



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

ESTUDIO Y APLICACION DE LA COMPUTADORA DIGITAL ELECTRONICA A PROCESOS INDUSTRIALES

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A N
L U I S P E R E Z M I R A N D A
F I D E L A R T U R O L O Z A D A A G U I L A R
MEXICO, D. F. 1980



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO

Presidente	ING. JUAN BOSCO BOUE PEÑA
Vocal	ING. CARLOS DOORMANN MONTERO
Secretario	ING. ARTURO LOPEZ TORRES
1er. Suplente	ING. CARITINO MORENO PADILLA
2do. Suplente	ING. ALEJANDRO RAMIREZ GRYCUK

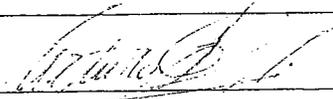
Sitio donde se desarrolló el tema: VARIOS

Nombre y firma de los sustentantes:

LUIS PEREZ MIRANDA

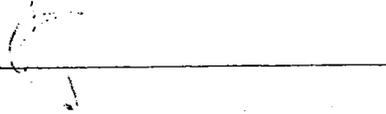


FIDEL ARTURO LOZADA AGUILAR



Nombre y firma del asesor:

ING. CARLOS DOORMANN MONTERO



Con cariño y agradecimiento

a mis padres

ROMAN PEREZ ALVAREZ

ANGELINA MIRANDA DE PEREZ

A mis hermanos

ROMAN

GERARDO

MARIO

A MI UNIVERSIDAD

A MI FACULTAD

A MIS MAESTROS

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS

Agradecemos la dirección, de
nuestro asesor del tema
ING. CARLOS DOORMANN MONTERO

I N D I C E

	Pág.
INTRODUCCION	1
CAPITULO I	
BREVE HISTORIA DE LA COMPUTACION Y LAS COMPUTADORAS	
1.1 Desarrollo Histórico de las Computadoras....	3
1.2 Las Máquinas de Babbage	9
1.3 El Algebra de Boole	10
1.4 La Tarjeta Perforada	11
1.5 La Computadora MARK 1	12
1.6 La Computadora ENIAC	13
1.7 La Computadora EDVAC	14
1.8 La Computadora UNIVAC	15
1.9 Las Computadoras de la Segunda Generación...	16
1.10 Las Computadoras de la Tercera Generación...	18
1.11 Las Computadoras de la Cuarta Generación....	19
CAPITULO II	
LA COMPUTADORA ELECTRONICA	
2.1 La Computadora Digital	21
2.2 Hardware y Software	45
2.3 Interfases de la Computadora en los Procesos Industriales	47
2.4 Clasificación de las Computadoras y su Apli- cación.....	54

CAPITULO III

CONTROL DE PROCESOS

3.1	Sistemas de control	69
3.2	Control de las Variables de Proceso	88
3.3	El Control por Computadoras	113
3.4	Software del Control de Procesos	142

CAPITULO IV

LA APLICACION DE LA COMPUTADORA EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES

4.1	La Computadora en el Diseño de las Plantas- de Proceso y en el Funcionamiento de las Plantas Integradas	168
4.2	Optimización	174
4.3	Simulación	179
4.4	Diseño de Procesos con Computadora	183
4.5	Evaluaciones Económicas	193

CONCLUSIONES	209
--------------	-----

BIBLIOGRAFIA	212
--------------	-----

I N T R O D U C C I O N

La preocupación de todo país, sea subdesarrollado, - en vías de desarrollo o desarrollado, es el hacer un uso - más adecuado de sus recursos naturales, con el objeto de - transformarlos en productos útiles para el hombre. El flujo entre materia prima o recurso natural y el producto terminado, representa un proceso, en el cual se dan seguramente varios pasos físicos y otros químicos. Para lograr esto de la mejor forma, es necesario contar con la tecnología - más adecuada.

X Uno de los más poderosos inventos que la ciencia y - la tecnología han puesto a nuestro alcance es la computadora electrónica. Y ha sido ésta el instrumento más complejo que ha creado el hombre y por muchas décadas permanecerá el más potente.

La ciencia de las computadoras y la tecnología de su

empleo son temas muy amplios y complejos, y lo son mucho -
más debido a una proporción de cambio extremadamente rápida.

Desde el inicio de su desarrollo se contemplaron rá-
pidamente una gran variedad de aplicaciones para la computa-
dora, pues sus características de rapidez en el proceso de
datos y obtención de resultados con un alto grado de confia-
bilidad hicieron de ella una de las herramientas más utili-
zadas como apoyo a algunos procesos científicos o adminis-
trativos que anteriormente eran difíciles o imposibles de -
realizar.*

En esta tesis se realiza un estudio de lo que las -
computadoras pueden contribuir en las plantas de proceso.

CAPITULO I

BREVE HISTORIA DE LA COMPUTACION Y LAS COMPUTADORAS

1.1 DESARROLLO HISTORICO DE LAS COMPUTADORAS

En 1954, una noticia importante fue la primera instlación de una computadora para fines industriales. Diez años después, el número de computadoras no militares estaba sobre 13 000, con un valor de cuatro mil millones de dólares. La computadora es la fuerza central de los cambios que han ocurrido en muchos campos, análisis numérico, dirección industrial y reintegración de información, para nombrar algunos cuantos. Es uno de los desarrollos más significativos de nuestro tiempo. Como tal, es un tópico de interés para todo el mundo.

El mayor incentivo para el desarrollo de las máqui -
nas computadoras ha sido siempre el de reducir el tiempo ne

cesario para realizar operaciones aritméticas y disminuir los errores en que con tanta frecuencia incurre el hombre al hacer cálculos, con objeto de que pudiera dedicarse al trabajo creativo. En la década de 1940 a 1950 se encaró, además, la creación de máquinas capaces de realizar secuencias de operaciones lógicas, aparte de las simplemente aritméticas, y con velocidad y exactitud suficientes para poder resolver problemas hasta entonces considerados prácticamente insolubles o cuya resolución exigía demasiado tiempo para intentarla siquiera.

Mientras que las computadoras modernas no se desarrollaron hasta fines de 1959, algunos desarrollos importantes anteriores fueron el álgebra de la lógica por George Boole, la tarjeta perforada por Herman Hollerith y la construcción del calculador por Aiken. También históricamente importante es Charles Babbage. Su trabajo no influyó directamente en el diseño de las primeras computadoras modernas, pero ciertas ideas básicas del programa almacenado se deben a este inventor del siglo XIX.

La primera generación de computadoras digitales utilizó tubos de vacío, como componentes electrónicos básicos en el diseño de las redes de lógica requeridas. Como resultado, el costo, volumen, consumo de fuerza, el retardo de lógica y la cantidad de fallas de cada red eran muy eleva-

dos comparados con las redes equivalentes semiconductoras de hoy. Desde la generación del tubo de vacío, se han sucedido dos generaciones de semiconductor electrónico y han contribuido grandemente a la realización de sistemas con bajo costo y consumo de fuerza, bajo volumen, alta velocidad y muy elevada fiabilidad. Los cambios son básicamente el resultado de una alta eficiencia de las técnicas de "fabricación en tanda" del semiconductor que permiten aplicar, automática y simultáneamente, procesos altamente controlados del material a un gran número de circuitos.

La segunda generación de computadoras electrónicas fue la primera que usó el transistor y los componentes de diodo del semiconductor. Estos elementos junto con las resistencias y condensadores necesarios se montaban sobre tarjetas de "circuito impreso" PC-Printed Circuit. La necesidad de ensamblar uno a uno cada componente para realizar los circuitos requeridos fue el factor principal que limitó su tamaño, costo y fiabilidad. El esfuerzo para integrar más de un simple circuito electrónico transistorizado se motivó por el costo potencial y el aumento en eficacia originados por la utilización efectiva de proceso de semiconductor en tanda. Los medios naturales de utilización de los procesos en tanda en aquel tiempo (1959) consistían en fabricar todos los elementos de circuito sobre una sola "celda" semiconductoras así como las interconexiones necesarias-

entre estos elementos. Durante algún tiempo estos circuitos estaban limitados por razones de proceso a simples "puertas" es decir, a circuitos de lógica sin memoria y "flip-flops" (circuitos de memoria binaria). Pero usando "integración", que fue hasta entonces un conjunto de componentes separados y alambres de interconexiones, se convirtió en una simple y pequeña porción (llamada "celda") de una "galleta" semiconductor. Este importante avance se consigue utilizando procesos de fabricación en tanda.

A medida que se han perfeccionado las técnicas, el equipo y el control de estos procesos, el porcentaje de circuitos en funcionamiento producidos o sea, el rendimiento, ha mejorado considerablemente. Como resultado, ha sido posible realizar la integración económica de funciones de circuitos cada vez más complejas en una sola celda semiconductor. El nivel de integración logrado en la segunda generación de computadoras se extendía tan sólo a la galleta de transistor o de diodo, mientras que en la tercera generación se consiguen realizar galletas con circuitos integrados.

Actualmente, se realizan integraciones de función complejas conocidas por los términos generales de integración de escala media MSI e integración en gran escala LSI. Esta cuarta generación de la electrónica aspira a la fabricación de funciones de lógica y memoria complejas en una so

la galleta MSI o arreglo LSI.

Antes de que se sucedieran estas generaciones de computadoras, mencionaremos como se han desarrollado las computadoras desde el ábaco (antigüedad), hasta nuestros días.

El Abaco (Antigüedad). El ábaco, en sus múltiples - formas conocidas, fue uno de los primeros dispositivos ideados para facilitar el cómputo o cálculo aritmético. Por lo general consiste en un bastidor de madera o metal con columnas de cuentas ensartadas en alambres. En la antigüedad -- los países asiáticos lo utilizaron con extraordinaria habilidad y rapidez para hacer sus cálculos.

Aunque no describiremos aquí el uso del ábaco conviene observar que se le puede emplear para realizar operaciones de suma, resta, multiplicación y división. El ábaco - constituye un ejemplo de máquina computadora digital. En - otros términos, tratase de un dispositivo para contar, más- que de un aparato para medir; es decir, cada cuenta vale - uno, independientemente de su tamaño o del desplazamiento - que sufre.

La regla de cálculo fue ideada por William Oughtred- en 1621. La regla de cálculo fue probablemente la primera- computadora analógica. Los números se representan en este-

caso como longitudes medidas sobre una escala, y esas longitudes se determinan por los logaritmos de los números. Por ejemplo, la multiplicación de dos números se practica sumando sus longitudes representativas. Debe destacarse que esta suma de longitudes, en lugar de la cuenta de objetos, lo que distingue fundamentalmente a esta sencilla computadora analógica de los dispositivos de cálculo digitales.

La calculadora mecánica de ruedas. Blaise Pascal desarrolló la primera sumadora mecánica del mundo en 1642. La calculadora de Pascal consistía esencialmente en un conjunto de ruedas dentadas engranadas entre sí, de las cuales la primera correspondía a las unidades, la segunda a las decenas, etc. Pascal usó discos divididos en partes en vez de usar cuentas ensartadas en alambres. El disco de diez partes puede compararse al alambre con diez cuentas ensartadas, formando un círculo con él hasta unir sus dos extremos. El disco representa un gran adelanto sobre el alambre con cuentas ensartadas, especialmente en lo relacionado con el acarreo. Para pasar del 9 al 0 en cualquier columna del ábaco es necesario que todas las cuentas de la columna sean colocadas en posición neutral y se agregue una cuenta de 1-unidad a la columna adyacente a su izquierda. En la máquina en que se emplean discos, todo lo que se necesita es que gire el disco una vuelta completa. Al moverse el disco a cero, se usa un eslabón mecánico que automáticamente causa un

movimiento de acarreo y mueve una unidad al disco adyacente a su izquierda.

Las calculadoras mecánicas modernas también usan discos. Los motores eléctricos los hacen girar a mayor rapidez, pero, a pesar de ello, el principio básico en que se apoyan las calculadoras modernas es el mismo usado por Pascal. Sin embargo se ha logrado una mejora importante como es la de usar energía eléctrica en vez de la energía manual, pero sigue la esclavitud de introducir individualmente los dígitos dentro de la máquina.

1.2 LAS MAQUINAS DE BABBAGE

Se admite generalmente que el primer paso importante en el desarrollo de las computadoras puede atribuirse al matemático inglés Charles Babbage. En 1812, empezó a trabajar en una "máquina de diferencias", diseñada para calcular e imprimir tablas matemáticas. Después de trabajar casi una década en la "máquina de diferencias", Babbage se interesó en un proyecto más ambicioso, la máquina analítica, un dispositivo que tenía muchas innovaciones de gran trascenden cia.

La máquina analítica, que diseñó y construyó parcialmente en 1830, sería la primera computadora digital comple-

tamente automática para fines generales. Incluía una unidad de memoria que almacenaría los datos en forma de perforaciones en tarjetas. Además, el dispositivo tenía un molino o unidad aritmética, en donde se efectuarían las computaciones matemáticas. Desgraciadamente, la máquina de Babbage parecía capaz de todo, excepto de funcionar. Probablemente se adelantó a su época; muchos de los problemas para construir un mecanismo, tal como el que tenía en mente Babbage, no fueron resueltos sino hasta un siglo después.

Babbage trabajó en su máquina analítica en sus últimos años de vida, pero murió sin que llegara a terminarla. Aunque la máquina analítica nunca se usó realmente, hay que darle crédito por la idea original, y por reconocer la clase de problemas que más adelante ocuparían los esfuerzos y el talento de dos generaciones de ingenieros. Se le considera como uno de los grandes precursores en el campo del cálculo.

1.3 EL ALGEBRA DE BOOLE

El matemático George Boole desarrolló, en 1854, un sistema para representar las proposiciones lógicas por medio de símbolos matemáticos. Con estos símbolos, y unas pocas reglas, podía determinarse si una proposición era, en sentido lógico, verdadera o falsa. Sus métodos no tuvieron

entonces amplia aceptación, pero constituyen en la actualidad la base de la capacidad lógica de las computadoras modernas.

Las redes de interruptores en una computadora pueden ser muy complejas, y la lógica de un programa complicado muy difícil de analizar. El álgebra booleana proporciona un método sistemático de representación y análisis.

1.4 LA TARJETA PERFORADA

Aunque no es un componente de la computadora electrónica, la tarjeta perforada se ha convertido en parte integral del procesamiento de datos que usa computadoras, y como tal debería mencionarse en una historia de computadoras. En 1745, un francés, Joseph M. Jacquard, diseñó un método para usar los agujeros en tarjetas para controlar la selección de hilos en diseños de ondas. Babbage adoptó la idea de las perforaciones en las tarjetas para entrada de los datos a la máquina analítica.

El creador de la tarjeta perforada moderna fue Herman Hollerith, en 1880. La tarjeta perforada se introdujo para estandarizar el registro de datos, a la vez que para proveer un medio simple de comunicación con las máquinas que procesan datos. En 1896, Hollerith organizó la Tabula-

ting Machine Company para fabricar y vender las máquinas y tarjetas. Esta compañía se mezcló con otras para convertirse posteriormente en la International Business Machines Corp. (IBM).

1.5 LA COMPUTADORA MARK I

Después de la muerte de Babbage en 1871, no hubo ningún adelanto importante en los cálculos automáticos sino hasta 1937 cuando el profesor Howard Aiken, de la Universidad de Harvard, se interesó en la combinación de algunos principios ya establecidos con las tarjetas perforadas que perfeccionaron Hollerith y Powers, para construir un mecanismo automático de cálculo.

En 1944, con la cooperación de IBM, se construyó una calculadora automática de control de secuencia llamada Mark I. Fue esencialmente un calculador mecánico. La máquina de Aiken se construyó basándose en el concepto de utilizar la información de las tarjetas perforadas como entrada, ejecutando los cálculos decimales con mecanismos electromagnéticos, y produciendo los resultados nuevamente en tarjetas perforadas. La secuencia de cálculos se controlaba con una cinta de papel ancha y perforada.

La computadora Mark I fue la predecesora inmediata

de las computadoras electrónicas automáticas. La máquina se adaptó para resolver varias clases de problemas para los ingenieros, físicos y matemáticos, y fue la primera que pudo resolver largas series de problemas aritméticos y lógicos.

Se considera que la computadora Mark I fue la primera computadora digital para fines generales que tuvo éxito, y actualmente está en exhibición en Harvard. Comparada con las computadoras actuales es muy lenta, pero todavía funciona.

1.6 LA COMPUTADORA ENIAC

La ENIAC (Siglas de Electronic Numerical Integrator-And Calculator) fue la primera computadora electrónica. En 1945 el doctor Mauchly y Presper Eckert diseñaron y construyeron la calculadora electrónica e integradora numérica ENIAC. Este proyecto fue entre la Universidad de Pennsylvania y el gobierno de los Estados Unidos.

La computadora ENIAC era totalmente electrónica porque no tenía más partes móviles que los equipos de entrada y salida. Se instaló en el campo de prueba de Aberdeen, en Maryland, y se usó hasta 1956, cuando se quitó y se instaló en la Institución Smithsonian.

La computadora Eniac era una máquina de gran tamaño, que contenía 18 000 tubos al vacío. Tenía una pequeña memoria de 20 acumuladores para almacenar datos. Los acumuladores consistían de tubos de vacío, conectados en pares, de modo que dos tubos representaran un dígito binario en el almacenamiento de la computadora. La máquina se programaba desde afuera, pero tenía capacidades internas de multiplicadora, divisora (que funcionaba también como una unidad para extracción de raíces cuadradas), y para tres tablas de funciones. La entrada y la salida se efectuaban con tarjetas perforadas.

1.7 LA COMPUTADORA EDVAC

La EDVAC (siglas de Electronic Discrete Variable Automatic Computer). Como resultado del ensayo del doctor Von Neuman, se construyó la computadora automática electrónica-discreta y variable. Era más pequeña pero más poderosa que sus predecesoras. Los números se representaban internamente en potencias de 2, o en lo que se llama sistema de numeración binaria.

Antes de la EDVAC, todos los programas se conectaban a mano por fuera, y de acuerdo con su diseño, nació la idea de la programación interna. En 1945 el doctor Von Neuman escribió el primer programa, una rutina interna de distribu

ción que consistía del ordenamiento de números en secuen --
cias ascendentes, tratando de probar que las computadoras po
dían utilizarse en proyectos de distinta naturaleza que la-
científica.

1.8 LA COMPUTADORA UNIVAC

La primera computadora comercial moderna fue la UNI-
VAC I (Universal Automatic Computer). A diferencia de sus-
predecesores, la UNIVAC se utilizaba para el tratamiento de
datos no científicos. La UNIVAC fue construida por Reming-
ton Rand, compañía fundada por Eckert y Mauchly. Utilizaba
la cinta magnética para la entrada y salida de datos, mien-
tras que las máquinas anteriores recurrían para estos fines
a las tarjetas o las cintas de papel perforadas, mucho más-
lentas. Además la UNIVAC fue la primera máquina capaz de -
aceptar y tratar o procesar datos alfabéticos a la vez que-
los numéricos.

El primer computador UNIVAC entró en operación en -
una oficina de censos en abril de 1951. La primera aplica-
ción para un negocio fue en 1954. El nombre de UNIVAC fue-
sinónimo de computadora durante unos cuantos años hasta que
IBM, que inicialmente sólo mostró un interés limitado en -
las computadoras, cambió de dirección y entró de lleno a es

te campo.

Las computadoras discutidas arriba son significati -
vas porque representaron nuevos e importantes conceptos en
el diseño de computadoras. Sin embargo otras computadoras -
se desarrollaron durante este período.

1.9 LAS COMPUTADORAS DE LA SEGUNDA GENERACION

No pasó mucho tiempo antes de que UNIVAC (división -
de Sperry Rand), IBM y otras grandes empresas acometieran, -
en franca competencia el desarrollo de una nueva serie de -
computadoras. El problema original, la construcción de una
computadora que funcionara, había sido ya resuelto. Pero -
esta primera generación de computadoras estaba muy lejos de
los perfeccionamientos actuales. Empleaban válvulas de va -
cío como componentes básicos de sus circuitos internos. Co
mo consecuencia de esto, las máquinas resultaban muy volumi
nosas, consumían mucha energía y producían tanto calor que
fue preciso establecer rígidos requisitos en cuanto al aire
acondicionado para proteger las piezas de la computadora y
mantenerla en funcionamiento. Las computadoras de la prime
ra generación no eran tan fiables como se había esperado, -
eran rápidas pero no lo suficiente, tenían capacidad de al
macenamiento interno pero no bastante. Las investigaciones
condujeron al desarrollo de computadoras basadas en la sus -

titución de las válvulas de vacío por transistores.

En 1948, Bell Laboratories desarrollaron el transistor. El transistor lleva a cabo la misma función que un tubo de vacío, pero es más pequeño y menos caro, casi no genera calor y requiere muy poca energía. El cambio fue tan decisivo que las máquinas de bulbos pasaron a ser las computadoras de la primera generación y las máquinas transistorizadas las computadoras de la segunda generación. El cambio de bulbos a transistores empezó con las computadoras militares en 1956 y con los comerciales en 1959.

Durante la segunda generación de computadoras se propusieron diseños que usaban componentes "discretos" (diodos individuales y transistores) como las partes semiconductoras básicas.

Así pues, durante la segunda generación se realizó un gran esfuerzo para diseñar circuitos básicos usando eficazmente los componentes electrónicos disponibles. En contraste, el diseñador lógico trabaja con un número reducido de tipos de circuitos lógicos (puertas y flip-flops), reduciéndose su labor a minimizar el número de circuitos lógicos y la realización de las funciones requeridas.

1.10 LAS COMPUTADORAS DE LA TERCERA GENERACION

En 1964, aparecieron en el mercado las primeras computadoras de la tercera generación. Ofrecen estas máquinas muchas ventajas en comparación con las anteriores, inclusive características que no se encontraban en las máquinas de la segunda generación.

El carácter distintivo de las máquinas de tercera generación es el empleo de microcircuitos lógicos de estado sólido, para obtener los cuales se han miniaturizado los conductores, resistores, diodos y transistores, combinándolos en placas cuadradas de cerámica de unos 12.5 mm de lado (módulos). Más recientemente, se emplean obleas (de menor tamaño) llamadas circuitos integrados monolíticos. Estos minúsculos circuitos permiten elevar considerablemente la velocidad operacional y esta mayor velocidad, a su vez, permite acometer la realización hasta entonces imposibles o irrealizables.

Los circuitos de la computadora se forman entonces de un arreglo de módulos montados en tarjetas. Cuando un módulo falla se puede reemplazar en segundos. Se usan dos técnicas para módulos miniatura. Estos son la tecnología de lógica sólida para producir un paquete miniatura y la creación de circuitos integrados de material semiconductor.

La tecnología de lógica sólida monta transistores -- delgados y pequeños y diodos hechos de silicón en una base de cerámica y los conecta con un circuito impreso. El módulo completo se monta luego en plástico.

Otro intento de microminiaturización es el circuito-integrado que está formado por el crecimiento controlado de una estructura de cristal. Esta estructura se comporta de la misma manera que un circuito hecho de varios elementos - conectados, pero es más pequeña y más rápida. La ruta es - hacia el uso de circuitos integrados monolíticos en las computadoras de la tercera generación.

1.11 LAS COMPUTADORAS EN LA CUARTA GENERACION

El extenso uso de circuitos integrados en la tercera generación de computadoras redujo la labor de los diseñadores de circuitos a garantizar la compatibilidad eléctrica - entre circuitos calculando sus retardos, márgenes de ruido, temperaturas de junta, etc. Así pues, la tarea laboriosa - de seleccionar, comprobar e interconectar componentes dis-cretos en circuitos se reemplazó con la integración completa y el empaquetaje de circuitos fabricados en tanda. Ac - tualmente, se está imponiendo un nivel superior de integración denominado generalmente LSI, integración a gran escala. Dicha integración ofrece "arreglos" de circuitos interconec

tados completamente como partes semiconductoras básicas para construir sistemas.

El impacto de LSI en el diseño de sistemas digitales comprende ambas tareas, la de arquitectura de sistemas y la de diseño de lógica.

Ahora ya se piensa en términos de una cuarta generación de computadoras. Pero los expertos en el área están ligeramente divididos respecto a la arquitectura de los sistemas de gran escala del futuro. Sin embargo, los logros que se obtengan con la arquitectura de los sistemas futuros, deberán como ya se ha hecho hasta ahora, usar inteligente y eficazmente los recursos que se ofrezcan.

C A P I T U L O I I

LA COMPUTADORA ELECTRONICA

2.1 LA COMPUTADORA DIGITAL

Estrictamente hablando una computadora es cualquier dispositivo de cálculo. El nombre se deriva del latín "computare", que significa contar o computar, y se puede aplicar con la misma propiedad a un ábaco o a una máquina sumadora y también al computador moderno. Sin embargo, el término "computadora" significa un tipo especial de dispositivo de cálculo con ciertas características definidas.

Entendemos por computadora digital electrónica una máquina de alta velocidad capaz de admitir y almacenar datos e instrucciones, procesar o tratar aquéllos de acuerdo con estas últimas, y producir los resultados de esta elaboración en un formato útil y casi automáticamente.

Examinemos esta definición con el objeto de calibrar exactamente su significado.

Alta velocidad. Las velocidades (tiempos) asociados con el tratamiento o proceso de datos se miden en milisegundos, microsegundos o nanosegundos.

Admisión de datos e instrucciones. La computadora - procesa los datos de acuerdo con las instrucciones. Durante este proceso, los datos y las instrucciones deben conservarse en el almacenamiento o memoria de la máquina para ser utilizados en el momento oportuno.

Instrucciones. Los datos se procesan según las instrucciones dadas a la máquina. La lista de instrucciones - dadas a la máquina (para ejecutar un trabajo) constituye lo que se llama un programa.

Resultados. Los resultados producidos por la computadora forman la salida.

Funcionamiento automático. La computadora procesará los datos del caso, conforme al programa, de la "inicialización" (operaciones preliminares) una vez que el operador la ponga en funcionamiento. Después, es usual que se ejecuten todas las instrucciones del programa sin otra intervención-

del operador. La operación manual, incluso la inicializa -
ción, se realiza mediante los controles agrupados en la con
sola de la computadora.

Las computadoras han sido llamadas "cerebros gigan -
tes" y "máquinas pensantes" en parte porque son capaces de
ejecutar secuencias de operaciones lógicas y aritméticas --
con gran velocidad y extremada precisión y de tomar decisio
nes aparentemente instantáneas. Pero las decisiones de la
computadora no son las suyas propias. Es el programa, y --
por lo tanto el programador; el que indica a la computadora
qué decisión tomar cuando se dan ciertas circunstancias. El
programador es el que piensa; la computadora se limita a --
cumplir órdenes. Y es necesario decirle paso a paso lo que
tiene que hacer.

Sistemas de Tiempo Real. Sistema de computación en
tiempo real es aquél en que la información (los datos) pue
den procesarse con rapidez suficiente para que los resulta
dos puedan ser empleados para la corrección del proceso que
se esté considerando.

Proceso en tiempo compartido. Es el sistema de cóm
puto que permite a múltiples usuarios operar o usar un sis
tema en una forma simultánea o aparentemente simultánea, --
de tal manera que cada uno de los usuarios es inconsciente-

del hecho de que el sistema es usado por otros al mismo -- tiempo. Un sistema de este tipo puede estar constituido - por una sola computadora central y un número indefinido de terminales, desde los cuales los usuarios pueden pasar distintos programas, todos al mismo tiempo.

