuador no tiene ajuste de amplitud. Sin embargo cuenta con un ajuste de cero; es posible modificar la posición del vástago que corresponda a una presión de aire determinada.

Esto se logra moviendo el tornillo de ajuste para dar una mayor o menor compresión al resorte. Este ajuste se llega a hacer con la válvula ya instalada para contrarrestar el efecto de la caída de presión a través de ella.

En el punto en que se une el vástago del actuador -- con el cuerpo de la válvula hay un disco que indica sobre -- una pequeña escala la posición que tiene el tapón.

Existen dos tipos de actuadores neumáticos: el de -- acción directa y el de acción inversa. En el primero cuando la presión aumenta el vástago baja; mientras que en el se--gundo el vástago sube, (fig 3.24). El tipo de acción se selec--ciona de acuerdo a la posición de seguridad que convendría -- que la válvula tomara, si llegara a faltar el aire a presión.

FIG 3.24 )



a) Actuador de acción directa

b) Actuador de acción inversa

### 3.2.3 POSICIONADOR

Un posicionador es un accesorio que transmite una -- presión de carga al actuador para colocar el tapón de la -- válvula exactamente en la posición que fue establecida por -- la señal del controlador.

Al usar un posicionador, la presión del controlador no es recibida por la válvula, sino por el posicionador. Este último recibe además una señal de retroalimentación que -- indica la posición del vástago, (fig.3.25). Después hace una

comparación entre estas dos señales. Si no hay correspondencia entre ellas, el posicionador manda a la válvula la presión de aire necesaria para que la haya, es decir, para que la válvula tome la posición que debe corresponder a la presión que está enviando el controlador.

De este modo la posición del tapón puede ser fijada con precisión.

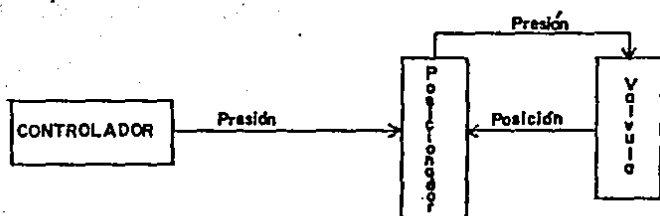


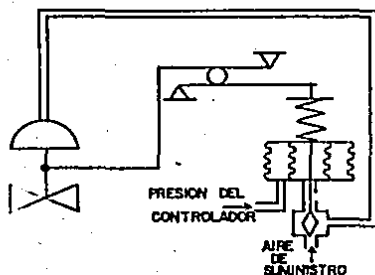
FIG 3.25) Diagrama de bloques del posicionador

La presión que el posicionador envía a la válvula es la necesaria para obtener la posición acorde a la salida del controlador. De modo que dicha posición se haga independiente de los valores que puedan tener las demás fuerzas que actúan sobre la parte móvil.

El posicionador se basa en el principio del equilibrio de fuerzas: las dos señales recibidas por él son transformadas en fuerzas para poder ser comparadas. Cuando se da alguna diferencia entre dichas fuerzas se modifica la posición de la válvula en la dirección necesaria para restablecer el equilibrio, fig.3.26).

Con el posicionador se pueden obtener otros resultados útiles como disponer de mayor potencia y rapidez de respuesta, mejorando así el comportamiento estático y dinámico de la válvula.

FIG 3.26)  
Esquema del funcionamiento del posicionador.



Las gamas usuales de los posicionadores son 3 a 9, 9 a 15, 3 a 15 y 6 a 30 lb/plg<sup>2</sup>. Por ejemplo, si la gama de un posicionador es de 3 a 9 lb/plg<sup>2</sup> significa que al recibir -- 3lb/plg<sup>2</sup> haría que la válvula tomara una de sus posiciones -- extremas, y al recibir 9 lb/plg<sup>2</sup> haría que tomara su otra -- posición extrema.

Existen también posicionadores de acción inversa, es decir, la presión de salida del posicionador disminuye cuando la presión del controlador aumenta.



### 3.2 CLASIFICACION DE LAS VALVULAS DE CONTROL

#### 3.2.1 VALVULAS DE CONTROL CON VASTAGO DE MOVIMIENTO LINEAL

En este tipo de válvulas el tapón es posicionado por el vástago que se desliza libremente a través del prensaestopas.

Estas válvulas pueden ser de asiento sencillo, doble o de compuerta, y abarcan tres categorías de acuerdo a sus características de flujo. Para hablar de estas categorías es necesario definir la llamada sensibilidad(\*), que es la variación en el flujo para un cambio determinado en la posición de la válvula.

Atendiendo a esto, las categorías son:

1) Sensibilidad decreciente. En este caso, la sensibilidad de la válvula decrece con el incremento de flujo.

2) Característica lineal. Para esta característica la sensibilidad de la válvula es más o menos constante a través del rango de flujo.

3) Sensibilidad creciente. La sensibilidad para cualquier valor de flujo es un porcentaje constante de dicho valor de flujo. El ejemplo más común es la válvula de igual porcentaje.

(\*) Particularmente existe la sensibilidad unitaria que es el cambio sufrido por el flujo, expresado como porcentaje del flujo que había antes del cambio cuando el tapón sufre un desplazamiento del 1% de su carrera.

Estas categorías mencionadas constituyen un marco general de las diferentes válvulas existentes. Las válvulas de control con vástago de movimiento lineal tienen diferentes clases de cuerpos; el más común es el tipo globo. Estas válvulas pueden ser de asiento sencillo o de asiento doble.

Las válvulas de asiento sencillo son comúnmente empleadas en aplicaciones que requieren un cierre hermético, o para diámetros pequeños. Las de asiento doble, en cambio, no proporcionan un buen cierre. Sin embargo reducen el efecto de la fuerza que tiende a levantar el tapón por la diferencia de presión de la entrada y la salida. Es por esto que las válvulas de asiento doble pueden controlarse con un actuador de menor fuerza.

También existen válvulas con vástago de movimiento lineal con cuerpos de tres vías. Estas pueden usarse para desviar o combinar flujos.

### 3.3.2 VALVULAS DE CONTROL ROTATORIAS

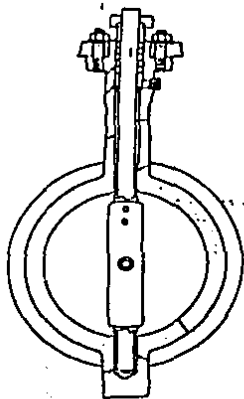
Reciben este nombre debido a que su operación de cierre o apertura se realiza al hacer girar su flecha o vástago.

Algunas de las ventajas que presentan son: su bajo peso, sencillez de diseño, relativos altos valores de flujo, y bajo costo inicial.

La más común de las válvulas de control rotatorias es la de mariposa, (fig 3.31) que se usa en medidas que van desde 2 hasta 36 pulgadas de diámetro. Esta válvula posee

además la ventaja de que ocupa mucho menos espacio que otras válvulas equivalentes. Generalmente se utiliza en aplicaciones que involucran grandes flujos pero con una caída de presión limitada.

FIG 3.31) Válvula de mariposa.



Otro tipo de válvula con flecha rotatoria es la de tapón cilíndrico que es una modificación de la válvula macho.

Especialmente se utiliza si se emplean líquidos corrosivos, líquidos viscosos o sólidos suspendidos, por lo que sirve para un gran porcentaje de las demandas del control de procesos.

### 3.3.3 VALVULAS DE BOLA

Existen dos tipos de válvulas de control de bola. Uno de ellos incluye una esfera con un canal que la atraviesa y se le llama válvula de bola de tipo completo. El segun-

do tipo utiliza un segmento esférico hueco, o una parte de bola que está sostenida por flechas, y se le conoce como válvula de bola característica, fig 3.32). Ambos tipos de válvulas se accionan con un cuarto de vuelta. Estas válvulas se utilizan mucho para manejar líquidos en suspensión y también proporcionan un cierre seguro. Además tienen la más alta capacidad de flujo de todas las válvulas de control más comunes.

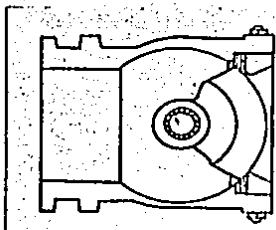


FIG 3.32 Válvula de bola característica

### 3.4 CARACTERÍSTICA DE UNA VALVULA

Se le llama así a la forma en que va cambiando el valor del flujo conforme el tapón de la válvula se mueve a lo largo de su carrera. Esta característica puede quedar representada por medio de una gráfica.

Por ejemplo, a una válvula de característica lineal le corresponde la gráfica de la fig 3.41). En ella el flujo y la abertura de la válvula están indicados como porcentajes de los valores máximos respectivos.

Aun cuando la característica inherente de una válvula sea lineal, su característica efectiva, que es la impor-

tante en la práctica, pueda no serlo. Para obtener una característica efectiva aproximadamente lineal es necesario usar una válvula que tenga una característica inherente (fig 3.42 línea A) tal que al deformarse proporcione una línea característica efectiva semejante a la línea b.

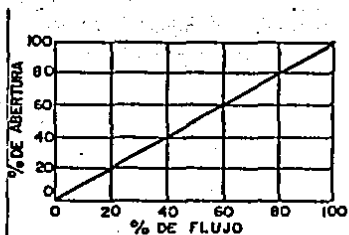


FIG 3.41) Válvula de característica lineal.

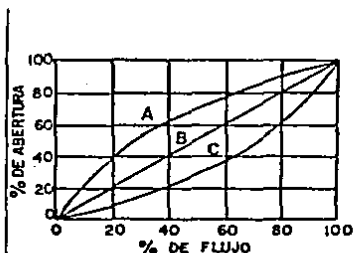
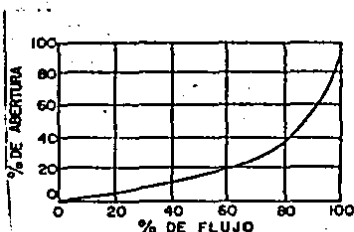


FIG 3.42)

Para una válvula de apertura rápida se obtiene una gráfica como la de la fig 3.43) en la que a sólo una abertura del 20% le corresponde un valor de flujo del 60%.

FIG 3.43) Característica de una válvula de apertura rápida.



La característica de igual porcentaje corresponde a una línea semejante a la línea A de la fig 3.42. En este tipo de característica cuando el tapón realiza un desplazamiento con un valor determinado, el cambio sufrido por el flujo representa un porcentaje fijo del flujo que había antes del desplazamiento. Por ejemplo, cuando el tapón realizara un desplazamiento del 15% el flujo sufriría un aumento del 54% independientemente de que el tapón pasara, por ejemplo, del 30 al 40 % de abertura, o del 70 al 80 %.

Existe una infinidad de líneas que dan característica de igual porcentaje. La forma usual de diferenciarlas consiste en mencionar la relación que hay entre el flujo mínimo y el máximo. Generalmente una válvula no se ajusta al comportamiento teórico a lo largo de toda su carrera, por lo que la línea característica real se aparta de la teórica.

### 3.5 RELACION DE GAMA

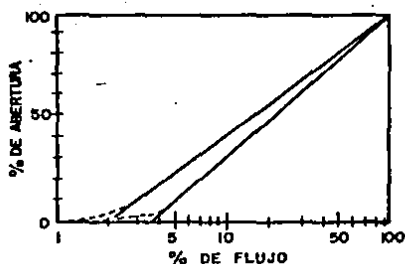
Se le llama así a la relación entre el flujo máximo controlable y el flujo mínimo controlable. Estos flujos son aquéllos que corresponden a los extremos de la zona dentro de la que se mantiene una característica particular. Por ejemplo para la fig 3.51) la curva se desvía muy poco de la línea recta al principio de la carrera, y se dice que la relación de gama de las válvulas es de 100/2 y 100/3 respectivamente. La definición de relación de gama es aplicable también a las válvulas de característica lineal.

Selección de la característica.

