

32  
2ef



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

SIMULACION DE UN CONTROL GENERAL  
DE PROCESOS INDUSTRIALES

**TESIS PROFESIONAL**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO EN COMPUTACION  
P R E S E N T A :  
MARIA GUADALUPE LOPEZ FLORES

DIRECTOR DE TESIS  
ING. ROBERTO MANDUJANO WILD

MEXICO, D. F.

1990

FALLA DE ORIGEN



## **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 está 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.

## **INDICE**

---

---

## CAPITULO I

I.1 Introducción.	3
I.2 Elementos que integran un proceso industrial.	3
I.3 Clasificación de industrias.	8
I.4 El control en la industria.	9
I.5 Ejemplo de un proceso industrial.	10

## CAPITULO II

II.1 Introducción.	
II.2 Identificación de variables en etapas comunes a todo proceso industrial.	19
II.3 Tipos de control de variables.	20
II.3.1 Control manual.	20
II.3.2 Control automático.	20
II.3.3 Control semiautomático.	20
II.4 Ejemplos de identificación de variables físicas en procesos industriales.	21
II.4.1 Tablas comparativas de tres procesos industriales.	23

## CAPITULO III

III.1 Introducción.	35
III.2 Esquemas de control.	36
III.2.1 Sistemas de control de lazo cerrado.	36
III.2.2 Sistemas de control de lazo abierto.	36
III.2.3 Sistemas de control adaptivos.	36
III.2.4 Esquema real de control.	36
III.3 Clasificación de los sistemas de control.	37
III.3.1 Tipos de controladores.	39
III.3.2 Acciones de control.	39
III.4 Tipos de sistemas de control electrónico.	42
III.5 Clasificación y características de sistemas digitales.	44
III.5.1 Sistemas de control regulador.	44
III.5.2 Sistemas de control supervisor.	46
III.6 Controladores programables.	46
III.6.1 Controladores programables pequeños.	47
III.6.2 Controladores programables medianos.	47
III.6.3 Controladores programables grandes.	47

## CAPITULO IV

IV.1 Introducción.	55
IV.2 Sensores.	56
IV.2.1 Medición de movimiento.	56
IV.2.2 Medición de temperatura.	68
IV.2.3 Medición de fuerza.	76

IV.2.4 Medición de presión.	79
IV.2.5 Medición de flujo.	86
IV.2.6 Medición de nivel.	88
IV.3 Actuadores.	90
IV.3.1 Válvulas de control.	90
IV.3.2 Rectificador controlado de silicio.	92
IV.3.3 Triacs.	94
IV.3.4 Relevadores.	95

## CAPITULO V

V.1 Introducción.	99
V.2 Técnicas básicas.	99
V.2.1 Sistemas en línea.	100
V.2.2 Sistemas de colección de datos.	101
V.2.3 Centralización de la información.	102
V.2.4 Programas supervisores de control.	102
V.2.5 Multiprogramación.	104
V.2.6 Programas residentes en memoria.	104
V.2.7 Sensado de variables y respuesta en tiempo.	105
V.3 Requerimientos para el modelado de un sistema en línea por medio de un autómatas y análisis estructurado.	106
V.3.1 Requerimientos de ingeniería.	106
V.3.2 Sistemas industriales en línea.	107
V.3.3 Diferencia entre un modelo y un prototipo.	107
V.3.4 Tecnología para requerimientos ingenieriles de sistemas industriales.	110
V.4 Ejemplo de software en línea dentro de la industria.	110
V.5 Software en línea para computadoras personales.	112
V.5.1 Sistema operativo DOS y versiones MS-DOS.	113
V.5.2 Sistema operativo UNIX.	114

## CAPITULO VI

VI.1 Introducción.	119
VI.2 Descripción del simulador.	119
VI.2.1 Análisis de requerimientos.	119
VI.2.2 Descripción del simulador de control de procesos industriales.	120
VI.3 Estrategia de diseño.	123
VI.4 Diseño de hardware.	126
VI.5 Diseño de software.	130

# **INTRODUCCION**

---

---

## INTRODUCCION

En el convulsionado mundo de hoy en día, es frecuente observar como gran parte de nuestros problemas son resueltos mediante computadoras; sin embargo, en contadas ocasiones nos detenemos a reflexionar que esa clase de equipos están diseñados para ejecutar funciones específicas, mismas que satisfacen ciertas necesidades muy particulares del ser humano. Ahora bien, se considera que una computadora es todo un sistema de procesamiento que opera por la eficiente interrelación de sus elementos constitutivos, los cuales están centrados alrededor de un microprocesador.

Por otra parte, al momento de hablar acerca de la interacción de una computadora con un ambiente productivo, de inmediato surge la idea de automatizar dicho ambiente; es decir, emplear diversos elementos de cómputo, así como su hardware asociado, a fin de ejecutar ciertas acciones precisas en momentos críticos de un proceso. Al efectuar esto se pretende simplificar, al máximo posible, la toma de decisiones por parte del usuario.

La historia nos muestra que el mundo industrial ha pasado por diversos períodos tecnológicamente revolucionarios, durante los cuales se ha dado lugar a una fuerte convulsión tanto económica como social.

Considerando lo anterior, hoy por hoy las Ciencias de la Computación y de la Electrónica, nos sitúan ante una nueva revolución tecnológica, generando aceleradamente un pujante ritmo, así como una dinámica civilización propia de las sociedades altamente desarrolladas, -la sociedad postindustrial-. Esto nos conduce a pensar que, en un futuro cercano, competir industrialmente requerirá de una nueva concepción empresarial, misma que contemple la adopción de tecnologías vanguardistas tales como la automatización y sistematización de la producción.

En lo referente a los procesos productivos desarrollados en serie, es una realidad patente que la automatización es una fuerte tendencia que gana cada vez más terreno en todos los sectores industriales. A este respecto, la Electrónica ha permitido reducir la intervención del ser humano en ciertas labores, primordialmente de tipo mecánico, en base a la utilización de sofisticados

equipos, que si bien internamente son más complejos, ofrecen una mayor versatilidad para el usuario. De esta forma en las instalaciones industriales recientes, se combinan la automatización y la mano de obra sin alta especialización, a fin de reducir los costos de producción.

Como se desprende de lo anterior, al momento de pretender implantar un esquema productivo a nivel industrial que cuente con las características ya mencionadas, y considerando que la inversión requerida es elevada, conviene desarrollar ciertas pruebas que tengan por objetivo facilitar el diseño de los equipos destinados a la automatización de un cierto proceso industrial real. Es interesante notar que dentro de esas pruebas se destaca la simulación de un determinado proceso. Cabe comentar que esa simulación involucra el análisis de los principales elementos que intervienen en las diferentes etapas en las que se desempeña el proceso en estudio.

Si se considera que la simulación es una parte trascendente del desarrollo tecnológico e industrial moderno, es pertinente aprovechar los recursos humanos y materiales, disponibles prácticamente en cualquier centro de trabajo convencional. Por tal motivo, un proyecto de gran interés para los ingenieros, tanto del área Electrónica como del área de Sistemas, consiste en desarrollar un equipo tal, que se pueda convertir en una poderosa herramienta útil en el medio productivo automatizado. Con base en lo anterior, y explotando la revolución provocada por el surgimiento de las computadoras personales, el proyecto que aquí se desarrolla, pretende generar un sistema computarizado, mismo que permita la simulación del control efectuado en ciertas etapas de diversos procesos industriales. El sistema que aquí se plantea toma como referencia la infraestructura aportada por una computadora personal del tipo PC, coordinándose con un software personalizado a las aplicaciones discutidas previamente.

En lo que respecta al tratamiento temático desarrollado en esta memoria, los primeros dos capítulos están destinados a establecer un marco teórico en el que se desenvuelven los procesos industriales en general; el tercer capítulo se orienta a esclarecer algunos conceptos relacionados con la teoría de control; el cuarto capítulo muestra los principales parámetros que intervienen en la

## Introducción

selección de sensores y actuadores industriales; el quinto capítulo fundamenta los conceptos del software requeridos por el proyecto; en el sexto y último capítulo se reseñan las estrategias seguidas para efectuar el diseño de las etapas física y lógica, propias de este proyecto.

# **CAPITULO I**

---

---

# DESCRIPCION DE LOS ELEMENTOS DE UN PROCESO INDUSTRIAL

---

---

## I.1 INTRODUCCION.

En referencia a la historia del mundo, las industrias hacen su aparición en los siglos XVIII y XIX con la Revolución Industrial, que se produjo en virtud de la extensión del comercio y de la mecanización de la industria.

La aparición de la máquina de vapor en 1705, perfeccionada por Watt en 1763; de la lanzadera mecánica de Kay en 1733; y de la hiladora de algodón en 1741; entre otros, motivaron el aumento de producción, la disminución de mano de obra y una honda transformación en los sistemas de producción y de trabajo.

Debido a los acontecimientos mencionados, las industrias comenzaron a adquirir gran fuerza productiva, no sólo en Europa, sino que se hizo extensivo este gran cambio a todo el mundo. Al dar inicio a este nuevo modo de producción en serie con el empleo de las máquinas, se dio lugar a una serie de transformaciones en la maquinaria y en los métodos de producción que ha sido un constante reto para el hombre de todos los tiempos.

Desde la antigüedad hasta nuestros días se ha necesitado de medios más efectivos para la elaboración de bienes de consumo, con lo que la tecnología a niveles industriales ha tenido a bien actualizarse en todo momento hasta llegar a los métodos más sofisticados para el control de la industria, involucrando no sólo máquinas de vapor, mecánicas, neumáticas e hidráulicas, sino computadoras que realizan rutinas de control preestablecidas por los ingenieros de control de la planta en cuestión.

El uso de computadoras, involucra el uso de dispositivos, generalmente electrónicos, para lograr el control automático que se ha convertido en parte importante e integral de los procesos de manufactura e industriales modernos.

En el presente capítulo se desarrollarán diferentes conceptos básicos de los procesos industriales, así como una clasificación de los mismos.

## I.2 ELEMENTOS QUE INTEGRAN UN PROCESO INDUSTRIAL.

Debido a que los diagramas de bloques son más claros y permiten tener una visión panorámica del proceso, el desarrollo de esta sección se hará en base a diagramas de bloques. Al pie de cada diagrama se tendrá la explicación concerniente al mismo.

La figura I.1 explicará de manera general los elementos que integran a cualquier proceso industrial, y en los diagramas posteriores se desglosarán cada uno de sus componentes.

Como en todo proceso, se necesita de la materia prima para comenzar. Dicha materia prima puede ser un producto obtenido del sector primario (esto es sin ninguna elaboración) o bien un producto elaborado, como por ejemplo papel para bolsas, empaques, etc.

La figura I.1 presenta en conjunto, diferentes bloques que inician con el almacenamiento de la materia prima, el procesamiento inicial, el procesamiento intermedio, el procesamiento final y por último el almacenamiento del producto terminado.

Es importante mencionar que entre cada bloque de procesamiento se tiene la transportación de las diferentes etapas del producto, desde que es materia prima hasta que termina su transformación.

Como se mencionó al inicio de este tema, se procederá a explicar los elementos que forman a cada bloque que integra el proceso general.

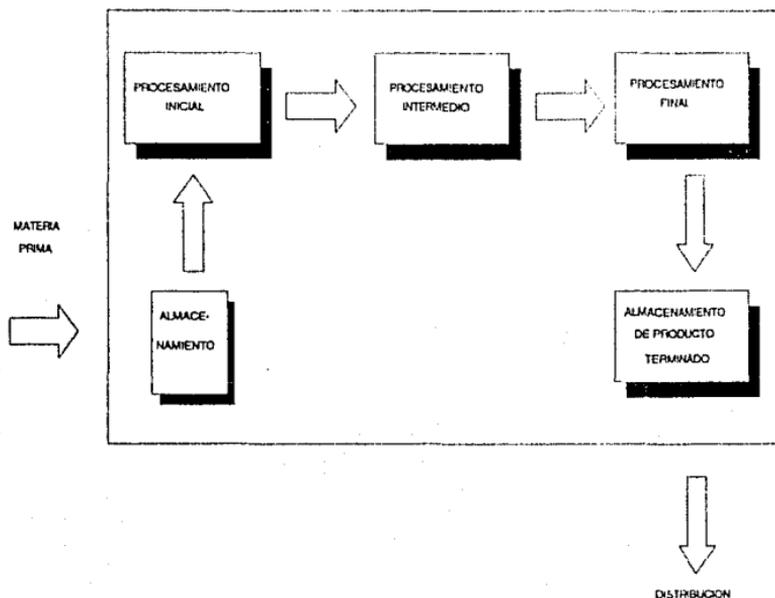


Fig. I.1 Elementos de un Proceso Industrial

**Almacenamiento de la materia prima.** Una vez que la materia prima ha llegado a la industria, se requiere almacenarla, para ello debe someterse a ciertas etapas de control como son: el control de calidad, de inventario, y de pesos y medidas (figura I.2).

Para que la materia prima pueda utilizarse debe pasar por un estricto control de calidad, ya que de no cubrir con las especificaciones necesarias, el producto no tendrá las características deseadas. Es por esto, que si la materia prima no satisface las normas de calidad, deberá ser rechazada. Sin embargo cuando la materia prima pasa el control de calidad, se somete a otra etapa que es el control de inventario, puesto que se requiere saber continuamente la cantidad de materia prima disponible para la elaboración de los diferentes tipos de producto, y en caso de no ser suficiente, solicitar la compra de mas materia prima.

En cualquier tipo de proceso, la materia prima se somete a estas etapas, y en la mayoría de los casos, es aquí, donde se controlan los pesos y medidas de la misma para posteriormente comenzar con su preparación inicial, que forma parte del siguiente bloque como puede verse en la figura I.1.

Es importante hacer notar que las materias primas deben contar con ciertas condiciones ambientales del lugar donde se almacenen. Tales condiciones son: temperatura, humedad, iluminación, grado de esterilización, entre otras.

**Procesamiento inicial.** En general, un producto, requiere de más de una materia prima para su elaboración, por lo cual cada una de las materias primas que se requieran deben someterse a un cierto acondicionamiento individual, para cumplir los requerimientos de elaboración. Por ejemplo, hablando de una industria alimenticia,

## ALMACENAMIENTO

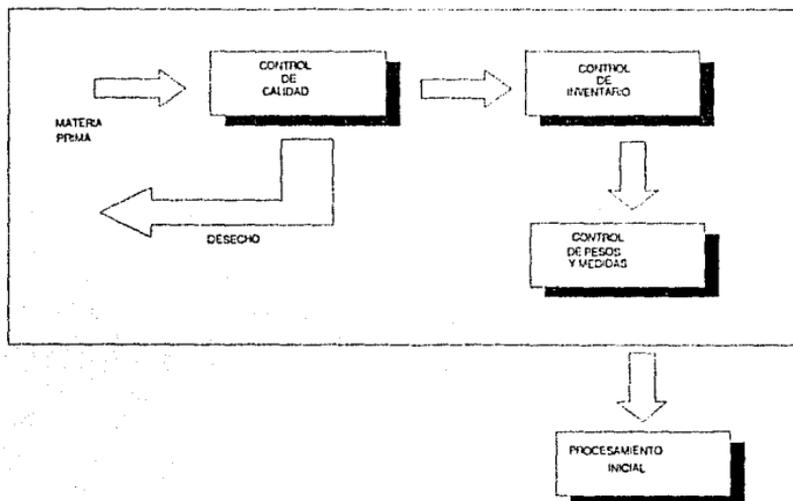


Fig. I.2 Almacenamiento de la Materia Prima

específicamente panadera, se requiere que las materias primas para la elaboración del pan, reúnan ciertas condiciones, en las que se encuentren listas para efectuar el proceso de elaboración; como es: el huevo pasteurizado, la harina cernida y pesada para hacer la mezcla, la levadura tratada a la temperatura óptima, etc.

Cada una de estas materias primas ha sufrido un acondicionamiento individual, después del cual serán sometidas nuevamente a un control de calidad también individual (figura I.3).

Una vez cubierto el control de calidad, se procede a integrar las materias primas adecuadamente para dar lugar a la siguiente etapa de su transformación, que de acuerdo a la figura I.1 corresponde al procesamiento intermedio.

Con respecto a la integración de las materias primas debe quedar claro que ésta puede ser específica para cada producto, y para ello no habrá ningún esquema o formato general a seguir.

**Procesamiento intermedio.** Hasta el momento, no se puede hablar de producto, pero tampoco se puede continuar con el nombre de materia prima, puesto que ya ha sufrido una primera transformación. Para efectos de un manejo más adecuado del término, se llamará materia prima secundaria a la materia prima que ha sido transformada en su primera etapa.

Una vez realizada la primera transformación, se llevarán a cabo una serie de pasos que involucran el procedimiento específico que conformará el producto terminal. Al cumplirse cada uno de estos pasos se contará con un control de calidad, que permitirá revisar continuamente, se tengan las condiciones necesarias para que el proceso sea óptimo.

Nuevamente debe aclararse que el número de pasos, la tecnología, tiempo y secuencia de los mismos, serán diferentes y específicos para cada producto, como puede verse en la figura I.4. Retomando el ejemplo de la industria panadera,

## PROCESAMIENTO INICIAL

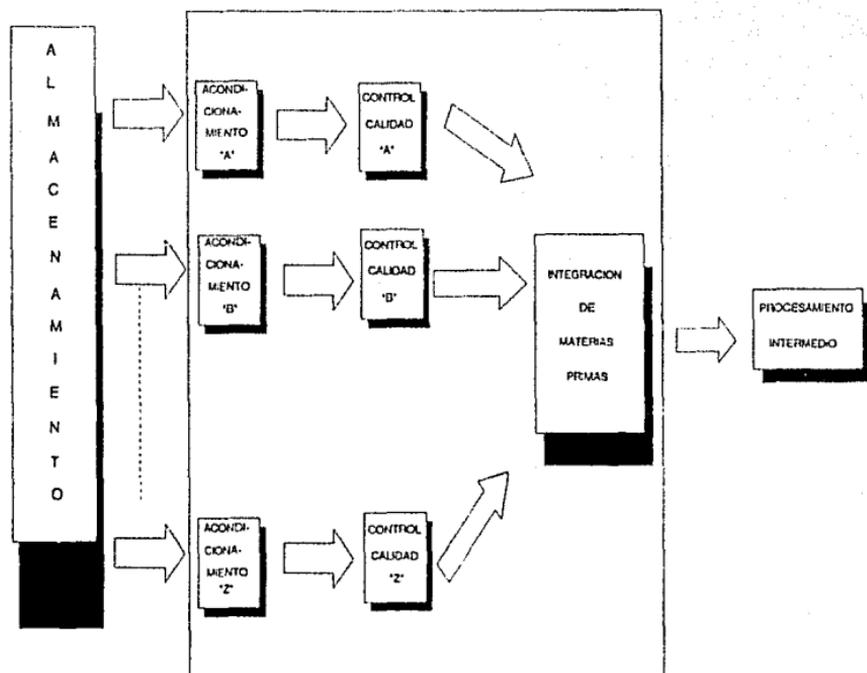


Fig. 1.3 Procesamiento Inicial

existen diversos productos que se elaboran en la misma planta y aunque en esencia las materias primas son comunes a los diferentes productos, éstos tienen una secuencia y procedimiento distintos entre sí. Se puede intuir que para producir pan blanco, se procede de manera diferente que para hacer bollos. Así como este ejemplo, existen muchos más dependiendo del tipo de industria de que se trate.

**Procesamiento final.** Al terminar el procesamiento intermedio ya se puede hacer mención de un producto terminal, puesto que ha

sido sometido a su última transformación de materia secundaria a producto final, y con ésto, solo resta envolverlo y/o envasarlo para poder almacenarlo y posteriormente distribuirlo para su venta.

Siguiendo estrictamente el diagrama de la figura 1.5, se puede ver que el producto terminado debe acondicionarse, esto es, darle la presentación adecuada para su venta al público. Esta presentación se refiere a su envoltura, envasado, etc.

## PROCESAMIENTO INTERMEDIO

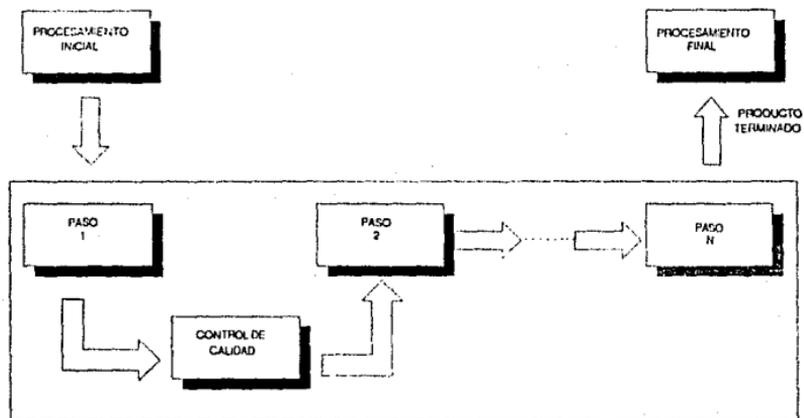


Fig. 1.4 Procesamiento Intermedio

## PROCESAMIENTO FINAL

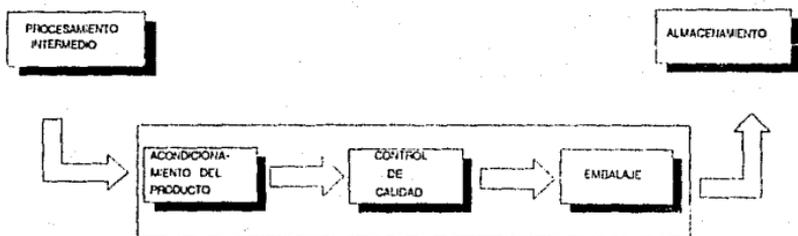


Fig. 1.5 Procesamiento Final

Ya que el producto fue acondicionado, pasa por el control de calidad que permite revisar si realmente es el producto que se esperaba obtener, bajo las condiciones impuestas al principio del proceso.

Si el producto fue el descado, se manejará adecuadamente para su almacenamiento y posterior distribución.

**Almacenamiento del producto.** Así como la materia prima necesita almacenarse bajo ciertas condiciones ambientales y de control de inventario, el producto final también lo requiere.

aire, etc; hasta que el producto se distribuye a los lugares destinados para su venta.

En la figura I.6 pueden verse los elementos que integran el almacenamiento del producto terminado.

### I.3 CLASIFICACION DE INDUSTRIAS.

Debido a que las industrias poseen muchas características que las hacen diferentes unas de otras, su clasificación es realmente un serio problema, sin embargo de manera general se puede enunciar la clasificación de industrias

## ALMACENAMIENTO

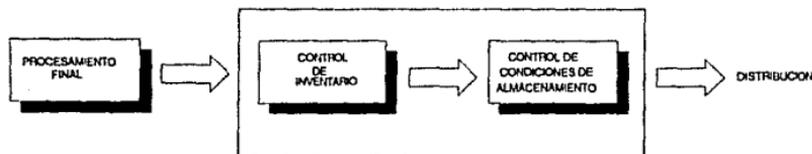


Fig. I.6 Almacenamiento del Producto

Cuando el producto llega al almacén, significa que pasará por un control de inventario, en donde debe tenerse en cuenta la fecha de entrada del producto al almacén, puesto que hay productos que tienen fecha de caducidad, o bien la empresa sigue ciertas políticas de conservación de sus productos durante un tiempo determinado, y en el caso que este plazo se venza, el producto no sale a la venta.

Ahora bien, las condiciones ambientales del almacén también son muy rigurosas, puesto que los productos necesitan estar en un medio óptimo para no perder sus cualidades. Para esto se mantiene un control de humedad, temperatura, luminosidad, grado de esterilización o pureza del

básicas, atendiendo a su tamaño y tipo de producto.

#### Clasificación por su tamaño.

**Industrias con producción masiva.** Se dice que se cae en la producción masiva, si se manufactura continuamente un elevado volumen de partes, durante un periodo de tiempo considerable; algunas autoridades hablan del orden de 100,000 piezas por año, aunque tal cifra puede resultar demasiado restrictiva.

En este tipo de industria, el volumen de ventas está bien preestablecido, de tal suerte que la cadencia de producción no depende de pedidos eventuales o particulares.

La maquinaria que genera estas partes se selecciona para conformar las piezas mediante varias operaciones, de tal forma que difícilmente estas máquinas pueden utilizarse para propósitos generales. Dentro de las piezas que fácilmente pueden reconocerse como partes producidas en forma masiva, están: envases, lámparas, automóviles, tuercas, tornillos, guantes, etc.

**Industrias con producción moderada.** En la producción moderada, las piezas se hacen en cantidades relativamente grandes y tal vez en forma continua, pero el producto de la fabricación en cuanto a su cantidad, puede ser más variable y con frecuencia depende más de los pedidos eventuales. Aquí la cantidad de piezas que se fabrican puede variar de 2500 a 100,000 por año dependiendo de su complejidad. Algunos ejemplos de industrias con volúmenes de producción moderada son: las editoriales, equipos de dibujo, partes para aeronaves, y equipos transmisores de radio entre otros.

**Industrias con producción limitada.** Las industrias con volúmenes de producción limitada, son más flexibles y su volumen de producción consiste en lotes limitados, dependientes de los pedidos y ventas previstas. El equipo que se utiliza es mucho más versátil, aunque requiere de operadores más competentes para llegar a conformar distintas tareas, dependiendo de la pieza o conjunto. El número de piezas por lote varía entre 10 y 500.

Estas empresas generalmente trabajan tres o más productos, fabricándolos en cualquier orden y cantidad dependiendo de la demanda.

Algunos ejemplos típicos de industrias con volúmenes de producción limitada son: la construcción de aeroplanos, autopartes para unidades antiguas, válvulas, manos artificiales para unidades automatizadas, entre otras.

#### Clasificación según el producto.

Atendiendo al tipo de producto que se fabrica, las industrias pueden clasificarse como sigue:

1. Alimentos y procesamiento de alimentos.
2. Manufacturas eléctricas y electrónicas.
3. Automotriz y transporte.

4. Accesorios metálicos, plomería, acondicionamiento y refrigeración.
5. Construcción.
6. Mobiliario y trabajo de la madera.
7. Productos de piedra, cristal y arcilla.
8. Industria extractiva, etc.

### 1.4 EL CONTROL EN LA INDUSTRIA.

En términos generales, casi cualquier máquina o cualquier proceso puede ser automático, pero el uso de los medios de fabricación con tales características depende de los resultados que arroje un previo análisis económico.

Entre todos los avances registrados en los últimos 25 años, el más sobresaliente ha sido el uso de máquinas herramienta controladas numéricamente. El control por cinta perforada, puede aplicarse desde pequeños tornos hasta máquinas fresadoras gigantes. Este avance representa el paso más significativo en el progreso de las máquinas herramienta, avance que durará algunos años; más aún con su perspectiva hacia la concepción y construcción de líneas de producción y máquinas controladas desde un escritorio.

Una empresa grande con un personal de ingeniería competente, mediante un juicio apropiado y con una ingeniería de proyecto creativa, puede comprar máquinas herramienta básicas, cabezales, mandos y otros accesorios para armar máquinas altamente eficientes.

El control numérico significó un símbolo de modernización, pero hoy día es una necesidad en la mayoría de los procesos industriales.

El control industrial involucra el término automatización que nació de la industria automotriz, al descubrir los métodos usados para controlar automáticamente diversas máquinas enlazadas entre sí, con los sistemas de transferencia de piezas. El control puede aplicarse a una máquina o a una serie de ellas, sea cual sea la complejidad de la secuencia de operaciones necesarias para fabricar un producto. Esta secuencia de operaciones puede incluir la alimentación de la carga a las máquinas, la transferencia del producto de una máquina a otra, las operaciones de inspección y la expulsión final del producto terminado.

La automatización normalmente infiere un proceso restrictivo, que solo es aplicable a la pieza o a un producto dado, pero los controles y las máquinas disponen de cierta flexibilidad, para poder trabajar piezas que difieren ligeramente de aquellas para las cuales las máquinas o el proceso habían sido proyectados. La coordinación no es necesariamente automatización. La automatización implica autocorrección, tal como sucede en los dispositivos para controlar la velocidad de una máquina o en el termostato para controlar la temperatura de una casa.

En otras palabras, la automatización proporciona a la máquina cierta capacidad o habilidad, para seleccionar condiciones de operación aceptables y corregirse a sí misma, cuando ciertos límites preescritos se encuentran excedidos. Una derivación de la mecanización consiste en el control numérico completo del proceso.

Por otra parte, se designa como control numérico, el proceso en el cual las máquinas herramienta, se controlan por medio de instrucciones numéricas, que han sido almacenadas en una cinta perforada o en tarjetas.

La automatización es relativamente inflexible, porque se proyecta para un proceso o un producto individual. En cambio el control numérico es flexible, dado que tanto las máquinas herramienta básicas como las altamente especializadas, se controlan mediante información almacenada y disponible en cualquier momento, y que además, ello no implica la imposibilidad de operar estas máquinas con el elemento humano calificado.

En México, contamos con máquinas herramienta controladas numéricamente y también con procesos controlados por computadora; sin embargo este tipo de tecnología no es de fabricación nacional y por ende su costo es elevado, de tal manera que para muchas industrias es inalcanzable su adquisición. En base a visitas realizadas a diferentes tipos de industrias en México, se ha podido constatar que la mayoría de éstas no están controladas, ni automatizadas en la totalidad del proceso que efectúan.

En contraposición a esto, existen industrias transnacionales establecidas en México, que sí cuentan con el respaldo económico para adquirir la tecnología moderna, que las hace contar con ciertas etapas automatizadas y en algunos casos excepcionales, la industria está totalmente automatizada como es una industria fotográfica reconocida mundialmente.

---

## 1.5 EJEMPLO DE UN PROCESO INDUSTRIAL.

---

Con la finalidad de identificar las etapas comunes a diversos procesos industriales, se realizó un estudio de campo, a través de visitas realizadas a plantas industriales de distintos ramos. Para ilustrar las etapas mencionadas en el punto 1.2, se ha seleccionado la visita realizada a una planta embotelladora de refrescos. A continuación se presenta la descripción del proceso, después de lo cual, resulta sencillo identificar cada una de las etapas de los diagramas expuestos anteriormente.

Esta industria refresquera ha alcanzado un gran desarrollo en nuestro país, y es, una de las más importantes por el volumen de refrescos que se consumen en México. Casi el 90% de la producción total de refrescos es generada por dos firmas líderes, una de las cuales cuenta con una planta en México, que resulta ser la más grande del mundo, en cuanto a capacidad instalada concierne.

En esta planta se puede encontrar maquinaria de lo más moderno en su género, que, junto con diversos sistemas de control, hacen que la embotelladora se encuentre automatizada en casi un 90% de los procesos que en ella se realizan. La elaboración de refrescos consta de varias etapas que van desde la preparación y purificación del agua a utilizar, hasta la colocación del producto terminado en rejas de plástico. Los sistemas de control que se tienen en las diversas etapas del proceso corresponden a tres tipos básicos: mecánicos, electrónicos y neumáticos. En general, se puede decir que la mayor parte de las fases de producción se encuentran automatizadas, sin embargo, aún existen ciertos requerimientos de control automático que no han sido satisfechos, ya sea por falta de un sistema apropiado o bien por políticas de la empresa.

El proceso de elaboración de refrescos comienza con la fase de preparación y purificación del agua. En esta etapa se hace pasar el agua por una serie de filtros de arena y carbón, tratándola después en un reactor, cuya finalidad es agregarle los elementos químicos requeridos, de acuerdo a especificaciones fijadas por una comisión representativa de la firma de la compañía en México. Durante el proceso de purificación del agua, se toman muestras cada 3 horas para ser sometidas a un análisis realizado por laboratoristas especializados, mismos que después del análisis emiten el indicativo del estado del líquido.

En el análisis químico realizado, se verifica que el agua se encuentre libre de agentes contaminantes, y que cumpla con especificaciones requeridas, en cuanto a coloración y sabor, características que deben estar ausentes para evitar una alteración en el color y sabor del producto terminado. En esta etapa, los filtros de arena se encargan de retener las posibles impurezas que se encuentren presentes en el líquido, en tanto que los filtros de carbón tienen la finalidad de eliminar el sabor y olor producidos por la cloración.

En la sala donde se lleva a cabo el proceso de purificación del agua, se maneja un código de colores en las tuberías, para poder diferenciar la etapa por la que pasa el líquido, además de poder diferenciar el agua destinada a ser utilizada en producción, de aquella utilizada para los equipos

o para mantenimiento. Existen varias válvulas de paso que son manejadas manualmente y que sólo se utilizan para detener por completo el proceso de purificación, lo que se realiza cuando se da mantenimiento al equipo, incluyendo el lavado de los filtros. Cuando el resultado del análisis realizado a una muestra no es satisfactorio, el líquido se vuelve a reciclar hasta lograr las condiciones requeridas.

En esta fase se encuentra también la parte concerniente al tratamiento que se da el agua que se utiliza tanto para mantenimiento de los diversos equipos, como para la máquina lavadora de envases. El tratamiento consiste básicamente en un filtrado y un proceso de suavización del agua, para evitar una posible corrosión en los equipos. Al igual que ocurre con el agua destinada a producción, la utilizada en esta etapa es reciclada hasta obtener las características deseadas.

Gran parte del volumen de producción está formado por el producto de envase retornable, mismo que requiere de ser lavado como preparación para su nuevo uso. Las máquinas lavadoras de envases requieren que el agua se encuentre a una temperatura cercana a la del líquido con que serán llenados, de modo de evitar un choque térmico. Las calderas encargadas de preparar el agua para este proceso, cuentan con un dispositivo de control de dos posiciones, que regula la temperatura cuando ésta alcanza alguno

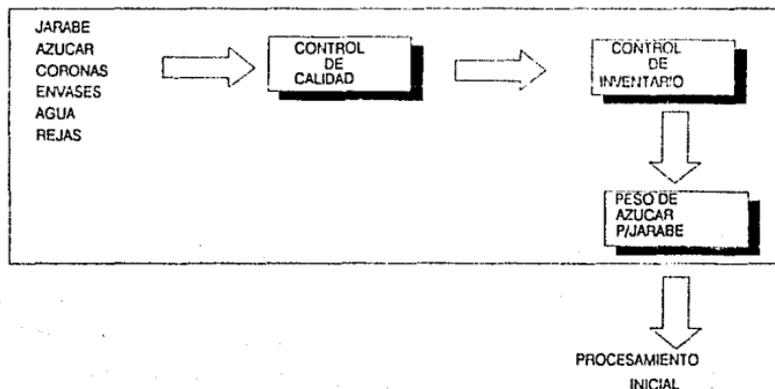


Fig. 1.7 Almacenamiento de la Materia Prima

de los dos niveles extremos, ya sea que la temperatura baje o suba demasiado. Aunado a este control, un supervisor realiza una revisión cada 3 horas para asegurar que la temperatura sea la adecuada.

Al equipo de lavado de envases llegan tuberías que conducen tres elementos básicos: agua, vapor de agua y solución de sosa, mismos que son

Entre las etapas correspondientes al lavado del envase y su llenado, se realiza una supervisión visual para detectar las botellas que no hayan quedado del todo limpias o que contengan cuerpos extraños. En esta etapa, es común que algunos envases en estas condiciones escapen a la vista del personal. En algunas plantas envasadoras del extranjero, se ha intentado implantar algún control electrónico para dar solución a este problema, sin

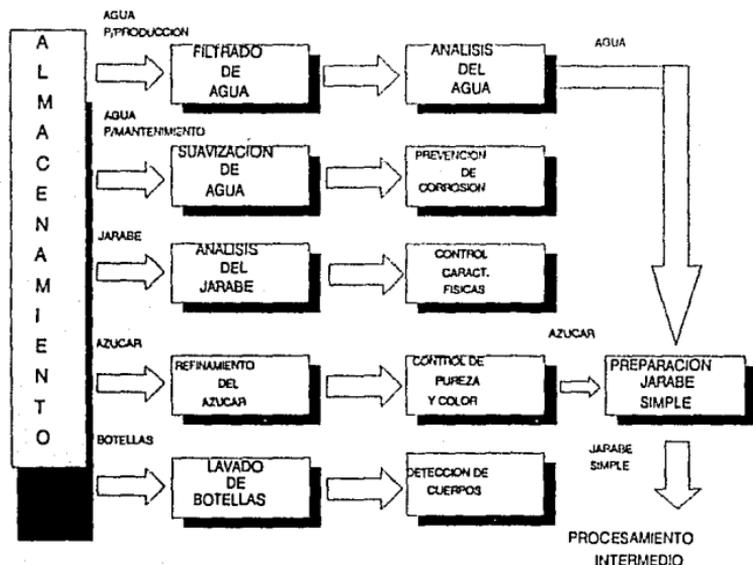


Fig. 1.8 Procesamiento Inicial

regulados en cuanto a cantidad y la presión con que son aplicados, para llegar al interior de los envases, que salen de esta etapa completamente secos, para ser llevados a través de una banda transportadora, hasta a la máquina de llenado. En las bandas transportadoras se utiliza una solución jabonosa como lubricante para facilitar el paso de los envases. El ancho de la banda permite el paso de 3 envases simultáneamente y es reducido un poco antes de llegar a la llenadora, de manera que sólo pase un envase a la vez.

obtener resultados satisfactorios hasta el momento.

En el área de llenado de las botellas, es donde se prepara el producto final, mezclando un jarabe simple (agua con azúcar) con un concentrado de la bebida, en una proporción de 1 parte de concentrado por 5 de jarabe simple. Para asegurar esta proporción, se emplea un control neumático que detecta y controla los niveles de los líquidos en sus respectivos contenedores. En esta etapa se cuenta también con un control que regula la can-

tidad y presión del gas carbónico que se adiciona al producto al momento del llenado. La máquina de llenado tiene sensores que detectan la presencia de la botella, de manera que, si por alguna causa el envase no se encuentra en la posición adecuada, el líquido no es liberado por la válvula de llenado.

La etapa inmediata es la de colocación de la tapa o corona. Se cuenta con un dispositivo encargado de colocar las coronas en una misma posición, preparándolas para su colocación. Durante este proceso, suelen estallar algunas botellas por un exceso de presión. Una vez colocada la tapa se hace una revisión visual para detectar las botellas con un nivel inferior al requerido, mismas que son retiradas de la línea de producción. Las botellas

levantándose simultáneamente, mientras la reja de plástico es colocada bajo ellas. Después de cierto tiempo, las botellas son descendidas y liberadas, pasando así la reja con los refrescos por la banda para ser estibadas en el área de almacenamiento.

A fin de complementar la descripción del proceso de envasado de refrescos, cabe mencionar el control que se tiene sobre la calidad de las materias primas y los equipos utilizados en la planta. Debido a esto, antes de la preparación del jarabe simple, se hace pasar el azúcar refinada por un proceso local de refinamiento para asegurar que se encuentre en condiciones óptimas de calidad. Una vez cumplidas las características, en cuanto a color y pureza, es agregada al agua,

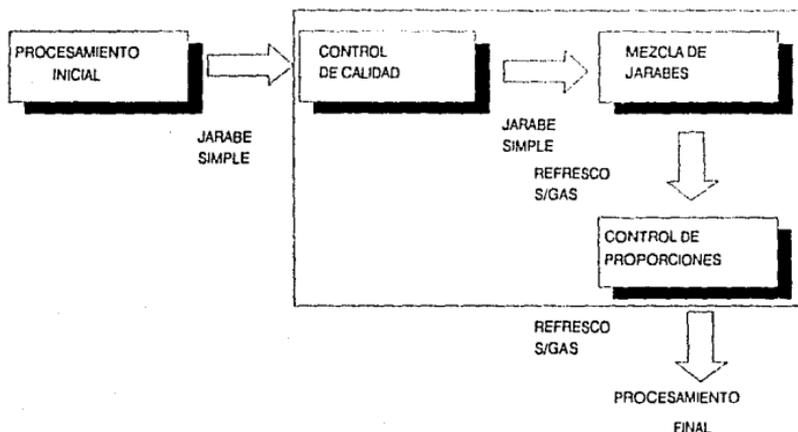


Fig. 1.9 Procesamiento Intermedio

continúan su recorrido sobre la banda transportadora, pasando por un rociador, para limpiar el excedente del producto que se haya derramado sobre la botella al momento de ser llenada.

La última etapa por la que pasa el producto terminado es la de la colocación de las botellas en rejillas de plástico. La banda transportadora lleva las botellas hasta una máquina, cuya disposición permite la entrada a la cantidad de botellas que se requieren para una reja. Una vez colocadas las botellas, baja un succionador por cada botella,

previamente purificada, en la proporción indicada por los estándares de la empresa refresquera. El jarabe es almacenado en depósitos especiales, en espera de pasar a la etapa de llenado. Igualmente, se prepara la solución del jarabe concentrado, que se recibe en pequeños tanques y que es analizado antes de ser empleados. El concentrado es diluido con agua y almacenados en recipientes especiales.

Antes de que los jarabes lleguen a la etapa de llenado, son analizados cuidadosamente a través

de muestras tomadas por laboratoristas para detectar alguna posible contaminación. Sin embargo, durante el trayecto desde los tanques de

Otro de los productos elaborados en la planta industrial descrita, es el refresco en envase no retornable. Este proceso es semejante al descrito

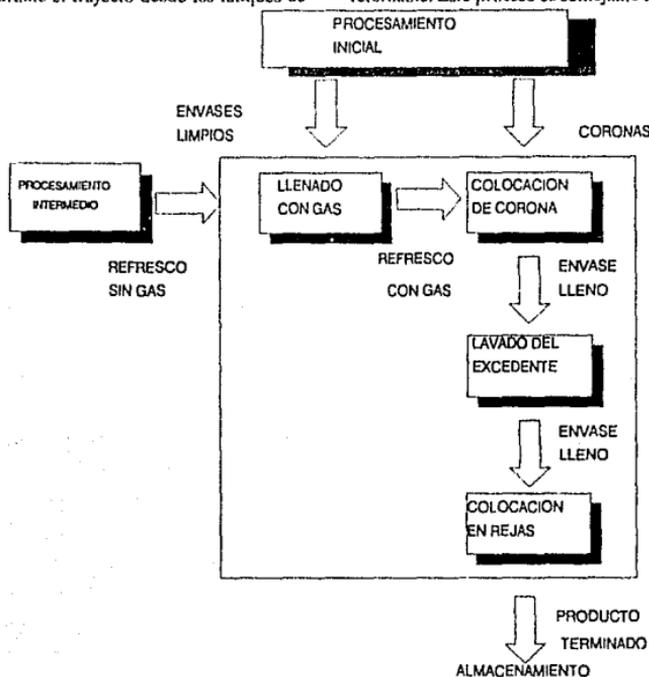


Fig. I.10 Procesamiento Final

almacenamiento hasta la máquina llenadora, no se vuelve a realizar ninguna revisión. Es una vez que el producto está terminado, que se realiza un muestreo para verificar la calidad del mismo.

Existe un control de velocidad en cada uno de los equipos que intervienen en el proceso de elaboración de refrescos: lavadora de envases, bandas transportadoras, máquinas de llenado, coronadora y empacadora. Los operadores que tienen a su cargo el manejo de cada equipo, son los encargados de sincronizar su velocidad a la del resto de la maquinaria, para asegurar una producción continua.

anteriormente. Sin embargo, este se simplifica más por el hecho de que el envase no requiere de lavado, aunado a esto, la maquinaria utilizada se encuentra mucho más automatizada. De esta manera, mientras la línea de producción de envases retornables requiere de 19 personas para su operación y supervisión, la línea de producción de envases no retornables requiere de sólo 4 personas.

La etapa inmediata al llenado de envases y colocación de corona, es la separación de las botellas en grupos de 6. Para esto, se hacen pasar las botellas por una banda transportadora que sólo permite pasar dos botellas por vez. Se tiene

un par de "estrellas", una a cada lado de la banda, que en cada ciclo de rotación dejan pasar tres botellas cada una, formándose así el grupo de 6 botellas que siguen juntas el recorrido sobre la banda, hasta pasar por donde un operador las sobrepone en la rejilla portafácil. De aquí, las botellas pasan por un dispositivo que presiona tres bandas sobre la rejilla para hacer que las botellas entren en ésta. El operador del equipo es el encargado de supervisar que la rejilla quede debidamente colocada y, de lo contrario, retirar el producto de la línea. Las canastillas se colocan automáticamente en cajas de cartón y son transportadas mecánicamente hasta llegar a un equipo que automáticamente se encarga de realizar la estibación. Este equipo sólo requiere de un operador para el manejo de controles y supervisión de la operación. Aquí termina el proceso de producción, pasando el producto al área de almacenamiento, en espera a su distribución.

---

**BIBLIOGRAFIA**

---

**"Procesos de Manufactura"**

B.H. Amstead, Phillip F. Ostwald, Myron L. Begeman.

Editorial C.E.C.S.A.

**"Enciclopedia Salvat Diccionario"**

Tomo 11.

Salvat Editores S.A.

**"Ingeniería de Control Moderno"**

Ogata Katsuhiko.

Edit. Prentice Hall.

## **CAPITULO II**

---

---

# IDENTIFICACION DE LOS PARAMETROS A CONTROLAR EN UN PROCESO INDUSTRIAL

---

## II.1 INTRODUCCION

Así como es posible identificar ciertas etapas comunes a distintos procesos industriales, también es factible determinar el tipo de variables que se pueden encontrar en cada una de estas etapas. En la mayoría de los procesos industriales, independientemente de su tipo, se tienen que controlar parámetros tales como: temperatura, presión, humedad, posición y nivel, entre otros. La diferencia en el manejo que se tenga de estos parámetros, en los diversos procesos, depende del rango en que se deban mantener las variables. El presente capítulo pretende identificar estos parámetros en las etapas que resultan ser comunes para todo proceso industrial, así como los distintos tipos de control utilizados.

## II.2 IDENTIFICACION DE VARIABLES EN LAS ETAPAS COMUNES A TODO PROCESO INDUSTRIAL

Como se vió en el capítulo anterior, a través de una etapa de investigación, fue posible identificar áreas generales, que son aplicables a todo proceso industrial, (figura I.1). La investigación permitió detectar los parámetros que más comúnmente se presentan en cada una de las áreas generales, así como los métodos utilizados para controlarlos. Como se expuso en el capítulo I, se pueden identificar áreas generales en todo proceso y a continuación se describen las variables encontradas en cada etapa.

1. Área de Almacenamiento de Materia Prima. Generalmente, las materias primas utilizadas en la elaboración de ciertos productos, especialmente en la industria alimenticia y farmacéutica, requieren de un gran cuidado de las condiciones ambientales, para asegurar una calidad óptima en el momento de su utilización. Dentro de este rubro, se pueden encontrar las siguientes variables:

- a. Temperatura
- b. Humedad

- c. Presión
- d. Intensidad Luminosa

En esta área, es en donde se da inicio al proceso de control de calidad dentro de la industria. Toda materia prima es sometida a un reconocimiento de calidad, tanto al entrar al almacén, como al momento de pasar a la etapa de procesamiento inicial. Dependiendo del tipo de materia prima, y del producto a elaborar, las variables involucradas en este punto, pueden ser:

- a. Calidad Físico-Química
- b. Concentración de Acidez (Ph)
- c. Nivel de Flúidos
- d. Peso
- e. Volumen

2. Área de Procesamiento. De acuerdo a la industria de que se trate, y del producto que se vaya a elaborar, se tendrá la delimitación de las áreas de procesamiento inicial, intermedio y final. Es en esta etapa en donde se puede encontrar la mayor variedad de parámetros a controlar, dependiendo del proceso, como son:

- a. Velocidad
- b. Posición
- c. Temperatura
- d. Presión
- e. Fuerza
- f. Viscosidad
- g. Humedad
- h. Nivel de Flúidos

3. Área de Almacenamiento de Producto Final. Al igual que ocurre con la materia prima, muchos productos finales requieren de condiciones controladas en el ambiente existente en el área de almacenamiento, para evitar su descomposición o alteración. Por lo que es recomendable verificar las condiciones de las siguientes variables:

- a. Temperatura
- b. Presión
- c. Humedad
- d. Intensidad Luminosa

4. **Transportación entre etapas del proceso.** En toda industria, se tiene una infraestructura, (en algunos casos simple y en otros más compleja), para transportar el producto generado en cada área, hasta hacerlo llegar a la etapa siguiente. Dependiendo de la industria, puede ser que esta transportación sea realizada por una persona, o bien a través de sofisticados mecanismos de bandas transportadoras, donde inclusive se puede encontrar la intervención de brazos mecánicos. En

o supervisores. Este personal se encuentra encargado de revisar continuamente que los parámetros, tanto ambientales como de funcionamiento de los equipos, se encuentren dentro de los rangos de operación y en caso de no ser así, tomar una acción para regularlos. El recurso humano, sin embargo, no siempre reacciona, ante un estado de alarma, con la rapidez necesaria para controlar el proceso, o en su caso detenerlo, sin una considerable pérdida de materia prima.

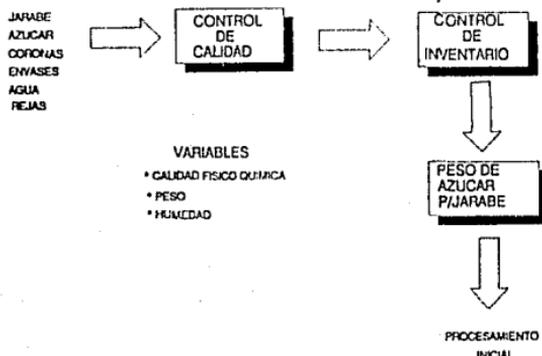


Fig.II.1 Variables a controlar en la etapa de Almacenamiento

cualquiera que sea el método utilizado, las variables involucradas en este caso son:

- a. Posición
- b. Velocidad

### II.3 TIPOS DE CONTROL DE VARIABLES

Ya se ha tratado el punto de los distintos tipos de variables físicas, y su posible existencia en todo proceso industrial. Toca ahora abordar la forma en que estos parámetros pueden ser controlados. Existen básicamente tres formas de control: manual, semiautomático y automático, cuya elección dependerá de los recursos de cada empresa y, en muchos casos, de sus políticas.

#### II.3.1 Control Manual

En la actualidad en muchas de las industrias, gran parte de las variables físicas mencionadas, si no es que todas, son controladas por operadores

#### II.3.2 Control Automático

Así como existen industrias que controlan manualmente los parámetros que intervienen en sus procesos, también las hay en las que la mayoría de sus procesos son controlados automáticamente. Los medios de control automático pueden variar, dependiendo de la variable a controlar y de los recursos para hacerlo. Los dispositivos más utilizados en el control industrial son los Controladores Programables, así como algunas versiones especiales de computadoras personales.

#### II.3.3 Control Semiautomático

Un tercer tipo de control es aquel que se encuentra en un punto intermedio entre los dos anteriores, donde se cuenta con dispositivos de detección o sensado, que accionan algún tipo de alarma. Esta clase de sistemas son sólo de detección, ya que no son capaces de tomar ninguna acción correctiva, misma que debe ser tomada por un operador.