LA UNIDAD CENTRAL DE PROCESO. La unidad central de procesamiento (CPU, del inglés, Central Processing Unit), -- es el corazón de un sistema de procesamiento electrónico de datos, controla y gobierna todo el sistema. La unidad central de procesamiento sirve para:

1. Seleccionar de la memoria instrucciones.
2. Decodificar las instrucciones elegidas.
3. Obtener los datos necesarios de la memoria.
4. Realizar las operaciones lógicas, aritméticas o de - entrada y salida especificadas en las instrucciones.
5. Almacenar los resultados de estas operaciones.
6. Controlar la secuencia según la cual se eligen las - instrucciones.

La unidad central de procesamiento contiene varios - elementos funcionales que incluyen registros, decodificadores y sumadores.

Un registro es un dispositivo capaz de recibir datos,

almacenarlos y transferirlos como lo indican los circuitos de control. Una de las funciones de estos registros consiste en contener los resultados de las operaciones lógicas y aritméticas.

Ciertos registros almacenan los datos, mientras que los circuitos relacionados los analizan. Por ejemplo, una instrucción puede estar contenida en un registro, en tanto que los circuitos de decodificación asociados con él determinan la operación que se va a efectuar y localizan los datos que se van a utilizar. Los registros se nombran de acuerdo con su función.

Cada instrucción incluye un código de operación para indicar adición, lectura, bifurcación, etc., y, asociados con cada código de operación, hay unos circuitos determinados para realizar la operación indicada.

ALMACENAMIENTO. El almacenamiento en la computadora se puede clasificar en tres formas: interno, auxiliar y externo. Los dispositivos más comúnmente empleados y las características de cada tipo son las siguientes:

Almacenamiento interno. El almacenamiento interno se denomina comúnmente almacenamiento principal o primario. Este tipo de almacenamiento es una parte física integral de

Las computadoras y está controlado directamente por la máquina. En esta forma, los datos de almacenamiento interno son accesibles en forma automática a la computadora. Para que sean accesibles, cada símbolo de los datos debe almacenarse en una localidad identificable. Un grupo secuencial de localidades de almacenamiento suministra espacio para una unidad de datos llamada palabra. Cada palabra consiste en un cierto número de dígitos o caracteres y puede tener una longitud fija o variable, según la computadora. Cada localidad se identifica por una dirección.

El almacenamiento principal acepta datos de una unidad de entrada, intercambia datos y suministra instrucciones a la unidad de procesamiento central y proporciona datos a la unidad de salida. El almacenamiento principal es con frecuencia temporal porque en la mayoría de las aplicaciones comerciales sólo una parte de los datos se coloca a la vez en el almacenamiento principal mientras está siendo procesada. El procedimiento usual en las operaciones de computadoras es el de almacenar los datos que se van a computar en un dispositivo auxiliar o de almacenamiento externo: transferir porciones de los datos al almacenamiento interno o de trabajo, procesarlos y devolverlos después al almacenamiento externo o auxiliar. Este procedimiento se repite hasta que se han procesado todos los datos.

En la actualidad se utilizan dos tipos principales - de almacenamiento primario: núcleos magnéticos y películas delgadas magnéticas.

Núcleos magnéticos. La memoria de núcleos magnéticos es la de uso más común como memoria principal. La memoria de este tipo consiste en centenares de miles de pequeños anillos de material magnetizable, cada uno de los cuales es aproximadamente del tamaño de la cabeza de un alfiler.

Estos núcleos están ensartados en alambres conductores y forman un conjunto ordenado. Cuando por esos alambres pasa una corriente eléctrica, los núcleos afectados se magnetizan en un sentido (o polaridad) determinado por la dirección de la corriente. La magnetización en uno de los sentidos posibles se asocia con el 1 binario; la magnetización en el otro sentido, con el 0 binario. De ahí que se diga que cada núcleo representa un dígito binario (o bit).

Los núcleos magnéticos están ordenados formando planos de tal modo que sólo es posible detectar un anillo de cada plano cada vez. Pero la unidad básica de memoria de las computadoras de la tercera generación es el octeto (o carácter), que comprende ocho bits. Por tanto, para representar un octeto se necesitan ocho núcleos, y para el alma-

almacenamiento de datos en octetos son precisos ocho planos de núcleos. Dos octetos consecutivos forman una semipalabra. Cuatro octetos forman una palabra.

La memoria de núcleos magnéticos es la forma de almacenamiento más rápida (ciclos de memoria del orden de varios centenares de nanosegundos) y compacta entre las de uso corriente. Aunque también es la más costosa, esta desventaja se compensa porque su velocidad extraordinaria permite realizar más operaciones en menos tiempo.

A causa del elevado costo de la memoria de núcleos, los sistemas de proceso de datos incluyen casi siempre dispositivos de almacenamiento auxiliares, o directamente conectados con la máquina. Estas memorias, más económicas, resultan excelentes cuando es muy grande el volumen de datos que hay que manipular y cuando no es necesario el acceso extremadamente rápido a todos los datos o programas a la vez. Algunas de estas memorias auxiliares se utilizan directamente, mientras que otras transfieren los datos a la memoria interna para que se procesen en ésta con más rapidez.

Películas magnéticas. Las funciones de almacenamiento en películas magnéticas son similares al almacenamiento en núcleos. Sin embargo, en lugar de núcleos individuales-

colocados en alambres, la película magnética se construye de elementos mucho más pequeños en una forma diferente. Un tipo de película magnética, conocida como película plana, consiste en depósitos planos muy delgados contruidos con una aleación de níquel y hierro. Estos puntos metálicos es tán conectados por alambres ultradelgados y montados en una base de vidrio o plástico.

La forma compacta de la película delgada permite reducir aún más el tiempo de acceso (a algunos nanosegundos) a la vez que constituye un tipo de memoria principal más se gura. En algunas computadoras, la memoria principal consta de núcleos y de película delgada.

Almacenamiento auxiliar. El almacenamiento auxiliar suplementa al almacenamiento principal de una computadora y generalmente guarda cantidades mucho mayores de datos. Los dispositivos de almacenamiento auxiliar pueden guardar desde varios cientos de miles hasta varios cientos de millones de caracteres de datos en forma secuencial o aleatoria, dependiendo del sistema.

Las trayectorias de datos a dispositivos de almacena miento auxiliar se hallan siempre conectadas al almacena miento primario.

El almacenamiento en núcleos magnéticos y en películas magnéticas, que son dos de los dispositivos de almacenamiento principal descrito en la sección previa, se pueden usar también para almacenamiento auxiliar. Además, se dispone de otros cuatro dispositivos; discos magnéticos, tambores magnéticos, tarjetas y tiras magnéticas (almacenamiento en masa) y cinta magnética.

Discos Magnéticos. La memoria de discos magnéticos consiste esencialmente en una serie o conjunto de discos metálicos magnetizables montados en un eje vertical. Las cabezas de lectura-escritura, montadas sobre brazos de acceso van situadas entre los discos.

En funcionamiento, los discos giran en torno de su eje a velocidad constante, y los brazos de acceso se desplazan hasta llevar las cabezas a la posición adecuada para leer o escribir datos en uno u otro de los discos. En realidad, en cada brazo hay dos cabezas, una para leer el disco de arriba (la cara inferior), otra para el disco de abajo (la cara superior). Los datos se registran en forma de puntos magnéticos en las pistas concéntricas y sin surcos de cada disco. El número de pistas puede llegar a ser de 500 en cada cara del disco.

Un fichero de discos magnéticos puede contener 25 o

más discos, con una capacidad total de más de 100 millones de octetos o caracteres. El tiempo de acceso es inferior a 200 milisegundos y la velocidad de transferencia es superior a 150 000 octetos por segundo.

También se han desarrollado memorias de discos en las que hay una cabeza fija de lectura-escritura para cada pista. Se obtiene de este modo un tiempo de acceso de unos 25 milisegundos y velocidades de transferencia de casi 400 000 octetos por segundo, al moverse solamente el disco.

También existen unidades de discos en las que éstos son intercambiables. Uno de estos tipos de unidades tiene solamente seis discos con una capacidad de más de siete millones de caracteres. El tiempo medio de acceso es de 75 milisegundos y la velocidad de transferencia supera los 150 000 octetos por segundo.

Tambor Magnético. Aunque el tambor magnético se usó tiempo atrás como memoria principal, en los sistemas modernos su papel queda relegado al de memoria auxiliar. Para ser utilizados por la computadora, los datos y programas almacenados en el tambor magnético son transferidos de antemano a la memoria principal.

Trátase de un tambor de acero revestido con una capa

de material magnético. Cada área magnetizada de la superficie del tambor representa un binario; cada área no magnetizada, un cero binario. El tambor se divide en canales o pistas, cada uno de los cuales está en correspondencia con una cabeza fija de lectura-escritura. Los canales están a su vez divididos en sectores. El tambor gira permanentemente a velocidad constante y la lectura o escritura se produce en el momento en que el sector especificado de un canal determinado pasa debajo de la cabeza correspondiente a ese canal. La escritura da lugar a la magnetización de unos puntos, dejando otros sin magnetizar. La lectura se reduce a conocer si el área está o no magnetizada.

Almacenamiento en masa. Las tarjetas y las tiras magnéticas ofrecen las ventajas del almacenamiento en discos aunada a la capacidad de almacenar una mayor cantidad de datos a menor costo por byte. En este medio los datos se registran magnéticamente en pistas o canales sobre la superficie de tarjetas o tiras.

Se pueden almacenar varios cientos de tira en una celda o cartucho desmontable. Varios fabricantes producen unidades impulsoras de almacenamiento en masa, que pueden contener desde una hasta diez celdas a la vez y almacenar desde 125 000 000 hasta más de 500 000 000 de bytes.

La capacidad de almacenar una gran cantidad de datos en línea, hace que estos dispositivos estén adecuados en forma ideal para archivos muy grandes que tendrán un volumen de transacciones relativamente bajo. Las unidades de almacenamiento en masa pueden tener acceso desde terminales remotas.

Cinta Magnética. Uno de los dispositivos más comunes para el registro de información (datos y programas) es la cinta magnética, que se utiliza como medio de entrada y salida, y memoria secundaria.

La cinta es de material plástico revestido de partículas magnéticas, que pueden ser magnetizadas (polarizadas) en dos sentidos. Un sentido de polarización se asocia con el 1 binario, el otro con el 0. Cada carácter se representa en forma de columna de bits. Así, en una cinta de nueve canales cada carácter contiene nueve bits.

El carrete de cinta magnética se monta en una unidad o bobinador para efectuar la lectura o grabación de datos. La lectura se hace con el fin de transferir datos desde la cinta a la memoria interna de la computadora. Esto se hace examinando las áreas magnetizadas y copiándolas en la memoria principal o interna. La lectura es no destructiva; es decir, no destruye el registro existente en la cinta. La

estructura es la transferencia de datos registrados en la memoria principal de la cinta. Si existía algún registro anterior en la porción de la cinta en que se escribe ese registro se borra precisamente antes de escribir el nuevo.

Los datos se leen o escriben a medida que la cinta pasa por un conjunto de lectura-escritura, que comprende una cabeza de lectura-escritura por cada canal o pista. La ejecución de una orden de lectura o escritura da por resultado la lectura o escritura de uno o más registros de datos.

La cinta magnética se puede clasificar como almacenamiento auxiliar o externo, dependiendo de las circunstancias. Los registros activos de cinta montados en las unidades de lectura y escritura de cintas se consideran como almacenamiento auxiliar durante el tiempo en que están a, y controlados por, la computadora. Sin embargo, cuando los registros inactivos de cinta se quitan de las unidades de lectura-escritura de cinta y se almacenan, se clasifican como almacenamiento externo.

Almacenamiento Externo. Las instalaciones de almacenamiento externo suministran un medio de conservar la información antes o después de haber sido procesada por la computadora. Aunque el almacenamiento externo contiene datos en forma adecuada para introducirlos a la computadora, el dis-

positivo de almacenamiento no es una parte integral de la computadora. De hecho, el almacenamiento externo ni siquiera está bajo el control de la computadora, a menos que el medio que contiene los datos se traiga en contacto directo con el sistema de computación.

Dos de los dispositivos de almacenamiento auxiliar, tarjetas o tiras magnéticas y discos magnéticos, se pueden clasificar como almacenamiento externo, si los elementos de almacenamiento se quitan de las unidades impulsoras y se consideran como inactivos.

Los medios más comunmente usados para el almacenamiento externo son los que se usan también para fines de entrada-salida, e incluyen tarjetas perforadas, y cintas magnéticas. Aunque fueron diseñados originalmente para otros fines, estos sistemas suministran un medio efectivo de almacenar y transcribir grandes cantidades de datos.

UNIDAD DE CONTROL. La unidad de control dirige las operaciones de la computadora de acuerdo a instrucciones programadas. Determina que, cuando, y como la computadora deberá llevar a cabo cada operación.

La unidad de control coordina toda la actividad de la computadora, incluyendo lo siguiente:

1. Control de los dispositivos de entrada-salida.
2. Entrada y recuperación de información de almacena -
miento.
3. Transmisión de la información entre el almacenamien-
to y la sección aritmético-lógica.
4. Dirección de las operaciones aritmético-lógicas.

La ejecución de estas operaciones requiere un amplio número de "rutas" sobre las que se envían datos e instruc -
ciones. El transportar datos sobre las rutas adecuadas, -
del circuito, el abrir y cerrar las "puertas" adecuadas en-
el tiempo preciso y el establecer la secuencia de tiempo, -
son las funciones más importantes de la unidad de control.-
Todas estas operaciones están bajo el control de un progra-
ma almacenado.

UNIDAD ARITMETICA. La unidad aritmética efectúa el-
procesamiento actual de los datos, incluyendo la adición, -
sustracción, multiplicación y división. Esta unidad efec -
túa también ciertas operaciones lógicas tales como la compa
ración de dos números para ver si uno de ellos es menor que
otro o para ver si son iguales. En esta forma, la computa-
dora puede tomar decisiones simples.

Como se indicó previamente, la mayoría de las compu-
tadoras, son igualmente eficientes para procesar problemas-

de negocios o problemas científicos. Para satisfacer ambas necesidades, las computadoras deben ser capaces de manejar campos de datos de longitud fija y de longitud variable. Deben ser capaces también de cuatro clases de operaciones: - Aritmética de punto fijo, aritmética de punto flotante, a - aritmética decimal y operaciones lógicas. La aritmética decimal se asocia generalmente con las operaciones comerciales, mientras que las aritméticas de punto fijo y punto flotante se usan generalmente en aplicaciones científicas y de ingeniería. La selección del método a emplear está a la - discreción del programador y se identifica en las instruc - ciones del programa.

Las manipulaciones aritméticas de los datos, que se denominan generalmente operaciones lógicas, constituyen una porción substancial de la tarea de computación actual. Las operaciones lógicas se utilizan para extraer, agrupar en ca tegorías, transformar, reacomodar y editar los datos. Las operaciones se consideran en grupos que poseen funciones si milares.

UNIDADES DE ENTRADA Y SALIDA. La comunicación con - el sistema de procesamiento de datos se logra por medio de un dispositivo de entrada-salida encadenado directamente al sistema. Los datos se introducen al sistema por medio de - un mecanismo de entrada que es detectado o leído conforme -

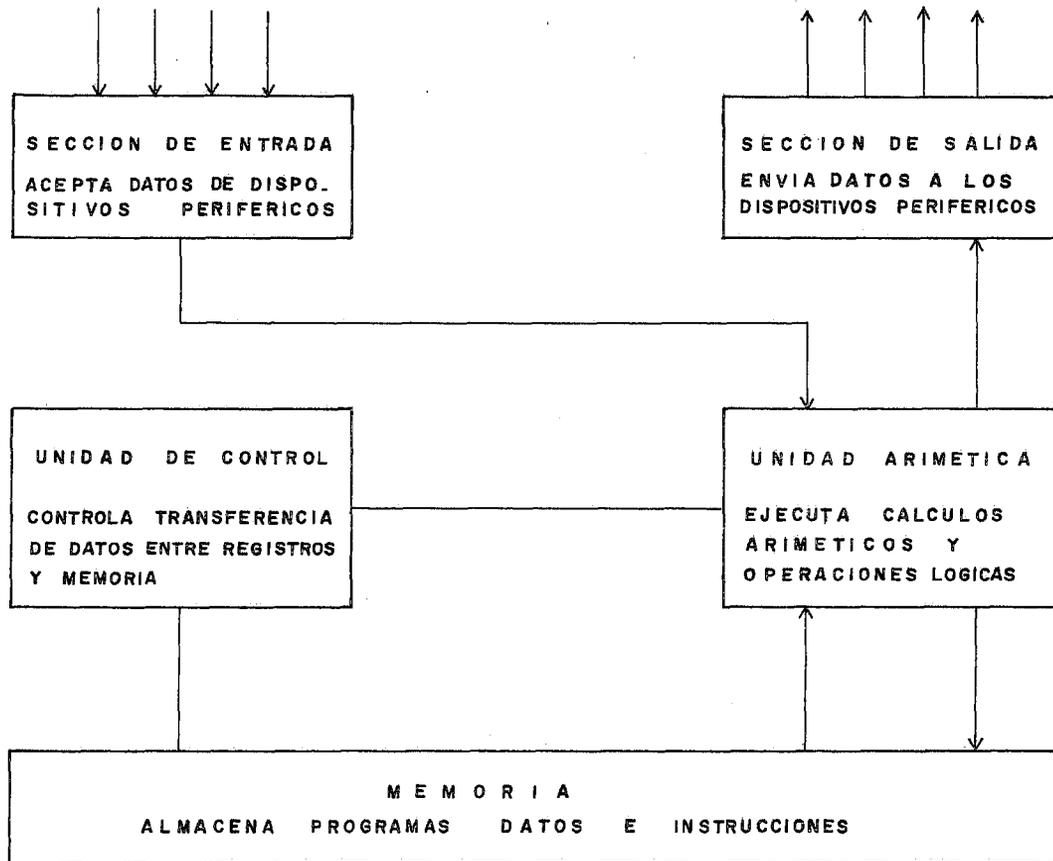


FIG. 2.1 ESTRUCTURA BASICA DE LA COMPUTADORA

pasa por un dispositivo de entrada. La información se convierte a una forma utilizable por el sistema y se transmite al almacenamiento principal. En forma similar, la salida - involucra el convertir datos procesados del almacenamiento principal a una forma o lenguaje compatible con un medio de salida y a registrar los datos a través de un dispositivo de salida.

Como la computadora es un dispositivo electrónico y - las unidades de entrada-salida son fundamentalmente dispositivos de entrada-salida encadenado directamente al sistema. Los datos se introducen al sistema por medio de un mecanismo de entrada que es detectado o leído conforme pasa por un dispositivo de entrada. La información se convierte a una forma o lenguaje compatible con un medio de salida y a re registrar los datos a través de un dispositivo de salida.

Como la computadora es un dispositivo electrónico y - las unidades de entrada-salida son fundamentalmente dispositivos electromecánicos, la computadora es capaz de operar a velocidades mucho más rápidas. Para permitir que la máquina opere lo más cerca posible de su máxima capacidad, la - transferencia de datos entre los dispositivos de entrada-salida y la unidad de almacenamiento principal se efectúa generalmente en forma independiente por medio de un intermedio diario conocido como canal.

El canal de entrada-salida y las unidades asociadas de control y conexión suministran la detención (almacenamiento temporal), coordinación y transferencia de datos de entrada-salida.

Todos los dispositivos estándar de entrada-salida tienen ciertas características comunes. Son máquinas auxiliares conectadas a la computadora bajo el control de la unidad del procesamiento central. La mayoría de los dispositivos de entrada-salida son automáticos; una vez que arrancan, continúan operando conforme los dirige el programa almacenado.

Se puede usar más de una forma de entrada y salida, y se pueden combinar diferentes formas. Por ejemplo, se pueden usar como entrada tarjetas perforadas o cinta magnética. La forma específica de entrada y salida depende de la consideración del sistema de computación y de las funciones que han sido diseñadas.

Además de los dispositivos estándar de entrada-salida, el uso de dispositivos lejanos como unidades de entrada-salida está surgiendo como una técnica importante. Se incluyen en esta categoría aparatos registradores de transacciones, teletipos y unidades de presentación visual. Aunque pueden estar lejos de la computadora, estos dispositi-

vos se pueden operar en línea; es decir, pueden transmitir datos sobre instalaciones de transmisión estándar directamente a cada computadora, conforme se registran en el punto de origen.

Lectoras y perforadoras de tarjetas perforadas. La tarjeta perforada es un medio de comunicación versátil que se puede perforar, verificar, reacomodar, intercalar y reproducir por medio de equipo de tarjetas perforadas. Puede ser también leído o perforado por ciertos dispositivos auxiliares de computación. Las mayores desventajas de las tarjetas perforadas son el límite de las cantidades de datos que pueden ser conservados en una sola tarjeta y la velocidad relativamente baja de transferencia de datos de las lectoras y perforadoras de tarjetas. Aun así, las tarjetas perforadas son una fuente importante de datos para las computadoras, así como un medio útil de almacenamiento exterior.

Las velocidades de lectura de las tarjetas varían de 100 a 2 000 tarjetas por minuto, y las velocidades de perforación varían de 100 a 300 tarjetas por minuto.

Unidades de cinta magnética. Una sola unidad transportadora de cinta magnética puede efectuar las funciones de entrada-salida. En cualquiera de esos casos, la cinta -

magnética tiene una de las mejores velocidades de transferencia de datos respecto a la velocidad de manejo de la unidad central de procesamiento en comparación con cualquier medio de entrada-salida o cualquier medio de almacenamiento auxiliar que no sean dispositivos de almacenamiento de acceso directo.

La cinta magnética puede contener una gran cantidad de datos en una forma compacta, fácil de borrar, y de disponibilidad inmediata. La cinta es relativamente barata, puede tolerar muchas condiciones de almacenamiento, y se puede utilizar durante más de 50 000 pasadas a través de la unidad de lectura y escritura de cinta.

La cinta magnética suministra un buen medio de almacenar información necesaria para corridas particulares de la computadora. Esta puede incluir programas, tablas y datos necesarios para la solución de problemas. La cinta magnética se puede usar también para almacenar grandes archivos de datos. Aunque estamos interesados fundamentalmente en el uso de la cinta magnética para fines de entrada-salida, se debe observar que sirve también como medio importante de almacenamiento auxiliar.

Impresoras. Las impresoras son los dispositivos de salida más comunes. Esto es lógico, desde luego, porque --

una página impresa es fácil de leer y de conservar como medio de consulta.

Hay muchos tipos diferentes de impresoras, pero la mayoría de ellas corresponden a las impresoras por caracteres y a las impresoras por líneas. Las impresoras por ca racteres imprimen un carácter por vez, como si se tratara de una máquina de escribir eléctrica de gran velocidad. Las impresoras por líneas, en cambio, imprimen una línea com pleta cada vez, por lo que resultan mucho más rápidas.

Terminales de teletipo. Otro tipo de dispositivo en línea capaz de comunicación con la computadora es la terminal de teletipo. Estos dispositivos de máquinas de escribir pueden ser conectados por cable al sistema de computación. Las unidades remotas se pueden conectar también a la computadora por medio de una gran variedad de técnicas de transmisión de datos. Las terminales de máquina de escribir se pueden usar para preguntar en un archivo de datos bajo el control de la computadora. También pueden recibir datos en viados bajo control de la computadora en respuesta a órde nes de la terminal o a instrucciones de la máquina.

Estaciones de exhibición. Las estaciones de exhibición son similares en su operación a las terminales de má quinas de escribir, excepto que en lugar de suministrar co-

pias impresas, estos dispositivos muestran los datos en la cara de un tubo de rayos catódicos. Las estaciones de exhibición son preferibles a las terminales de teletipo cuando no se requieren copias impresas. Como ocurre con las terminales de teletipo, los datos pueden ser introducidos por el teclado y enviados a la computadora.

Una de las ventajas de las situaciones de exhibición es que los datos teclados pueden ser verificados y comprobados en la pantalla antes de transmitirlos a la máquina.

Otra ventaja de las estaciones de exhibición a base de tubos de rayos catódicos es que pueden mostrar diagramas, dibujos, gráficas y bosquejos. Antes se requería que los usuarios de la computación convirtieran los dibujos a coordenadas numéricas para ser introducidos a la máquina y a convertir las columnas de respuestas numéricas a dibujos o gráficas para comprenderlos.

Los gráficos o los datos pueden también ser modificados por medio de un lápiz luminoso. El lápiz de luz tiene dos usos: el señalar diferentes partes de la pantalla, y el dibujar. Al señalar, el operador puede indicar a la computadora qué partes diagrama debe borrar o desplazar. El dibujo se logra por medio de un programa de localización. Para mover el extremo de una línea, el operador señala el

extremo y oprime el botón de "mover". La computadora sigue el curso del lápiz y vuelve a dibujar la línea de acuerdo - con la localidad cambiante de éste.

El tubo de rayos catódicos da una respuesta inmediata y puede utilizarse conectado a distancia o remotamente - con una computadora.

2.2 HARDWARE Y SOFTWARE

Ahora veremos dos términos que se utilizan en todos los sistemas de computadoras y son: El hardware y el software.

Hardware. El hardware es el término que se utiliza para el equipo, o sea para las partes mecánicas, eléctricas y electrónicas de un sistema de computadora.

Software. El software es todo lo que necesita el hardware con objeto de que el sistema de control de la computadora funcione, o sea los programas, que son una parte esencial de los sistemas de computación.

Básicamente existen dos orígenes del software. Los fabricantes de computadora generalmente suministran - ciertos paquetes de programa con el sistema de la computado

ra. Algunos de estos son generalmente incluidos en el precio básico del sistema. Otros pueden ser comprados a opción del usuario. En uno u otro caso este software es denominado software suministrado por el vendedor.

Puesto que el software suministrado por el vendedor es generalmente útil en muchas aplicaciones, cada usuario requerirá ciertos programas específicos para su propia instalación. El usuario tiene la opción de escribir su propio software o comprarlo.

Para un sistema de control por computadora, el software requerido está dividido en las siguientes categorías:

1. El sistema de operación, monitor o ejecutivo. Este software supervisa o dirige la operación del sistema de control de la computadora, lista programas para ejecución, transfiere programas del disco al centro. Este paquete generalmente es disponible del fabricante de computadoras.
2. Paquetes de software de soporte. Incluye compiladores, cargadores, compiladores de discos, rutinas de diagnóstico. La mayoría de estos son disponibles del vendedor.
3. Programas aplicados. Estos están directamente -

involucrados con la implementación de la estrategia de control seleccionado. La mayoría de estos son aportados por el usuario, aunque algunos pueden ser disponibles por parte del vendedor.

2.3 INTERFASES DE LA COMPUTADORA EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES

Para que el proceso funcione correctamente la computadora debe recibir datos del proceso y mandar otros datos al proceso. Los datos involucrados generalmente se encuentran dentro de las siguientes categorías:

1. Señales continuas (datos analógicos)
2. Datos discretos en dos niveles
3. Pulsos

Estas categorías se aplican a datos de entrada y de salida. La figura 2.3.1 ilustra un arreglo típico para la lectura de los valores análogos del proceso. Estas señales pueden ser clasificadas como siguen:

1. Señales de bajo nivel, generalmente consideradas para cuyos valores de voltaje son menores de 100 microvolts (μv), se reciben de termopares, termómetros de resistencia-medidores de compresión o tensión, etc.