Aun cuando para todas las aplicaciones hubiera siem-

pre una válvula con característica efectiva lineal, esta no siempre es la más adecuada. La característica adecuada queda determinada por las especificaciones del proceso por controlar y por los valores que se desean obtener para la variable controlada.

FIG 3.51)



### 3.6 SELECCION Y DIMENSIONAMIENTO DE VALVULAS DE CONTROL

Es necesario tomar en cuenta muchos factores importantes en la selección de una válvula de control. Entre estos están:

- a) La relación de gama (alcance) del proceso y el grado máximo de flujo que requiere el proceso.
- b) La caída de presión en el máximo y mínimo flujo.
- c) La naturaleza y condición del fluido que circulará a través de la válvula.

El alcance de la válvula de control deberá tener un margen de seguridad por encima del alcance del proceso.

Además de que las válvulas de control deben tener suficiente alcance, deben ser capaces de regular flujos que

estén por debajo del mínimo requerido para el proceso. Por otro lado el valor máximo de flujo a través de la válvula -- debe exceder el límite requerido en el proceso.

La caída de presión en una válvula afecta tanto al -- dimensionamiento como a la naturaleza de su comportamiento -- dinámico. Por otro lado el tamaño adecuado de una válvula es muy importante para la operación de retroalimentación del -- sistema de control.

Si la válvula seleccionada es demasiado grande, tenderá a operar con una ligera abertura y el flujo mínimo controlable será muy elevado. Además, la parte más baja de la -- curva de característica de flujo no será uniforme. Por otro lado si la válvula es de un tamaño menor al requerido, no se podrá conseguir el flujo máximo necesario.

### 3.6.1 COEFICIENTE DE LA VÁLVULA (CV)

El flujo máximo que puede haber a través de una válvula determinada (flujo con abertura completa) depende de la diferencia que haya entre las presiones de entrada y de salida así como de las características del fluido que se está -- manejando.

Se conoce como coeficiente de la válvula (CV) al valor del flujo de agua en galones por minuto cuando la diferencia de presiones es 1 lb/plg<sup>2</sup> a través de una válvula totalmente abierta. El valor de este flujo es una indicación -- de la capacidad de la válvula.

Este coeficiente es muy importante ya que si se conoce se puede predecir el flujo que habría para otras condi-



ciones diferentes a las mencionadas. De manera contraria, si se conocen las condiciones, se puede determinar el valor --- conveniente para Cv por medio de las siguientes fórmulas:

Para líquidos incompresibles:

$$Cv = V \sqrt{\frac{G}{\Delta P}}$$

donde: V = Flujo máximo en galones por minuto  
 $\Delta P$  = Caída de presión a flujo máximo en lb/plg<sup>2</sup>  
G = Gravedad específica del agua en condiciones estándar  
Cv = Coeficiente de la válvula

En la fórmula anterior se necesitan hacer correcciones para temperatura (si ésta excede los 350 F (177 C)) o también si la viscosidad es mayor a 20 centistokes. Por otro lado, existen otras fórmulas para determinar el coeficiente Cv cuando se trata de gases, vapores, o de mezclas líquido-gas.

El dimensionamiento de una válvula de control se --- puede hacer mediante el uso de calculadoras programables, -- programas de computadora y también mediante el uso de nomogramas.

Una vez que se ha establecido el flujo máximo y se - ha seleccionado la caída de presión que conviene que haya a través de la válvula para dicho flujo, queda determinado el valor adecuado del coeficiente Cv. El flujo máximo está dado por las necesidades del proceso.

Generalmente se considera un flujo máximo igual al - máximo requerido por el proceso, incrementado más o menos un 25% para evitar que la válvula opere muy cerca del 100% de - abertura. No obstante, se debe verificar que no se haya ---

aplicado con anterioridad otro factor de seguridad que daría como resultado una válvula demasiado grande. La caída de presión a través de la válvula puede ser seleccionada arbitrariamente dentro de cierto rango. Esto se hace, cuando por ejemplo, la válvula está conectada en serie con otras resistencias, en este caso la caída mencionada determina el tamaño de la válvula.

Lo usual en un proceso es que el flujo necesario de control sea menor que el máximo, o sea que la válvula debe operar normalmente a menos de 100 % de abertura. Si la válvula fuera muy grande, tendría que cerrar demasiado para producir la reducción de flujo necesaria. Cuando una válvula funciona demasiado cerrada se produce un desgaste mayor en los taponex y asientos. Además se pierde exactitud en el control.

En resumen, el procedimiento para seleccionar las dimensiones de una válvula de control consiste en seleccionar la caída de presión a través de la válvula, a flujo máximo, calcular el valor del coeficiente  $C_v$  y buscar una válvula que tenga ese coeficiente. En muchos casos dicha válvula no existirá por lo que hay que decidir entre el tamaño inmediato inferior o superior. Como regla general, las dimensiones de las conexiones de la válvula resultan menores que las de la tubería. Si no es así, conviene hacer una revisión del problema.

Además de la capacidad y del tipo de característica, la selección de una válvula incluye otros puntos como el ma-

terial de que esta hecho el cuerpo, el número de asientos, la forma de los tapones, características del actuador y --- otras más.

Ya se mencionaron los principios básicos del dimensionamiento, sin embargo, en la práctica es mucho más complicado de lo establecido aquí.

### 3.7 FALLAS DE SUMINISTRO DE ENERGIA

Es inevitable que el suministro de potencia falle de vez en cuando en una unidad de proceso operando. Esto produce una falla de suministro de potencia para las válvulas de control.

En general hay tres posibles modelos que se pueden dar en fallas de potencia:

- 1) La válvula de control puede fallar abierta, esta condición se conoce como "abierto".
- 2) La válvula puede fallar al mantener la posición -- que tenía al último. Esto se conoce como última -- posición.
- 3) La válvula puede fallar cerrada, lo que se conoce como "cerrado".

Se requiere un análisis del proceso para tomar una decisión de la manera en la que el modo de falla debe ser -- diseñado. Cualquier situación de las mencionadas puede ser -- deseable para un sistema determinado.

**SEGUNDA PARTE**

**APLICACION DEL MICROPROCESADOR COMO CONTROLADOR DE  
UNA VALVULA**

## **CAPITULO IV**

### **FUNCIONES E INTERFASES DEL MICROPROCESADOR**

#### 4.1 LAS FUNCIONES DEL MICROPROCESADOR EN UN SISTEMA DE CONTROL

Los adelantos en la tecnología de los microprocesadores han permitido el desarrollo de controladores de lazo sencillo y de lazos múltiples que pueden realizar una variedad de algoritmos de control. La acción de control deseada se pueda seleccionar de un grupo de algoritmos de control predeterminados que están almacenados en memoria ROM.

Los microprocesadores controladores se pueden clasificar en dos grupos. El primer grupo tiene un arreglo establecido de algoritmos de control, y el usuario puede seleccionar alguno de ellos. Este tipo de controlador tiene la flexibilidad suficiente como para cubrir una gran mayoría de las aplicaciones de control.

El otro grupo se utiliza para sistemas de control más complejos que requieren controladores con formatos más flexibles. En este caso el usuario dispone de bloques de funciones (lógicas y analógicas) y puede formar arreglos en una secuencia para lograr la estrategia de control deseada.

Estos controladores cuentan también con funciones matemáticas como suma, multiplicación, linearización, atrasos, adelantos, etc. De aquí que sean controladores digitales configurables en los que no se necesitan hacer cambios de hardware para realizar todas sus funciones.

Particularmente cuando el microprocesador se aplica al control de válvulas, éste puede realizar funciones de control de posición, flujo, presión diferencial o nivel.

#### 4.1.1 IMPORTANCIA DEL MICROPROCESADOR EN EL SISTEMA DE CONTROL

Además de las múltiples funciones que puede realizar el microprocesador, es necesario enfatizar que al usarlo como controlador programable se tiene mucha versatilidad. Esto se debe, entre otras cosas, a que se pueden programar los límites (puntos de ajuste) para las diferentes variables, en muchos casos se pueden añadir más funciones sin gran costo adicional, y se pueden manejar varios ciclos de control independientes.

Si se compara un sistema basado en un microprocesador y un sistema electrónico convencional se comprueba que no hay gran diferencia en el número de componentes. Sin embargo, es más conveniente usar el sistema con microprocesador porque es más fácil de alterarse y proporciona mucha más información.

#### 4.2 INTERFASES DEL MICROPROCESADOR CON LOS ELEMENTOS DE MEDICION Y CONTROL

Las interfases son dispositivos que sirven para enlazar a los microprocesadores, tanto sistemas de medición (sensores), como elementos de control (válvulas, motores, relevadores, etc).

El lenguaje digital del microprocesador debe ser "traducido" a la señal específica reconocida por los dispositivos de aplicación y viceversa.

"Específicamente la interfase debe realizar los puntos siguientes:

1.-Traducir la información proveniente de los dispositivos de aplicación al sistema binario usado por el microprocesador.

2.-Traducir la información proveniente del sistema de aplicación al lenguaje especial usado por el microprocesador.

3.-Limitar el voltaje que se envía al microprocesador al rango de 0 a 5 V.

4.-Sincronizar la información de los dispositivos con la operación del microprocesador de modo que no se pierda.

5.-Asegurarse que toda la información proveniente del microprocesador se ajuste a los requerimientos de los dispositivos de aplicación y viceversa.

6.-Cuidar que el sistema de interfase sea eficiente, económico y confiable." (2)

En la fig 4.2) se puede ver el sistema básico de interfase. El sistema consiste de un bloque que traduce la información proveniente del microprocesador al sistema de aplicación. El otro bloque traduce la información proveniente del dispositivo al microprocesador. Además, estos dos bloques pueden intercambiar información entre si.

-----  
(2) WIST Abund O. "Electronic Design of Microprocessor-based Instruments and Control Systems"  
MEIKSIN Z. H. Página 122 ED. Prentice-Hall, Inc. U.S.A.



#### 4.2.1 BUFFERS DE ENTRADA/SALIDA DEL MICROPROCESADOR .

Estos buffers fueron desarrollados para simplificar el intercambio de información entre los microprocesadores y otros dispositivos, ya que estos, por sí solos, no tienen la lógica requerida. Se requiere un buffer de entrada/salida -- para almacenar información, pudiendo incrementar la capaci-- dad del microprocesador. El microprocesador sólo puede en-- viar caracteres uno por uno. Los buffers, en cambio, pueden almacenar información para transmitirla después a los dispositi-- vos externos, mientras que el microprocesador esté co-- rriendo otro programa. Los buffers E/S también pueden alma-- cenar señales de interrupción.

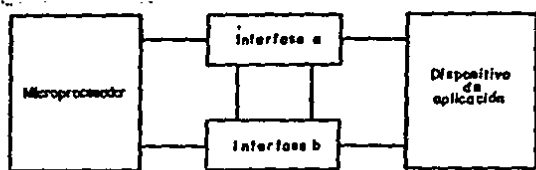


FIG 4.2 Sistema básico de interfase

#### 4.2.2 INTERFASES DE INFORMACION ANALOGICA

Para que el microprocesador pueda aceptar informa-- ción de un termopar, de un medidor de flujo, de presión, o de otros dispositivos de salida analógica se requiere un conver-- tidor analógico-digital (ADC). Esto se debe a que el micro-- procesador y su interfase sólo aceptan y transmiten informa-- ción digital a un voltaje de 5 V.

Por otro lado se requiere una interfase que transfiera las instrucciones digitales del microprocesador al lenguaje de los actuadores del proceso, que es analógico. Para llevar a cabo esta función es necesario un convertidor digital-analógico (DAC).

La salida analógica del DAC puede ser un voltaje o una corriente. La entrada digital puede ser cualquier código digital; el código más común es el binario, aunque se puede usar otro. Un número binario con  $n$  dígitos, puede expresar números que, en forma decimal, van desde cero hasta  $2^n - 1$ .