**II.4 EJEMPLOS DE IDENTIFICACION DE VARIABLES FISICAS EN PROCESOS INDUSTRIALES**

Para ejemplificar la identificación de parámetros a controlar en un proceso, se presentan a continuación los diagramas correspondientes al proceso de elaboración de refrescos (descrito en el capítulo anterior), junto con las variables en cada etapa y una descripción de las mismas.

**1. Area de Almacenamiento de Materia Prima.**  
Recordando la descripción del proceso, que se

hiciera en el capítulo I, y de acuerdo a la figura II.1, en el área de almacenamiento de materia prima se debe controlar: calidad físico-química, tanto del agua como del jarabe concentrado para la bebida; calidad de refinación del azúcar y peso de la misma, así como humedad en la sección de almacenamiento de azúcar.

**2. Area de Procesamiento Inicial.** La figura II.2 muestra los procesos a que debe ser sometida la materia prima utilizada (agua, jarabe concentrado, azúcar, envases), a fin de acondicionarla para la elaboración del producto final. En el tratamiento del agua, interviene la calidad físico-

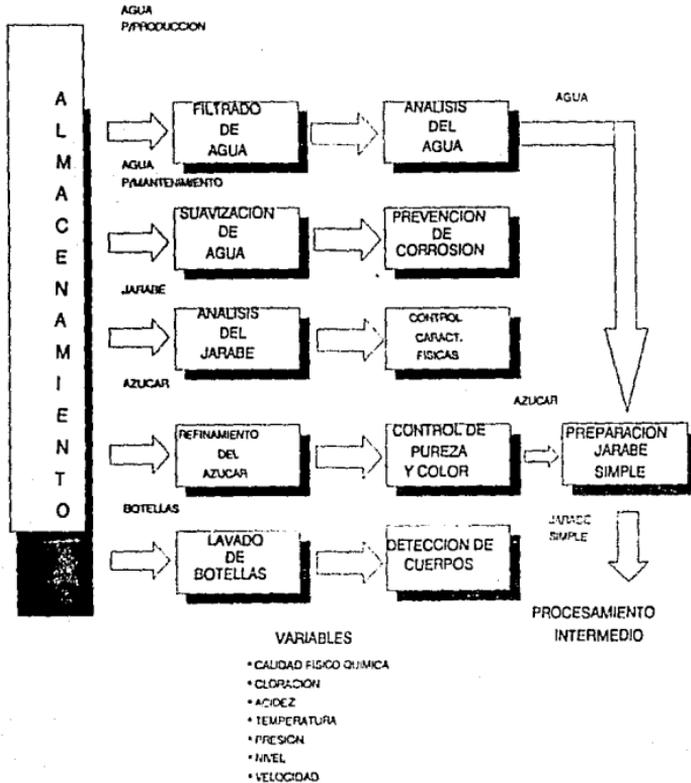


Fig. II.2 Variables en el Procesamiento Inicial

química al analizar la pureza, cloración, acidez, coloración, sabor y dureza de la misma. El parámetro de calidad físico-química se encuentra presente también en el análisis químico del jarabe concentrado y en el refinamiento del azúcar, proceso que se realiza en la planta, aún cuando el producto recibido se encuentra ya refinado.

En el proceso de lavado de botellas, interviene la temperatura de las calderas para generar el vapor requerido para el proceso; la presión del agua; los niveles de solución de sosa; la posición de los envases y la velocidad con que éstos se hacen pasar por la lavadora.

En la etapa de preparación del jarabe simple, interviene el control de peso del azúcar y el del volumen del líquido empleado.

**3. Area de Procesamiento Intermedio.** El procesamiento intermedio, figura II.3, consiste básicamente en la preparación de la bebida, mezclando un jarabe simple con un concentrado de la bebida, en una proporción de cinco a uno, respectivamente. Para que esta mezcla sea la adecuada, se debe tener un control de niveles muy preciso en los tanques de almacenamiento, tanto

como procesamiento final, figura II.4. El proceso de llenado requiere del control de posición del envase, ya que de detectarse la ausencia de éste, el liberador de la bebida no debe accionarse. Se controla también el nivel con que cada botella es llenada. Una variable importante es la presión del gas carbónico que se agrega a la bebida.

Para la colocación de coronas, es indispensable el control de posición, así como la presión que se ejerce al colocarla, para impedir la liberación del gas. Después de colocada la corona, las botellas realizan un recorrido sobre la banda transportadora, hasta llegar al lugar donde son colocadas en rejillas. Durante este recorrido, las botellas son rociadas con agua para ser limpiadas de los residuos de la bebida, para lo que se debe controlar la presión de aspersión.

**5. Area de Almacenamiento de Producto Final.** El producto terminado en el proceso de la industria seleccionada para este ejemplo, no requiere de un ambiente especial de almacenamiento. Las rejillas de refrescos son estibadas en una área abierta, cuya única protección es la sombra brindada por un techo de lámina. Debido a la gran demanda del producto, éste

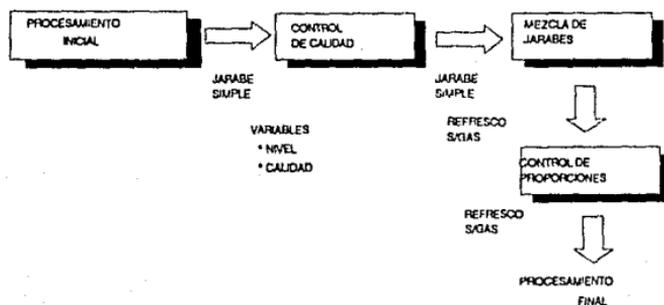


Fig. II.3 Variables en la etapa de Procesamiento Intermedio

del jarabe simple, como del concentrado y de la mezcla de ambos.

**4. Area de Procesamiento Final.** La etapa más fuerte y compleja del proceso, es la enmarcada

permanece muy poco tiempo en el área de almacenamiento, ya que continuamente salen camiones para distribuir el producto en varios depósitos.

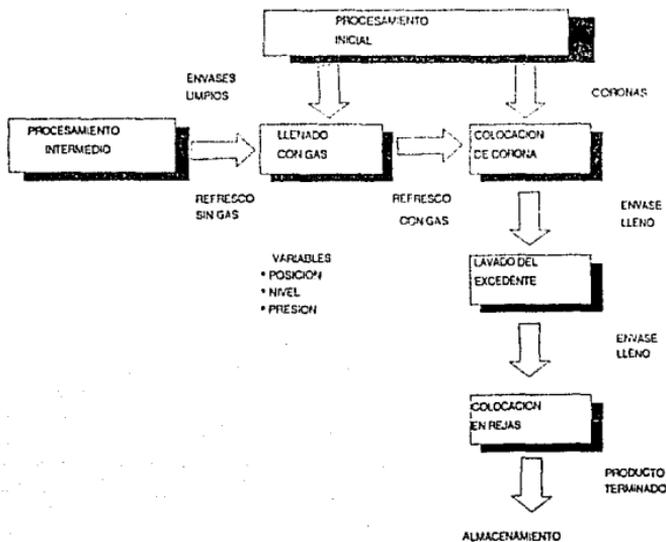


Fig. II.4 Variables en la etapa de Procesamiento Final

6. Medio de Transportación entre Areas. En el proceso que se ha descrito, existen dos elementos que se deben transportar: flúidos y envases. Para el traslado de flúidos (agua simple y jarabes), se tiene una instalación de tubería que se identifica a través de un código de colores, que permite distinguir qué se transporta en cada tubería. Para este fin, se debe regular la presión con la que se bombean los líquidos para que lleguen a su destino.

Para la transportación de los envases, se utilizan una serie de bandas transportadoras que trasladan el producto de una etapa a otra. Estas bandas deben de mantener una velocidad acorde con la velocidad de operación de los equipos a través de los cuales pasan.

#### II.4.1 Tablas Comparativas de Tres Procesos Industriales

De las industrias visitadas, fueron seleccionados tres procesos para terminar de ilustrar, a través de tablas comparativas, los tipos de variables que se pueden presentar en cada una de las áreas en que se encuentra dividida una industria. Los procesos seleccionados corresponden a las siguientes industrias:

1. **Industria Alimenticia.** Se visitó una empresa panificadora, en donde se llevan a cabo distintos procesos de acuerdo al producto a elaborar. De entre estos procesos se eligió, para esta comparación, el de preparación de bollos. El proceso comienza con la preparación de los ingredientes: pasteurización del huevo, reconstitución de la leche, reposo de la levadura y cernido del harina. Sigue a esto la incorporación

de los ingredientes para preparar la masa, su colocación en moldes, horneado, enfriamiento del producto y empaclado.

**2. Industria Farmacéutica.** Dentro de los diversos procesos existentes en el laboratorio farmacéutico visitado, se seleccionó el proceso de elaboración de ampollitas. Este proceso comienza con el lavado de las ampollitas, al tiempo que se prepara la solución. Una banda transportadora hace pasar las ampollitas a la máquina llenadora, que cuenta con sensores para detectar la presencia de las mismas. Una vez llenas, las ampollitas llegan a una sección de mecheros, ante los que son expuestas para ser selladas. Sigue a esto una revisión de las ampollitas contra la luz para detectar cualquier cuerpo extraño. Después de la revisión, las ampollitas son esterilizadas, como preparativo previo a su empaclado.

**3. Industria Fotográfica.** El proceso elegido dentro de esta industria, fue el de revelado e impresión de películas fotográficas de 35 mm. El proceso comienza con la separación de la película del cartucho que la contiene. Esto se realiza en la sala de empalme, donde las películas se empalman una con otra, en lotes de 50 rollos. Cada lote es empalmado con una cinta líder para identificación. Los lotes de películas empalmadas son pasados por la máquina procesadora, donde son revelados. Sigue a esta etapa el proceso de impresión, donde son identificados los negativos dañados, para no ser impresos. En este punto se realizan ajustes de densidad de luz, color y amplitud de imagen. Una vez impresas las fotografías, se procede a cortarlas, junto con los negativos, para finalmente ser introducidas en sobres.

Las tablas que se presentan a continuación, muestran las principales variables físicas detectadas en las distintas áreas que abarcan cada uno de los procesos anteriores.

### Area: Almacenamiento de Materia Prima

INDUSTRIA	PARAMETRO	TIPO DE CONTROL	TIPO DE VARIABLE
Alimenticia	Condiciones ambientales para almacenamiento de aceite, huevo, harina y levadura	Semiautomático	Temperatura Humedad
Farmacéutica	Condiciones ambientales para almacenamiento de compuestos	Semiautomático	Temperatura Humedad
	Calidad de sustancias base y compuestos químicos	Manual	Calidad Físico-Química
	Pureza del aire	Automático	Calidad Física
	Presión Positiva en el área	Automático	Presión
Fotográfica	Condiciones ambientales para almacenamiento de películas a revelar	Semiautomático	Temperatura Humedad

Tabla II.1

**Area: Procesamiento Inicial**

INDUSTRIA	PARAMETRO	TIPO DE CONTROL	TIPO DE VARIABLE
Alimenticia	Posición de huevos al pasar por la máquina quebradora	Automático	Posición
	Temperatura del equipo de pasteurización de huevos	Semiautomático	Temperatura
	Tiempo de mezclado de huevos	Automático	Tiempo
	Temperatura de reposo de la levadura	Semiautomático	Temperatura
	Temperatura para reconstitución	Semiautomático	Temperatura
Farmacéutica	Presión del vapor de agua en el lavado de ampollas	Automático	Presión
	Presión del aire en la campana de secado de ampollas	Automático	Presión
	Pureza del agua para la elaboración de soluciones	Manual	Calidad Físico-Química

**Tabla II.2.a**

INDUSTRIA	PARAMETRO	TIPO DE CONTROL	TIPO DE VARIABLE
Fotográfica	Temperatura y humedad de la sala de empalme de películas	Semiautomático	Temperatura Humedad
	Posición de la cinta líder para empalmar las películas	Automático	Posición
	Nivel de soluciones químicas	Automático	Nivel
	Temperatura de las soluciones	Semiautomático	Temperatura
	Humedad relativa en la máquina de revelado	Semiautomático	Humedad
	Tensión de las películas en el sistema de enrollado	Automático	Fuerza
	Velocidad de la máquina procesadora	Semiautomático	Velocidad
	Tiempo de revelado	Automático	Tiempo
Intensidad luminosa en el área de revelado	Automático	Intensidad luminosa	

Tabla II.2.b

### Area: Procesamiento Intermedio

---

INDUSTRIA	PARAMETRO	TIPO DE CONTROL	TIPO DE VARIABLE
Alimenticia	Tiempo de mezclado de ingredientes	Automático	Tiempo
	Velocidad de la mezcladora	Semiautomático	Velocidad
	Posición de los moldes para ser engrasados	Semiautomático	Posición
	Posición de los moldes para ser llenados	Automático	Posición
	Temperatura del horno	Automático	Temperatura
	Tiempo de cocción	Automático	Tiempo
	Velocidad de las bandas transportadoras a través del horno	Automático	Velocidad
	Posición de los moldes para desmoldar	Automático	Posición
	Fuerza de succión para desmoldar	Automático	Fuerza
Farmacéutica	Nivel de solución en la ampollita	Automático	Nivel
	Temperatura de los mecheros para el llenado de ampollitas	Automático	Temperatura
	Posición de ampollitas	Automático	Posición

Tabla II.3.a

---

INDUSTRIA	PARAMETRO	TIPO DE CONTROL	TIPO DE VARIABLE
	Tiempo de calentamiento de las ampolletas para su sellado	Automático	Tiempo
	Velocidad de la banda transportadora	Automático	Velocidad
Fotográfica	Velocidad de la impresora	Automático	Velocidad
	Densidad de color en impresión	Automático	Densidad
	Amplitud de imagen	Automático	Amplitud
	Posición del negativo	Automático	Posición
	Densidad de luz	Manual	Densidad
	Calidad de impresión	Manual	Densidad

Tabla II.3.b

**Area: Procesamiento Final**

<b>INDUSTRIA</b>	<b>PARAMETRO</b>	<b>TIPO DE CONTROL</b>	<b>TIPO DE VARIABLE</b>
<b>Alimenticia</b>	Posición del producto para ser envuelto	Automático	Posición
	Temperatura en la máquina de sellado	Automático	Temperatura
	Presión en el sellado	Automático	Presión
<b>Farmacéutica</b>	Presencia de cuerpos extraños	Manual	Calidad Física
	Temperatura de esterilización	Automático	Temperatura
	Presión para esterilización	Automático	Presión
	Posición de producto para sellar las ampollitas	Manual	Posición
<b>Fotográfica</b>	Posición de corte de impresiones	Automático	Posición
	Posición de corte de negativos	Automático	Posición
	Posición del producto final para su empaque	Manual	Posición

**Tabla II.4**

**Area: Almacenamiento de Producto Final**


---

INDUSTRIA	PARAMETRO	TIPO DE CONTROL	TIPO DE VARIABLE
Alimenticia	Condiciones ambientales	Automático	Temperatura Humedad
	Tiempo de permanencia en almacén	Manual	Tiempo
Farmacéutica	Condiciones ambientales	Automático	Temperatura Humedad Luminosidad
Fotográfica	.....	.....	.....

**Tabla II.5**


---



## **CAPITULO III**

---

---

## ELEMENTOS DE CONTROL

### III.1 INTRODUCCION.

En el área de procesos industriales resulta esencial llevar a cabo operaciones como el control de ciertas variables (presión, temperatura, humedad, etc.), cuya magnitud debe mantenerse cercana a un valor fijado previamente, llamado punto de calibración (set point).

El objetivo primordial de un sistema de control es mantener controlada una o más variables, comparando la señal medida con el valor deseado, y si existe alguna diferencia entre éstos, se debe actuar sobre el proceso hasta lograr minimizar dicha diferencia. La función de control descrita anteriormente, puede realizarse de varias formas, tales como acciones mecánicas, neumáticas, hidráulicas, eléctricas y electrónicas, ya sean analógicas o digitales.

En relación a esto, el control automático de un proceso disminuye en gran medida los errores que pueden ser cometidos por un humano al tomar decisiones inmediatas, y provee la continua respuesta estable en determinado proceso susceptible de pequeños cambios; por lo que el "control automático" puede definirse como un estado de balance de las condiciones propias del proceso que tienden a sufrir cambios, dependiendo del estado en que éste se encuentre.

Ahora bien, la figura III.1 ilustra un diagrama de bloques en el que se muestran las componentes básicas de un sistema de control.

Dichas componentes se clasifican en dispositivos de medición y dispositivos de control; ambos intervienen en el control del sistema, ya que interactúan con las variables y los mecanismos del proceso.

El control automático está acompañado por un ciclo de eventos que comienzan con un cambio en la variable controlada y termina con regresar la variable a su nivel de estabilidad. El cambio de estado en la variable, es inevitable porque en esto se basa la acción de control es la forma en la cual, el controlador responde a los cambios de la variable, quedando la selección del modo de control supeditada a una extensa variedad de condiciones, así como la calidad de control deseada.

Una vez expuestos los conceptos anteriores, servirán de base para que en el presente capítulo se analicen los esquemas básicos de control, algunas clasificaciones de los sistemas de control y por último las ventajas que ofrecen las computadoras personales y los controladores programables para el control de procesos industriales.

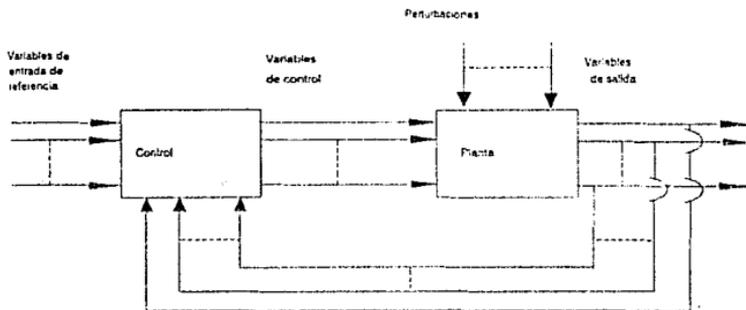


Fig. III.1 Diagrama de Bloques de un Sistema de Control.

### III.2 ESQUEMAS DE CONTROL.

Debido a que existen numerosos y muy variados esquemas de control, en esta sección se definirán los de mayor interés para el desarrollo de este trabajo, como son:

- Sistemas de Control de Lazo Cerrado
- Sistemas de Control de Lazo Abierto
- Sistemas de Control Adaptivos
- Esquema Real de Control

#### III.2.1 Sistemas de Control de Lazo Cerrado.

Un sistema de control de lazo cerrado o malla cerrada, es aquel en el que la señal de salida tiene efecto directo sobre la acción de control; Esto es, los sistemas de control de lazo cerrado son sistemas de control realimentado. La señal de error actuante, que es la diferencia entre la señal de entrada y la de realimentación (que puede ser la señal de salida o una función de ésta), entra al detector o control a manera de reducir el error y llevar la salida del sistema al valor deseado. En otras palabras, el término "lazo cerrado" implica el uso de acción de realimentación para reducir el error del sistema.

La figura III.2 ilustra un diagrama de bloques de un sistema típico de control de lazo cerrado.

#### III.2.2 Sistemas de Control de Lazo Abierto.

Los sistemas de control de lazo abierto también llamados de malla abierta, son sistemas de control en los que la salida no tiene efecto sobre la acción de control. Es decir, en un sistema de control de lazo abierto la salida ni se mide ni se realimenta para ser comparada con la entrada. La figura III.3 muestra la relación entrada-salida de tal sistema.

Es conveniente tomar en cuenta que en presencia de perturbaciones, en un sistema de control de lazo abierto no se satisfacen las condiciones de la función que asigna una entrada con una salida en forma determinística. En la práctica, sólo se puede usar el control de lazo abierto, si la relación entre la entrada y la salida es conocida y si no hay perturbaciones internas o externas.

#### III.2.3. Sistemas de Control Adaptivos.

Las características dinámicas de la mayoría de los sistemas de control no son constantes por diversas razones, como el deterioro de las componentes al transcurrir el tiempo o las modificaciones en parámetros o en el medio ambiente. Aunque en un sistema de control realimentado se atenúan los efectos de pequeños cambios en las características dinámicas, si las modificaciones en los parámetros del sistema y en el medio son significativas, un sistema para ser satisfactorio ha de tener la capacidad de adaptación. La adaptación implica la capacidad de autoajustarse o automodificarse de acuerdo con modificaciones imprevisibles del medio o estructura y por lo tanto a los sistemas que poseen algún nivel de adaptación se les denomina sistemas de control adaptados o adaptivos.

#### III.2.4. Esquema real de control.

En todo proceso existen condiciones o variables fundamentales (temperaturas, flujos, presiones, etc.) que rigen y determinan en gran medida la operación global del proceso y del sistema de producción. Los sistemas de control se implementan, con el fin de manejar dichas variables para mantenerlas el mayor tiempo y tan cerca como sea posible de sus valores especificados, logrando así los objetivos antes mencionados.

Un esquema general de control puede verse en la fig. III.3.a ; en ella se observa que el lazo de control comienza sensando continuamente la variable clave, mediante el elemento primario de medición (transductor), éste detecta la variable y a partir de ella induce un efecto de tipo mecánico o eléctrico principalmente, que es tomado por el transmisor/indicador para producir la indicación y la señal transmisible, correspondiente a la magnitud de la variable medida. En el controlador, esta variable se compara con el valor especificado o de referencia, y ante una diferencia, el controlador reconoce la magnitud y signo de la desviación, con tal de definir las acciones destinadas a corregir el valor de la variable de proceso para ajustarlo al valor de referencia. El actuador y el elemento final de control se encargan de efectuar las acciones dictadas por el controlador; el actuador activa el elemento final de control para que maneje adecuadamente aquella

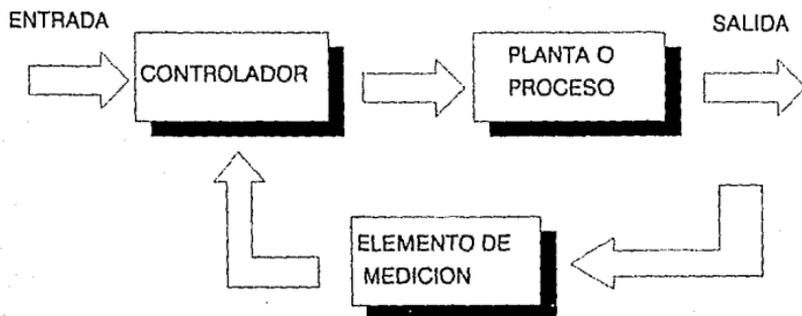


Fig. III.2 Sistema de control de lazo cerrado.

energía o material del proceso, que, interactuando con el medio, modifica y/o mantiene la magnitud de la variable fundamental.

### III.3. CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS DE CONTROL

Hacer una clasificación de los sistemas de control de una manera exhaustiva, tomando en cuenta todos los factores que pudieran influir en dicha clasificación, está fuera de los alcances de este trabajo. Sin embargo, en esta sección se presenta un cuadro sinóptico que muestra diferentes

clasificaciones de los sistemas de control atendiendo a diferentes factores.

**Sistemas de Control Mecánico.** Estos sistemas de control fueron los primeros en desarrollarse, por lo que son los de menor precisión y eficiencia, debido a que su operación es puramente mecánica y se tienen pérdidas por fricción, así como a otras deficiencias inherentes a estos sistemas.

**Sistemas de Control Hidráulico.** En estos sistemas se utiliza como fuente de potencia la

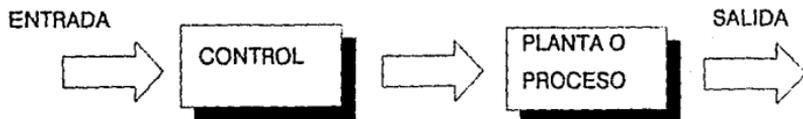


Fig. III.3 Sistema de control de lazo abierto.

## **CLASIFICACION DE SISTEMAS DE CONTROL**

---

### **MEDIO QUE UTILIZAN PARA EL CONTROL:**

- SISTEMA DE CONTROL MECANICO (A/D)
- SISTEMA DE CONTROL HIDRAULICO (A/D)
- SISTEMA DE CONTROL NEUMATICO (A/D)
- SIST. DE CONTROL ELECTRICOS Y ELECTRONICOS
  - CONTROLADORES DE FUNCIONAMIENTO PROPIO
  - CONTROLADORES ELECTRONICOS

### **ACCION DE CONTROL:**

- DE DOS POSICIONES (ON/OFF) (DIGITAL)
- PROPORCIONALES (ANALOGICO)
- INTEGRALES (ANALOGICO)
- PROPORCIONALES E INTEGRALES (PI) (ANALOGICO)
- PROPORCIONALES Y DERIVATIVOS (PD) (ANALOGICO)
- PROP. INTEGRALES Y DERIVATIVOS (PID) (ANALOGICO)

presión hidráulica de un líquido. Los controladores hidráulicos poseen varias ventajas con respecto a otros sistemas, como lo son la alta potencia que pueden desarrollar, junto con un tiempo de respuesta bastante admisible y sin olvidar la prolongada vida útil que tienen, debido a la naturaleza de los componentes de dichos sistemas y las propiedades lubricantes del fluido empleado.

**Sistemas de Control Neumático.** Un controlador neumático es similar al hidráulico, con la diferencia de que el fluido utilizado es aire comprimido. El propósito básico de un controlador neumático es suministrar aire presurizado para accionar un actuador, en respuesta a una señal de control. Una ventaja significativa de estos controladores respecto a los hidráulicos, es la disponibilidad del fluido de trabajo, ya que siempre es más fácil contar con aire comprimido, que con alguna fuente hidráulica a presión. El uso de sistemas neumáticos ha sido muy generalizado debido a sus características y confiabilidad, sin embargo el empleo de los sistemas hidráulicos y mecánicos no ha disminuido totalmente, ya que en ciertas aplicaciones es más costeable y conveniente usar estos sistemas.

**Sistemas de Control Eléctricos y Electrónicos.** Los sistemas de control eléctricos y electrónicos, presentan características más deseables para el control de procesos, algunas de las cuales son su alta velocidad de respuesta, gran precisión y sensibilidad, y la disponibilidad de la fuente de suministro de energía necesaria. Los controladores eléctricos y electrónicos son muy versátiles, y en la actualidad muy económicos, debido al desarrollo que han tenido en los últimos años, por lo cual su aplicación se ha extendido. Los controladores de esta clase manejan señales de entrada eléctricas, las que provienen de elementos sensores, de donde se acondicionan para que estén de acuerdo a las características del controlador. Las salidas del controlador también son eléctricas, las cuales excitarán actuadores eléctricos, electroneumáticos ó electrohidráulicos.

Los controladores eléctricos y electrónicos se pueden clasificar en base a dos aspectos: por el tipo de controlador y por el modo de control.

### III.3.1. Tipos de Controladores.

Atendiendo a la clasificación anterior, los controladores eléctricos y electrónicos pueden ser de dos tipos: controladores de funcionamiento propio y controladores electrónicos.

#### III.3.1.1 Controlador de funcionamiento autónomo

Esta clase de dispositivos obtienen la energía que necesitan para la operación del elemento final de control, así como la de su detector de error, del mismo proceso que están regulando. Lo anterior se logra mediante el uso de un elemento sensor como un diafragma, fuelle, flotador, etc. Típicamente, estos controles son aparatos muy simples y muy empleados en industrias químicas para el control de temperatura, presión, nivel, etc.

#### III.3.1.2 Controlador electrónico.

El gran desarrollo que han tenido los sistemas electrónicos digitales en las últimas décadas, los ha llevado a ser los sistemas de mayor uso en la actualidad.

Con los sistemas digitales se pueden implementar algoritmos de control muy sofisticados, además de los utilizados por los clásicos controles analógicos y por los sistemas neumáticos e hidráulicos.

### III.3.2 Acciones de Control.

A continuación se explicarán con mayor detalle las acciones de control analógicas más comunes.

#### III.3.2.1 Controles de dos posiciones.

En un sistema de control de dos posiciones, también llamado ON/OFF, el elemento accionador tiene solamente dos posiciones fijas, que en muchos casos son simplemente conectado y desconectado. El control de dos posiciones es relativamente simple y económico y, por esta razón, ampliamente utilizado en sistemas de control tanto industriales como domésticos.

Sea la señal de salida del control  $m(t)$  y la señal de error actuante  $e(t)$ , en un control de dos posiciones, la señal  $m(t)$  permanece en un valor

máximo o mínimo, según sea la señal de error actuante, positiva o negativa, de modo que:

$$m(t) = M_1 \text{ para } e(t) > 0$$

$$m(t) = M_2 \text{ para } e(t) < 0$$

donde  $M_1$  y  $M_2$  son constantes. Generalmente el valor mínimo  $M_2$  es ó bien cero ó  $-M_1$ . Los controles de dos posiciones son generalmente dispositivos eléctricos, donde habitualmente hay una válvula accionada por un solenoide eléctrico.

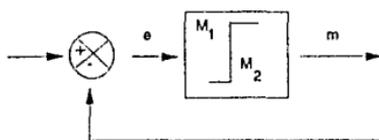


Fig. III.4a Diagrama de un Control de Dos Posiciones

También los controles neumáticos proporcionales con muy altas ganancias, actúan como controles de dos posiciones y se les denomina, controles neumáticos de dos posiciones.

En las figuras III.4.a y III.4.b se presentan los diagramas de bloques de controles de dos posiciones. El rango en el que se debe desplazar la señal de error actuante, antes de que se produzca la conmutación, se llama *brecha diferencial*. La brecha diferencial hace que la salida del control  $m(t)$  mantenga su valor hasta que la señal de error actuante haya pasado levemente del valor cero. En algunas ocasiones, la brecha diferencial es resultado de fricción no intencional y movimiento perdido; sin embargo, normalmente es provisto deliberadamente, para evitar la acción excesivamente frecuente del mecanismo de dos posiciones.

### III.3.2.2 Controles Proporcionales.

Para un control de acción proporcional, la relación entre la salida del controlador  $m(t)$  y la señal de error actuante  $e(t)$  es:

$$m(t) = K_p e(t)$$

y su función de transferencia es:

$$M(s)$$

$$\text{-----} = K_p$$

$$E(s)$$

donde  $K_p$  se denomina *sensibilidad proporcional* o ganancia.

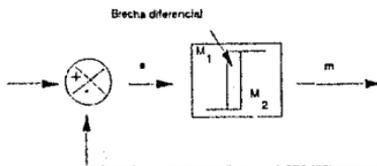


Fig. III.4b Diagrama de un Control con Brecha Diferencial.

Cualquiera que sea el mecanismo en sí, y sea cual fuere la potencia que lo alimente, el control proporcional es esencialmente un amplificador con ganancia ajustable.

En la figura III.5 se puede ver un diagrama de bloques de este control.

### III.3.2.3 Controles Integrales.

En un control con acción integral, el valor de la salida del controlador  $m(t)$  varía proporcionalmente a la señal de error actuante  $e(t)$ . Es decir:

$$\frac{dm(t)}{dt} = K_i e(t)$$

$$\text{-----} = K_i$$

$$m(t) = K_i e(t) dt$$

donde  $K_i$  es una constante regulable. La función de transferencia del control integral es:

$$M(s) = \frac{K_i}{s}$$

$$\text{-----} = \text{-----}$$

$$E(s) = s$$

Si se duplica el valor de  $e(t)$ , el valor de  $m(t)$  varía dos veces más rápido.

Para un error actuante igual a cero, el valor de  $m(t)$  se mantiene estacionario. La acción de control integral recibe también el nombre de *control de reposición*.

### III.3.2.4. Controles Proporcionales e Integrales.

La acción de control proporcional e integral queda definida con la siguiente ecuación:

$$m(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int e(t) dt$$

o la función de transferencia de control es:

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

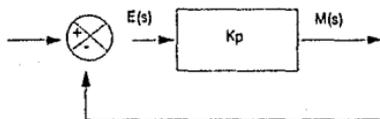


Fig. III.5 Diagrama de Bloques de un Control Proporcional

donde  $K_p$  representa la sensibilidad proporcional o ganancia, y  $T_i$  el tiempo integral. Tanto  $K_p$  como  $T_i$  son regulables. El tiempo integral regula la acción de control integral, mientras una modificación en  $K_p$  afecta tanto a la parte integral como a la proporcional de la acción de control. Al inverso del tiempo integral se le denomina *frecuencia de reposición*; dicha frecuencia está definida como el número de veces por minuto que se duplica la parte proporcional de la acción de control. Esta frecuencia se mide en términos de repeticiones por minuto. A continuación se

presentan los diagramas de bloques de esta acción de control, así como los de entrada escalón unitario y su correspondiente salida de control.

### III.3.2.5 Controles proporcionales y derivativos (PD)

La acción de control proporcional y derivativa queda definida por la siguiente ecuación:

$$m(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{d e(t)}{dt}$$

y la función de transferencia es:

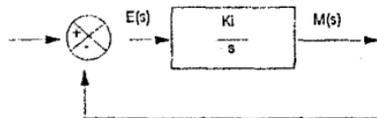


Fig. III.6 Diagrama de Bloques de un Control Integral.

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p (1 + T_d s)$$

donde  $K_p$  es la sensibilidad proporcional y  $T_d$  es el tiempo derivativo. Tanto  $K_p$  como  $T_d$  son regulables. La acción de control derivativa, ocasionalmente denominada *control de velocidad*, está dada cuando el valor de salida del control es proporcional a la velocidad de variación de la señal de error actuante. El tiempo derivativo  $T_d$  es el intervalo de tiempo en el que la acción de velocidad se adelanta al efecto de acción proporcional. La figura III.8.a presenta un diagrama de bloques de un control proporcional y derivativo. Si la señal de error actuante  $e(t)$  es una función rampa unitaria, como se ve en la figura III.8.b, la salida de control  $m(t)$  es la que puede verse en la figura III.8.c, donde la acción de control derivativo tiene carácter de anticipación. Sin embargo, la acción

derivativa nunca puede anticiparse a una acción que aún no ha tenido lugar.

Mientras la acción de control derivativo posee la ventaja de ser anticipadora, también tiene las desventajas de que amplifica las señales de ruido y puede producir efecto de saturación en el accionador. Hay que hacer notar que nunca se puede tener una acción de control derivativo sola,

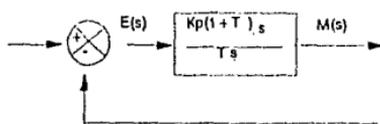


Fig. III.7a Diagrama de un Control Proporcional e Integral.

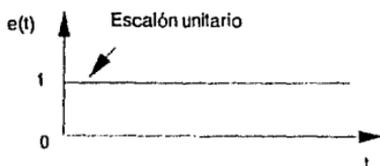


Fig. III.7b Entrada de un Control Proporcional e Integral.

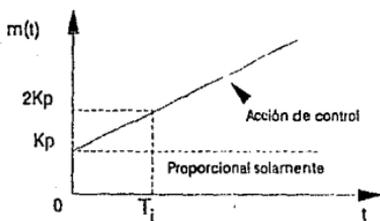


Fig. III.7c Salida de un Control P.I. con Entrada Escalón.

porque este control es efectiva únicamente durante periodos transitorios.

### III.3.2.6. Controladores proporcionales, derivativos e integrales.(PID).

La combinación de los efectos de acción proporcional, acción de control derivativa y acción de control integral, se llama acción de control proporcional derivativa e integral. Esta acción combinada tiene las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales. La ecuación de un control con esta acción combinada está dada por:

$$m(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{d e(t)}{d t} + \frac{K_p}{T_i} \int e(t) dt$$

ó la función de transferencia es:

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p (1 + T_d s + 1/T_i s)$$

donde  $K_p$  representa la sensibilidad proporcional,  $T_d$  el tiempo derivativo y  $T_i$  el tiempo integral. En la figura III.9.a se puede ver un diagrama de bloques de un control proporcional derivativo e integral. Si  $e(t)$  es una función rampa unitaria como la de la figura III.9.b, la salida de control  $m(t)$  puede verse en la figura III.9.c.

La mayor parte de los controles automáticos industriales usan como fuente de potencia la electricidad o un fluido a presión, que puede ser aceite o aire. En base a esto, también pueden clasificarse en controles neumáticos, hidráulicos o electrónicos.

El tipo de control a usar, depende de la naturaleza de la planta, y sus condiciones de funcionamiento, incluso condiciones de seguridad, costo, disponibilidad, confiabilidad, precisión, peso y tamaño.

### III.4. TIPOS DE SISTEMAS DE CONTROL ELECTRONICO.

En época reciente los sistemas electrónicos de control han tenido un gran auge, ya que sobre otros tipos de sistemas, presentan ventajas tales como: mayor disponibilidad, servicio de mantenimiento fácil, menor tamaño físico, costos de instalación menores, etc.

Otra ventaja que presentan los sistemas electrónicos en especial sobre los sistemas neumáticos, es el reemplazo de ductos de transmisión por cables eléctricos, lo cual reduce

substancialmente, o bién elimina por completo las pérdidas neumáticas que degradan el rendimiento de las mallas de control. Por otra parte los controles electrónicos pueden ser sintonizados con mayor precisión que otros sistemas.

En general, los sistemas de control electrónicos pueden agruparse en dos categorías: controles continuos y controles discretos. Fundamental-

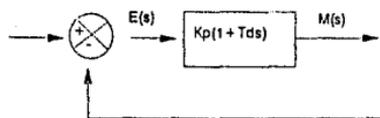


Fig. III.8a Diagrama de un Control Proporcional y Derivativo

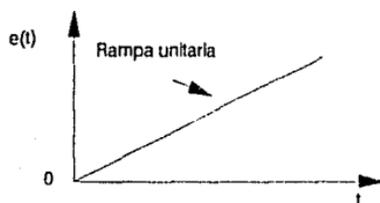


Fig. III.8b Diagrama de Entrada de un Control P.D.

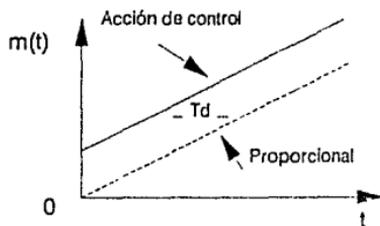


Fig. III.8.b Diagrama de Salida de un Control P.D.

mente los controles continuos se han desarrollado para cubrir las necesidades de la industria de proceso y transformación, y el control discreto en las industrias de manufactura.

Los sistemas de control continuo o analógico pueden realizar funciones tales como: control de flujo, temperatura, nivel, presión, etc. Este tipo de controles manipula las variables del proceso para mantenerlas dentro de un rango predeterminado.

Por otra parte, los controles discretos o digitales se emplean ampliamente en el control de procesos industriales. Una de las primeras funciones que realizaron este tipo de dispositivos fue la adquisición de datos. En esta clase de aplicaciones se capturan los datos directamente del proceso para ser posteriormente analizados y tabulados.

Más tarde los sistemas de control digital tuvieron una aplicación más sofisticada consistente en una acción previsora, en la cual los datos del proceso son empleados para realizar y optimizar los cálculos de las expresiones del algoritmo de control. Estos cálculos proveen los puntos de calibración adecuados para los controladores analógicos que son los que realizan la primera intervención de control dentro del proceso.

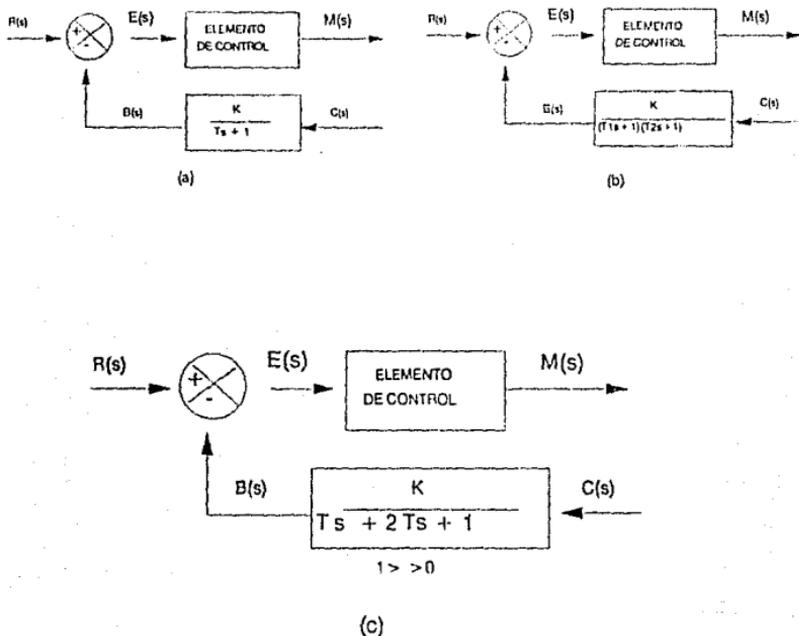
Por último, el uso más poderoso que presentan este tipo de sistemas es el *control digital directo* (D.D.C.). En este caso, el sistema digital de control captura los datos directamente del proceso, empleando dicha información para resolver ecuaciones que son equivalentes a las funciones analógicas de control; una vez hecho esto, el sistema ajusta los actuadores para efectuar un control regulatorio apropiado. Los puntos de calibración de este tipo de mallas pueden, además, ser suministrados ya sea por el operario o bién por el mismo sistema al realizar una acción supervisora. Las ventajas que presentan los sistemas DDC sobre los controles analógicos reside en la flexibilidad que existe para implementar algoritmos de control más sofisticados que el Proporcional Integral Derivativo.

Una desventaja importante en los sistemas DDC es que cuando se presenta una falla, se afectan todas las mallas de control del proceso. Por esta

razón, los sistemas de control digital generalmente cuentan con un respaldo analógico para los puntos más críticos del proceso bajo control

La figura III.10 muestra un diagrama de bloques que incluye a estos dos sistemas de control involucrados en un proceso.

### III.5.1 Sistemas de control regulador.



### III.5 CLASIFICACION Y CARACTERISTICAS DE SISTEMAS DIGITALES.

Los sistemas digitales pueden realizar diferentes acciones de control dependiendo de su complejidad, sin embargo, si tomamos en cuenta el tipo de funciones que ejecutan, podemos clasificarlos en dos categorías: sistemas de control regulador y sistemas de control supervisor.

Este tipo de sistemas, conocidos también como controladores reguladores, aceptan una o varias señales provenientes de uno o varios sensores, con el fin de determinar los ajustes a realizar, si es que hay que efectuar alguno, para mantener los valores críticos del proceso en un entorno cercano a los puntos de calibración, previamente determinados. Esencialmente el propósito de este tipo de controladores, es mantener el proceso dentro de los límites especificados de operación.

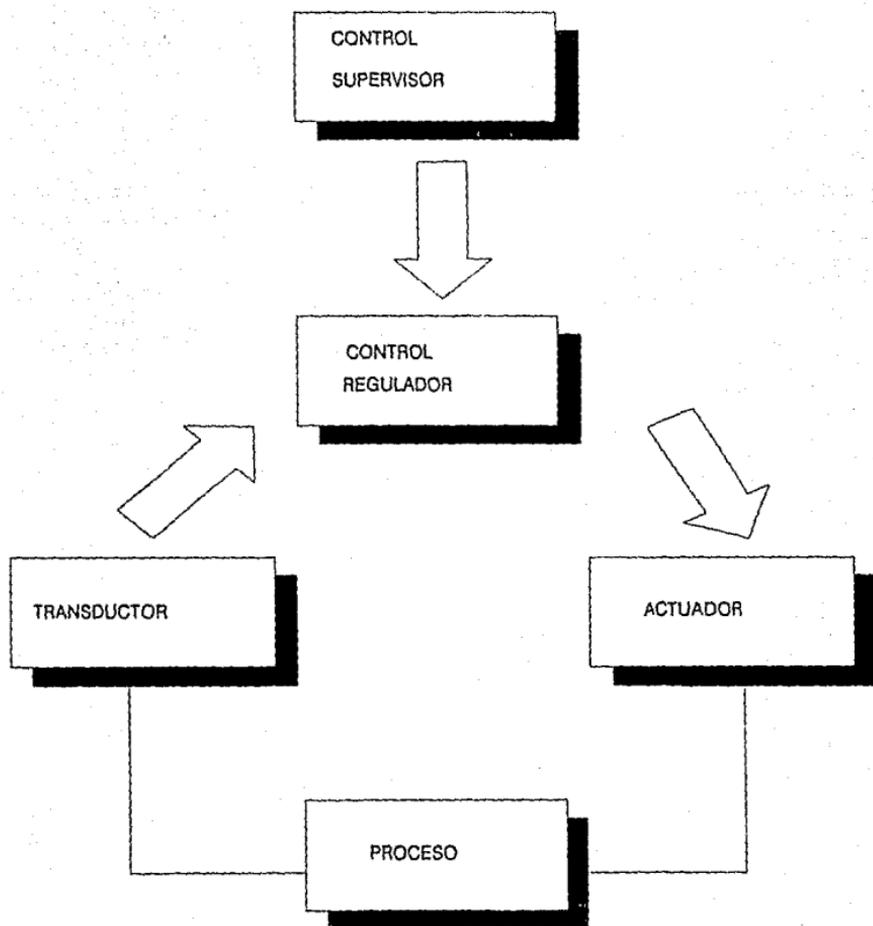


Fig. III.10 Sistemas de Control de un Proceso.

de controladores, es mantener el proceso dentro de los límites especificados de operación.

Las características que se encuentran en estos sistemas, son: requerir de un gran número de entradas, muestreo rápido de dichas entradas, computación relativamente veloz, gran número de salidas, equipo de respaldo para fallas, etc. Dentro de esta categoría se incluyen los controladores DDC.

### III.5.2 Sistemas de control supervisor.

El propósito fundamental de los sistemas de control supervisor, es determinar las condiciones óptimas de operación del proceso en un instante dado. Por otra parte, podemos considerar que estos sistemas generalmente son los responsables del procesamiento numérico de la información de acuerdo al algoritmo de control que se esté aplicando, con el fin de obtener el mejor proceso posible.

Entre las características que presentan este tipo de sistemas se encuentran: requerir de un menor número de entradas respecto a los controladores reguladores, menor equipo de respaldo, computación y muestreo relativamente lento.

Al analizar las características, es fácil suponer que estos controladores permiten la existencia de jerarquías dentro de los sistemas de control, ya que se puede considerar que un sistema regulador puede ser esclavo de un sistema supervisor, siendo éste a su vez esclavo de otro sistema supervisor y así sucesivamente.

### III.6. CONTROLADORES PROGRAMABLES.

La Asociación Nacional Norteamericana de Manufactura Eléctrica, define un controlador programable como: "un aparato electrónico que opera digitalmente, el cual usa una memoria programable para almacenamiento interno de instrucciones que representan funciones lógicas, secuenciales, temporizadas, y de conteo a través de módulos analógicos o digitales de E/S, para varios tipos de máquinas o procesos".

Esta definición está dada para instrumentos de rangos específicos que se encontraban fácilmente

en los años 60, y se utilizaban en la industria manufacturera.

Los controladores programables (PC) comprenden básicamente los siguientes componentes: interfaces de E/S, procesador, memoria, dispositivos de programación, fuentes de poder, etc.

Las interfaces E/S conectan al controlador con el equipo industrial que será controlado. La interface de entrada recibe el proceso y las señales de la máquina, y las convierte a la forma adecuada en que el controlador puede aceptarlas.

El procesador tiene tres funciones principales. Ejecuta varias rutinas lógicas, realiza operaciones en las señales de entrada y determina las salidas apropiadas; los programas usados por el procesador para realizar estas funciones son almacenados en la memoria del controlador.

Algunos dispositivos de programación son usados para cargar el programa en memoria. Hay dos tipos de éstos que son muy comunes: una terminal CRT o un teclado lógico (keypad). El uso de una terminal CRT permite la aplicación de lenguajes de programación para introducir datos, a través de un teclado lógico con botones que tienen asignada una función especial.

Existen tres tipos básicos de lenguajes de programación usados en controladores programables: diagramas de relevadores de escalera, lenguajes basados en funciones booleanas y lenguajes mnemónicos que son similares a los lenguajes ensambladores.

Los diagramas de relevadores de escalera consisten en símbolos que representan contactos abiertos, o cerrados y otros componentes de control de equipo eléctrico.

Los lenguajes basados en funciones booleanas, establecen relaciones entre las entradas y salidas del controlador. Estas relaciones incluyen funciones AND, OR e IGUAL.

Los lenguajes mnemónicos incluyen funciones como LOAD, AND, OR y STORE. Existe una

Estos lenguajes pueden ser usados para programar una variedad de funciones en el controlador, incluyendo:

1. **Funciones de control en relevadores**, las cuales involucran la generación de una señal de salida, a partir de una o más entradas de acuerdo a una lógica particular, contenida en el contador de programa de la memoria.

2. **Funciones de tiempo**, usadas para generar por ejemplo, una señal de salida con un retraso específico, después de haber sido recibida una señal de entrada.

3. **Funciones de conteo**, las cuales son similares a las funciones de tiempo, en las que el contador suma el número de entradas en contacto, y genera una cierta salida programada cuando la suma ha alcanzado una cuenta definida.

4. **Funciones aritméticas**, como adición, sustracción, multiplicación y división.

5. **Funciones de control analógico**, con las cuales se habilita el controlador programable directamente de dispositivos analógicos, particularmente de funciones de control proporcional, integral y derivativo.

Los controladores programables pueden clasificarse de diversas maneras, una de ellas es en cuanto a su capacidad de entradas y/o salidas: pequeños, medianos y grandes.

#### III.6.1 Controladores Programables Pequeños.

Los controladores programables pequeños son usualmente programados usando diagramas de escalera o simples listas de instrucciones, además de incluir funciones básicas con reguladores de tiempo (timers), contadores y registros.

La unidad de programación, generalmente es modular, en el panel frontal, o bien un pequeño dispositivo manual que permita conectarse en caso necesario.

Un uso particular para los controladores programables pequeños es como monitor y medidor de pesos de varios bienes manufacturados.

La Compañía Electromatic International of Denmark produce un PC compacto conocido como el micro-pc, el cual es usado como control de rangos en equipo industrial. La unidad básica está formada por 16 entradas y 8 salidas, y su programación es en base a diagramas de escalera con funciones especiales. Además de las funciones normales con relevadores, tales como abrir y cerrar contactos, el PC contiene 64 registros internos, 16 timers y 8 contadores.

La tabla III.1 presenta algunos modelos de controladores programables pequeños, con sus principales características.

#### III.6.2 Controladores Programables Medianos.

Los controladores medianos son utilizados en módulos consistentes de una o más tarjetas de circuitos impresos. Las capacidades de entrada/salida pueden ser configurados dependiendo de los requerimientos del sistema. En esta clasificación de controladores programables medianos, existe una extensa variedad de lenguajes de programación, incluyendo diagramas de escalera, listas de instrucciones y diagramas lógicos.

En los controladores programables medianos, se encuentran muchas aplicaciones en el campo industrial, incluyendo el control de sistemas en robots, generadores de emergencia, máquinas de ensamblaje automático y sistemas de elevadores. En la tabla III.2 se presenta la comparación de diferentes marcas de controladores programables medianos.