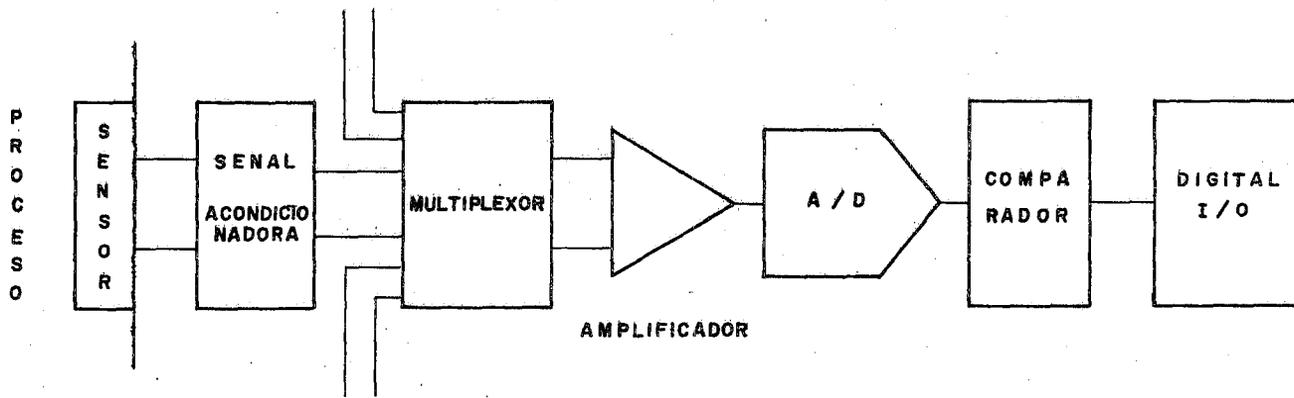


FIG. 2.3.1 SISTEMA DE ENTRADA ANALOGA

2. Señales de alto nivel, generalmente consideradas para cuyos valores de voltaje es más grande que 100 micro - volts, estas señales provienen de transductores los cuales tienen algún tipo de amplificador.

Debido a la popularidad de los termopares para la medición de temperaturas, las señales de bajo nivel son comúnmente encontradas en los sistemas de control de proceso. Estas señales son susceptibles a la distorsión, por lo cual requiere especiales precauciones.

ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL. Cuando la salida del transductor es una señal de voltaje, la señal del acondicionador generalmente consiste de un filtro RC. Pero si la salida del transductor es otra a una señal de voltaje, la señal acondicionadora generalmente la transforma en un voltaje antes de entrar al multiplexor.

MULTIPLEXOR. El multiplexor suministra el mecanismo por el cual una de varias señales es conectada al convertidor analógico digital por medio del amplificador. Para señales de alto nivel se utilizan multiplexores electrónicos de estado sólido, con muestreos mayores de 10,000 puntos por segundo. Para señales de bajo nivel se utilizan relays de mercurio, pues la distorsión en el efecto de campo de los transistores no puede ser tolerado. La relación de muestreo

para estos últimos es de aproximadamente 200 puntos por segundo. Los multiplexores tienen de 32 a 2048 puntos de entrada, y su muestreo es secuencial.

AMPLIFICADORES. La función del amplificador es "escalar" la señal del proceso (+ o -) con la del convertidor-analógico digital, típicamente 15 volts. Algunos sistemas utilizan un amplificador de ganancia fija, en el cual los circuitos divisores de voltaje a menudo aparecen en la señal acondicionadora, en otros sistemas un amplificador de ganancia programable permite a la computadora especificar cual de varias ganancias disponibles debe ser usada. Esta última alternativa suministra más flexibilidad, pero el amplificador es más costoso y también requiere más datos de salida.

CONVERTIDOR ANALOGICO DIGITAL. El convertidor analógico digital, transforma una señal análoga a una señal digital (discreta). La resolución del convertidor analógico digital está relacionado al número de bits en la salida digital por la ecuación: Resolución = $1/2^n - 2$. Donde n es el número de bits.

El tiempo para que la salida digital del convertidor analógico digital alcance un valor constante después de que fue aplicada una nueva señal se llama tiempo de asentamien-

to.

La salida de datos al proceso es generalmente hecha por una de las siguientes tres formas:

1. CONVERTIDOR DIGITAL ANALOGICO. Este aparato convierte la señal digital en una señal analógica. Usualmente se utiliza un multiplexor para obtener varias salidas de un convertidor digital analógico (D/A). Utiliza un "hold" para retener el valor entre muestras. La tendencia económica favorece al convertidor digital analógico.

2. GENERADORES DE PULSOS. Los cuales generan el número de pulsos especificados por la computadora. En la mayoría de los sistemas los pulsos tienen amplitud y duración predeterminada. La salida de estos generadores de pulso es usualmente utilizada como mando en servomotores.

3. CONTACTOS DE CIERRE. Aquí sólo se suponen dos - estados, on ó off, son utilizados para arrancar o parar bombas, motores etc. Además sirven para obtener pulsos de duración variable.

Para ilustrar el uso de un convertidor digital analógico, consideremos la posición de una válvula o un set point para un controlador análogo. Aquí los puntos importantes -

a considerar son:

1. Ya que la mayoría de las válvulas son neumáticas, se requiere de un transductor de corriente a neumático (I/P).

2. La salida de un convertidor digital analógico puede ser mostrada si el operador puede averiguar fácilmente la posición de la válvula.

3. Como la salida es la actual posición de la válvula, es suministrado el mecanismo necesario y la computadora puede leer la posición inicial de la válvula.

En las computadoras para control de procesos es muy importante el equipo de conversión analógico digital y digital analógico. Estas conversiones hacen posible la aplicación de la computadora en operaciones de control de sistemas muy complicados.

COMPARADOR. El comparador le quita trabajo a la unidad central de procesamiento evitando que se distraiga haciendo tareas que pueden ser ejecutadas por fuera. Compara la señal de entrada con una señal límite (alta o baja). Los comparadores resultan muy útiles en sistemas que tienen muestreos secuenciales y que tienen canales de acceso directo de memoria, pues guardan los datos en localidades preasig

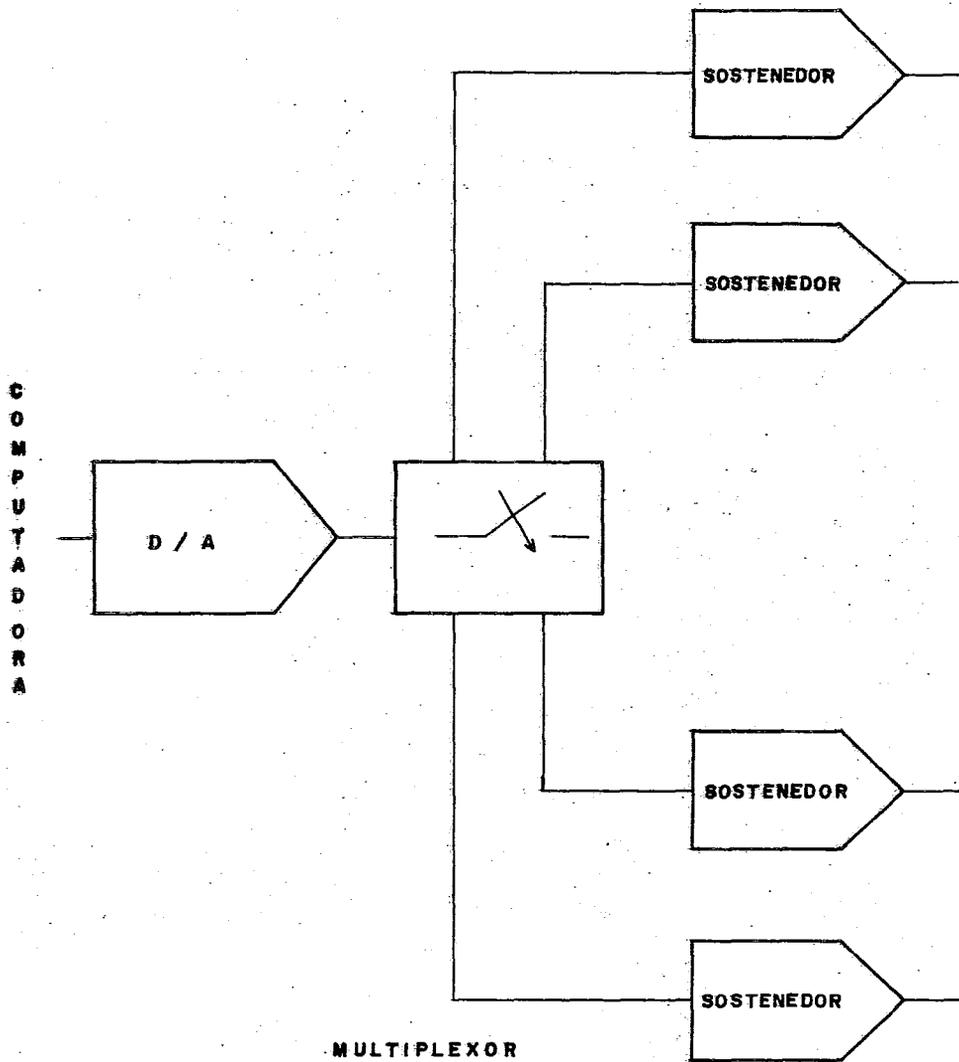


FIG. 2.3.2 SALIDA DE UN CONVERTIDOR DIGITAL ANALOGICO

nadas de memoria. Si la señal sale de los límites (altos o bajos) se le llama la atención al CPU a través de una interrupción.

La salida de dispositivos tales como tacómetros y medidores en turbinas es usualmente en forma de pulsos. Aunque la computadora puede contar pulsos, esto consumiría tiempo de CPU, por lo que se utiliza contadores de pulsos externos. La unidad central de procesamiento carga algún registro con el número de pulsos contados por el contador.

2.4 CLASIFICACION DE LAS COMPUTADORAS Y SU APLICACION

Dentro de la industria de los procesos químicos (Producción y actividades de ingeniería). Hay una amplia imagen de las computadoras usadas el rango es desde unidades muy simples capaces de deberes limitados, a sistemas muy complejos capaces de poner en marcha a una planta completa.

Que dirección tomar en la automatización de la industria de los procesos químicos. La facilidad a menudo depende en los grados de automatización deseados, y que tipos básicos de operación están siendo considerados. El control digital por ejemplo, deberá hacerse mejor en un tipo de computadora diferente, de una de las usadas para calcular nóminas y costos.

DEFINIENDO NUESTROS TERMINOS. Antes que podamos discutir las ventajas de las diferentes clases de computadoras disponibles deberemos definir los términos que vamos a usar. A menudo, estos términos significan diferentes cosas para la gente en las diferentes industrias.

Una computadora para PROPOSITO ESPECIAL. Es una que no es fácil reprogramar. Tales computadoras generalmente tienen un programa automático no cambiabile. Generalmente son destinadas para una tarea repetitiva específica, y puede ser analógica o digital.

Una computadora HARD WIRED. Es invariablemente siempre para propósitos especiales. En el lenguaje de la industria de las computadoras "hard wired", significa una computadora cuyas instrucciones han sido guardadas en forma de circuitos alambrados, leyendo solo memorias, o ambos. Estas instrucciones no pueden ser cambiadas por programación; los componentes tienen que ser físicamente cambiados para poder cambiar las funciones de la máquina.

Una computadora para PROPOSITO GENERAL. Es una que es relativamente fácil reprogramar. Todas estas funciones dependen del programa que ha sido puesto en la memoria de la máquina. Porque no funcionará dependiendo directamente de circuitos específicos.

La operación de la máquina puede ser cambiada rápidamente y completamente, con sólo leer un nuevo programa. Las computadoras de propósitos generales pueden ser usadas también de manera dedicada o de multifunción, dependiendo de la sofisticación de su software.

Una computadora FUERA DE LINEA. Es una que procesa datos, en algunas veces esto es después y sin relación a los eventos que crearon los datos. Tales datos generalmente son preparados por personas, por conversión a una memoria intermedia tal como por medio de tarjetas perforadas, cintas, etc. Los dispositivos periféricos de una computadora fuera de línea, después de ser cargados, pueden entonces aceptar los datos por esta forma intermediaria y transferirlos dentro de la computadora. Los periféricos en fuera de línea de los sistemas de computadora generalmente tienen las características de estar siendo comandados por el mismo programa de la computadora. Ejemplo: Cuando el programa está listo puede comandar una unidad de cinta para registrar una cantidad predeterminada de datos y entonces pararlos. Cuando tiene la salida lista puede comandar el impresor para empezar la operación. Un punto esencial aquí es que la computadora fuera de línea maneja y procesa datos en un rango y tiempo conveniente, para una mejor eficiencia de la misma computadora, para la operación de procesos de datos, donde trabajos tales como cálculos de ingeniería, gene

ración de reportes y nóminas son corridas consecutivamente o en tanda.

Una COMPUTADORA EN LINEA. Es la que está conectada directamente a un instrumento, una máquina, o algo similar que nos origina datos. Los significados de la palabra "en línea", es que los datos están siendo alimentados directamente a una computadora y están siendo generados. (Más bien que siendo enviados por pasos intermediarios, como lo es en un sistema fuera de línea). En estos sistemas, la computadora debe ser capaz de aceptar y enviar datos como sea requerido por eventos y operaciones que son de la parte externa, que generalmente no son controlados por el programa.

Una computadora en TIEMPO REAL, puede aceptar datos en línea y procesa datos de manera que proporciona resultados en suficiente tiempo para controlar la operación o proceso concerniente.

Dependiendo de las aplicaciones, hay varios grados de respuesta y requerimientos para sistemas de tiempo real. Y si nosotros hablamos acerca de un sistema monitor computarizado, es un sistema de tiempo real si puede presentar datos procesados y datos de operación para el operador del proceso. Así como suceden eventos en el proceso, también

el operador puede tomar acción oportunamente. La respuesta para eventos de tiempo real en este caso pueden ser medidos en términos de segundos o minutos.

En sistemas de control digital directo, los requerimientos de respuesta en una computadora de tiempo real son en el orden de segundos o fracciones de segundos, a fin de mantener el control del proceso. En ocasiones los requerimientos de respuesta en tiempo real son en el orden de mili segundos, como es en el caso del control de dirigibles.

Una computadora DEDICADA, (o de propósito especial). Es la que está asignada para un sólo propósito. Esto es, es programada para satisfacer sólo una función. Esto puede ser una simple o compleja tarea. Y la computadora puede ser usada para cualquier propósito especial o propósito general.

Ejemplos en que una computadora puede ser dedicada - puede incluir control digital directo, control y análisis - de datos de instrumentos químicos analíticos, computación - de tiempo compartido, o control de un sistema transportador, dedicando la computadora a un propósito general para una ta rea, generalmente minimizará la complejidad del software y permitir el uso eficiente de memoria y de velocidad. Así - en muchos casos esta computadora permitirá el uso de siste-

mas más pequeños de computadoras y menos costosos.

Una computadora MULTIFUNCIONAL, es una cuyo hardware y software son capaces de ejecutar diferentes aplicaciones u operaciones, más bien que restringirlo a algo específico, como es el caso de la computadora dedicada.

En algunos casos, las más sofisticadas máquinas multifuncionales con capacidades de tiempo real guardan concurrentemente monitor de instrumentos, y soluciona múltiples problemas de ingeniería siendo conectadas a varias terminales remotas, mientras pueden simultáneamente ejecutar operaciones convencionales de procesos batch en base de la más baja prioridad.

En una computadora multifuncional todos los programas para las diferentes operaciones tienen que ser acumuladas en el trabajo o almacenarse en la memoria y estar disponible para la ejecución o para el programa del sistema de operación. Este es un programa maestro que distribuirá los recursos de la computadora y llama al programa correcto para que entre en acción dependiendo del tiempo real. Esta es una de las grandes características del programa del sistema de operación que determina los recursos de la computadora que pueden ser efectivamente compartidos en los usos de multifunción. Sin embargo alcanzando la gran versatili-

lidad para multifunción o tiempo compartido, estos sistemas de operación generalmente requieren y consumen grandes cantidades de los recursos de la computadora. Ellos requieren el uso de procedimientos de entrada y salida muy estilizados y contiene claramente un alto nivel de programación general para el manejo de funciones. Como una consecuencia es generalmente factible implementar estos tipos de operación de sistemas sólo en computadoras grandes o medianas. Los requerimientos sofisticados en los sistemas de operación es en algunos casos reducir la capacidad de respuesta de tiempo real.

Con estas definiciones en mente, podemos discutir los diferentes tipos de computadoras y sus características en términos de su funcionamiento, tamaño físico y tamaño electrónico.

COMPUTADORAS PEQUEÑAS. Una computadora pequeña generalmente tiene una longitud de palabra corta, esto es, el número de elementos binarios (bits) son manejados como entidades discretas de 8 a 16 bits. Esta definición incluye a la computadora hardwired y la computadora de propósito general. Ellas tienen generalmente pequeña memoria de trabajo, por lo regular de 4,000 a 30,000 palabras y son generalmente usadas en un rango especial en las aplicaciones de la industria de los procesos químicos.

Siendo "pequeña" no implica que una computadora sea necesariamente lenta. En efecto, una computadora pequeña - puede tener ciclos de tiempos y velocidades computacionales iguales a las grandes computadoras. Los límites de una computadora pequeña son tales como la sofisticación de su conjunto de instrucciones, la precisión de datos y cálculos, y que en algunas ocasiones es para un solo propósito en especial. El tamaño de centro de memoria puede usarse efectivamente y el número de dispositivos periféricos se hacen prácticos al unirlos. Estas restricciones a menudo se relacionan a la facilidad de programación y al tamaño de los datos base con el cual la computadora puede tratar.

COMPUTADORAS MEDIANAS. Una computadora mediana tiene una longitud de palabra de 16 a 24 bits. Estas máquinas son casi exclusivas para computadoras de propósito general con la posible excepción de algunas aplicaciones militares y aeroespaciales. Una computadora mediana puede manejar 32, y 64,000 palabras en la configuración de su centro de memoria. A menudo tienen multiprogramación y conjuntos de instrucciones moderadamente sofisticados, permitiendo efectuar más de un tipo de operación simultáneamente, puede manejar una gran cantidad de dispositivos periféricos y grandes trayectorias de datos.

En la industria de los procesos químicos, las compu-

tadoras medianas frecuentemente son usadas en la clase de las semidedicadas. Por ejemplo una podría controlar procesos con multiunidades complejas por funcionamiento de varias funciones concurrentes, tales como analización, monitoreo de alarmas, cálculos de optimización y control digital-directo. Alternativamente, la máquina puede llevar a cabo menos demandas en funciones en línea mandando suficiente capacidad adicional para permitir lo máximo en capacidades. De este modo puede hacer del tiempo real una prioridad de funciones tales como de monitoreo y control, mientras lleva a cabo concurrentemente otras operaciones, conocidas como funciones de fondo, tales como compilación, ensamblación y depuración de nuevos programas.

Las computadoras medianas son usadas en la industria de los procesos químicos en su mayoría en el control de procesos, aplicaciones donde la flexibilidad de la programación a través de los programas en línea el desarrollo es satisfactorio, o en laboratorios donde diferentes tipos de instrumentación o máquinas tienen que ser manejadas de una manera flexible.

COMPUTADORAS GRANDES. Una computadora grande tiene un tamaño de palabra base de 24 a 36 bits, y puede disponer de centros de memoria muy grandes, por muy grande significa de 130,000 a 150,000 palabras, o más, de memoria de trabajo.

Esta es una máquina de propósito general; y en ciertos casos sistemas de hardware y software son a menudo empleados de una manera multifuncional. Una computadora grande generalmente está organizada para manejar una gran cantidad de equipo periférico, tal como cintas magnéticas, discos e impresoras. Tiene software muy eficaz, permitiendo una fácil generación de programas.

Varias tareas pueden ser manejadas simultáneamente por una computadora grande. Tal máquina es generalmente para propósitos generales de procesamiento de datos; por ejemplo procesos en tanda, funciones tales como reportes de contabilidad, o complejos cálculos científicos, en funciones de tiempo compartido, tales como control remoto de terminales en línea, y en funciones de tiempo real tales como instrumentos de adquisición de datos.

APLICACIONES DE LA COMPUTADORA PEQUEÑA. Las mayores aplicaciones de la computadora chica son en operaciones dedicadas. Tales computadoras son frecuentemente dedicadas para funciones tales como adquisición de datos de proceso, control del *st point*, reducciones en línea de instrumentos analíticos lectores en los laboratorios químicos y laboratorios básicos, o cálculos ingenieriles.

La computadora chica es la que más conviene para es-

tas funciones. Es una máquina de bajo costo, con una gran velocidad de cálculo permitiendo inmediatamente el tiempo real o en línea para tomar datos generados por un proceso o instrumento, puede funcionar en el lugar de un experimento, así permitiendo el control de señales o datos reducidos para hacerlos aprovechables en el sitio inmediatamente. Siendo algo portátil puede cambiarse de un lugar a otro para conexiones en línea relativamente inmóviles o incorporarla completamente a la estructura de instrumentación.

En el caso de una computadora de propósito general con frecuencia es posible tener varios programas que permitan a la computadora ser dedicada al separar tiempos para diferentes tipos de instrumentación. Esto significa que, por ejemplo, una computadora chica en un laboratorio podría ser usada al mismo tiempo para control cromatográfico y para trabajos de resonancia magnética nuclear en otras ocasiones.

También si una computadora chica es conectada a un circuito de monitor que está transmitiendo datos suficientemente complejos excluye un detallado análisis por la pequeña máquina, puede reunir y con parcialidad procesar los datos, reduciéndolos a una forma que permitirá a una computadora grande de afuera completar los cálculos. Con frecuencia la computadora chica puede preparar datos "predigeri --

dos" en papel o en cinta magnética para ser leídos en las grandes computadoras para análisis fuera de línea. También es posible para la computadora chica ser conectada a una computadora grande a través de líneas de comunicación por un intercambio directo de información, como discutiremos más tarde.

Las computadoras pequeñas tienen ciertas limitaciones que debemos tener presente. Una computadora pequeña es optimizada por un determinado costo, del cual resulta una pequeña memoria, pequeños conjuntos de instrucciones, funcionamiento limitado en comparación con las grandes máquinas y una limitación en el tipo y número de dispositivos periféricos que podría manejar. Estas limitaciones hacen que la programación se dificulte más aquí que en las grandes máquinas; el tamaño y complejidad de los problemas que las minicomputadoras pueden manejar por sí mismas son restringidas. Programando y conservando la lógica matemática pueden presentar algunos problemas si un número de estos sistemas son extendidos exteriormente en posiciones remotas. También debido a que la computadora ha limitado capacidades deberá tomarse fuera de línea si se desea cambiar el programa o acondicionar nuevas unidades.

APLICACIONES DE LA COMPUTADORA MEDIANA. En la industria de los procesos químicos las computadoras medianas son

usadas principalmente para el control de procesos y controladores. Su capacidad es suficientemente grande en comparación con la computadora pequeña, así las funciones de fondo, tales como el desarrollo y cálculos de funcionamiento de programas en línea son posibles. En un laboratorio químico una computadora mediana puede manejar diferentes tipos de instrumentos analíticos al mismo tiempo. Y aunque la computadora mediana no es pequeña o ligera como la computadora chica, generalmente es designada para ser usada directamente en un sitio, más bien que conectarla a instrumentos por líneas de comunicación.

Una computadora mediana también tiene limitaciones, aunque es más completa que una computadora pequeña económicamente no es posible para programas lineales muy grandes, grandes manipulaciones en línea y en los casos en donde se necesita compilar una gran cantidad de lenguajes. También tiene limitaciones prácticas en cuanto al tamaño de los datos base, y puede limitar otros usos tales como el manejo de datos de gran escala y generación de reportes.

APLICACIONES DE LA COMPUTADORA GRANDE. La computadora grande tiene mucho más capacidad que las computadoras chicas o medianas. Es capaz de resolver largos y complejos problemas conteniendo muchas variables, tal como el control de una planta, cálculos de programación lineal, cálculos del

diseño para toda una planta, y para procesos de optimiza --
ción. Con frecuencia es usada en la industria de los proce --
sos químicos para la generación de reportes de contabilidad,
inventarios, funcionamiento de la planta y producción de --
costos.

Además puede resolver problemas transmitidos de va --
rias terminales de tiempo compartido localizadas en produc --
ción, ingeniería o departamentos administrativos. Bajo con --
diciones controladas, estas terminales remotas pueden tener
acceso a varias líneas siendo mantenidas por el sistema en --
tiempo real o fuera de línea, de modo que pueden hacerse de --
cisiones en la información más común. Con la tremenda capa --
cidad de una computadora grande es posible tenerla con efec --
to multifuncional, esto es, puede operar multifuncionalmen --
te diferentes tipos de programas, tales como colección de --
datos en tiempo real y análisis, tiempo compartido, proce --
sos batch o combinaciones de estas funciones.

Igualmente que las otras computadoras, las computado --
ras grandes tienen limitaciones y tienen ventajas. Si esta --
ra en servicio en más de un sitio, deberá ser conectada a --
los otros servicios a través de terminales remotas que son --
unidas a la computadora por líneas de comunicación, y así --
estas grandes computadoras serán localizadas en un centro --
con facilidad.

En muchos casos, las pequeñas computadoras satélite pueden ser justificadas en lugar de terminales por la baja velocidad y costos requeridos de estas comunicaciones en línea y aplicando estos ahorros a la diferencia en el costo entre la pequeña computadora satélite y una terminal convencional. En este caso los beneficios adicionales aumentarán a la localidad remota debido a la flexibilidad de la computadora satélite. Sin el acoplamiento por las líneas de comunicación los datos deben ser preparados por personal u otras computadoras y ser físicamente transportadas a la central fácilmente por procesos fuera de línea. El tiempo requerido para transportar datos entre una computadora grande y estas terminales, y para físicamente preparar las tarjetas perforadas o cintas pueden volverse un factor importante en algunas aplicaciones donde tales retrasos reducen la utilidad del sistema.

El estudio anterior suministra las suficientes bases para entender los óptimos usos de cada tipo de computadora, y nos proporciona un buen cuadro en cuanto a los sistemas usados actualmente. Para seleccionar el modelo de computadora que necesitaremos para un determinado caso en la industria de los procesos químicos los fabricantes nos proporcionarán la información y ayuda necesaria para obtener el sistema adecuado a nuestras necesidades.

C A P I T U L O I I I

C O N T R O L D E P R O C E S O S

3.1 S I S T E M A S D E C O N T R O L

La configuración estructural conocida con el nombre de jerárquica o de nivel múltiple es muy importante en sistemas de diversa índole. Es importante determinar la estructura y jerarquía que corresponden a cada parte integrante del mismo, ya que las variables asociadas a cada subsistema y las funciones que realiza, que fijan sus características de operación que trata de analizar o determinar el analista, dependen de su nivel jerárquico dentro del sistema general. Además la operación de un sistema depende en forma importante de la coordinación que existe en el funcionamiento de las partes. Esta coordinación entre las partes, que se basa en la información que recibe la unidad de coordinación o control, depende también de la estructura jerár-

química de todo el sistema y del nivel que ocupa dentro de esa jerarquía el sistema en estudio.

La industria química como toda industria, tiene una estructura y piramidal en la que es posible identificar un proceso físico y una función de control.

La función de control manipula la planta con el objeto de optimizar el proceso con respecto a los objetivos del sistema de manufactura, que en este caso son: obtener máxima confiabilidad, minimizar los gastos de operación y maximizar la generación.

Existen en general tres funciones de control a diferentes niveles. En el primer nivel están aquellas funciones asociadas con el control de las unidades de manufactura. En el segundo nivel, las funciones de control guían las actividades de producción mediante despacho de carga, operaciones de conexión, etc. En el último nivel, las funciones de control corresponden a la dirección empresarial e incluyen el establecimiento de objetivos para ser alcanzados con las restricciones del sistema.