Cada uno de estos números debe corresponder a un nivel de la señal analógica de la salida.

La mayoría de los DACs son de un diseño básico. Existen menos diferencias entre los DACs que entre los ADCs.

Para seleccionar un DAC, se requiere distinguir la forma de presentación de la entrada digital; esta puede darse como una sucesión de dígitos en el tiempo (entrada serie) o como un número binario que presenta todos sus dígitos al mismo tiempo (entrada paralelo).

### 4.2.3 CONVERTIDORES DIGITAL ANALÓGICO (DACs)

El convertidor digital analógico convierte un número binario en una señal analógica. Cada bit de este número binario es asignado, de acuerdo a su posición (desde el más significativo hasta el menos significativo), a un voltaje o a una corriente determinada. El total de todas las corrientes de los bits encendidos se suma y se convierte a una señal de voltaje proporcional.

En la FIG 4.2.3a) se tiene el diagrama de un DAC de resistencias ponderadas. En él los bits de entrada llegan a las compuertas de los transistores de efecto de campo (FET).

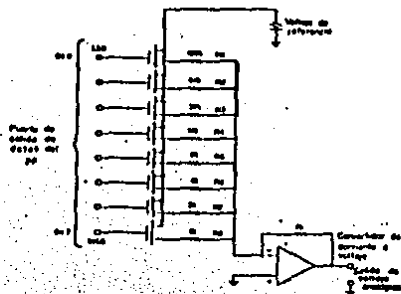


FIG 4.2.3 A) DAC de resistencias ponderadas

Un extremo de estos transistores (la fuente) está conectado a un voltaje de referencia, y el otro extremo (el drenaje) está conectado a través de diferentes resistencias en las que su valor óhmico es el doble de la resistencia anterior. El valor de las resistencias se selecciona así para que la corriente de cada bit corresponda al valor de ese bit

Por último, el otro lado de las resistencias forma un

nodo común de suma de corrientes, para que después estas últimas pasen al convertidor de corriente a voltaje.

A menudo se usa un arreglo de resistencias más fácil de fabricar que el utilizado para el DAC de resistencias --ponderadas. Este arreglo, conocido como red R-2R, es el que le da el nombre al DAC, fig 4.2.3 b).

Todos los DACs usan el mismo principio general de operación aunque lo pueden lograr de diferentes maneras.

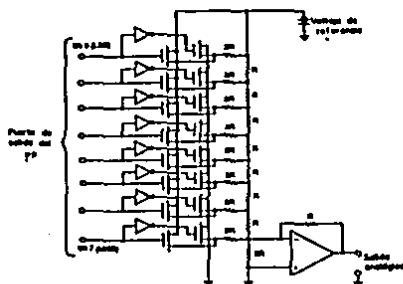


FIG 4.2.3 b) DAC con red R-2R

### 4.2 CONVERTIDORES ANALÓGICO-DIGITAL (ADCs)

Los cuatro tipos básicos de ADCs son: el ADC de integración, el ADC de aproximaciones sucesivas, el ADC tipo contador y el ADC tipo paralelo.

#### 4.2.1 EL ADC DE APROXIMACION SUCESIVA

El ADC de aproximación sucesiva es el más común. En este componente cada bit --comenzando desde el más significativo-- será comparado en forma analógica con el voltaje de entrada de la señal analógica. Si el voltaje analógico de este bit es menor que el voltaje analógico aplicado como en-

trada, el valor de este bit es retenido para la salida digital y sumado al anterior o precedente. En el caso contrario -- voltaje del bit mayor al voltaje analógico aplicado -- el valor del bit se descarta. La conversión termina cuando los bits menos significativos han sido comparados. Puede haber tantas comparaciones como hay escalones digitales entre el valor del bit cero y el valor final. Por ejemplo hay un máximo de 256 escalones para un convertidor de 8 bits.

La salida de un ADC de aproximaciones sucesivas sólo toma ocho pasos para completar cada conversión. Generalmente este tipo de convertidor es el más rápido.

#### 4.2.2 EL ADC TIPO CONTADOR

El ADC tipo contador no es el más común porque su -- su velocidad de conversión es algo lenta. Este tipo de convertidor genera una serie de números binarios digitales que se incrementan empezando desde cero con la ayuda de un contador digital y un reloj. Estos números digitales son convertidos por un DAC a un voltaje analógico que es comparado con el valor analógico que se está midiendo. Cuando estos dos -- voltajes analógicos son iguales, un comparador detiene el -- reloj y la generación posterior de valores digitales más altos. El número presente en el contador digital cuando el reloj fue detenido es el equivalente digital del número analógico. Las variaciones del contador ADC son útiles para otros propósitos. Este ADC puede ser usado como un circuito muy -- estable de muestreo cambiando solamente la lógica de operación.

### 4.3.3 EL ADC DE INTEGRACION

Este tipo de convertidor es menos común que el ADC de aproximación sucesiva por su lentitud. En la mayoría de los casos es utilizado en medidores digitales o aplicaciones similares por económico y porque es menos sensible al ruido que otros ADCs.

El ADC de integración tipo doble conversión utiliza una conversión indirecta del valor analógico. Para un periodo de tiempo determinado (T) el voltaje de entrada analógico es conectado a un amplificador integrador cargando su capacitor de realimentación. Al final de este periodo, el integrador es conectado a un voltaje interno de referencia con polaridad inversa y se arranca un contador. Cuando la salida del integrador alcanza el valor cero se detiene al contador.

El conteo es proporcional al voltaje de entrada que es desplegado como un valor digital. La independencia del ADC de doble conversión del valor del capacitor y de la frecuencia de reloj son ventajas con respecto al ADC de conversión simple. La integración reduce los ruidos de alta frecuencia y hace posible eliminar frecuencias múltiples de  $1/T$  que causarían problemas en otros ADCs.

### 4.3.4 EL ADC TIPO PARALELO

Este tipo de ADC es hasta ahora el más rápido de los convertidores pero también es el más caro. La circuitería digital es usada para calcular un valor de salida digital para cada entrada analógica. La velocidad de conversión depende del tiempo que les toma a las señales viajar a

través de las componentes usadas. El costo y complejidad se incrementan proporcionalmente de acuerdo al número de bits para el valor de salida digital. Este tipo de ADC se puede volver más práctico mientras más baje el costo de los CI's.

#### 4.4 INTERFASE DEL MICROPROCESADOR CON LA VALVULA DE CONTROL LOS TRANSDUCTORES ELECTRONEUMATICOS

Para poder operar las válvulas accionadas por medio de diafragma desde el microprocesador, es necesario convertir la señal eléctrica en una presión neumática. Los transductores electroneumáticos y posicionadores son dispositivos que sirven para realizar dicha función. En general el transductor electroneumático recibe una señal de 4 a 20 mA en corriente directa y la convierte a una señal neumática proporcional para operar el actuador o el posicionador neumático de una válvula.

En la figura 4.4 se observa el diagrama a bloques de un transductor electroneumático típico. Su funcionamiento se describe a continuación:

Una corriente de entrada pasa a través del amplificador sensor de corriente (1), donde es convertida a voltaje para compararse con la señal de retroalimentación del convertidor de presión a voltaje (5). La diferencia de estos voltajes es el error, que una vez amplificado en 2 pasará al convertidor de interfase electroneumático (3). Este último producirá un cambio de presión para eliminar el error. El cambio de presión es amplificado por un relevador neumático (4), y su salida irá a la válvula de control. Esta salida también es detectada por el sensor de presión (5), y su salida eléctrica es amplificada y retroalimentada en un lazo de control interno.

Comúnmente, la válvula de control requiere una señal



neumática en forma analógica para que pueda tener la función modulante. Esto último significa que la válvula pueda tomar posiciones intermedias entre "completamente cerrado y completamente abierto" para lograr un mejor control de la variable manipulada.

La señal neumática aplicada al actuador o al posicionador determina el valor del flujo que debe circular a través de la válvula de control para que se pueda mantener un control óptimo de una variable como temperatura, nivel, flujo o presión.

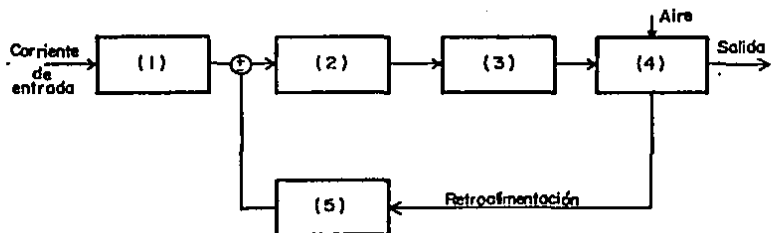


FIG 4.4) Diagrama a bloques del transductor electroneumático

El transductor requiere para su funcionamiento, alimentación de 11 v (para operación de 4 a 20 mA) y también -- alimentación de aire a una presión de 20 psi con variaciones máximas aproximadas del 10%.

## CAPITULO V

### LA APLICACION DEL SDK-85 COMO CONTROLADOR DE VALVULAS

## LA APLICACION DEL SDK-85 A UN SISTEMA DE CONTROL DE PROCESOS

En los capítulos anteriores se han establecido los elementos necesarios que intervienen en el desarrollo de este proyecto. Estos incluyen desde el microprocesador con sus características, sus funciones en un sistema de control, el control de procesos, las válvulas de control, hasta las interfaces requeridas entre ambos.

El propósito de este capítulo es demostrar la implementación del microprocesador en un sistema de control sencillo en el que la válvula es gobernada por dicho microprocesador. Como se mencionó, el microprocesador puede controlar no solo un lazo de control sino hasta varios de ellos.

El hecho de que solo se trabaje un lazo sencillo no implica que se pierda generalidad en la demostración. Hay que recordar que lo que se pretende establecer es que con la interfase adecuada, el microprocesador realiza el control de la válvula y que merece esta aplicación por sus características.

Se puede aplicar un sistema específicamente diseñado para una necesidad de control en particular. Sin embargo con el SDK-85 se tiene mas versatilidad por ser un sistema de propósito general. Además de este modo se le puede dar más importancia al desarrollo de las interfaces requeridas entre el microprocesador, los sensores y las válvulas de control y no se pierde tiempo en el desarrollo de un sistema propio que sería tema para otra tesis.

### 5.1 CARACTERISTICAS DEL SISTEMA DE DISEÑO SDK-85

El SDK-85 es un kit de diseño con un microprocesador 8085 que además cuenta con teclado, display, memoria RAM (1/4 K byte), memoria ROM (2 Kbytes), puertos de entrada / salida programables, timer y algunas otras características que lo hacen muy apto para aplicarlo al control de procesos.

Todos los componentes del sistema SDK-85 están montados en una tableta de circuito impreso que cuenta con un área de expansión donde se pueden agregar los componentes necesarios para el desarrollo de proyectos como en este caso el controlador programable de válvulas.

### 5.2 DESCRIPCION FUNCIONAL DEL MICROPROCESADOR 8085

El 8085 es un procesador central paralelo de 8 bits que requiere un voltaje de alimentación de +5 V. Tiene capacidad de direccionamiento de 64 Kbytes de memoria. Su velocidad básica es de 3 MHz superando la de su predecesor el 8080. Su diseño le permite trabajar en configuración básica con solo 3 componentes: La CPU (8085), una memoria RAM/I/O (8155) y una ROM (8355).

El 8085 tiene doce registros direccionables de 8 bits. Cuatro de ellos pueden funcionar como dos registros pares de 16 bits. Los otros seis pueden ser usados indistintamente como registros sencillos de 8 bits o registros pares de 16 bits.

Los registros del 8085 son los siguientes:

Registro	Mnemónico	Capacidad
Acumulador	ACC o A	8 bits
Contador de Programa	PC	dirección de 16 bits
Registros de propósito general: apuntador de datos	BC, DE, HL	6 sencillos de 8 bits o 3 dobles de 16
Apuntador de stack	SP	dirección de 16 bits
Registro de Banderas	F	5 banderas en 8 bits

El 8085A utiliza un canal de datos multiplexado. La dirección está dividida entre los 8 bits más significativos en el canal de dirección y los 8 bits menos significativos en el canal de datos y dirección. El 8085 también proporciona líneas de entrada y salida de datos seriales (SID y SOD) para lograr una interfase serie sencilla.