#### III.6.3 Controladores Programables Grandes.

La construcción modular se encuentra también normalizada para la mayor parte de los controladores programables clasificados como grandes, pues su eficiencia es proporcional al número de entradas y salidas que posea. La programación de éstos está integrada por una gran variedad de formas, incluyendo mas lenguajes de computadora.

Las aplicaciones para controladores programables grandes cubren prácticamente todos los requerimientos posibles de control en industrias grandes o con procesos complicados.

Elementos de Control

MODELO	MEMORIA DE PROGRAMA	E/S	LENGUAJES DE PROGRAMACION ESCALERA BOOLEANO OTRO	DISPOSITIVO DE PROGRAMACION	CARACTERISTICAS ESPECIALES
Eberle PLS 500	512 bytes	16 entradas 16 salidas 4 E/S	*	Teclado con display de cristal líquido	Programa escrito como lista de instrucciones describiendo un diagrama de escalera
Electromatic Micro-PC	768 bytes	16 entradas 8 salidas	*	Teclado con display en el panel frontal.	Programa escrito como lista de funciones.
Klockner-Moeller PS 31-1	8 Kbytes	16 entradas 12 salidas	*	Teclado de unidad CRT con pluma.	
Satt Control SattCon 05-20	2 Kbytes	16 entradas 12 salidas	* *	Teclado con display en el panel frontal.	Utiliza su propio lenguaje de programación llamado PBS.
Siemens 55-101U		10 entradas 6 salidas	* *	Teclado o un dispositivo CRT.	Utiliza su propio lenguaje de programación.
Texas Instruments TI-510	256 instrucciones	24 entradas 16 salidas	*	Unidad de video CRT o teclado.	
Tohiba EN20	512 bytes	12 entradas 8 salidas	*	Programador manual con matriz LCD.	Funciones de escritura e interfase especial para impresora
MHE PC 100	320 instrucciones	14 entradas 12 salidas	* *	Teclado portátil	Tiene diagnóstico interno con display de LED.

Tabla III. 1

formas, incluyendo mas lenguajes de computadora.

Las aplicaciones para controladores programables grandes cubren prácticamente todos los requerimientos posibles de control en industrias grandes o con procesos complicados.

Aún cuando los controladores programables han avanzado mucho con respecto a sus capacidades, otras areas que comienzan a abrirse paso en este campo de control, son las computadoras personales de tipo industrial y los dispositivos inteligentes de entrada/salida.

En los últimos cinco años, las computadoras personales han proliferado enormemente por la diversidad de usos, y han tenido un efecto significativo en las oficinas, las escuelas y el hogar. Estas han sido utilizadas en aplicaciones de laboratorio, pero sólo recientemente han sido consideradas para aplicaciones industriales. Esto ha sido posible después de éxitos significativos con las computadoras personales; por lo que IBM ha entrado al mercado industrial, con la idea de automatizar las fábricas a partir de su versión industrial de la PC/XT y PC/AT.

Ahora bien, es sabido que las computadoras industriales están cambiando, y adquiriendo tales características que permiten prescindir de los controladores programables dedicados a controlar los parámetros indispensables en cualquier tipo de industria.

Cuando se tiene la necesidad de efectuar algún tipo de control, se deben considerar dos requerimientos indispensables: la seguridad y la respuesta del sistema, por lo cual es importante distinguir entre computadoras y controladores programables.

Generalmente, una computadora está diseñada para procesar grandes volúmenes de datos rápidamente, mientras que un controlador programable está diseñado para controlar una planta con un sistema de respuesta rápida.

En un controlador programable podemos distinguir dos elementos: el controlador y las interfaces de entrada/salida. La parte central del sistema es

el controlador, el cual es programado para examinar el estado de la planta, decide qué cambios se necesitan hacer y da las órdenes para que la planta cambie su estado. Aunado a ésto, los controladores programables modernos pueden almacenar información, y además comunicarla a otros controladores, computadoras o impresoras.

Las interfaces de entrada/salida permiten al PC comunicarse con la planta, convertir las señales recibidas en información que el PC pueda entender y traducir las instrucciones del PC a señales de control actuantes. Hasta el momento el PC es programado en base a diagramas lógicos de relevadores eléctricos. En la actualidad los controladores programables avanzados cuentan con capacidad matemática, permitiéndoles ser usados para procesamiento de señales numéricas. Estos propósitos de diseño indican que un PC es un dispositivo capaz de controlar maquinaria con mínimo esfuerzo y utilizando los componentes necesarios para el usuario.

La velocidad de procesamiento es razonablemente rápida, pero no tanto como una computadora, porque realiza continuamente una verificación de error para lograr óptima seguridad.

Una computadora está diseñada para operar en un ambiente limpio y tiene mayor capacidad matemática que un PC sin necesidad de verificar errores, por lo tanto su velocidad de procesamiento es mayor.

La computadora es utilizada para control de maquinaria de tal forma que sirve de guía a los sistemas, donde los controladores programables no tienen suficiente velocidad. Si la computadora es requerida para algoritmos complejos, entonces las entradas y salidas del PC pueden usarse como interfaces a la planta, pasando los datos a la computadora para procesarlos.

Para que una computadora pueda usarse en una planta, el usuario requiere de elementos de hardware, además de protegerla ampliamente del ambiente de la industria, a diferencia de un PC, que es un dispositivo más robusto.

Elementos de Control

MODELO	MEMORIA DE PROGRAMA	E/S	LENGUAJES DE PROGRAMACION ESCALERA BOOLEANO OTRO	DISPOSITIVO DE PROGRAMACION	CARACTERISTICAS ESPECIALES
Eberle PLS 5115	mas de 2048 instrucciones	64 entradas 32 salidas	*	Teclado o unidad VDU.	Programación en base a listas de instrucciones.
Gould Electronics Mikro - 84	mas de 512 bytes	mas de 112 dispositivos discretos.	*	Teclado lógico con display.	Puede ser conectada a la red Modbus.
IMD Precisión Control C-120		48-256 period de E/S.	*	Teclado lógico o display CRT.	Programas que pueden ser escritos usando formato de diagrama de flujo.
MTE PC 110	1024 instrucciones.	72 entradas 40 salidas	*	Teclado lógico portatil.	Diagnóstico interno con display de LED.
Texas Instruments TI - 100	1024 instrucciones.	48 entradas 80 salidas	*	Teclado lógico adaptable en el panel frontal.	Autodiagnóstico y programación de EPROM.
Toshiba EX40H	1024 pasos.	60 E/S	*	Programador con matriz de LED.	Funciones de escritura e interfase opcional para impresora.

Tabla III. 2

Muchas fábricas se avocan al uso de las computadoras personales, como dispositivos de programación, pero en el área de control está restringido su uso a laboratorios, adquisición de datos, etc., manteniéndose en un ambiente limpio y con tiempos de respuesta que no son críticos.

En este momento, la tendencia es incrementar la inclusión de los controladores programables en sistemas de control de procesos y control industrial. Esto involucra la comunicación no solo entre PC y dispositivos directamente involucrados en el control, sino también entre controladores programables de manera individual y con computadoras y equipo periférico tal como impresoras.

---

**BIBLIOGRAFIA**

---

**"Chemical Engineers Handbook"**

Robert H. Perry y Cecil H. Chilton.

Edit. Mc. Graw Hill Book Co.

5a. Edición

**"Electronics Engineers Handbook"**

Donald D. Fink

Edit. Mc. Graw Hill Book Co.

1a. Edición

**"Instrumentation and Control Systems"**

Cecil L. Smith

Edit. Chemical Engineering International News

Mc. Graw Hill Book Co.

Junio 1984.

**"Process Instruments and Control Handbook"**

Douglas M. Considine

Edit. Mc. Graw Hill Book Co.

2a. Edición

**"Ingeniería de Control Moderna"**

Katsuhiko Ogata

Edit. Prentice Hall

**"Programmable Controllers. Driving the Wheels of Industry"**

Moore, G.

Electronics & Power

Vol. 31 Num. 11-12.

1985.

## **CAPITULO IV**

---

---

## TRANSDUCTORES

### IV.1 INTRODUCCION

Todo sistema de control automático puede concebirse básicamente como se muestra en el diagrama de la figura IV.1.

Resulta claro que para controlar cualquier variable en tal esquema de realimentación, es necesario medirla primero. Por tanto, todos los sistemas de control deben contener al menos un instrumento de medición. A su vez, el bloque correspondiente al instrumento de medición se encuentra formado por dos elementos fundamentales, un sensor para la adquisición de la variable sujeta a control, y un transductor para convertir la variable sensada en una señal eléctrica, a fin de facilitar su manejo.

El controlador interpreta el cambio en la variable controlada, suministrada por el dispositivo de medición, y realiza la acción controladora necesaria para mantener el balance deseado dentro del proceso.

En muchas aplicaciones, es un microprocesador el que controla variables mecánicas tales como la posición o la orientación de un objeto. Para esto se requiere de un dispositivo de salida, generalmente llamado actuador, capaz de traducir señales de control en movimientos mecánicos. El elemento final de control, es el mecanismo que varía el flujo del agente de control en respuesta a una señal del controlador. Este elemento puede ser una válvula, un apagador, una bomba o un motor. El agente, que puede ser cualquier fluido, como aire, gas combustible, aceite, hidrocarburos, refrigerante o ácido, determina la selección del elemento de control. El elemento final de

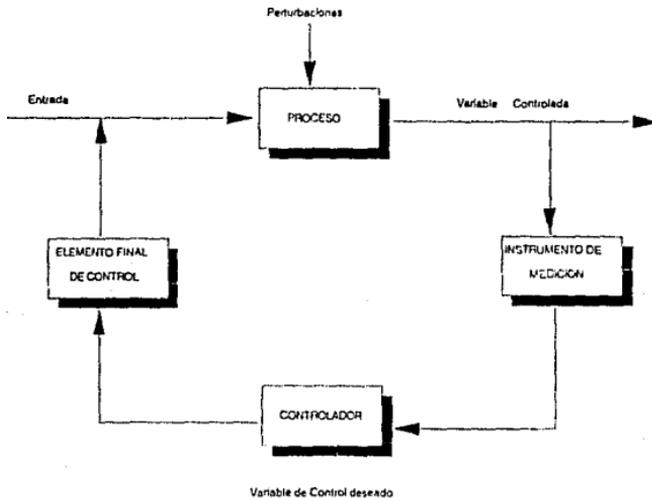


Fig. IV.1 Etapas de un Sistema de Control Automático

control cierra la malla, proporcionando al proceso la variable ya regulada para ser sensada nuevamente, comenzando un nuevo ciclo.

Las variables físicas que pueden encontrarse en los diversos procesos industriales suelen ser incompatibles entre sí, o con respecto al medio de control debido a su naturaleza, que puede ser hidráulica, mecánica, neumática o eléctrica. La forma más sencilla de interpretar y manejar una variable física, consiste en representarla como una señal eléctrica. Así, una variación en una variable física (cambio de posición, de presión, de temperatura, etc.) puede traducirse en un cambio de voltaje. El dispositivo encargado de realizar este cambio de señales es conocido como transductor eléctrico, precisamente por convertir una señal de naturaleza diversa, en una señal eléctrica. En general, un transductor se define como un dispositivo alimentado por la energía de un sistema y que dona energía, usualmente en otra forma, a un segundo sistema. Dentro de los transductores se pueden considerar dos tipos de dispositivos: Sensores y Actuadores. En este capítulo se presentan diversos sensores utilizados para medir las principales variables físicas, así como los dispositivos de actuación más comunes, de acuerdo a la tabla IV.1.

## IV.2 SENSORES

Ciertas aplicaciones de instrumentos de medición pueden ser caracterizadas por tener esencialmente una función de monitoreo. Los termómetros, barómetros y anemómetros son ejemplos de elementos con tal capacidad. Estos instrumentos simplemente indican la condición del ambiente y sus lecturas no ofrecen ninguna función de control.

Otro tipo, extremadamente importante, de la aplicación de instrumentos de medición es aquel en que el instrumento sirve como componente de un sistema de control automático. El elemento básico de todo instrumento de medición es el sensor, dispositivo encargado de adquirir información sobre la condición ambiental, expresándola generalmente a través de algún cambio en su composición física.

Las variables físicas que pueden encontrarse en los diversos procesos industriales suelen ser in-

compatibles entre sí, o con respecto al medio de control debido a su naturaleza, que puede ser hidráulica, mecánica, neumática o eléctrica. La forma más sencilla de interpretar y manejar una variable física, consiste en representarla como una señal eléctrica. Así, una variación en una variable física (cambio de posición, de presión, de temperatura, etc.) puede traducirse en un cambio de voltaje. El dispositivo encargado de realizar este cambio de señales es conocido como transductor eléctrico, precisamente por convertir una señal de naturaleza diversa, en una señal eléctrica. En general, un transductor se define como un dispositivo alimentado por la energía de un sistema y que dona energía, usualmente en otra forma, a un segundo sistema. Dentro de los transductores se pueden considerar dos tipos de dispositivos: Sensores y Actuadores. En este capítulo se presentan diversos sensores utilizados para medir las principales variables físicas, así como los dispositivos de actuación más comunes, de acuerdo a la tabla IV.1.

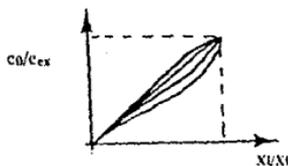
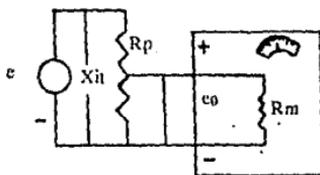


Fig. IV.2 Potenciómetro Resistivo y su efecto de carga

### IV.2.1 Medición de Movimiento

En el área de instrumentación, la medición del movimiento es la que resulta de mayor importancia, por basarse en dos cantidades fundamentales en la naturaleza (longitud y tiempo) y también porque muchas otras cantidades como fuerza,

VARIABLE A SENSAR	DISPOSITIVO
Movimiento	Potenciómetro Resistivo Medidor de tensión resistivo Transformadores Diferenciales Potenciómetros Síncronos Transductores de Inductancia Variable Transductores Piezoeléctricos Dispositivos Optoelectrónicos Transductores Digitales de desplazamiento Transductores de Velocidad Tradlatoria
Temperatura	Termoparadores Elementos Resistivos Termistor Unidades de Radiación Milivóltmetro Termómetro de Presión Termómetro Accionado por Vapor Potenciómetro
Fuerza	Balanza Analítica Escala de Péndulo Balanza de Plataforma Balanza Electromagnética Transductor de Fuerza Elástica Medidor de Momentos en Flechas Rotatorias Dinamómetro
Presión	Elemento de Columna de Líquido Tubo de Bourdon Medidor de Presión por Fuelles Elementos de Diafragma Extensómetros Eléctricos Transductores de Presión Capacitivos Transductores de Presión Piezoeléctricos Transductor de Alta Presión Medidor de McLeod para Baja Presión Medidor de Viscosidad Medidor de Conductividad Térmica

Tabla IV.1.a Sensores

**Transductores**

<b>VARIABLE A SENSAR</b>	<b>DISPOSITIVO</b>
Flujo	Medidor por Presión Diferencial Rotámetro Flujómetro Mecánico Flujómetro Electromagnético
Nivel	Medidor de Flotador y Cinta Medidor Ultrasónico Desplazador Medidor por nivel de Presión Hidrostática Medidor de Burbujeo

**Tabla IV.1.b Sensores**

presión, temperatura, etc., son medidos convirtiéndolos en movimiento y midiendo el movimiento resultante.

#### IV.2.1.1 Potenciómetros Resistivos

Básicamente, un potenciómetro resistivo consiste de un elemento resistivo provisto con un contacto móvil. El movimiento del contacto puede ser de traslación, de rotación o la combinación de los dos, permitiendo la medición de desplazamientos rotatorios y traslatorios. El elemento resistivo es excitado con voltaje de CD o de CA y el voltaje de salida es una función (idealmente) lineal del desplazamiento de la entrada.

Si la distribución de resistencia con respecto al desplazamiento, traslatorio o angular del contacto móvil, es lineal, el voltaje de salida  $e_o$  duplicará la entrada de movimiento  $x_i$  ó  $\theta_i$  si las terminales en  $e_o$  están en circuito abierto. La situación usual, sin embargo es aquella en que la salida del potenciómetro (voltaje) es la entrada a un medidor o grabador. La figura IV.2 muestra el circuito de un potenciómetro resistivo.

Analizando este circuito se tiene:

$$\frac{e_o}{e_{ex}} = \frac{1}{1/(x_i/x_i) + (R_p/R_m) [1 - (x_i/x_i)]}$$

que para condiciones ideales ( $R_p/R_m = 0$  para circuito abierto) se convierte en:

$$\frac{e_o}{e_{ex}} = \frac{x_i}{x_i}$$

La relación entrada-salida se muestra en la figura IV.2.

Para obtener una adecuada linealidad para un medidor de una resistencia dada  $R_m$ , se debe escoger un potenciómetro de resistencia lo suficientemente baja en relación a  $R_m$ . Este requerimiento se contrapone al deseo de alta sensibilidad. Debido a que  $e_o$  es directamente proporcional a  $e_{ex}$  es posible obtener la sensibilidad deseada incrementando  $e_{ex}$ .

La resolución de los potenciómetros se encuentra determinada por la construcción del elemento resistivo. Una aproximación obvia con-

siste en usar un solo alambre corredizo como resistencia, dando una variación de resistencia esencialmente continua conforme el contacto móvil viaja sobre él. Estos potenciómetros se encuentran disponibles, pero están limitados a valores pequeños de resistencia, ya que la longitud del alambre está limitada por la carrera del émbolo deseada en un dispositivo traslatorio, y por las restricciones de espacio en un dispositivo rotatorio.

Para obtener valores de resistencia suficientemente altos en un espacio reducido, se debe utilizar como elemento resistivo alambre devanado sobre un mandril o tarjeta en forma circular o helicoidal en caso de que se desee un dispositivo rotacional. Con tal construcción, la variación de resistencia no es lineal, sino que ocurre en pequeños pasos conforme el contacto móvil se mueve de una vuelta de alambre a otra. Este fenómeno resulta una limitante fundamental en la resolución en términos del tamaño del alambre resistivo.

El límite de espaciado de alambre de acuerdo a la práctica, se encuentra entre 500 y 1000 vueltas por pulgada. Para dispositivos traslatorios, la resolución está limitada de 0.001 a 0.002 pulgadas, mientras que los dispositivos rotatorios pueden hacer un intercambio entre el incremento de diámetro  $D$  y el incremento en la resolución angular, de acuerdo a la relación:

$$\text{Mejor Resolución A.} = \frac{0.12 \text{ a } 0.24}{D} \text{ grados}$$

Si se requiere de una resolución extremadamente fina y de una resistencia alta, lo indicado es un elemento resistivo del tipo de película de carbón o plástico conductor. Los elementos de película de carbón pueden tener una resolución tan buena como  $5 \times 10^{-6}$  pulgadas.

Para la selección de un potenciómetro, se deben considerar varios factores ambientales como altas o bajas temperaturas, vibraciones, humedad y altitud. Estos factores pueden modificar y/o interferir en las entradas degradando seriamente el funcionamiento del instrumento.

## IV.2.1.2 Medidor Resistivo de Tensión

Considerando un conductor de sección transversal de área  $A$  y longitud  $L$ , hecho de un material con resistividad  $\rho$ . La resistencia  $R$  de tal conductor está dada por:

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

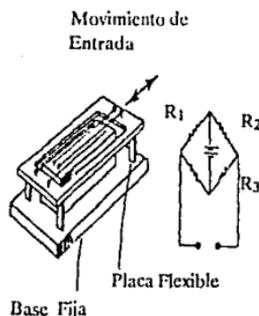


Fig. IV.3 Medidor de Tensión

Si este conductor es estirado o comprimido, su resistencia cambiará debido a los cambios dimensionales y también debido a una propiedad fundamental de los materiales llamada piezoresistencia, que indica una dependencia de la resistividad sobre la fuerza mecánica.

Los tipos más comunes de medidores de tensión utilizan una de dos aleaciones: Avanzada (55% cobre y 45% níquel) o Isoelástica (36% níquel, 8% cromo, 4% manganeso, silicón y molibdeno y el resto de hierro). La aleación Avanzada da un factor de medición de 2 y la aleación Isoelástica produce un factor de 3.5.

Factor de Medición	$\frac{dR/R}{dL/L}$
	donde

- R = resistencia del conductor
- L = longitud del conductor
- dR = variación de resistencia
- dL = variación de longitud

Los medidores de fuerza basados en materiales semiconductores resultan más caros y más difíciles de aplicar que los medidores metálicos, sin embargo, éstos generan un factor de medición de 130.

Dentro de los medidores metálicos existen el medidor vinculado y el desvinculado. En este último, mostrado en la figura IV.3, los alambres resistivos (cuyo diámetro es aprox. 0.001 pulg.) son estirados entre dos marcos que pueden moverse entre sí, guiados por placas flexibles. Como los alambres se enrollarían si se aplicara una fuerza de compresión, se debe utilizar una precarga interna mayor a cualquier carga compresiva externa que se pueda presentar. Bajo estas condiciones, el movimiento aplicado hacia la derecha estirará los alambres 1 y 3 y reducirá la tensión en 2 y 4. Un movimiento a la izquierda hará lo mismo pero en sentido contrario, así se podrán medir movimientos en ambos sentidos siempre y cuando no se supere la precarga.

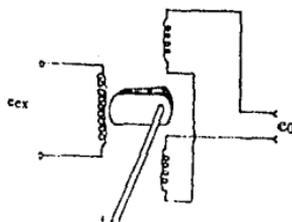


Fig. IV.4 Transformador Diferencial Rotacional

Estos medidores son utilizados principalmente como elementos de transducción de fuerza y presión y de acelerómetros. En estas aplicaciones los alambres sirven como el elemento de resorte necesario para transducir fuerza a deflexión, además de ser un sensor de desplazamiento. La

resolución de estos dispositivos es infinitesimalmente pequeña ya que la variación de la resistencia es un cambio muy ligero. La inexactitud es del orden de 0.15% de la escala completa. Considerando como entrada del puente un desplazamiento y como salida el voltaje del puente  $e_0$ , la respuesta de estos instrumentos es prácticamente instantánea (orden cero).

Los medidores metálicos vinculados utilizan alambres en una placa plana o helicoidal. Estos medidores deben estar sujetos a la superficie cuya fuerza se desea medir, y son básicamente sensibles a la componente de fuerza a lo largo del eje longitudinal, sin embargo, existe una pequeña sensibilidad a la componente transversal. La resistencia total de medidores individuales va de 40 a 2000  $\Omega$  teniendo como valores estándar 120, 350 y 1000  $\Omega$ .

Una importante interferencia en la entrada de estos medidores está dada por la temperatura, ya que cambios en este factor se reflejan en cambios en la resistencia.

#### IV.2.13 Transformadores Diferenciales

La figura IV.4 muestra el diagrama de un transformador diferencial variable lineal, rotatorio y traslacional (LVDT). La excitación de estos dispositivos es normalmente una señal senoidal de 3 a 15 volts rms de amplitud y una frecuencia de 60 a 20000 Hz. Las dos bobinas secundarias inducen entre ellas un voltaje senoidal de la misma frecuencia que la excitación; sin embargo, la amplitud varía con la posición del núcleo de hierro. El movimiento del núcleo a partir de un punto nulo, causa una inductancia mutua mayor para una bobina, y una inductancia mutua menor para la otra, y la amplitud de  $e_0$  se vuelve una función casi lineal de la posición del núcleo en un rango considerable, a cualquier lado de la posición nula. El voltaje  $e_0$  sufre un defasamiento de 180° al pasar por el punto nulo. La salida  $e_0$  generalmente está fuera de fase con respecto a la excitación  $e_{ex}$ , sin embargo, varía con la frecuencia de  $e_{ex}$  y para cada transformador diferencial existe una frecuencia particular para la cual el defasamiento es nulo.

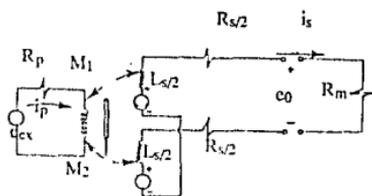


Fig. IV.5 Transformadores Diferenciales

El origen de este defasamiento se puede observar en la figura IV.5; aplicando la ley de voltajes de Kirchhoff, se tiene

$$i_p R_p + L_p (di_p/dt) - e_{ex} = 0$$

El voltaje inducido en la bobina secundaria está dado por:

$$e_{s1} = M_1 (di_p/dt)$$

$$e_{s2} = M_2 (di_p/dt)$$

donde  $M_1$  y  $M_2$  son las respectivas inductancias mutuas. El voltaje secundario de la red  $e_s$  está dado por:

$$e_s = e_{s1} - e_{s2} = (M_1 - M_2) (di_p/dt)$$

La inductancia mutua de la red  $M_1 - M_2$  es la cantidad que varía linealmente con el movimiento del núcleo.

La salida de un transformador diferencial es una onda senoidal cuya amplitud es proporcional al movimiento del núcleo. Si esta salida es aplicada a un voltmetro de CA, el medidor puede ser calibrado en unidades de movimiento. Este arreglo es perfectamente satisfactorio para la

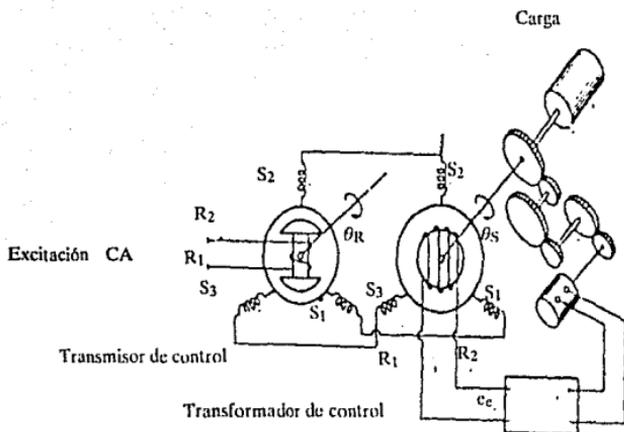


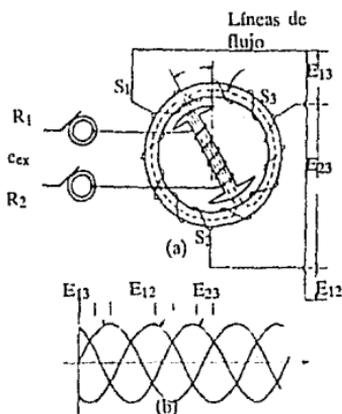
Fig. IV.6 Ejemplo de la familia de Synchros

medición estática o de desplazamientos muy lentos, sólo que el medidor dará exactamente la misma lectura para desplazamientos de igual magnitud a cualquier lado del nulo, ya que el medidor no es sensible al cambio de fase de  $180^\circ$  en el nulo. Por tanto, no se puede decir a qué lado del nulo corresponde una lectura sin una revisión adicional.

#### IV.2.1.4 Synchros y Potenciómetros Inductivos

El término Synchro es aplicado a una familia de dispositivos electromecánicos en CA que realizan funciones de medición de ángulos, suma o resta de voltajes y/o ángulos, transmisión remota de ángulos y operaciones con componentes de vectores.

Los Synchros para la medición de ángulos son utilizados como componentes de servomecanismos (sistemas de control automático de movimiento con realimentación), donde son usados para medir y comparar la posición rotacional actual de una carga con la posición ordenada, como se muestra en la figura IV.6. Para realizar esta función se usan dos tipos de sñeros diferentes: el transmisor de control y el transformador de control.



$$E_{13} = (A \sin \omega_{ex} t) \sin \theta_R$$

$$E_{23} = (A \sin \omega_{ex} t) \sin (\theta_R + 120^\circ)$$

$$E_{12} = (A \sin \omega_{ex} t) \sin (\theta_R + 240^\circ)$$

Fig. IV.7 Arreglo de la Bobina de un Transmisor

La construcción física del transmisor de control y el transformador de control es idéntica, excepto

que el transmisor tiene un rotor con polo saliente, mientras el transformador tiene un rotor cilíndrico. La construcción es similar a la de un motor de inducción con rotor devanado. La figura IV.7 muestra el arreglo de la bobina del trans-

voltaje nulo, dando la posición nula. La amplitud del voltaje de salida varía senoidalmente con el ángulo de desviación, pero para ángulos pequeños, el seno y el ángulo son casi iguales, generando una salida lineal.

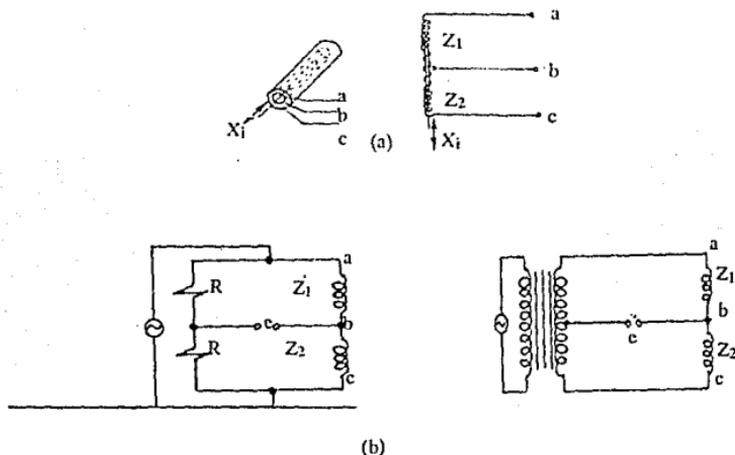


Fig. IV.8 Transductor de Inductancia Variable

misor. Básicamente, la rotación del rotor cambia la inductancia mutua entre la bobina del rotor y la del estator. Para una bobina de estator dada, el voltaje de salida en circuito abierto es senoidal en tiempo y varía en amplitud con la posición del rotor, también senoidalmente. Las tres señales de voltaje de la bobina del estator definen en forma única la posición angular del rotor. Cuando estos tres voltajes son aplicados a las bobinas del estator de un transformador de control, producen una fuerza magnetomotriz resultante, alineada en la misma dirección que la del rotor del transmisor. El rotor del transformador actúa como una bobina de búsqueda detectando la dirección del campo del estator. Si el eje de esta bobina está alineado con el campo, se induce un voltaje máximo en la bobina del rotor del transformador. Si el eje es perpendicular al campo, se induce un

En un potenciómetro de inducción se tiene un devando en el rotor y uno en el estator. Ambos devanados se encuentran concentrados. El devanado primario (rotor) es excitado con corriente alterna, induciendo un voltaje en el devanado secundario (estator). La amplitud de este voltaje de salida varía con la inductancia mutua entre las dos bobinas, debido al ángulo de rotación.

Aún cuando los synchros y los potenciómetros inductivos pueden ser diseñados para trabajar a varias frecuencias de excitación, las unidades comerciales generalmente se encuentran a 60 o 400 Hz.

### IV.2.1.5 Transductores de Inductancia y Reluctancia Variable

La inductancia también es usada para lograr la transducción; existen dos métodos de obtener un transductor utilizando inductores. Un método consiste en emplear los inductores como elementos reactivos en un puente de Wheatstone y el segundo método consiste en variar la frecuencia de un oscilador LC. El método más común es el del puente.

Uno de los transductores inductivos de mayor éxito es el transformador de voltaje diferencial lineal (LVDT). Este transformador consiste en un devanado primario conectado a una fuente de excitación de CA y dos devanados secundarios. Los devanados secundarios se conectan cruzados, de tal manera que las corrientes generadas por el primario se cancelan.

Existe una serie de transductores de movimiento, llamados transductores de inductancia variable o de reluctancia variable, que se encuentran relacionados con LVDTs y Synchros.

La figura IV.8a muestra el arreglo de un transductor de inductancia variable translativo típico. Existe un núcleo de hierro móvil que proporciona la entrada mecánica, sin embargo, sólo están presentes dos bobinas, que generalmente forman dos extremidades de un puente que es excitado con corriente alterna de 5 a 30 volts con frecuencia de 60 a 5000 Hz. Cuando el núcleo se encuentra en posición nula, la inductancia de las dos bobinas es igual, el puente se encuentra balanceado y es cero.

La figura IV.8b muestra dos métodos alternativos para formar el circuito puente. La impedancia total del transductor a la frecuencia de excitación es del orden de 100 a 1000  $\Omega$ . Las resistencias R usualmente son del mismo valor que  $Z_1$  y  $Z_2$  y la impedancia de entrada del dispositivo de medición de voltaje a en debe ser de por lo menos 10R. Si la salida del puente debe de trabajar con una carga de baja impedancia, R debe ser muy pequeña. Para obtener una alta sensibilidad se requiere de un alto voltaje de excitación, esto causa una gran pérdida de energía (calor) en las resistencias R. Para resolver este

problema se puede usar un transformador con tap central. Así el puente es básicamente inductivo consumiendo menos energía con la correspondiente reducción de calor.

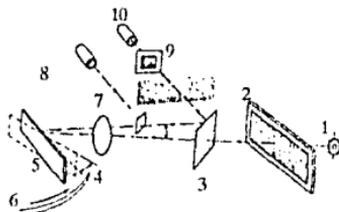


Fig. IV.9 Sistema Midarm

Tales transductores se encuentran disponibles en presentaciones de 0.1 pulg. como de 200 pulg. La resolución es infinitesimal, y los rangos son no lineales de aproximadamente 1 % de la escala completa a 0.002 % para unidades especiales. La sensibilidad es del orden de 5 a 40 v/pulg. Las versiones rotacionales tienen una alinealidad del orden de 0.5 a 1 % de la escala completa a 45, con una sensibilidad de 0.1 v/grado.

### IV.2.1.6 Transductores Piezoeléctricos

Cuando ciertos materiales sólidos son deformados generan dentro de ellos una carga eléctrica. Este efecto es reversible, ya que si se aplica una carga el material comenzará a deformarse como respuesta. Esta acción recibe el nombre de efecto piezoelectrico. Este principio de conversión electromecánica de la energía es títilmente aplicado en ambos sentidos. La dirección consistente en entrada mecánica/salida

eléctrica es aplicada en pequeños agitadores por vibración, sistemas de sonar para detección acústica y localización de objetos bajo el agua.

Los materiales que muestran un significativo efecto piezoeléctrico se pueden clasificar en dos grupos: naturales (cuarzo) y sintéticos (sulfato de litio y fosfato de amonio), ambos grupos en presentación de cristales o cerámicas ferroeléctricas polarizadas. Debido a que los cristales tienen una estructura natural asimétrica, muestran el efecto sin proceso adicional. Las cerámicas ferroeléctricas deben ser polarizadas artificialmente, aplicando un fuerte campo eléctrico al material (mientras se calienta a una temperatura sobre el punto de Curie del material), enfriándose lentamente con el campo aún aplicado. Cuando el campo externo es removido del material enfriado, se retiene una polarización remanente haciendo que el material exhiba el efecto piezoeléctrico.

El efecto piezoeléctrico puede ser hecho para responder a deformaciones mecánicas de un material en diferentes formas. El modo de efecto por movimiento depende de la forma y orientación del cuerpo, relativo a los ejes del cristal y la localización de los electrodos.

Debido a que los materiales piezoeléctricos son aislantes, los electrodos se convierten en placas de un capacitor. Un elemento piezoeléctrico usado para convertir movimiento mecánico en señales eléctricas, puede ser pensado como un generador de carga y un capacitor. La deformación mecánica genera una carga; esta carga resulta en un voltaje determinado, apareciendo entre los electrodos de acuerdo a la ley de capacitores  $E = Q/C$ .

#### IV.2.1.7 Dispositivos Optoelectrónicos

La combinación de los principios ópticos clásicos con los desarrollos de la electrónica moderna ha conducido a una variedad de instrumentos de medición electro-ópticos. El sistema Midarm (figura IV.9) es un ejemplo de este tipo. Otro ejemplo está dado por el seguidor de desplazamiento (Optron figura IV.10).

El sistema Midarm está compuesto por una unidad óptica y una unidad electrónica. El diagrama simplificado muestra como opera. El

rayo de luz proveniente de un punto fuente (1) pasa a través de una rejilla (2), un difractor de rayos (3), una lente colimador (4) y choca contra un espejo (5) montado en el espécimen rotatorio a ser probado (6). La imagen es reflejada de regreso al sistema donde es dirigida por un difractor de rayos (7) al fotosensor de referencia (8). La imagen también es reflejada por el difractor de rayos (3) a través de una segunda rejilla (9) al fotosensor de control (10).

En el sistema Optron, la luz emanada por una mancha fosforescente en la superficie de un tubo de rayos catódicos, es enfocada agudamente en el plano del borde del cuerpo cuyo movimiento  $X_i$  se desea medir. Si la mancha se encuentra completamente sobre este borde, la luz no se reflejará a la fotocelda y su voltaje de salida será nulo. El voltaje aplicado a los platos de deflexión vertical es igual a  $-e_{bias}$  y el movimiento del punto  $x_{rayo}$  será  $-k_{CRT} e_{bias}$ . El voltaje  $e_{bias}$  es suficiente para llevar el rayo pasando el borde. Conforme el rayo llega al borde desde el tope, una pequeña luz es reflejada hacia la fotocelda, haciéndose cada vez más intensa. Si la mancha está en su totalidad bajo el borde, un movimiento descendiente ya no refleja más la luz, saturando este efecto. Esta relación entre  $X_i$ ,  $X_{rayo}$  y la luz reflejada, no es lineal.

Conforme la mancha llega al borde por arriba, la fotocelda produce el voltaje de salida  $e_i$ . Este voltaje es amplificado una cantidad  $k_a$ , que es muy grande, de tal manera que la mancha se mueve una pequeña distancia sobre el borde antes de que  $e_i k_a$  sea mayor que  $e_{bias}$  y  $x_{rayo}$  sea positivo, llevando al rayo hacia arriba. Si el rayo se eleva demasiado, se vuelve otra vez menor que  $e_i k_a$  y la mancha se hace descender. Así, este sistema de realimentación tiende en todo momento a mantener el punto de luz en el borde móvil. El diagrama de bloques de control de la figura IV.10b muestra todos los efectos sucediéndose instantáneamente.

#### IV.2.1.8 Transductores Digitales de Desplazamiento

Cada vez más y más instrumentos de medición son requeridos para ser comunicados con computadoras digitales. La cantidad de información generada por programas de prueba, a gran escala, es tan grande que es necesaria una reducción

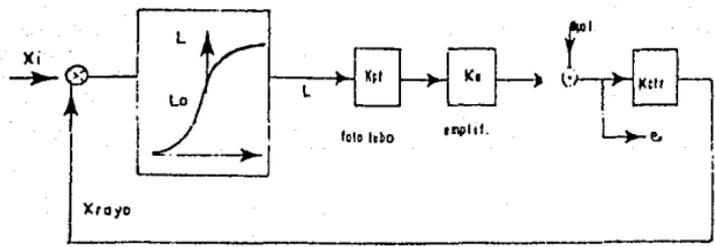
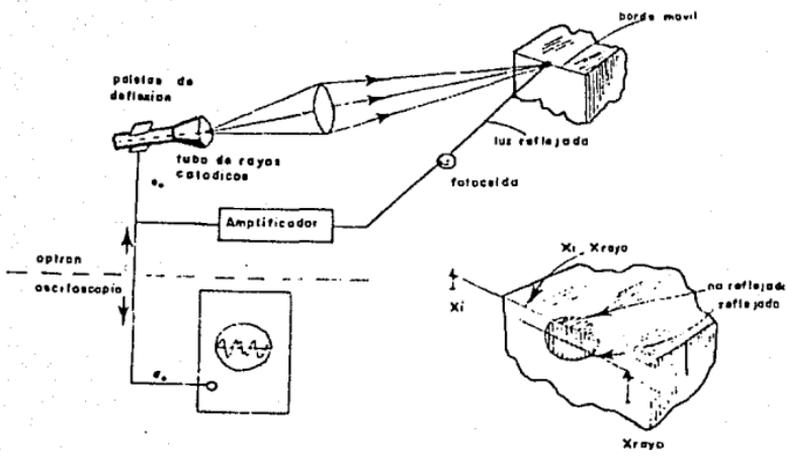


Fig. IV.10 Optron, seguidor de desplazamiento

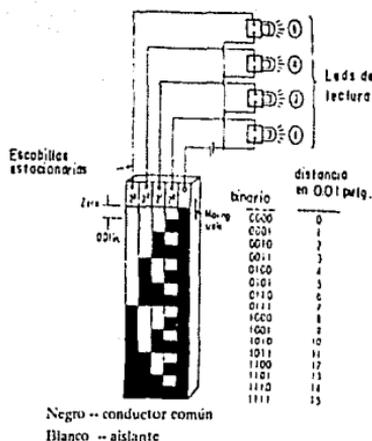


Fig. IV.11 Transductor digital de desplazamiento

automatizada de esta información por la computadora. Así también, los sistemas de control con realimentación para procesos complejos, están volviéndose muy dependientes de computadoras digitales, para la generación parcial o total de la acción de control. De aquí se tiene que los dispositivos de medición que forman una parte básica de todo este sistema, deben ser compatibles con la naturaleza digital de la computadora.

Existen ciertas reservas al hablar de transductores digitales, ya que generalmente son considerados como transductores analógicos con un convertidor analógico digital integrado. Sin embargo, en la práctica existen dos métodos utilizados para obtener señales digitales. El primer método involucra convertir la variable analógica a una rotación de flecha (o traslación) y el uso de uno de los múltiples codificadores de ángulo de flecha para generar las señales digitales. La otra aproximación consiste en convertir la variable analógica a un voltaje analógico, que enton-

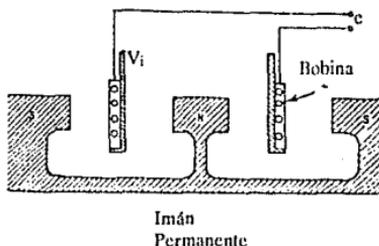


Fig. IV.12 Transductor de velocidad con bobina móvil

ces es convertido a un voltaje digital por uno de los varios tipos de convertidores de voltaje analógico a digital. Estos dos tipos de dispositivos son, quizás, la aproximación más cercana a un verdadero transductor digital: el codificador del ángulo de flecha para movimiento, y el convertidor de voltaje analógico/digital para voltaje.

El principio del codificador de ángulo de flecha puede ser observado más fácilmente para un movimiento traslatorio que para uno rotatorio. La figura IV.11 muestra el dispositivo en forma esquemática. El codificador mostrado tiene 4 pistas (bits) y está dividido en dos porciones: conducción y aislamiento, con un incremento mínimo de 0.01 pulgadas.

Conforme la escala se mueve bajo las escobillas, los circuitos de lámpara respectivos son cerrados o abiertos de tal manera que la suma de los números mostrados en las lámparas de despliegue, es en todo instante igual al desplazamiento en centésimas de pulgada. Con 4 bits, la travesía máxima es de 0.15 pulgadas; un mayor desplazamiento requiere de más bits. Si se requiriera de una resolución más fina que 0.01 pulg., se tendría que producir un patrón blanco y negro con menor espaciamiento, o bien, se tendría que utilizar un mecanismo de amplificación de movimiento.

Para movimiento rotacional, el patrón de la figura IV.11 es simplemente deformado, de tal manera que la longitud de la escala se convierte en la circunferencia de un círculo en un disco plano. Las escobillas son dispuestas a lo largo de una línea radial sobre el disco. Para eliminar el desgaste y la fricción de las escobillas y para mejorar la resolución, se utilizan fotoceldas para

de velocidades vibratorias. Dado que la densidad de flujo disponible en imanes permanentes está limitada al orden de 10000 gauss; la sensibilidad se puede incrementar solo aumentando la longitud del alambre en la bobina. Para conservar la bobina pequeña, se requiere alambre fino y de alta resistencia. Las bobinas de alta resistencia necesitan de un dispositivo de medición de voltaje de alta resistencia para prevenir

POSITIVO	NEGATIVO	TEMPERATURA MAXIMA	MILIVOLTS/ F
Platino	Platino-Rodio	300	0.0075
Cromo	Aluminio	1800	0.0215
Hierro	Constantan	1400	0.0290
Cobre	Constantan	400	0.0295

Tabla IV.2

realizar lecturas ópticas con segmentos claros y opacos. También es posible realizar lecturas magnéticas sin hacer contacto. Una unidad típica con lectura óptica tiene 13 canales (dando una resolución de  $1/2^{13} = 1/8192$ ) en un estuche de 4 pulg. de diámetro y 7 pulg. de largo.

#### IV2.1.9 Transductores de Velocidad Traslatoria

La bobina móvil de la figura IV.12 está basada en la ley de voltaje inducido

$$e_0 = (Bvl) 10^{-8}$$

donde

- $e_0$  = voltaje terminal, volts
- $B$  = densidad de flujo, gauss
- $l$  = longitud de la bobina, cm
- $V_l$  = velocidad relativa de bobina e imán cm/seg

Debido a que  $B$  y  $l$  son constantes, el voltaje de salida sigue a la velocidad de entrada linealmente e invierte la polaridad cuando la velocidad cambia de signo. Estos transductores son ampliamente usados para la medición

sobrecarga. Un transductor típico de alrededor de 500 ohms de resistencia, tiene una sensibilidad de 0.15 v/(pulg/seg) y un desplazamiento a escala completa de 0.15 pulgadas.

#### IV2.2 Medición de Temperatura

Un cambio en una característica eléctrica puede ser empleada como medio de medición de temperatura. Ejemplos de elementos primarios de medición de tipo industrial que aplican este principio son los termocopladores o termopares, el elemento resistivo RTD, la unidad de radiación PRTD y los sensores de circuito integrado. El voltaje eléctrico, la corriente o la resistencia, son función de la temperatura y son medidos por un potenciómetro o un milivóltmetro.

##### IV2.2.1 Termocoplador

El termocoplador es el elemento termoelectrónico más usado. Está compuesto por dos alambres distintos, unidos en un extremo. Cuando la temperatura en la junta soldada cambia, se genera un potencial eléctrico en el circuito

y aparece en los extremos libres del alambre. Este potencial es el resultado de dos funciones conocidas como el FEM (fuerza electro-motriz) de Thomson y el FEM de Peltier.

El FEM de Thomson es la porción del total de potencial causado por el gradiente de temperatura sobre una sola sección homogénea de alambre. El FEM de Peltier es la porción del total de potencial producido por el contacto de dos alambres distintos. Ambos potenciales varían con la temperatura.

El termooacoplador es usado colocando la junta soldada en donde se quiera medir la temperatura. Los extremos libres son llevados a través de extensiones al controlador, cuyo punto es llamado "juntura fría". El controlador mide el voltaje desarrollado a través del extremo abierto del termooacoplador. Este voltaje es causado por incrementos de temperatura de la "juntura caliente" o soldada, sobre la "juntura fría". Por tanto, la juntura fría se convierte en un punto de referencia y el controlador, de hecho, indica la diferencia de temperatura entre juntura fría y caliente. En aplicaciones industriales se utilizan varios tipos de termooacopladores realizados con diversas combinaciones de alambres. La tabla IV.1 muestra cuatro de estas combinaciones:

Los termooacopladores suelen clasificarse de acuerdo a su composición, como sigue:

- T Cobre Vs. Constantan
- E Cromo Vs. Constantan
- J Hierro Vs. Constantan
- K Cromo Vs. Aluminio
- G Tungsteno Vs. Tungsteno 26% Renio
- C Tungsteno 5% Renio Vs. Tungsteno 26%
- R Platino Vs. Platino Rodio 13%
- S Platino Vs. Platino Rodio 10%
- B Platino 6% Rodio Vs. Platino 30% Rodio

Los termooacopladores más comunes son los de tipo J, T, K y E:

**Tipo J.** Este termooacoplador consiste en un alambre de acero y uno de aleación de constantan. Puede utilizarse en atmósferas químicamente reductoras hasta 1600 °F.

**Tipo T.** Este se forma por alambres de cobre y constantan y utilizan en atmósferas poco reactivas y hasta 750° F.

**Tipo K.** Este se forma por un alambre con aleación de cromo y otro con aleación de aluminio y se utiliza en atmósferas químicamente oxidantes a temperaturas no mayores de 2300 °F.

**Tipo E.** Este se forma por alambres de cromo y constantan y se utiliza en atmósferas químicamente inertes y en vacío hasta los 1600° F.

El termooacoplador de fierro y constantan puede ser usado a temperaturas ligeramente mayores si la atmósfera no es oxidante. El de la combinación de cobre y constantan se usa generalmente para bajas temperaturas y puede ser usado para temperaturas bajo 0° F.

Un tubo protector o casquillo entre el termooacoplador y el fluido cuya temperatura se quiere medir, protege al termooacoplador contra corrosión y contaminación. El casquillo puede ser de metal o material refractario, dependiendo de la instalación y el tipo de protección requerida.

El tiempo de respuesta de un termooacoplador al descubierta es excelente debido a que el material a calentar es poco y la transmisión eléctrica del potencial es prácticamente instantánea. Un material de recubrimiento decremента la velocidad de respuesta, dependiendo del tamaño y el material.

Al seleccionar un termooacoplador, se deben de tomar en cuenta dos características, diámetro del alambre y los materiales de los cuales van a ser

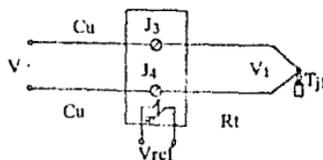


Fig. IV.13 Compensación por software

hechos tales alambres. La selección del diámetro del alambre está comprometida entre la robustez requerida para la instalación y la pérdida de calor a través del alambre mismo. En la mayoría de las instalaciones industriales, la robustez es más importante que las pérdidas por calor. La selección del termopar atendiendo al material, es de suma importancia, ya que deben de tomarse en cuenta factores como exactitud, estabilidad, rangos de temperatura, de operación, medio en que va a operar el termopar, etc.

Al hacer mediciones de temperatura con termocopladores, la junta de referencia debe mantenerse a una temperatura constante, de lo contrario se hace necesaria una compensación electrónica para los cambios de temperatura. Al conectar un medidor a las puntas de un termocoplador, se produce un error en la medición, que es función de la temperatura en el instrumento medidor. Dicho error produce un voltaje que se resta al voltaje medido equivalente a la temperatura de la junta de medición, dando como resultado, lecturas falsas. Al voltaje in-

medir la temperatura absoluta de la junta de referencia. Se asume que las juntas  $J_3$ ,  $J_4$  y el termistor se encuentran a la misma temperatura gracias al bloque isotérmico.

El procedimiento indicado por este método es el siguiente:

- a. Medir  $R_t$  la cual se refleja como un voltaje ( $V_{ref}$ ) a través de un canal del sistema.
- b. Por otro canal, se debe detectar el voltaje  $V$ , que contiene el error de junta fría.
- c. Mediante un programa, que se encuentra previamente almacenado en el sistema, se realiza la resta de  $V$  y  $V_{ref}$  para obtener  $V_1$ , este voltaje debe ser acondicionado por el mismo programa almacenado, de tal forma que en la pantalla o en la salida del sistema, se pueda leer la temperatura real de la junta  $J_1$  ( $T_{J1}$ ).

## 2. Compensación por Hardware

La forma más común de compensación por hardware está basada en circuitos tipo puente.