A medida que se avanza hacia el vértice de la pirámide, el énfasis en las variables físicas disminuye, y aumenta la importancia de las variables económicas en el proceso

de toma de decisiones o funciones de control. El control de las unidades generadoras mediante gobernadores y reguladores se basa, exclusivamente, en variables físicas, mientras que al nivel de control de producción, el despacho económico se realiza en función de variables físicas y económicas.

Todos los controles, ya sean máquinas o seres humanos, son procesadores de información. Reciben información sobre el estado del sistema y, en función de esta y del conocimiento de los objetivos del sistema y sus restricciones, ejecutan acciones controladoras. El tipo de acción de control que debe ejercerse depende del nivel jerárquico al que se encuentra el subsistema en estudio.

La ingeniería está relacionada con el conocimiento y control de los materiales y fuerzas de la naturaleza para el beneficio de la humanidad. El ingeniero está interesado en el conocimiento y control de una parte de su medio ambiente, frecuentemente conocido como sistema, a fin de proporcionar un producto económico y útil para la sociedad. Los objetivos del conocimiento y del control son complementarios ya que, para poder controlar más efectivamente, el sistema bajo control debe ser conocido y modelado. Además la ingeniería de control debe considerar frecuentemente sistemas pocos conocidos tales como los procesos químicos. El

desafío presente a los ingenieros de control es el modelado y control de sistemas interrelacionados modernos y complejos como los de procesos químicos y los de regulación económica.

La ingeniería de control se basa de los fundamentos de la teoría de la retroalimentación y el análisis de sistemas lineales, e integra los conceptos de las teorías de redes y comunicación. Por tanto la ingeniería de control no está limitada a ninguna disciplina de la ingeniería si no que es igualmente aplicable a las ingenierías química, mecánica, aeronáutica, civil, eléctrica, y del medio ambiente.

Un SISTEMA DE CONTROL es una interconexión de componentes que forman una configuración del sistema, la cual proporcionará una respuesta deseada del mismo sistema.

La base para el análisis de un sistema es el fundamento proporcionado por la teoría de los sistemas lineales, la cual supone una relación de causa-efecto para los componentes de un sistema. Consecuentemente un componente o proceso que vaya a ser controlado puede representarse mediante bloques. La relación entrada-salida representa la relación causa y efecto del proceso, la cual a su vez representa un proceso de la señal de entrada para proporcionar una variable de señal de salida.

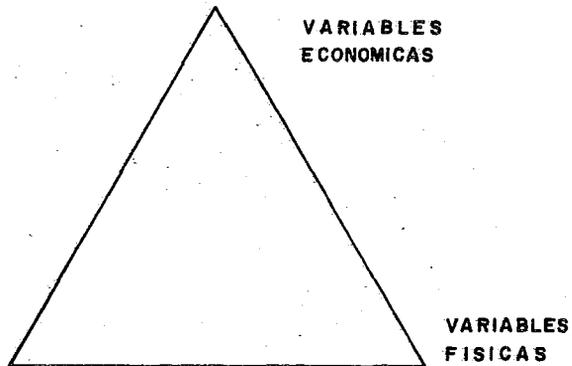
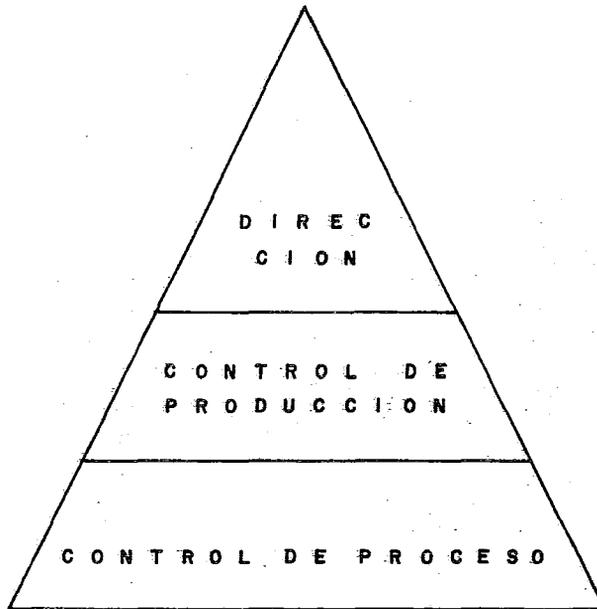


FIG. 3.1.1 ESTRUCTURA JERARQUICA DEL CONTROL

Hay muchas maneras de llevar a cabo el control desde el punto de vista Hardware, incluyendo dispositivos mecánicos, neumáticos, eléctricos, electrónicos y técnicas analógicas y digitales. Prescindiendo del mecanismo usado, la teoría básica permanece la misma.

Hay dos tipos básicos de control: Control de malla abierta y malla cerrada.

CONTROL DE MALLA ABIERTA. En el control de malla abierta, no se comprueba lo hecho para determinar en todo caso la acción correctiva efectuada al objetivo deseado. Un sistema de control con red abierta utiliza un regulador o actuador de control con el objeto de obtener la respuesta deseada.

En este tipo de sistema de control, no se tiene información de la posición de la variable controlada, sus características son las siguientes;

A carga constante, la variable puede controlarse por la entrada, solo si cada elemento en el sistema ha sido cuidadosamente calibrado.

El sistema es completamente incapaz de corregir los cambios de carga o cambios de calibración debidos al desgas

te de algunas piezas.

Este sistema es estable, no existe la posibilidad de que la variable controlada oscile.

CONTROL DE MALLA CERRADA. Si al sistema en circuito abierto le agregamos una retroalimentación, es decir, llevamos a la entrada la información del estado de la variable controlada con el objeto de verificar su estado; obtenemos lo que se llama un circuito cerrado de control.

La definición estándar de un sistema de control con retroalimentación es la siguiente: un sistema de control con retroalimentación es aquel que tiende a mantener una relación prescrita de una variable del sistema a otra, comparando funciones de estas variables y usando las diferencias como un medio de control.

Son dos los tipos de control de malla cerrada que aparecen en la industria de procesos, y son: Feedforward (de alimentación) y feedback (de retroalimentación). Estos sistemas de control permiten el mantenimiento automático de condiciones balanceadas dentro de un proceso con objeto de conseguir el valor de salida deseado. Es importante en el control de procesos el seleccionar la forma de control feedback o feedforward que pueda realizar el mejor trabajo.

CONTROL FEEDFORWARD. En contraste con el control de malla abierta puro, se hace una medición a la entrada en vez de hacer una suposición. Entonces se hace un cálculo de la cantidad de aditivos necesarios para producir el producto deseado. El control feedforward, como en el control de malla abierta cuenta con cierta predicción pero difiere en el control de malla abierta en el que no cuenta con un programa preparado para regular cualquier aditivo necesario. Cuando cambios en la variable medida son detectados por la computadora, la acción correctiva continuamente es llevada a cabo.

El control feedforward es entonces una forma de control de malla cerrada, y así la malla completa es formada por un sensor medidor, la computadora, el aditivo y el proceso.

En el control de malla abierta no es común la medición en el proceso. En el control feedforward, la medición se toma de la corriente de alimentación del proceso y se realiza la corrección necesaria.

El control feedforward implica un considerable conocimiento de todas las características del proceso y las relaciones entre la entrada y la salida. Donde el control feedback requiere una desviación en la salida del proceso

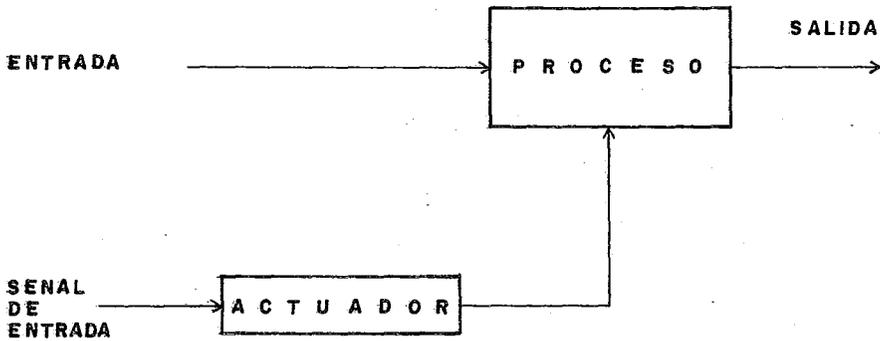


FIG. 3.1.2 CONTROL DE MALLA ABIERTA

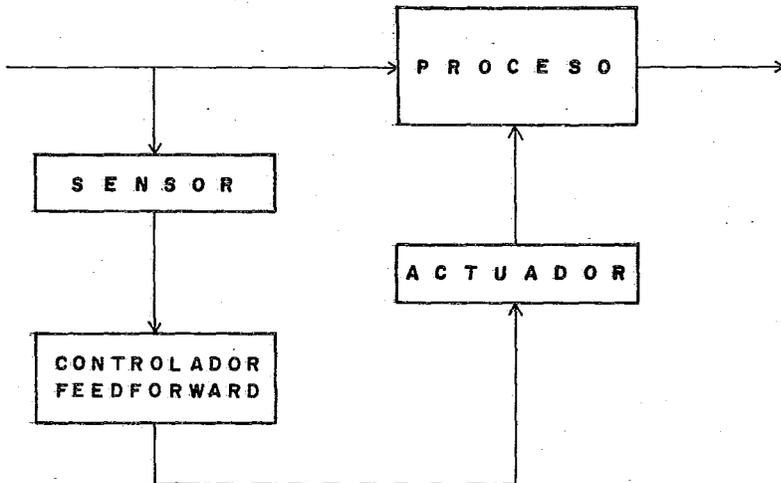


FIG. 3.1.3 CONTROL FEED FORWARD

para tener el valor deseado, el feedforward hace la corrección basada en las entradas del proceso. Las señales de entrada tienen una inmediata corrección influenciando en el proceso y así la salida no es afectada por un disturbio.

Este control requiere que la magnitud y las características dinámicas del efecto, tanto como los disturbios y las variables sean conocidas. Y la variable manipulada en la variable controlada sea conocida. Ya que el controlador mueve la variable manipulada para cancelar afuera los efectos de un disturbio antes de que estos disturbios puedan perturbar el proceso.

Feedforward es un modelo del proceso, inexactitudes en el modelo pueden ser ajustadas o controladas por el control feedback.

El control feedforward puede tomar dos formas: el método clásico es usar la señal feedforward para compensar los cambios de carga. La segunda forma es para usar la salida del sistema de control como una señal feedforward que es introducida como un bias en un segundo o tercer sistema de control para reducir la interacción entre los sistemas de control.

CONTROL FEEDBACK. En este control se efectúan medi-



ciones en las variables a ser controladas y se compara con un punto de referencia, y si existe una diferencia entre el valor actual y deseado, el controlador automático realizará la corrección necesaria, o sea el valor de la variable del proceso es comparada con el set point del controlador, y cualquier error es invertido por el controlador para causar al proceso un ajuste en dirección opuesta. El controlador amplifica la señal de error con los modos de control, y a través de la manipulación del elemento final de control causa la corrección del proceso.

Cada una de las partes del control de retroalimentación (feedback), requiere tiempo para detectar un cambio en la entrada y hacer la respectiva transformación. El tiempo de respuesta de la malla de control está en función de la suma del tiempo de respuesta del elemento primario, el transmisor, todos los receptores en serie con el controlador, el controlador, el elemento final de control y el proceso mismo.

Una gran ventaja del control feedback, es que no es necesario un gran conocimiento del trabajo interno del proceso. Algunos errores son debidos a casos desconocidos o a factores inmensurables en el proceso, y la corrección se hace externamente al proceso. Por esta razón el control de retroalimentación encuentra una amplia aplicación en la industria química donde los procesos dinámicos a menudo no

son completamente conocidos.

La mayor desventaja del control feedback es la necesidad de una desviación del punto de control antes de que cualquier acción de control sea desarrollada. Donde no hay retrasos importantes por tiempo muerto en la malla, la de - tección y corrección del error se realiza sin dificultad. Sin embargo cuando los retrasos de tiempo en el proceso debido al tiempo muerto son más grandes que los disturbios de la variable, la retroalimentación simple no puede mantener la situación. Las correcciones al proceso serían hechas mu - cho después y por el tiempo, el efecto en la variable es de - tectada por elemento primario, y los requerimientos del pro - ceso podrían ser diferentes.

En algunas aplicaciones, este problema puede ser resuelto por la adición de una sub-malla al sistema de retroalimentación conocida como control en cascada.

Debido a la impracticabilidad económica de predecir con precisión la cantidad de corrección necesaria para al - canzar resultados satisfactorios con el control de malla abierta o con el control feedforward, el control feedback es el más usado.

Con objeto de escoger apropiadamente el tipo de con-

trolador del feedback para un proceso en particular dos factores, tiempo y ganancia, deben ser considerados.

CONTROL EN CASCADA. Se entiende por control en cascada un sistema en el cual la salida de un controlador en vez de actuar un elemento final de control, posiciona el punto de ajuste de otro controlador llamado secundario.

Un circuito común y corriente no puede compensar cambios indeseables en la variable manipulada (secundaria) hasta que dichos cambios viajando a través de resistencias y capacidades del proceso, llegan a efectuar la variable controlada (primaria) después de un retraso considerable y que no puede eliminarse, pues es una característica del proceso.

En el control en cascada con uno de los controladores actuando sobre la variable secundaria, cualquier cambio indeseable es detectado y corregido antes de que afecta la variable principal.

El control en cascada puede consistir de un solo controlador maestro ajustado al set point de varios controladores secundarios. El controlador en cascada es realmente una malla de retroalimentación dentro de una malla de retroalimentación. La malla secundaria incluye el punto de entrada de los disturbios más problemáticos.

El control en cascada que hemos visto es uno de los tipos de controles que se llaman, SISTEMAS DE CONTROL MULTIPLE y son todos aquellos que utilizan dentro del mismo circuito más de un transmisor, controlador o válvula. Se aplica cuando el algoritmo normal de cualquiera de los controladores, no es el adecuado para obtener un control aceptable o se desea obtener un límite, reparto de carga o cualquier efecto especial.

En todos estos tipos de control, el tiempo muerto, resistencia, capacitancia, y ganancia son los principales factores determinantes para el control de muchas operaciones de proceso.

TIEMPO MUERTO. Tiempo muerto puro es el período de tiempo en el que entra y sale un determinado cambio u operación en los elementos de la malla de control.

Al tiempo muerto se le puede llamar también retraso puro, retraso de transporte o retraso distancia-velocidad. El tiempo muerto raramente se encuentra en los procesos industriales en forma pura comúnmente se encuentra en combinación con otras formas de retraso de tiempo. Tiempo muerto es un determinado retraso entre dos acciones relacionadas por el proceso. El tiempo muerto puede ocurrir en cualquier variable del proceso donde el proceso es afectado por dis -

turbios que no pueden ser detectados hasta más tarde.

La cantidad del retraso depende de la distancia, la capacidad de salida del instrumento y volumen del recipiente. Donde el tiempo es de vital importancia es necesario usar relevadores neumáticos o un sistema de transmisión electrónica. En general la transmisión electrónica está siendo usada en muchas plantas como una solución a este problema.

A menudo el tiempo muerto es el responsable de muchos problemas en el control de procesos químicos. Algunos ejemplos son las variaciones en la alimentación a las columnas de destilación que no son percibidas por algún tiempo en la salida del producto, reacciones químicas que toman tiempo para completarse, y en controles de neutralización. Si un desorden es hecho en la temperatura de entrada a un calentador, tomará tiempo para que el desorden sea detectado en la salida, influyendo las acciones de radiación, convección, el flujo y longitud de la tubería.

Quando el tiempo predomina en un proceso a los controladores convencionales se les debe colocar una banda proporcional (baja ganancia) y altos tiempos de reajuste para obtener la estabilidad.

CAPACITANCIA. Capacitancia es una característica de las variables del proceso que está relacionada pero no es idéntica con capacidad. Capacidad es una medición de la máxima cantidad de energía o material que puede ser almacenado dentro de los límites de determinado equipo.

Capacitancia es el cambio en cantidad contenida por unidad de cambio en determinada variable. Es medida en unidades de cantidad dividida por la variable referida. La capacitancia para un nivel líquido es definida como el cambio en volumen por unidad de cambio en carga, o $C = dv/dh = A$, donde C es capacitancia ft^3/ft ; dv es cambio en volumen ft^3 . dh es el cambio de altura en caída, ft (pies); A y es área del tanque en la superficie del líquido, ft^2 (pies-cuadrados).

La capacitancia del líquido de un tanque es igual al área de la sección transversal de un tanque en la superficie del líquido. Si el tanque tiene un área constante de sección transversal, la capacitancia del líquido es constante para cualquier altura de caída. Por ejemplo un recipiente A tiene una capacitancia de 100 dividido por 10, o $10 ft^3/ft$. Otro recipiente B tiene una capacitancia de 100 dividido por 15, ó $20 ft^3/ft$. Otras unidades dimensionales para otros tipos de procesos son: térmicas, Btu/grado; presión, lb/psi.; y nivel de líquido, ft^3/ft .

La capacitancia de un gas en un recipiente es definido por $C = dw/dp$, donde C es capacitancia, lb/psig; dw es el cambio en peso, lb; y dp es cambio en presión, psi. Su poniendo que se puede aplicar la ley de los gases ideales, la expresión puede ser calculada como $C = V/MRT$. Donde V es el volumen del gas, ft^3 ; R es la constante de los gases en $ft/grado$; T es la temperatura, en grados y M es la relación de los calores específicos.

Grandes capacitancias de inercia a los sistemas de control, consecuentemente la variable de control tiende a permanecer constante el valor a pesar de los cambios de carga. Mientras esta característica es ideal para un sistema-fijo, hace difícil los cambios a sistemas que requieren detección de los nuevos valores de las variables.

Si la velocidad de respuesta es importante, la capacitancia debe ser cuidadosamente examinada. A menudo la configuración del recipiente puede ayudar al control. Pues to que el uso del recipiente está basado en la capacidad para el proceso químico, la capacitancia puede ser adaptable a las dimensiones sin sacrificio de las consideraciones químicas. Sin embargo, la consideración de la función de control debe tomarse en cuenta en el diseño del recipiente. A menudo las dimensiones del recipiente son seleccionadas al azar sin tomar en cuenta este factor.

RESISTENCIA. Esta característica de proceso es opuesta al flujo. Es medida en unidades de cambio de potencial-requeridas para producir una unidad de cambio en el flujo.

La resistencia está presente en todas las mallas de control y es evidente en temperaturas de proceso. Esta forma de retraso existe en los controles de temperatura, debido a las características de transferencia de calor del proceso al bulbo de temperatura. Además la película de gas o líquido alrededor del termopozo, a menudo crea una resistencia al flujo de calor. Las unidades dimensionales de resistencia para varios tipos de proceso son: térmicas, grados/(Btu)/(hr); presión, $\text{psi}/(\text{ft}^3)/(\text{min.})$, ó $\text{psi}/(\text{lb})/(\text{seg.})$; $\text{ft}/(\text{gal.})/(\text{min.})$.

La resistencia de los sistemas con control de presión, con flujo turbulento es definido como $R = dp/dw$. Donde R es resistencia, $\text{seg.}/\text{in}^2$; p es presión, psi; y w, es flujo del gas en lb/seg.

La resistencia en sistemas gaseosos no es fácilmente calculable debido a la presencia de un factor de expansión. Es mucho más fácil obtener la caída de presión contra la relación de flujo para utilizar esto en los cálculos.

Los efectos de resistencia (retraso por transferencia -

cia) son a menudo controlados por el uso de modos de control. Estos modos anticipan el valor de la variable que está en el proceso por compensación del retraso ocasionado por la resistencia.

GANANCIA. La ganancia es la relación de la salida a la entrada del controlador. En los controladores proporcionales es muy común el término ganancia o su inverso "banda proporcional" (BP). $G = 100/BP = K$.

En las mallas de control de proceso, puede calcularse también la ganancia, cada elemento en la malla de control contribuye en la ganancia total de la malla. Incrementando el tamaño de la válvula de control o reduciendo la abertura de un transmisor, tiene exactamente el mismo efecto como incrementar la ganancia de un controlador. La selección adecuada del tamaño de la válvula y el transmisor es tan importante como seleccionar el rango de la ganancia en el controlador.

Una inmensa variedad y combinación de respuestas características involucran tiempo y ganancia, creando diferentes modos para el control de procesos. Los modos de control para las mallas de proceso dependen de muchos factores, tales como: económicos, precisión del control requerido, tiempo de respuesta del proceso, ganancia de respuesta del pro-

ceso, seguridad del personal en operación, seguridad del equipo del proceso. Los modos de control más comúnmente usados son: control de dos posiciones, control proporcional, control integral, control proporcional e integral, control derivada, control proporcional derivada, control proporcional integral y derivativo.

3.2 CONTROL DE LAS VARIABLES DE PROCESO

De unos años a la fecha, todos los aspectos de la vida han sufrido cambios, pero probablemente ninguno tan intenso y tan completo como en los campos de la Ingeniería y la Industria.

Un factor importante en la operación de la industria actual, lo constituyen una gran variedad de instrumentos que contribuyen a que las plantas industriales operen con mayor productividad, con menor costo y mínimo esfuerzo humano.

Debido al creciente grado de automatización que están sufriendo las industrias, ya no tanto por sustituir mano de obra, como para satisfacer las necesidades de exactitud y complejidad de los modos de control requeridos por los procesos modernos, ha propiciado y exigido el desarrollo de la Cibernética.

Tratando de enaglobar todos los avances tecnológicos modernos, es posible definir a la instrumentación como el conjunto de conocimientos y actividades con los instrumentos, cuyo objetivo es la medición, transmisión, procesamiento o control de variables (características físicas o químicas de un sistema) o señales dentro de límites perfectamente establecidos.

Un instrumento es capaz de observar siempre el resultado de un trabajo, es decir de supervisarlo en forma continua y permanente. Dicho instrumento podrá estar dotado de los dispositivos necesarios para informar, registrar y aun regular que el trabajo al que ha sido aplicado se esté realizando en condiciones óptimas.

Los hombres están sujetos a errores debido a cansancio, o distracción y actúan de manera diferente unos de otros. Un instrumento, por el contrario no sufre de tales defectos perjudiciales para la homogeneidad del producto que se pretende obtener del proceso, ya que a los mismos estímulos reacciona de una manera siempre igual durante las 24 horas de cada día.

En párrafos anteriores se ha establecido que los instrumentos deben ser capaces de supervisar las variables de proceso, lo que nos lleva a pensar en que su función primor-

dial es la medición, sin la cual no sería posible que realizaran otras operaciones tales como las de indicación, registro, control, etc.

Surge aquí la pregunta ¿cómo pueden los instrumentos medir las variables?

Lo anterior es posible contestar, en forma sencilla-asegurando que, al igual que los instrumentos están dotados de elementos sensores que, al igual que los sentidos humanos, detectan el valor de las variables siguiendo principios físicos o químicos conocidos.

A estos elementos sensores se les conoce dentro de la terminología de instrumentación como "Elementos Primarios de Medición".

Para entrar en materia, veremos de manera más específica en que forma actúan los medidores de variables. A partir de las principales variables ya conocidas como básicas, que son, temperatura, presión, nivel y flujo. Si calentamos un cuerpo, sus moléculas adquieren un incremento en su actividad vibracional, lo cual tiene como consecuencia diferentes efectos físicos; en el caso de un metal, sus dimensiones y su resistencia eléctrica cambian; en el caso de un fluido confinado en un recipiente cerrado, la presión

ejercida sobre las paredes internas del recipiente aumentan.

Un dispositivo sensible a cualquiera de estos efectos nos servirá para inferir el valor de la temperatura del cuerpo caliente y bastará inducir esta medición a una magnitud escalar relacionada con esta variable traduciéndola a cualquier escala de uso convencional, para poder interpretar el resultado de la medición.

Además de los citados, existen otros principios usuales para medir temperatura; entre los que mencionaremos:

Cuando se aplica calor a la unión de dos metales disímiles, se genera un pequeño voltaje, el cual es proporcional a la temperatura de la unión calentada, basado en el efecto seebeck.

La intensidad de la radiación emitida por materiales calientes (basado en un principio del cuerpo negro). Algunos cristales tienen la propiedad de alterar sus frecuencias resonantes al modificarles la temperatura aplicada a los mismos.

Para ejemplificar algunas de las aplicaciones de los principios mencionados, cabe citar; los termómetros de cristal, los termómetros bimetálicos, los sistemas termales

llos, los termómetros de resistencia, los termopares, los pirómetros de radiación y los termistores.

Pasando ahora a la variable denominada presión, la cual podemos definir simplemente como el resultado de aplicar una fuerza dividida entre el área que la recibe.

Los elementos primarios más utilizados para medir presión son: los tubos de Bourdon, los fuelles, los diafragmas, las columnas de agua o de mercurio. Sin embargo existen muchos otros principios utilizados para este fin, como son: el efecto piezo eléctrico de algunos cristales, el cambio de la resistencia de conductores que se deforman, etc.

Otra de las variables importantes, indispensables de ser considerada en casi todas las industrias, es el nivel.

Para medir nivel, ya sea de líquidos o de sólidos, es importante considerar varios factores antes de seleccionar el procedimiento de medición adecuado, ya que los casos para esta aplicación ofrecen una gran variedad de problemas especiales. Sin embargo, es muy frecuente encontrar que los elementos primarios de medición utilizan muchos de los principios antes mencionados.

Podemos conocer el nivel de líquido en un recipiente, si pensamos la columna hidrostática del mismo y conocemos su peso específico. Esto se puede lograr por el empleo de tubos de Bourdon, diafragmas o fuelles, o bien con manómetros de columna de agua o mercurio.

También podemos apreciarlo directamente por medio de mirillas especiales o utilizando columnas que aplican el principio de vasos comunicantes.

Se pueden emplear dispositivos de electrodos que son capaces de medir la capacidad eléctrica y el fluido medido en función de su nivel, o medir su resistencia eléctrica por un método similar.

Muy a menudo se emplean elementos de medición de nivel tales como flotadores o bien desplazadores que utilizan para su funcionamiento el principio de Arquímedes. También es usual la aplicación de procedimientos ultra-sónicos y radioactivos para medir niveles de materiales, que serían de difícil manejo.

Por último veremos la variable conocida como flujo, al hablar de ella encontraremos características muy especiales para cuya explicación será de gran utilidad el haber mencionado ciertos conceptos relacionados con las otras va-

riables que antes comentamos.

El flujo se puede medir por varios métodos: medidores de presión diferencial, medidores de área variable, medidores de vertedero, medidores de desplazamiento dispositivo, medidores magnéticos, medidores de flujo de masa, medidores de flujos de sólidos, etc.

Sólo para mencionar los de uso más frecuente en la industria, siendo tal vez el más empleado el de medición de presión diferencial.

Si en una tubería por la que corre el fluido, colocamos una restricción o reducción, el área de la sección transversal del flujo se contrae y la velocidad se incrementa. Las relaciones físicas (Teorema de Bernoulli) son tales, como que la presión estática disminuye a medida que la velocidad aumenta. Si medimos las presiones de estáticas en dos puntos de diferentes velocidades de flujo (antes y después de la restricción), nos será posible inferir mediante métodos ya desarrollados para esto (instrumentos que operan siguiendo las bases matemáticas que rigen este principio) el valor del flujo que ha pasado en un tiempo dado a través del orificio.