Como adición a estas características, el 8085 tiene 3 interrupciones mascarillables (programables): RST 5.5, RST 6.5 y RST 7.5 y además una no mascarillable llamada TRAP.

Las tres interrupciones mascarillables ocasionan la ejecución interna del RESTART, (guardando el contador de programa en el stack y saltando a la dirección del RESTART) si las interrupciones están habilitadas. Para mayores detalles de funcionamiento del  $\mu$ p 8085 consultar el APENDICE A.

### 5.3 SIMULADORES DE PROCESOS

La simulación de procesos tiene un amplio uso dentro de los procesos existentes. Sus aplicaciones típicas incluyen el aislamiento de resultados erróneos y de esfuerzos imprevistos en el equipo, así como la optimización de los procesos. Se puede emular un proceso completo para proporcionar entrenamiento a nuevos operadores o para establecer una nueva secuencia o fórmula. Lo anterior puede incluir entrenamiento para un proceso específico de operación, simulando emergencias como reacciones fuera de control para enseñar al operador la mejor forma de manejar estas situaciones.

El entrenamiento se establece en pequeña escala simplemente simulando el tiempo muerto y un atraso de primer o segundo orden con el propósito de mostrar cómo sintonizar los parámetros del controlador y para conocer la respuesta del proceso.

### 5.4 COMPONENTES QUE SE AÑADEN AL MICROPROCESADOR PARA ESTABLECER EL SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control aquí propuesto cuenta con los elementos necesarios para poder manejar y procesar señales analógicas con un rango entre 0 y 5 V. Estas señales pueden representar variables como temperatura, presión, flujo o nivel. Si los sensores de las variables no entregan una señal en el rango de voltaje mencionado, ésta se tiene que adecuar por medio de amplificadores, comparadores o convertidores de corriente a voltaje de modo que el ADC pueda trabajar con un rango adecuado de la señal de entrada.

Los componentes principales que se adicionan para formar el sistema de control son los convertidores analógico digital (ADC) y el digital analógico (DAC).

La conversión analógica-digital es realizada por el sistema de adquisición de datos ADC 0817 de National Semiconductor. Dispositivo que tiene un convertidor analógico digital de 8 bits, multiplexador de 16 canales y lógica de control compatible con microprocesadores. Su técnica de conversión funciona por aproximaciones sucesivas. El multiplexador puede acceder directamente cualquiera de las 16 señales analógicas de entrada al seleccionarse por una dirección de 4 bits en las terminales ADD A, ADD B, ADD C Y ADD D.

Gracias al multiplexador se pueden monitorear 16 variables con el mismo ADC de modo que si también se incluye un multiplexador a la salida (después del DAC) se puede llegar a establecer el control de hasta 16 lazos sencillos.

Para fines de demostración de los programas de control se maneja una sola entrada, sin embargo se pueden incluir las variaciones correspondientes dentro de estos programas para formar un control multivariable.

El ADC requiere para su funcionamiento una señal de reloj de aproximadamente 500 KHz. Dicha señal es proporcionada por un inversor que funciona como oscilador Schmitt trigger. El voltaje de alimentación y referencia es de 5 volts de modo que el convertidor, por ser de 8 bits, maneja 256 niveles de aproximadamente 20 mV.

La figura No. 5.4 a muestra los diagramas de tiempo

para el ADC. En primer lugar se envía al multiplexador la dirección de la señal que se desea procesar. Después de  $0.5 \mu\text{s}$  se manda la señal ALE y por último  $2.5 \mu\text{seg}$  más tarde la señal de arranque de conversión sube y baja y también la señal ALE baja.

Finalmente cuando el ADC manda la señal de fin de conversión (EOC) los datos se pueden leer a través de un puerto.

De acuerdo a lo establecido en el capítulo 4, para enlazar el microprocesador a la válvula de control es necesario contar con un convertidor digital analógico (DAC) y un transductor electroneumático. Este último elemento permite además que la válvula sea modulante.

Debido a que la señal de salida del DAC es de voltaje (rango de 0 a 5V) y la entrada al transductor debe ser de 4 a 20 mA en corriente directa, es necesario adecuar estas dos señales. Para lograr ésto se requiere un acondicionador de señales. De tal modo que el diagrama a bloques de la interfaz con la válvula queda como se ilustra en la fig 5.4 b.

El DAC, a diferencia del ADC, no requiere señales de control para realizar la conversión; bastará con enviarle los bits de entrada para que se obtenga la salida analógica correspondiente.

El DAC seleccionado es el DAC 0808 (National Semiconductor) de 8 bits, con red de resistencias R-2R, bajo consumo y que requiere voltajes de alimentación de +5 y -15 volts

Este convertidor es de interfase directa con niveles



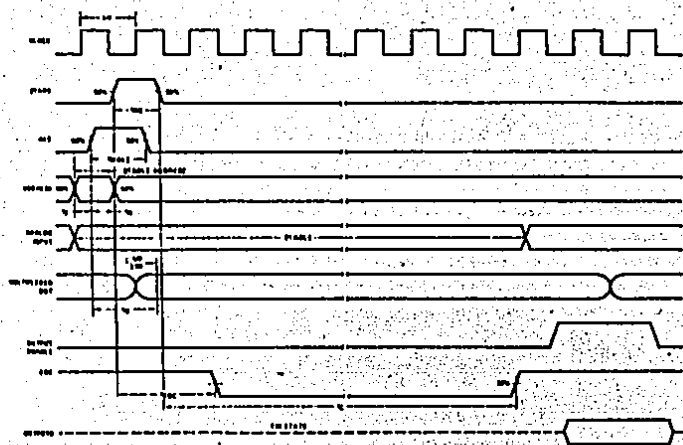
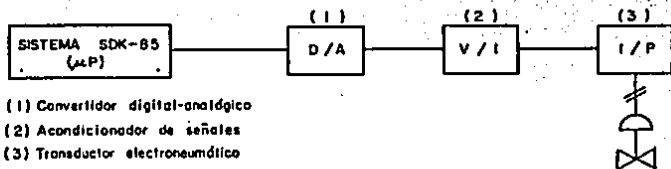


FIG 5.4 a) Diagramas de secuenciación del convertidor analógico-digital ADC 0817



- (1) Convertidor digital-analógico
- (2) Acondicionador de señales
- (3) Transductor electroneumático

FIG 5.4 b) Diagrama de bloques de la interfase con la válvula de control

lógicos TTL, DTL o CMOS. En la figura 5.4 c se muestra el --  
diagrama de conexiones de los componentes que se añaden al --  
sistema SDK-85 para formar el controlador programable.

### 5.5 PROGRAMAS DE CONTROL DEL MCS-85

Una computadora --sin importar que tan sofisticada --  
sea-- solo puede hacer lo que se le marca que haga por medio  
de un programa. Un programa es una secuencia de instruccio-  
nes y cada una de estas instrucciones es reconocida por la --  
computadora. Cada instrucción hace que la computadora ejecu-  
te una operación.

Una vez que un programa es almacenado en la memoria  
y queda accesible a la CPU, se puede correr la misma secuen-  
cia de instrucciones las veces que sean para resolver el mis-  
mo problema o para hacer la misma función.

El juego de instrucciones al que responde una CPU --  
como la 8085 está predeterminado y fijado en el diseño del --  
chip. El microprocesador 8085 posee un grupo de instruccio-  
nes que mueven datos entre registros, entre un registro y --  
memoria y entre un registro y un puerto de entrada/salida.

También tiene instrucciones lógicas y aritméticas, --  
instrucciones de transferencia condicional e incondicional y  
por último instrucciones de control. La CPU reconoce estas --  
instrucciones sólo cuando están codificadas en forma binaria.

A continuación se presentan los diagramas de flujo y  
los programas para formar un controlador programable con el  
sistema SDK-85. El primer programa simula un controlador con  
un algoritmo on-off, el segundo reproduce un controlador de



algoritmo proporcional. Posteriormente se propone para los dos modos de control un ejemplo de aplicación, es decir, un sistema en el que se puedan implementar.

#### 5.5.1 PROGRAMA CON ALGORITMO DE CONTROL ON-OFF

Con los componentes añadidos al microprocesador (ADC y DAC) se puede crear un programa que maneje un algoritmo on off. Este tipo de control se logra de la siguiente manera:

El microprocesador monitorea a la variable de proceso (temperatura, flujo, presión, etc.) a través del ADC; una vez que el ADC convierte la señal de la variable a pulsos digitales, el microprocesador registra estos pulsos. Después los compara contra el valor de referencia o punto de ajuste.

Después de hacer esta comparación para encontrar el error (diferencia entre la variable de proceso y el punto de ajuste) el microprocesador determina si el error es positivo o negativo. Posteriormente el microprocesador define si la variable de proceso cae dentro o fuera de la llamada zona neutral, fig 5.5.1). Si la variable cae fuera de dicha zona se realizará la acción correctiva, es decir, se abrirá o cerrará la válvula de control dependiendo si la desviación fue negativa o positiva.

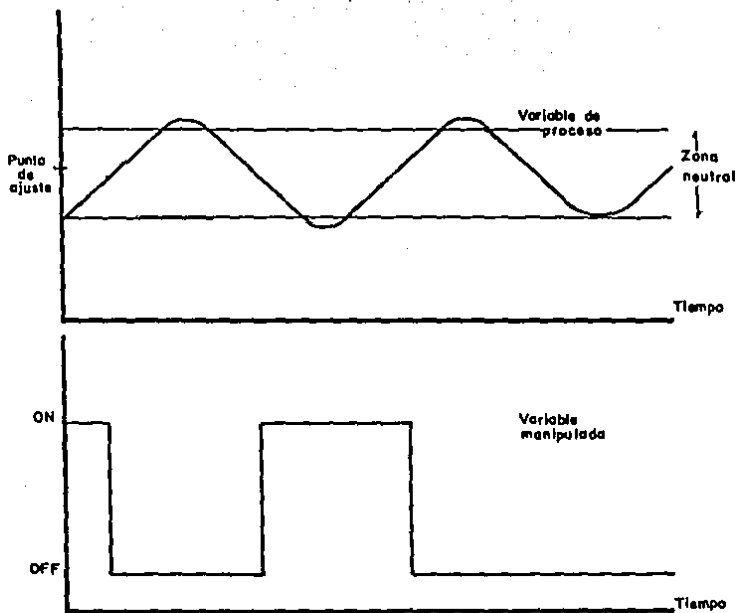
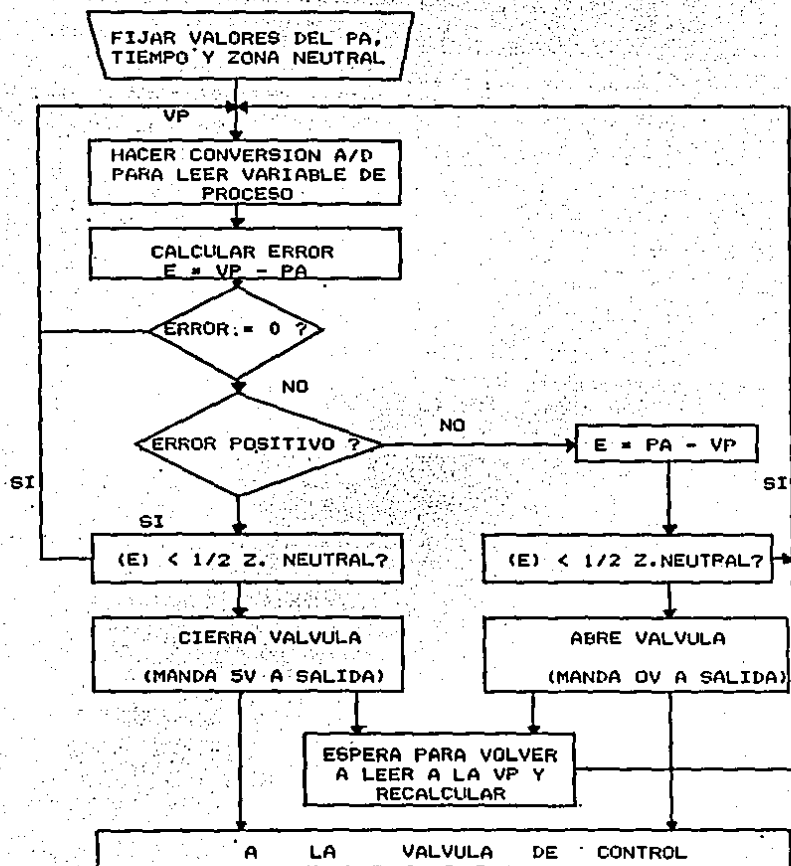


FIG 5.5.1) Diagrama de las variables controlada y manipulada para un controlador on-off

### 5.5.1.1 Diagrama de flujo del programa de control on-off

En el siguiente diagrama se establecen en secuencia las acciones que se deben realizar para ejecutar el programa de control on-off.