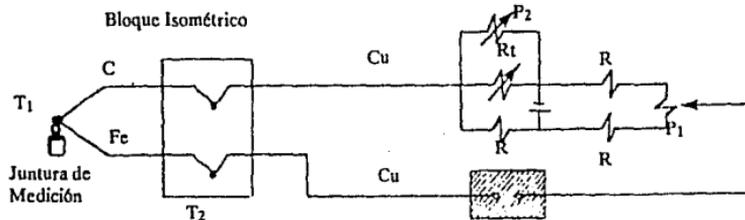


Fig. IV.14 Compensación por hardware

deseado producido en el dispositivo medidor, se le conoce como error de junta fría y requiere de ser cancelado.

Existen varios métodos para compensar los termopares, de los cuales se presentan a continuación los correspondientes a compensación por software y por hardware:

### 1. Compensación por Software

En la figura IV.13 las juntas  $J_3$  y  $J_4$  constituyen la junta de referencia, un termistor ( $R_t$ ) permite

Este método se ilustra en la figura IV.14. Para medir la temperatura de la junta de referencia y convertirla a su voltaje equivalente como se indica en la compensación por software, este método utiliza resistencias, potenciómetros, una batería y un elemento resistivo sensible a la temperatura ( $R_1$ ), que está en paralelo a una de las ramas del puente e integrado térmicamente con la junta fría  $T_2$ .

El voltaje de salida es proporcional al desbalanceo creado entre  $T_2$  y la junta caliente  $T_1$ ; como la temperatura del medio circundante a  $T_2$  varía,

un voltaje térmico aparece y produce una lectura errónea a la salida. Sin embargo, un voltaje opuesto y de igual magnitud, es automáticamente introducido en serie con el voltaje de error, gracias a la variación de  $R_t$ . Este último voltaje cancela el error y mantiene la temperatura de la junta de referencia sobre un gran rango de temperatura ambiente, presentando gran exactitud de grados.

#### IV.2.2.2 Elemento Resistivo RTD (Resistance Temperature Detector)

El elemento resistivo opera sobre el principio de que la resistencia de un alambre cambia con la temperatura. El dispositivo para medir la resistencia es, por lo general, un puente de Wheatstone y el controlador es calibrado en términos de temperatura. El níquel es el material más común para el alambre en bulbos resistivos industriales.

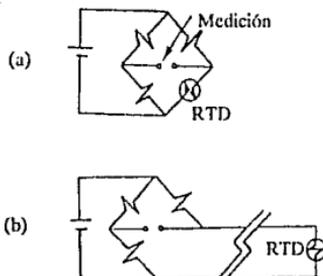


Fig. IV.15 Conexiones de sensores RTD

El alambre de platino es frecuentemente usado para mayor precisión o para temperaturas más altas. La precisión del elemento resistivo es

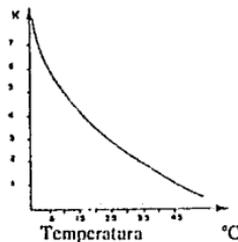


Fig. IV.16 Respuesta de un termistor y linealizador

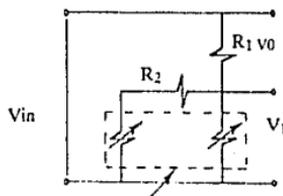
generalmente mejor que aquella de otros elementos de medición de temperatura. Los bulbos de níquel son usados en un rango de  $0^{\circ}$  a  $300^{\circ}\text{F}$ , aunque pueden ser usados bajo  $0^{\circ}\text{F}$ .

Los termómetros de resistencia de platino se usan para medición de temperatura, en los rangos de  $-220^{\circ}\text{C}$  a  $+800^{\circ}\text{C}$ . El coeficiente de cambio alcanza los  $0.4\ \Omega/^{\circ}\text{C}$  (el termopar tiene, en promedio,  $20\ \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ ). Debido a su alto costo, no ha desplazado a los termopares en el mercado de sensores de temperatura.

La manera más sencilla de realizar la medición es a través de un puente calibrado para salida de  $0\ \text{mV}$  a  $0^{\circ}\text{C}$  (ver fig. IV.15a).

El valor más común de los RTD, a  $0^{\circ}\text{C}$ , es de  $100\ \Omega$ . Si el sensor se conecta a varios metros de distancia del instrumento de medición, la resistencia de los cables de interconexión puede introducir errores en la medición, como se muestra en la figura IV.15b. A fin de que los cables de interconexión no afecten la calibración, se prefiere usualmente la conexión en la que se cancelan los efectos de la resistencia del cable al encontrarse en ramas opuestas del puente. Por otro lado, el cable de interconexión también experimenta cambios de resistencia con la temperatura, que se cancelan igualmente con la configuración anterior.

La corriente que circula por el RTD conectado como rama de un puente, genera un calentamiento del dispositivo, que a su vez dará origen a un error en la medición. Para minimizar este error, debe hallarse un compromiso entre la corriente que circula por el RTD (la mínima posible) y el voltaje de salida del puente (el máximo posible).



La velocidad de respuesta de un elemento resistivo generalmente no es tan alta como la de un termocoplador al descubierto debido al material del bulbo y del casquillo y al espacio de aire dentro del casquillo. Como en el termocoplador, la transmisión eléctrica del cambio de resistencia es prácticamente instantánea.

#### IV.2.3 Termistor

El termistor es una resistencia sensible a la temperatura. La principal característica del termistor reside en que es el transductor más sensible, a diferencia del termopar que es el transductor más versátil, y del RTD que es el más estable.

Los termistores generalmente son contruidos con materiales semiconductores y la mayoría de éstos, tienen coeficiente de temperatura negativo (la resistencia se reduce al incrementar la temperatura). Este coeficiente negativo puede ser tan grande como varios cientos por °C, permitiendo al circuito en que esté el termistor, detectar cambios pequesísimos en la temperatura, los cuales no podrían ser observados con un RTD o con un circuito con termopar.

De todos los tipos de sensores, el termistor es el que muestra el mayor coeficiente de cambio de resistencia con respecto a la temperatura ( un promedio de  $-500\Omega/^{\circ}\text{C}$  en la región alrededor de  $0^{\circ}\text{C}$ ).

La principal desventaja del termistor es que es un dispositivo cuya respuesta no es lineal (ver figura IV.16) y que depende mucho de los parámetros del proceso bajo estudio. Esto se refleja en el hecho de que los fabricantes de termistores no tengan curvas de estandarización, lo cual constituye un gran problema, puesto que al comprar un termistor no se obtiene más información que el valor óhmico, pero no se sabe como va a responder. Un camino para resolver el problema anterior, es obtener una curva individual aproximada, para cada termistor, usando la ecuación de STEINHART-HART:

$$\frac{1}{T} = A + B \ln R + C (\ln R)^3$$

donde

$$T = {}^{\circ}\text{K} \quad R = \text{Resistencia del Termistor}$$

A, B, C constantes

Las constantes A, B y C son determinadas seleccionando tres puntos de la curva experimental, resolviendo las tres ecuaciones simultáneas. La misma ecuación anterior se puede simplificar para obtener cálculos más rápidos, teniendo como ecuación resultante:

$$T = \frac{B}{\ln R - A}$$

A, B y C se determinan igualmente, tomando tres puntos de la curva y resolviendo las tres ecuaciones simultáneas resultantes.

Debido a que los termistores son fabricados con materiales semiconductores, éstos son más susceptibles a descalibraciones permanentes a temperaturas altas que los RTDs o los termopares. Es por esto que la aplicación de los termistores se limita a unos pocos cientos de °C.

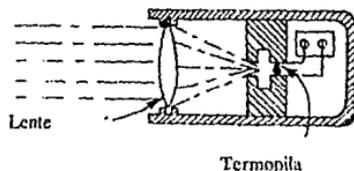


Fig. IV.17 Unidad de Radiación

Entre más pequeño sea el valor óhmico del termistor, más rápidamente responde a los cambios de temperatura, esto también resulta en que por su pequeña masa térmica lo haga más susceptible a errores por autocalentamiento.

## IV.2.2.4 Unidad de Radiación

La unidad de radiación utiliza el principio en el que la red de energía radiada transmitida entre dos cuerpos a diferentes temperaturas es expresada por la ley de Stefan Boltzmann, dada por la ecuación:

$$w = k(\theta_1^4 - \theta_2^4)$$

donde

- w = red perdida en energía por cm
- k = constante de radiación
- $\theta_1$  = temperatura absoluta del cuerpo radiante
- $\theta_2$  = temperatura absoluta del cuerpo receptor

Esta ley es enunciada asumiendo la existencia de un cuerpo negro. Un cuerpo negro es aquel que absorbe toda la radiación que carga sobre él sin reflejar nada de la radiación recibida. La mayoría de los materiales no son cuerpos negros perfectos.

La unidad de radiación utiliza un termocoplador o una termopila (cierto número de termocopladores en serie) sobre el cual es enfocado el calor del cuerpo, a través de espejos o lentes (figura IV.17). Una fuerza electromotriz es generada cuando una termopila es calentada por la energía radiante. La escala de calibración para la energía radiante es aproximadamente la cuarta potencia de la temperatura. El rango de temperaturas manejado está entre 800° y 3200° F.

Esta unidad tiene la gran ventaja de no tener contacto físico con el cuerpo cuya temperatura se desea medir. Sin embargo, la presencia de gases calientes o humo entre el cuerpo y la unidad de radiación puede causar un error. Por tanto, esta unidad no se puede usar donde la radiación debe pasar a través de un medio de absorción de concentración considerable.

La velocidad de respuesta de la unidad de radiación es alta debido a la pequeña cantidad de material de la termopila que recibe la energía radiante. La transmisión eléctrica del cambio de potencial es prácticamente instantánea.

## IV.2.2.5 Milivóltmetro

Como su nombre lo indica, el milivóltmetro es un dispositivo dedicado a la medición de voltajes pequeños. En combinación con un termocoplador o una unidad de radiación, se convierte en un pirómetro; con un elemento resistivo, se convierte en un termómetro. Los medios de medición del pirómetro no requieren de fuente de poder auxiliar, por lo que son auto-operables.

La mayoría de los controladores industriales que utilizan milivóltmetros, operan sobre el principio de d'Arsonval, que consiste en que el movimiento de una bobina en un campo magnético fijo, es proporcional a la corriente eléctrica que pasa por la bobina (figura IV.18).

El imán permanente tiene dos polos ajustados alrededor de la bobina para concentrar el flujo magnético alrededor de la misma. Una bobina, suspendida sobre pivotes y controlada por resortes, gira en el espacio entre los pedazos de imán

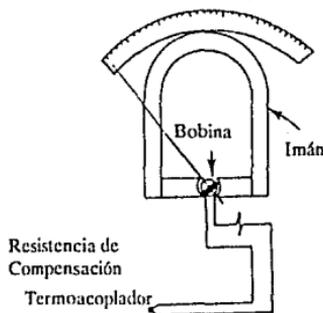


Fig. IV.18 Pirómetro

polarizados. Un indicador ligero conectado a la bobina indica la posición de la misma. La escala se calibra en términos de temperatura.

Cuando un milivóltmetro sirve como un termómetro de resistencia, se coloca una batería en el circuito y la variación en resistencia del elemento primario causa un cambio en el flujo de corriente.

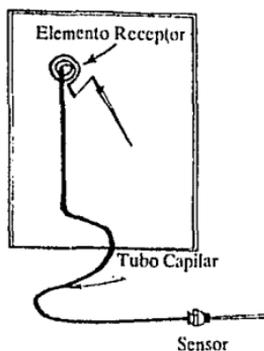


Fig. IV.19 Termómetro de Presión

El milivóltmetro es un dispositivo simple y económico y no requiere de ajustes manuales frecuentes. Es indicado para control de pequeños hornos. También es utilizado como termómetro de resistencia para medición y control de temperatura en grandes sistemas de refrigeración o aire acondicionado.

#### IV.2.2.6 Termómetro de Presión

Los termómetros que manejan como elemento la presión, utilizan la expansión térmica del fluido con incremento en temperatura para proporcionar una indicación de la temperatura. Si el fluido está confinado a un recipiente pequeño, la expansión del fluido con la temperatura eleva la presión dentro del recipiente. Esta presión, que es proporcional a la temperatura, es la que es medida. Este tipo de termómetros, por lo general son dispositivos auto-operables.

La construcción general de un termómetro de presión se muestra en la figura IV.19. Un bulbo cilíndrico lleno con un líquido o gas es sometido a la temperatura a ser medida. Un tubo capilar conecta el bulbo con el elemento receptor en el controlador. Este elemento receptor consiste de

un tubo metálico que ha sido aplanado y doblado para formar un tubo de 'bourdon', una hélice o un espiral. Si un extremo del tubo está sellado y el otro extremo está fijo, el incremento de presión dentro del elemento ocasionará que el extremo sellado se mueva en un arco. Este movimiento es utilizado para operar el sistema de control.

Existen tres tipos de termómetros de presión: por expansión de líquido, expansión de gas, y por acción de vapor. La diferencia radica en el medio de llenado del sistema del termómetro.

#### IV.2.2.6.1 Termómetro de Expansión de Líquido

Este termómetro generalmente está lleno con mercurio, aunque otros fluidos como hidrocarburos no son poco comunes. La expansión del mercurio en un termómetro de presión, resulta en una relación aproximadamente lineal entre la temperatura y el movimiento del elemento receptor de acuerdo a la ecuación de expansión volumétrica:

$$V_1 = V_0(1 + B\theta)$$

Donde

- $V_1$  = Volumen final
- $V_0$  = Volumen inicial
- $B$  = Coeficiente de expansión volumétrica
- $\theta$  = Cambio de temperatura

El termómetro de presión que utiliza mercurio puede ser usado dentro de un rango aproximadamente de -35° a 100 °F.

#### IV.2.2.6.2 Termómetro de Expansión de Gas

Estos termómetros utilizan cualquier gas relativamente inerte como medio de llenado, siendo el más común el nitrógeno.

La expansión de un gas sigue la ley de Charles:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

Donde

$P_1$  = Presión inicial absoluta

- $P_2$  = Presión final absoluta  
 $T_1$  = Temperatura inicial absoluta  
 $T_2$  = Temperatura final absoluta

Debido a que no hay un gas ideal, la escala de un termómetro por expansión de gas no es lineal y debe ser compensada para proporcionar una calibración lineal. El rango que maneja este termómetro es de  $-300$  a  $+800^\circ\text{F}$ .

#### IV2.2.7 Termómetro Accionado por Vapor

Este termómetro usa presión de vapor para mover el elemento receptor. La presión de vapor de un líquido varía con la temperatura de acuerdo con las leyes de la termodinámica. En general, esta relación no es lineal debido a que, para incrementos iguales de temperatura, la presión de vapor aumenta en incrementos progresivamente mayores.

El medio de llenado para este tipo de termómetros es variado; entre otros se pueden mencionar: eter, dióxido sulfúrico, butano y propano. El rango de temperatura a medir depende del medio de llenado, pero generalmente va de  $-50$  a  $600^\circ\text{F}$ .

La velocidad de respuesta de los termómetros de expansión de líquido y de expansión de gas es la misma bajo las mismas condiciones, pero el termómetro accionado por vapor tiene una velocidad de respuesta ligeramente mayor. En aplicaciones industriales, el bulbo generalmente es protegido por un casquillo. El fluido, cuya temperatura se desea medir, rodea el casquillo y el calor debe ser transferido cruzando el casquillo a través del aire y el bulbo, hasta el medio de llenado del termómetro. El tipo de casquillo y el método de instalación afectan grandemente la velocidad de respuesta debido a que el total de metal y fluido en el elemento primario debe ser calentado o enfriado antes de que se indique un cambio de temperatura.

En control automático se debe tener una consideración especial para el efecto del ambiente sobre un termómetro accionado por vapor. Cuando el punto de control de temperatura es cercano a la temperatura ambiente, la velocidad de respuesta es mucho más lenta y el retraso de medición puede aumentar un 50% con respecto a

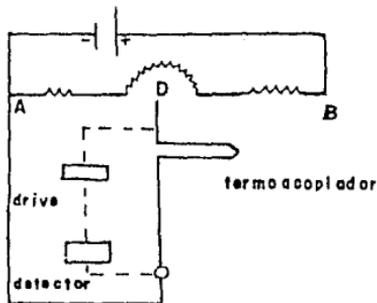


Fig. IV.20 Circuito Fundamental de un Potenciómetro

aquel que se tiene a temperaturas mayores o menores. Este efecto es causado por la necesidad de vaporizar o licuar el fluido en el capilar cuando la temperatura medida cruza la temperatura am-

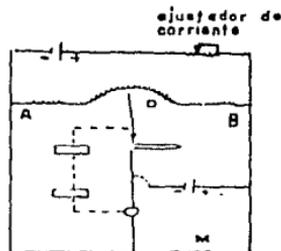


Fig. IV.21 Potenciómetro con Ajustador de Corriente

biental o atmosférica. Este tipo de termómetro no se debe seleccionar para control de temperaturas cercanas a la ambiental.

El termómetro de presión es simple en cuanto a operación y requiere muy poco ajuste manual. Es uno de los controladores más usados en la industria alimenticia y química, entre otras.

#### IV.2.10 Potenciómetro

El potenciómetro balanceado automáticamente para la medición de voltajes pequeños, es operado desde un termocoplador o una unidad de radiación. El instrumento está basado en un puente de Wheatstone para ser usado con elementos resistivos, por lo que es denominado termómetro de resistencias. Para poder operar el sistema de balance, se requiere de una fuente de poder auxiliar, por lo que el controlador de potenciómetro tiene medios de medición operados por poder.

El circuito fundamental del potenciómetro se muestra en la figura IV.20. Este circuito representa un tipo nulo de potenciómetro donde el voltaje desconocido es balanceado contra un voltaje conocido de tal manera que un flujo nulo de corriente en el elemento de detección o galvanómetro indica el balance.

El contacto corredizo puede ser movido sobre alambre corredizo hasta que el voltaje desconocido del termocoplador sea igual y opuesto a una parte del voltaje de la batería. El flujo de corriente a través del galvanómetro u otro elemento de detección G es cero. La posición del cursor en la escala puede ser notada y el controlador puede ser calibrado en términos de temperatura.

El voltaje aplicado debe ser mantenido en un valor constante, aún cuando haya un drenaje de corriente constante. En la figura IV.21 el voltaje se conserva constante a través de una celda precisa estándar y un ajustador de corriente en el voltaje de la batería. Esta operación, llamada estandarización, puede hacerse manual o automáticamente.

El termómetro basado en un potenciómetro no requiere de equipo para estandarizar, ya que el

balance es obtenido al asociar la resistencia del elemento a varias temperaturas con la resistencia deslizable. Este balance es independiente de las pequeñas variaciones en el voltaje de la batería.

Como ocurre con los milivóltmetros, se requiere de la compensación de una "juntura fría". Esto se logra como se muestra en la figura IV.22, agregando una resistencia de compensación de "juntura fría" N. Si la resistencia N está hecha de níquel, que tiene un coeficiente de temperatura de la resistencia, cualquier cambio en la temperatura ambiente compensará las variaciones en la temperatura de la juntura fría.

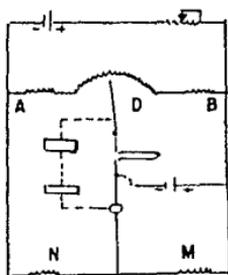


Fig. IV.22 Potenciómetro con compensación de juntura fría

#### IV.2.3 Medición de Fuerza

Una fuerza desconocida puede ser medida por alguno de los siguientes medios:

1. Balanceándola contra la fuerza gravitacional conocida de una masa estándar, ya sea directamente o a través de un sistema de palancas.
2. Midiendo la aceleración de un cuerpo de masa conocida a la que es aplicada la fuerza desconocida.
3. Balanceando la fuerza contra una fuerza magnética desarrollada por la interacción de una bobina con corriente y un imán.
4. Transduciendo la fuerza a una presión de un fluido, midiendo entonces la presión.
5. Aplicando la fuerza a algún miembro elástico, midiendo su deflexión.

### IV.2.3.1 Balanza Analítica

La balanza analítica, aunque tiene un principio simple, requiere de diseño y operación cuidadosos para realizar un funcionamiento óptimo. La vigueta es diseñada de tal forma que el centro de la masa se encuentra ligeramente por debajo del filo de la cuchilla, estando así en equilibrio. Esto hace que la deflexión de la vigueta sea un indicador sensible de desbalance.

Las balanzas analíticas disponibles comercialmente, pueden ser clasificadas como sigue:

Descripción	Rangos(gr)	Resolución
Macro analítica	200-1000	$10^{-4}$
Semimicro analítica	50-100	$10^{-5}$
Micro analítica	10-20	$10^{-6}$
Micro Balanza	menos de 1	$10^{-6}$
Ultramicro Bal.	menos de 0.01	$10^{-7}$

### IV.2.3.2 Escala de Péndulo

La escala de péndulo es un instrumento de deflexión en el que la fuerza desconocida es convertida a un momento que es balanceado por el momento de una masa fija arreglada como péndulo. La fuerza desconocida  $F_i$  puede ser aplicada directamente, o a través de un sistema de palancas, como el mostrado para la escala de plataforma para extender el rango. Una señal eléctrica proporcional a la fuerza es obtenida fácilmente a partir de cualquier transductor de desplazamiento angular, usado para medir el ángulo.

### IV.2.3.3 Balanza de Plataforma

La balanza de plataforma utiliza un sistema de palancas para permitir la medición de grandes fuerzas en términos de pesos estándares más pequeños. La vigueta es llevada a posición nula por una adecuada combinación de pesos y el ajuste de la palanca de contrapeso a lo largo de la escala calibrada.

Las balanzas analíticas son usadas casi exclusivamente para pesar objetos o muestras químicas, en tanto que las balanzas de plataforma y de péndulo también son usadas para mediciones de fuerzas de poder con dinamómetro. Los tres instrumentos están enfocados a la medición de fuerza estática.

El método 2, consta de un acelerómetro para la medición de fuerza, es de alguna manera de aplicación limitada ya que además de la fuerza determinada, con frecuencia se encuentran varias fuerzas desconocidas actuando y no se pueden medir separadamente con este método.

### IV.2.3.4 Balanza Electromagnética

La balanza electromagnética (método 3) utiliza un detector fotoeléctrico nulo, un amplificador y una bobina de momento, en un servomecanismo para balancear la diferencia entre la fuerza des-

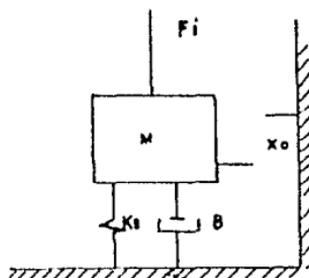


Fig. IV.23 Transductor de Fuerza Elástica

conocida  $F_i$  y la fuerza de gravedad en una masa estándar. Este instrumento es básicamente un competidor de la balanza analítica mecánica, y es usada para las mismas aplicaciones. Dentro de su rango de peso (la escala completa está limitada a  $1gr$  o menos), sus ventajas con respecto a la balanza mecánica son la facilidad de uso, menor sensibilidad al ambiente, respuesta más rápida, menor tamaño, facilidad para operación remota.

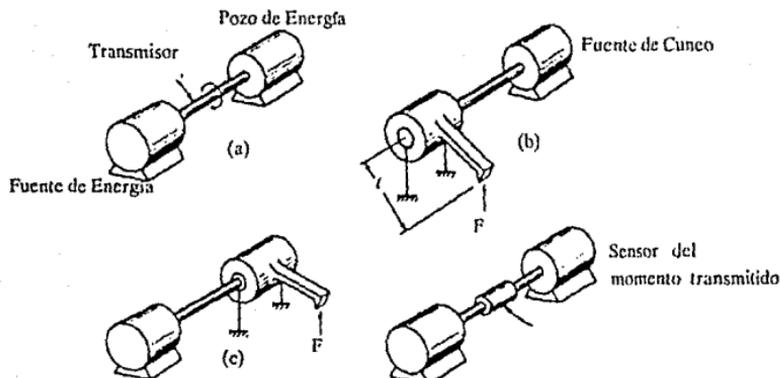


Fig. 1V.24 Medición de Momentos de Máquinas Rotatorias

El método 4 puede ser ilustrado por celdas de carga hidráulicas y neumáticas. Las celdas hidráulicas están completamente llenas de aceite y generalmente tienen una presión de precarga del orden de 30 psi. La aplicación de carga incrementa la presión del aceite que es leído en un medidor de precisión. Las celdas son muy tiesas deflexionándose solo unas milésimas de pulgada bajo carga máxima.

#### 1V.2.3.5 Transductores de Fuerza Elástica

La figura 1V.23 muestra un modelo idealizado de un transductor de fuerza elástica.

Para transductores que no miden un desplazamiento bruto sino que utilizan medidores de tensión ligados al resorte  $K_s$ , la tensión de salida  $F_t$  puede ser sustituida por  $x_0$  si  $k_s$  es reinterpretada como fuerza por unidad de tensión en vez de fuerza por unidad de deflexión.

#### 1V.2.3.6 Medición de Momentos en Flechas Rotatorias

La medición del momento o fuerza de torsión en una flecha de rotación es de considerable interés por sí misma y también como parte necesaria en mediciones de poder. La transmisión del momento a través de una flecha o aguja rotatoria involucra tanto a la fuente de energía como a un pozo (absorbedor de energía o disipador) (figura 1V.24). La medición del momento se

puede llevar a cabo montando, ya sea la fuente o el pozo en soportes, y midiendo la fuerza de reacción  $F$  y la longitud del brazo  $L$ .

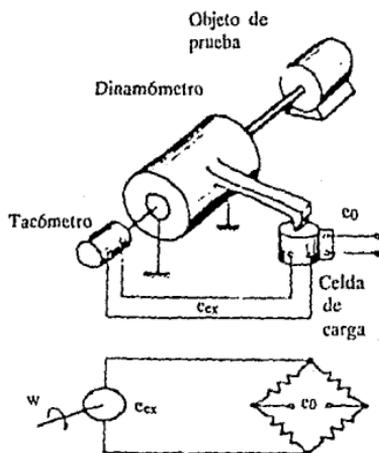


Fig. 1V.25 Medición Instantánea de Poder

El concepto de cunco es la base de la mayoría de los dinamómetros con flecha de energía. Estos

dispositivos son usados principalmente para la medición de energía estable y momento, utilizando balanzas de péndulo o plataforma para medir F.

Otra variación en el principio de cunco es encontrado en un medidor de momentos de balance nulo utilizando principios de realimentación para medir pequeños momentos en el rango de 0 a 10 ozpulg. En este dispositivo el objeto de prueba es montado en una mesa hidrostática soportada por aire para reducir fricciones. Cualquier momento en el objeto de prueba tiende a causar rotación de la mesa de soporte de aire, pero esta rotación es sensada inmediatamente por un transductor de desplazamiento del tipo de transformador diferencial. La salida de este dispositivo es convertida a corriente directa y amplificada para proporcionar la corriente de la bobina de un motor de momento, que aplica un momento opuesto para conservar un desplazamiento nulo. La cantidad de corriente requerida para mantener un desplazamiento nulo es una medición de momento.

#### IV.2.3.7 Dinamómetros

El término dinamómetro es usado generalmente para describir sistemas de medición de potencia, aunque también es el nombre dado a los sensores de fuerza elástica.

El tipo de dinamómetro empleado depende de alguna manera de la naturaleza de la máquina a probar. Si la máquina es un generador de energía, el dinamómetro debe absorberla. Si la máquina es un absorbedor de energía, el dinamómetro debe ser capaz de manejarla. Si la máquina es un transmisor o transformador de energía, el dinamómetro debe proporcionar tanto la fuente de energía como la carga.

Tal vez el dinamómetro más versátil y preciso es el eléctrico de CD. Este dispositivo puede ser acoplado a dispositivos ya sea de absorción de energía o de generación de energía, ya que puede ser conectado como motor o como generador. Cuando son usados como generadores, la energía generada es disipada en arreglos de resistencias o recuperada para su uso. Algunos circuitos modernos de control permiten un control preciso de la velocidad del dinamómetro variando el momento

de la carga (100% de cambio en el momento de la carga ocasiona 0.5% de cambio de velocidad en estado estable).

Las grabaciones de los momentos de un motor y su velocidad, medidas bajo condiciones de operación de un automóvil, son usadas para reproducir estas condiciones en una prueba de laboratorio. Dos sistemas de realimentación son usados para controlar la velocidad y el momento del motor. Una señal de velocidad de un tacómetro conectado al dinamómetro es comparada con la señal de velocidad deseada y grabada en la cinta. Si ambas señales son distintas el control del dinamómetro es ajustado automáticamente para cambiar la velocidad hasta que concuerden. El momento actual del motor es obtenido a partir de una celda de carga en el dinamómetro y comparado con el momento deseado grabado en la cinta. Si las señales no concuerdan, la señal de error actúa sobre una válvula de control en la dirección apropiada. Estos dos sistemas operan simultáneamente para seguir los comandos grabados.

En la aplicación anterior el momento y la velocidad son medidas separadamente y la energía es calculada manualmente. Este cálculo puede ser realizado automáticamente de varias maneras ya que la operación básica (multiplicación) puede ser realizada físicamente de varias maneras. Un esquema interesante utilizando las propiedades de los circuitos puente se muestra en la figura IV.25. La velocidad es medida con un tacómetro de CD y este voltaje es aplicado como la excitación a un medidor de tensión usado para medir el momento. Dado que la salida del puente es directamente proporcional a la excitación y portanto proporcional al momento, el voltaje es una señal de energía instantánea.

#### IV.2.4 Medición de Presión

La presión se encuentra definida como la fuerza ejercida por un fluido contra una unidad de área de las paredes del recipiente que lo contiene. La fuerza es debida a la masa del fluido, a las moléculas de éste que chocan contra las paredes y al confinamiento.

La medición de presión o vacío para propósitos de control generalmente se lleva a cabo aplicando

la presión desconocida a una pieza móvil y elástica de área constante. La fuerza creada es balanceada por un resorte o una pesa y el movimiento resultante opera al mecanismo de control.

Los elementos actuadores más comunes en un medidor de presión son el tubo de Bourdon, el tubo espiral y el helicoidal. Estos tipos de elementos no requieren de un resorte, ya que el módulo elástico del metal es usado para graduar la deflexión debida a cambios en la presión.

Los dispositivos de medición de presión, ya sea absoluta, manométrica, de vacío o diferencial, se pueden clasificar de la siguiente manera:

#### 1. Medición de Presión por efectos mecánicos

Indicador

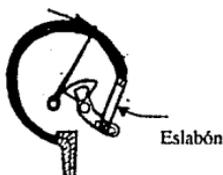


Fig. IV.26 Tubo de Bourdon

- a. Columna de líquido
- b. Elementos elásticos
  - Tubo de Bourdon
  - Fuelles
  - Diafragma

#### 2. Medición de Presión por efectos eléctricos

- a. Extensómetros eléctricos
- b. Transductor de Presión capacitivo
- c. Transductor de Presión piezoelectrónico

#### IV.2.4.1 Elemento de Columna de Líquido

Estos dispositivos forman el medio más simple para la medición de presión. Consisten en un tubo de vidrio llenado parcialmente por un líquido que puede ser agua, mercurio u otro de densidad conocida. Uno de los extremos del tubo es conectado a la toma de la presión desconocida ( $p$ ), mientras que en el otro extremo se aplica la presión de referencia ( $p_r$ ). Debido a la diferencia de presiones se desplaza la columna de líquido hasta alcanzar una altura diferencial  $h$  en donde la diferencia de presiones se equilibra con el peso del líquido desplazado. Estando en equilibrio se cumple que:

$$p - p_r = h (m - f)$$

donde

- $p$  = presión desconocida
- $p_r$  = presión de referencia
- $h$  = altura diferencial del líquido desplazado
- $\rho_m$  = densidad del líquido en la columna
- $\rho_f$  = densidad del fluido cuya presión es medida

Si el extremo de la presión de referencia es cerrado y puesto al vacío se puede obtener la medición de presión absoluta; si se encuentra libre a la atmósfera se obtiene la presión manométrica. Si  $p_r$  toma un determinado valor, se obtiene una medición de presión diferencial.

#### IV.2.4.2 Tubo de Bourdon

La medición de presión por medio de elementos elásticos se encuentra fundamentada en el efecto de deformación que manifiestan éstos al ser presurizados. Idealmente, la deformación elástica producida es proporcional a la presión aplicada.

El tubo de Bourdon consiste en un tubo de sección transversal elíptica construido en forma de "C", espiral o helicoidal, con un extremo cerrado como se muestra en la figura IV.26.

Cuando la presión aplicada en el extremo abierto del tubo es mayor que la presión externa, la deformación en el tubo determina que su extremo libre se desplace hacia arriba: expansión del tubo. El desplazamiento del extremo libre es hacia abajo cuando la diferencia de presiones es a la

inversa: contracción del tubo. En ambos casos el movimiento del extremo libre se amplifica y escala mediante algún mecanismo para producir una indicación, o para actuar sobre un dispositivo de transmisión y/o control. El grado de linealidad depende de la calidad del tubo.

En general el tubo en "C" es el menos sensible, mientras que el de forma espiral es el que proporciona mayor sensibilidad. Dentro de estos elementos se pueden encontrar dispositivos con rangos tan pequeños como 23 psi o tan grandes como 100 000 psi, con exactitudes que varían entre 1% y 0.5% del rango. Los materiales usados para la fabricación del tubo son principalmente: bronce, latón, acero, acero inoxidable 304 y 316.

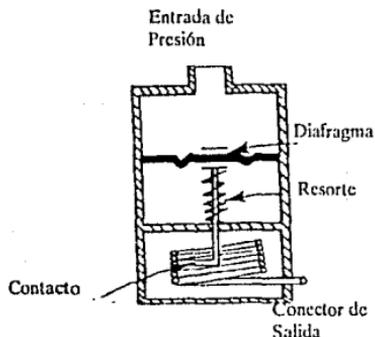


Fig. IV.27 Transductor de Presión Resistivo

#### IV.2.43 Medición de Presión por Fuelle

Los elementos tipo fuelle pueden emplearse en la medición de presión manométrica, absoluta, diferencial o de vacío; son de mayor sensibilidad que los tubos de Bourdon y en consecuencia, son usados para medir bajas presiones: entre 0 y 30 psi.

La presión desconocida es aplicada al interior de los fuelles. La fuerza de los fuelles es balanceada contra su resorte, y el movimiento resultante indica la presión. La presión absoluta es medida a través de un sistema de doble fuelle. El

fuelle superior es evacuado hasta una presión absoluta muy baja. La presión a ser medida es aplicada al fuelle inferior y es balanceada contra la fuerza del fuelle evacuado.

Al igual que ocurre en el tubo de Bourdon, el desplazamiento producido se comunica a un mecanismo apropiado para generar una indicación o una señal para control.

El rango de operación del elemento está determinado por el área efectiva del fuelle y por la constante de deformación del resorte. La exactitud varía entre 0.5% y 1% de la escala completa. Entre los materiales utilizados para su fabricación se encuentran el bronce, latón y acero inoxidable, entre otros.

#### IV.2.44 Elementos de Diafragma

Los diafragmas son placas delgadas de material flexible, ya sea metálico o no metálico. El diafragma sufre una deflexión lineal con respecto a los incrementos de presión, siempre que dicha deflexión sea menor a la tercera parte del espesor del diafragma. Esta condición constituye una gran limitante en cuanto a la magnitud de la respuesta del elemento y hace necesario emplear un mecanismo de salida que proporcione un amplio factor de multiplicación.

A fin de facilitar una respuesta lineal en un mayor rango de deflexiones, se utilizan elementos de tipo corrugado, que aunque pueden dar una respuesta errónea, son más adecuados para aquellas aplicaciones en donde un dispositivo mecánico complementa la medición. En general, cuando se emplean dispositivos de amplificación mecánica, es necesario que las deflexiones sean mayores que cuando se recurre a dispositivos eléctricos.

La aplicación que reciben los diafragmas metálicos se encuentra en la medición de bajas presiones. Estos diafragmas son fabricados de bronce fosforado, acero inoxidable y otros materiales.

Los diafragmas no metálicos se utilizan en la medición de presiones bajas, así como vacío, y cuentan con un resorte que limita su deflexión. Se

fabrican de materiales como el neofreno, polietileno, teflón, seda, piel y otros .

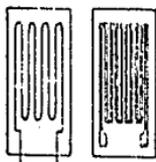


Fig. IV.28 Extensómetros Eléctricos

#### IV.2.4.5 Extensómetros Eléctricos

En los dispositivos utilizados para la medición de presión por medios eléctricos, la presión ejercida produce en primera instancia, un desplazamiento o una deformación del elemento, sin embargo, el efecto mecánico no es procesado como tal para realizar la medición, sino que actúa como agente de cambio de alguno de los parámetros o características eléctricas del sensor.

En la figura IV.27 se muestra un medidor de presión por efecto eléctrico. En él la presión ejercida sobre el diafragma provoca un desplazamiento del vástago y con ello, el contacto eléctrico modifica su posición. Dado que la resistencia eléctrica que presenta el dispositivo, es tomada entre la punta inferior del embobinado y el contacto, los cambios de presión son transducidos en cambios de resistencia del elemento de medición.

Los extensómetros eléctricos son dispositivos que, de igual manera que el elemento descrito, transducen la presión en variaciones de resistencia; sin embargo, su funcionamiento es completamente distinto. A diferencia del anterior, el extensómetro no toma el desplazamiento como efecto para la medición, su operación se basa en el hecho de que la resistencia eléctrica de un conductor cambia cuando éste sufre una deformación al ser sometido a presión.

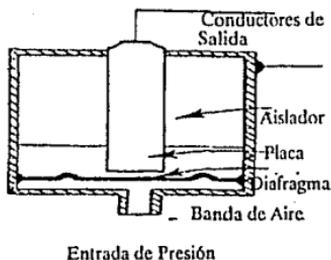


Fig. IV.29 Transductor de Presión Capacitivo

Existe una relación directa entre el cambio de resistencia y la deformación del extensómetro, observándose en la mayoría de ellos que la relación es la misma tanto para deformaciones por tensión como por compresión.

La figura IV.28 muestra el tipo de extensómetro más empleado. Consiste en un alambre, una laminilla o un semiconductor firmemente pegado a una membrana elástica. Si se trata de un alambre, el diámetro varía de 0.0005 y 0.001 de pulgada; el extensómetro laminar emplea una hoja de menos de 0.001 de pulgada de espesor y el material semiconductor, hecho a base de silicio sensible a la deformación, tiene un espesor de 0.01 de pulgada.

#### IV.2.4.6 Transductores de Presión Capacitivos

En la figura IV.29 se muestra un transductor capacitivo de presión. Al aplicar una presión sobre el diafragma, se produce un movimiento de la placa central con respecto a la placa exterior, lo cual significa una variación en la capacitancia, ya que hay un cambio en la superficie de coincidencia de las placas que forman el capacitor.

Este transductor actúa en base al movimiento relativo de sus placas produciendo un cambio de capacitancia. La capacitancia puede ser medida por un circuito puente, considerando siempre que su impedancia de salida es alta.

Los transductores capacitivos ofrecen un amplio rango de medición, una buena sensibilidad, una respuesta rápida y efectos mínimos de calentamiento. Dentro de sus limitaciones se encuentra el hecho de que su salida no es lineal.

#### IV.2.4.7 Transductores de Presión Piezoeléctricos

Los cristales piezoeléctricos (figura IV.30), se emplean ampliamente como transductores de presión. Uno o más cristales se colocan entre un par de placas distribuidoras de carga y se conectan a electrodos de plata. Al deformarse el cristal,

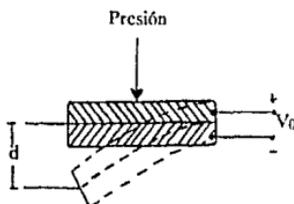


Fig. IV.30 Transductor Piezoeléctrico

como consecuencia de la presión aplicada, se induce en su superficie un voltaje proporcional a la presión y al espesor del cristal.

Los transductores piezoeléctricos de presión, tienen la misma forma de respuesta dinámica que tienen los acelerómetros piezoeléctricos. A excepción de algunos, los transductores de cuarzo usados con amplificadores electrónicos, no proporcionan una salida para presión estática. Estos transductores, generalmente tienen frecuencia natural muy alta y muy poco amortiguamiento.

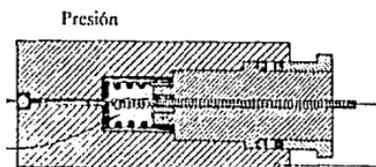
Una combinación de transductor de cuarzo con amplificador, diseñado específicamente para mediciones en tubos de choque, tiene escalas seleccionables de 10, 100, 1000 y 5000 psi,

responde a presiones estáticas y tiene un voltaje de salida a escala completa de 0.5 a 24 V, con una frecuencia natural de 150 000 Hz.

Los cristales de cuarzo presentan entre otras ventajas, las siguientes: son aplicables para medir variaciones de presión de baja frecuencia, son de alta resistencia mecánica y pueden operar en altas temperaturas. Los cristales sintéticos como la sal de Rochelle pueden generar mayores voltajes a la salida.

#### IV.2.4.8 Medición de Altas Presiones

Las presiones arriba de 100 000 psi, pueden ser medidas fácilmente con celdas de presión de



Petróleo

Fig. IV.31 Transductor de Alta Presión

medidores de tensión, o con tubos de Bourdon. Los tubos de Bourdon para altas presiones, tienen secciones transversales casi circulares dando por tanto poco movimiento de salida. Para obtener una salida medible, generalmente se usa la presentación helicoidal con varios giros. Se puede esperar una imprecisión del orden de 1% de la escala completa, con un error de temperatura de un 2% adicional/100° F.

Para presiones de fluido arriba de 100 000 psi, generalmente se usan medidores eléctricos basados en el cambio de resistencia del alambre de manganita o de oro y cromo con la presión hidrostática. La figura IV.31 muestra un medidor típico. El alambre sensor es devando en una bobina suelta, un extremo del alambre es aterrizado al cuerpo de la celda y el otro es sacado a través de un aislante adecuado. La bobina es encerrada en un fuelle lleno de petróleo, que trans-

mite la presión medida a la bobina. El cambio de resistencia, que es lineal con la presión, es sentido con métodos convencionales utilizando puentes de Wheatstone.

Aún cuando la sensibilidad a la presión es menor en el caso de utilizar oro y cromo, esta combinación es preferida en muchos casos,

Debajo de estos rangos, se necesitan otros tipos de medidores de vacío.

El medidor McLeod es considerado un estándar de vacío, ya que la presión puede ser computada a partir de las dimensiones del medidor. No es directamente utilizable debajo de  $10^{-3}$  Torr; sin embargo, ciertas técnicas de división de presión,

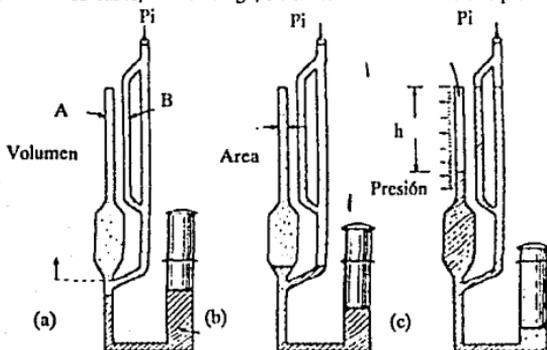


Fig. IV.32 Medidor de McLeod

debido a que tiene un error de temperatura mucho menor. Esto es particularmente significativo ya que el petróleo usado en el fuelle, experimentará un cambio de temperatura transitorio cuando se presente un cambio repentino de presión, debido a una compresión o expansión adiabática. La respuesta de la resistencia del alambre a los cambios de presión es prácticamente instantánea; sin embargo, el cambio de temperatura que lo acompaña causará un error transitorio si la sensibilidad a la temperatura es muy alta. Medidores del tipo descrito se encuentran disponibles comercialmente con escala completa de 200 000 psi y una imprecisión de 0.1 a 0.5%.

permiten su uso como estándar de calibración para rangos considerablemente más bajos.

El principio de todos los medidores McLeod, es la compresión de una muestra del gas a baja presión a una presión suficientemente alta, para

**IV.2.4.9 Medición de Bajas Presiones**

Dos unidades comúnmente usadas para la medición de vacío son el Torr y el Micrón. Un Torr es una presión equivalente a 1 mm Hg en condiciones estándar. Un Micrón es 10 veces un Torr. Los manómetros y medidores de fuelle son usados a 0.1 Torr, los tubos de Bourdon a 10 Torr y los medidores de diafragma a  $10^{-3}$  Torr.

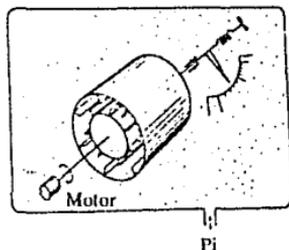


Fig. IV.33 Medidor de Momentos

ser leído con un manómetro simple. La figura IV.32 muestra la construcción básica. Al retirar el émbolo, el nivel de mercurio desciende a la posición mostrada en la figura IV.32a, admitiendo el gas a la presión desconocida  $P_1$ . Cuando el émbolo es introducido, el nivel de mercurio sube, sellando una muestra de gas de volumen conocido  $V$  en el bulbo y tubo capilar A. El movimiento adicional del émbolo causa la compresión de esta muestra, el movimiento continúa hasta que el nivel de mercurio en el capilar B alcanza la marca cero. La presión desconocida es calculada usando la ley de Boyle.

Al usar el medidor de McLeod, es importante darse cuenta de que si el gas medido contiene algún vapor condensado por el proceso de compresión, la presión presentará un error. A excepción de este efecto, la lectura del medidor McLeod no está influenciado por la composición del gas.

#### IV.2.4.10 Medidor de Transferencia de Momento (Viscosidad)

Para presiones menores a 10 Torr, la teoría cinética de gases indica que la viscosidad de un gas, será directamente proporcional a la presión. La viscosidad puede ser medida, por ejemplo, en términos del momento requerido para rotar, a velocidad constante, un cilindro concéntrico dentro de otro. Para presiones mayores a 1 Torr, la viscosidad es independiente de la presión. La variación de la viscosidad con la presión es diferente para diferentes gases. Aún cuando los medidores basados en los principios de viscosidad pueden medir alrededor de 10 Torr, tales rangos son característicos de equipos de laboratorio que requieren de gran cuidado para su uso.

Un medidor típico comercial se muestra esquemáticamente en la figura IV.33, es calibrado para aire seco y ocupa cerca de 10% de la escala total. La escala no es calibrada linealmente debido a que la mayor parte del rango está sobre 10 Torr y la viscosidad en este punto no es proporcional a la presión. Para permitir lecturas sobre 1 Torr, donde la viscosidad tiende a ser independiente de la presión, se usan ruedas con hojas en lugar de cilindros concéntricos. Estas ruedas causan un turbulento intercambio de momentos,

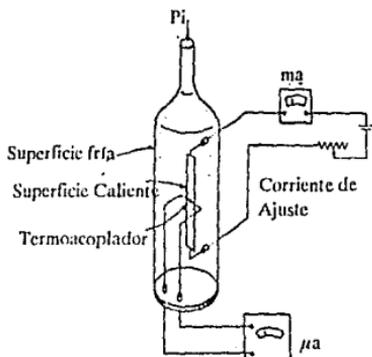


Fig. IV.34 Medidor de Vacío Termocoplado

que es dependiente de la presión sobre 1 Torr, extendiendo el rango útil a 20 Torr.

#### IV.2.4.11 Medidor de Conductividad Térmica

Tal como sucede con la viscosidad, cuando la presión de un gas se vuelve lo suficientemente baja, como para que el camino libre de moléculas sea largo comparado con las dimensiones pertinentes del aparato, la teoría cinética de los gases establece una relación lineal entre la presión y la conductividad. Para un medidor de viscosidad, la dimensión pertinente es el espacio entre las superficies relativamente móviles. Para un medidor de conductividad, es el espacio entre la superficie fría y la caliente. De nuevo, cuando la presión es incrementada suficientemente, la conductividad se vuelve independiente de la presión del gas. La región de transición entre la dependencia e independencia de la viscosidad y la conductividad con respecto a la presión, es aproximadamente del rango de 1 a 10 Torr, para aparatos de tamaño conveniente para su construcción.

La aplicación del principio de conductividad térmica, se complica por la presencia simultánea de otro modo de transferencia de calor entre las superficies caliente y fría, llamada radiación. La mayoría de los medidores utilizan un elemento caliente, proporcionado con una entrada constante de energía. Este elemento asume una temperatura de equilibrio, cuando el calor de

entrada y la pérdida por conducción y radiación están balanceadas. Las pérdidas por conducción varían con la composición del gas y con su presión; así, para un gas dado, la temperatura de equilibrio del elemento caliente, se vuelve una medida de presión y esta temperatura es la que es medida. Si las pérdidas por radiación son la mayor parte del total, un ligero cambio de temperatura será producido por los cambios de conductividad, debidos a la inducción de presión, proporcionando así una pobre sensibilidad.

La figura IV.34 muestra en forma esquemática los elementos básicos de un medidor de vacío termoacoplado. La superficie caliente es una tira de metal delgada, cuya temperatura puede ser variada cambiando la corriente que pasa por ella. Para una corriente de calentamiento y un gas dados, la temperatura asumida por la superficie caliente depende de la presión; esta temperatura es medida por un termocoplador soldado a la superficie caliente. La superficie fría es el tubo de vidrio que generalmente está a temperatura ambiente. La precisión de estos medidores usualmente no es lo suficientemente alta para garantizar la medición o corrección por cambios en la temperatura ambiental.

#### IV.2.5 Medición de Flujo

Dentro de los procesos industriales, una de las variables que con mayor frecuencia se mide es el flujo, cuya medición, si se desea que sea exacta, presenta gran dificultad. De aquí que exista una gran diversidad de dispositivos para la medición de dicha variable.

Salvo los medidores de flujo por desplazamiento positivo, la medición se realiza de manera indirecta, es decir, la magnitud del gasto se determina midiendo alguna variable o efecto, dependiente de dicho gasto.

Atendiendo a su principio de operación, los medidores de flujo se pueden clasificar de la siguiente manera:

1. Medidor de Flujo por presión diferencial
2. Medidor de Flujo de área variable
3. Medidor Electromagnético
4. Medidor Ultrasónico

#### IV.2.5.1 Medición de Flujo por Presión Diferencial

El flujómetro diferencial o de área, es un dispositivo para medir la velocidad de un flujo en una pipa o conducto cerrado. Los medidores volumétricos, que miden el volumen o tasa de cantidad de flujo, generalmente no son usados en el control de flujo. Prácticamente, todos los controladores de flujo son realizados con un

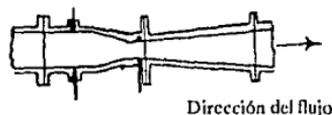


Fig. IV.35 Tubo de Venturi

flujómetro diferencial, porque la tasa de flujo está determinada por la medición de la presión diferencial, creada a lo largo de una obstrucción en la línea de flujo.

La ley general para el flujo de un fluido, se deriva de la ley de la conservación de la energía. Para un flujo turbulento, la velocidad del flujo es proporcional a la raíz cuadrada de la presión diferencial. El flujo puede ser medido por dos métodos: midiendo la presión diferencial y midiendo el área o velocidad con una presión diferencial constante.