Hasta aquí hemos tratado de ilustrar, aunque sea de manera superficial a las cuatro variables básicas que se --

miden y/o controlan en instrumentación. Hemos también mencionado que todos los instrumentos requieren de los llamados elementos primarios de medición, ya que se trata de la función primordial de todo instrumento. Es decir, el primer paso de la operación de todo instrumento es la medición.

Sin embargo, al llamarlos elementos primarios de medición, este término nos sugiere que deberán existir otros elementos de medición y éstos son precisamente los denominados elementos secundarios.

Un elemento secundario de medición es todo aquel componente de un instrumento que detecta o infiere la magnitud escalar inducida por un elemento primario, cuando éste no es capaz de detectarla directamente.

Para ilustrar mejor este concepto, volveremos al caso de la medición del flujo. Si utilizamos una restricción del tipo placa de orificio, ésta será precisamente el elemento primario de medición; pero ella por sí misma no es capaz de realizar la función cuantitativa del flujo que se desea medir, sino que será indispensable el empleo de los dispositivos o mecanismos que establezcan las presiones antes y después de la placa de orificio, como podrían ser dos manómetros, por ejemplo.

Es frecuente confundirse al hablar de los elementos primarios y secundarios de medición, ya que en algunos instrumentos se conjuntan de manera en que es prácticamente imposible definir en donde termina uno y en donde comienza el otro.

Elementos finales de control. En casi todos los sistemas de control industrial, el elemento final de control es una válvula. Entendiéndose como elemento final de control al mecanismo que actúa sobre el proceso con el fin de llevar la variable controlada a un valor deseado. Generalmente este tercer elemento de control efectúa un cambio en las propiedades de la corriente. Una válvula de control tiene como función el permitir un paso mayor o menor de un fluido dentro de una tubería.

Fundamentalmente una válvula de control está constituida por el cuerpo y por el actuador. El fluido pasa a través de él es obstaculizado por una apertura variable entre una parte móvil llamada tapón y otra fija llamada asiento. El tapón está unido al actuador por un vástago, y es el actuador el que produce el movimiento del tapón, dependiendo de la señal de control recibida.

Existen varias configuraciones en cuanto al cuerpo de las válvulas de control cuya selección depende de las

condiciones de operación y de las características del fluido entre otras cosas. Los tipos de cuerpo más comunes son el de globo, mariposa, bola y el tipo Saunders. Las válvulas tipo globo son las más comunes y actualmente una variación de éstas, la globo tipo caja, es la más popular.

Existen elementos finales de control cuya acción no depende de un movimiento, sino de una corriente o un voltaje tales como motores de bombas, de agitadores, resistencias calefactoras o bien, motores de velocidad variable.

En tales casos si el tipo de control es "on-off" se emplean relevadores eléctricos, lo que transforman una señal de control de baja potencia en una señal eléctrica de mayor potencia o de características distintas (como frecuencia, etc.).

En los casos donde se requiere una señal eléctrica modulante se aplican dispositivos tales como los rectificadores controlados de silicio, los cuales son accionados por pulsos eléctricos que permiten el paso de una corriente eléctrica alterna, modulando la cantidad de energía contenida en un ciclo dependiendo de la frecuencia y duración de los pulsos de disparo.

Hasta aquí se ha pretendido exponer, en un plano gen

neral, los conceptos denominados en instrumentación como elementos primarios de medición, elementos secundarios de medición y elementos finales de control. Ahora con estas bases, veremos el control de las principales variables de proceso.

CONTROL DE FLUJO. El flujo es una variable de proceso de rápida respuesta y tiene pequeña capacitancia. Los mayores retrasos de tiempo ocurren en la medición, transmisión y en la sección de control de la malla. Los retrasos en el proceso son a menudo despreciables.

La mayoría de los flujos ocurren a causa del suministro de energía de bombas o compresores. Consecuentemente la señal del flujo tiene gran cantidad de pequeñas variaciones transitorias. La incompresibilidad de los líquidos y baja capacitancia de los sistemas de flujo hacen que estas señales transitorias no sean amortiguadas. Además la válvula de control reguladora puede también causar presiones transitorias adicionales. Se debe tener cuidado en la selección del sistema de control de manera que tenga una baja ganancia para evitar la amplificación de estos disturbios a alta frecuencia.

El instrumento de flujo más usado, es como lo mencionamos anteriormente la celda de presión diferencial. De la

relación de raíz cuadrada entre el flujo y la presión diferencial resulta un cambio en la ganancia del proceso si los cambios de carga son grandes. La solución a este problema es linealizar la señal, o también usar instrumentos lineales de medición, tales como rotámetros y medidores de flujo magnético.

Los modos de control proporcional y con acción de reajuste son los más usados en el control de flujo. Debido al "ruido", el control de flujo requiere una baja ganancia con un rápido reajuste. Esto evita la acción de control en el ruido o disturbios transitorios, sin embargo aseguran la rápida corrección de cualquier señal de error. La acción del rate (acción anticipadora) no es usada debido a que tiende a amplificar la alta frecuencia del ruido. La medición del flujo no siempre es exacta debido a los cambios de presión y temperatura. Si tales cambios son rápidos y significantes en el proceso se deberá hacer la corrección necesaria. Equipos de compensación son los requeridos en las plantas químicas, como por ejemplo los relevadores estandar, que son los que aseguran el buen funcionamiento en el equipo.

Una de las formas más comunes de sistemas de flujo es el control ratio (de relación). Este es un sistema de control donde una variable secundaria es controlada en rela

ción directa a la variable primaria.

CONTROL DE LA PRESION. El control de la presión es interesante en sistemas que contienen gases compresibles. - El proceso puede ser el control de la presión de un gas puro, o también puede ser la operación de una fase mixta, tal como la destilación, donde en la parte superior de la torre es controlada la presión con el objeto de controlar la temperatura.

Puesto que los gases durante todo el sistema son compresibles, los cambios de presión en alguna parte del proceso afectan todo el sistema. Por consiguiente, la capacidad total del sistema es importante. El control de la presión es caracterizada por una gran capacidad, de pequeños retrasos por transferencia y pequeños tiempos muertos.

Las respuestas en los sistemas de control de presión son rápidas. Debido al efecto de capacidad que causa cambios durante todo el proceso, existe a menudo un riesgo por interacción si dos tipos de control son puestos en el mismo recipiente. Otro origen de las interacciones ocurren cuando dos controles son puestos en serie. Esto sucede a menudo durante una doble reducción de presión debido a las limitaciones de presión de cada regulador de presión. Si un volumen intermediario no está presente entre los reguladores,

la interacción entre los controladores causará una sustan -
cial inestabilidad.

La exactitud deseada del control de presión puede va
riar de sistema a sistema. Para columnas de destilación, -
el control cerrado es el deseable para evitar disturbios en
el proceso de destilación. En el control de compresores, -
la exactitud es a menudo requerida debido a los requerimien
tos del proceso. Existen otros lugares del proceso donde -
un 10% de la banda de control es más que suficiente. Tales
instalaciones incluyen suministro de aire para los posicio-
nadores de válvula, y utilidad de aire para los procesos de
aereación.

Donde el control de presión dentro del 10% es adecua
do, el regulador automático es instalado directamente en la
línea y el control detector de línea es puesto alrededor de
10 diámetros de tubería de la unidad. Esta localización -
elimina errores de presión causados por la turbulencia, cam
bios repentinos en velocidad o pérdidas en la tubería.

Los reguladores de presión automáticos deben ser ope
rados al 50% de su capacidad para el mejor control y menor-
uso de la válvula. Donde existe una amplia diferencia en -
tre el flujo máximo y el normal, dos reguladores pueden ser
usados en paralelo. El control de presión de un regulador-

es instalado aproximadamente 10% más bajo. Cuando la salida de presión en el primer regulador "caé", debido a la demanda superior a la normal, el segundo regulador conecta el incremento en la capacidad de flujo sin perder el control de la presión.

Otros tipos de control de presión que son comunes son: el controlador transmisor remoto, válvula arreglada; y el controlador de presión local, piloto operado. El controlador de presión local piloto operado usa un elemento de medición en que actúa un mecanismo de control neumático que produce aire a presión, señal proporcional para la variable medida. Este dispositivo da una gran sensibilidad, ajuste de banda proporcional, y los modos de reajuste, acción anticipadora, y gran facilidad para el ajuste del set point.

Si la salida de la presión es lo razonablemente constante y no hay necesidad de operar el sistema manualmente durante períodos de desorden, una unidad local será adecuada.

El control proporcional es a menudo el único modo usado en el control de presión. Es usado donde la compensación puede ser tolerada del verdadero set point durante los cambios de carga. Otra razón para usarlo, es cuando el reset causaría severos daños en el sistema logrando la saturación.

Esto es verdad cuando grandes partes de la maquinaria, tales como compresores son controlados. En este caso una aplicación rápida a la válvula de regulación debido al reajuste - podría dañar a la unidad.

Donde la compensación no puede ser tolerada o donde la seguridad característica junto a la acción final del reajuste no es requerida, entonces se usará el modo de reajuste. Mientras la acción del reajuste puede contribuir a la inestabilidad del proceso cuando es aplicada incorrectamente, frecuentemente es costosa esta función para mantener el proceso en el punto exacto del valor deseado de la variable.

La acción rate, no es muy usada en el control de presión, ya que la acción derivativa anticipatoria no es requerida. Sin embargo hay momentos cuando la combinación de los modos proporcional y derivativos dan un control superior.

CONTROL DEL NIVEL DE LIQUIDOS. El control del nivel tiene características similares al control de presión, y generalmente una favorable cantidad de capacitancia. Algunos sistemas tienen considerable punto muerto, aunque los retrasos por transferencia son pequeños. La capacitancia contribuye a la autoregulación del nivel del líquido en recipientes atmosféricos. La autoregulación generalmente es pequeña cuando el recipiente está bajo presión.

El tipo de control del nivel de líquido depende del grado de precisión requerido. Por consiguiente hay que hacer una relación de los tres tipos de sistemas de control:- (1) límite de máximos mínimos, (2) nivel medio y (3) nivel preciso.

El control límite de máximos y mínimos frecuentemente es usada para llenar los tanques de alimentación. El tanque permite el drenado a un mínimo antes de que concluya el llenado. El llenado procede hasta que el máximo nivel es alcanzado, y entonces se para. El nivel no es importante mientras se encuentre en determinados límites. El control de dos posiciones es usado en el equipo eléctrico y en el neumático.

Un controlador on-off con abertura diferencial puede ser usado para mantener un nivel definido en un recipiente donde la distancia en el punto máximo y mínimo es pequeño. Si el recipiente tiene una gran capacitancia, los cambios serán lentos y el nivel se sostendrá fácilmente dentro de los límites en cualquier período de tiempo. Las ventajas de este modo de control son: simplicidad del equipo, se evita el uso de válvulas de regulación continua, y es económico. Este modo de control requiere que la máxima entrada al recipiente exceda la descarga máxima con el objeto de que el recipiente no se agote.

Donde los requerimientos del proceso toleran la precisión del control del nivel frecuentemente puede ser sacrificado con objeto de mantener la salida del recipiente constante. Un ejemplo de esto es el control del nivel de una columna de destilación donde el producto del fondo es la alimentación de la próxima columna. El fondo de la columna actúa como un medio de amortiguación para cualquier cambio violento de carga. Aquí el nivel obtiene un promedio en la banda en vez de fluctuaciones entre el límite máximo y el mínimo como en el control on-off.

Muy a menudo cuando el control de flujo en la próxima columna tiende a ser constante, pero el nivel debe ser sostenido dentro de un valor razonable con objeto de prevenir que los fondos vayan a secarse, un sistema en cascada es usado. Aquí el flujo es sostenido constante por períodos de tiempo razonablemente cortos. Como el nivel en el fondo de la torre se aproxima al final del límite el reset del controlador de flujo restaura el nivel en el tanque. Este sistema inmediatamente corrige disturbios debido a cambios de la presión de la torre en la corriente interior.

Los cambios en el nivel son corregidos por el controlador del nivel de manera que un nivel promedio es sostenido en el fondo de la columna. En este caso el controlador de flujo, usa el modo proporcional con reajuste para flujos

estables. El control de nivel tiene una banda proporcional ancha, o baja ganancia con una razonable acción rápida de reajuste.

Bandas proporcionales tan altas como de 400% han sido usadas para obtener promedios de control. El tiempo de reajuste es corto, lo cual resulta una tentativa inmediata para corregir el error de nivel. Debido a que la ganancia es pequeña la cantidad de corrección debido al reajuste es pequeña; pero la existencia de un período grande de tiempo eventualmente produce la propia corrección, y resulta un sistema sobreamortiguado. Un posicionador de válvula es a menudo usado en este arreglo debido a que es lenta la acción de regulación requerida.

Un recipiente con flujo bajo gravedad manifiesta una autoregulación, ya que el incremento en la parte superior origina un incremento en la salida. Sin embargo esto es cierto cuando el flujo corre por gravedad y no en cualquier instalación donde se usan bombas.

En muchos casos la presión en un recipiente es tan alta que la desarrollada por el solo nivel de líquido. Una severa fluctuación en esta presión puede causar la descarga de flujo para variar considerablemente, y de esta manera afecta al nivel del líquido. Mientras un sistema en cascada

puede ser usado para estabilizar este tipo de arreglos, es mejor regular la presión, muchas torres tienen control de presión en el domo. Estas variaciones si son severas, pueden causar problemas en el control de nivel líquido. Generalmente el control preciso de nivel no es requerido en el acumulador del domo y el problema no es grande. Esto es particularmente verdadero una vez que el recipiente ha conseguido un estado estable en las condiciones de operación.

CONTROL DE LA TEMPERATURA: la temperatura es una importante variable que se encuentra en todas partes de una planta química. La mayoría de las aplicaciones en la industria de los procesos químicos involucra cuatro clases de servicios: 1) mezclado de fluidos, 2) intercambio de calor, 3) generación de calor por combustión, 4) procesos de reacción.

La temperatura es usada como medición indirecta en la mayoría de los procesos. En otros, es usada como una inferencia de la composición química, particularmente en operaciones de destilación.

La mayor parte de los problemas de control es la regulación del intercambio de calor. A causa de la naturaleza de la transferencia de calor, las temperaturas de proceso son caracterizadas por capacitancia más grandes que

el flujo, presión, o en el nivel de líquidos. Las reacciones de proceso generalmente son lentas. El tiempo muerto - frecuentemente es grande particularmente en los procesos de calentamiento de fluidos tales como calentadores y columnas de destilación.

En la mayoría de los procesos continuos, el elemento de la temperatura es insertado en un pozo de protección. - Esto protege al elemento térmico de los efectos adversos - del proceso, y permite removerlo para repararlo o reemplazarlo sin interrumpir el proceso. Sin embargo el pozo resulta un retraso adicional en la detección de la variable, - no solo debido al metal el cual transfiere el calor, sino - también a la capa delgada de aire, entre el sensor de temperatura y el interior del pozo. Sin embargo este efecto puede ser reducido substancialmente. En la práctica común se usa un sistema de llenado de bulbo, en el cual el pozo se llena con aceite o se utiliza una cinta de aluminio para el contacto. Los termopares pueden ser puestos en el fondo - del pozo con objeto de incrementar la transferencia de calor. Note que el pozo no puede hacer tierra eléctricamente donde los termopares son conectados en serie o paralelo, a causa de la posibilidad de error debido a los circuitos de tierra entre sensores.

La localización del elemento de temperatura a menudo

tiene mucho que ver con la eficiencia del control. El bulbo de temperatura y el pozo deberían estar siempre localizados en un punto donde el coeficiente de transferencia de calor sea lo más grande posible. En columnas de destilación, la salida de vapores del líquido hirviente será la misma temperatura del líquido. Sin embargo, el elemento debería estar localizado en el líquido del plato de la columna en vez de estar en el vapor entre los platos, con el objeto de tener mayor coeficiente de transferencia de calor.

El tipo más común de los sensores de temperatura son los sistemas de llenado (gas, líquido o mercurio), termopares, y bulbos, cada uno de éstos tienen sus propias características que son satisfactorias para ciertos tipos de instalaciones en la industria de procesos.

La configuración física básica del bulbo, sensor y pozo, interviene para las características de la respuesta a los cambios de temperatura. Todos estos elementos sea con o sin un pozo, contiene masa en forma de metal y/o relleno. Esta masa es un elemento de capacitancia en el circuito. La resistencia es adicionada por la capa delgada estacionaria entre el bulbo, pozo y la corriente de proceso.

El elemento de temperatura deberá estar situado donde exista la máxima turbulencia posible alrededor del sen -

sor. En tuberías el bulbo debe estar colocado de manera - que se encuentre a contracorriente.

En los sistemas de temperatura de llenado de bulbo, - la longitud del capilar puede significar un retraso signifi - cativo a la respuesta del instrumento. Por esta razón los - instrumentos usados en el control de temperatura deben te - ner la longitud del capilar lo más corta posible.

Los pozos no metálicos o de vidrio que son frecuente - mente usados en los recipientes de proceso para eliminar la corrosión o la contaminación del metal, ofrecen mayores re - trasos debido a la propiedad de aislamiento que tienen. Por ejemplo la porcelana tiene una constante de tiempo de casi - dos veces mayor que la de vidrio. Estos retrasos han sido - matemáticamente definidos y se han encontrado sus límites - particulares en algunos tipos de reacciones críticas en las operaciones unitarias.

Todos los sensores de temperatura deben ser instala - dos lo suficientemente dentro del proceso para asegurar la - temperatura más representativa.

El control de temperatura es llevado a cabo para la - mayoría de los procesos a través del uso de los modos pro - porcional, de reajuste y derivativo. Algunos transmisores -

tienen acción derivativa construída dentro de ellos con el objeto de superar el problema de retraso de la medición de la temperatura.

Cuando el tiempo muerto es significante es necesario usar el control en cascada, en variables locales más rápidas tales como el flujo. Esto resulta en una inmediata corrección a la desviación en el flujo, mientras que las temperaturas de control más bajas hacen los ajustes gradualmente en el flujo, que son necesarios para compensar los cambios en la calidad de la alimentación, o en la composición del combustible.

CONTROL DE LA VARIABLE POR COMPUTADORA. Muchas instalaciones de control de temperatura usan termopares debido a que las señales eléctricas son compatibles para usarse con computadora. La señal del termopar puede ser introducida directamente en el hardware de la computadora sin la conversión intermedia de transductores.

El uso de los termopares a la computadora para el control de procesos, requiere atención especial a dos áreas. La primera es la posibilidad de interferencia eléctrica en señales de bajo nivel. Lo segundo es la programación de la computadora para aceptar señales no lineales del termopar.

El termopar a la entrada de la computadora contiene un bulbo de resistencia y un esquema de conexiones relacionado a la medición y la temperatura de referencia; y también para el suministro de la señal de voltaje de referencia que ayuda al cálculo de la temperatura.

Debido a que la curva del voltaje contra temperatura es no lineal es necesario programar la computadora, dividiendo la curva en pequeños segmentos lineales. El número de segmentos determina la seguridad de la medición. La señal de bajo nivel del termopar que va a la computadora debe ser protegida de disturbios eléctricos si la seguridad de la medición de la temperatura medida quiere ser mantenida. Disturbios o ruidos debidos a los diferentes niveles de voltaje en la planta son conocidos como modo común de interferencia. Pueden ser eliminados por el uso de tierra común para todos los termopares. El otro tipo de disturbios es debido a la parte electroestática y electromagnética debido a la proximidad de las líneas de fuerza o dispositivos eléctricos, y es conocido como modo normal de ruido. Y se puede reducir por el aislamiento del termopar y las partes más necesarias. Además la mayoría de las computadoras están adaptadas para rechazar el ruido.

Uno de los grandes problemas en la industria de procesos es el control de las variables de proceso. Las fun -

ciones llevadas a cabo por un sistema de control de procesos incluyen: 1) la medición de la función, 2) la computación de la función, 3) la actuación de la función, 4) la comunicación de la función y 5) el control de la función.

3.3 EL CONTROL POR COMPUTADORAS

En los procesos industriales en los cuales están progresando los sistemas controlados por computadoras, podemos incluir a hornos de fundición, plantas petroquímicas, fábricas de papel, fábricas de vidrio, etc. Y cada una de estas industrias tiene sus problemas específicos, por lo tanto, esta discusión será a un nivel general.

En todos estos procesos las variables se dividen en varias categorías y se encuentran ilustradas en la figura 3.3.1.

1. Variables manipuladas. Son aquellas cuyos valores pueden ser ajustados por el control del sistema; estas variables son la entrada a nuestro proceso, tales como: materia prima, agua, vapor, etc.

2. Disturbios. Estas son variables cuyos valores afectan la operación del proceso pero no pueden ser sujetas a ajustes por el control del sistema. Algunos ejemplos se-

rían la composición de la materia prima, temperatura ambiente del aire. Algunas variables de esta categoría pueden ser medidas, mientras otras no pueden ser medidas.

3. Variables controladas. Estas variables son las que determinan la operación de la planta. Son aquellas para las cuales se diseña una estrategia de control con objeto de mantenerlas dentro de ciertos límites. Algunas veces llamado setpoint. Un ejemplo incluye la cantidad de la producción, y calidad del producto. El problema general de control es ajustar las variables manipuladas así como mantener las variables controladas dentro de su set point o rango de acción. Algunas variables controladas pueden ser medidas directamente, pero algunas deben ser inferidas de otras mediciones, tarea que realiza excelentemente la computadora digital.

4. Variables intermedias. Estas variables aparecen en algún punto intermedio del proceso, son utilizadas para determinar futuras acciones de control. Un ejemplo es la temperatura del agua de una chaqueta, la composición de una corriente intermedia.

Debido a que cada planta tiene varias variables en cada una de las anteriores categorías, es evidente que el control de las unidades de proceso no es una cuestión sim -

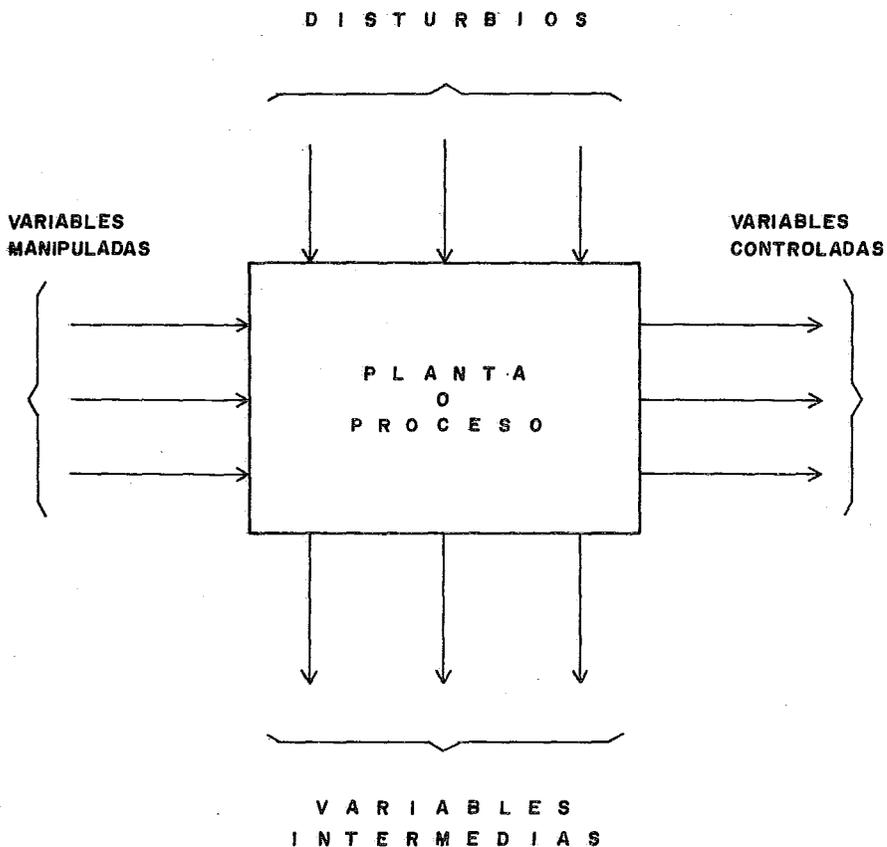


FIG. 3.3.1 PRESENTACION GENERAL DE UN PROCESO

ple. Además uno de los problemas más difíciles de resolver es la determinación del modelo matemático adecuado para controlar el proceso. El problema estriba en que las características del proceso dependen primero: del nivel de operación de la planta (generalmente la planta es altamente no lineal), y segundo, en la operación de la planta, las características cambian con el tiempo (planta no estacionaria).

En procesos o sistemas grandes el número de variables que hay que medir, y en función de las cuales hay que determinar una estrategia de control. La computadora digital con su habilidad de coleccionar una gran cantidad de información, analizarla y tomar decisiones lógicas en estos resultados, resulta la herramienta ideal para este tipo de aplicaciones.

SISTEMAS DE CONTROL CONVENCIONAL: En la malla básica de control en sistemas convencionales (analógicos) la parte más característica es la retroalimentación (ilustrado en la figura 3.3.2). El valor de la variable controlada es detectado por un sensor o transmisor (por ejemplo, un termopar para medir temperatura). Este valor es comparado con el valor deseado o set point para generar el error. La ley de control genera un cambio en la variable manipulada así como para conducir este error a cero.

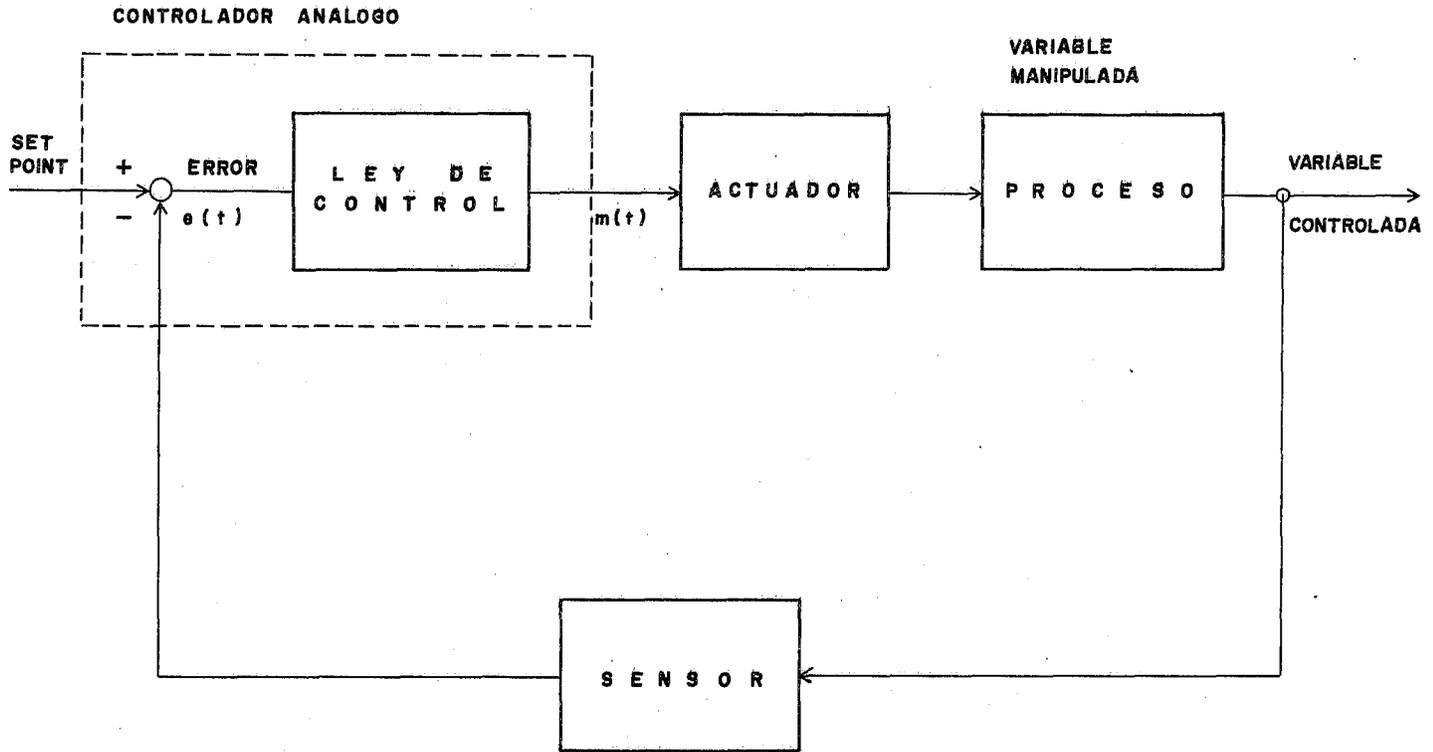


FIG. 3.3.2 MALLA DE CONTROL FEEDBACK CONVENCIONAL

Este controlador de salida es impuesto en el proceso por un actuador, el cual es un regulador automático de válvula en la mayoría de los casos. Como muestra la figura, la parte más importante y característica de un sistema de control es la realimentación. La señal de entrada marca el valor que debe tener la variable de salida o controlable. En el llamado punto de suma se comparan ambas señales y se genera el error que sirve como señal de entrada al controlador.