### 5.5.1.2 Programa de control on-off codificado en lenguaje ensamblador

Este programa está elaborado para correr en un sistema INTEL SDK-85. Para observar su funcionamiento la variable de proceso puede ser representada por una señal senoidal de muy baja frecuencia (menos de 5 Hz) con un rango de 0 a -5V. Al ir cambiando la señal de entrada, el microprocesador irá tomando las acciones correctivas necesarias enviando pulsos de 1 o 0 lógico para abrir o cerrar la válvula. De este modo tratará de corregir las desviaciones de la variable de proceso.

#### PROGRAMA CON ALGORITMO DE CONTROL ON-OFF

DIR.	ENSAMBLE	ETIQUETAS	MNEMONICOS	COMENTARIOS
2000	31C220		LXI SP20C2	CARGA APUNTA DOR
2003	CD6220	SUBR	CALL CONV	CONVERSION A/D
2006	5F		MOV E, A	
2007	3A9820		LDA STP	CARGA PA
200A	57		MOV D, A	
200B	CD6303		CALL UPDAD	DESPLIEGUE PA Y VP
200E	3A9820		LDA STP	
2011	47		MOV B, A	
2012	3A9220		LDA TEMP	CARGA VP
2015	4F		MOV C, A	
2016	90		SUB B	CALC. ERROR (VP - PA)
2017	CA0320		JZ SUBR	SI E=0 VUELVE A CONV
201A	DA3620		JC ENEG	SI E<0 RECALCULA E
201D	47		MOV B, A	
201E	3A9020		LDA ZN	CARGA VALOR DE ZN
2021	90		SUB B	RESTA ZN - ERROR
2022	CA0320		JZ SUBR	SI ERROR ES <= ZN
2025	D20320		JNC SUBR	VUELVE A CONV
2028	3E02	CIERRA	MVI A 02	ERROR POSITIVO > ZN
202A	D328		OUT 28	CIERRA VALVULA (MANDA
202C	3E FF		MVI A FF	S V A LA SALIDA)
202E	D3 2A		OUT 2A	
2030	CD 6303		CALL UPDDT	DESPLIEGA SALIDA FF
2033	C3 4E20		JMP TIEMP	ESPERA PARA NVA.CONV
2036	78	ENEG	MOV A, B	CALC. ERROR (PA - VP)
2037	91		SUB C	
2038	47		MOV B, A	
2039	3A9020		LDA ZN	

DIR.	ENSAMBLE ETIQUETAS	MNEMONICOS	COMENTARIOS
203C	90	SUB B	RESTA ZN = ERROR
203D	CA0320	JZ SUBR	SI ERROR <= ZN
2040	D20320	JNC SUBR	VUELVE A CONV
2043	3E02	MVI A 02	ERROR NEGATIVO > ZN
2045	D328	OUT 28	ABRE VALVULA (MANDA
2047	3E00	MVI A 00	0 V A LA SALIDA)
2049	D32A	OUT 2A	
204B	CD6E03	CALL UPDDT	DESPLIEGA SALIDA 00
204E	3A9120	LDA TIME	CARGA TIEMPO MUESTREO
2051	67	MOV H,A	
2052	110000	LXI D 0000	ACCION DE RETARDO
2055	CDF105	CALL DELAY	
2058	CDF105	CALL DELAY	
205B	25	DCR H	DECREMENTA H
205C	C25220	JNZ MANTEN	SALTA A MANTEN
205F	C30320	JMP SUBR	VUELVE A CONV.
2062	3E02	MVI A 02	ASIGNA PTO 21 DE ENT.
2064	D320	OUT 20	22 DE SAL Y 23 DE ENT.
2066	0600	MVI B 00	ENVIA DIRECCION DE EN-
2068	3E20	MVI A 20	TRADA A CONVERTIR Y --
206A	B0	ORA B	ALE POR PTO 22
206B	D322	OUT 22	
206D	3E60	MVI A 60	ENVIA SEÑAL DE INICIO
206F	B0	ORA B	DE CONVERSION Y MANTEN
2070	D322	OUT 22	DIRECCION PTO 22
2072	3E00	MVI A 00	APAGA ALE E INICIO DE
2074	B0	ORA B	CONVERSION, MANTEN DI-
2075	D322	OUT 22	RECCION
2077	DB23	IN 23	ESPERA FIN DE CONVER--
2079	0F	RRC	SION TRANSICION NEGA--
207A	DA7720	JC FCTN	TIVA
207D	DB23	IN 23	ESPERA FIN DE CONVER--
207F	0F	RRC	SION TRANSICION POSI--
2080	D27D20	JNC FCTP	TIVA
2083	DB21	IN 21	LEE DATOS DE CONV. A/D
2085	329220	STA TEMP	GUARDA DATOS EN TEMP
2088	C9	RET	REGRESA CON DATOS EN ACUMULADOR

DIRECCIONES DONDE SE GUARDAN PARAMETROS DEL PROGRAMA DE CONTROL.

- 2090 = ZN ( ZONA NEUTRAL )
- 2091 = TIME ( PERIODICIDAD DE MUESTREO Y ANCHO DE PULSO )
- 2092 = TEMP ( VARIABLE DE PROCESO P.EJ. TEMPERATURA )
- 2098 = STP ( PUNTO DE AJUSTE )

### 5.5.1.3 Funcionamiento del programa de control on-off

Este programa está formado por subrutinas y bloques de transferencia que al trabajar encadenados realizan la simulación de un controlador on-off. Los parámetros como el



punto de ajuste, periodicidad del muestreo y zona neutral de  
ben almacenarse antes de correr el programa en las localida-  
des de memoria correspondientes.

La primera subrutina (CONV) se encarga de manejar el  
ADC enviando y recibiendo señales de este dispositivo para  
realizar la conversión de la variable de entrada a la forma  
digital. Dentro de esta subrutina se inicializan los puertos  
A y C como entradas y el puerto B como salida. Se utiliza al  
registro B para señalar la dirección de la entrada que se va  
a procesar (1). Las señales que se envían para controlar al  
ADC son las que se mencionaron en el inciso 5.4: dirección -  
de la señal a convertir, ALE, y arranque de conversión.

#### 5.5.2 PROGRAMA DE CONTROL CON ALGORITMO DE CONTROL PROPORCIONAL

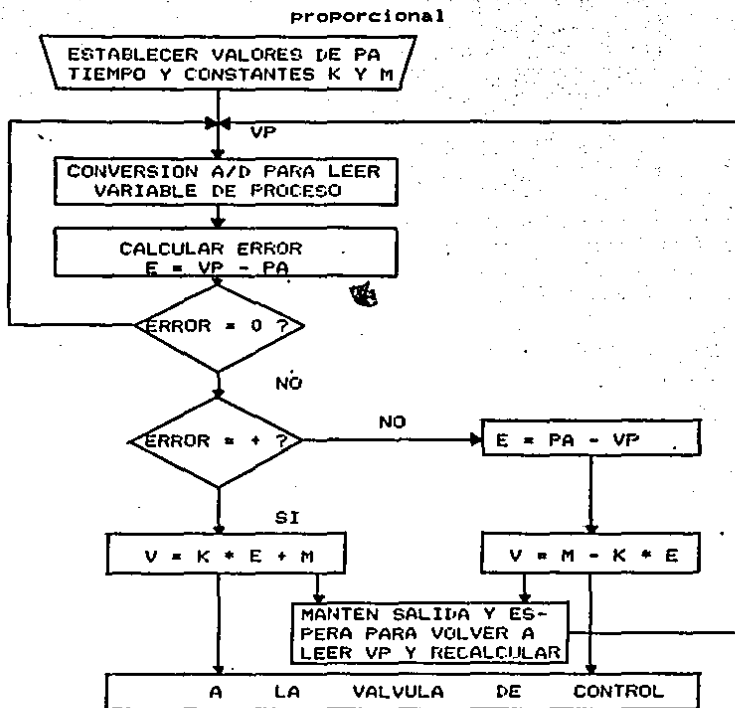
Una utilización más completa de los convertidores ana-  
lógico-digital y digital analógico se logra al implementar -  
el modo de control continuo básico, que es el control propo-  
cional. Como se explicó en el capítulo 2, en este modo de --  
control la salida es proporcional al error que se presenta y  
su algoritmo es:  $V = K * E + M$ .

Para realizar este tipo de control, el microprocesa--  
dor detecta a la variable en cuestión por medio del ADC que  
a su vez está conectado al elemento sensor correspondiente.

(1) En el programa aquí propuesto se maneja la entrada cero,  
sin embargo, se puede seleccionar cualquiera de las otras 15  
entradas por medio del multiplexador, variando el contenido  
del registro B.

El convertidor A/D envía al microprocesador la señal digital correspondiente para calcular la diferencia entre la variable de proceso y el punto de referencia (cálculo del error). Después de hacer la diferencia, el microprocesador define si el error es positivo o negativo. Si el error es positivo, éste se multiplica por una constante K y al resultado se le suma el valor de una constante M. Estas constantes se definen antes de correr el programa. El valor resultante de las operaciones (V), saldrá a través de un puerto conectado al DAC, y este convertidor enviará la señal analógica que -- actuará la válvula de control. En caso de que el error resulte negativo, éste se recalcula como positivo, se multiplica por K y al producto se le resta el valor de M. El valor de V también llega al DAC para que la válvula pueda recibirlo como señal analógica.

### 5.5.2.1 Diagrama de flujo del programa de control



### 5.5.2.2 Programa de control proporcional codificado en lenguaje ensamblador

Para este programa se deben considerar las mismas indicaciones que se dieron en el programa de control on-off.