El flujómetro diferencial opera sobre el principio de que la presión diferencial a lo largo de una obstrucción depende de la velocidad del flujo. La obstrucción puede ser del tipo de plato con orificio, tubo de Venturi o boquilla.

El plato con orificio es la obstrucción más común para medición de flujo, porque es de bajo costo, de fácil instalación y de fácil remplazo. Sin embargo, su pérdida de presión es mayor que en el caso del tubo de Venturi o boquilla. La presión a ambos lados del plato es medida con un manómetro.

Aunque casi cualquier tipo de restricción puede ser usada, es deseable el empleo de una, cuyas características sean conocidas y permitan predecir la caída de presión, que tendrá lugar para una determinada velocidad.

El tubo de Venturi está compuesto de tres partes principales como se muestra en la figura IV.35

El cono de entrada, determina la reducción gradual del área transversal de la tubería, hasta alcanzar la sección mínima llamada garganta, en donde la velocidad es máxima. La garganta, que es la parte más importante del elemento, consiste en un tramo recto de conducción, que desemboca en el cono de descarga, a través del cual vuelve a incrementarse el área de conducción, hasta su dimensión original.

La estructura del tubo de Venturi además de proporcionar bajas pérdidas de presión, hace posible su empleo en flujos altamente viscosos, con sólidos en suspensión.

La toma de alta presión se localiza a la entrada del elemento y la de baja presión en la garganta, ambas tomas están conectadas a un múltiple que circunda las porciones de entrada y garganta del tubo para hacer más confiable la toma de presión; a estos múltiples se les llama anillos piezométricos.

#### IV2.52 Rotámetro

El rotámetro es el medidor de área variable más conocido. Consta de un tubo de vidrio con cierta conicidad, en cuyo interior se instala un flotador de dimensiones específicas, que se mueve libremente obstruyendo al flujo. Se instala verticalmente, dando entrada al flujo por su extremo inferior; de acuerdo a la conicidad del tubo, la sección de mayor área se ubica en la parte superior.

En presencia de flujo, el flotador ocupa una cierta posición vertical, determinada por el equilibrio de las fuerzas que actúan sobre él. La fuerza descendente (el peso del flotador) se contrarresta por la fuerza de flotación que el fluido ejerce sobre el cuerpo sumergido (la fuerza de flotación es igual al peso del fluido desplazado por el

flotador y depende directamente de la densidad del fluido), por la caída de presión ocasionada por la obstrucción al flujo y por la fuerza de arrastre viscoso que el fluido ejerce sobre el flotador.

#### IV2.53 Flujómetros Mecánicos

1.El flujómetro mecánico con manómetro, opera con un flotador metálico en un tubo de U de mercurio. El flotador sigue los cambios de nivel del mercurio en la cámara, conforme la presión diferencial cambia con la velocidad del flujo. El movimiento del flotador es transmitido a través de una flecha de presión hermética y es utilizado para operar los medios de control.

2.En el flujómetro mecánico de balance de anillo, el manómetro es balanceado con una flecha rotatoria. La presión diferencial desplaza el mercurio en el manómetro y la rotación del manómetro opera los medios de control.

3.El flujómetro mecánico de fuelle, coloca la presión diferencial a través de un fuelle metálico o con diafragma. El movimiento del fuelle es transmitido al controlador directamente por medio de una varilla de conexión flexible pero sellada. En algunos flujómetros, un sistema neumático transmisor conecta el transmisor al controlador.

4.El flujómetro mecánico de campana, opera colocando la presión diferencial a través de una campana suspendida en un recipiente con mercurio. El movimiento de la campana, que también es flotador, es transmitido al controlador para operar a los medios de control. Para transmitir el movimiento fuera de la campana de flotación, hacia el mecanismo controlador, se utilizan métodos tanto mecánicos como eléctricos.

#### IV2.54 Flujómetro Electromagnético

El flujómetro eléctrico con puente de inductancia, tiene una armadura de imán en el interior de la cámara de flotación, posicionada por el flotador y operada con una bobina inductiva, colocada fuera de la cámara de flotación. Un puente de inductancia se forma con una bobina receptora colocada dentro del controlador. El puente se balancea, ya sea por sus propias fuerzas eléctricas o por un sistema de potenciómetros.

El flujómetro eléctrico con resistencias, tiene una serie de alambres resistivos suspendidos sobre un recipiente con mercurio en el manómetro. Cuando el mercurio se eleva, debido a un cambio en la presión diferencial, los alambres en sucesión se conectan a la corriente eléctrica a través del mercurio. La medición se realiza con un medidor que responde a cambios eléctricos, graduado en términos de velocidad de flujo.

#### IV2.6 Medición de Nivel

Los dispositivos empleados para la medición de niveles dentro de un proceso, pueden ser clasificados de la siguiente manera:

1. Medición de Nivel por métodos directos
  - a. De tipo mecánico: flotador y cinta
  - b. De tipo electrónico: sensor ultrasónico
2. Medición de Nivel por métodos indirectos
  - a. Por efecto de desplazamiento
  - b. Por presión hidrostática:
    - Medidor de burbujeo
    - Medidor de presión diferencial

#### Superficie Reflejante

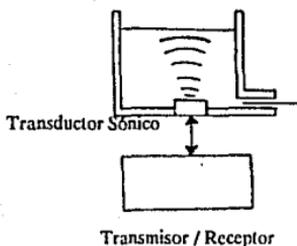


Fig. IV.36 Medidor Ultrasónico

#### IV2.6.1 Medidor de Flotador y Cinta

El flotador es un cuerpo hueco e impermeable, que flota sobre la superficie del fluido, por lo que las variaciones de nivel determinan los cambios de

posición del flotador. Los cambios de posición del flotador, son seguidos fuera del recipiente por medio de una cinta y una polea y son equilibrados por un contrapeso. El movimiento de la polea es tomado para producir la indicación o para generar una señal neumática o eléctrica que transmitirá la medición efectuada.

#### IV2.6.2 Medidor Ultrasónico

Este medidor es completamente diferente al

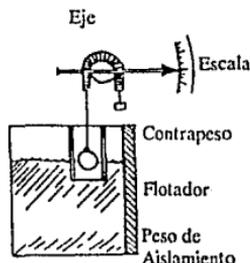


Fig. IV.37 Desplazador

descrito con anterioridad, en cuanto a la detección y la técnica empleada para la medición, sin embargo, dado que con éste también es sensada la posición de la altura que desplaza el fluido, se le considera un medidor de tipo directo.

El dispositivo cuenta con un transmisor/receptor ultrasónico, que es instalado en el fondo o en la parte superior del tanque. El transmisor emite una onda ultrasónica hacia la superficie del líquido, en donde es reflejada hacia el dispositivo. El tiempo empleado por la señal sónica para hacer el recorrido completo, es directamente proporcional a la distancia que hay entre el transmisor/receptor y la superficie del líquido. Ver figura IV.36.

Los medidores ultrasónicos son de dos tipos: elemento fuera del líquido y elemento sumergido. Los rangos disponibles son de hasta 100 o 150 pies, con exactitud del 1%.

### IV.2.6.3 Desplazador

El nivel del fluido en un tanque determina la magnitud de ciertas variables dentro del mismo medio, de tal forma que detectando aquellas variables se puede obtener la medida del primero.

El desplazador es un flotador de forma cilíndrica de aproximadamente 2 pulgadas de diámetro y de longitud tal que cubra el rango de nivel por medir (ver figura IV.37). Este dispositivo es esencialmente estacionario: la porción de él que se encuentra sumergida en el líquido depende de la magnitud del nivel.

Cuando un cuerpo es total o parcialmente sumergido en un líquido, éste ejerce sobre el cuer-

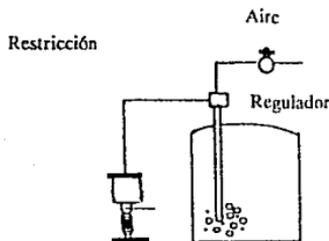


Fig. IV.38 Medidor de Burbujeo

po una fuerza ascendente de magnitud igual al peso del líquido desplazado, lo que determina que a mayor nivel, mayor sea la fuerza ejercida sobre el desplazador. Dicha fuerza es sensada por un transductor de balance de fuerzas para obtener la indicación y/o transmisión de la magnitud de la variable.

### IV.2.6.4 Medición de Nivel por Presión Hidrostática

En aplicaciones industriales, el método más empleado para medir nivel, se basa en la medición de la carga o presión hidrostática producida por el líquido almacenado. La presión en el fondo del tanque o recipiente, depende del peso específico del fluido y de la magnitud de la profundidad, es decir, del nivel.

Considerando al peso específico como una constante, la presión y la altura son directamente proporcionales, por lo que al medir la presión en el fondo del recipiente, se obtiene la medida del nivel.

### IV.2.6.5 Medidor de Burbujeo

La medición por burbujeo, consiste en introducir al tanque un tubo cuyo extremo alcance el fondo del recipiente. Al tubo se conecta un

#### Tanque Presurizado

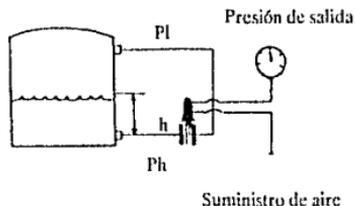


Fig. IV.39 Medidor de Presión Diferencial

suministro de aire con presión regulada: la presión de suministro se incrementa hasta igualar la presión hidrostática del fondo, entonces el aire sale por el tubo y alcanza la superficie en forma de burbujas. En este momento al medir la presión de suministro, se conoce la presión en el fondo del recipiente y consecuentemente, la magnitud del nivel. (Ver figura IV.38).

En la medición por burbujeo el elemento de medición no está en contacto con el fluido, lo cual es útil cuando se trabaja con fluidos corrosivos. Sin embargo, debe notarse que no es una medición continua y no es apropiada para tanques cerrados, ya que el aire introducido aumentaría la presión interior haciendo errónea la medición.

### IV.2.6.6 Medidor de Presión Diferencial

El método de medición de nivel más empleado en la industria, se basa en la medición de presión diferencial. En un tanque cerrado como el mostrado en la figura IV.39, existe una presión en

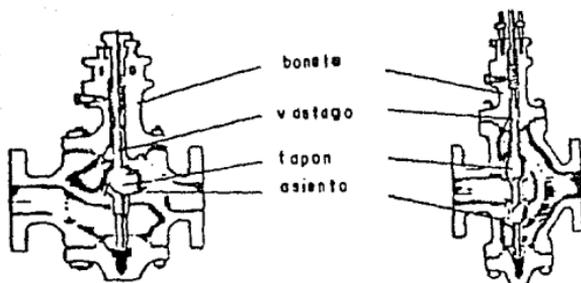


Fig. IV.40 Válvulas de Globo de puerto sencillo y doble

el fondo igual a la presión hidrostática más la presión interior.

El medidor de presión diferencial consta de una entrada de alta presión, que se conecta en la parte inferior del tanque y una entrada de baja presión, que se conecta en la parte superior. El elemento medidor puede ser un diafragma o un sistema de fuelles, y detecta la diferencia de presiones, es decir, la presión hidrostática. La medición se complementa empleando algún mecanismo o transductor, que permita la indicación y/o transmisión de la variable medida.

### IV.3 ACTUADORES

En muchas aplicaciones, se puede encontrar un microprocesador encargado de controlar variables mecánicas, tales como la posición u orientación de un objeto. Para esto se requiere de un dispositivo de salida, generalmente llamado actuador, que pueda transformar señales de control en movimiento mecánico. Un relevador se puede considerar como la representación más sencilla de un actuador, para controlar la posición de un conmutador de dos posiciones, prendido y apagado. Algunos movimientos más complicados son controlados por dispositivos electromecánicos más poderosos, dentro de los cuales los solenoides y los motores eléctricos son los más importantes.

Los actuadores analógicos, ya sean neumáticos, hidráulicos o eléctricos, requieren de un convertidor Digital/Analógico (DAC) con almacenamiento intermedio, y/o un elemento que pueda mantener el valor de la variable de control durante la muestra. La información que recibe el actuador, referente a la posición o cambio deseado en la variable a controlar, le es transmitida como un voltaje directo entre 0 y 10 volts o como una corriente directa entre 0 y 20 mA.

Dentro del esquema de un sistema de control, el actuador es el elemento encargado de recibir la señal del controlador, para regular la potencia suministrada al elemento final de control. Es decir, se encarga de ejecutar las acciones mandadas por el controlador. Debido a que las señales generadas por el controlador suelen ser de potencia demasiado baja como para activar a los elementos finales de control, el actuador funge como interfase entre estos y el controlador.

#### IV.3.1 Válvulas de Control

Debido a la importancia que tiene en los procesos industriales el manejo de fluidos, se presentan a continuación las válvulas de control y los actuadores y posicionadores relativos a ellas.

Las válvulas de control se clasifican en cuatro tipos principalmente, de acuerdo a la configuración de su

stituidas por el cuerpo, que contiene el fluido y soporta al asiento, y por un tapón u obturador de movimiento longitudinal, que limita el flujo al

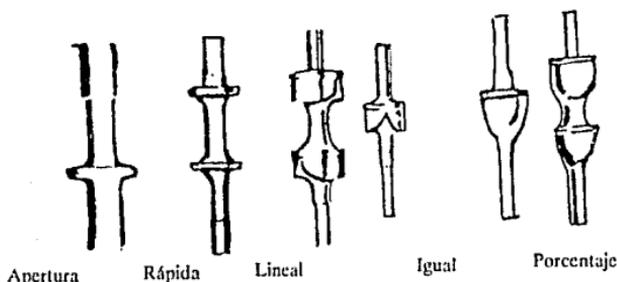


Fig. IV.41 Distintos tipos de tapones de válvulas

cuerpo:

1. Válvulas tipo Globo
2. Válvulas tipo Mariposa
3. Válvulas tipo Bola
4. Válvulas de Diafragma

cerrarse sobre el asiento. La combinación de asiento y tapón es conocida como puerto.

Existen válvulas de puerto sencillo y de doble puerto. Las primeras son usadas cuando es necesario un cierre hermético, requiriendo de un actuador poderoso, debido al desbalance de fuerzas presentado sobre el tapón. En la figura IV.40 se muestra una válvula de globo de puerto sencillo y puerto doble.

Anillo de Sello

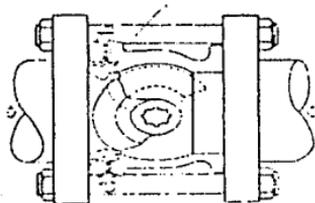


Fig. IV.42 Válvula de Bola

### IV.3.1.1 Válvulas tipo Globo

Estas válvulas son de vástago deslizante y de configuración en línea o ángulo. Están con-

En las válvulas de globo, la característica de flujo (relación del flujo que pasa a través de una válvula con respecto a su apertura) es determinada por la forma del tapón; en la figura IV.41 se muestran distintos tipos de tapones.

### IV.3.1.2 Válvulas de Mariposa

Siguendo a las válvulas de globo, las de vástago rotatorio son las más usadas. Este grupo abarca a las válvulas de mariposa y las de tipo bola, que debidamente diseñadas, se pueden aplicar a cualquier condición de trabajo, excepto a flujos muy pequeños o caídas de presión muy altas. La característica de flujo para estas válvulas está determinada por su construcción básica.

La válvula de mariposa se encuentra formada por un cuerpo sencillo de forma anular, del tamaño de la tubería e instalado entre bridas. La apertura y cierre se logra mediante el giro de un

disco instalado en el interior del cuerpo; el diámetro del disco coincide con el diámetro interior del cuerpo y la tubería. El disco, unido a una flecha rotatoria, impulsada desde el exterior por el vástago actuador, determina la apertura total cuando se ubica en un plano paralelo al flujo (giro de  $90^\circ$ ) y el cierre al posicionarse en forma transversal al flujo (giro de  $0^\circ$ ). Debido a que estas válvulas no disponen de un asiento propiamente dicho, el cierre no es hermético, presentándose una cierta fuga de fluido entre el cuerpo y el disco; dicha fuga generalmente es menor al 1% del flujo máximo.

#### IV.3.3 Válvula tipo Bola

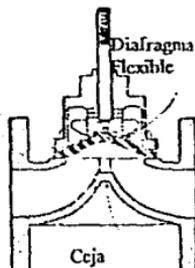


Fig. IV.43 Válvula de Diafragma

Estas válvulas tienen amplia aplicación en industrias como la de papel o la azucarera, por su capacidad de manejar líquidos con fibras. La composición de esta válvula, consta de una compuerta de forma esférica de dimensión tal, que al cierre, la superficie de la esfera bloquea totalmente el área de conducción de la tubería. La compuerta, al girar, en el interior de la válvula, establece los diversos grados de apertura, gracias a un corte hecho sobre la superficie esférica. Cuenta además, con un anillo de sello de material elastómero o de fluorocarbono, que da a la válvula un cierre excelente; el anillo permite un adecuado deslizamiento de la esfera durante su giro.

Las válvulas de bola operan en un amplio rango de capacidad, en aplicaciones de tipo general bajo presiones de hasta 300 psi. El límite de temperatura de operación es impuesto por el material empleado en el sello. Este tipo de válvulas tienen un alto grado de recuperación de presión en su temperatura normal. Se fabrican en una gran variedad de aleaciones, en tamaños desde 1 pulgada hasta 24 pulgadas (ver figura IV.42).

#### IV.3.4 Válvulas de Diafragma

Las válvulas de diafragma son empleadas en aplicaciones donde el fluido es extremadamente corrosivo, debido a que cuentan con interiores revestidos de material resistente a la corrosión, misma característica del diafragma.

En la figura IV.43 aparece una válvula de diafragma, éste sirve como sello y obstrucción al ser forzado hacia abajo y cerrarse sobre una ceja delineada en el cuerpo de la válvula. El movimiento del diafragma se consigue por medio de una pieza opresora conectada al actuador.

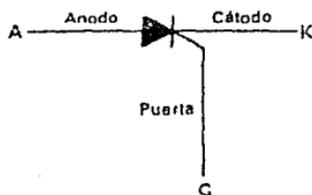


Fig. IV.44 Símbolo esquemático de un SCR

#### IV.3.2 Rectificador Controlado de Silicio (SCR)

En la industria hay numerosas operaciones, las cuales requieren que se entregue una cantidad de potencia eléctrica variable y controlada. La iluminación, el control de velocidad de un motor, la soldadura eléctrica y el calentamiento eléctrico, son las cuatro operaciones más comunes. Siempre es posible controlar la cantidad de potencia eléctrica que se entrega a una carga si se utiliza un

transformador variable para proporcionar un voltaje de salida variable. Sin embargo, para grandes potencias, los transformadores variables son físicamente grandes y costosos y necesitan un mantenimiento frecuente; estos tres factores hacen que los transformadores variables sean poco utilizados.

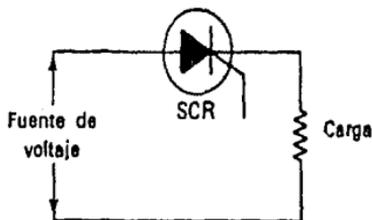


Fig. IV.45 Relación circuital del SCR y la carga

Otro método para controlar la potencia eléctrica que se entrega a una carga, es intercalar un reóstato en serie con la carga, para así controlar y limitar la corriente. Nuevamente, para grandes potencias, los reóstatos resultan de gran tamaño, costosos, necesitan mantenimiento y además, desperdician una cantidad apreciable de energía. Los reóstatos no son la alternativa deseable frente a los transformadores variables en el control de potencia industrial.

Desde 1960 está disponible un dispositivo electrónico, que no adolece de las fallas antes mencionadas. El SCR (Rectificador Controlado de Silicio), es pequeño y relativamente barato, no necesita mantenimiento y su consumo de potencia es muy pequeño.

El SCR es un dispositivo de tres terminales utilizado para controlar corrientes relativamente grandes de una carga. La figura IV.44 muestra el símbolo esquemático de un SCR, junto con los nombres y letras de identificación de sus terminales.

Un SCR actúa de manera muy similar a un interruptor. Cuando está conduciendo presenta un camino de baja resistencia para el flujo de corriente de ánodo a cátodo; por consiguiente, actúa

como un interruptor cerrado. Cuando está bloqueado, no puede fluir corriente de ánodo a cátodo; por consiguiente, actúa como un interruptor abierto. Debido a que es un dispositivo de estado sólido, la conmutación de un SCR es muy rápida.

El valor promedio de la corriente que fluye por la carga, puede controlarse colocando un SCR en serie con la carga. Esta disposición se muestra en la figura IV.45. La fuente de alimentación generalmente es de 60 Hz de CA, pero puede ser una fuente de CD en circuitos especiales.

Si la fuente de alimentación es de CA, el SCR permanece una cierta porción del período en el estado de conducción y el resto del período en el estado bloqueado. En una fuente de CA de 60 Hz, el período es 16,67 msec. Son estos 16,67 msec, los que deben repartirse entre el estado de conducción y el estado bloqueado. La cantidad de tiempo que permanece en cada estado se controla por medio de la compuerta.

Si el SCR permanece en el estado de conducción durante una pequeña porción del período, la magnitud promedio de la corriente por la carga es pequeña. Esto es debido a que la corriente puede fluir de la fuente a la carga y a través del SCR

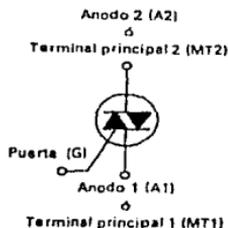


Fig. IV.46 Símbolo esquemático de un TRIAC

solamente durante un tiempo pequeño. Si la señal de compuerta se cambia de tal manera que el SCR permanece en conducción durante una gran porción del período, entonces la magnitud promedio de la corriente será grande. Esto es debido a que ahora la corriente puede fluir desde la fuente a la carga y a través del SCR durante un tiempo relativamente grande. En esta forma, la

corriente por la carga puede variarse ajustando la magnitud de la porción del período en la cual el SCR está en conducción.

Como su nombre lo sugiere, el SCR es un rectificador, de modo que solamente permite el paso de corriente durante el semiciclo positivo de la fuente de CA. El semiciclo positivo es el semiciclo en el cual el ánodo del SCR es más positivo que el cátodo. Esto significa que el SCR de la figura IV.45 no puede estar en conducción por más de medio ciclo. Durante el otro medio ciclo, la polaridad de la fuente es negativa, y esta polaridad negativa hace que el SCR quede inversamente polarizado, lo cual impide que circule cualquier corriente hacia la carga.

### IV.3.3 TRIACS

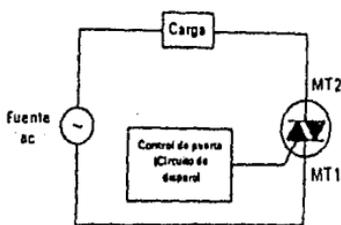


Fig. IV.47 Circuito con TRIAC

Un TRIAC es un dispositivo de tres terminales utilizado para controlar el valor promedio de la corriente que fluye a una carga. Un TRIAC se diferencia de un SCR en que puede conducir corriente en una de cualquiera de las dos direcciones cuando es llevado al estado de conducción. El símbolo esquemático de un TRIAC se muestra en la figura IV.46 junto con los nombres y abreviaturas de sus terminales.

Cuando el TRIAC es bloqueado, no puede fluir corriente entre sus terminales principales independientemente de la polaridad de la fuente externa aplicada. Por tanto, el TRIAC actúa como un interruptor abierto.

Cuando el TRIAC es llevado a conducción, presenta una resistencia muy baja al paso de la corriente en el camino de un terminal principal a otro, donde el sentido del flujo depende de la polaridad de la fuente externa aplicada. Cuando el voltaje es más positivo en MT2, la corriente fluye de MT2 a MT1. Cuando el voltaje es más positivo en MT1, la corriente fluye de MT1 a MT2. En cualquier caso el TRIAC actúa como un interruptor cerrado.

Las relaciones circuitales entre la fuente de voltaje, el TRIAC y la carga se ilustran en la figura IV.47. El TRIAC está conectado en serie con la carga al igual que un SCR, tal como muestra la figura. El valor promedio de la corriente que se entrega a la carga puede afectarse variando la

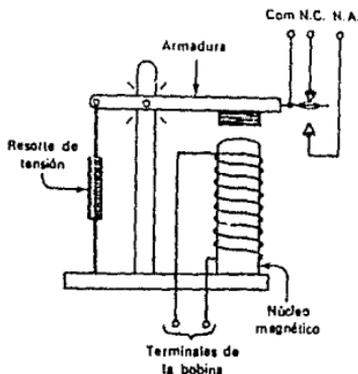


Fig. IV.48 Partes esenciales de un relevador

cantidad de tiempo por ciclo que el TRIAC permanece en estado de conducción. Si permanece en el estado de conducción durante una pequeña porción del tiempo de ciclo, el promedio de la corriente que fluye durante muchos ciclos será bajo. Si permanece en el estado de conducción durante una gran porción del tiempo de ciclo, entonces el promedio de la corriente será alto.

Un TRIAC no está limitado a  $180^\circ$  de conducción por ciclo. Con el adecuado arreglo de disparo, puede conducir por la totalidad de los  $360^\circ$  por ciclo. Entonces proporciona control de

potencia de onda completa en lugar del control de potencia de media onda posible con un SCR.

Los TRIACS tienen las mismas ventajas que tienen los SCR y los transistores sobre los interruptores mecánicos. No tienen el rebote de contacto, no se produce arco en contactos parcialmente abiertos, y pueden operarse mucho más rápido que los interruptores mecánicos, por tanto permiten un control de corriente más preciso.

### IV.3.3 Relevadores

---

Un relevador (figura IV.48), es un dispositivo interruptor que permite controlar un circuito sin manipular los contactos directos de ese circuito. El relevador es operado por medio de una variación en las condiciones de un circuito, con el fin de hacer funcionar uno o más aparatos que pueden encontrarse en el mismo circuito o algún otro.

Un relevador electromecánico está constituido por una bobina, un núcleo de hierro, una armadura consistente en una planchuela de hierro que puede ser atraída por el núcleo cuando circula corriente por la bobina, y uno o más juegos de contactos, que se mueven uno con respecto al otro cuando circula corriente por la bobina.

Recientemente, se ha tenido un gran desarrollo en el área de los relevadores de estado sólido, en los que la posición de éstos es proporcional a la corriente de entrada proveniente de algún tipo de controlador primario. Su funcionamiento se basa en un potenciómetro construido dentro del relevador; mediante una leva manipulada por una flecha de salida se produce una señal de realimentación que permite una acción proporcional. Un cambio en la corriente proveniente de la fuente produce un cambio en la posición del relevador para restaurar el balance y regresa el proceso bajo control a su punto de calibración.

---

**BIBLIOGRAFIA.**

---

**"Principles of Industrial Process Control"**

Donald P. Eckman

Wiley International Edition

Cap. 1,2

**"Measurement Systems Application and Design"**

Ernest O. Doebelin

International Student Edition

Cap. 4,5,6

**"Digital Systems Design and Microprocessors"**

John P. Hayes

Mc Graw Hill

Cap. 7

**"Técnicas de Control en Procesos Industriales"**

Tesis Profesional UNAM Fac. Ingeniería 1983

Amaneyro, E. y Garibay, R.

**"Fundamentos para Análisis y Diseño de Sistemas en Tiempo Real"**

Tesis Profesional UNAM Fac. Ingeniería 1983

Vizcaino, C. y Pérez, A.

**"Electrónica Industrial"**

Timothy J. Maloney

Prentice/Hall

Caps. 4 y 6

## **CAPITULO V**

---

---

## SOFTWARE PARA EL CONTROL DE SISTEMAS EN LINEA.

### VI INTRODUCCION.

Dentro de la industria, se requiere de sistemas que respondan en el momento en que son alterados los distintos parámetros manejados en los procesos. La mayoría de éstos, son controlados manualmente y no siempre responden a tiempo.

Los avances en microcomputadoras y la tecnología de comunicaciones han producido un incremento en la funcionalidad y distribución física de una planta de control industrial, así como en los sistemas de información. Una de las primeras etapas de esta evolución fue la interconexión entre elementos de control, terminales y recursos de cómputo. Esa combinación de tecnología de la computadora y los sistemas dinámicos da como resultado gran eficiencia y alta productividad en los procesos.

Lo anterior es consecuencia de que en nuestros días el uso de microcomputadoras personales se ha incrementado explosivamente. Una razón por la cual ha ocurrido esto, es por que conforme aumenta el número de computadoras personales en el mercado, el precio de las mismas baja. Por otro lado, se cuenta con el software desarrollado que ofrece las facilidades para tener varios programas actuando al mismo tiempo.

El contar con programas que operen concurrentemente, responde a la necesidad que se tiene en el control de procesos industriales, de supervisar diversas variables físicas y ejercer acciones de control cuando sean requeridas.

Una computadora puede realizar las siguientes funciones: capturar la información, procesarla y emitir acciones a ejecutar. Con esta herramienta se va más allá de mallas cerradas de control de parámetros, pasando a estrategias más sofisticadas de control interactivo.

Las formas en que la computadora es usada en aplicaciones de control son básicamente dos:

1. Control Digital Directo. Reemplaza a los controladores analógicos y la ecuación de control es ejecutada por medio de un programa de la computadora digital, de esta manera varios controladores analógicos pueden ser substituidos por un programa de computadora apropiado.

2. Control supervisor o puntos de control ("Set-point"). Consiste de un programa maestro que constantemente calcula y actualiza los "setpoints" de los controladores analógicos en base a una estrategia de operación predeterminada. La parte física del controlador ajusta los puntos de control de los controladores analógicos para mantener la operación de una planta en el nivel más adecuado.

Los programas desarrollados para computadoras personales son por lo general muy sencillos de aprender y usar, además de que ofrecen características que se encuentran en minicomputadoras multiusuarios.

A continuación se expondrán las técnicas básicas para desarrollar sistemas de control en línea.

### V2 TECNICAS BASICAS.

Existen dos técnicas comerciales de procesamiento de datos: los procesamientos en cola y los procesamientos en línea. Los primeros no requieren de una respuesta inmediata, las peticiones son atendidas una por una y en base a prioridades, a diferencia del procesamiento en línea.

El procesamiento en línea fué introducido y usado en las máquinas de finales de los cincuenta, tal como las IBM 305 RAMAC y en otras computadoras. En estos equipos los datos se almacenaban por medio de un acceso aleatorio hasta que algún registro pudiera ser leído o capturado en menos de un segundo. En cuanto la transacción terminaba debería ser procesada y

todos los datos relevantes salvados en un archivo. Un ejemplo simple se muestra en la figura V.1.

Un procesamiento en línea era usualmente lento comparado con un procesamiento en cola, por que al referirse a archivos de acceso aleatorio se consumía mucho tiempo.

Algunas de las ventajas que ofrecen los procesamientos en línea son:

1. Las actualizaciones son ejecutadas en el momento mismo en que se realizan las operaciones, con lo que se dispone de datos reales al acceder el sistema.

2. El control de este tipo de procesos es real, con lo que no se debe someter a procesamientos posteriores.

Como puede observarse, este tipo de aplicaciones son más lentas, debido a que eventualmente requieren de acceso a disco, pero las ventajas que ofrece son mayores.

#### V.2.1 Sistemas en Línea.

En la introducción se dió una breve explicación sobre los sistemas en línea, por lo que en este apartado se expondrán algunas de sus

aplicaciones. Como ejemplo de este tipo de sistemas, se encuentran servicios al público, los cuales requieren de una contestación instantánea, como son bancos, aeropuertos, industrias, y medios de comunicación, entre otros.

Las etapas de estos sistemas son :

1. El sentido o captura de datos, esto se realiza por medio de terminales a través del teclado o una tarjeta de adquisición de datos. Las terminales son diseñadas de acuerdo a necesidades específicas dependiendo de la aplicación.

2. La validación de las entradas, consiste de un programa que se encarga de identificar los datos capturados, con la finalidad de decidir el procesamiento de los mismos.

3. El procesamiento de la información, esto es, la computadora se programa para tomar decisiones sobre las entradas. El procesamiento se efectúa rápidamente, verificando todas aquellas condiciones excepcionales que hayan sido programadas.

4. El resultado del procesamiento es una acción a ejecutar, ésta se envía a través de los medios de actuación del sistema.

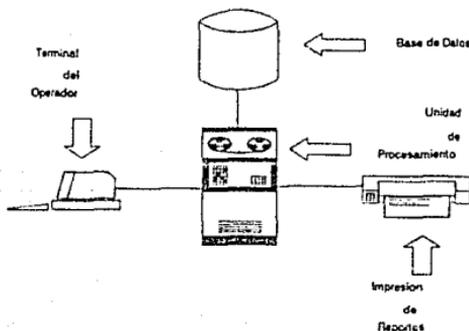


Fig. V.1. Ejemplo de un sistema en línea sencillo.

### V2.1.1 Definición de software en tiempo real.

Hay aplicaciones donde la velocidad de respuesta ante una exigencia externa es decisiva. El número y frecuencia de estas exigencias determinarán la forma en que sean manejadas. El empleo de dispositivos de entrada/salida es la solución de hardware más económica, pero es lenta en comparación al uso de interrupciones. Es entonces cuando debe evaluarse si existe la necesidad de un reloj en tiempo real.

Se denomina como software en tiempo real o sistema en tiempo real, al conjunto de programas capaces de obtener resultados a entradas de datos en forma rápida, los cuales pueden influir en el proceso a ser controlado. La gran ventaja de permitir manejar unidades usadas en procesos industriales, muestra qué tan variable puede resultar cuantificar procesos en tiempo real.

Los elementos de software en tiempo real son: un conjunto de datos que se colectan y que informan sobre un ambiente exterior; un análisis que transforma la información como se requiere para la aplicación; un controlador de salida que responde al ambiente externo, y un monitoreo que coordina a todos aquellos componentes que responden en tiempo real al ser controlados (típicamente ocurren en un rango de un milisegundo a un minuto). Hay que notar que el término de tiempo real difiere del término interactivo, debido a que un sistema en tiempo real debe responder estrictamente en el tiempo que se requiere; en cambio, la respuesta en tiempo de un sistema interactivo puede normalmente ser excedido sin resultados desastrosos.

Para llevar a cabo lo anterior se usa una herramienta del sistema de control de la computadora, o mejor llamada sistema operativo el cual puede ejecutar varios programas al mismo tiempo, y tener residente en memoria un programa al cual se pueda hacer referencia en el tiempo en que se requiera.

### V2.2 Sistema de Colección de Datos.

Varias compañías tuvieron su introducción a sistemas en línea a través de un sistema de colección de datos de su planta. Las aplicaciones instaladas fueron satisfactorias como el caso de

nóminas, facturación, contabilidad y otras más. El procesamiento de datos se utilizaba solamente del lado administrativo de las empresas.

Se descubrió que varios de los procedimientos dentro de la industria hacían uso de datos y con frecuencia éstos tenían errores. Para dar solución a lo anterior, se instalaron terminales dentro de la planta, con lo que los datos estaban actualizados y se verificaban en el momento mismo en que se adquirirían.

Una colección de datos puede ser en línea o fuera de línea. En el caso de datos fuera de línea, éstos no se procesan inmediatamente. Las terminales pueden ser hombres (tomando lecturas manualmente), cintas, discos o algún dispositivo especial de colección de datos. En especial las terminales se usan tanto para coleccionar datos, como para reportar las condiciones de un proceso, esto es, cuándo empiezan o terminan; qué tan bien han sido recibidas o atendidas las diferentes peticiones; cuándo ciertos elementos han sido completados o inspeccionados.

Un sistema de colección de datos puede localizarse fuera o dentro de la planta, de tal manera que las terminales puedan estar esparcidas a través de toda la organización. La instalación de un capturador y un sistema de colección de datos tiene con frecuencia resultados como un mejor aprovechamiento en la precisión, con la cual los registros son capturados y la forma en que son reconocidos.

La colección de datos es sólo el primer paso para usar la computadora como una herramienta de control de procesos de la organización. Este es un paso esencial y con frecuencia difícil, puesto que hay que seleccionar debidamente que datos son indispensables para un sistema dado. El segundo paso consiste en formular las reglas de decisión necesarias para implementar las diferentes situaciones a las que se enfrentará durante los procesos a controlar, y el tercer paso será cerrar el ciclo con la toma de alguna decisión.

Varias de las acciones controladas se manejan con base en decisiones, y éstas se pueden realizar a través de la computadora. La computadora viene siendo un sistema controlador de

información y tiene dos tipos de comunicación con el usuario.

1. A través del monitor y el teclado. Este es un modo de operar a la computadora muy sencillo, puesto que ofrece un ambiente amigable. Por este medio se pueden realizar encuestas; inspeccionar información en archivos y realizar modificaciones sobre procesos; entre otras cosas.

2. El segundo tipo de comunicación se realiza por medio de reportes impresos, medio por el cual se pueden obtener informes en papel de los sucesos de cualquier proceso.

### V.2.3 Centralización de la Información.

Un grupo centralizado de procesamiento de información es necesario para servir a los distintos departamentos, teniendo las siguientes ventajas:

1. Reducción en la duplicidad de colección de datos. Si un sistema de colección de datos es usado, su valor es actualizado en todos aquellos lugares que lo usan.

2. Reducción en la duplicidad durante la captura de registros. Un archivo compacto de la organización puede ser diseñado y puede servir a todos los departamentos, con lo que se minimizan los tiempos de acceso.

3. Incremento en la utilidad y el acceso de los datos.

4. Optimización en las operaciones en línea, tratando de realizar conjuntamente decisiones distintas.

### V.2.4 Programas Supervisores o de Control.

Para el sistema que se muestra en la figura V.2, en donde se llevan a cabo varias funciones al mismo tiempo, existen varias encuestas en línea que deben ser atendidas, transacciones de terminales que deben llevarse a cabo en cuanto llegan, o quizá ejecutadas y procesadas tan pronto sea posible dependiendo de las prioridades. Todas estas actividades deben continuamente ser programadas y controladas por medio de una computadora en el momento mismo en que están ocurriendo. Las diferentes actividades de

entrada y salida, así como las interrupciones, las cuales ocurrirán constantemente deben ser coordinadas. El trabajo anterior lo realiza un programa supervisor o un conjunto de programas supervisores.

Al hablar de programas supervisores en ocasiones se hace referencia a ellos con distintos nombres; por ejemplo, Programa de Control, Monitoreo, Sistema Operativo.

Existen dos tipos de programas en un sistema de trabajo final: aquellos que llevan a cabo el procesamiento de datos o programas de aplicación, y los que coordinan y argumentan a los anteriores, también llamados programas supervisores.

Los primeros sistemas digitales de cómputo eran dedicados puesto que solo podían procesar un programa a la vez, debido a lo anterior los procesos de entrada/salida hacia lentos a este tipo de sistemas. Para resolver dicho problema, se introdujo el proceso traslapado, el cual permite que se efectúen varias operaciones de entrada/salida y del CPU a la vez, es por esto que se desarrolló el sistema operativo o software operacional. Los dispositivos que se usan en el procesamiento traslapado incluyen a los canales y buffers. Los canales controlan las operaciones de entrada/salida, y los buffers almacenan temporalmente los datos de entrada/salida.

Las características básicas de todo sistema operativo son:

1. Administración de trabajos. Los sistemas operativos determinan el orden de ejecución de todos los programas. La lista de trabajos que esperan ser procesados se llama cola de trabajos y la crea el spooler (programa que permite a varios usuarios compartir una o más impresoras).

2. Control de las actividades de entrada/salida. El sistema operativo debe coordinar la ejecución de las actividades de entrada/salida y el uso de los dispositivos disponibles. Por lo que el componente IOCS (Input Output Control Systems) o sistemas de control de entrada/salida ayuda a planear y ejecutar las operaciones de entrada/salida en especial.

3. Administración de recursos. Maneja la disponibilidad de dispositivos que apoyan a todas las actividades de procesamiento.

4. Recuperación de errores. La recuperación de errores es el restablecimiento de las condiciones de procesamiento correctos cuando ocurren errores durante las operaciones de la computadora.

5. Manejo de memoria. Es el proceso por el cual el CPU asigna espacio a los programas que se están ejecutando o que esperan ser procesados.

Con las facilidades que proporcionan los programas supervisores, se pueden escribir programas de aplicación como si éstos formaran parte de la máquina. De este modo los programas de aplicación pueden ser escritos, inclusive, independientemente uno de otro y operar al mismo tiempo en una computadora llevando a cabo tantas actividades como se ve en la figura V.2.

#### V.2.1 Sistemas Operativos en Línea.

En un sistema controlado por una microcomputadora, el microprocesador lleva a cabo varias funciones al mismo tiempo. Esto incluye por ejemplo, el proceso de medición de variables, filtrado de señales, el control de captura de datos y la verificación de condiciones de alarma. Cada una de estas funciones requiere del uso de los recursos de la computadora como son: el procesador, memoria principal, memoria secundaria y dispositivos de entrada/salida. Para que el manejo de los recursos sea lo más económico y eficiente, un número de operaciones del sistema operativo ha sido elaborado para la computadora, en aplicaciones de procesos de control; de tal forma que el sistema operativo provea una base para construir un sistema de aplicación de multitareas, para llevar a cabo la asignación y coordinación de los recursos.

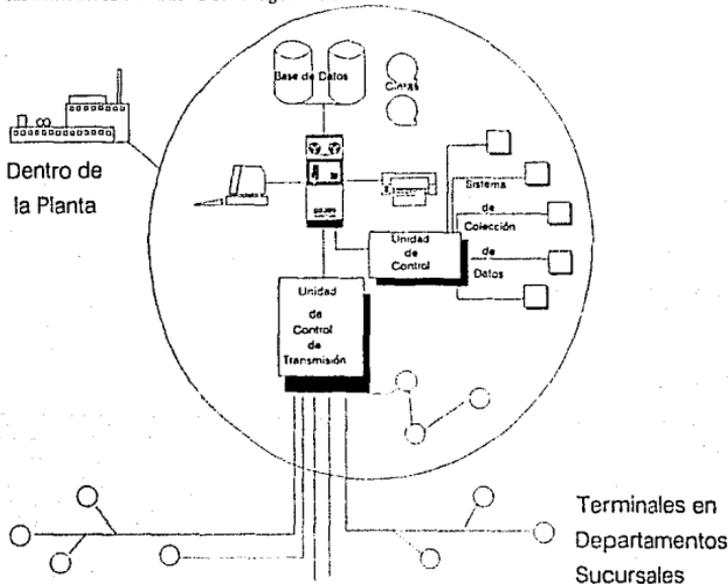


Fig. V.2. Terminales en línea dentro de sucursales y depts.

En una aplicación de control para una microcomputadora, el sistema de programas que manejan las funciones de un sistema operativo, ha sido diseñado para cada aplicación por separado.

Las ventajas que se pueden obtener usando un sistema operativo en línea, varía de función en función dependiendo de la aplicación, pero los beneficios más importantes son:

1. Disminuir el tiempo de ejecución y los costos de software.
2. Permitir al programador concentrarse en la solución del problema actual.
3. Bajar los costos de servicio y poner al día el software.
4. Flexibilidad para poder anexar nuevas tareas al software.
5. Incrementar el uso de la computadora al tener multitareas.

Dentro de un proceso, el sistema operativo del cual se dispone no requiere de identificación, diseño, código y programas de prueba. Sólo se requiere que los servicios que éste proporciona, se encuentren identificados. Un sistema operativo facilita un proyecto de software, puesto que puede ser dividido en módulos claramente definidos, los cuales se comunican uniformemente. Lo anterior fuerza a los diseñadores y programadores a tener cierta disciplina, la cual ayudará a implementar un programa realizado por varias personas.

#### V2.5 Multiprogramación.

El término de multiprogramación es muy usado dentro de sistemas en línea, consiste básicamente en ejecutar de una forma virtual varios programas al mismo tiempo, contando únicamente con un microprocesador.

La importancia de la multiprogramación radica en que hay ocasiones que mientras la máquina está leyendo de un archivo y procesando la información, se desea imprimir los resultados del mismo, con lo que se requiere hacer uso de diversos dispositivos. La computadora no puede llevar a cabo todas las operaciones simultáneamente,

con lo que tiene que simularlo, y a esta forma de trabajar del procesador se le conoce como multiprogramación. El tiempo compartido es un buen ejemplo de multiprogramación. El almacenamiento virtual que ayuda a procesar programas grandes, divide a los mismos en páginas que se intercambian entre él y el disco durante el procesamiento. Los lenguajes de control como son los de alto nivel permiten a los usuarios comunicarse con el sistema operativo de la computadora. Con este tipo de lenguajes los usuarios pueden cancelar un trabajo o determinar su situación. Realmente lo que se hace es dar pequeñas porciones de tiempo para atender a cada proceso, con lo que pareciera que se realizan éstos simultáneamente. El encargado de realizar lo anterior es el sistema operativo del equipo de cómputo que se utilice.

La multiprogramación se empezó a usar dentro de sistemas traslapados, puesto que era muy tardado el movimiento de las cabezas que accedaban el disco. De esta forma se aprovecha el tiempo del procesador lo más posible, pues se puede traslapar el movimiento de las cabezas del disco, con otras operaciones en paralelo.

#### V2.6 Programas Residentes en Memoria.

Un programa residente en memoria es aquel que se encuentra en cualquier instante de tiempo dentro de la memoria RAM, y con solo ser invocado se tiene acceso a él. Para realizar lo anterior es necesario tener memoria RAM disponible y que el sistema operativo lo permita. Esta técnica ha sido muy popular en muchos programas comerciales, a nivel de computadoras personales.

Existen herramientas que permiten crear programas residentes en memoria para computadoras que tienen un solo procesador, como lo son las microcomputadoras personales. Los programas residentes en memoria (TSR) se basan en llamar a una interrupción, cuya rutina de atención pone el programa en una porción de memoria que jamás se borra. Anteriormente era muy útil realizar este tipo de programas en lenguaje ensamblador y a niveles de interrupción muy bajos, actualmente se pueden escribir estos tipos de programas en lenguajes de alto nivel como son "Pascal" y "C".

Una vez que un programa se encuentra residente en memoria, el sistema operativo toma el mando de la máquina y realiza otras tareas. Los programas residentes en memoria (TSR) tienen una rutina de servicio a la interrupción (ISR), que se encuentra ligada a las interrupciones del teclado. Las llamadas a un TSR pueden realizarse de dos maneras: mediante el ISR, que detecta el momento en el cual el usuario oprime una tecla en específico, llamada "Hot Key", o con una simple invocación al programa.

Esto lleva a definir otro término, la reentrancia, que consiste en que un programa pueda ser usado más de una vez al mismo tiempo por varias rutinas, por lo que los programas residentes en memoria pueden ser reentrantes también, trayendo consigo múltiples ventajas en cuestión del tamaño del código de programas.

#### V2.7 Sensado de Variables y Respuesta en el Tiempo.

El sensado de variables de los diferentes sistemas en tiempo real se lleva a cabo por medio de algún transductor que se conecta, ya sea a un puerto periférico de la computadora o a una tarjeta de adquisición de datos. Dependiendo de la aplicación se realizará el sensado de las entradas.

Existen dos tipos de puertos dentro de una microcomputadora personal, el serial y el paralelo. El primero adquiere los datos bit a bit y el segundo los deja pasar a todos al mismo tiempo, aquí los datos son manejados en código ASCII. Dentro del puerto serial los datos se pueden manejar en forma asíncrona o síncrona (VER APENDICE A).

En el caso de tarjetas de adquisición de datos, se trabaja directamente con el bus de datos de la microcomputadora. Existen entradas tanto analógicas como digitales, las segundas son muy sencillas de leer, puesto que la microcomputadora está diseñada a base de niveles lógicos (unos y ceros). En el caso de variables de tipo analógico se requiere convertir estas señales en niveles lógicos a través de convertidores analógicos digitales.

Varias de las consideraciones que se han discutido anteriormente se relacionan con la respuesta en tiempo de los sistemas.

La respuesta en tiempo, es el tiempo que toma un sistema en responder a una entrada dada. Para un operador que está usando una terminal en tiempo real, (que está conectada en todo momento a la aplicación), se encuentra definida como el intervalo de tiempo desde que presiona la primera tecla del mensaje de entrada, hasta que la aplicación responde a dicha petición. En pocas palabras, es el intervalo desde que se hace la petición hasta que es atendida.

Idealmente, se desea que las respuestas en tiempo de todos los procesos en línea sean muy cortas. Esto es muy costoso, por lo que es conveniente evaluar si un sistema requiere de respuesta en el tiempo. Los sistemas en tiempo real deben responder en cuestión de segundos o minutos, otros sistemas en línea pueden tomar una hora e inclusive más tiempo antes de que una transacción sea procesada. Sistemas con datos "off-line" (fuera de línea) pueden ser procesados en horas. Cuando un procesamiento "batch" (o procesamiento en cola) periódico es usado, el trabajo puede esperar su turno por días, y cuando el correo es usado para enviar transacciones a la computadora, la respuesta puede incluso tomarse días. La decisión de qué tipo de técnicas se requieren para llevar a cabo un proceso depende definitivamente de la respuesta en tiempo que se necesite.

#### V2.7.1. Tipos de Respuesta en el Tiempo.

Los requerimientos de respuesta en tiempo más comunes se pueden encontrar dentro de las siguientes categorías:

1. Inmediata. Dentro de un sistema de control, cierto proceso puede necesitar una respuesta rápida para determinados eventos. Un ejemplo es el sistema de satélites como medio de comunicación a nivel mundial, otro ejemplo es el sistema de cómputo de la NASA.
2. Conversacional. Un ejemplo de este tipo de respuesta es el ambiente que se tiene dentro de sistemas de atención al público como son, cajeros y reservaciones aéreas. Este tipo de respuesta en

el tiempo debe ser lo suficientemente rápido y amigable para que el usuario no se aburra.

3. Tan pronto como sea conveniente. Algunas transacciones de terminales pueden requerir ser procesadas rápidamente, en cuestión de minutos o segundos si fuera posible, pero no a velocidades como las que se necesitarían en una conversación humana. Un ejemplo de respuesta en el tiempo de este tipo son las terminales de punto de venta bancarias, las cuales se encargan de pedir autorizaciones de tarjetas bancarias desde algún establecimiento comercial.

4. Diferida en línea. Algunas computadoras reciben trabajos de diferentes partes, que pueden esperar en una cola de tareas a ser procesadas en modo línea. Cuando la computadora recibe las tareas, éstas se almacenan en un archivo de tipo "batch" y después son procesadas a base de prioridades. Como ejemplo de este tipo se respuesta en el tiempo se tienen los sistemas de estados de cuenta bancarios.

5. En el lapso de un día. La mayoría de las transacciones es deseable que terminen de ser procesadas el mismo día. Un ejemplo típico son los sistemas de actualizaciones de cheques en instituciones bancarias.

6. Disponen de tiempo. Algunas funciones no tienen tanta urgencia y pueden tomar más tiempo en ser procesadas en un ciclo semanal o más largo. Inclusive este tipo de transacciones pueden ser enviadas por correo. Ejemplos de este tipo de respuesta en tiempo son, sistemas de inscripciones a revistas y apertura de tarjetas de crédito.