Este dispositivo genera una señal que en el caso más general en este tipo de controles es proporcional al error, a su integral y a su derivada. Esto es la variable manipulada $m(t)$ es relacionada al error $e(t)$ por la ecuación:

$$m(t) = K_C \left\{ e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{d e(t)}{dt} \right\} + m_R$$

En esta fórmula las variables son las siguientes:

K_C = ganancia proporcional

T_i = tiempo de integración o reset

T_d = tiempo de derivación

m_R = valor de referencia al cual se inicia la acción de control.

Los ajustes K_c , T_i y T_d , se encuentran en el controlador. En la selección de sus propios valores es normal -- un procedimiento de prueba y error llamado "tuning".

Si bien es posible en teoría ajustar los tres parámetros de la acción de control, en la mayoría de las aplicaciones se trabaja exclusivamente con el control proporcional e integral. Probablemente el 75% de los controladores-feedback utilizan el control proporcional e integral debido a la dificultad del "tuning" en el controlador proporcional diferencial e integral.

En las plantas de proceso existen desde unos cuantos controladores proporcional e integral hasta cientos de éstos.

En la mayoría de los casos este tipo de controladores han sido neumáticos por ser estos sumamente confiables y no presentar peligros en atmósferas explosivas. Sin embargo, en fechas recientes los avances de la electrónica -- han permitido construir controladores electrónicos con características equivalentes.

No importando sean neumáticos o electrónicos, los sistemas de control convencionales analógicos son sumamente inflexibles y debe existir siempre una correspondencia uno-

a uno entre las funciones del lazo de control y el equipo - que los implementa.

Los problemas con que se enfrenta el diseñador en - estos sistemas de control son: su estrategia debe ser tal - que tiene que implementarse con hardware análogo. Las modi - ficaciones subsecuentes de la estrategia de control requie - re modificaciones del hardware análogo. La posibilidad de - realizar estrategias completas con este tipo de elementos - analógicos es muy limitada.

Debido a esto, los diseñadores de sistemas de con - trol empezaron a ver a las computadoras digitales como un - medio para superar estos problemas. Virtualmente cualquier - estrategia de control es programable, y el mayor número de - modificaciones en la estrategia son simples cambios de pro - grama.

Las ecuaciones clásicas de los modos de control con - vencionales y sus algoritmos de control, tienen limitacio - nes en el control de mallas en el cual hay un considerable - retraso entre el movimiento de la válvula y el efecto resul - tante en la variable medida. Un trabajo mucho mejor puede - ser hecho por algoritmos que incluyan un modelo de retraso - en su construcción. Esto es fácilmente hecho por las compu - tadoras digitales. Cuando estos y otros requerimientos son

puestos juntos y estudiados, vemos que los sistemas de control convencionales quedan en segundo término, y así resulta evidente que los controles en cascada, feedforward y mallas multivariantes se hacen simples y económicas con el uso de la computadora digital electrónica.

REGISTRADORA DE DATOS. La aplicación más sencilla de una computadora es simplemente como un dispositivo para registrar datos, generalmente con alguna lógica sencilla que permite imprimir un mensaje cuando alguna de las variables alcanza valores fuera de sus límites normales. Los registros que genera la computadora son sin embargo importantes para el diseñador de un sistema de control de procesos, ya que pueden emplearse si se han recabado con una estrategia adecuada para construir el modelo.

Como se ilustra en la figura 3.3.3, la registradora de datos no es absolutamente eficaz en el control o regulación de los procesos. Simplemente registra los valores importantes de las variables de proceso a intervalos regulares de tiempo.

Las demandas fijadas por la registradora de datos es de la forma siguiente: de los datos generados por el registro, todas las variables del proceso pertinentes usted las leerá, así como la operación del proceso. Mucha de esta in

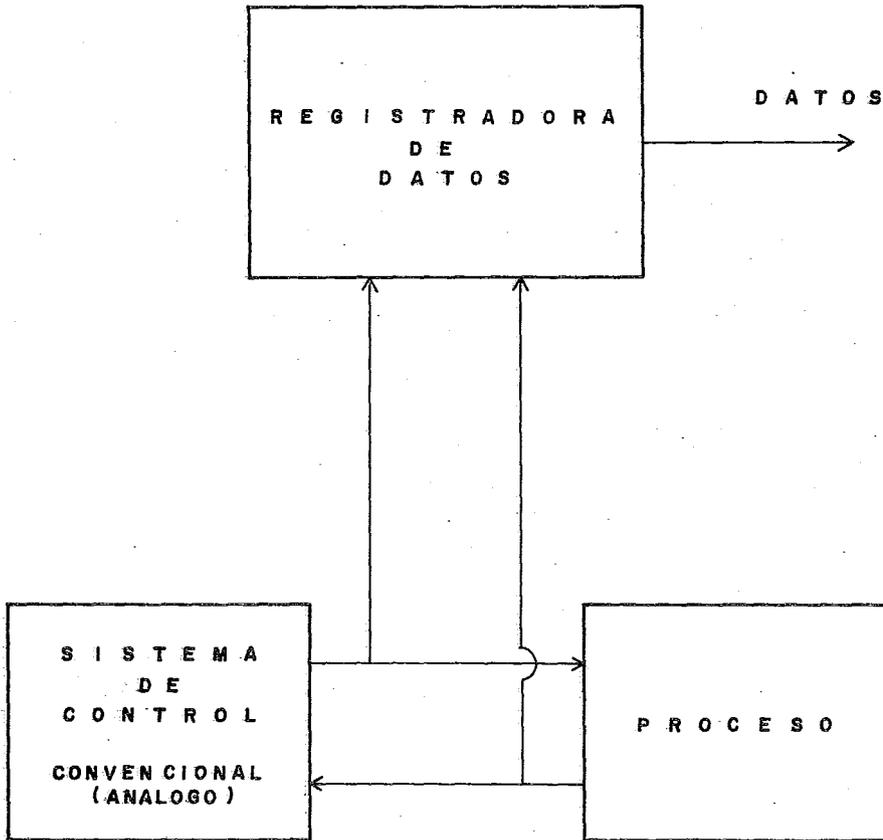


FIG. 3.3.3 REGISTRADORA DE DATOS

formación redundante estará cerca de las condiciones normales de operación. La modelación de los procesos requiere bastante ingenio en las pruebas de proceso para obtener los datos necesarios. Mientras que una buena registradora de datos es vital durante estas pruebas, a veces la misma registradora de datos es inadecuada.

Excepto en casos especiales, la registradora de datos no es suficiente, para justificar una computadora digital. En efecto se ha examinado la adición de la registradora de datos a los sistemas de control de procesos en cualquiera de las tres categorías (control digital directo, supervisorio o jerárquico). Las excepciones incluyen grandes plantas nucleares, donde la comisión de energía atómica requiere que cortos datos deben ser mantenidos, y los sistemas de automatización de los laboratorios, donde los datos es el principal producto.

CONTROL SUPERVISORIO. El objetivo básico en la operación de un proceso es optimizar financieramente el rendimiento de la inversión. La retribución económica en una operación depende de un gran número de factores, algo que está tomando gran significancia día a día es la estrategia de operación. Consecuentemente se trata de optimizar la economía mediante la optimización de la estrategia de operación.

Una aplicación muy frecuente de la computadora digital se encuentra en el llamado control supervisorio. Esta es una solución híbrida donde se combina con los controladores analógicos. Como se muestra en la figura 3.3.4, estos últimos realizan directamente la función de control. No obstante que la computadora determina la estrategia óptima de operación, el sistema de control análogo lleva a cabo las decisiones. Así en muchos casos el control por computadora simplemente proporciona los set points a las mallas de control análogo.

La computadora en función de variables medidas y de instrucciones que le da el operador a través de la consola, e incluyendo generalmente criterios de carácter económico, calcula que valor deben tener las diversas acciones de control (proporcional, derivativo e integral) que deben tomar los controles analógicos.

Debemos hacer hincapié que la limitación principal para implementar este tipo de control es la disponibilidad de un buen modelo matemático de la planta o sistema que se desea controlar.

El control supervisorio prescribe las apropiadas instrucciones de operación, así que los objetivos deseados son logrados en el mejor grado posible. Existen dos prerequi--

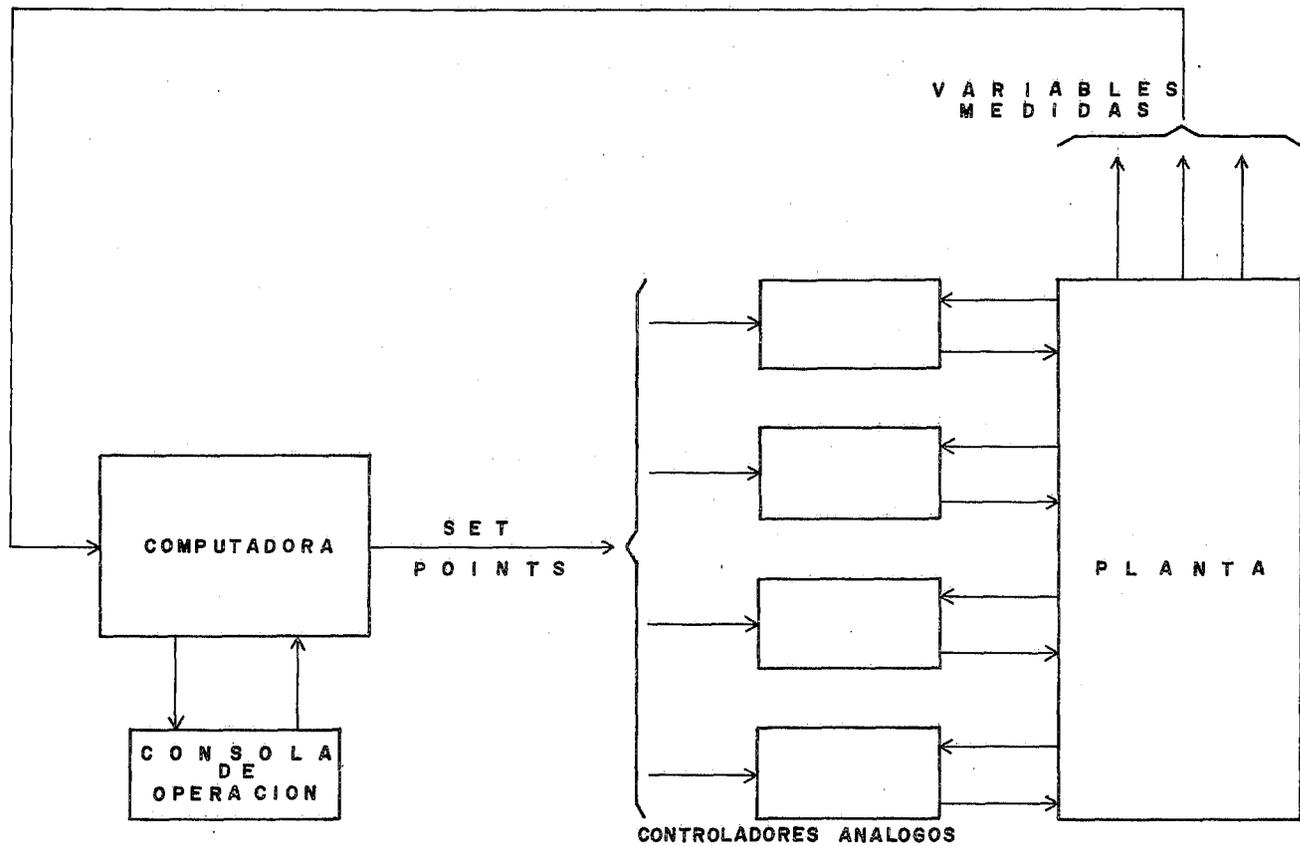


FIG. 3.3.4 SISTEMA DE CONTROL SUPERVISORIO

sitos matemáticos básicos para implementar el esquema de control: 1) Desarrollo del modelo de la planta y 2) Optimización de las condiciones de operación.

Todos los sistemas de control supervisorio son basados en modelos, y la indisponibilidad general de los modelos necesarios es probablemente el más difícil obstáculo a vencer en la justificación de un sistema supervisorio. El costo del desarrollo del modelo es generalmente una parte substancial del costo total del proyecto, y es a menudo difícil estimarlo de antemano.

La mayoría de los sistemas supervisorios contienen por lo menos uno de los siguientes tipos de modelos: modelos físicos, modelos de procedimiento, modelos económicos. El diseño del modelo es usado para calcular las características físicas de la planta de niveles específicos de operación. Por otra parte, el modelo de control debe relacionar las variables de operación para una planta cuyas características físicas son conocidas.

En el control supervisorio, señales desde los instrumentos son alimentados a la computadora el cual hace los cálculos de los balances de material y energía para determinar el estado del proceso. La computadora entonces calcula los ajustes para las variables controladas y envía estos ajustes -

tes fuera, en la forma de set points y señales a los controladores convencionales.

Esta técnica compensa cambios en las materias primas y otras variables incontroladas, mantiene el proceso estable, produce el producto deseado y una óptima producción.

A través de una adaptación en la comunicación, los sistemas de control supervisorio pueden unirse a altos y bajos niveles de las computadoras suministrando la unión en avanzados sistemas de dirección e información.

CONTROL DIGITAL DIRECTO. Los sistemas de control digital directo pueden ser usados para llevar a cabo las funciones de los controladores convencionales haciendo la comparación de los set points contra la variable del proceso, computando las correcciones de los modos de control y transmitiendo el resultado al elemento final de control. Puesto que esto es hecho en tiempo compartido bajo un programa de control, muchas mallas pueden ser manejadas rápidamente.

Los programas de control digital directo permiten el uso de técnicas de control óptimas, que no son posible con los controladores convencionales, así como el control feed-forward. Las mallas de proceso con dominantes tiempos de retraso o retrasos de transporte, el cual causa severos pro

blemas a los controladores convencionales, usando control digital directo pueden ser manejados fácilmente y con gran estabilidad.

Relacionado el control digital directo es control supervisorio donde el sistema de la computadora no es el elemento de retroalimentación pero proporciona el set point al controlador análogo. Aunque el error de corrección es ahora delegado al controlador análogo, el control completo es mantenido por el sistema de computadora.

La unidad central de procesamiento en sistemas de control digital directo, fluctúa de medianas a grandes configuraciones en comparación a la adquisición de datos, hay más datos para cada punto de entrada tales como historia, set point y actuaciones de control; por consiguiente los sistemas tienden a tener una gran mejoría además de una alta velocidad de almacenaje.

La figura 3.3.7 ilustra la malla básica encontrada en los sistemas de control digital directo. Empezando con la salida del sensor, procederemos alrededor de la malla, examinando cada elemento en turno.

La función básica de la entrada al multiplexor es para obtener valores de una función a ciertos intervalos, en

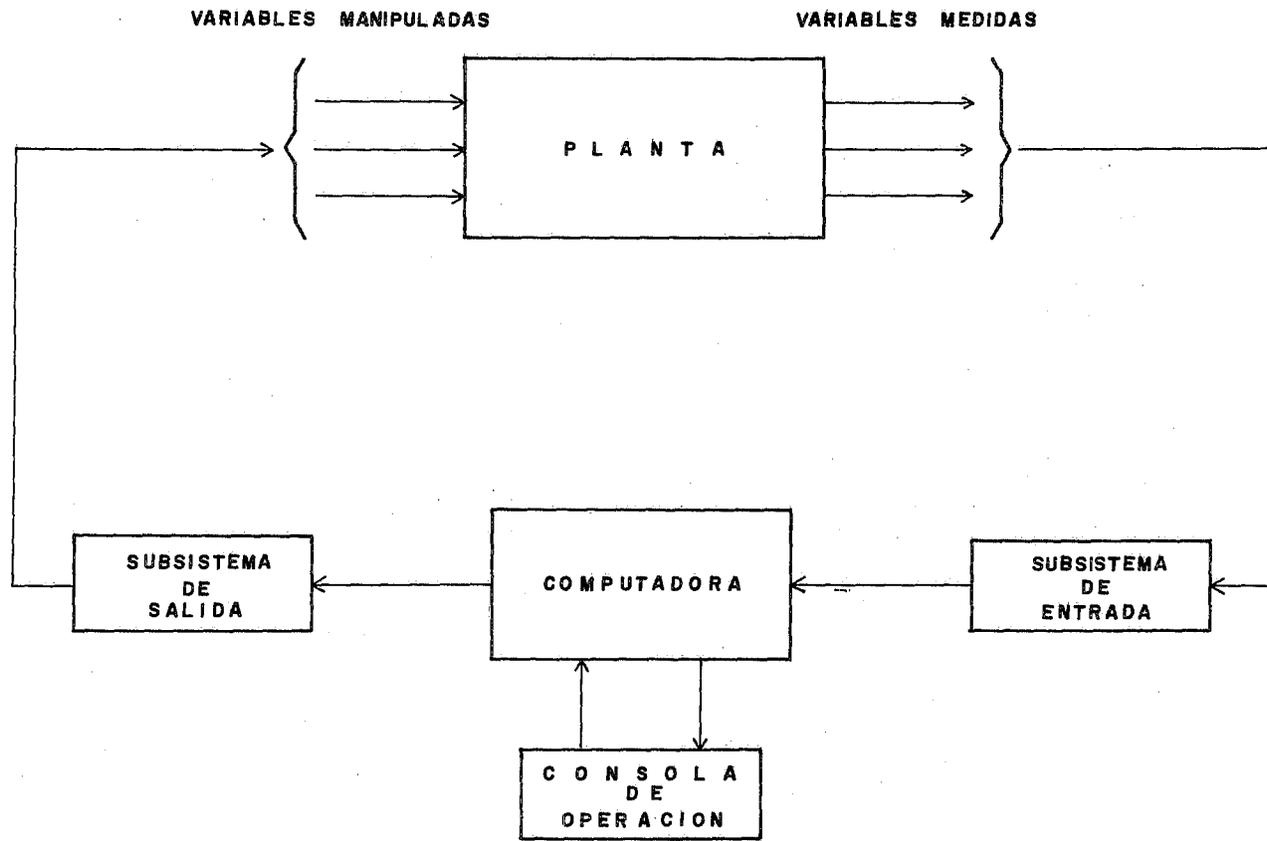
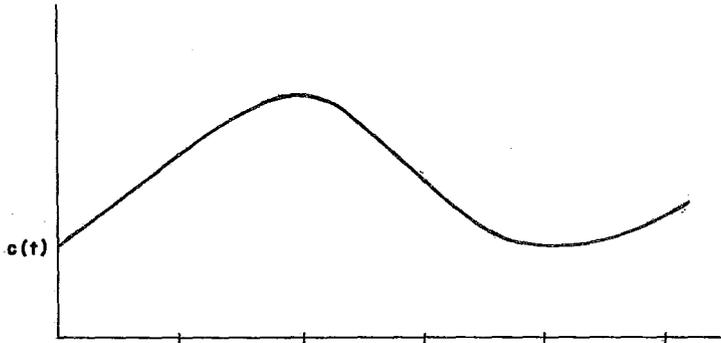
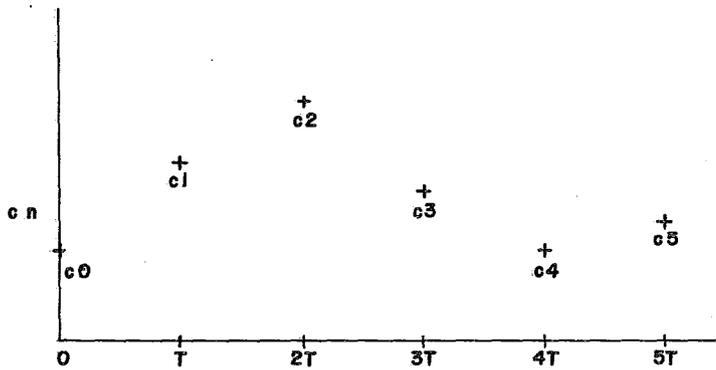
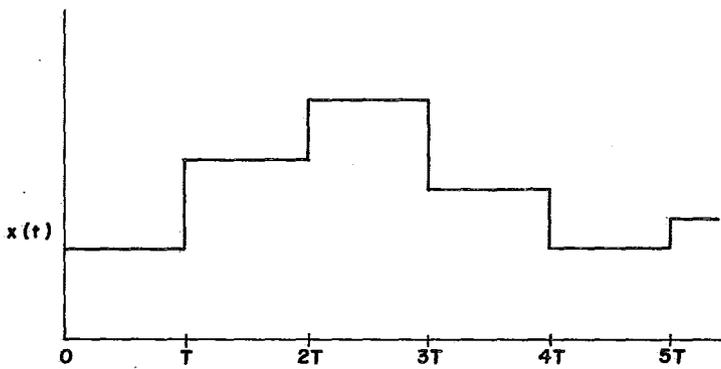


FIG. 3.3.5 CONTROL DIGITAL DIRECTO

(a) FUNCION CONTINUA DE TIEMPO $c(t)$ (b) SECUENCIA OBTENIDA POR MUESTREO $c(t)$ (c) RECONSTRUCCION DE c_n **FIG. 3.3.6** MUESTREO Y RECONSTRUCCION DEL PROCESO

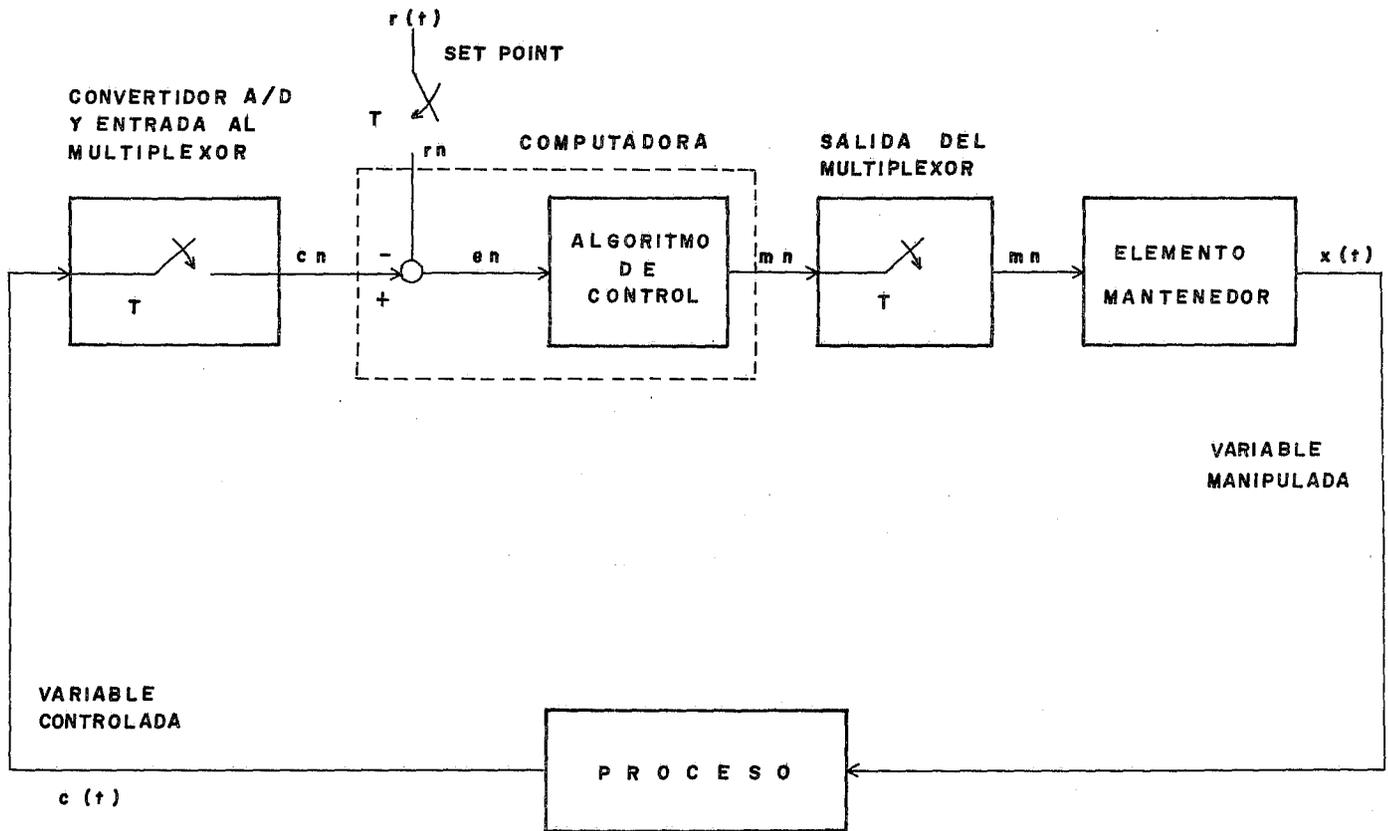


FIG. 3.3.7 MALLA TIPICA DE CONTROL DIGITAL

una operación conocida como muestreo. Aunque algunos muestreadores operan a velocidades irregulares y otros al azar.

La salida del sensor es una función continua de tiempo, al cual denotaremos por $c(t)$. La salida del multiplexor de entrada es una secuencia de números el cual representaremos como C_n . El suscrito denota el instante de muestreo por ejemplo $c_1 = c(T)$, $c_2 = c(2T)$, etc. Esto es ilustrado en la figura 3.3.6.

La computadora compara la salida del multiplexor de entrada con el valor deseado o set point recuperado de algún lugar de almacenamiento dentro de la computadora. La operación de muestreo en el set point es así realizada por la unidad de procesamiento de la computadora. En efecto el set point es raramente obtenido por muestreo de señales continuas como en el diagrama en la figura 3.3.7. Esta representación es frecuentemente usada para hacer énfasis que la secuencia de números c_n es comparada a otra secuencia de números r_n , siendo la diferencia el error $e_n = r_n - c_n$.