#### PROGRAMA CON ALGORITMO DE CONTROL PROPORCIONAL

DIB	ENSAMBLE	ETIQUETAS	MNEMONICOS	COMENTARIOS
2000	31C220		LXI SP20C2	
2003	CD6220	SUBR	CALL CONV	CONVERSION A/D

DIR.	ENSAMBLE	ETIQUETAS	MNEMONICOS	COMENTARIOS
2006	5F		MOV E, A	
2007	3A9320		LDA STP	
200A	57		MOV D, A	
200B	CD6303		CALL UPDAD	DESPLIEGA PA Y SP
200E	3A9320		LDA STP	
2011	47		MOV B, A	
2012	3A9420		LDA TEMP	
2015	4F		MOV C, A	
2016	90		SUB B	CALC. ERROR (VP - PA)
2017	CA0320		JZ SUBR	SI E=0 VUELVE A CONV.
201A	DA2920		JC ENEG	SI E<0 RECALCULA E
201D	47		MOV B, A	
201E	CD5520		CALL MULT	MULT. DE K * E
2021	3A9220		LDA CONS2	CARGA M
2024	80		ADD B	SUMA K*E + M
2025	4F		MOV C, A	
2026	C33720		JMP SLT	SALTA A SLT
2029	78	ENEG	MOV A, B	
202A	91		SUB C	CALC. ERROR (PA - VP)
202B	47		MOV B, A	
202C	CD5520		CALL MULT	MULT. DE K * E
202F	3A9220		LDA CONS2	CARGA M
2032	90		SUB B	RESTA M - K*E
2033	DA6920		JC NEGAT	SALTA A NEGAT
2036	4F		MOV C, A	
2037	3E02	SLT	MVI A 02	
2039	D328		OUT 28	ASIGNA PTO2A DE SALIDA
203B	79		MOV A, C	
203C	D32A		OUT 2A	ENTREGA V POR PTO2A
203E	CD6E03		CALL UPDDT	DESPLIEGA SALIDA (V)
2041	3A9520	TIEMP	LDA TIME	CARGA TIEMPO MUESTREO
2044	67		MOV H, A	
2045	110000	MANTEN	LXI D0000	ACCION DE RETARDO
2048	CDF105		CALL DELAY	
204B	CDF105		CALL DELAY	
204E	25		DCR H	DECREMENTA H
204F	C24520		JNZ MANTEN	SALTA A MANTEN
2052	C30320		JMP SUBR	
2053	3A9120	MULT	LDA CONS1	CARGA K
2058	4F		MOV C, A	
2059	78		MOV A, B	
205A	0D		DCR C	DECREMENTA C
205B	80	SUMA	ADD B	SUMA C VECES B (K*E)
205C	0D		DCR C	
205D	C25B2		JNZ SUMA	
2060	47		MOV B, A	
2061	C9		RET	REGRESA CON RESULT. EN B
2062	3E02	CONV	MVI A02	ASIGNA PTO2A 21 DE ENT.
2064	D320		OUT 20	22 DE SAL Y 23 DE ENT.
2066	0600		MVI B 00	ENVIA DIRECCION DE EN-
2068	3E20		MVI A 20	TRADA A CONVERTIR Y --
206A	D0		ORA B	ALE POR PTO 22
206B	D322		OUT 22	

DIR.	ENSAMBLE ETIQUETAS	MNEMONICOS	COMENTARIOS
206D	3E60	MVI A 60	ENVIA SEÑAL DE INICIO DE CONVERSION Y MANTEN
206F	B0	ORA B	DIRECCION PTO 22
2070	D322	OUT 22	APAGA ALE E INICIO DE CONVERSION, MANTEN DI-
2072	3E00	MVI A 00	RECCION
2074	B0	ORA B	ESPERA FIN DE CONVER--
2075	D322	OUT 22	SION TRANSICION NEGA--
2077	DB23	FCTN	TIVA
2079	0F	RRC	ESPERA FIN DE CONVER--
207A	DA7720	JC FCTN	SION TRANSICION POSI--
207D	DB23	FCTP	TIVA
207F	0F	RRC	LEE DATOS DE CONV. A/D
2080	D27D20	JNC FCTP	GUARDA DATOS EN TEMP
2083	DB21	IN 21	REGRESA CON DATOS EN A
2085	329420	STA TEMP	
2088	C9	RET	

DESPLIEGUE CUANDO HAY SALIDA NEGATIVA (V<0)

2089	3EEE	NEGAT	MVI A EE
208B	CD6E03		CALL UPDDT
208E	C03020		JMP SUBR

DIRECCIONES DONDE SE GUARDAN PARAMETROS DEL PROGRAMA DE CONTROL

2091 = CONS1 (CONSTANTE K)  
 2092 = CONS2 (CONSTANTE M)  
 2093 = STP (PUNTO DE AJUSTE (PA))  
 2094 = TEMP (VARIABLE DE PROCESO)  
 2095 = TIME (PERIODICIDAD DE MUESTREO Y ANCHO DE PULSO)

### 5.5.2.3 Funcionamiento del programa de control proporcional

Este programa, al igual que el del algoritmo on-off, trabaja con varias subrutinas que funcionan en conjunto. Antes de correr el programa se introducen las constantes K y M y el punto de ajuste en las localidades de memoria asignadas para estos valores.

La primera subrutina (CONV) trabaja exactamente igual que en el programa de control on-off. El valor digital resultante de esta conversión se despliega junto con el PA en la zona de dirección del display. Posteriormente se calcula el error como ya se explicó en el punto anterior (restando a la

variable el valor del PA). Si el error es positivo se realiza la multiplicación ( $K \cdot E$ ) con la ayuda de la subrutina de multiplicación (MULT). Esta subrutina funciona por medio de sumas sucesivas. Al regresar de esta subrutina el producto  $K \cdot E$  se le suma a la constante M. Si por el contrario el error es negativo, el bloque con la etiqueta ENEG calcula el error en valor absoluto y obtiene la salida  $M - K \cdot E$ . Si esta salida es negativa, se despliega un mensaje "EE" en la zona de datos del display advirtiendo que se deben usar otros valores para las constantes K y/o M. Los resultados de las operaciones mencionadas -- ya sea  $K \cdot E + M$  ó  $M - K \cdot E$  -- saldrán a través del puerto 2A con la ayuda del bloque SLT que además despliega en la zona de datos del display el valor de la salida (V) fig. 5.5.2.1). De este modo se puede analizar la acción correctiva que va tomando el microprocesador de acuerdo a la señal de salida analógica presente en el DAC.

Existe otro bloque (MANTEN) que marca la velocidad de muestreo de la variable y el ancho de pulso del mismo modo que en el programa on-off.

### 5.6 APLICACION DE LOS CONTROLADORES ON-OFF Y PROPORCIONAL

Una vez establecida la interfase entre los elementos sensores y las válvulas de control con el microprocesador y utilizando los programas de control desarrollados se pueden implementar los controladores a un proceso sencillo.

Como ejemplo de aplicación se propone un sistema controlador de nivel para un generador de vapor FIG 5.6.1). En este caso el nivel es una variable de proceso importante. Un

ESTA TESIS. NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

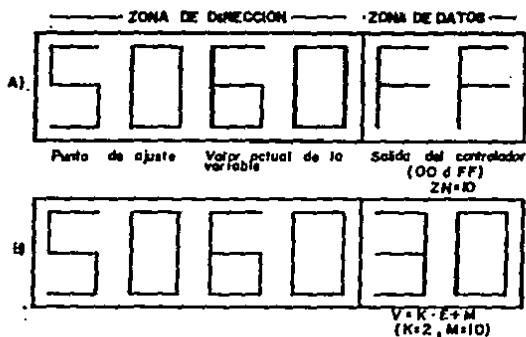


FIG 5.5.2.1 ) Despliegue de los parámetros de control en el sistema SDK-85: a) para el controlador on-off b) para el controlador proporcional

incremento en el nivel de agua puede ocasionar la producción de vapor fuera de especificaciones y, por otro lado, un bajo nivel de agua puede hacer que se dañen los tubos del generador de vapor.

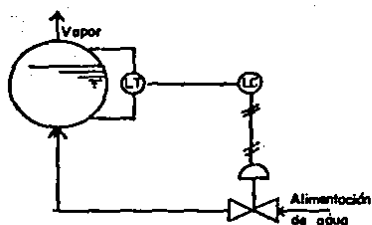
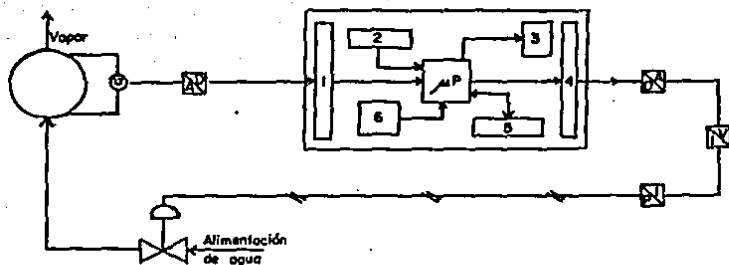


FIG 5.6.1. Sistema controlador de nivel de un generador de vapor

Al utilizar algún sensor de nivel del tipo fuerza, -- presión, eléctrico, etc. el transductor correspondiente genera una señal de salida analógica proporcional al cambio de nivel. Esta señal generalmente es de 4 a 20 mA o de 10 a 50 mA por lo que es necesario adecuarla al rango de voltaje del ADC (0 a 5 V). El ADC convierte la señal de nivel a una señal digital que pueda ser leída por el microprocesador. Este último manda pulsos a su puerto de salida que pasan a la forma analógica por medio del DAC. La señal analógica que entra al DAC (0 a 5V) se convierte a una corriente (4 a 20 mA) por medio del convertidor de voltaje a corriente. Esta señal analógica excitará al transductor electroneumático que gobernará la posición de la válvula de control.



Por último la válvula maneja la variable manipulada - (flujo de alimentación de agua) para así establecer el control de nivel. El diagrama a bloques de este sistema basado en un microprocesador se ve en la fig. 5.6.2.)



1.-Puerto de entrada  
2.-Timer  
3.-Display

4.-Puerto de salida  
5.-Memoria  
6.-Teclado

FIG 5.6.2) Sistema de control de nivel basado en un microprocesador

Los valores del punto de ajuste, zona neutral y tiempo de muestreo se introducen con el teclado. El punto de ajuste, la variable (nivel) y la salida que envía el microprocesador a la válvula se pueden observar continuamente en el display como ya se indicó en la fig. 5.5.2.1).

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Cuando se piensa aplicar el microprocesador a un dispositivo en un sistema de control es necesario entender el problema que se quiere resolver. Esto implica analizar las características y el desempeño del dispositivo.

También hay que considerar las restricciones de la implementación tales como los tipos y niveles de las señales o como las limitaciones de la programación. Además es muy importante establecer qué funciones requiere el sistema para su control y cuáles de estas funciones puede proveer el microprocesador al implementarse. Después se debe plantear un modelo de solución explicando los medios de control.

En base a todo lo anterior se determina si se justifica aplicar el microprocesador. Una vez que se analiza y se concluye que un microprocesador se puede aplicar para el control de un dispositivo, es muy importante desarrollar la interfase adecuada entre ambos. Este punto es fundamental y de él depende que se logre el control efectivo que se está buscando.

En el campo del control de procesos las variables manejadas son analógicas. Sin embargo, para muchos problemas de control --como el de control de válvulas-- la representación digital es la mejor forma de describir y manejar dichas variables.

Al ser el microprocesador un circuito integrado de producción masiva y de propósito general, supera a los controladores analógicos de componentes discretos en aspectos

como su costo, funcionalidad, flexibilidad, confiabilidad y vida útil.

Se puede concluir que las ventajas más importantes del microprocesador son:

- \* Capacidad para programarse cada vez que se requiera sin tener que realambrar.
- \* Precisión y alta inmunidad al ruido.
- \* Habilidad para responder rápidamente y con menos oscilaciones a las perturbaciones del proceso.
- \* Facilidad para conectarse a computadoras centrales

Cuando se utilizan varios microprocesadores para controlar sendos lazos de control, todos deben coordinarse para alcanzar la optimización de un proceso. Esto se logra por medio de una computadora central que supervise los lazos de control sencillos. Particularmente el microprocesador aplicado en este proyecto (el SDK-85) posee dos terminales llamadas SID y SOD (entrada y salida de datos en serie, respectivamente) a través de las que se puede comunicar con una computadora.

La consecuencia primordial de implementar el microprocesador a un sistema o proceso es que se logra la automatización y la optimización del mismo.

Actualmente es necesario lograr una alta calidad en la fabricación de productos, principalmente si se piensa en la exportación ya que el mercado mundial está muy competido y demanda productos de altos estándares de calidad.

Para alcanzar un control de calidad efectivo es necesario en primer lugar hacer que la producción quede dentro de un estándar. Una vez hecho esto, es más sencillo mover -- dicho estándar para aumentar la calidad. El control automático basado en el microprocesador es una herramienta que --- auxilia para lograr el estándar buscado en la calidad.