---

### V3 REQUERIMIENTOS PARA EL MODELADO DE UN SISTEMA EN LÍNEA POR MEDIO DE UN AUTOMATA Y ANALISIS ESTRUCTURADO.

---

Para llevar a cabo el modelado de un sistema en línea, es necesario contar con las especificaciones ingenieriles y los elementos fundamentales que caracterizan a este tipo de sistema.

El modelado es un medio para el análisis de requerimientos de un sistema, que describe los

aspectos funcionales y organizacionales del mismo, siendo éste, una herramienta poderosa para la verificación y validación de procesos.

A continuación se describirán los elementos que deben ser considerados para llevar a cabo el modelado.

#### V3.1 Requerimientos de Ingeniería.

La especificación de procesos industriales posee una característica fundamental que la distingue de otras actividades. Consiste en lograr una representación formal de este, por medio del conocimiento de su comportamiento.

La elaboración de la especificación se realiza por medio de la percepción y representación del sistema.

Un proyecto surge de la percepción de una necesidad, que puede ser satisfecha a través de un sistema de procesamiento de datos.

El resultado de esta percepción, es la descripción de requerimientos necesarios para materializar la representación del mismo. A esto último se le conoce como la especificación. Ver figura V.3.

Para que las diversas actividades de percepción, representación y transformación sean satisfactorias, deben cumplir con lo siguiente:

1. La percepción debe ser total, con frecuencia la mente humana va a lo esencial y olvida lo excepcional, o por lo contrario, pone particular atención al detalle.

2. La representación debe ser adecuada, deben ser expresados los requerimientos sin caer en distorsiones, redundancia o imprecisión.

3. La transformación debe preservar las propiedades sin salir con deformaciones.

Estos puntos se pueden cumplir fácilmente y se realizan dependiendo de la complejidad de las necesidades, las cuales en ocasiones van más allá de la capacidad humana, porque la cantidad de datos a ser procesados es muy grande, o porque los requerimientos son la intersección de los

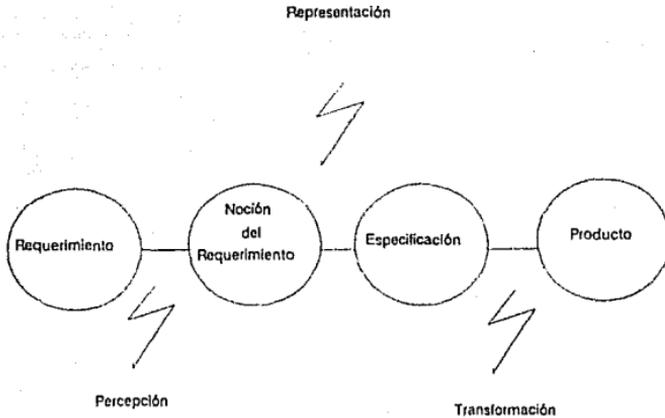


Fig. V.3 Diagrama de especificación de un proceso en general

diferentes puntos de vista; para esto es necesario tener una tecnología que asista al ser humano experto, permitiéndole el dominio y control de dichas actividades de percepción.

La necesidad tecnológica es un requerimiento ingenieril que debe contar con un método y herramientas de conceptualización, organización,

Estas necesidades tecnológicas son idénticas a las que se tienen en la ingeniería de software. Los métodos y herramientas difieren en función de los requerimientos.

### V.3.2. Sistemas Industriales en Línea.

Estos sistemas se caracterizan por:

1. La influencia del tiempo en sus definiciones. En general puede decirse que un sistema consiste de una organización estable, pero para un sistema en línea, las funciones deben ser altamente dependientes del tiempo.

2. La interacción con su ambiente. Estos sistemas se encuentran inmersos en un ambiente

real, en cuya evolución influyen a tal grado, que deben tener cierto conocimiento de los efectos que pueden percibir de la explotación del mismo. Consecuentemente, cada sistema puede ser definido, como el resultado de un proceso interactivo que lo envuelve a él y a su medio ambiente. Esta característica es común en todos los sistemas de control y regulación, cuya finalización debe ser llevada a cabo después de la realización del sistema.

La elaboración de las especificaciones de un sistema en tiempo real, requiere de las dos características ya mencionadas:

1. Comportamiento temporal.
2. Interacción con el medio ambiente.

### V.3.3. Diferencias entre un Modelo y un Prototipo.

Para caracterizar un proceso en línea, es necesario describir el comportamiento común de una aplicación experta, presentando sus requerimientos. Ver figura V.4.

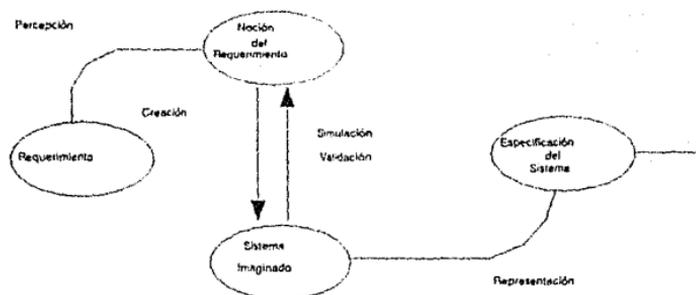


Fig. V.4. Especificación de un proceso.

Los requerimientos surgen a través de un proyecto. Esto lo realiza un experto, el cual detecta que la solución debe ser obtenida por medio de un sistema de procesamiento de datos que él representa a través de la especificación de un sistema.

De hecho, esto es solo el resultado del desarrollo que se obtiene de un sistema practicado, lo cual hace posible verificar el concepto correcto de la interacción entre el sistema y su ambiente. Con lo que queda claro que se requiere de un completo dominio de la complejidad de la relación del ambiente del sistema y del comportamiento temporal. La ausencia de este dominio conducirá al descubrimiento de detalles imprevistos al final del proyecto, que inducen a un incremento intenso de modificaciones, hasta adaptarlo a su ambiente. En general estas modificaciones son solo ajustes que no permiten que sea óptima la relación sistema-ambiente.

El peor de los casos puede ser una inadecuación total y un rechazo al sistema, el cual generalmente, tiene severas consecuencias económicas.

Un primer método para mitigar los obstáculos de estas inadecuaciones consiste de un modelado del sistema especificado, esto servirá de ayuda al experto, puesto que con la noción de las necesidades él puede checar que el modelo sea una representación del sistema imaginado, con lo cual hará posible la exteriorización del proceso de simulación con lo que mejorará su dominio. De acuerdo al autor Robert E. Shannon, en su libro

"Simulación de Sistemas", define el concepto de simulación como: " el proceso de diseñar el modelo de un sistema real y realizar experimentos con él para entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias (dentro de los límites impuestos por un criterio o por un conjunto de criterios), para la operación del sistema". Ver figura V.5.

El experto tendrá que apoyar facilitando un acabado y una investigación sistemática de la hipótesis de la solución. Pero este acercamiento es limitado por la percepción que el experto tiene del requerimiento y en particular éste no requiere verificación en el caso de que la percepción de los requerimientos sea total.

Un acercamiento más profundo consiste en crear un prototipo del modelo especificado y asegurar que el sistema en cuestión satisfaga realmente las necesidades. En tal caso éste puede ser considerado como una realización rápida que va de lo esencial a lo significativo del comportamiento, o de lo contrario, que ciertos puntos precisos tienen que ser esclarecidos para determinar a otros. Ver figura V.6.

Para ciertos casos particulares; como son nuevas aplicaciones, sistemas, ambientes inaccesibles, conocimientos pertinentes e indispensables para el ambiente; éste puede servir con el fin de contemplar al sistema con las especificaciones del mismo, en otras palabras, con una descripción completa de su utilización.

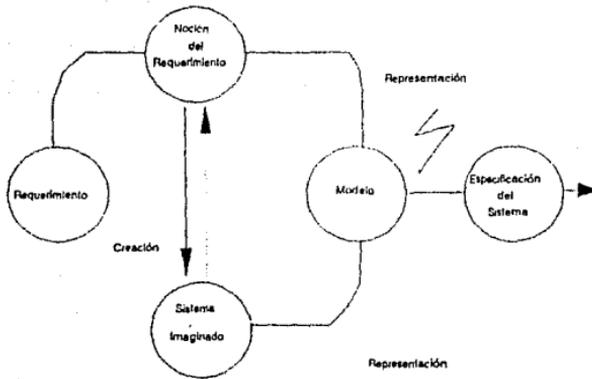


Fig. V.5. Simulación de un proceso por medio de un modelo.

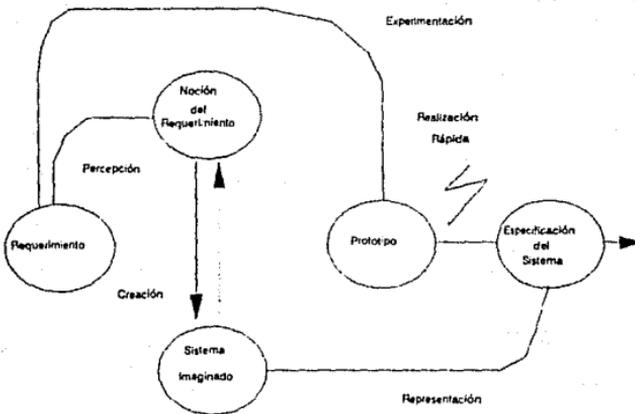


Fig. V.6. Simulación de un proceso por medio de un prototipo

Por medio de la exteriorización de los requerimientos del sistema imaginado, es posible obtener un alto poder de verificación de la adecuación entre los requerimientos y la solución. Este acercamiento es ciertamente seguro, pero es el más costoso por lo que puede ser usado para proyectos críticos a gran escala.

#### V.3.4. Tecnología para Requerimientos Ingenieriles de Sistemas Industriales.

La tecnología adaptada a la especificación de sistemas industriales debe soportar los requerimientos de actividades de los procesos, para lo cual se requiere:

1. La percepción debe ser guiada y sistematizada requiriendo un método de análisis de problemas que motive y racionalice la comunicación entre los participantes.

2. La representación debe ser adaptada. Esta requiere de una descripción narrativa previendo conceptos básicos capaces de describir los aspectos estructural y funcional. El lenguaje debe ser, si es posible gráfico.

3. Simulación. Debe ser soportada con herramientas de modelado.

4. Prototipo. Debe ser soportado por herramientas y lenguajes que son adaptados al campo.

Cada método, lenguajes y herramientas que existen deben ser descritas a partir de las siguientes teorías:

1. La teoría de sistemas, la cual provee un análisis metodológico y un marco de referencia para la representación de un sistema acorde a un modelo general.

2. La teoría de autómatas, la cual provee un marco de referencia formal para la representación de operaciones secuenciales. Esto es un medio interesante para descripción de comportamientos.

3. Lenguajes de alto nivel como el SMALLTALK para el modelado o prototipo.

4. Herramientas que permitan la producción de especificaciones ejecutables.

#### V.4 EJEMPLO DE SOFTWARE EN LÍNEA DENTRO DE LA INDUSTRIA.

En la actualidad varias de las funciones que se realizan dentro de la industria, requieren de procesos en línea o técnicas en tiempo real. Algunas de estas funciones se pueden encontrar en la figura V.7.

Para llevar a cabo lo anterior, se requiere de un analista que determine qué técnicas de tiempo real se necesitarán en las distintas situaciones, lo anterior va muy ligado al tipo de variable que se desea controlar así como su rango y escala.

En la mayoría de los casos se necesita de un sistema que contemple dos o tres niveles de actividades:

1. Los que requieren una respuesta inmediata, ya sea por una persona o por un actuador.

2. Aquellas que deben ser atacadas con cierta rapidez pero no inmediatamente, ésto es por prioridades.

3. Trabajos que no requieren esa respuesta inmediata puesto que el factor tiempo no es importante.

Una vez que se tiene un sistema computarizado es de gran ayuda almacenar rápidamente hechos que ocurran durante los procesos que se están controlando, con la finalidad de analizar estos datos, puesto que servirán para determinar la acción a tomar. Lo anterior sería muy complejo si no se contara con un procesamiento de datos como el ofrecido por la computadora.

Básicamente existen tres categorías de registros: los relacionados con cada petición, los relativos a cada empleado que trabaja en una petición y los registros de cada máquina o centro de trabajo.

Actualmente se tienen tres formas de capturar estas peticiones; una es a través de una terminal en línea, otra por medio de trabajos en cola, en la que sólo se almacenan las peticiones, y por último la captura manual que la realiza el encar-

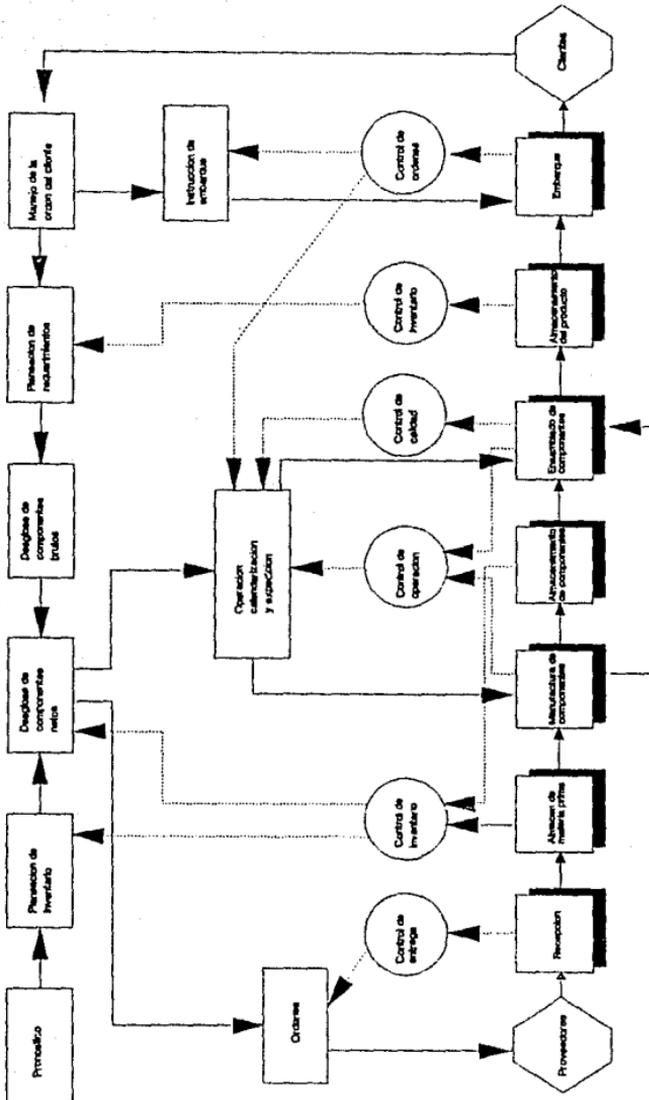


Fig. V.7. Ejemplo de un sistema de software en línea.

gado. Lo anterior depende básicamente de la prioridad de las actividades.

El método más eficiente de recibir las peticiones es a través de terminales en línea puesto que permite una reacción rápida del "status" de la misma, así como momentos críticos dentro de los procesos a controlar y atender a aquella petición que requiera ser procesada con mayor prioridad.

Otro factor importante es la precisión con la cual los datos son recibidos de la planta. Las terminales en línea tienen la ventaja de detectar los errores de entrada cuándo y dónde éstos ocurren.

En la misma forma en que son capturados los datos, se requiere procesar los mismos, ésto es, tomar acciones que dependerán de ciertas prioridades y de la forma en que sean capturados los datos. Dichas acciones a tomar, deben estar basadas en estimaciones de tiempos necesarios para completar varias operaciones. Esto se deriva de los tiempos estándar que las fábricas han usado antes de la era de las computadoras.

Si es posible obtener una secuencia de acciones tomadas de la operación actual del proceso a controlar, es también posible realizar predicciones en base a condiciones hipotéticas respecto al comportamiento del mismo.

La programación en tiempo real puede atender situaciones que requieren ser vigiladas constantemente, pueden ser programadas de tal forma que nada es olvidado, las situaciones de urgencia y las peticiones puedan ser recibidas con la atención debida. Esto continúa permanentemente durante períodos de máxima actividad y en caso de cambio de personal.

La flexibilidad es un factor de gran relevancia dentro de un sistema en tiempo real, ya que los itinerarios cambiarán dependiendo del avance tecnológico dentro de la industria o para mejoras del sistema. Esto es, el sistema se debe ir ajustando continuamente a las necesidades del ambiente de operación.

Las ventajas que se tendrán en una empresa implementando un sistema en línea son:

1. Incrementa la eficiencia de la planta, así como la utilización de máquinas y otras facilidades.
2. Reducirá el capital asociado al trabajo en proceso.
3. Minimiza el inventario al ser al ser ligado a un sistema de control.
4. Ayuda a la planta a responder rápidamente a cambios demandados o situaciones urgentes.
5. Ayuda a reducir costos al ser ligado a un sistema de costos. Mantiene el control hora tras hora sobre los costos de producción.
6. Reduce el trabajo de rutina en la planta y en el centro de control. Ahorra tiempo de staff de oficina, despachadores, y trabajadores.
7. No hay instrucciones olvidadas. Los elementos mantienen su prioridad correcta a través de todas las operaciones. Son implementadas correctamente las políticas de mantenimiento.
8. Ayuda a disminuir tiempos de entrega.
9. Ayuda en la administración al conocer en cualquier momento el estado de las órdenes, en la posibilidad de prevenir órdenes adicionales, o en el cumplimiento de las entregas establecidas.
10. Las personas encargadas de los procesos pueden disponer de más tiempo para entrenamiento y supervisión.
11. Prevee situaciones de emergencia.

---

#### VS SOFTWARE EN LÍNEA PARA COMPUTADORAS PERSONALES.

---

Hoy en día se cuenta con los recursos tanto de hardware como de software, para que una computadora personal compatible con IBM pueda ejercer control de sistemas en línea.

Por parte de software existen sistemas operativos que ofrecen ventajas para desarrollar estos sistemas, así como lenguajes de programación de alto nivel que sirven como he-

ramienta para resolver satisfactoriamente problemas de control en línea.

Los sistemas operativos más conocidos para este tipo de computadoras son MS-DOS y UNIX, posteriormente se describirán a más detalle las características de cada uno de ellos.

En cuestión de hardware existen una gran cantidad de periféricos y tarjetas de propósito específico, dependiendo de las aplicaciones que se deseen desarrollar.

#### V5.1. Sistemas Operativos DOS y versiones MS-DOS.

El sistema operativo de una computadora es la parte menos glamorosa, pero más vital de su software, especialmente en la industria y en aplicaciones de control de procesos. Esto se debe a que el sistema operativo determina que tan rápido puede responder una computadora a ocurrencias de eventos en tiempo.

El sistema operativo que se usa con microcomputadoras cumple la misma función que su equivalente en las macrocomputadoras, dichas características se descubrieron en puntos anteriores a este subtema. Estos sistemas operativos se basan en los principios TOS (Tape operating system) y el DOS (Diskette operating system).

Como se dijo anteriormente los dos sistemas operativos para computadoras personales compatibles con IBM más conocidos son MS-DOS o PC-DOS desarrollado por Microsoft Corporation y UNIX, producido por los laboratorios Bell de AT&T. Actualmente el sistema operativo UNIX para computadoras personales modelos 286 y 386 más usado es SCO-XENIX, el cual se apega completamente a los estándares establecidos por AT&T, el cual fue desarrollado por la compañía Santa Cruz.

#### V5.1.1 Características de MS-DOS.

Aunque PC-DOS (y versiones MS-DOS) es dominante, tiene muchas limitantes en el uso industrial, puesto que su arquitectura no fue diseñada para atender este tipo de aplicaciones. Por ejemplo debido a que las microcomputadoras personales solo cuentan con un microprocesador

y este tipo de máquinas se utilizarían para gran variedad de aplicaciones pero con solo un usuario a la vez.

Estos equipos podrían ser manejados en forma natural por varios usuarios, si y solo si el sistema operativo cuenta con técnicas de multiprogramación, pero DOS no tiene dichas características.

Estas limitaciones son de gran importancia en los programas de aplicación que ejecutan un trabajo de monitoreo en línea, puesto que no deben de quedarse en instrucciones cíclicas por ninguna razón. Por ejemplo, si desea estar monitoreando cuatro entradas de temperatura, el programador debe permitir que el programa capture estas lecturas durante una operación repetitiva cuando estén cambiando dichas señales.

La tercera limitante consiste en que MS-DOS no puede manejar más de 640 Kbytes de memoria de acceso aleatorio en forma natural. En el tiempo que PC-DOS fue creado, esto debió ser una enorme cantidad de memoria. Hoy en día, la mayoría de las aplicaciones requieren de esta cantidad de memoria y mucho más. Ante esta limitante, actualmente se cuenta con memoria extendida, con lo cual una computadora personal tipo AT puede aumentar su memoria de acceso aleatorio, con drivers especiales para versiones avanzadas de MS-DOS.

El dominio de PC-DOS y sus limitaciones creó problemas para aquellos vendedores que querían ofrecer productos basados en IBM PC y compatibles. Ningún vendedor inteligente, puede pasar por alto el desarrollar aplicaciones en PC's, aunque esta tenga sus limitantes. Lo anterior ha dado como resultado algunas estimaciones ingeniosas para el uso de computadoras personales como una herramienta en la medición y control de procesos.

#### V5.1.2. Manejadores de Dispositivos.

Con el fin de soportar sus productos en el área de adquisición de datos, IBM usa sus controladores de dispositivos (El cual ha sido parte de PC-DOS desde la versión 2.0). Un control de un dispositivo, es un programa hecho con PC-

El manejador es cargado durante la secuencia de encendido del comando de archivo CONFIG.SYS, el cual es otra característica estándar de PC-DOS. Una vez instalado en la memoria, el manejador viene a ser una extensión del Sistema Operativo. Los programas que hacen llamadas dentro del manejador pasan argumentos y direcciones al área de lectura y escritura. El manejador controla el tiempo necesario para ejecutar instrucciones de entrada/salida, y pone todos los datos de entrada en localidades de memoria accesibles para llamadas al programa.

Un manejador de dispositivos desde luego que no es una adición de multitareas o multiprocesos de PC-DOS. La llamada al programa debe detenerse hasta que el manejador regrese con los datos o termine una función de salida.

Por otro lado, IBM PC tiene otra limitante con respecto al número de interrupciones, pero contempla una interface de software estándar para interrupciones compartidas. Esto permite hardware externo, tales como tarjetas de adquisición de datos.

#### V5.1.3 Ventajas.

1. El costo es un factor muy importante, MS-DOS es un sistema operativo accesible y con el que la mayoría de los proveedores de computadoras personales compatibles con IBM entregan sus equipos.

2. El número de lenguajes de programación y compiladores para los mismos es muy variado, además de que cuenta con herramientas para el desarrollo de sistemas en línea.

3. Las computadoras personales son sistemas abiertos a los cuales se les puede añadir hardware comprado o diseñado por uno mismo, MS-DOS permite tener contacto con este tipo de hardware también.

4. Además existe una gran variedad de paquetes en diversas áreas de negocios, por ejemplo la administración, dibujo, diseño gráfico entre otros, y dichos paquetes están desarrollados para correr bajo el sistema operativo MS-DOS.

#### V5.2 Sistema Operativo UNIX.

Como se dijo anteriormente UNIX fué desarrollado en los laboratorios de AT&T, como un sistema operativo multiusuario y multiproceso, dicho sistema operativo se encuentra disponible en un amplio número de computadoras, entre estas se encuentra la computadora personal compatible a IBM modelos 286 en adelante. Como un sistema multiusuario que corre en hardware avanzado, UNIX provee un ambiente de cómputo poderoso, en el cual varios usuarios pueden trabajar productivamente. UNIX tiene varias facilidades debido al manejo estándar de archivos, spooling de impresora, comunicaciones, procesos en cola y su administrador del sistema.

Aunado a estos servicios se puede extender por medio de una red local a varios usuarios que tienen el mismo sistema operativo, e inclusive puede conectarse a equipos mainframes por medios de TCP/IP.

#### V5.2.1 Ventajas.

El sistema operativo se ha convertido en un estándar dentro de la industria de sistemas multiusuarios en computadoras, debido a los siguientes factores:

1. Portabilidad.- Uno de los mayores beneficios que ofrece UNIX es la portabilidad de las aplicaciones desarrolladas en sus equipos. UNIX puede ser instalado en un número muy variado de arquitecturas de hardware. UNIX puede ser cargada en sistemas basados en el microprocesador intel 8086, 80286 y 80386, pero también puede ser cargada en equipos diseñados con el microprocesador 68000, 68020 y 68030, así como en sistemas que usen microprocesadores propietarios (caso de AT&T).

La portabilidad hace que UNIX sea una plataforma atractiva para aplicaciones multiusuarios. Al mismo tiempo en que la tecnología de hardware continúa incrementándose, las aplicaciones pueden ser trasladadas fácilmente a nuevos y mejores equipos de hardware.

2. Aplicaciones multiusuarios.-El número de aplicaciones desarrolladas bajo el sistema operativo UNIX es menor a las que existen para

2. Aplicaciones multiusuarios.-El número de aplicaciones desarrolladas bajo el sistema operativo UNIX es menor a las que existen para MS-DOS, no obstante ese número se está incrementando significativamente. Hoy en día se cuenta con aplicaciones multiusuarios como manejadores de bases de datos, por ejemplo Oracle e Informix.

Aunado a lo anterior, los microprocesadores 80386 y 68000 pueden direccionar hasta 32 bits con lo que pueden desarrollarse aplicaciones poderosas que son muy grandes para DOS.

3. Manejador de archivos.- UNIX soporta al igual que DOS un sistema de archivos jerárquico. Cada usuario tiene su propio directorio en el sistema de archivos, pero puede acceder archivos de cualquier otro lado del sistema.

La seguridad de los archivos es un factor importante en un ambiente multiusuarios. Cada usuario se encuentra dado de alta con un identificador único. Los usuarios pueden especificar los atributos de los archivos propios, con lo que se determina quien puede acceder y modificar los mismos.

4. Servicios de impresión.- UNIX provee un spooler de impresión, que consta de un programa que permite que todos los usuarios compartan una o varias impresoras. Un spooler mantiene la pista de los requerimientos y envía los trabajos a la impresora en base a las peticiones, esto es las entradas y las salidas. Un usuario puede hacer un requerimiento de impresión en cualquier momento, aún cuando la impresora se encuentre ocupada. Los requerimientos son almacenados en una cola de espera y procesados en función de la disponibilidad de la impresora.

5. Comunicaciones.- Otra de las conveniencias que ofrece es el ambiente de comunicaciones y redes. Aun en sus principios UNIX ha provisto utilerías estándar para un correo electrónico, login o alta del sistema remoto, transferencia y comandos de ejecución remotos.

Una de las facilidades de comunicaciones de UNIX es el UUCP (Copiado UNIX a UNIX), el

cual establece un almacenamiento y transmisión de redes de sistema UNIX.

El correo electrónico es uno de los beneficios más visibles de un sistema multiusuario.

6. Ambiente multiprocesamiento.- UNIX tiene la capacidad natural de manejar el tiempo de procesador, con lo que puede multiplicar tareas que se ejecuten al mismo tiempo, todo esto lo hace por medio de la técnica de tiempo compartido.

---

**BIBLIOGRAFIA.**

---

**"Software Engineering: a Practitioners Approach"**

Pressman, Roger S.

Edit. Mc. Graw-Hill International Book Co.

**"How Real Time is your Real Time Computer"**

Thinham, B.

Control and Instrumentation.

1987.

**"Requirements Modelling of Industrial Real Time Systems by Automata Structured Analysis"**

Roan, A. Troy, R.

Trends in Safe Real Time Computer Systems.

1986.

**"Microcomputer Real Time Multitasking Operating Systems in Control Applications"**

Koivo, H.N.

Computers in Industry

1987

**"Writing Terminate and Stay Resident Programs"**

Stevens, Al.

Computer Language Magazine

1988.

**"The Design of Real Time Applications"**

Blackman.

**"Update on PC Operating Systems for Control"**

Mc. Quaid, J.

I and CS The Industrial and Process Control Magazine

1985.

**"Using PC-DOS for Real Time Control"**

Wiatroski, C. A.

I and CS The Industrial and Process Control Magazine..

1986.

**"Simulación de Sistemas. Diseño, Desarrollo e Implantación"**

Shannon, Robert E.

Edit. Trillas

1988.

**"Microprocesadores, Dispositivos Periféricos, Optoelectrónicos y de Interfaz"**

Williams, Arthur B.

Edit. Mc. Graw-Hill.

1984.

**"DOS meets UNIX"**

Dougherty, Dale. and O'Reilly Tim.

Edit. A nutshell Handbook.

1988.

**"Las Computadoras y la Información"**

Orilia.

Edit. Mc. Graw-Hill.

## **CAPITULO VI**

---

# DISEÑO DEL SIMULADOR DE PROCESOS INDUSTRIALES.

---

---

## VI.1 INTRODUCCION.

Con base en las visitas realizadas a diferentes industrias especializadas en el área de control, ubicadas en nuestro país, se detectaron tres formas básicas de control de líneas de producción, siendo estas:

- Manuales
- Semiautomáticas
- Automáticas

De acuerdo a lo expuesto en el capítulo II, en donde se hace referencia a la identificación de parámetros susceptibles de controlar en un proceso industrial; se presenta, mediante tablas, el tipo de variable y el esquema de control típico utilizado en diferentes industrias. A partir de este análisis, se puede inferir que la industria en México cuenta con sistemas de control manuales con tendencia a ser semiautomáticos; sin embargo, los equipos que se utilizan en muchos casos son antiguos y, en ocasiones, obsoletos.

Lo anterior hace surgir la necesidad de automatizar, al máximo posible, la mayoría de los esquemas de control a utilizar en una planta industrial. En referencia a este particular, surgió la idea de estudiar a fondo ese problema que se vive en la industria mexicana, ya que en la actualidad el país cuenta con los elementos de software y hardware avanzados vigentes a nivel mundial, siendo los mismos con los que se podría dar solución a esta imperiosa necesidad de un control industrial altamente automatizado.

Es importante analizar las causas que provocan esta necesidad, esto es, evaluar económica y políticamente las consecuencias que implica implantar sistemas automáticos en la industria mexicana.

Ahora bien, en el presente capítulo se expone el proceso seguido para efectuar el diseño de un Sistema Simulador de Control de Procesos Industriales. En este caso se menciona, como principal objetivo, una alternativa para la automatización de industrias por medio de una

computadora personal compatible con IBM; conviene aclarar que durante este proceso de diseño se consideraron ciertos aspectos económicos y políticos seguidos por algunas de las principales compañías del área.

## VI.2 DESCRIPCION DEL SIMULADOR.

Como primer punto en el desarrollo para el diseño del simulador, se presenta el análisis de requerimientos.

### VI.2.1 Análisis de Requerimientos.

Puesto que el simulador a realizar hace un uso intensivo de la arquitectura integral de una microcomputadora personal, y considerando las ventajas expuestas en los capítulos III y V con respecto al hardware y software de la misma; se realizó un análisis de los requerimientos necesarios para implantar el Simulador de Procesos Industriales en colaboración con la PC.

A partir de la información obtenida mediante el análisis anterior y, si se atienden las características de operación de equipos de cómputo ubicados en un ambiente industrial, con esto se llega a los siguientes requerimientos mínimos:

1. Interfase Entrada/Salida.
2. Sistema Digital de Procesamiento.
3. Elementos Transductores Electrónicos.
4. Administrador de Recursos del Sistema Digital de Procesamiento.
5. Lenguaje Estructurado de Programación para el desarrollo del Software del Sistema Digital de Procesamiento.

En los siguientes párrafos se clarifica la razón por la cual existe la necesidad de incluir todos y cada uno de los requerimientos aquí planteados. En adición a lo anterior, se comentan las relaciones existentes entre ellos.

En lo que se refiere a la interfase de entrada/salida, esta es necesaria a fin de recopilar y registrar los datos de entrada, en una forma adecuada para su procesamiento; asimismo dicha interfase proporcionará ciertas señales de salida. Lo anterior involucra necesariamente el uso de un sistema de procesamiento de los datos, el cual puede ser de naturaleza analógica o digital. Cabe mencionar que, en contraposición a los sistemas analógicos, los sistemas digitales ofrecen las siguientes ventajas: menores costos y mayor flexibilidad en sistemas de cómputo en términos del volumen de datos a procesar; existencia de técnicas avanzadas para el diseño de sistemas; mayor precisión computacional y menores costos de expansión, entre otros.

Por otra parte, dado que se requiere establecer el contacto físico entre el equipo de cómputo y las señales a controlar, es necesario utilizar ahora otra interfase digital que enlace tanto a la computadora, como a los diversos transductores electrónicos, mismos que constituyen los elementos iniciales y finales de control. Conviene resaltar que la importancia de los transductores radica en el hecho de que estos proporcionan un punto de contacto, entre el medio ambiente exterior del proceso a controlar y el medio interior de procesamiento.

Hasta ahora han sido analizados aspectos de tipo físico, sin embargo, a fin de poder establecer

un marco de referencia global, conviene estudiar el soporte lógico del sistema, es decir, el software.

Para establecer la relación entre los elementos de software y los recursos de hardware, se necesita de un administrador de los recursos del sistema, esto es el sistema operativo.

La elección del mismo es relevante, puesto que para un mismo sistema digital de procesamiento pueden existir varios sistemas operativos, diferentes todos ellos entre sí. Una vez seleccionado dicho administrador, podrá evaluarse el lenguaje de programación adecuado a las necesidades específicas del sistema a desarrollar, puesto que el conjunto de lenguajes disponibles depende directamente del sistema operativo a utilizar. En términos generales, se recomienda el empleo de lenguajes de alto nivel orientados a soportar la programación estructurada, y que a su vez faciliten el acceso directo al hardware.

#### VI.2.2 Descripción del Simulador de Control de Procesos Industriales.

El Simulador de Control de Procesos Industriales genera un medio ambiente similar al de ciertas etapas de un proceso industrial, con la finalidad de controlarlo mediante una computadora personal compatible a IBM.

Este proyecto se encuentra integrado por las partes que se muestran en la figura VI.1.

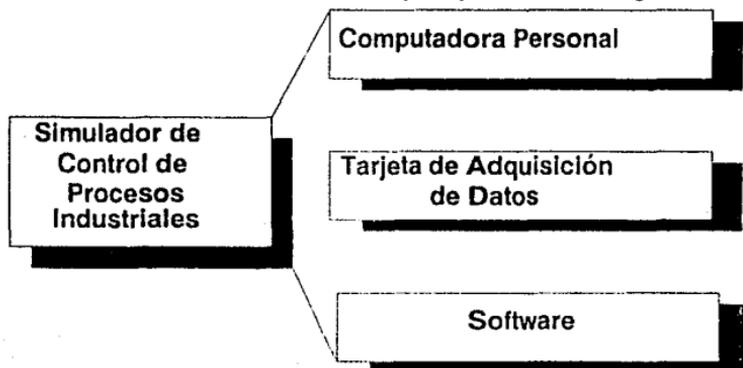


Fig. VI.1 Elementos Constitutivos del Simulador.

Como es fácil de suponer, estos tres elementos se interrelacionan íntimamente entre sí a fin de conformar el Sistema Simulador de Control de Procesos Industriales (SCPI-PC).

Al igual que todo sistema, en este caso se tiene un conjunto de variables de entrada relacionadas con un conjunto de variables de salida, de acuerdo a ciertos algoritmos preestablecidos. A fin de complementar este concepto, la figura VI.2 muestra un diagrama a bloques general del Simulador.

putadoras personales compatibles con IBM PC (versión AT), debido a su bajo costo y a las facilidades de hardware y software que ofrecen al ser sistemas susceptibles de expandirse.

Actualmente existe un tipo de microcomputadora personal con características particulares para poder resistir un medio ambiente rudo, es decir, cuentan con teclado especial, mismo que en algunas ocasiones es de membrana; adicionalmente se cuenta con una unidad de despliegue para monitoreo industrial y, en ciertos casos, existe un chasis especial acorde a las

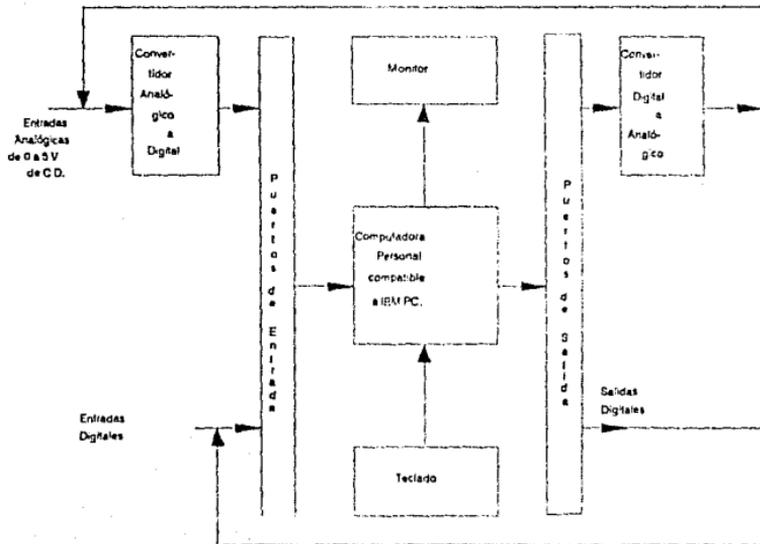


Fig. VI.2 Diagrama de Bloques General del Simulador.

Ahora bien, conviene recordar que en los capítulos III y V se exponen las ventajas y desventajas en el uso de diferentes sistemas digitales de cómputo; eligiéndose, como punto de partida, para el desarrollo de este proyecto a las com-

especificaciones estipuladas por diversas asociaciones técnicas para este tipo de ambientes.

La configuración mínima requerida para el buen funcionamiento del sistema es la siguiente:

640 KBytes de memoria RAM.

1 unidad de disco flexible de 5", con densidad de grabación de 40 TPI, equivalentes a 360 KBytes.

1 unidad de disco duro de 20 MBytes.

1 unidad de despliegue tipo EGA o VGA, debido al uso de gráficos.

Frecuencia de operación del sistema igual a 8 MHz.

Cabe mencionar que la interfase requerida para este proyecto fue diseñada expresamente para el mismo, apeándose a necesidades específicas, lo cual ayuda a reducir la dependencia tecnológica en ciertas áreas de la ingeniería básica.

Adicionalmente a la configuración descrita para la computadora personal, la interfase diseñada consiste, propiamente hablando, en una tarjeta de adquisición de datos, misma que permite recopilar y registrar los datos obtenidos del mundo exterior en una forma adecuada para su procesamiento. Por otra parte, dicha tarjeta se puede considerar como un periférico más del sis-

tema de cómputo, el cual se conecta directamente a las ranuras de expansión del mismo, haciendo uso de las señales que ahí se presentan.

Conviene aclarar que si bien han sido expuestos algunos conceptos referentes a diversos elementos transductores, estos no forman parte del sistema que se presenta. Sin embargo, las señales que los caracterizan deben ser tomadas en cuenta, en particular los niveles de las mismas, los cuales son requeridos para la tarjeta de adquisición de datos.

Al analizar los requerimientos de tipo lógico dentro del sistema, y basados en el capítulo V, en donde se expusieron los sistemas operativos que existen actualmente para computadoras personales compatibles con IBM PC; podemos distinguir para esta aplicación a los sistemas MS-DOS y UNIX. A continuación se expone una tabla comparativa donde se muestran las características principales de dichos sistemas operativos.

	UNIX	DOS
COSTO	Elevado y depende del hardware	Viene incluido en la compra del equipo
ADQUISICION	Solo lo manejan algunas compañías como SCO o AT&T y sus versiones dependen del modelo del equipo	Cualquier proveedor de software para PC la distribuye
SOFTWARE COMERCIAL	Se encuentra limitado aunque en últimas fechas empieza a tener auge	Gran cantidad de compañías han creado herramientas de desarrollo as como paquetes para PC
AMBIENTE DE RED	Es una característica del S.O. el ser multiusuario	Se debe comprar por separado una red local por NO ser multiusuario

Tabla VI.1 Evaluación del S.O. para el SCPI-PC.

Como se desprende de la información que se presentó en la tabla anterior, el costo y la adquisición del sistema operativo, así como la cantidad del software comercial existente alrededor del mismo, constituyen los elementos decisivos para la elección del sistema operativo a emplear. Lo anterior conduce inmediatamente a optar por MS-DOS y compatibles en cuanto a lo que se refiere al administrador general de recursos.

En cuanto a la elección del lenguaje de programación, y como ya se ha mencionado, es conveniente que se utilice un lenguaje de alto nivel estructurado, mismo que cuente con librerías adecuadas para sostener una relación pertinente entre los ambientes propios del hardware y del software. Cabe mencionar que la presencia de un lenguaje estructurado en un ambiente de programación, permite tener un desarrollo modular y ordenado. Aunado a estas ventajas, se presenta un fácil mantenimiento de los sistemas desarrollados bajo estas características.

Durante la evaluación de lenguajes de programación de alto nivel, existen dos que ofrecen las características antes mencionadas; dichos lenguajes son: "C" y "Pascal". Respecto al lenguaje "C" se puede afirmar que es estructurado y cuenta con librerías poderosas en el acceso de hardware. Sin embargo, presenta ciertas limitaciones en lo que se refiere a sus librerías correspondientes a software; en particular aquellas utilerías que se relacionan con el acceso a video, mismas que pueden ser consideradas como la interfase al usuario final.

Por otra parte, el lenguaje "Pascal" ofrece gran cantidad de librerías para el acceso al hardware, así como un adecuado volumen de librerías para el software; dichas utilerías van desde rutinas de acceso al teclado, pasando por manejadores de memoria, llegando hasta rutinas de acceso tanto a archivos como al video. Con base en lo anterior, se puede lograr el desarrollo de sistemas amigables al usuario final. Ahora bien, a partir de las características antes mencionadas para un lenguaje de programación, se eligió a "Pascal" como el medio idóneo de programación para el Sistema Simulador de Control de Procesos Industriales.

### VI.3 ESTRATEGIA DE DISEÑO

Antes de analizar diferentes técnicas para el desarrollo de sistemas basados en microprocesadores, conviene definir una estrategia a seguir en la fase de diseño, lo cual facilita el lograr un diseño sistémico. La figura VI.3 muestra un diagrama de flujo general donde se plasman los principales conceptos que intervienen en el desarrollo de esta clase de sistemas, considerando que es igualmente aplicable a cualquiera de las técnicas que se mencionan a continuación.

Por otra parte, dentro del diseño de sistemas basados en microprocesadores o microcontroladores, existen básicamente tres niveles de desarrollo. El primer nivel, que es el más general, consiste en que una vez definido un problema por resolver, se busca en el mercado un dispositivo comercial que satisfaga globalmente las necesidades planteadas.

El segundo nivel consiste en el empleo de módulos funcionales especializados, como podrían serlo bloques de ROM, RAM, Secuenciadores, Microprocesadores, etc., sin tomar en cuenta los circuitos básicos como compuertas, inversores, etc.. Esto se debe a que se considera que dichos elementos son miembros de las lógicas de decodificación y comunicación que unen a los diversos módulos operativos.

Por último, el tercer nivel de desarrollo para el diseño sistémico en electrónica, consiste en la implantación de módulos elaborados expresos para una cierta aplicación personalizada al problema que se pretende resolver.

Al momento de llegar al tercer nivel, conviene la utilización de la técnica conocida como TOP-DOWN, la cual ofrece entre sus ventajas el hecho de poder ser utilizada indistintamente tanto para el hardware como para el software, obteniéndose en ambos casos un diseño modular y regular. La figura VI.4 ilustra el grado de relación que se logra, mediante la aplicación de esta técnica, entre el hardware y el software del sistema.

Como se desprende de lo anterior, la secuela a seguir mediante esta técnica comprende fun-

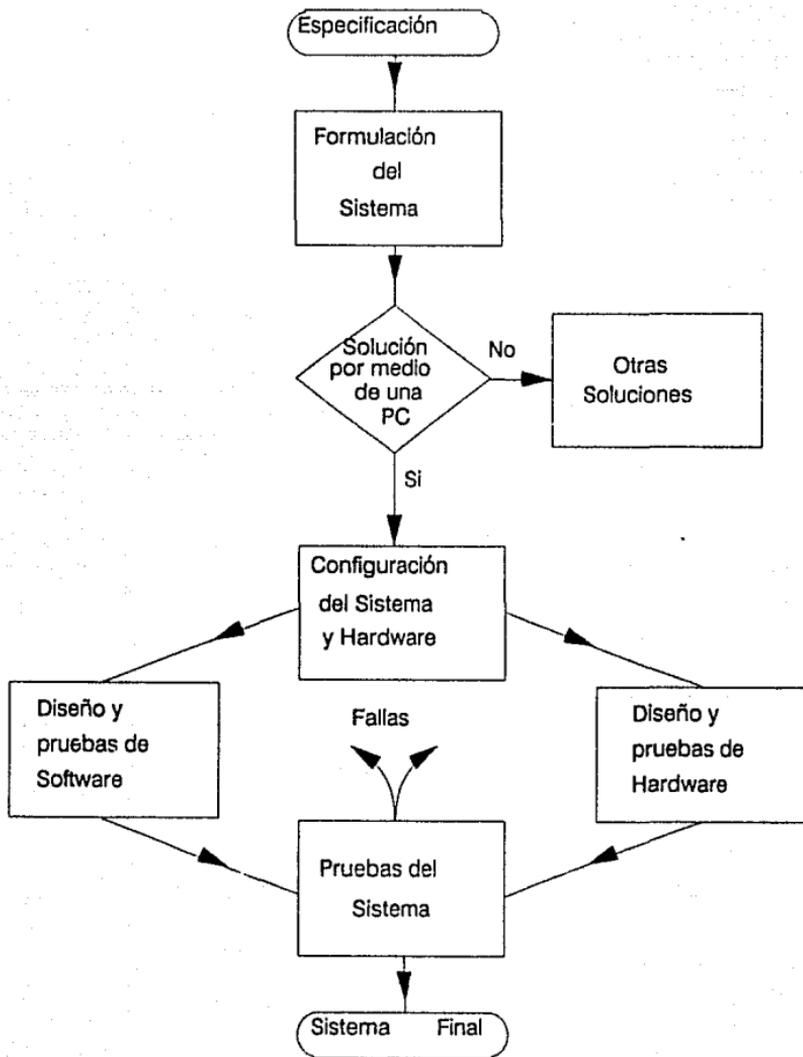


Fig. VI.3 Diagrama de Flujo General de Diseño.

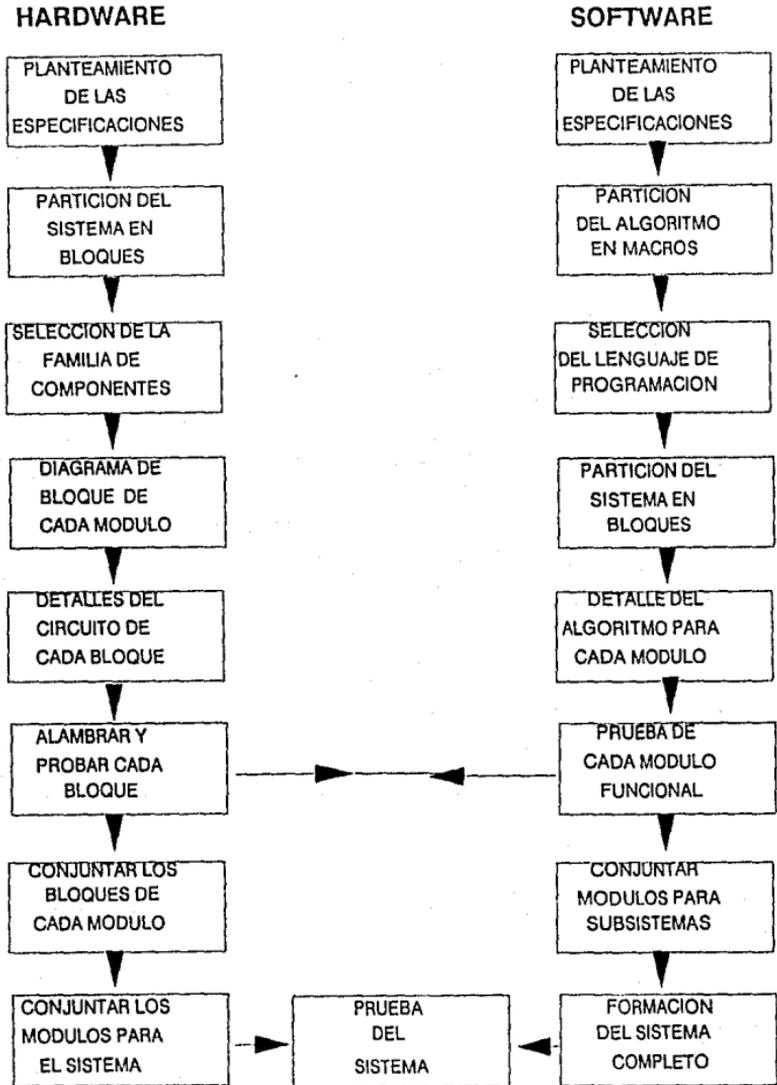


Fig. VI.4 Técnica de Diseño TOP-DOWN.

damentalmente las fases referentes al hardware y al software por separado; sin embargo, existen ciertos puntos de concurrencia de estas dos secciones del sistema a desarrollar. A continuación serán descritas en detalle cada una de estas etapas por separado indicándose, cuando así convenga, la liga que existe entre cada una de ellas a fin de facilitar su tratamiento.

#### VI.4 DISEÑO DE HARDWARE

En lo referente al hardware a emplear, conviene tener presente los principios de modularidad y regularidad utilizados para efectuar el diseño eficiente de un sistema digital. En adición a estos principios, es útil tener en cuenta la técnica conocida como TOP-DOWN, desarrollada a fin de facilitar el diseño de sistemas en general.

Lo anterior conduce a fragmentar el diseño del Simulador de Control de Procesos Industriales (SCPI-PC), en los siguientes subsistemas operacionales:

- Computadora personal.
- Tarjeta de adquisición de datos.
- Sensores y actuadores.

La fase de diseño de cada uno de estos subsistemas será descrita, con cierto detalle, en las próximas secciones. Sin embargo, cabe aclarar que en la secuencia de diseño de la tarjeta de adquisición de datos se contemplan las etapas relativas a las lógicas de decodificación y comunicación de direcciones y datos, así como los puertos analógicos y digitales requeridos por el sistema para su soporte operativo.

Al considerar la naturaleza del proyecto a satisfacer, conviene tener en cuenta que el primer paso a realizar antes de efectuar cualquier tipo de propuesta de diseño, será la revisión exhaustiva del manejo de lo que se considera ser el núcleo del sistema, es decir, la computadora personal; dicho manejo consiste en el uso eficiente de los diversos dispositivos periféricos aptos para la PC, considerando la relación que guardan entre sí los diferentes componentes modulares.

Una vez que se han efectuado las consideraciones anteriores, procede la elaboración

del la organización general del sistema, misma que se ve plasmada mediante un diagrama a bloques. A partir de este diagrama es factible el diseño de la arquitectura interna del sistema, misma que deberá ser desglosada en sus diferentes elementos, a fin de analizar las relaciones físicas y lógicas que guardan entre sí los componentes que intervienen en la satisfacción de los requerimientos del sistema.