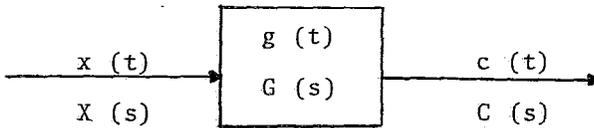
Usando el algoritmo de control apropiado, la computadora calcula un valor para la variable manipulada de la secuencia de error e_n . Entonces la computación es hecha a solo ciertos intervalos de tiempo, la salida del algoritmo de control es otra secuencia de números al cual nos referire -

mos como m_n .

El multiplexor de salida transfiere este valor a la entrada del elemento sostén, cuya función es construir (de la secuencia de números m_n) una señal continua $x(t)$ que hace la entrada al proceso. Entonces el proceso es típicamente continuo y no puede aceptar valores de m_n directamente. El sostenedor lógico normalmente usado es el de orden cero, el cual mantiene el último valor de la salida durante el siguiente intervalo de muestreo, por ejemplo, $x(t) = m_i$, $iT \leq t \leq (i+1)T$. Esto es ilustrado en la figura 3.3.6.

La malla de control en la figura 3.3.7, contiene dos tipos de señales. De la salida del mantenedor a la entrada del multiplexor de entrada, la señal es continua. De la salida del multiplexor de entrada del mantenedor, la señal es discreta. Para sistemas con entradas continuas y salidas continuas, ecuaciones diferenciales describen su comportamiento. Sistemas con entradas discretas y salidas discretas son descritas por ecuaciones diferenciales.

En los análisis de sistemas continuos tales como los procesos, las transformadas de Laplace han sido usadas extensamente en el campo de control, aunque esta aproximación es limitada a sistemas lineales. Por ejemplo en el proceso en la figura 3.3.7, puede ser representado como sigue:



Esta relación es matemáticamente expresada por las transformaciones de Laplace como sigue:

$$C(s) = G(s)X(s)$$

donde:

$$X(s) = \mathcal{L} \{x(t)\} = \int_0^{\infty} e^{-s\tau} x(t) dt$$

$$G(s) = \mathcal{L} \{g(t)\} = \int_0^{\infty} e^{-s\tau} g(t) dt$$

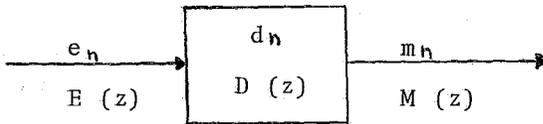
$$C(s) = \mathcal{L} \{c(t)\} = \int_0^{\infty} e^{-s\tau} c(t) dt$$

Alternativamente, esta relación puede ser expresada por la integral:

$$\begin{aligned}
 c(t) &= \int_0^t g(\tau) x(t - \tau) d\tau \\
 &= \int_0^t x(\tau) g(t - \tau) d\tau
 \end{aligned}$$

Además, la salida $c(t)$ puede ser relacionada a $x(t)$ vía ecuación diferencial.

Para sistemas discretos, representaciones análogas son disponibles. Por ejemplo el algoritmo de control en la figura 3.3.7 puede ser representado como sigue:



Análogo a la representación integral para sistemas continuos el sistema discreto puede ser representado como:

$$m_n = \sum_{i=0}^n e_i d_{n-i} = \sum_{i=0}^n e_{n-i} d_i$$

Alternativamente, esta relación puede ser presentada en términos de la transformada z

$$M(z) = D(z)E(z)$$

donde:

$$E(z) = \mathcal{Z}[e_n]$$

$$D(z) = \mathcal{Z}[d_n]$$

$$M(z) = \mathcal{Z}[m_n]$$

Si f_n es una secuencia de números la transformada z es definida como:

$$F(z) = \mathcal{Z}[f_n] = \sum_{i=0}^{\infty} f_i z^{-i}$$

El uso de la transformada z para señales discretas es completamente análoga al uso de la transformada de la clase para señales continuas. Aunque la definición de la transformada z es realmente basada en las señales discretas f_n , es usual hablar acerca de la transformada z en señales continuas. Sin embargo, ya que la definición de la transformada z está basada en señales discretas, lo que significa que la transformada z de señales discretas es obtenida por muestreo de las señales continuas.

Para analizar sistemas digitales con elementos de control discontinuos, actualmente se está utilizando esta nueva herramienta matemática llamada la transformada z . Es difícil condensar en un capítulo todo lo relacionado con estas transformaciones, para profundizar en esta parte, la bibliografía mencionada al final nos amplía más estos conceptos.

En el control digital directo la computadora calcula el valor de las variables manipuladas directamente del valor de los puntos de ajuste (set points), variables controladas, y otras variables que se miden durante el proceso. Las decisiones de la computadora son aplicadas directamente al proceso, de aquí el nombre de control digital directo.

Como los valores de las variables manipuladas son calculados por la computadora, los controladores convencionales de tres modos descritos anteriormente no son muy necesarios. Sus funciones son en cambio efectuadas por las ecuaciones llamadas algoritmos, por el cual la computadora calcula la variable manipulada del set point y la variable controlada.

Una de las partes más importantes de una computadora y la estructura del sistema son los algoritmos de control para poner todo en operación. El desarrollo de los algoritmos generales de control es uno de los problemas más complejos y esenciales en el campo de las computadoras digitales para control de procesos.

Actualmente se están considerando dos técnicas para el desarrollo de los algoritmos de control. Una es la técnica de diseño de la transformada z , y la otra es el uso de los algoritmos convencionales.

Hasta ahora los algoritmos convencionales son los que más han sido usados en la mayoría de los sistemas de control. Las técnicas de la transformada z se utiliza en los casos que el proceso lo requiere, por ejemplo procesos que tienen grandes tiempos muertos. Actualmente están progresando las técnicas de la transformada z , a pesar de esto

los algoritmos convencionales no desaparecerán.

Con objeto de diseñar un algoritmo de control utilizando la transformada z , un modelo del proceso es requerido, aunque los algoritmos proporcional integral y proporcional-integral derivativo son frecuentes, si no es usual sintonizarlos por las aproximaciones de prueba de error, un modelo puede ser usado para dar estimaciones iniciales de la sintonización de parámetros.

En su aplicación más sencilla puede implementarse digitalmente el algoritmo de control proporcional diferencial e integral, cuya versión en este caso está dada por la siguiente fórmula:

$$m_n = K_c e_n + K_c T / T_i \sum_{i=0}^n e_i + T_d K_c / T (e_n - e_{n-1}) + m_R$$

Ec. 3.3.1

donde: m_n = valor de la variable manipulada en n instante de muestreo

e_n = valor de error en el n instante de muestreo

T = tiempo de muestreo.

Los otros parámetros fueron definidos anteriormente. Esta ecuación es llamada la forma de posición del algoritmo de control como resultado del valor actual de la variable ma

nipulada, típicamente una posición de válvula.

Siendo el control digital el equivalente a los con - troladores analógicos, por medio del control digital, utili - zando los algoritmos de control, se mejoraría considerablemente a los controladores analógicos.

Uno de los primeros alicientes requeridos para siste - mas de control digital directo, fue el ahorro económico. La idea básica fue que una computadora haría las mismas funcio - nes que los controladores análogos. Debe haber algún punto en el cual el costo de estos controladores análogos igualarían el costo del sistema digital. Al parecer dos problemas tienen que estimarse: 1) costos de programación y 2) res - paldo del hardware.

Generalmente no puede justificarse la adquisición de un equipo digital para hacer las mismas funciones que po - dría hacer un equipo analógico. Es necesario aprovechar - plenamente las capacidades del equipo digital implementando control óptimo. Al justificarse la adquisición del equipo - digital por razones adicionales a las de implementación de - una ley de control proporcional, integral y diferencial, de - bemos mencionar que empleando técnicas digitales es posible obtener con el algoritmo anterior (ec. 3.3.1), mejor respues - ta que con su versión analógica.

CONTROL JERARQUICO. En general en grandes sistemas se recurre a un control de carácter jerárquico que es una combinación de control supervisorio, control digital directo y control analógico. En efecto el control digital directo se hace aún atractivo en estos casos debido a estas razones:

1. Pocas, en el caso de que algunas entradas análogas adicionales sean requeridas. Así este costo aparece sólo una vez en la configuración total.

2. La combinación entre las dos computadoras digitales es considerablemente superior a la comunicación entre la digital y los sistemas análogos.

3. El problema de respaldo en control digital directo puede ser resuelto permitiendo a la computadora supervisoría asumir el control de mallas críticas en caso de falla de la computadora de control digital directo.

La extensión de estos conceptos a los más altos niveles da el concepto jerárquico, como lo ilustra la figura 3.3.8. El más bajo nivel es ocupado por la computadora de control digital directo siendo responsable del control de una sola planta. En la siguiente etapa es la computadora supervisoría el cual puede ser responsable de varias plan -

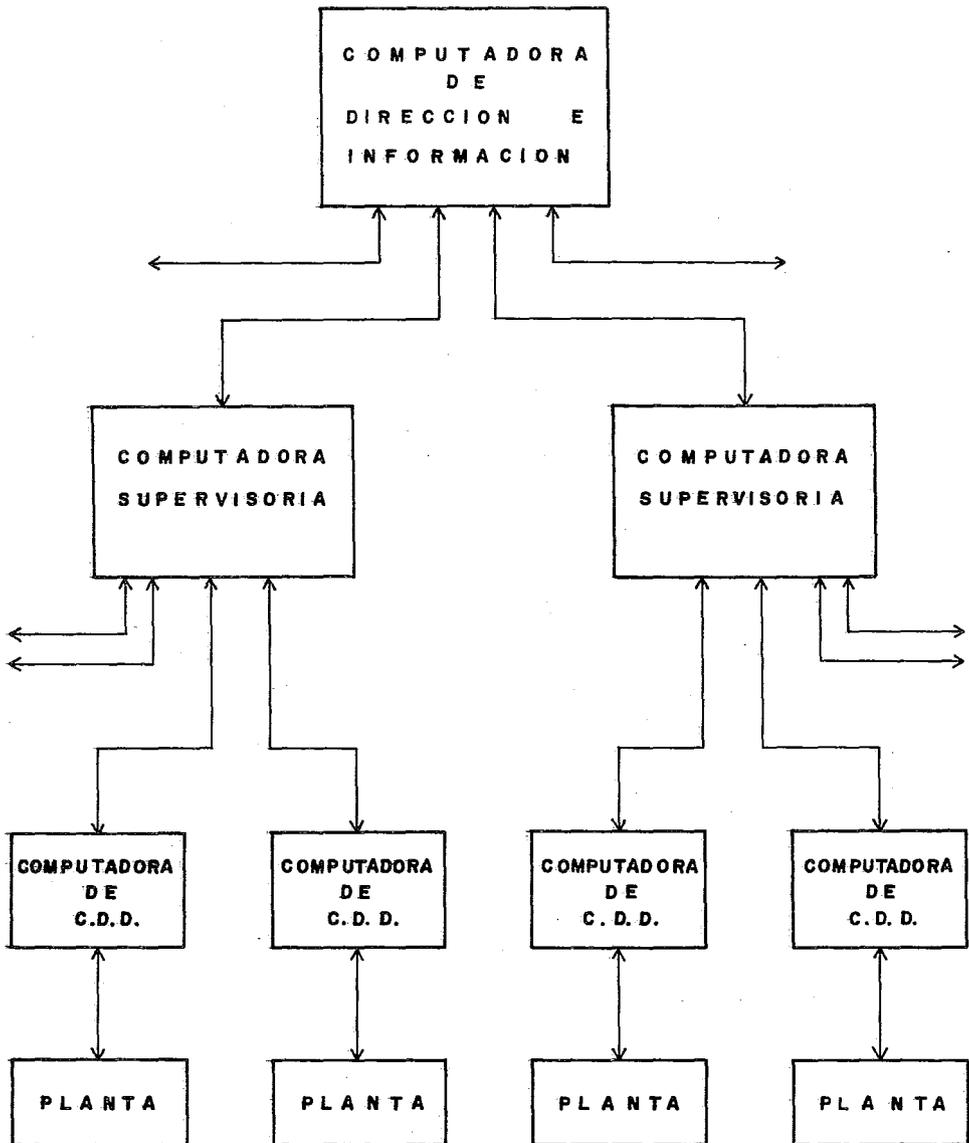


FIG. 3.3.8 SISTEMA DE CONTROL JERARQUICO

tas individuales.

En la próxima etapa de la escala está una computadora responsable para la coordinación de un complejo entero de varias plantas. En tales complejos el envío de materiales de una planta a otra significa que las operaciones en una son altamente dependientes de las operaciones de la otra. Ello también permite ver que lo mejor para una planta individual en el complejo pueden no ser lo mejor para el complejo como un total.

Como a la compañía le interesa el retorno de la inversión de todas las plantas, puede ser suficiente la iniciativa para instalar una computadora para averiguar qué metas de operación en cada planta suministra el máximo regreso del complejo total.

En la parte de arriba de la escala está incorporado el nivel de control de computadoras el que lógicamente es una parte del manejo de la información del sistema.

3.4 SOFTWARE DEL CONTROL DE PROCESOS

Sistemas de software del control de procesos. Una estructura idealizada del sistema de software del control de procesos, es ilustrada en la figura 3.4.1. En la parte-

de arriba de la línea punteada corresponde a la computadora y su software asociado. En la parte de abajo de la línea punteada corresponde al proceso y al control del hardware, el cual es asociado directamente con el proceso. En este sistema, el software usado para el control es dividido como sigue. La operación del sistema es responsable de la proyección del software, manteniendo la comunicación entre varios programas y el manejo de la entrada y salida de tiempo real. La aplicación del software es dividida en cuatro niveles, los cuales son caracterizados por el tiempo de requerimiento de respuesta de los eventos externos.

El más bajo nivel de control es la adquisición de datos y el paquete de software del control digital directo. El software y la adquisición de datos es responsable del control en la entrada de datos del proceso a la computadora. El software de control digital directo es responsable del control directo del proceso. El software de este nivel puede caracterizarse por tener respuesta a los cambios en el proceso u otros eventos externos con un tiempo de respuesta en el orden de segundos, en los típicos procesos químicos.

En el segundo nivel en el sistema, es el software el cual controla los efectos del set point. Este software generalmente consiste de algoritmos algebraicos que examina las mediciones que han sido hechas en el proceso y a partir

de estas mediciones calcula los puntos de operación deseada de acuerdo a los algoritmos. Este control del set point es hecho menos frecuentemente que el control en el nivel 1, quizás a intervalos de varios minutos.

En el nivel 3 es la optimización o los algoritmos de control adaptivo. Estos algoritmos operan por variación de los parámetros del algoritmo usado en el nivel dos para calcular los set points. El propósito del control de la optimización es para mejorar el funcionamiento del proceso de acuerdo a algunos criterios predeterminados.

En el más alto nivel del sistema está el manejo de la información del sistema y el control de software de toda la planta. Este software es usado para generar la operación de la información para la dirección del control, y/o para la programación en intervalos de tiempo tales como días o semanas. Esta función puede ser hecha por una computadora de proceso o una computadora de la planta.

La función de cálculo de fondo, aparece en la mayoría de los sistemas actuales de software de control de procesos. Cuando la computadora de proceso no es necesaria para el control de los niveles del 1 al 4, la operación del sistema tiene que hacer fila, el cual determina si el cálculo de las funciones de tiempo no real, tales como la compi-

lación, corridas científicas o programas son requeridos. La mayoría de los sistemas de control de procesos incluyen esta función como una opción.

En el desarrollo del software del control de procesos es interesante examinar como se estandarizan las diferentes partes del sistema (como se muestra en la figura 3.4.1). La operación del sistema puede ser virtualmente la misma de computadora a computadora, la variación sólo está en algunos cambios en la configuración del hardware usado, e independiente del proceso el cual está bajo control. La adquisición de datos y el paquete de control digital directo se estima como una dependencia del 20% del proceso. Sólo los algoritmos de control digital directo y el actual número de entradas al proceso y su dependencia de tiempo necesita ser especificada en la sección de adquisición de datos junto con varias constantes, tales como la conversión a unidades de cálculo.

En el nivel 2, los algoritmos de control del set point, tienen una dependencia de aplicación mucho más alta, posiblemente de 50 a 90% del software en este paquete, variando de trabajo a trabajo. La optimización o el paquete de control adaptativo no es una aplicación dependiente como el control del set point, con quizás 50% del paquete, consistiendo de algoritmos de optimización de propósitos gene-

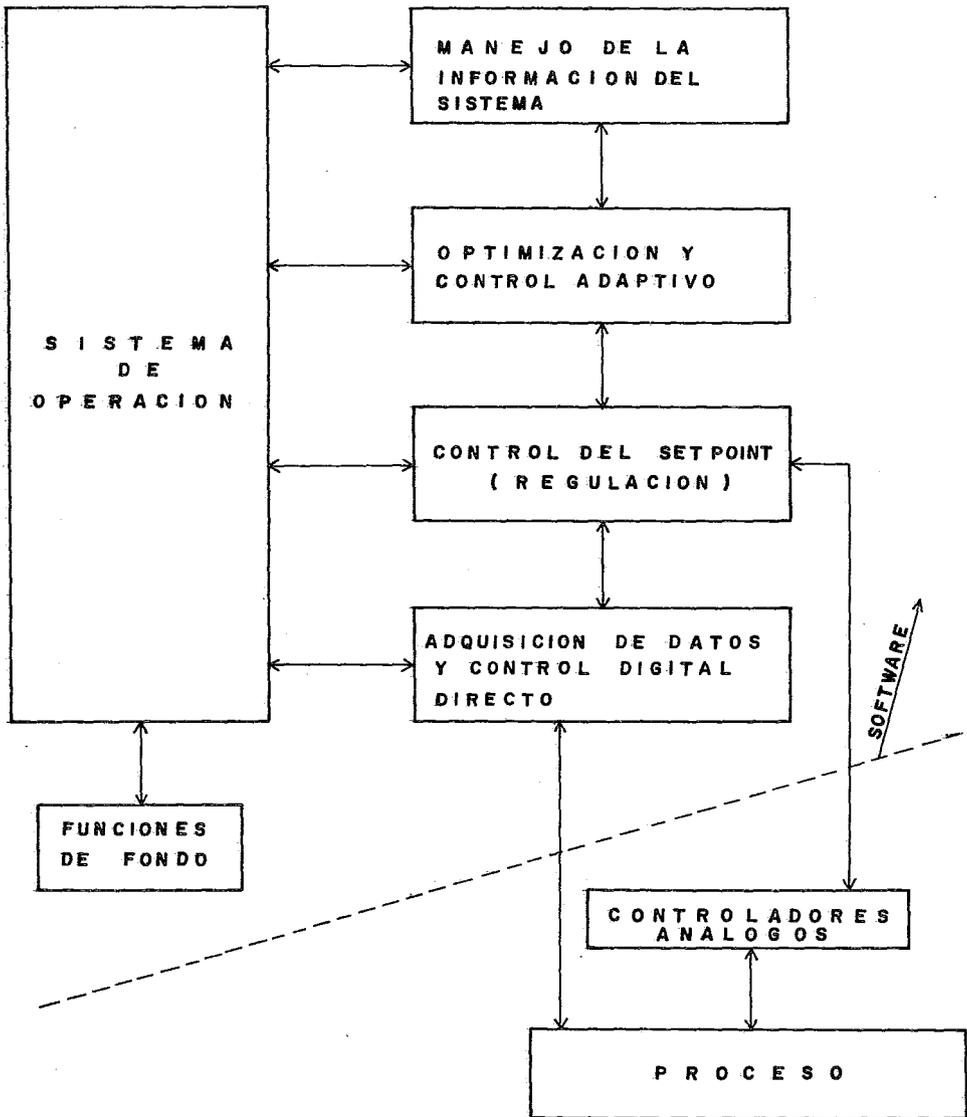


FIG. 3.4.1 SISTEMA DEL SOFTWARE DEL CONTROL DE PROCESOS

rales, tales como una programación lineal u optimización de parámetro, y el resto consistiendo de programación especializada usada para unir estos algoritmos al paquete de control del set point.

El manejo de los sistemas de información pueden ser altamente estandarizados. Este es un problema de la dirección de datos y un programa para la construcción de datos base puede ser escrito en aplicaciones de manera independiente. Solo la estructura de los datos base como las necesidades de aplicación a ser especificadas. Así se puede estimar que sólo el 20% de este paquete es de aplicación dependiente.

Veamos el problema asociado con el desarrollo de un sistema de software de control de procesos. En tal sistema hay porciones del software el cual son casi totalmente aplicaciones independientes, y son en general suministradas como software estándar por el vendedor de la computadora. Hay también porciones de sistema de software tal como la adquisición de datos, el paquete digital directo y sistemas de manejo de información el cual son de aplicación altamente independiente. Para estas porciones el usuario espera tener un paquete de propósito general suministrado por el vendedor o una casa de software, configurado para sus necesidades. En la optimización y el área de control del set --

point, un alto grado de adaptación al paquete del software es necesario, a menudo requiere una programación completa de estos elementos.

Ahora examinaremos las características de un sistema de software de control de procesos. Ya que los sistemas de operación generalmente son suministrados por el vendedor, examinaremos su estructura general así que podremos entender como las otras partes del sistema son controladas por los sistemas de operación. Veremos las diversas técnicas para la implementación del resto del software del sistema. Varios procedimientos de lenguajes de programación los cuales pueden ser usados para implementar las aplicaciones dependientes, partes del sistema serán examinadas. Daremos particular atención a los cambios en la estructura de FORTRAN, el cual estan siendo hechos con el objeto de hacer un lenguaje útil para la programación del control de procesos.

En la próxima sección examinaremos varios problemas de lenguajes orientados los cuales son usados en área de aplicación específica para implementar sistemas de control de procesos. Finalmente veremos varios sistemas de software general, el cual el usuario sólo adiciona parámetros describiendo las características de aplicación, el cual él intenta realizar. Entonces, estos sistemas son completamente estructurados, y han sido llamados "sistemas de programa

ción de substitución".

SISTEMAS DE OPERACION. La figura 3.4.1, muestra que un sistema de software de control de procesos consiste de - un número de programas el cual deben operar juntos para el control del proceso.

El programa el cual coordina la ejecución de todos - los otros programas es llamado sistema de operación. Los - programas reunidos del sistema software del control de procesos deben, en general, ser ejecutados por una de las dos - diferentes razones. La primera es el acontecimiento de algún evento externo. Por ejemplo, cuando un programa detecta que una variable está siendo medida por la computadora - de proceso y está fuera de los límites de operación normal, alguna clase de emergencia acciona el programa para que sea ejecutado, es llamado evento orientado, y el sistema soft - ware de control de proceso debe ser capaz de catalogar los - eventos orientados para la ejecución del programa en intervalos de tiempos. El segundo tipo de ejecución de programa es catalogado como ejecución.

Un programa de control digital directo y de adquisición de datos, podría ciclar un cierto conjunto de puntos - de entrada, leyendo las entradas y ejecutando el algoritmo - de control digital directo a intervalos de un minuto. Este

programa es de tiempo orientado debido a que es ejecutado a intervalos fijados de un minuto.

Un sistema completo de software de control de procesos está compuesto de muchos y diferentes programas, algunos de los cuales son ejecutados a intervalos fijos, y algunos son ejecutados en el evento externo señalado a la computadora. Además, algunos programas pueden ser catalogados para la ejecución de otros programas, el cual está dentro del sistema.

El sistema de operación que coordina la ejecución de estos programas, contiene mecanismos para el control de la ejecución de programas en respuesta a los eventos externos. Los mantenimientos requeridos para hacer esto es responsabilidad del sistema de operación. Además de esto la mayoría del software de control de procesos, requiere un centro de memoria que esté disponible a la computadora.

Un dispositivo de almacenamiento tal como un tambor o un disco, es usado para almacenar porciones del software y datos. Los sistemas de operación también hacen el arreglo para cambiar varios programas dentro y fuera de la computadora de acuerdo con alguna prioridad de algún plan, y distribuir al centro de memoria los programas los cuales necesitan ser corridos.

Una función adicional del sistema de operación es la programación de actividades de entrada y salida. Ya que el equipo de entrada y salida en general corre mucho más lento que la velocidad de cálculo de la computadora, actividades de entrada-salida deben coincidir con la ejecución de otros programas. Cuando un programa ha completado alguna fase de cálculo y requiere una operación de entrada y salida, necesita que el sistema de operación realice esa operación, y mientras eso se lleva a cabo, el sistema de operación permite correr a otros programas.

En el sistema de operación multiprogramacional, el sistema hace los arreglos necesarios para controlar un sistema software de diferentes programas, el cual operan en una manera fortuita, siendo programados por eventos externos de tiempo, o de otros programas. Una utilidad para considerar el papel del sistema de operación en el control de procesos de la computadora misma, colocando en esa computadora los programas necesarios para el control de procesos. El sistema de operación controla la computadora mientras la computadora controla el proceso. La mayoría de los sistemas de operación son similares, en esta área de multiprogramación.

PROCEDIMIENTOS DE LOS LENGUAJES DE PROGRAMACION. El lenguaje de la computadora es predominantemente numérico, y

es absolutamente dependiente del diseño y de los requer -
mientos de la computadora especial que se usen.

Esas condiciones hacen que el proceso de escritura -
de programas el lenguaje de computadoras sea una tarea com-
plicada y tediosa.

Evidentemente, la meta del lenguaje de programación -
consiste en acercarse tanto como sea posible a nuestro len-
guaje común. Han existido muchos enfoques hacia esa idea -
del lenguaje "orientados hacia los procedimientos". Los -
más conocidos y los que ahora se usan más ampliamente son:-
FORTRAN, ALGOL, y PL/I.

La mayoría de los lenguajes de programación con apli -
cación al control de procesos, son variantes del FORTRAN.--
Con algunas pequeñas modificaciones, tales como la adición-
de nuevos tipos de datos y palabras clave. Aquí el FORTRAN
es útil para la realización de los cálculos internos a los-
programas de software del control de procesos.

Otra seria deficiencia en FORTRAN es la falta de un-
mecanismo en el paso del control opcional entre varios pro-
gramas segmentados, dependiendo de la condición de los even-
tos externos.

El FORTRAN es un lenguaje estático, diseñado para to

mar un conjunto de datos y transformarlos a otro conjunto de datos. En esta área en la cual se han hecho serias extensiones de FORTRAN, para control de paso sobre todo confiables, o una interfase con el sistema de operación. Comandos el cual causa la iniciación de otros programas segmentados uno u otro, inmediatamente a tiempos fijados, o intervalos de tiempo son a menudo adicionados. Son disponibles también instrucciones el cual causan una ejecución del bloque clave sobre el suceso de eventos externos, uniendo ese código con un interruptor asociado con ese evento. Por supuesto hay muchos lenguajes de procedimientos, tales como SPL IV y AUTRAN, también calificados como lenguajes orientados a los problemas. Sin embargo, actualmente los varios FORTRANS y lenguajes ensambladores, son los más populares.

El FORTRAN (del inglés FORMula TRANslator), es un lenguaje compilador que se utiliza especialmente para la programación científica. El FORTRAN es uno de los lenguajes de programación de alto nivel más popular. En general los lenguajes de programación de alto nivel están orientados hacia la solución del problema, o al desarrollo de procedimientos, y no hacia una calculadora determinada. Así pues, el lenguaje FORTRAN es independiente de las máquinas, y está específicamente orientado hacia la solución de problemas matemáticos.

LENGUAJES ORIENTADOS HACIA LOS PROBLEMAS. Uno de --

los fines del desarrollo de lenguajes de programación de al to nivel o de los sistemas de programación, es para permi - tir el uso del control por computadora para implementar el sistema software de control de procesos con menos atención a la estructura del sistema software o el hardware de la computadora.