Ya se ha discutido el tema de como lograr el control automático de válvulas dentro de un proceso o planta. Todo - esto se ha manejado desde un aspecto técnico planteando las ventajas que representa en cuanto a eficiencia, seguridad y costo.

El aspecto que no se ha mencionado es el factor humano. Como es de suponerse, implementar el control automático en una planta implica el desplazamiento de personal.

Esto es una consecuencia que se debe tomar muy en -- cuenta. En nuestro país es muy necesario crear empleos y no por el contrario, despedir personal. Es importante aclarar - que el hecho de automatizar una planta no tiene por qué ocasionar un despido masivo de personal operativo. Si se encausa adecuadamente esta situación, se puede capacitar al personal aparentemente no "requerido" para desempeñar tareas más elaboradas. Por ejemplo la programación de los equipos, el mantenimiento de los mismos y el manejo de la estadística o supervisión del proceso. El despido masivo de personal es muy perjudicial, así que la capacitación a los empleados es una solución viable en el caso de la automatización de plantas ya existentes.

Por lo tanto, la implementación del microprocesador para formar un sistema de control automático no sólo depende de factores técnicos, sino también de otros factores como el humano y el económico.

En el aspecto técnico, el éxito de la aplicación del microprocesador como controlador de válvulas, está determinado por la selección de una interfase adecuada y también -- estará en función de la programación eficaz del microprocesador.

## GLOSARIO TECNICO INGLES-ESPAÑOL

ALE	Habilitador del latch de dirección. Pulso que -- permite la captación de las señales de dirección
BIT	Dígito binario que es la unidad de capacidad de almacenamiento. Equivale a un uno o cero lógico.
BUFFER	Dispositivo en el que se almacenan los datos temporalmente mientras se transmite la información de un dispositivo a otro. Se usa para compensar la diferencia en el flujo de datos o en el tiempo de ocurrencia de eventos.
BYTE	Grupo de dígitos binarios adyacentes que se trabajan en conjunto. Generalmente denota un grupo de 8 bits.
CARRY	Carácter o caracteres binarios producidos en conexión con una operación aritmética.
CHIP	Circuito integrado.
CPU	Unidad central de proceso o microprocesador. El microprocesador es un C.I. de alta escala de integración que puede ejecutar operaciones lógicas, aritméticas y controlar dispositivos de entrada/salida a una velocidad muy grande. Los microprocesadores varían en poder y capacidad, desde el más simple --capaz de manejar la aritmética de una calculadora-- hasta circuitos que emulan las funciones de unidades de proceso de minicomputadoras.
DMA	Direccionamiento directo de memoria. Técnica usada para transferir datos directamente de la memoria en masa y de otros dispositivos externos a la memoria RAM usando los canales de datos y dirección sin necesidad de utilizar la CPU.
DISPLAY	Dispositivo electrónico usado para desplegar datos.
ENABLE	Habilitar, activar.
EPROM	Memoria estática que puede ser programada, borrada y reprogramada por el usuario. Para borrarla se utiliza luz ultravioleta que se aplica a través de una ventana que tiene el dispositivo de memoria.
FIRMWARE	Microprogramación cableada. Hardware que contiene un programa de computadora y datos que no pueden ser cambiados por el usuario.

	Los programas de computadora y datos contenidos en firmware están clasificados como software; la circuitería que contiene el programa de computadora y los datos están clasificados como hardware.
FLIP-FLOP	Los flip-flops son circuitos biestables que tienen la característica de recordar. Biestables -- significa que su salida puede hacerse pasar de un estado estable al otro por la aplicación de un pulso apropiado.
HARDWARE	Este término designa lo que es material en el -- computador, es decir, toda la circuitería para -- el procesamiento de datos.
KIT	Equipo para aprendizaje y capacitación que cuenta con características que permiten armar y desarrollar proyectos electrónicos.
LATCH	Elemento enganchador. Elemento de memoria constituido por dos operadores AND e inversores retroacoplados.
ON-OFF	Encendido-apagado.
OPCODE	Primer byte de una instrucción con el que la CPU identifica la instrucción que va a ejecutar.
RAM	Memoria de acceso aleatorio. Llamada así porque cualquier celda en la memoria puede ser leída o escrita en aproximadamente el mismo tiempo. Esta memoria es de lectura y escritura.
RESTART	Reestablecimiento de la ejecución de una subrutina usando los datos almacenados en un punto de referencia. Se usa para sacar al microprocesador del programa y regresar al sistema operativo.
ROM	Memoria sólo de lectura en la que no se puede -- escribir. Se usa como la parte de la memoria que nunca cambia. Trabajan programas con un modelo -- específico que se establece por medio de un proceso conocido como mascarilleo.
SID	Terminal de entrada de datos en serie.
SOD	Terminal de salida de datos en serie.
SOFTWARE	Análisis, lenguajes, programas de computación y documentación asociada para la operación de un -- sistema de computadora.

STA	Instrucción del microprocesador con la que se almacena el contenido del acumulador en una dirección de memoria especificada.
STACK	Memoria de retención temporal en la cual los elementos de información egresan en orden inverso - al de ingreso, es decir, la última entrada es la primera salida.
STATUS	Estado, condición o circunstancias de servicio.
TIMER	Circuito que acepta una frecuencia de entrada y que, dependiendo de un bit que se le envíe, entrega una determinada frecuencia de salida. Este circuito emite impulsos de sincronización.



## APENDICE A

### CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO DEL 8085

El 8085 es un microprocesador de 8 bits de propósito general muy efectivo en sistemas pequeños por sus bajos requerimientos de hardware adicional. En el 8085 están contenidas las funciones de generación de pulsos, control de los canales del sistema y selección de prioridad de interrupciones en adición a la ejecución del juego de instrucciones --- (Apéndice B).

El 8085 transfiere los datos a un canal bidireccional de 8 bits (AD0-7) que está multiplexado en tiempo para poder transmitir también los 8 bits de la parte baja del canal de dirección. Otras 8 líneas adicionales (A8-15) expanden la -- capacidad de direccionamiento de memoria del sistema a 16 -- bits, permitiendo así el acceso directo de la CPU a 64 K bytes de memoria.

La CPU 8085 genera señales de control que se pueden - usar para seleccionar dispositivos externos apropiados y fugiones para ejecutar operaciones de lectura y escritura (READ y WRITE) así como para seleccionar memoria o puertos E/S.

El 8085 puede direccionar hasta 256 localidades diferentes de E/S. Estas direcciones tienen los mismos valores - numéricos (00 a FF H) como las primeras 256 direcciones de - memoria; se distinguen por medio de la salida IO/M de la CPU.

También se puede seleccionar el direccionar puertos - E/S como localidades de memoria.

## LOS REGISTROS DEL 8085

El 8085, como su antecesor el 8080, está provisto de registros internos de 8 y 16 bits. El 8085 tiene 8 registros direccionables de 8 bits. Seis de ellos pueden ser usados como registros sencillos de 8 bits o pares de 16 bits. Los registros pares son tratados como si fueran registros sencillos de 16 bits; la parte alta del byte de un registro par está localizada en el primer registro y la parte baja está localizada en el segundo.

El 8085 contiene además de los registros pares otros dos registros de 16 bits. Los registros del 8085 son los siguientes:

- \* El acumulador (ACC o registro A), es el blanco de las instrucciones que incluyen operaciones aritméticas, lógicas, de carga y almacenamiento y de E/S. Es un registro de 8 bits.
- \* El contador de programa (PC) siempre señala la localidad de memoria de la siguiente instrucción que va a ser ejecutada. Siempre contiene una dirección de 16 bits.
- \* Registros de propósito general BC, DE y HL que pueden ser usados como 6 registros de 8 bits o como 3 registros de 16 bits. Dependiendo de la instrucción que se ejecute HL, también puede funcionar como un apuntador de datos para direcciones de memoria de referencia. Estas direcciones pueden ser fuentes o destinos, en un número de instrucciones.

Algunas instrucciones pueden usar los registros BC o DE para direccionamiento indirecto.

\* El apuntador del stack (SP) es un apuntador de datos espe-

cial que siempre apunta a la cima del stack (dirección del stack próxima disponible). Es un registro indivisible de 16 bits.

\* El registro de banderas contiene 5 banderas de un bit. Cada una de ellas guarda información de estatus y también puede controlar la operación del procesador.

#### BANDERAS

Las 5 banderas del 8085 son las siguientes:

La bandera de carry (CY) se activa y desactiva por operaciones aritméticas. Por ejemplo la adición de dos números de un byte puede producir una respuesta que se salga de un byte y encender así la bandera de carry:

HEXADECIMAL	BINARIO
AE	10101110
74	01110100
	100100010

El bit de carry enciende la bandera.

Una operación de adición que resulte en un sobreflujo del bit más significativo (bit7) del ACC enciende la bandera de carry. Una operación de adición que no provoque sobreflujo apaga la bandera de CY.

La bandera de carry auxiliar (AC) indica un sobreflujo del bit 3 del acumulador de la misma manera que la bandera de carry indica sobreflujo del bit 7. Esta bandera es usada comunmente en aritmética binaria BCD (binaria codificada en decimal).

La bandera de signo aparece de acuerdo con la condición en que se encuentre el bit más significativo del acumulador siguiendo a la ejecución de instrucciones lógicas o aritméticas. Estas instrucciones usan el bit 7 de datos para representar el signo del número contenido en el acumulador.

La bandera de cero aparece si el resultado generado por ciertas instrucciones es cero y se borra si el resultado no es cero. Un resultado que tiene un carry pero tiene un byte de ceros en el acumulador encenderá las banderas de carry y cero. El incrementar o decrementar algunos registros de la CPU con un resultado final de cero encenderá también la bandera de cero.

La bandera de paridad (P) se vuelve 1 si la paridad (número de unos) del acumulador es par y si el número es impar, la bandera se borra.

#### STACK

El apuntador del stack mantiene la dirección del último byte introducido al stack. Este apuntador puede inicializarse para usar cualquier porción de la memoria RAM como un apuntador. El apuntador del stack se decrementa cada vez que los datos son introducidos al stack y se incrementa cada vez que los datos son recuperados del mismo. Todas las operaciones del stack se aplican a registros pares.

#### UNIDAD LOGICA ARITMETICA (ALU)

La ALU contiene el registro del acumulador, el de banderas y algunos registros temporales que son inaccesibles al programador. Las operaciones aritméticas, lógicas y de rotación

tación son ejecutadas por la ALU. Los resultados de estas -- operaciones pueden depositarse en el acumulador o pueden --- transferirse al canal de datos interno para usarse en otro - lado.

#### DECODIFICADOR Y REGISTRO DE INSTRUCCIONES

Durante la ejecución de una instrucción, el primer - byte de esta instrucción (que contiene el código de opera--- ción) se transfiere del canal interno al registro de instruc-- ciones de 8 bits. El contenido del registro de instrucciones queda disponible al decodificador de instrucciones. La sali-- da del decodificador, disparada por señales de tiempo, con-- trola los registros, la ALU y los buffers de dirección y da-- tos. Las salidas del decodificador de instrucciones y del ge-- nerador de pulsos interno producen las señales de estado y - de sincronía de ciclos de máquina.

#### GENERADOR DE RELOJ INTERNO

La CPU 8085 está provista en su misma unidad de un - generador de reloj, así que solo requiere que se le agregue un cristal de cuarzo para establecer la sincronía de su ope-- ración. Un cristal que se recomienda para el 8085 debe ser - tipo resonante-paralelo a una frecuencia de 6.25 MHz o menor (dos veces la frecuencia interna de reloj).

Las funciones del reloj interno se ven en la fig.1.

Un oscilador Schmitt trigger se usa como condiciona-- dor u oscilador, dependiendo si se usa el cristal o una --- fuente externa de pulsos. El circuito de reloj genera dos se-- ñales de reloj que no se traslapan ( $\phi 1$  y  $\phi 2$ ). Estas señales

controlan la sincronía interna del 8085 y no están accesibles por fuera del C.I.