Con base en lo antes expuesto, en la figura VI.2 se muestra un diagrama a bloques de la organización general del Sistema Simulador de Control de Procesos. Los elementos constitutivos de cada uno de estos bloques, así como su funcionamiento interno, serán revisados a continuación.

#### Computadora Personal IBM PC/AT o compatibles.

Respecto a este elemento conviene remitirse a los inicios de este mismo capítulo, donde se plantean los requerimientos del simulador, así como las características propias de las computadoras que son aptas para la operación del sistema que se propone.

Cabe aclarar que en este módulo, que involucra la PC, no se efectuará el diseño de la misma puesto que se considera como un subsistema habilitado de antemano y se utiliza como herramienta y soporte del sistema que se propone. Lo anterior se afirma debido a que esta computadora es una herramienta que permite realizar el software necesario para su operación. En adición a lo anterior, se considera a la PC como un subsistema de soporte que facilita el uso de ciertos recursos que inherentemente interactúan con el simulador, tales como: memoria, manejadores de puertos digitales de entrada/salida, video, teclado etcétera.

#### Tarjeta de Adquisición de Datos.

Una parte esencial del proyecto referente al Simulador de Control de Procesos Industriales (SCPI-PC), es el diseño de una interfase que sirva para el eslabonamiento entre las señales externas al equipo de cómputo y el medio donde se efectúa el procesamiento. Esta interfase debe constituirse además, en el medio que enlace al procesador con los diversos dispositivos actuadores.

En este caso, el diseño electrónico se basa principalmente en la implantación de una tarjeta de adquisición de datos analógica/digital, misma que pueda conectarse directamente en las ranuras de expansión de la computadora personal.

Por otra parte, tanto para el diseño como para el funcionamiento de la tarjeta se utilizan algunas de las señales que ofrecen las ranuras de expansión, como son: las líneas de direcciones (A0...A19), datos (D0 a D7), lectura y escritura a puertos (IOR, IOW), habilitación de direcciones (AEN) y desde luego las líneas de alimentación de +5 VDC, -5 VDC, +12 VDC, -12 VDC y GND; estas últimas se emplean a fin de suministrar la potencia consumida por los diversos circuitos integrados que componen a la tarjeta. Cabe aclarar que el suministro de los elementos analógicos se encuentra debidamente desacoplado de cualquier tipo de interacción con las fuentes digitales.

A partir de lo anterior, y de acuerdo a lo especificado por IBM en su "IBM/PC Technical Reference Manual", referente al diseño de tarjetas prototipo por parte del usuario final, se procedió a desarrollar la lógica necesaria para decodificar las direcciones del mapa de puertos disponibles para el desarrollo de sistemas adaptables a la configuración del equipo de cómputo que se presenta en el momento. En este caso, las direcciones disponibles de acuerdo a dicho mapa comprenden de la localidad 300H a 31FH, y de la localidad 330H a 377H.

Es importante tomar en cuenta que resulta indispensable limitarse a utilizar estas direcciones, ya que de lo contrario se puede interferir con algún proceso que se esté desarrollando en la PC, como podrían serlo ciertas rutinas del sistema operativo o en su caso, cualquier otro sistema que utilice los dispositivos integrados en el equipo de cómputo.

Ahora bien, a fin de completar el diseño de la tarjeta de adquisición de datos, además de efectuar la decodificación de direcciones, es necesario considerar otras señales que son proporcionadas por las ranuras de expansión, como son: AEN, IOW, IOR; dichas señales serán descritas a continuación.

**AEN (Address Enable).** Es la señal que habilita las direcciones usadas por el microprocesador y otros dispositivos del canal de E/S, para permitir al DMAC realizar transferencias de datos. Cuando esta señal está activa el controlador de DMA toma el control del bus de datos, direcciones y los comandos de lectura y escritura. Cuando esta señal está inactiva, el microprocesador toma el control de las acciones antes descritas. Esta señal de habilitación debe tomarse en cuenta a manera de prevenir las acciones de transferencia de información realizadas por el DMAC, mismas que afectan a cualquier otra transferencia que pudiera efectuarse al mismo tiempo. Es importante tener en cuenta que el uso del DMA (Direct Memory Access) posee uno de los más altos niveles en la jerarquía del manejo de interrupciones de sistemas digitales.

**IOR (Input/Output Read).** Esta señal permite que un dispositivo de E/S deposite los datos dentro del bus. Esta acción es realizada por el microprocesador o por el controlador de DMA.

**IOW (Input/Output Write).** Esta señal permite que un dispositivo de E/S lea los datos que se encuentren en el bus, y desde luego, esta acción es realizada por el microprocesador o por el controlador de DMA.

#### Dispositivos Sensores y Actuadores

Los dispositivos sensores y actuadores, en un sentido amplio se les califica como transductores, entendiéndose como dispositivos que traducen la información presente de un tipo de señal a otro, adecuando ciertos fenómenos físicos.

Generalmente estos dispositivos se localizan en la parte exterior del sistema de adquisición de datos, con quien establecen el contacto físico para el procesamiento de las señales provenientes de ellos o para ellos.

Debido a que el objetivo de este proyecto consiste en simular el control de algunas etapas de un proceso industrial, los dispositivos sensores y actuadores no forman parte del diseño a desarrollar, razón por la cual únicamente se mencionan como parte integral de la arquitectura del sistema, a fin de presentar el proyecto de manera completa, y

DIR	DESCRIPCION	A9	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	AEN	IOR	IOW
300	Lectura P0 convert. A/D	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*
301	Lectura P1 convert. A/D	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	*
302	Lectura P2 convert. A/D	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	*
303	Lectura P3 convert. A/D	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	*
304	Lectura P4 convert. A/D	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	*
305	Lectura P5 convert. A/D	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	*
306	Lectura P6 convert. A/D	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	*
307	Lectura P7 convert. A/D	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	*
310	Escritura P0 conv. D/A	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
311	Escritura P1 conv. D/A	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0
312	Escritura P2 conv. D/A	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
313	Escritura P3 conv. D/A	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0
314	Escritura P4 conv. D/A	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
315	Escritura P5 conv. D/A	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0
316	Escritura P6 conv. D/A	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0
317	Escritura P7 conv. D/A	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0
320	Escritura Digital	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
340	Lectura Digital	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	*

Tabla VI.2 Decodificación de Direcciones.

desde luego, para tomarlo en cuenta para posteriores versiones del simulador.

Como se desprende de lo anterior, en este caso el diseño a efectuar durante este proyecto se reduce, tan solo, al propio de la tarjeta de adquisición de datos, la cual únicamente contempla la interconexión con los demás subsistemas mediante ciertos niveles de señal. Con base en esta última observación, y retomando las limitantes del mapa de puertos, se llega al diseño del siguiente módulo que corresponde a la lógica de decodificación de la tarjeta en cuestión.

Cabe comentar que en la implantación de esta decodificación se consideraron elementos discretos tales como compuertas AND, OR, INVERSORES, BUFFERS Y TRANSCEIVERS; cuyas especificaciones funcionales pueden consultarse en el apéndice B.

A este momento, en lo que respecta a la fase del diseño en hardware que se describe, es necesario mencionar los niveles de señal que la tarjeta es capaz de manejar. Si bien, este elemento está ideado para poder interactuar con las señales provenientes de diversos dispositivos sensores, tanto digitales como analógicos, es importante

tener en cuenta que existen ciertos intervalos que acotan el rango dinámico de variación de las señales. En el caso de las señales analógicas, éstas deben estar contenidas en el intervalo de voltajes entre 0 y +5 Vac; respecto a las señales digitales, se debe preservar la compatibilidad con los niveles estandarizados TTL, es decir 0 y +5 Vdc.

Cabe aclarar que estos niveles de voltaje son representativos de cualquier esquema de sensores y actuadores industriales, mismos que habitualmente se desempeñan en un medio de potencia manejando voltajes alrededor de 12Vac; sin embargo, mediante ciertos circuitos electrónicos se logra acondicionar estos niveles de señal, a fin de mantenerlos en los rangos antes mencionados.

Como ya se ha explicado, la naturaleza del sistema de procesamiento es eminentemente digital; razón por lo cual, al momento de pretender tratar señales de tipo analógico, éstas deben ser convertidas a un esquema digital por medio de un convertidor analógico/digital. Para los fines que persigue este proyecto, conviene utilizar el dispositivo comercial ADC 0809, cuyas especificaciones pueden consultarse en el apéndice B.

Cabe mencionar que el convertidor ADC0809, posee 8 canales de entrada multiplexados, y la configuración utilizada en este diseño es la típica que presenta el manual "Linear". En términos generales, este convertidor es utilizado para la adquisición de las señales analógicas, que se traducen a digitales, para ser analizadas por un sistema que cuente con un algoritmo de control.

Una vez que el sistema en consideración ha determinado el conjunto de acciones de control, en ocasiones es necesario actuar sobre la variable que representa al mesurando; por lo cual se requiere transformar ciertos patrones binarios a señales del tipo analógico, lo cual se logra mediante un convertidor digital/analógico. Nuevamente al considerar los fines que persigue este proyecto, conviene utilizar el dispositivo comercial DAC0800; cuyas especificaciones también podrán ser consultadas en el apéndice B.

Al igual que en el caso anterior, la configuración utilizada para la conexión del DAC0800 es la típica; sin embargo, cabe aclarar que este dispositivo cuenta con un solo canal de salida. A partir de lo anterior, y considerando la tarjeta de adquisición de datos, es capaz de interactuar, entre otras cosas, con 8 señales analógicas de E/S, se hace necesario demultiplexar esa única salida del dispositivo, con el propósito de obtener ocho canales analógicos de salida.

Ahora bien, en el caso de interactuar con variables de naturaleza digital no es necesario utilizar ningún tipo de convertidor, puesto que dichas señales únicamente requieren ser acondicionadas a los niveles de voltaje mencionados en párrafos anteriores.

Por otra parte, es interesante reflexionar en que lo antes descrito acerca de los transductores electrónicos comerciales, toma como referencia el hecho de que estos convierten la información presente en diferentes fenómenos físicos tales como presión, temperatura, etc., en señales eléctricas, ya sean corrientes o voltajes generalmente analógicos; con rangos de valores muy variados. Sin embargo, los sistemas digitales habitualmente requieren señales de voltaje entre 0 y +5 volts, por lo que es necesario adecuar las salidas de los transductores a dicho rango de valores. Conviene mencionar que se entiende como adecuación de las señales de los transductores, el conjunto de procesos a que son sometidas dichas señales para ser reconocidas correctamente por un sistema digital. Entre los procesos más empleados se incluyen la amplificación o la atenuación de la señal, protección entre la entrada y la salida, la excitación del transductor, filtrado, aislamiento y compensación de las señales; aparte de la necesaria conversión de corriente a voltaje, requerida por ciertos transductores industriales.

En diferentes aplicaciones industriales se requiere que el sistema esté protegido contra conexiones accidentales de corriente alterna. Esto puede suceder debido a un error de alambreado al instalar el equipo, por el contacto entre cables, o bien, por una falla eléctrica. Comúnmente se proporciona protección a los sistemas hasta 240 Vac.

Las líneas que portan las señales provenientes de los transductores, a menudo contienen señales externas que no representan al fenómeno físico que está siendo medido. Este tipo de señales se denominan comúnmente como ruido. La variedad más común de ruido en ambientes industriales es del tipo de 60 Hz, siendo su principal fuente la línea de suministro eléctrico. La reducción de cualquier tipo de ruido se puede lograr en general, mediante el empleo de filtros analógicos, instalados en las líneas o bien, mediante filtros digitales durante el procesamiento de la información.

En adición a lo anterior, y como medida tendiente a disminuir el posible ruido ambiental, el aislamiento del equipo provee una trayectoria para que viaje la señal entre la entrada y la salida del sistema, sin que exista un contacto galvánico directo (Se entiende como contacto galvánico la unión física que se puede presentar entre dos o más conductores). Este tipo de protección puede ser necesario cuando se presentan peligrosas mallas de tierra o bien, descargas con voltajes de modo común de varios cientos de volts.

Existen básicamente tres técnicas diferentes para efectuar el aislamiento del sistema. Estas técnicas emplean ya sea módulos magnéticos en forma lineal (transformadores), métodos optoelectrónicos o bien capacitores volátiles. La selección de la técnica a utilizar, depende estrechamente de la aplicación a resolver.

Por último, y para concluir con la descripción del diseño del hardware del sistema, baste decir que la tarjeta de adquisición de datos aquí desarrollada se encuentra en pleno funcionamiento. Durante el desarrollo tecnológico de este proyecto, se consideró el estudio de diferentes conceptos y tópicos relacionados con los temas de simulación y control industrial; así como un detallado estudio de las posibles opciones comerciales, mismas que pudieran tender a eliminar la idea de efectuar una implantación electrónica dedicada a satisfacer una aplicación específica.

Como se desprende de analizar lo anterior, resta tratar los aspectos inherentes al diseño del software del simulador, mismos que serán expuestos en las secciones subsiguientes a la presente.

## VLS DISEÑO DE SOFTWARE

Como ya se ha mencionado en la sección referente al análisis de requerimientos, es necesario contar con un soporte lógico del sistema, con la idea de que exista un ambiente integral del mismo. Lo anterior induce la necesidad de realizar un detallado diseño del software a utilizar.

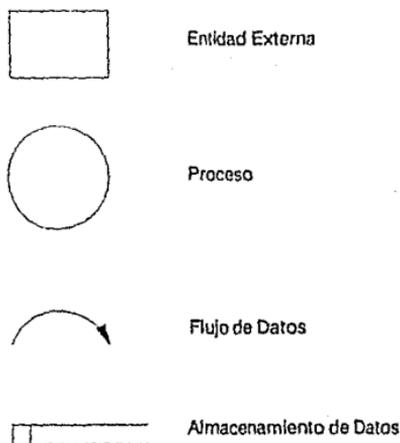


Fig. VI.5 Simbología empleada en Diagramas de Flujo de Datos

En términos generales, se logra un diseño eficiente del software mediante el uso de una metodología consistente, para lo cual conviene remitirse a la estrategia seleccionada. Esta metodología se encuentra ejemplificada por el "Diseño Estructurado" de Constantine y Yourdan, así como por el "Refinamiento por Pasos" de Wirth. Dicha metodología ha sido muy utilizada para proyectos de pequeña y gran escala en diversas áreas de aplicación.

La técnica de diseño aludida, hace uso de diagramas de flujo, orientados al manejo y transformación de los datos. Dichos diagramas reciben comúnmente el nombre de "Diagramas de Flujo de Datos", y en ellos se representan los módulos del sistema, así como las entidades con las que estos se relaciona, por medio de círculos y rectángulos respectivamente. El flujo de datos que existe entre los diferentes elementos es representado por medio de flechas que indican la

dirección del flujo de los mismos. Por otra parte, los archivos que maneja el sistema, se representan gráficamente en estos diagramas mediante una simbología especial, la cual se ilustra en la figura VI.5.

En lo relativo al software del sistema, éste debe permitir que la computadora personal controle algunos parámetros físicos (análogicos o digitales), mediante el esquema de control lógico.

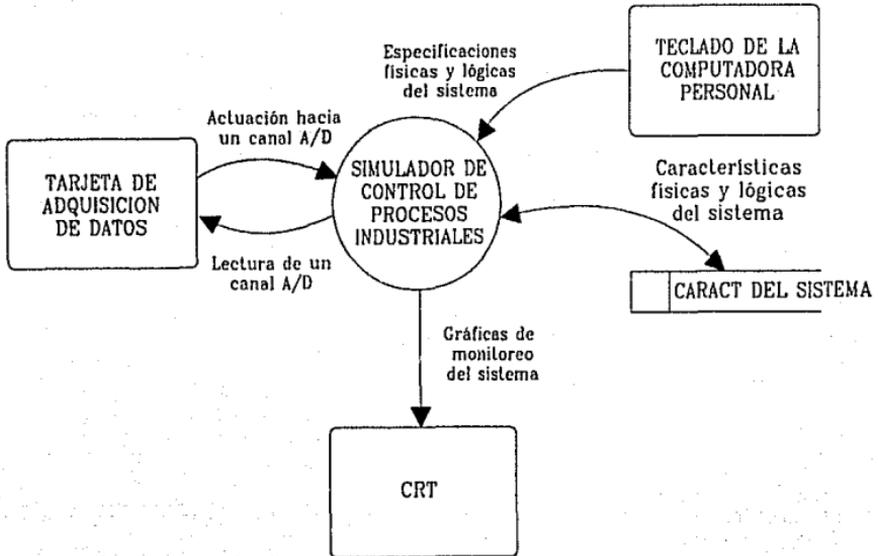


Fig. VI.6 Diagrama de Flujo de Datos del SCPI-PC a Nivel 0.

Dicho esquema consiste de la simulación de una etapa de un proceso industrial, en la cual existen sensores y actuadores, que se encuentran relacionados entre sí en base a cierta lógica establecida por el usuario del sistema. Al mismo tiempo los sensores y actuadores deben responder a las entradas y salidas analógicas y digitales que se encuentran conectadas a la Tarjeta de Adquisición de Datos. El propósito del simulador es permitir al usuario controlar una etapa de un proceso industrial mediante una computadora personal.

Como un primer paso en el diseño, se comenzará por definir al sistema en función de las entidades externas al mismo, con las cuales se relaciona, para lo cual se hace referencia a la figura VI.6 para su mejor comprensión.

Como se puede apreciar en el diagrama de la figura VI.6, existen tres entidades con las que se relaciona el SCPI-PC, estas son: el teclado de la computadora, la tarjeta de adquisición de datos y el monitor tipo CRT (Tubo de Rayos Catódicos).

La primera entidad con la que tiene relación SCPI-PC es con el teclado, ya que por medio de él se capturan las características físicas y lógicas de cada una de las señales que se encuentran conectadas a los puertos de entrada y salida de la tarjeta de adquisición de datos. El teclado también es la entidad por la cual se introducen al sistema las especificaciones de control lógico de dependencia entre las señales de E/S de la etapa del proceso a controlar.

La segunda entidad es la tarjeta de adquisición de datos, mediante la cual el sistema toma lecturas de las señales a controlar a través de los puertos de entrada de la misma. Una vez realizada esta acción y en conjunto con la función de control preprogramada en la computadora personal, el SCPI-PC toma una acción lógica de control, y en caso necesario escribe a un puerto de salida de la misma tarjeta.

Por otro lado, la última entidad que se relaciona con el sistema es el monitor de la computadora personal, que por lo general es del tipo CRT. Esta interfase visual del sistema, es la que permite el despliegue de los datos a simular.

Siguiendo la estrategia de diseño de software, además de las entidades, se presentan los diferentes archivos para la toma de decisiones durante el monitoreo, los cuales se generan a partir de la captura de las características físicas y lógicas de las señales, así como de las especificaciones lógicas de dependencia entre ellas.

Una vez establecido el simulador como un sistema que interacciona con entradas y salidas hacia otros elementos que lo componen, se particularizará en cada módulo presentado más detalladamente su funcionamiento en la figura VI.7.

En términos generales, el software está integrado por un menú principal y tres módulos que son:

1. Configuración técnica del SCPI-PC.
2. Diseño lógico del proceso por etapas.
3. Monitoreo de la etapa realizada en el módulo anterior.

En los siguientes párrafos se da una breve descripción de cada uno de los módulos, reforzando la misma por medio de diagramas de flujo de datos.

#### Configuración Técnica.

Configuración técnica del SCPI-PC o captura de las características físicas de las señales de entrada y salida presentes en la tarjeta de adquisición de datos, ver figura VI.8.

Las características físicas que se capturan en este módulo, dependen del tipo de transductor a configurar; es decir, si se trata de un sensor o de un actuador, así como de la naturaleza del mismo.

Para los actuadores analógicos o digitales, así como para los sensores digitales es necesario introducir los siguientes datos representativos de cada uno de ellos: nombre y canal físico de conexión. Sin embargo para los sensores analógicos se requiere de información adicional como es el rango de operación del sensor y las

unidades de medición utilizadas (Volts, Amperes, Kilogramos, etc).

#### Diseño lógico del proceso por etapas.

Este módulo se apoya en la existencia de un editor gráfico que permite dibujar la etapa del proceso a controlar, así como la captura de las características lógicas de las señales de entrada y salida y la relación que debe establecerse entre cada una de ellas, ver figura VI.9.

El editor gráfico consta de una serie de íconos predibujados de los sensores y actuadores más comunes en la industria, además de figuras geométricas, para que el usuario pueda diseñar la etapa de su proceso a controlar.

Otro componente de este módulo, es el algoritmo de control, que está dado por una tabla de toma de decisiones la cual contiene básicamente los siguientes datos:

- Nombre lógico de la señal.
- Correspondencia del sensor o actuador (digital o analógico), dado de alta en el módulo de configuración técnica.
- Acción a seguir dependiendo del estado del transductor.

#### Monitoreo de la etapa realizada en el módulo anterior.

En este bloque, se llevará a cabo la toma de decisiones de acuerdo a los datos proporcionados en los dos módulos anteriores, mismos que se encuentran en sus respectivos archivos, ver figura VI.10.

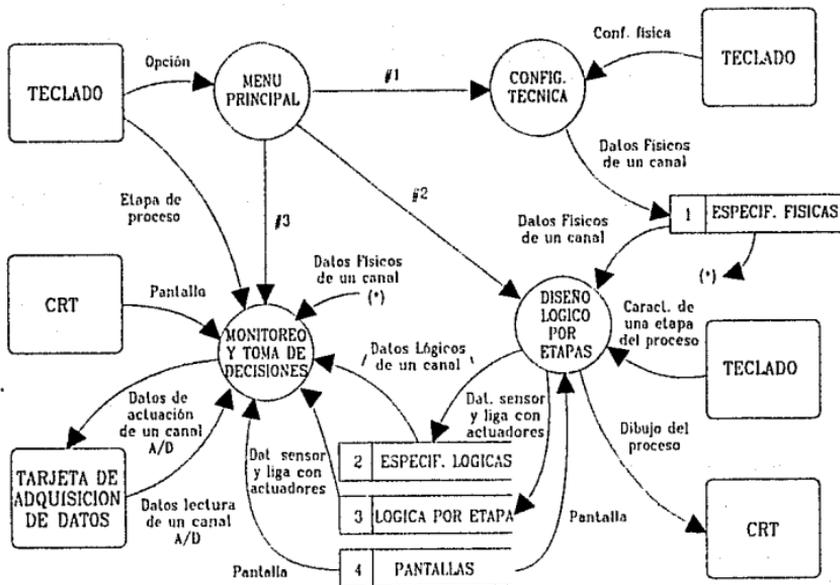


Fig. VI.7 Diagrama de Flujo de Datos General por Módulos.

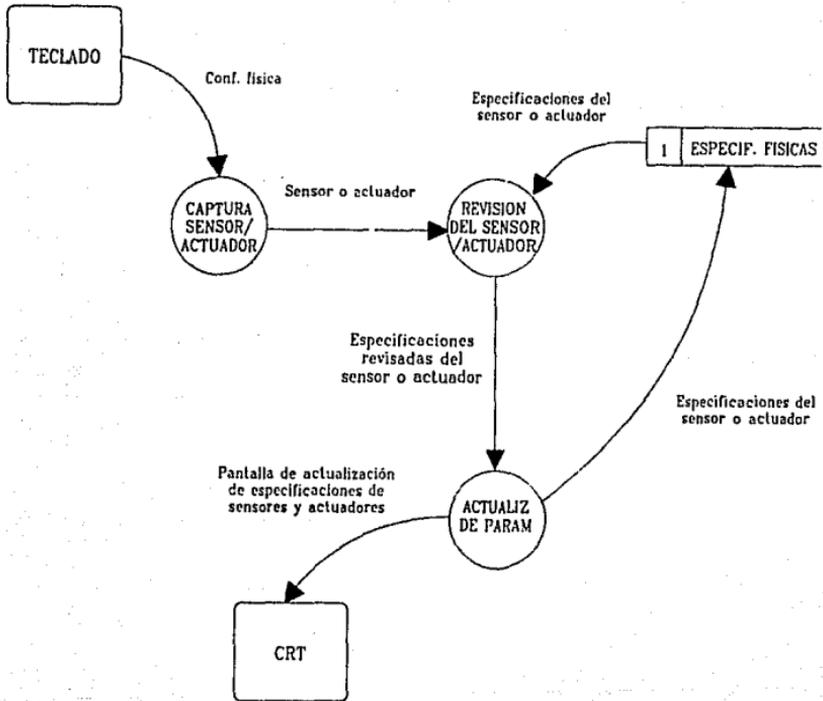


Fig. VI.8. Diagrama de Flujo de la Configuración Técnica.

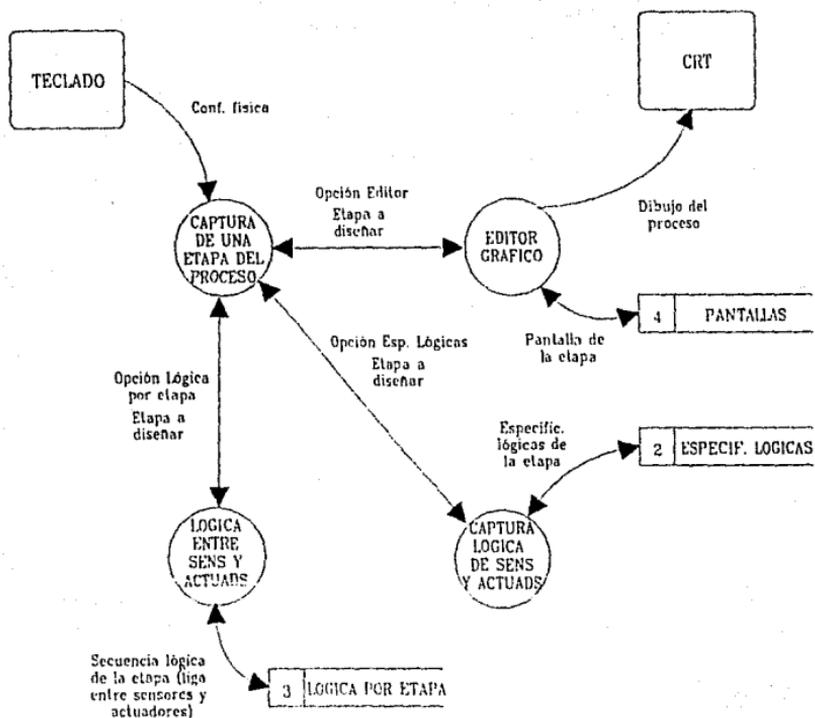


Fig. VI.9 Diseño Lógico por Etapas del Procesador.

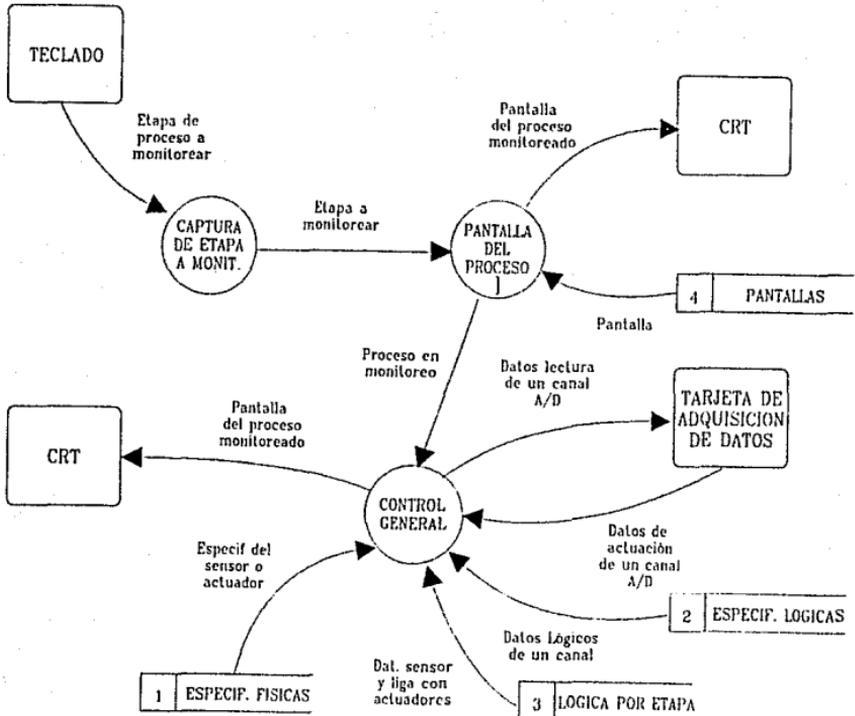


Fig. VI.10 Monitoreo de una Etapa de un Proceso a Controlar.

## **CONCLUSIONES**

---

---

## CONCLUSIONES.

A partir del advenimiento de las computadoras, la simulación ha sido una de las herramientas más importantes y útiles para analizar el diseño y operación de procesos o sistemas complejos.

Como se explicó en el capítulo de software, la simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real, y realizar experimentos con él, para entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias (dentro de los límites impuestos por un criterio o por un conjunto de criterios) para la operación del mismo. Por tanto, el desarrollo de este proyecto se basó en la elaboración de un modelo de hardware y software, para la simulación de procesos industriales, que permitiera tener interacción con las variables del mundo industrial real.

Para poder conocer las necesidades reales de automatización de la industria mexicana, fué necesario realizar visitas a diferentes empresas. De dicha investigación pudimos observar que la mayoría de los procesos involucran variables a controlar muy semejantes, variando los rangos de operación dependiendo de los requerimientos de sus líneas de producción. En base a lo anterior encontramos ciertas etapas fácilmente identificables en todo proceso industrial (almacenamiento, procesamiento, transporte). Así, emprendimos el desarrollo de un sistema que demostrara la factibilidad de controlar procesos industriales, independientemente de su tipo, por medio de una computadora personal compatible con IBM PC.

A fin de desarrollar un proyecto de esta naturaleza, se hizo indispensable el apoyo de conceptos relativos a las industrias, el control, las herramientas de desarrollo de software, equipo de cómputo, elementos de hardware asociados a la arquitectura de una computadora personal, técnicas de diseño de software y hardware específicas, así como a elementos transductores utilizados en la industria.

Debido a que el sistema involucra elementos de control, se estudiaron diferentes opciones, de las cuales consideramos principalmente los esquemas de control digital, analógico, y aquellos relativos a controladores lógicos programables. Dentro de los cuales seleccionamos los primeros, debido a que ofrecen la posibilidad de crear sis-

temas flexibles y abiertos a diferencia de los demás, que son utilizados en casos muy específicos.

Por otro lado, se hizo necesario realizar una evaluación del sistema con respecto al tiempo de respuesta deseado. En base a los requerimientos planteados para el mismo, se dedujo que el sistema debería estar en línea, y ser interactivo con respecto a los parámetros físicos a controlar, puesto que la variación de éstos en el tiempo no es crítica.

Piezas importantes en este sistema son las interfaces entre el mundo exterior y el sistema digital de cómputo. Una de estas piezas se relaciona con los parámetros físicos a controlar, esto es, la tarjeta de adquisición de datos la cual maneja señales de naturaleza analógica y digital, tanto de entrada como de salida. Con respecto a esta interfase, se tuvieron dos alternativas durante el desarrollo del proyecto: adquirir la tarjeta o desarrollarla. La primera opción fué eliminada debido al alto costo de las tarjetas y a su difícil adquisición en el mercado nacional, sin mencionar que el diseño de las mismas no se apegaba a las especificaciones del proyecto. La segunda alternativa, que fué la seleccionada, ofrecía la posibilidad de desarrollar un sistema mas versátil, y cuya implantación se encontraba a nuestro alcance.

La segunda interfase del sistema es el software, el cual va dirigido hacia el usuario de dicho sistema. El diseño de esta interfase se basa en la idea de controlar una sola etapa a la vez, del proceso en cuestión, debido a que el objetivo del proyecto fue demostrar la factibilidad de realizar este tipo de control a través de una computadora personal. El software desarrollado cumple con los propósitos antes descritos, y los lineamientos en que se encuentra fundamentado su diseño permiten, a través del uso de otro tipo de herramientas, tanto gráficas como de administración de recursos, desarrollar un sistema que cubra necesidades mas sofisticadas.

Cabe mencionar, que una de las limitantes del proyecto es la etapa de acondicionamiento de señales, ya que se espera que en el uso real, la industria contemple la definición de los sensores y actuadores, de acuerdo a sus propias necesidades, y apegándose a las características de la tarjeta de adquisición de datos diseñada.

Consideramos que el presente trabajo, cumple con los objetivos planteados al inicio de este proyecto, ya que mediante él, se puede generar un prototipo de un proceso a controlar por medio de una microcomputadora personal.

Por otra parte, estamos conscientes de que, debido al vertiginoso avance de la electrónica, y las ciencias de la computación, y a dos años de haber iniciado este proyecto, el sistema desarrollado no se encuentra al nivel de la tecnología actual. Sin embargo, es preciso aclarar que la idea en la que se fundamenta el proyecto se encuentra vigente, y permite la evolución del sistema de acuerdo a las tendencias que marca la tecnología.

## **APENDICE A**

---

---

# ARQUITECTURA DE LA COMPUTADORA PERSONAL IBM XT

---

---

## TARJETA DEL SISTEMA

---

La tarjeta del sistema (MotherBoard) es el corazón de una PC, y es indispensable conocer su funcionamiento para poder realizar cualquier interfase con ella. La figura A.1 muestra un diagrama de bloques de la tarjeta, cuyas funciones principales se describen a continuación.

---

## MICROPROCESADOR 8088

---

El 8088 es un microprocesador de 16 bits, con un bus de datos a memoria de 8 bits. Las instrucciones propias del microprocesador pueden manejar datos de 16 bits, sin embargo, los datos y las instrucciones se escriben a memoria 8 bits a la vez. El microprocesador 8088 tiene la habilidad de direccionar hasta un megabyte de memoria, ya sea para contener datos o programas.

---

## CIRCUITOS DE RELOJ

---

La Computadora Personal con microprocesador 8088, cuenta con un reloj de 4.77 MHz, lo que da por resultado un sistema con un reloj de 210 nanosegundos. La mayoría de los ciclos de bus constan de 4 ciclos de reloj, por lo que un ciclo típico de memoria, requiere de 840 nanosegundos. Las señales de tiempo utilizadas por el microprocesador, así como por las diversas funciones de la tarjeta del sistema, son derivadas de un cristal de cuarzo que oscila a una frecuencia de 14.31818 MHz. La señal de 14.31818 MHz es dividida entre 3 por el componente 8284A, para obtener la señal a 4.77 MHz. Una señal de 1.19MHz, resulta de dividir la señal original entre 4, y es utilizada para manejar las entradas al reloj para los contadores de tiempo del sistema.

---

## BUS DEL SISTEMA

---

La mayoría de los componentes funcionales de la tarjeta del sistema, están conectados al microprocesador 8088 a través del bus de sistema. Este bus está formado por líneas de distintos tipos de señales: datos, direcciones,

control, tiempo, requerimiento de interrupciones y control del DMA (Acceso Directo a Memoria). El bus comienza en una de las terminales (pin) del microprocesador y es conocido como el bus local. A este bus se encuentran conectados:

1. Un conector auxiliar para el coprocesador numérico 8087
2. Un control de interrupciones de 8 niveles (8259A)
3. El controlador de bus 8288
4. Circuitos demultiplexores y de recarga del bus.

La salida del controlador del bus y de los circuitos demultiplexores del bus local, forman las señales básicas que representan el bus del sistema.

---

## ROM DEL SISTEMA (Read Only Memory)

---

Conectada al bus del sistema, se encuentra una ROM (Memoria de solo lectura) de 40Kb. La ROM está decodificada de tal manera, que reside en la parte superior del área de memoria de 1Mb direccionada por el microprocesador. Las funciones soportadas por el ROM son:

1. Inicialización del sistema
2. Diagnóstico de encendido y revisión del sistema
3. Determinación de la configuración del sistema
4. Manejo de dispositivos de E/S, comúnmente llamado BIOS (Sistema Básico de Entrada/ Salida)
5. Cargado del sistema operativo desde disco flexible
6. Patrones de bits para los primeros 128 caracteres ASCII de un grupo de 256

---

## MEMORIA RAM (Random Access Memory)

---

La tarjeta principal del sistema, está diseñada de tal forma que se puedan instalar bancos de memoria con incrementos desde 64 hasta 256Kb. La memoria RAM reside en el espacio que el microprocesador 8088 direcciona, a partir de la

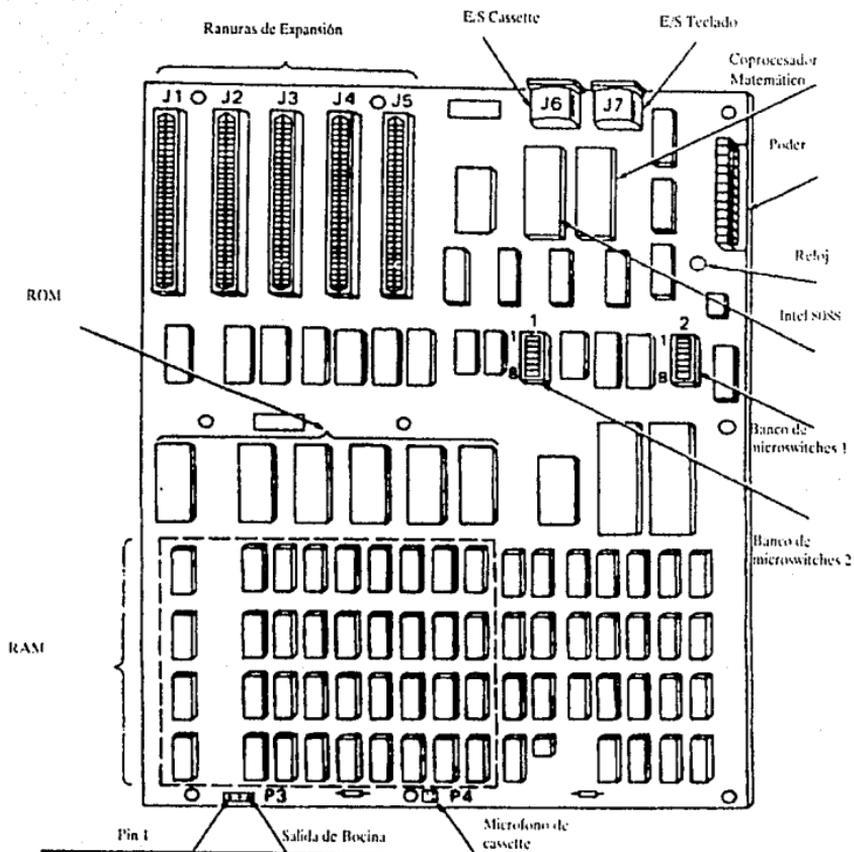


Fig. A.1 Componentes de la tarjeta del sistema

dirección 00000 y se extiende hasta la dirección 0FFFF, asumiendo que se encuentran instalados 64Kb de memoria. Si la memoria instalada, fuera menor a 64Kb no se podría instalar memoria adicional a través de tarjetas de expansión de memoria, ya que el bus del sistema hacia las ranuras (slots) no está habilitado para manejar direcciones menores a 64Kb. En caso de pretender instalar tarjetas de expansión de memoria, sin antes haber instalado los 64Kb de memoria básicos, la memoria instalada no sería continua.

La tarjeta principal del sistema, usa circuitos integrados (chips) de memoria dinámica de 64 o 256 Kb x 1, con un tiempo de acceso de 100 a 150 nanosegundos. Estos componentes requieren de tres niveles de alimentación: +5, -5, +12 Volts.

### CONTADOR DE TIEMPO

Para realizar las funciones de cronometría y conteo, existe un circuito integrado 8253-5, conectado al bus. Las entradas a este reloj son manejadas por la señal de un oscilador a 1.19MHz. La salida del temporizador en su canal 0 está asociada a la interrupción del sistema a nivel 0 y se encuentra programada para generar una interrupción cada 54.925 milisegundos (aproximadamente 18.2 veces por segundo). Este temporizador es usado por las rutinas de E/S del sistema y por el reloj del mismo, que mantiene la fecha y la hora del día. La salida del canal 1 es usada para generar un requerimiento al DMA en el canal 0 del mismo. Este requerimiento se realiza para refrescar la memoria dinámica del sistema, al crear un ciclo inútil de lectura a memoria por cada 72 señales de reloj del procesador o cada 15.12 s. La salida del canal 2 es usada para manejar el audio del sistema.

### DMA (Direct Memory Access)

Los dispositivos externos como la unidad de discos, transmiten datos en forma más rápida que lo que el procesador puede manejar, por lo que la tarjeta del sistema cuenta con una facilidad para permitir la transmisión directa de datos entre un dispositivo y la memoria, sin involucrar al microprocesador. Esta función se realiza a través del circuito 8237-5, controlador de DMA. Este dispositivo soporta transmisión de datos entre la memoria y cuatro adaptadores. Cuando un adap-

tador o dispositivo desea transmitir información, solicita al 8237-5 la realización de esta función. El controlador de DMA pide al 8088 dejar libre el bus del sistema, para tomar control sobre él y transmitir los datos.

El canal 0, de los cuatro con que cuenta el DMA, es usado para realizar el refresco de memoria. Los otros tres canales están disponibles en el bus del sistema a través de las 5 ranuras de expansión localizadas en la tarjeta principal del sistema.

### INTERRUPCIONES

El microprocesador 8088 cuenta con dos fuentes de interrupciones: mascarables y no mascarables. Para manejar más niveles de interrupciones, se cuenta con el circuito 8259A, controlador de interrupciones. Este componente expande las interrupciones mascarables a 8 niveles. El circuito integrado no se encuentra conectado al bus del sistema, sino al bus local. De los ocho niveles de interrupción, dos son usados por la tarjeta del sistema y los seis restantes se encuentran disponibles en el bus del sistema, pudiéndose manejar a través de las ranuras de expansión.

### OPERACIONES DEL BUS

La mayoría de las aplicaciones que requieren de interfase utilizan una de las cinco ranuras de la tarjeta principal del sistema (ver figura A.2), para conectarse a la PC. Los datos son transmitidos en un ciclo que se ha denominado ciclo de bus. Existen dos clasificaciones de los ciclos de bus: los manejados por el procesador 8088 y los manejados por el DMA. Cuando el microprocesador 8088 genera un ciclo de bus, maneja el bus del sistema con la dirección de una localidad de memoria o un puerto de E/S; controla la dirección del flujo de datos y es, ya sea la fuente o el destino de los datos. Cuando el 8088 maneja al bus, se generan cinco tipos de ciclos del bus. El primer tipo es un ciclo de lectura a memoria. El segundo es un ciclo de escritura a memoria. El tercer tipo es un ciclo de lectura de un puerto de E/S. El cuarto es un ciclo de escritura a un puerto de E/S, en tanto que el quinto tipo es un ciclo de reconocimiento de interrupción.

La segunda clasificación general de los ciclos de bus abarca a aquellos manejados por el con-

trolador DMA. Durante las operaciones de acceso directo a memoria (DMA), se retira el microprocesador 8088 del bus del sistema, dejando el control de los ciclos del bus transferidos directamente entre el adaptador de la interfase y la memoria.

#### CICLO DE LECTURA A UN PUERTO DE ENTRADA/SALIDA

El ciclo de lectura de un puerto de E/S (ver figura A.3), se inicia cada vez que se ejecuta una instrucción de entrada del microprocesador 8088. Este ciclo es similar al ciclo de lectura a memoria. En el diseño de una PC, este ciclo consta de un mínimo de cinco ciclos de reloj, lo que equivale a 1.05 microsegundos. Durante un ciclo de E/S al puerto, el microprocesador 8088 coloca una dirección de 16 bits correspondiente a un puerto, en el bus de direcciones. Durante este ciclo, los 4 bits más significativos del bus de direcciones, nunca son activados.

Durante el ciclo T1, la señal ALE es activada, indicando que los bits 0-15 del bus de direcciones contienen una dirección de E/S válida. En el tiempo T2, la señal de control IOR, es activada, indicando que el ciclo corresponde a un ciclo de lectura a un puerto y que el puerto asociado a la dirección debe responder manejando el bus de datos con su contenido. Al inicio del ciclo de reloj T4, el procesador toma los datos presentes en el bus de datos y la señal IOR es desactivada. El ciclo de lectura termina al finalizar el ciclo T4. Se puede notar que un ciclo de lectura se compone de cuatro ciclos de reloj, sin embargo, en la arquitectura de una PC se agrega un ciclo de reloj extra, llamado TW (tiempo de espera), por cada ciclo.

#### CICLO DE ESCRITURA A UN PUERTO DE ENTRADA/SALIDA

Un ciclo de escritura a un puerto de E/S (ver figura A.4), se inicia cada vez que se realiza una instrucción de salida del microprocesador 8088. Este ciclo escribe datos del microprocesador a la dirección específica de un puerto de E/S. Normalmente, este ciclo comprende cuatro ciclos de reloj. Pero en la arquitectura de PC se inserta un ciclo extra TW. Sólo los bits 0-15 del bus de direcciones son usados para direccionar a los puertos de E/S.

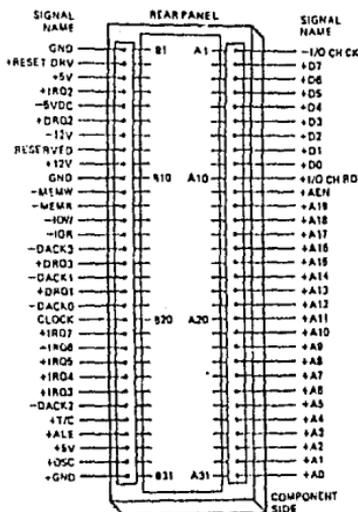


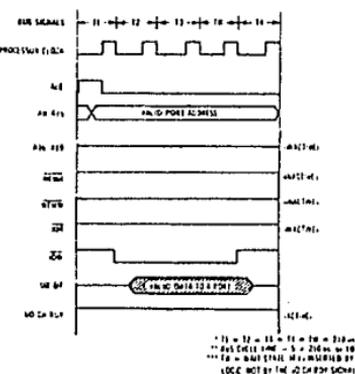
Fig. A.2 Definición de señales de las ranuras para tarjetas

La señal ALE es activada durante el ciclo de reloj T1, en seguida la señal de control IOW es activada en el tiempo T2, indicando que el ciclo es de escritura a un puerto de E/S y que el puerto seleccionado debe tomar datos del bus de datos. Al iniciar el ciclo T4 la señal IOW es desactivada.

#### COMUNICACION SINCRONA Y ASINCRONA

El único acceso al medio exterior de una PC, oficialmente reconocido por IBM hasta antes de la liberación de la familia PS/2, fue el puerto de comunicación asincrónica, conocido también como

puerto serial, que trabaja bajo el estándar RS232C. Todos los puertos seriales de IBM tienen la misma función, toman 8 bits al mismo tiempo y



los convierten en un tren de pulsos seriales.

La característica que distingue a una comunicación serial es que todos los datos e información de control son transmitidos en una sola línea, un bit a la vez. En la comunicación asíncrona, la información es transmitida utilizando un bit de inicio y un bit de paro, de tal manera que tanto el emisor como el receptor puedan sincronizar la transmisión. En contraste, la comunicación síncrona generalmente se caracteriza por transmitir la información de acuerdo a intervalos de tiempo fijos.

Un bit de datos es transmitidos al poner la línea a un estado lógico (poniendo un voltaje en el cable). La duración de cada bit determina la velocidad de transmisión, medida en bits por segundo. Tanto el emisor como el receptor deben tener la misma velocidad. Cuando no está ocurriendo ninguna transmisión la línea se deja en un estado de 'marcado', con un estado de 1 lógico. Para empezar la transmisión, se transmite un bit de inicio, cuyo estado lógico es opuesto al del estado de marcado.

Después de ue se transmite el bit de inicio, se transmiten los bits de datos. La configuración de bits de datos soportada por el puerto de IBM es

de 5,6,7 y 8. El bit de menor orden es el primero en ser transmitido. Después de transmitir los bits de datos se puede mandar un bit de paridad que

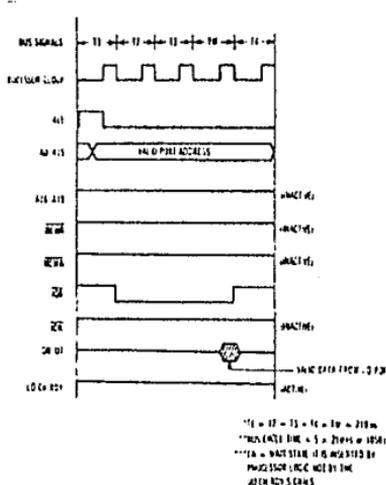


Fig. A.4 Ciclo de escritura a un puerto de E/S

es opcional. Los bits de paridad son usados para ayudar a detectar errores de transmisión. Finalmente, después del paquete de datos, se transmiten uno o dos bits de paro. El uso de bits de inicio y de paro permiten que tanto el emisor como el transmisor puedan transmitir información a cualquier tiempo, es decir, asíncronamente.

Todas las computadoras personales de IBM y la familia PS/2, cuentan con un circuito integrado dedicado, llamado UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter). El circuito específico es el INS8250 (INS16450 para ATs e INS16550 para PS/2).

El INS8250 es un microprocesador programable que permite que los datos sean transmitidos y recibidos serialmente. Soporta todas las velocidades más comunes, tipos de paridad, número de bits de datos y bits de inicio y paro.

El UART usa cuatro registros internos para la transmisión de datos: el registro receptor de datos, el registro receptor de corrimiento, el

registro transmisor de retención y el registro transmisor de corrimiento. Cuando una entrada de datos llega a una línea de datos, es colocada en el registro receptor de corrimiento. Después de que se han recibido todos los bits necesarios (inicio, datos, paridad y paro), los bits de datos son transferidos al registro receptor de datos. Cuando los datos están listos, el UART prende una bandera. Los datos pueden ser transferidos del registro receptor de datos del UART, al CPU ejecutando una instrucción IN. Después de que los datos son leídos, se limpia la bandera de 'datos listos', hasta que se recibe otro carácter.

La transmisión de datos es similar a la recepción. Un carácter es colocado en el registro transmisor de retención, usando una instrucción OUT. El UART lo copia al registro transmisor de corrimiento, después de colocarle los bits necesarios (inicio, paridad y paro).

## **APENDICE B**

---

---

## DAC0800 (LMDAC08) 8-Bit Digital-to-Analog Converter

### General Description

The DAC08 is a monolithic 8-bit high-speed current-output digital-to-analog converter (DAC) featuring typical settling times of 100 ns. When used as a multiplying DAC, monotonic performance over a 40 to 1 reference current range is possible. The DAC08 also features high compliance complementary current outputs to allow differential output voltages of 20 V<sub>pp</sub> with simple resistor loads as shown in Figure 1. The reference-to-full-scale current matching of better than  $\pm 1$  LSB eliminates the need for full scale trims in most applications while the nonlinearities of better than  $\pm 0.1\%$  over temperature minimizes system error accumulations.