### INTERRUPCIONES

Las 5 interrupciones de hardware del 8085 son de 3 tipos: INTR es una instrucción mascarillable (puede ser habilitada o deshabilitada por software) y hace que la CPU jale una instrucción RST que dirige un salto a cualquiera de las 8 localidades de memoria prefijadas (direcciones de re-establecimiento).

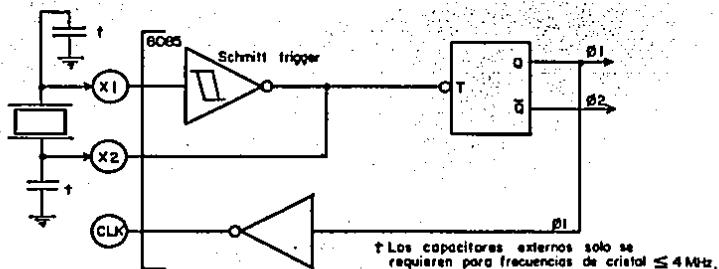


FIG 1.) Lógica del generador de reloj del 8085

Las interrupciones de hardware RST 5.5, 6.5 y 7.5 -- son diferentes a INTR porque se habilitan a través del uso de la instrucción SIM. Esta instrucción borra o establece -- banderas de mascarilleo basadas en los datos del acumulador, ver fig.2).

Existe otra instrucción llamada RIM que sirve para leer el estado del macarilleo previamente establecido al ejecutar SIM. Las interrupciones RST 5.5, 6.5 y 7.5 también están sujetas a su previa habilitación por software.

El tercer tipo de interrupción de hardware es TRAP.

Esta entrada siempre está habilitada. El recibir un flanco positivo en la entrada de TRAP dispara la secuencia de interrupción del procesador, pero el pulso debe mantenerse en estado alto hasta que se reconoce internamente.

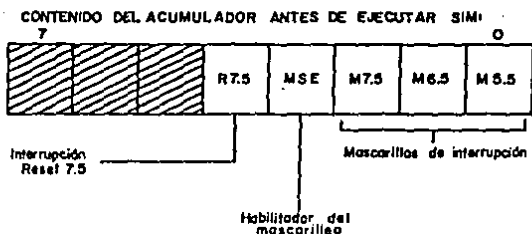


FIG. 2) Mascarillas de interrupción usando SIM

Las funciones de interrupción y sus prioridades se muestran en la siguiente tabla:

NOMBRE	PRIORIDAD	DIRECCION A LA QUE SALTA(1)	TIPO DE DISPARO
TRAP	1	24 H	FLANCO DE SUBIDA Y NIVEL ALTO HASTA MUESTREO.
RST 7.5	2	3C H	FLANCO DE SUBIDA
RST 6.5	3	34 H	NIVEL ALTO HASTA SER MUESTREADA
RST 5.5	4	2C H	IDEM ANTERIOR
INTR	5	(2)	IDEM ANTERIOR

NOTAS: (1) En el caso de TRAP Y RST 5.5-7.5 EL CONTENIDO DEL Contador de programa se guarda en el stack antes del salto.

(2) Depende de la instrucción que se proporcione al 8085 por otro circuito cuando se reconoce la interrupción.

## ENTRADA Y SALIDA SERIAL

Las terminales SID y SOD proporcionan fácil interfaz con puertos seriales. Esto se logra usando software para sincronía, codificación y decodificación de los datos. Cada vez que se ejecuta una instrucción RIM el estado de la terminal SID se lee en el bit 7 del acumulador. Por lo tanto, RIM es una instrucción de doble propósito. De manera similar SIM se usa para sacar el bit 7 del acumulador a la salida SOD -- por medio de un flip-flop interno y estableciendo que el bit 6 del acumulador se pone en uno, ver fig. 3).

La instrucción SID también puede ser usada como una entrada de prueba de propósito general y SOD puede servir como salida de control de un bit.

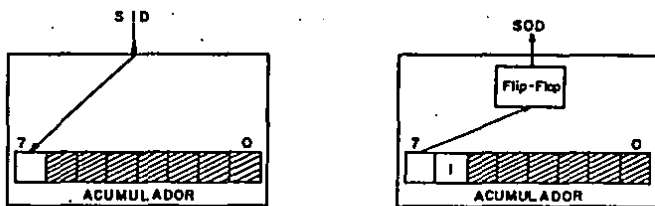


FIG 3.) Efecto de las instrucciones RIM y SIM sobre las líneas seriales de datos

## BREVE EXPLICACION DEL FUNCIONAMIENTO DEL MCS-65

La ejecución de cualquier programa del 8085 consiste de una secuencia de operaciones de lectura y escritura (READ Y WRITE). Cada una de ellas transfiere un byte de datos entre el 8085 y una dirección particular de memoria o de entra



da/salida. Estas operaciones son la única comunicación entre el procesador y los otros componentes y son todo lo necesario para ejecutar cualquier instrucción o programa.

A cada operación de READ Y WRITE del 8085 se le hace referencia con un ciclo de máquina. La ejecución de cada instrucción por el 8085 consiste de una secuencia de 1 a 5 ciclos de máquina y cada ciclo de máquina está formado de un mínimo de 3 a 6 ciclos de reloj (conocidos como estados T).

Considérese por ejemplo el caso de la instrucción STA mostrada en la fig. 4. Esta instrucción ocasiona que el contenido del acumulador se almacene en la dirección especificada por el segundo y tercer byte de la instrucción.

Durante el primer ciclo de máquina (M1), la CPU pone el contenido del contador de programa en el canal de dirección y ejecuta un ciclo de lectura de memoria (Memory read) para leer de ésta el opcode de la siguiente instrucción STA.

El ciclo de máquina M1 también se conoce como ciclo OP-CODE FETCH. Este ciclo busca y trae el código de operación (opcode) de la siguiente instrucción. En el cuarto ciclo de reloj (T4) de M1, la CPU interpreta la lectura de datos y la reconoce como el opcode de la instrucción STA. Es aquí cuando la CPU sabe que debe ejecutar 3 ciclos más de máquina (2 de lectura de memoria y una de escritura de memoria) para completar la instrucción. El 8085 incrementa después el contador de programa para que este señale al siguiente byte de la instrucción y ejecuta un ciclo M2 de lectura de memoria en la dirección CP+1. La memoria accesada coloca el dato di-

reccionado en el canal de datos de la CPU. El 8085 almacena temporalmente este dato (byte inferior de la dirección) internamente en la CPU. Después el 8085 incrementa otra vez el CP a la localidad CP+2 (ciclo M3) y lee de la memoria el siguiente byte del dato, que es el byte superior de la dirección. En este momento el 8085 ha accedido los 3 bytes de la instrucción STA que ahora debe ejecutar.

La ejecución consiste en colocar el dato accedido en M2 y M3 en el canal de dirección. Después poner el contenido del acumulador en el canal de datos y por último ejecutar un ciclo de máquina M4 de escritura de memoria (MW). Cuando M4 termina, la CPU busca el primer byte de la siguiente instrucción y continúa a partir de ahí.

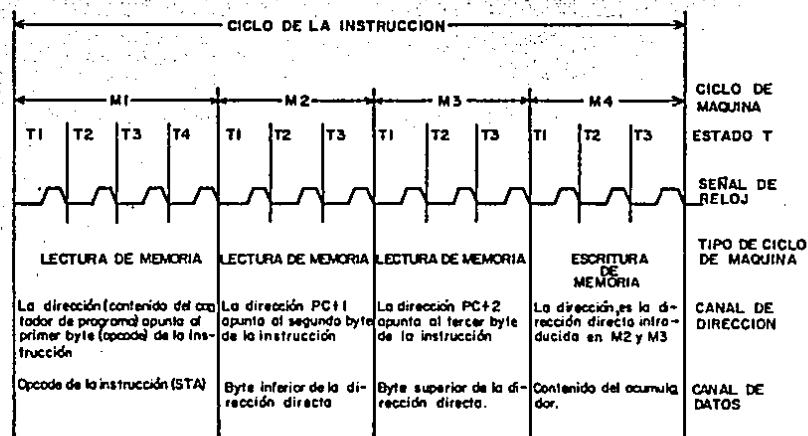


FIG. 4.) Secuenciación de la CPU para la instrucción STA (STA = Almacenamiento directo del acumulador)

## SECUENCIA DE TRANSICION DE ESTADO

Como muestra el ejemplo anterior, la ejecución de una instrucción consiste de una serie de ciclos de máquina - cuya naturaleza y secuencia está determinada por el código - de operación accesado en el primer ciclo de máquina. Ninguna instrucción consistirá de más de 5 ciclos de máquina, y cada ciclo de máquina será alguno de los 7 tipos que se ven en la siguiente tabla. Estos 7 tipos de ciclos de máquina pueden - diferenciarse por el estado de las tres líneas de status: IO/M, SI y SO y las tres señales de control: RD, WR e INTA.

CICLO DE MAQUINA	STATUS			SEÑAL DE CONTROL		
	IO/M	SI	SO	RD	WR	INTA
OPCODE FETCH (OF)	0	1	1	0	1	1
MEMORY READ (MR)	0	1	0	0	1	1
MEMORY WRITE (MW)	0	0	1	1	0	1
I/O READ (IOR)	1	1	0	0	1	1
I/O WRITE (IOW)	1	0	1	1	0	1
INTR ACKNOWLEDGE (INA)	1	1	1	1	1	0
BUS IDLE (BI):						
DAD	0	1	0	1	1	1
INA(RST/TRAP)	1	1	1	1	1	1
HALT	TS	0	0	TS	TS	1

TS = Alta impedancia.

La mayoría de los ciclos de máquina están formados por 3 estados T con excepción de OPCODE FETCH que normalmente tiene 4 o 6 estados T.

## CANAL DEL SISTEMA

El canal del MCS-85 termina en un extremo con la CPU 8085 y en el otro extremo con varios dispositivos de memoria y de entrada/salida (I/O). A continuación se muestran las señales más importantes del canal del MCS-85.

SEÑAL (ES)	FUNCION
A8 - A15	Estos son los 8 bits de la parte alta del canal de dirección y son usados para identificar una localidad de memoria o E/S para un ciclo de transferencia de datos.
AD0 - AD7	Estas 8 líneas tienen una doble función. Durante el comienzo de una operación de transferencia de datos, estas líneas llevan los 8 bits de la parte baja del canal de dirección. Durante el resto del ciclo estas líneas son usadas para la transferencia de datos en paralelo entre dos dispositivos.
RD, WR, INTA	Estas señales identifican el tipo y sincronía de un ciclo de transferencia de datos.
IO/M	Esta línea identifica si una transferencia de datos está en una dirección de espacio I/O o en una de espacio de memoria.
ALE	Address latch enable. Habilita la captación de las señales AD - A7.
READY, RESET, OUT, HOLD, HLDA, CLK, INTR	Estas señales son usadas para la sincronización de memoria de velocidad lenta, sistema de reestablecimiento, DMA, secuenciación del sistema e interrupciones de la CPU.







BIBLIOGRAFIA

- 1) Bibbero Robert J. \* Microprocessors in instruments and control. 1. Copyright 1977. John Wiley and Sons Inc. U.S.A.
- 2) Bibbero Robert J. \* Microprocessors in industrial control. 1 (ILM) ISA Publications U.S.A.
- 3) Rutali Paul W. \* Fundamentals of process control theory. 1 (ILM) ISA Publications U.S.A.
- 4) Mizé Ahmad U. \* Electronic design of microprocessor - based instruments and control systems. 2. Prentice Hall, Inc. U.S.A.

BIBLIOGRAFIA DE MATERIALES

- 1) Bibliografía \* Materiales de construcción de instrumentos y control.
- 2) Bibliografía \* Especificaciones de valores y transductores.