The noise immune inputs of the DAC08 will accept TTL levels with the logic threshold pin, V<sub>LC</sub>, pin 1 grounded. Simple adjustments of the V<sub>LC</sub> potential allow direct interface to all logic families. The performance and characteristics of the device are essentially unchanged over the full  $\pm 4.5$ V to  $\pm 18$ V power supply range; power dissipation is only 33 mW with  $\pm 5$ V supplies and is independent of the logic input states.

The DAC0800L, DAC0802L, DAC0800LC, DAC0801LC and DAC0802LC are a direct replacement for the DAC08, DAC08A, DAC08C, DAC08E and DAC08H, respectively.

### Features

- Fast settling output current 100 ns
- Full scale error  $\pm 1$  LSB
- Nonlinearity over temperature  $\pm 0.1\%$
- Full scale current drift  $\pm 10$  ppm/ $^{\circ}$ C
- High output compliance  $-10$ V to  $+18$ V
- Complementary current outputs
- Interface directly with TTL, CMOS, PMOS and others
- 2 quadrant wide range multiplying capability
- Wide power supply range  $\pm 4.5$ V to  $\pm 18$ V
- Low power consumption 33 mW at  $\pm 5$ V
- Low cost

### Typical Applications

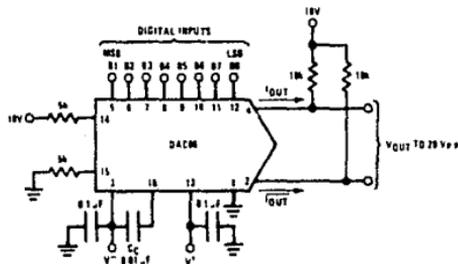
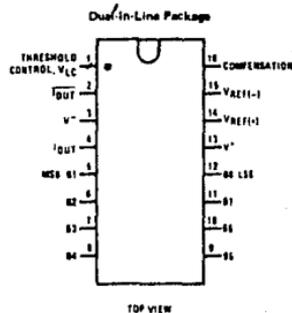


FIGURE 1.  $\pm 20$  V<sub>pp</sub> Output Digital-to-Analog Converter

### Connection Diagram



### Ordering Information

NON LINEARITY	TEMPERATURE RANGE	ORDER NUMBERS*					
		D PACKAGE (D16C)		J PACKAGE (J18A)		N PACKAGE (N18A)	
$\pm 0.1\%$ FS	$-55^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +125^{\circ}\text{C}$	DAC0802LD	LMDAC08AD	DAC0802LCJ	LMDAC08HJ	DAC0802LCN	LMDAC08HN
$\pm 0.1\%$ FS	$0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +70^{\circ}\text{C}$						
$\pm 0.10\%$ FS	$-55^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +125^{\circ}\text{C}$	DAC0800LD	LMDAC08D	DAC0800LCJ	LMDAC08EJ	DAC0800LCN	LMDAC08EN
$\pm 0.10\%$ FS	$0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +70^{\circ}\text{C}$						
$\pm 0.30\%$ FS	$0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +70^{\circ}\text{C}$			DAC0801LCJ	LMDAC08CJ	DAC0801LCN	LMDAC08CN

\*Note: Devices may be ordered by using either order number.



## ADC0808, ADC0809 8-Bit $\mu$ P Compatible A/D Converters With 8-Channel Multiplexer

### General Description

The ADC0808, ADC0809 data acquisition component is a monolithic CMOS device with an 8-bit analog-to-digital converter, 8-channel multiplexer and microprocessor compatible control logic. The 8-bit A/D converter uses successive approximation as the conversion technique. The converter features a high impedance chopper stabilized comparator, a 256R voltage divider with analog switch tree and a successive approximation register. The 8-channel multiplexer can directly access any of 8 single-ended analog signals.

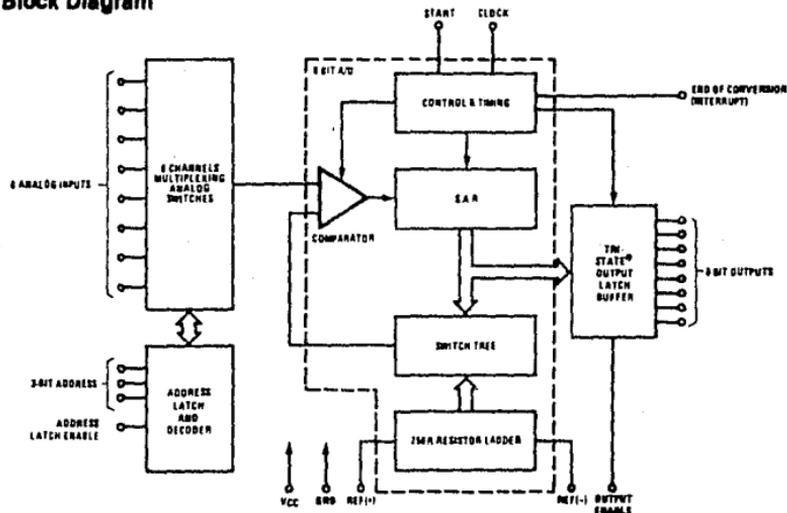
The device eliminates the need for external zero and full-scale adjustments. Easy interfacing to microprocessors is provided by the latched and decoded multiplexer address inputs and latched TTL TRI-STATE® outputs.

The design of the ADC0808, ADC0809 has been optimized by incorporating the most desirable aspects of several A/D conversion techniques. The ADC0808, ADC0809 offers high speed, high accuracy, minimal temperature dependence, excellent long-term accuracy and repeatability, and consumes minimal power. These features make this device ideally suited to applications from process and machine control to consumer and automotive applications. For 16-channel multiplexer with common output (sample/hold port) see ADC0816 data sheet.

### Features

- Resolution — 8-bits
- Total unadjusted error —  $\pm 1/2$  LSB and  $\pm 1$  LSB
- No missing codes
- Conversion time — 100  $\mu$ s
- Single supply — 5  $V_{DC}$
- Operates ratiometrically or with 5  $V_{DC}$  or analog span adjusted voltage reference
- 8-channel multiplexer with latched control logic
- Easy interface to all microprocessors, or operates "stand alone"
- Outputs meet T<sup>2</sup>L voltage level specifications
- 0V to 5V analog input voltage range with single 5V supply
- No zero or full-scale adjust required
- Standard hermetic or molded 28-pin DIP package
- Temperature range — 40°C to +85°C or —55°C to +125°C
- Low power consumption — 15 mW
- Latched TRI-STATE® output

### Block Diagram



## LM555/LM555C Timer

### General Description

The LM555 is a highly stable device for generating accurate time delays or oscillation. Additional terminals are provided for triggering or resetting if desired. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For stable operation as an oscillator, the free running frequency and duty cycle are accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output circuit can source or sink up to 200 mA or drive TTL circuits.

- Adjustable duty cycle
- Output can source or sink 200 mA
- Output and supply TTL compatible
- Temperature stability better than 0.005% per °C
- Normally on and normally off output

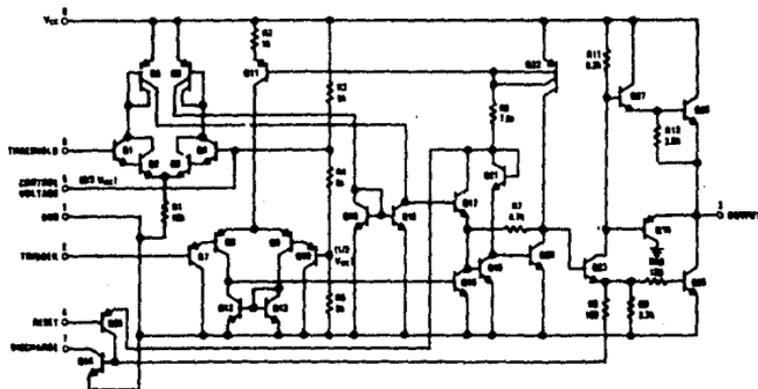
### Features

- Direct replacement for SE555/NE555
- Timing from microseconds through hours
- Operates in both astable and monostable modes

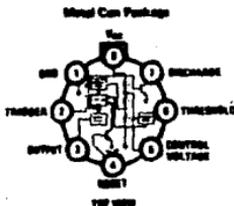
### Applications

- Precision timing
- Pulse generation
- Sequential timing
- Time delay generation
- Pulse width modulation
- Pulse position modulation
- Linear ramp generator

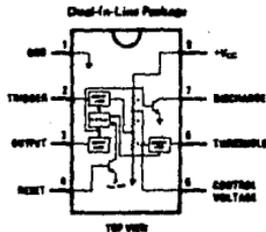
### Schematic Diagram



### Connection Diagrams



Order Number LM555M, LM555CM  
See NS Package M18C



Order Number LM555CN  
See NS Package M00B  
Order Number LM555LJ or LM555CJ  
See NS Package J55A

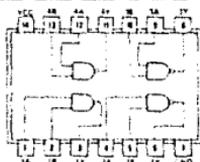
# 54/74 FAMILIES OF COMPATIBLE TTL CIRCUITS

## PIN ASSIGNMENTS (TOP VIEWS)

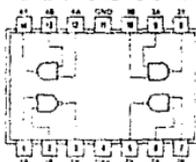
### QUADRUPLE 2 INPUT POSITIVE-NAND GATES **00**

positive logic:  
 $Y = AB$

See page 5-2



SN5400 (J)      SN7400 (J, N)  
SN54H00 (J)    SN74H00 (J, N)  
SN54L00 (J)    SN74L00 (J, N)  
SN54LS00 (J, W) SN74LS00 (J, N)  
SN54S00 (J, W) SN74S00 (J, N)

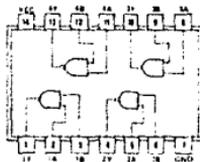


SN5400 (W)  
SN54H00 (W)  
SN54L00 (T)

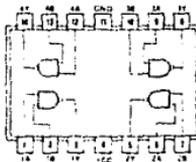
### QUADRUPLE 2 INPUT POSITIVE-NAND GATES WITH OPEN COLLECTOR OUTPUTS **01**

positive logic:  
 $Y = AB$

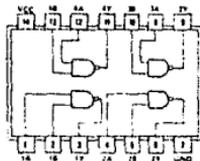
See page 6-4



SN5401 (J)      SN7401 (J, N)  
SN54L501 (J, W) SN74LS01 (J, N)



SN5401 (W)  
SN54H01 (W)  
SN54L01 (T)



SN54H01 (J)    SN74H01 (J, N)

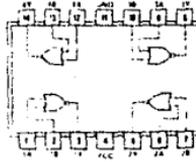
### QUADRUPLE 2 INPUT POSITIVE-NOR GATES **02**

positive logic:  
 $Y = A + B$

See page 6-8



SN5402 (J)      SN7402 (J, N)  
SN54L02 (J)    SN74L02 (J, N)  
SN54LS02 (J, W) SN74LS02 (J, N)  
SN54S02 (J, W) SN74S02 (J, N)



SN5402 (W)  
SN54L02 (T)

# 54/74 FAMILIES OF COMPATIBLE TTL CIRCUITS

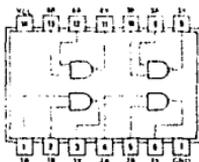
## PIN ASSIGNMENTS (TOP VIEWS)

QUADRUPLE 2-INPUT  
POSITIVE NAND GATES  
WITH OPEN-COLLECTOR OUTPUTS

**03**

positive logic:  
 $Y = \overline{AB}$

See page 6-4



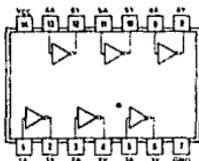
SN5403 (J) SN7403 (J, N)  
SN54L03 (J) SN74L03 (J, N)  
SN54LS03 (J, W) SN74LS03 (J, N)  
SN54S03 (J, W) SN74S03 (J, N)

HEX INVERTERS

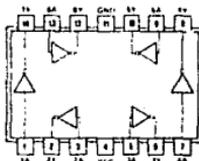
**04**

positive logic:  
 $Y = \overline{A}$

See page 6-2



SN5404 (J) SN7404 (J, N)  
SN54H04 (J) SN74H04 (J, N)  
SN54LD4 (J) SN74LD4 (J, N)  
SN54LS04 (J, W) SN74LS04 (J, N)  
SN54S04 (J, W) SN74S04 (J, N)



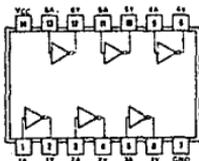
SN5404 (W)  
SN54H04 (W)  
SN54L04 (T)

HEX INVERTERS  
WITH OPEN-COLLECTOR OUTPUTS

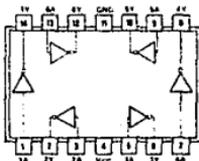
**05**

positive logic:  
 $Y = \overline{A}$

See page 6-4



SN5405 (J) SN7405 (J, N)  
SN54H05 (J) SN74H05 (J, N)  
SN54LS05 (J, W) SN74LS05 (J, N)  
SN54S05 (J, W) SN74S05 (J, N)



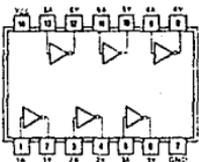
SN5405 (W)  
SN54H05 (W)

HEX INVERTER BUFFERS/DRIVERS  
WITH OPEN-COLLECTOR  
HIGH-VOLTAGE OUTPUTS

**06**

positive logic:  
 $Y = \overline{A}$

See page 6-2



SN5406 (J, W) SN7406 (J, N)

# 54/74 FAMILIES OF COMPATIBLE TTL CIRCUITS

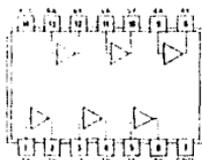
## PIN ASSIGNMENTS (TOP VIEWS)

HEX BUFFERS/DRIVERS  
WITH OPEN-COLLECTOR  
HIGH VOLTAGE OUTPUTS

**07**

positive logic:  
Y = A

See page 6-24



SN5407 (J, W) SN7407 (J, N)

QUADRUPLE 2-INPUT  
POSITIVE-AND GATES

**08**

positive logic:  
Y = AB

See page 6-10



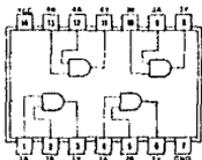
SN5408 (J, W) SN7408 (J, N)  
SN54LS08 (J, W) SN74LS08 (J, N)  
SN54S08 (J, W) SN74S08 (J, N)

QUADRUPLE 2-INPUT  
POSITIVE-AND GATES  
WITH OPEN-COLLECTOR OUTPUTS

**09**

positive logic:  
Y = AB

See page 6-12



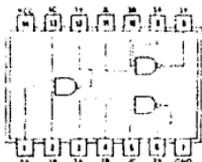
SN5409 (J, W) SN7409 (J, N)  
SN54LS09 (J, W) SN74LS09 (J, N)  
SN54S09 (J, W) SN74S09 (J, N)

TRIPLE 3-INPUT  
POSITIVE NAND GATES

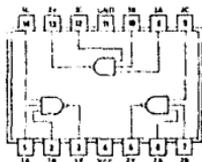
**10**

positive logic:  
Y = ABC

See page 6-2



SN5410 (J) SN7410 (J, N)  
SN54M10 (J) SN74M10 (J, N)  
SN54L10 (J) SN74L10 (J, N)  
SN54LS10 (J, W) SN74LS10 (J, N)  
SN64S10 (J, W) SN74S10 (J, N)



SN5410 (W)  
SN54M10 (W)  
SN54L10 (T)

# 54/74 FAMILIES OF COMPATIBLE TTL CIRCUITS

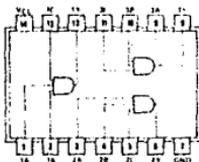
## PIN ASSIGNMENTS (TOP VIEWS)

### TRIPLE 3-INPUT POSITIVE-AND GATES

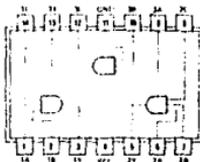
**11**

positive logic:  
Y = ABC

See page 6-10



SN54H11 (J) SN74H11 (J, N)  
SN54LS11 (J, W) SN74LS11 (J, N)  
SN54S11 (J, W) SN74S11 (J, N)



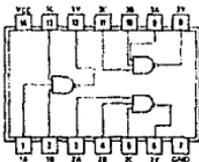
SN54H11 (W)

### TRIPLE 3-INPUT POSITIVE-NAND GATES WITH OPEN-COLLECTOR OUTPUTS

**12**

positive logic:  
Y = ABC

See page 6-4



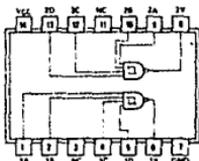
SN5412 (J, W) SN7412 (J, N)  
SN54LS12 (J, W) SN74LS12 (J, N)

### DUAL 4-INPUT POSITIVE-NAND SCHMITT TRIGGERS

**13**

positive logic:  
Y = ABCD

See page 6-14



SN5413 (J, W) SN7413 (J, N)  
SN54LS13 (J, W) SN74LS13 (J, N)

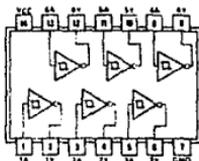
NC—No internal connection

### HEX SCHMITT-TRIGGER INVERTERS

**14**

positive logic:  
Y =  $\bar{A}$

See page 6-14



SN5414 (J, W) SN7414 (J, N)  
SN54LS14 (J, W) SN74LS14 (J, N)

# 54/74 FAMILIES OF COMPATIBLE TTL CIRCUITS

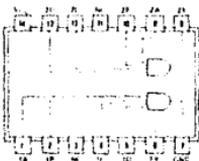
## PIN ASSIGNMENTS (TOP VIEWS)

### DUAL 4-INPUT POSITIVE AND GATES

**21**

positive logic:  
Y = ABCD

See page 6-10



SN54H21 (J, I) SN74H21 (J, N)  
SN54LS21 (J, W) SN74LS21 (J, N)



SN54H22 (I)

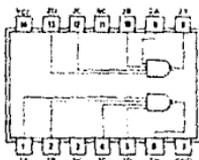
NC - No internal connection

### DUAL 4-INPUT POSITIVE NAND GATES WITH OPEN-COLLECTOR OUTPUTS

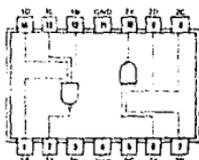
**22**

positive logic:  
Y = ABCD

See page 6-4



SN54Z22 (J, W) SN74Z22 (J, N)  
SN54H22 (J, I) SN74H22 (J, N)  
SN54LS22 (J, W) SN74LS22 (J, N)  
SN54S22 (J, W) SN74S22 (J, N)



SN54H22 (W)

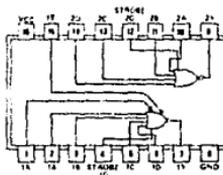
NC - No internal connection

### EXPANDABLE DUAL 4-INPUT POSITIVE-NOR GATES WITH STROBE

**23**

positive logic:  
 $1Y = 1G(1A+1B+1C+1D)+X$   
 $2Y = 2G(2A+2B+2C+2D)$   
X = output of SN5460/SN7460

See page 6-39



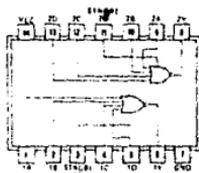
SN54Z3 (J, W) SN74Z3 (J, N)

### DUAL 4-INPUT POSITIVE-NOR GATES WITH STROBE

**25**

positive logic:  
Y = G(A+B+C+D)

See page 6-8



SN54Z5 (J, W) SN74Z5 (J, N)

# 54/74 FAMILIES OF COMPATIBLE TTL CIRCUITS

## PIN ASSIGNMENTS (TOP VIEWS)

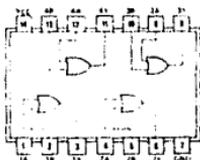
QUADRUPLE 2-INPUT  
POSITIVE-OR GATES

**32**

positive logic:

$$Y = A + B$$

See page 6-28



SN5432 (J, W) SN7432 (J, N)  
SN54LS32 (J, W) SN74LS32 (J, N)  
SN54S32 (J, W) SN74S32 (J, N)

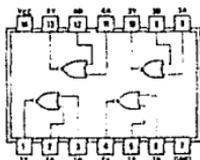
QUADRUPLE 2-INPUT  
POSITIVE-NOR BUFFERS  
WITH OPEN-COLLECTOR OUTPUTS

**33**

positive logic:

$$Y = \overline{A + B}$$

See pages 6-24 and 6-26



SN5433 (J, W) SN7423 (J, N)  
SN54LS33 (J, W) SN74LS33 (J, N)

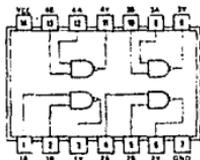
QUADRUPLE 2-INPUT  
POSITIVE-NAND BUFFERS

**37**

positive logic:

$$Y = \overline{AB}$$

See page 6-20



SN5437 (J, W) SN7437 (J, N)  
SN54LS37 (J, W) SN74LS37 (J, N)  
SN54S37 (J, W) SN74S37 (J, N)

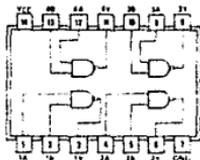
QUADRUPLE 2-INPUT  
POSITIVE-NAND BUFFERS  
WITH OPEN-COLLECTOR OUTPUTS

**38**

positive logic:

$$Y = \overline{AB}$$

See pages 6-24 and 6-26



SN5438 (J, W) SN7438 (J, N)  
SN54LS38 (J, W) SN74LS38 (J, N)  
SN54S38 (J, W) SN74S38 (J, N)

# LINEAR INTEGRATED CIRCUITS

# TYPES TL601, TL604, TL607, TL610 P-MOS ANALOG SWITCHES

BULLETIN NO. DLS 12001 JUNE 1976-REVISED OCTOBER 1977

- Switches  $\pm 10$ -V Analog Signals
- TTL/DTL Logic Capability
- 5- to 30-V Supply Ranges
- Low ( $100 \Omega$ ) On-State Resistance
- High ( $10^{11} \Omega$ ) Off-State Resistance
- 8-Pin Functions

## description

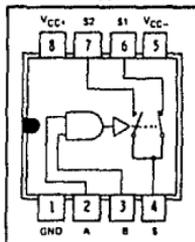
The TL601, TL604, TL607, and TL610 are a family of monolithic P-MOS analog switches that provide fast switching speeds with high  $t_{off}/t_{on}$  ratio and no offset voltage. The p-channel enhancement-type MOS switches will accept analog signals up to  $\pm 10$  volts and are controlled by TTL-compatible logic inputs. The monolithic structure is made possible by Bi-MOS technology, which combines p-channel MOS with standard bipolar transistors.

These switches are particularly suited for use in military, industrial, and commercial applications such as data acquisition, multiplexers, A/D and D/A converters, MODEMS, sample-and-hold systems, signal multiplexing, integrators, programmable operational amplifiers, programmable voltage regulators, crosspoint switching networks, logic interface, and many other analog systems.

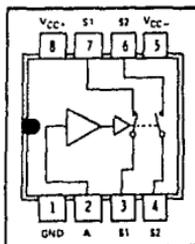
The TL601 is an SPDT switch with two logic control inputs. The TL604 is a dual complementary SPST switch with a single control input. The TL607 is an SPDT switch with one logic control input and one enable input. The TL610 is an SPST switch with three logic control inputs. The TL610 features a higher  $t_{off}/t_{on}$  ratio than the other members of the family.

The TL601M, TL604M, TL607M, and TL610M are characterized for operation over the full military temperature range of  $-55^{\circ}\text{C}$  to  $125^{\circ}\text{C}$ , the TL601I, TL604I, TL607I, and TL610I are characterized for operation from  $-25^{\circ}\text{C}$  to  $85^{\circ}\text{C}$ , and the TL601C, TL604C, TL607C, and TL610C are characterized for operation from  $0^{\circ}\text{C}$  to  $70^{\circ}\text{C}$ .

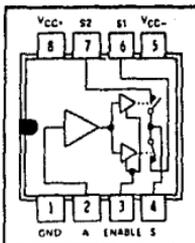
JG OR P DUAL IN-LINE PACKAGE (TOP VIEW)  
TL601



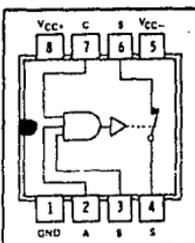
TL604



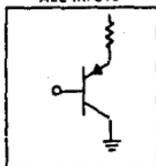
TL607



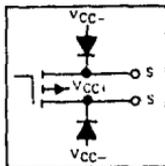
TL610



TYPICAL OF  
ALL INPUTS



TYPICAL OF  
ALL SWITCHES



Switch positions shown are for all inputs high.

TTL  
MSI

# TYPES SN54LS373, SN54LS374, SN54S373, SN54S374, SN74LS373, SN74LS374, SN74S373, SN74S374 OCTAL D-TYPE TRANSPARENT LATCHES AND EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOPS

BULLETIN NO. DL 5 12350, OCTOBER 1975, REVISED, JUNE 1979

- Choice of 8 Latches or 8 D-Type Flip-Flops In a Single Package
- 3-State Bus-Driving Outputs
- Full Parallel-Access for Loading
- Buffered Control Inputs
- Clock/Enable Input Has Hysteresis to Improve Noise Rejection
- P-N-P Inputs Reduce D-C Loading on Data Lines ('S373 and 'S374)
- SN54LS363 and SN74LS364 Are Similar But Have Higher  $V_{OH}$  For MOS Interface

'LS373, 'S373  
FUNCTION TABLE

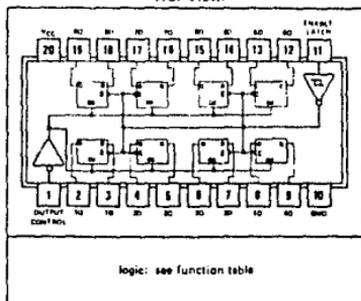
OUTPUT ENABLE	ENABLE LATCH	D	OUTPUT
L	H	H	H
L	H	L	L
L	L	X	$Q_0$
H	X	X	Z

'LS374, 'S374  
FUNCTION TABLE

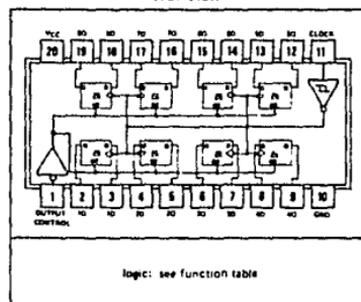
OUTPUT ENABLE	CLOCK	D	OUTPUT
L	↑	H	H
L	↑	L	L
L	L	X	$Q_0$
H	X	X	Z

See explanation of function tables on page 1 13.

SN54LS373, SN54S373... J PACKAGE  
SN74LS373, SN74S373... J OR N PACKAGE  
(TOP VIEW)



SN54LS374, SN54S374... J PACKAGE  
SN74LS374, SN74S374... J OR N PACKAGE  
(TOP VIEW)



## description

These 8-bit registers feature totem-pole three-state outputs designed specifically for driving highly-capacitive or relatively low-impedance loads. The high-impedance third state and increased high-logic-level drive provide these registers with the capability of being connected directly to and driving the bus lines in a bus-organized system without need for interface or pull-up components. They are particularly attractive for implementing buffer registers, I/O ports, bidirectional bus drivers, and working registers.

The eight latches of the 'LS373 and 'S373 are transparent D-type latches meaning that while the enable (G) is high the Q outputs will follow the data (D) inputs. When the enable is taken low the output will be latched at the level of the data that was set up.

# TTL MSI

## TYPES SN54LS138, SN54LS139, SN54S138, SN54S139, SN74LS138, SN74LS139, SN74S138, SN74S139 DECODERS/DEMULPLEXERS

BULLETIN NO. DL 17613RD4 DECEMBER 1972 REVISED OCTOBER 1974

- Designed Specifically for High-Speed: Memory Decoders Data Transmission Systems
- 'S138 and 'LS138 3 to 8-Line Decoders Incorporate 3 Enable Inputs to Simplify Cascading and/or Data Reception
- 'S139 and 'LS139 Contain Two Fully Independent 2-to-4-Line Decoders/ Demultiplexers
- Schottky Clamped for High Performance

TYPE	TYPICAL PROPAGATION DELAY (3 LEVELS OF LOGIC)	TYPICAL POWER DISSIPATION
'LS138	22 ns	32 mW
'S138	8 ns	245 mW
'LS139	22 ns	34 mW
'S139	7.5 ns	300 mW

### description

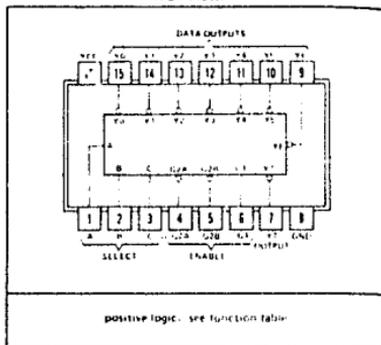
These Schottky clamped TTL MSI circuits are designed to be used in high-performance memory-decoding or data-routing applications requiring very short propagation delay times. In high-performance memory systems these decoders can be used to minimize the effects of system decoding. When employed with high-speed memories utilizing a fast-enable circuit the delay times of these decoders and the enable time of the memory are usually less than the typical access time of the memory. This means that the effective system delay introduced by the Schottky clamped system decoder is negligible.

The 'LS138 and 'S138 decode one-of-eight lines dependent on the conditions at the three binary select inputs and the three enable inputs. Two active-low and one active high enable inputs reduce the need for external gates or inverters when expanding. A 24-line decoder can be implemented without external inverters and a 32-line decoder requires only one inverter. An enable input can be used as a data input for demultiplexing applications.

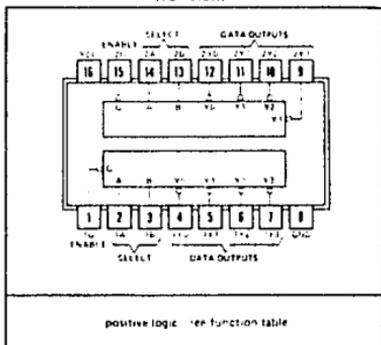
The 'LS139 and 'S139 comprise two individual two-line-to-four-line decoders in a single package. The active-low enable input can be used as a data line in demultiplexing applications.

All of these decoders/demultiplexers feature fully buffered inputs each of which represents only one normalized Series 54LS/74LS load ('LS138, 'LS139) or one normalized Series 54S/74S load ('S138, 'S139) to its driving circuit. All inputs are clamped with high performance Schottky diodes to suppress line ringing and simplify system design. Series 54LS and 54S devices are characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C. Series 74LS and 74S devices are characterized for 0°C to 70°C industrial systems.

SN54LS138, SN54S138... J OR W PACKAGE  
SN74LS138, SN74S138... J OR N PACKAGE  
(TOP VIEW)



SN54LS139, SN54S139... J OR W PACKAGE  
SN74LS139, SN74S139... J OR N PACKAGE  
(TOP VIEW)



TTL  
MSI

## TYPES SN54LS138, SN54LS139, SN54S138, SN54S139, SN74LS138, SN74LS139, SN74S138, SN74S139 DECODERS/DEMULPLEXERS

REVISION NO. D1, 111004, 11 SEPTEMBER 1977, REVISED OCTOBER 1976

- Designed Specifically for High-Speed: Memory Decoders  
Data Transmission Systems
- 'S138 and 'LS138 3-to-8-Line Decoders Incorporate 3 Enable Inputs to Simplify Cascading and/or Data Reception
- 'S139 and 'LS139 Contain Two Fully Independent 2-to-4-Line Decoders/Demultiplexers
- Schottky Clamped for High Performance

TYPE	TYPICAL PROPAGATION DELAY (3 LEVELS OF LOGIC)	TYPICAL POWER DISSIPATION
'LS138	22 ns	32 mW
'S138	8 ns	245 mW
'LS139	22 ns	34 mW
'S139	7.5 ns	300 mW

### description

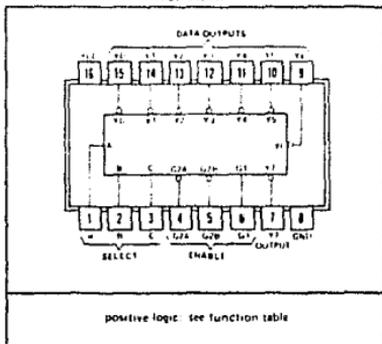
These Schottky clamped TTL MSI circuits are designed to be used in high-performance memory-decoding or data-routing applications requiring very short propagation delay times. In high-performance memory systems these decoders can be used to minimize the effects of system decoding. When employed with high-speed memories utilizing a fast-enable circuit the delay times of these decoders and the enable time of the memory are usually less than the typical access time of the memory. This means that the effective system delay introduced by the Schottky clamped system decoder is negligible.

The 'LS138 and 'S138 decode one-of-eight lines dependent on the conditions at the three binary select inputs and the three enable inputs. Two active-low and one active-high enable inputs reduce the need for external gates or inverters when expanding. A 24-line decoder can be implemented without external inverters and a 32-line decoder requires only one inverter. An enable input can be used as a data input for demultiplexing applications.

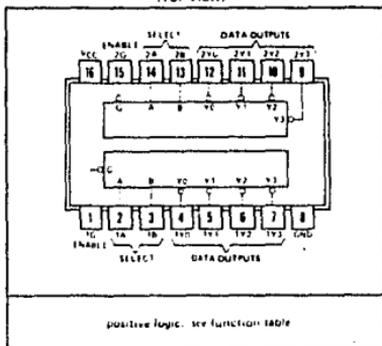
The 'LS139 and 'S139 comprise two individual two-line-to-four-line decoders in a single package. The active-low enable input can be used as a data line in demultiplexing applications.

All of these decoders/demultiplexers feature fully buffered inputs each of which represents only one normalized Series 54LS/74LS load ('LS138, 'LS139) or one normalized Series 54S/74S load ('S138, 'S139) to its driving circuit. All inputs are clamped with high-performance Schottky diodes to suppress line-ringing and simplify system design. Series 54LS and 54S devices are characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C. Series 74LS and 74S devices are characterized for 0°C to 70°C industrial systems.

SN54LS138, SN54S138... J OR W PACKAGE  
SN74LS138, SN74S138... J OR N PACKAGE  
(TOP VIEW)



SN54LS139, SN54S139... J OR W PACKAGE  
SN74LS139, SN74S139... J OR N PACKAGE  
(TOP VIEW)





# TYPES SN54LS240, SN54LS241, SN54LS244, SN54S240, SN54S241, SN74LS240, SN74LS241, SN74LS244, SN74S240, SN74S241 OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS

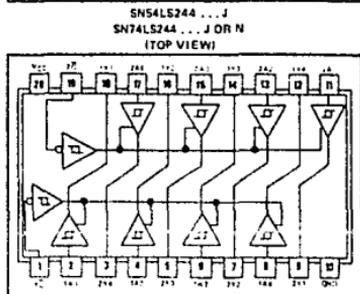
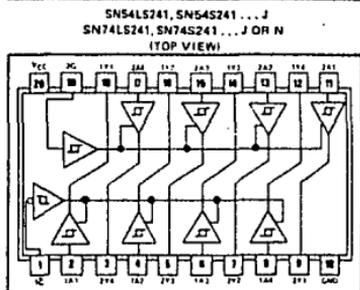
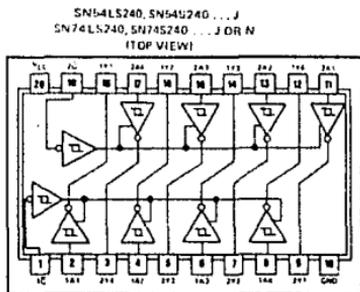
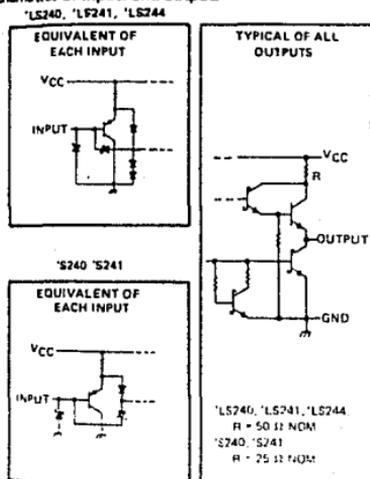
	Typical I <sub>OL</sub> (Sink Current)	Typical I <sub>OH</sub> (Source Current)	Typical Propagation Delay Times		Typical Enable/ Disable Times	Typical Power Dissipation (Enabled)	
			Inverting	Noninverting		Inverting	Noninverting
SN54LS*	12 mA	-12 mA	10.5 ns	12 ns	18 ns	130 mW	135 mW
SN74LS*	24 mA	-15 mA	10.5 ns	12 ns	18 ns	130 mW	135 mW
SN54S*	48 mA	-12 mA	4.5 ns	6 ns	9 ns	450 mW	538 mW
SN74S*	64 mA	-15 mA	4.5 ns	6 ns	9 ns	450 mW	538 mW

- 3 State Outputs Drive Bus Lines or Buffer Memory Address Registers
- p-N-P Inputs Reduce D-C Loading
- Hysteresis at Inputs Improves Noise Margins

## Description

These octal buffers and line drivers are designed specifically to improve both the performance and density of three-state memory address drivers, clock drivers, and bus-oriented receivers and transmitters. The designer has a choice of selected combinations of inverting and noninverting outputs, symmetrical G (active-low output control) inputs, and complementary G and  $\bar{G}$  inputs. These devices feature high fan-out, improved fan-in, and 400 mV noise margin. The SN74LS\* and SN74S\* can be used to drive terminated lines down to 133 ohms.

## Schematics of inputs and outputs



## **GLOSARIO**

---

---

**A**

**Actuador.** Es el dispositivo que recibe la señal del controlador para regular la potencia suministrada al elemento final de control.

**ADC.** Dispositivo que traduce señales analógicas continuas en señales digitales discretas proporcionales.

**Adquisición de datos.** Conjunto de operaciones encaminadas a la adquisición o recopilación de los datos necesarios para llevar a cabo un problema.

**Agente de Control.** Es el medio del proceso que al interactuar con el medio controlado, determina el comportamiento de la variable controlada.

**Alación.** Liga de dos metales por medio de la fusión.

**Angstrom.** Unidad de longitud igual a  $10^{-10}$  m., empleada para expresar la longitud de onda de la luz.

**B**

**Buffer.** Cualquier memoria destinada a retener información durante un tiempo determinado, hasta el momento de la transferencia

**Bus.** Trayectoria común de conducción o conjunto de trayectorias paralelas para la transmisión de señales (p.ej., bus de datos) o energía (p.ej., bus de alimentación). En general, las señales se envían por uno de los buses (una a la vez) de cualquiera de las diversas fuentes y son recogidas del bus por uno o varios receptores (algunas veces simultáneamente). En los sistemas electrónicos modernos, especialmente en los sistemas a base de microprocesador, la dirección de flujo de la señal en el bus puede ser unidireccional (una sola dirección) o bidireccional (en una determinada dirección durante cierto tiempo, y en la opuesta en otro lapso).

**C**

**Canal de Entrada/Salida.** Enlace físico que conecta a la unidad central con un dispositivo de entrada o de salida.

**Computadora.** Conjunto de elementos íntimamente relacionados, los cuales reciben datos de entrada (información), mismos que serán modificados de acuerdo a una secuencia ordenada de pasos de un cierto algoritmo prefijado, para obtener datos de salida o resultados útiles que le permiten al usuario tomar una decisión.

**Controlador.** Es el dispositivo que opera en base a la variable medida para mantener, corregir o limitar el valor de ésta conforme a un valor especificado.

**Control en Tiempo Real.** Operación de control efectuada por procedimientos externos, que se ejecutan simultáneamente a otros que se desarrollan en un sistema de cómputo. Característica de este equipo ha de ser una velocidad de operación suficiente para permitir controlar o ser controlado por dichos acontecimientos externos, pero que suceden concurrentemente.

**D**

**DAC.** Conversor en el que las señales digitales de entrada son transformadas en señales analógicas esencialmente proporcionales.

**Decodificador.** Matriz de elementos lógicos que selecciona uno o mas canales de salida dependiendo de la combinación de señales de entrada.

**Demultiplexor.** Separación de una entrada común en varias salidas.

**Devanado.** Alambre aislado y arrollado, de modo conveniente, utilizado en inductores y transformadores generalmente.

**Diagrama de Bloques.** Representación gráfica de las diferentes fases que componen un programa, sistema, instrumento o trabajo, y en la que cada una de las porciones seleccionadas se representa por rectángulos, círculos y otras

figuras simbólicas enlazadas por líneas de interconexión.

**Difractor.** Elemento capaz de desviar un rayo de luz..

**Direccionamiento.** Acción de asignar direcciones reales o simbólicas a unidades de información.

**Dispositivo de Entrada/Salida.** Unidad que acepta datos nuevos, los envía a la computadora para su procesamiento, recibe los resultados y los traduce a un medio utilizable.

**DMA. (Direct Memory Access).** Acceso Directo a Memoria. Proceso mediante el cual un dispositivo periférico llega a la memoria principal directamente, en vez de hacerlo a través de la CPU (Unidad Central de Procesamiento).

**DOS. (Disk Operating System).** Sistema Operativo de Disco.

## E

**Elemento Final de Control.** Es el dispositivo que actúa directamente sobre la variable manipulada para mantener el valor especificado de la variable controlada.

**Elemento Primario.** Es el elemento de medición que entra en contacto con el medio controlado para detectar la variable e inducir un efecto medible que la represente.

**Emulador.** Dispositivo que se conecta a un circuito prototipo bajo prueba, y sustituye al microprocesador. Por medio de él el diseñador puede controlar al prototipo.

**Ensamblador.** Programa que convierte un lenguaje máquina en forma mnemotécnica en un formato objeto binario para que pueda ser ejecutado por la computadora.

**Estator.** Parte estática de un motor.

## F

**Firmware.** Instrucciones para un programa de computadora que están permanentemente almacenadas dentro de la computadora (usual-

mente en ROM). Las instrucciones en firmware se distinguen de las instrucciones en software en que estas últimas deben ser alimentadas a la computadora en forma separada y del exterior.

**FEM.** Fuerza electromotriz.

**Fotoconductor.** Cualquier dispositivo conductor cuya corriente de salida varíe en forma proporcional a la cantidad de fotones que incidan en él.

**Fotodiodo.** Dispositivo fotoconductor compuesto por un diodo con una región sensible a la luz que responde a los fotones incidentes con cambios en la corriente a través de él.

**Foto SCR.** Es fotorectificador controlado de silicio fabricado con su región compuerta sensible a la luz, de manera que el dispositivo se active por medio de una señal luminosa interna o del exterior.

**Fototransistor.** Transistor fabricado con su región de base sensible a la luz y encapsulado en un contenedor que tiene una fuente luminosa interna o acepta el recibir la luz del exterior.

**FotoTRIAC.** Tiristor activado por una señal luminosa en su compuerta. Construido al conectar dos foto SCR (espalda con espalda); por ejemplo el ánodo del primer SCR al cátodo del segundo fotodiodo y viceversa.

## G

**Gauss.** Unidad de inducción magnética.

## H

**Hardware.** Componentes físicos, tangibles y permanentes de una computadora o de un sistema de proceso de datos.

**Hot Key.** Se denomina con este nombre a las teclas programadas con una función específica

## I

**Impedancia.** Resistencia aparente de un circuito a una corriente alterna.

**Inductancia.** Resistencia de una corriente inductiva.

**Ingeniería de Software.** Aplicación sistemática del conocimiento científico y tecnológico por medio de sólidos principios de ingeniería, a la producción de programas informáticos y a la definición de requerimientos, especificación funcional, descripción de diseños, implementación de programas y métodos de prueba que conducen al código.

**Interfase.** Término para especificar la frontera o punto de contacto entre dos partes de un sistema. En sistemas digitales usualmente con él se hace referencia al conjunto de puntos de conexión de señales que el sistema o cualquiera de sus componentes presenta al exterior.

## K

**K.** Unidad de memoria en los sistemas digitales. 1 K = 1024 que es la unidad binaria más cercana al número decimal mil.

## L

**Lenguaje de máquina.** Lenguaje formado por un conjunto de instrucciones codificadas en forma que son directamente interpretadas por una computadora.

**Lenguaje de Programación.** Lenguaje formado por un conjunto de símbolos y definido por una serie de reglas destinado a expresar un programa en forma comprensible por el sistema de cómputo.

## M

**Mandril.** Núcleo o base sobre el cual se realizan los devanados.

**Materia Prima.** Existen dos aspectos del concepto. La primera considera materias primas a todos los productos del sector primario (agricultura, ganadería, minería y pesca) en contraposición con los productos elaborados propios del sector secundario. La segunda considera materias primas a los productos, estén o no elaborados, que son susceptibles de una posterior transformación dentro del proceso productivo o de fabricación.

**Medio Controlado.** Es aquel en donde existe una condición o variable que es controlada.

**Medios de Medición.** Son aquellos elementos del esquema de control, que están involucrados en la determinación y comunicación de la variable controlada.

**Medios del Proceso.** Son los distintos entes energéticos o materiales que desempeñan una función específica.

**Modularidad.** Propiedad de flexibilidad funcional en la construcción de un sistema de computación por ensamblamiento de unidades discretas, que pueden ser fácilmente unidas o adaptadas a otras partes o unidades.

**Momento.** Es la suma de los productos elementales de las masas de cada elemento del cuerpo por el cuadrado de su distancia a este eje.

**Multiprocesamiento.** Dícese de la ejecución simultánea de dos o más secuencias de instrucciones en una computadora.

**Multiprogramación.** Consiste en ejecutar de una forma virtual varios programas al mismo tiempo, contando únicamente con un microprocesador. Un ejemplo de multiprogramación es el tiempo compartido.

## O

**Off-line.** Terminología utilizada para denominar a los sistemas que se encuentran fuera de línea.

**Optoacoplador.** Dispositivo que consta de un emisor de luz y un detector de luz, cada uno en circuitos separados aislados eléctricamente entre sí y acoplados sólo por medio del haz de luz entre el emisor y el detector.

**Oscilador LC.** Generador de oscilaciones eléctricas compuesto por un inductor y un capacitor.

## P

**Perturbación.** Es una señal que tiende a afectar adversamente el valor de salida de un sistema. Si la perturbación se genera dentro del sistema se le denomina interna, mientras que la perturbación

externa se genera fuera del sistema y constituye una entrada.

**Planta.** Es un equipo cuyo objetivo es realizar una operación determinada.

**Proceso.** Operación o desarrollo natural, progresivamente continuo, caracterizado por una serie de cambios graduales, que llevan de una operación a otra, de un modo relativamente fijo y que tienden a un resultado o final. También puede definirse como una operación artificial o voluntaria, progresivamente continua que consiste en una serie de acciones controladas, o movimientos dirigidos sistemáticamente hacia determinado resultado o fin.

**Programa Residente.** Programa que se encuentra en cualquier instante de tiempo dentro de la memoria RAM, y con solo ser invocado se tiene acceso a él.

**Programación Estructurada.** Uso de diseño de programas y técnicas de documentación que imponen una estructura uniforme en todos los programas de la computadora.

**Punto de Curie.** Es la temperatura a la cual un material pierde sus propiedades ferroeléctricas.

## R

**Reluctancia.** Resistencia de un circuito al flujo magnético.

**Reloj en Tiempo Real.** Reloj cuya función es registrar el transcurso de los tiempos reales. Este reloj puede ser puesto en funcionamiento y leído únicamente a través de instrucciones de programa.

**Rotor.** Parte móvil de un motor.

## S

**Señal Analógica.** Señal continua que puede ser medida y cuyas variaciones representan una información significativa. Por lo regular es una señal eléctrica que varía en amplitud y frecuencia en respuesta a cambios de sonido, luz, calor, posición o presión.

**Señal de Control.** Es la señal generada por el controlador, por medio de la cual indica al actuador las acciones que deben realizarse para asegurar el control.

**Señal Digital.** Señal discreta o discontinua.

**Set-point.** Punto de control o de referencia.

**Servomecanismo.** Sistema de control realimentado en el cual la salida es alguna posición, velocidad o aceleración mecánica.

**Simulación.** Es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y realizar experimentos con él para entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias (dentro de los límites impuestos por un criterio o por un conjunto de criterios) para la operación del sistema.

**Simulación Digital.** Representación de un sistema según un modelo aceptable para una computadora digital.

**Simulación en Tiempo Real.** Operación que ejecuta un simulador de un sistema, durante la cual se producen ciertos aspectos importantes, simultáneamente a los que ocurren en el sistema simulado.

**Sistema.** Conjunto de elementos íntimamente relacionados que involucran un conjunto de variables de entrada con un conjunto de variables de salida, de acuerdo a una cierta función preestablecida.

**Sistema de Adquisición de Datos.** Su objetivo es recopilar y registrar los datos en una forma adecuada para su procesamiento y/o presentación.

**Sistema Operativo.** Conjunto de rutinas encargadas de las operaciones de sistema de cómputo (carga situación en memoria, sucesión de operaciones, ensamblaje, compilación, etc). El sistema operativo, en cada caso, introduce automáticamente el programa apropiado.

**Sistemas de Control de Procesos.** Son sistemas de regulación automática, en los que la salida es una variable como temperatura, presión, flujo, nivel de líquido o PH, etc. El control de procesos tiene una amplia aplicación en la industria;

frecuentemente se usan en estos sistemas como controles programados como el de temperatura de un horno de calentamiento, en el que la temperatura del horno es controlada de acuerdo con un programa preestablecido.

**Sistemas de Control Realimentado.** Son aquellos que tienden a mantener una relación preestablecida entre la salida y la entrada de referencia, comparando ambas y utilizando la diferencia como parámetro de control.

**Sistemas de Regulación Automática.** Son sistemas de control realimentado, en los que la entrada de referencia o la salida deseada son constantes, o varían lentamente en el tiempo, y donde la tarea fundamental consiste en mantener la salida en el valor deseado a pesar de las perturbaciones presentes. Algunos ejemplos de este tipo de sistemas son el control de presión y de magnitudes eléctricas como corriente, tensión y frecuencia.

**Software.** Conjunto de programas y procedimientos que se incluyen en un equipo de tratamiento de datos y que hace posible la utilización eficaz del mismo. Lo integran las rutinas y programas de biblioteca, de ensamblaje, de utilización, los compiladores y los programas de aplicación.

**Spooler.** Programa que permite a varios usuarios compartir uno o más dispositivos periféricos.

## T

**TCP.** (Transmission Control Protocol) Protocolo estándar a nivel de transporte entre redes. Permite que un proceso que se está efectuando en una máquina envíe un flujo de datos a otro proceso que se encuentra en otra máquina. Con frecuencia se asocia el término TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) debido a que el protocolo Internet es uno de los dos más fundamentales en la transmisión de datos entre redes.

**Tiempo de Acceso.** Tiempo transcurrido entre la reclamación hecha por la unidad de control de un dato situado en memoria - o que ha de situarse en memoria - y el momento en que esta operación finaliza.

**Transductor.** En sentido general, un transductor es un dispositivo que transforma un efecto físico en otro. Sin embargo, en la mayoría de los casos, la variable física se transforma en una señal eléctrica, ya que ésta es la forma de señal más fácilmente medible.

## V

**Variable Controlada.** Es aquella variable o condición que por tener influencia notable en la operación de la planta es medida y controlada.