Una aproximación para lograr estos motivos es el desarrollo de los lenguajes orientados hacia los problemas. Los lenguajes orientados hacia los problemas son lenguajes cuyo diseño es específico, relacionado a algunas aplicaciones en particular. Ejemplos pueden ser: el control de pro cesos batch o la construcción de un sistema de información-directivo. Estos lenguajes son diseñados para una comuni - dad específica de usuarios.

Los lenguajes orientados hacia los problemas, son en general simples de usar, más que los lenguajes de programación de procedimientos de propósito general. En los lenguaj es orientados a los problemas se suministra al usuario más estructuras de sistemas que en los lenguajes de procedimien to para propósito general.

Ahora examinaremos dos ejemplos de lenguajes orienta dos a los problemas. El primero es AUTRAN, que es un len - guaje de programación parecido al FORTRAN, y se usa en el -

arranque de un proceso y en el control de procesos cont -
nuos. Después veremos el BATCH, un lenguaje de control pa-
ra el usuario que piensa en términos de cartas de flujo.

AUTRAN. El lenguaje AUTRAN está diseñado para el --
control de procesos continuos. Un sistema completo incluye,
programas de aplicación, sistemas de entrada y salida del -
proceso, un sistema de control digital directo y un sistema
de operación.

La premisa básica del lenguaje AUTRAN es que el usua
rio podrá especificar las acciones de su sistema de control
por elemento, identificando ésto con los elementos del hard
ware del sistema a ser controlado. El programador desarro-
llará su programa de control tomando en cuenta lo siguiente:

1) Especificaciones: una expresión de especifica -
ción permite al usuario describir las propiedades físicas -
de objetos tales como motores, válvulas y mallas de control
tal como mallas de control digital directo. Estas expresio
nes son usadas para describir al sistema software las pro -
piedades físicas de la planta para su control. Por ejemplo,
CONTROL VALVE (CVALA (CLOSED, 3)), significa que la válvula
designada CVALA se encontrará cerrada y será abierta por -
una señal en la línea 3.

2) Lista de acciones: las listas de acciones son usadas para definir acciones a ser ejecutadas basadas en las condiciones de la planta; por ejemplo, START (PUMP A)-CONFIRM, da instrucciones a la computadora para expedir un comando de comienzo a la bomba el cual ha sido designado en la especificación como bomba A, y para confirmar cuando la orden de comienzo ha sido ejecutada por la bomba. Otras acciones que pueden ser inducidas en el lenguaje serían, el abrir y cerrar de válvulas, el conectar y desconectar switches, la activación y desactivación de mallas de control digital directo, el ajuste de alarmas límite, y la iniciación de otros programas en FORTRAN.

3) Lista de alarmas: un registro de alarma específica la acción para el sistema de control en condiciones anormales. Por ejemplo, WHEN (PUMP A. ALARMS OFF) SCHEDULE (SHUTDOWN), da instrucciones a la computadora para ejecutar un programa SHUTDOWN si la bomba A falla.

4) Listas de presentación: aquí se encuentran disponibles los registros de operaciones al operador del proceso. Estos registros se encuentran en línea para informar al operador lo que está ocurriendo en el proceso.

Así pues, hay 3 conceptos separados los cuales constituyen el corazón del sistema AUTRAN: la especificación -

la cual describe el hardware controlado, el registro de acciones la cual especifica cómo el sistema es controlado de acuerdo con los eventos externos, el registro de alarma y el estado de la presentación el cual especifica las acciones basadas de acuerdo con los eventos externos del proceso.

BATCH. BATCH es un lenguaje de programación para el control de procesos usado en la preparación de programas de control para procesos en tanda y semicontínuos.

Hay dos elementos básicos en este sistema de programación: las variables de proceso y las instrucciones básicas. En la creación del sistema de control con este lenguaje, el usuario arregla las variables, el cual describe en su proceso en una tabla del sistema del proceso.

Existen tablas que suministran la definición de todos los datos, los cuales son conocidos por elementos computacionales en el sistema. Entonces el usuario dibujará las cartas de flujo de control usando elementos computacionales estándar.

El sistema software funciona por la construcción de la tabla del proceso, compilando las instrucciones en una forma intermedia la cual es almacenada en una memoria, e interpretando estas instrucciones cuando el sistema está bajo

control.

SISTEMAS DE PROGRAMACION DE SUBSTITUCION EN EL BLANCO. Los sistemas de programación para el control de proceso son comunmente llamados "Sistemas de programación de substitución en el blanco". Estos sistemas generalmente consisten de subsistemas preprogramados separados para la adquisición de datos, dirección de datos, acciones de control general, operador de registro, consola exhibidora y control de las salidas de procesos.

Dentro de estos subsistemas, el usuario suministra datos acorde con algún formato previamente definido. Un sistema predefinido usa estos datos para unir la sección de adquisición de datos con su proceso, configura los datos base previamente, especifica las acciones de control y sincronización, define los arreglos de los registros y salidas de el operador, y une las salidas actuales al proceso.

Estos datos son generalmente suministrados al sistema como datos definidos, los cuales forman una documentación descriptiva del programa de control. La utilidad de estos sistemas es determinada por el cómo se combina la aplicación particular para lo cual su uso está siendo considerado.

Varias tentativas se han hecho para desarrollar lenguajes orientados al control a través del cual, el ingeniero de control puede obtener rápidamente las funciones de control deseado del sistema de computadora.

Actualmente los más prácticos de estos lenguajes han sido los lenguajes de sustitución en el blanco.

Para usar estos, el ingeniero de control sólo necesita llenar ciertos parámetros en blanco, en formas especialmente preparadas. De estos parámetros el sistema averigua las funciones a realizar.

En los sistemas de sustitución en el blanco, dos partes principales son:

1. Una parte procesadora (algunas veces referida como un compilador) que construye los datos base de la información en las formas.
2. Un interpretador que lleva a cabo las funciones especificadas en las formas.

El hecho de que el sistema crea propios datos base del mismo, reduce los costos del desarrollo del software. Afortunadamente no es necesario estar familiarizado con la-

estructura detallada de los datos base, con objeto de usarlos sistemas de substitución en el blanco.

Los datos base por lo general consisten de lo siguiente:

1. Datos fijados, tal como la función clave para cada bloque, los parámetros especificados (alarmas, límite, dirección del multiplexor, etc.), y otros datos similares. El operador puede listar y/o cambiar algunos de estos datos, por ejemplo los límites de alarma a través de la consola del operador.

2. Datos variables, disponibles internamente a los bloques solamente.

3. Datos variables disponibles a cualquier bloque que los necesite.

Dependiendo del sistema, otra información puede ser incluida. En la generación inicial del sistema, límites máximos son colocados en los datos base o parte de ellos, y áreas suficientes son reservadas en las memorias de alta velocidad, y/o en los discos para acomodar el sistema.

Ahora examinaremos los tres sistemas de programación

más conocidos de substitución en el blanco para el control de procesos, PROSPRO, IMPAC y BICEPS. La estructura de estos sistemas es muy similar, la mayor diferencia está en -- las formas de acción de control.

PROSPRO. En el lenguaje PROSPRO existen cinco láminas (hojas impresas especiales para este lenguaje), las cuales son utilizadas para describir las acciones de control - deseadas para la programación de este sistema.

Este lenguaje selecciona sus acciones de control de un conjunto de acciones generales, los cuales son disponibles y suministran parámetros para estas acciones generales. Disponible de IBM para la computadora 1800. PROSPRO suministra las siguientes funciones:

1. Procesos de entrada y salida.
2. Definición y mantenimiento del archivo de datos.
3. Ambos controles, supervisorio y control digital-directo.
4. Definición de algoritmos de control no estándar.
5. Interfase computadora-operadora.

Con PROSPRO, la estrategia de control puede ser modificada en línea.

Usando PROSPRO, la información requerida para formular la adquisición de datos y funciones de control es suministrada por:

1. La forma de información variable para control su pervisorio, suministra la información necesaria para producir el record del disco residente que es necesario para el procedimiento directo de cada variable.

2. La forma de información de ajuste para el con trol supervisorio, especifica los datos necesarios para efectuar la acción de control supervisorio.

3. La forma de ecuación general en supervisorio, es usada para especificar especiales computaciones aritméticas necesitadas para extender o confeccionar la supervisión, control y regulación de las estrategias sin agobiar al usua rio en la programación del lenguaje FORTRAN o ensamblador.

4. La forma de acción general en supervisorio, permite especificaciones de: una combinación de acciones in cluyendo decisiones lógicas, una serie de acciones en etapa (tales como: lectura de puntos de contacto, contacto del operador, mensajes tipo, etc.), ejecución de un programa es pecial o una combinación de tales acciones.

5. Formas generales de bloque en control digital directo, especifica los cálculos y acciones de control digi-tal directo que deben ser tomadas. El programa procesor - asociado es descrito para obtener rápido procesamiento.

6. Formas de información de variables para control-digital directo, especifica un centro residente de bloque - de datos que contienen toda la información necesaria para - llevar a cabo el control digital directo.

7. La forma de bloque de datos de la variable aso-ciada para control digital directo. Extiende el bloque de datos de control digital directo para suministrar almacenamiento adicional de información asociada con el procesamiento de ciertas variables de control digital directo.

Como está indicado por estas formas, PROSPRO (PRO - cess System PROgramas application), suministra ambas funciones, control digital directo y supervisorio. La principal distinción es que los programas relacionados a control digital directo y los datos son destinados para frecuentes procesamientos, y así son centro residente. Programas relacionados a supervisorio y datos son primeramente discos resi-dentes.

IMPAC. Escrito por Foxboro para la computadora de -

control de procesos FOX 2, IMPAC incorpora el método "substituya en los blancos", para permitir al usuario realizar control supervisorio, optimización de procesos y generación de reportes. El sistema suministra las siguientes funciones:

1. Análisis y control;
2. Control supervisorio;
3. Generación de datos base.

Usando IMPAC, el usuario puede adicionar o modificar los datos base en línea, el cual incluye modificaciones en la estrategia de control.

Las siguientes formas de datos son usadas en la programación IMPAC: Curva set point, entrada del switch de referencia, punto de contacto, análisis, control del set point, tiempo muerto, relación, Bías, promedio compensado, parabólico, controlador, autoselección, dos posiciones (on-off), dos estados de corto circuito, multiplicar y dividir, medición del switch de entrada, switch de salida, y datos.

De estas formas, el compilador IMPAC (o procesador de formas), genera los datos base los cuales especifican las acciones de control a ser realizadas, las computaciones requeridas y otras informaciones similares.

BICEPS. Originalmente desarrollado por General Electric para el control de la computadora GE 4020. BICEPS (Basic Industrial Control Engineering Programming System), es un sistema de programación para control supervisorio, pero un paquete de control digital directo es disponible que puede ser implementado en BICEPS, en la computadora.

En este lenguaje está incluido: un programa de control para el control de las mallas de proceso, un programa de consola para el operador y un lenguaje de programación - BICEPS Programming Language (BPL) para el uso de cálculos - no estándar de la malla de control.

Al poner el proceso bajo control, el ingeniero de control puede construir y modificar el archivo para cada malla de control y definir las conexiones de la malla. Esto se hace llenando los espacios en blanco que se encuentran en las formas estándar BICEPS. Cada malla está definida por un conjunto de valores relacionados y algoritmos.

El programa de control que procesa el funcionamiento de la malla lleva a cabo lo siguiente:

1. Una función de reunión de datos examina el conjunto de sensores el cual la interfase con el proceso lee las variables medidas.

2. Una función condicionadora de datos, digitalmente filtra, verifica límites y convierte estos valores en unidades de ingeniería.

3. La variable procesadora funciona a través de los comandos archivados el cual especifica las diferentes mallas. Para cada malla, traen valores asociados con cada variable de proceso aplicada de la memoria en la cual reside. Operan en estas variables especificadas en las formas cuando los programas BPL son llamados.

Diferentes demandas para la comunicación entre el operador y la computadora pueden ser iniciadas por el operador en su consola o a través de la impresora de entrada y salida, tales como:

1. Presentación de cualquier, o de todos los valores asociados con la variable de proceso.
2. Condiciones de cambio, set points, valores límites.
3. Conjuntos de mallas en, o fuera de servicio.
4. Tarjetas lectoras.

5. Datos impresos y tiempo.
6. Sistema binario de carga o descarga.
7. Control de transferencia, y
8. Estados de los programas BPL.

BPL, es como el FORTRAN, un lenguaje de programación algorítmico. Entre sus características se encuentra la habilidad para terminar la ejecución de programas, actualizar sistemas variables, mensajes de salida, resolver ecuaciones simultáneas, y salidas de acción de control.

Hemos presentado la naturaleza general de un sistema de software para el control de procesos, y hemos examinado algunas aproximaciones básicas para el desarrollo de este software. Ya que los costos de software son casi igual que los costos de hardware para muchas instalaciones, la reducción de este costo es importante en la viabilidad económica en el control por computadora.

C A P I T U L O I V

LA APLICACION DE LA COMPUTADORA EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES

4.1 LA COMPUTADORA EN EL DISEÑO DE LAS PLANTAS DE PROCESO Y EN EL FUNCIONAMIENTO DE LAS PLANTAS INTEGRADAS

El campo de la ingeniería del diseño de procesos, ha participado ampliamente del impacto de las computadoras digitales.

En el diseño de procesos, las computadoras digitales nos proporcionan grandes ventajas, y las más importantes son:

- 1) Gran velocidad en la realización de los cálculos estándar.
- 2) Hace prácticos infinidad de cálculos que antes eran

imprácticos.

3) Completa nuevos caminos para hacer las cosas.

La principal función que se ha desarrollado con el uso de las computadoras, ha sido la simulación de procesos. Así pues la simulación de procesos está desempeñando un importante papel en el diseño de las plantas de proceso.

En cuanto al uso de las computadoras en el control de procesos, toma básicamente dos formas: control digital-directo y optimización del control.

La adopción del control digital directo se centra -- económicamente en: el ahorro que puede ganarse eliminando hardware de control análogo y reduciendo el equipo relacionado, tal como reducción de espacio del panel, alarmas e indicadores de alarmas.

Entre los beneficios que derivan del control digital directo podemos mencionar: mejoramiento en el funcionamiento del sistema de control, gran flexibilidad cuando existen cambios en las condiciones de control, y la facilidad de poder unirse a otras computadoras.

Realizando la optimización del control, observamos -- que en grandes y continuas plantas de operación, en las al-

teraciones fuera del producto, actualiza las condiciones -- de control y mantiene al proceso muy cerca de las condiciones óptimas. Los pequeños mejoramientos llegan a ser importantes cuando los multiplicamos por grandes volúmenes.

Hay ciertas consideraciones físicas y económicas que deben de tomarse en cuenta antes de formalizar una justificación de un control por computadora. Para un proceso que es enteramente nuevo, donde no existe experiencia previa - con algo similar, la dificultad en los diferentes factores es más grande que para los procesos que son ampliamente conocidos.

Mencionaremos algunas condiciones técnicas por las - cuales es conveniente usar el control de computadora en las plantas de proceso:

Varias reacciones químicas ocurren simultáneamente.- Cuando esto sucede, los operadores pueden tener problemas - para lograr el objetivo entre el rango de producción, rendimiento y pureza del producto.

Muchas especificaciones deben ser satisfechas simultáneamente. Los operadores pueden corregir solo una, o pocas circunstancias fuera de especificación, debido a esta - corrección otras especificaciones han quedado fuera de límite.

La planta no opera siempre bajo las mismas condiciones. Así el mejor ajuste del controlador varía para cada condición de operación. Si esto es así el control del proceso podría ser mejorado por una computadora debido a la habilidad para modificar los parámetros de control para ajustar las condiciones del proceso medidas.

Hay variaciones en los cambios de turno en el funcionamiento de la planta. Aquí es casi inevitable que los operadores de la planta difieran su entendimiento de la física y química básica del proceso.

Disturbios del proceso son frecuentes. (Por ejemplo, en un proceso batch, en el cual hay paros y arranques). Una computadora será útil aquí, para el monitoreo o para el arranque y paro del proceso. Especialmente si la secuencia es complicada y los errores pueden ser costosos.

Las características de la materia prima varían significativamente. Para compensar tales cambios, una computadora puede ejecutar un control feedforward para prevenir tales desórdenes.

Importantes piezas de equipo tales como compresores se averían frecuentemente. Si es así, una computadora puede ajustar las condiciones de operación para compensar las va-

riaciones en la capacidad de la planta.

La presentación digital de la información del trabajo en la operación de las plantas, optimiza el trabajo, ya que ayuda enormemente al operador de procesos. Esto lo podríamos ver en lo siguiente.

1. Lo mejor en centralización, se alcanza cuando to da la información de la planta es presentada en una pequeña pantalla. Esto presenta un ahorro de tiempo para evitar el caminar alrededor de los grandes cuartos de control.

2. Cuando se cambia un set point, el operador fija precisamente los valores numéricos que el quiere, y no algu na marca indeterminada en la carta.

3. La computadora lleva el control del conjunto de valores actuales. Consecuentemente el operador no tiene - que guardar referencias atrasadas para ver si todo marcha - de acuerdo a lo establecido, como sucede con los controladores convencionales.

De esto, la primera es la más importante, y una vez que el operador se ha hecho familiar con la dirección numerada del sistema, él puede conjuntar información en una velocidad asombrosa.

Para hacer una relación de la aplicación de la computadora digital electrónica, mencionaremos algunas inconveniencias de los controladores convencionales, contra las ventajas estudiadas anteriormente en el control por computadoras.

Algunas desventajas en controladores convencionales:

- a) Constantes de control el cual son calibradas incorrectamente, y el cual varían día a día.
- b) Constantes de control con un rango limitado de ajuste, en particular el tiempo de acción integral, el cual puede ser limitado por una merma o escape (eléctrico o neumático).
- c) Interacción entre los términos derivativo e integral.
- d) Cuando el set point es cambiado en un controlador con acción derivativa, el controlador ve un cambio rápido en error y reacciona enviando la válvula a su límite, viajando por una impredecible longitud de tiempo.
- e) La transferencia de control manual a automático, puede raramente ser realizada por un operador de proce-

so, sin pasar por algún choque. Esto es una particular verdad, cuando están siendo usadas grandes acciones integrales de tiempo.

- f) Los controladores no siempre obedecen sus set points fielmente.

Por supuesto, estas fallas no ocurren en todos los controladores, en todo el tiempo, y no son generalmente consideradas como serias, una u otra por los fabricantes de instrumentos, o por el ingeniero instrumentista de la planta.

Elas son sin embargo, la razón por la cual uno puede caminar dentro de un gran cuarto de control, y encontrar un número de controladores no dando lo mejor, y al menos uno, -- inexplicablemente, es cambiado a "manual".

Todas estas fallas son completamente evitadas por el uso del control por computadoras.

4.2 OPTIMIZACION

El diseño y la operación óptima de procesos industriales siempre ha sido la preocupación del ingeniero químico, y ciertamente puede considerarse como una definición-

de sus actividades. A pesar de ésto sólo recientemente se ha alcanzado, el grado de desarrollo de conocimientos y la capacidad computacional que permiten buscar una política óptima en forma sistemática y exhaustiva.

El gran desarrollo que han alcanzado las computadoras ha impulsado fuertemente la evolución de métodos numéricos para resolver problemas matemáticos. Particularmente los métodos numéricos de optimización están alcanzando un gran desarrollo.

En muchos aspectos de la vida industrial, la principal tarea es buscar continuamente el mejoramiento. De hecho, pueden existir un gran número de formas de conseguir algo y entre ellas hay alguna que es la mejor de todas. --- Así, se pretende la mayor producción a partir de una determinada cantidad de materia prima, el mayor rendimiento de un capital, etc. La optimización es la presentación formal de esas ideas. El concepto de optimización es tan general que podemos decir que se encuentra en casi todas las fases de la actividad humana. La optimización o la búsqueda de la eficiencia tiene básicamente un origen psicológico. Mentalmente se plantean alternativas para efectuar un trabajo o resolver un problema para posteriormente seleccionar la que se considere la mejor acción.

En la ingeniería química, la optimización involucra a problemas de cálculo de máximos y mínimos de funciones, sujetos a restricciones. Las restricciones nos marcan la región en donde tiene sentido estimar las variables. La función que es requerida, optimizar es conocida como la función objetivo.

Durante la síntesis de sistemas es necesario maximizar o minimizar una cantidad, que es la medida de efectividad de una determinada operación.

La formulación general de estos problemas es la siguiente: encuéntrase el valor de las variables que maximice o minimicen a una función llamada función objetivo, sujeta a ciertas restricciones.

El objetivo general en optimización es escoger un conjunto de valores de las variables independientes, sujeta a varias restricciones el cual produjera la respuesta óptima deseada para determinado problema en particular.

PROCEDIMIENTO GENERAL EN LA OPTIMIZACION:

1. Definir el objetivo apropiado para el problema en particular.
2. Examinar las restricciones del problema.

3. Escoger el sistema o sistemas para el estudio.
4. Un sistema o sistemas deben ser definidos para el problema bajo estudio. Y así examinar la estructura de cada sistema y la relación de los elementos del sistema y corrientes.
5. Construir un modelo para el sistema. Esto es el estado de diseño técnico el cual permite al objetivo ser definido en términos de las variables del sistema.
6. Examinar y definir las restricciones internas localizadas en las variables del sistema.
7. Llevar a cabo la simulación expresando el objetivo en términos de las variables del sistema, usando el modelo del sistema. Esto es la función objetivo.
8. Analizar el problema y reducirlo a sus características esenciales. Esta simplificación es necesaria -- en muchos casos para permitir a la optimización, realizarse con facilidad.
9. Verificar que el modelo propuesto sea en efecto el sistema que está siendo estudiado. En la práctica -

esto es parte del procedimiento.

10. Determinar la solución óptima para el sistema y discutir la naturaleza de las condiciones óptimas. Habiendo expresado la función objetivo en términos de las variables independientes y el conjunto de restricciones, ahora es cuando es necesario usar la técnica de optimización adecuada para encontrar las condiciones óptimas deseadas. Estos métodos son ampliamente discutidos por Beveridge y Schechter, y Latour Pierre y por otros autores que se mencionan en la bibliografía.

11. Usando la información obtenida, repita este procedimiento hasta encontrar un resultado satisfactorio.-- Una vez que un óptimo conjunto de condiciones ha sido determinado, puede ser necesario evaluar la hipótesis fundamental requerida en la solución. En algunos análisis matemáticos puros, esto no puede ser necesario, pero en la mayoría de las aplicaciones prácticas cualquier optimización requerirá varios intentos iterativos antes de que el problema pueda ser adecuadamente definido, el modelo, apropiado regulado, y el sistema optimizado.

En cuanto a métodos de optimización no es posible en

general decir cual es el mejor. Siempre se puede encontrar un problema para el cual un cierto método sea muy bueno, y hay muchos factores a considerar en la selección de un algoritmo de optimización.

4.3 SIMULACION

La simulación en computadoras ha surgido recientemente como una de las mejores herramientas para el análisis de sistemas complejos en todos los campos de la actividad humana, especialmente en el de la ingeniería química.

La simulación se refiere al uso de ecuaciones que describen matemáticamente a los procesos. Estas ecuaciones pueden ser desarrolladas y resueltas por una computadora digital.

La representación del comportamiento de un sistema o proceso por medio de un conjunto de ecuaciones da lugar a un modelo matemático.

Los modelos matemáticos pueden ser útiles en todas las fases de la ingeniería química, desde investigación y desarrollo, diseño, hasta la operación de la planta, y aún en administración y estudios económicos.

La simulación resuelve entonces, el sistema bajo estudio manipulando modelos matemáticos que los representan.

Para resolver los sistemas de ecuaciones generados a partir de los modelos matemáticos deberán utilizarse las técnicas de simulación por computadora. Un modelo puede definirse como una representación cuantitativa o cualitativa de un sistema.

Puede decirse que la simulación es la operación del modelo que se realiza con el fin de obtener información sobre el comportamiento del sistema, bajo las condiciones exteriores que se espera encuentre el prototipo. También podemos definir a la simulación como: el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema o de la evaluación de varias estrategias (dentro de los límites impuestos por un criterio o conjunto de criterios) para la operación del sistema.

Planeación de la simulación en computadoras. Para planear experimentos de simulación aplicables a los sistemas industriales y económicos, es necesario recurrir a técnicas tales como la programación en computadoras, el análisis numérico, la estadística matemática y el diseño de experimentos.

Uno de los procedimientos que se sugiere en la planeación de la simulación lo dividimos en varios pasos que más adelante consideraremos. De acuerdo con el trabajo que se realice, el orden de estos pasos podría cambiar, y la posibilidad de juzgarlo sólo existe en un plano puramente pragmático. En este subcapítulo describimos teóricamente el papel de la simulación en los procesos industriales, resulta obviamente imposible tratarlos con profundidad. En la actualidad han estado escribiéndose libros sobre temas tales como: la construcción de modelos, programación de computadoras, estimación de parámetros y simulación, como los que mencionamos en la bibliografía.

Asumiendo que una simulación es usada para investigar las propiedades de un sistema real, se distinguen los siguientes estados:

1. Definición del sistema. Determinación de los límites, restricciones y medida de eficacia en la definición del sistema en estudio.
2. Formulación del modelo. Reducción o abstracción del sistema real a un diagrama de flujo lógico.
3. Preparación de datos. Identificación de los datos necesarios por el modelo, y su reducción a una for-

ma apropiada.

4. Interpretación del modelo. Descripción del modelo - en un lenguaje aceptable para la computadora que se usara.
5. Validación. Incrementar a un nivel aceptable la seguridad derivada del modelo del sistema real que será rectificado.
6. Planeación de la estrategia. Diseño de un experimento que producirá la información deseada.
7. Planeación táctica. Determinación de como cada una de las pruebas corridas especificadas en el diseño experimental es ejecutada.
8. Experimentación. Ejecución de la simulación para generar el dato deseado y llevar a cabo el análisis.
9. Interpretación. Obtención de inferencia de los datos generados por la simulación.
10. Implementación. Emplear el modelo y/o resultados en uso.

11. Documentación. Registro de las actividades del proyecto y resultados, así como la documentación del -- modelo y su uso.

La simulación puede ser usada para el estudio de las plantas existentes, para el desarrollo de las estrategias - óptimas de operación, para señalar los recursos posibles y para una multitud de aplicaciones.

4.4 DISEÑO DE PROCESOS CON COMPUTADORA

Para lograr éxito en la ejecución de un proyecto industrial, o sea que su diseño sea de alta calidad, se termine en la fecha acordada y al costo estimado, se debe combinar una tecnología sólida con una buena administración.

El ingeniero requiere de técnicas modernas que lo ayuden en todos sus cálculos. Dicha técnica deberá combinarse, en un sistema eficiente y fácil de usar, la gran velocidad de cómputo característica de las computadoras digitales, con los conocimientos fundamentales de la ingeniería química.

La simulación de procesos es una técnica que reúne estas características, permitiendo estudiar el comportamiento de procesos mediante la manipulación de modelos matemáti

cos que los representan.

Dos son los problemas fundamentales: el primero está en relación con la representación del proceso por medio de un modelo adecuado, y el segundo con la solución de las relaciones que constituyen dicho modelo.

Los modelos matemáticos que se utilizan tanto en diseño como en la operación de las plantas de proceso podemos dividirlos en dos grupos: de optimización y de simulación. La importancia que tienen estos modelos son:

Modelos de optimización. Estos determinan el mejor punto de un sistema; esto es, establecen las condiciones necesarias para obtener un máximo o mínimo. El modelo clásico de optimización es el de programación lineal. El modelo de programación lineal es útil cuando se debe maximizar o minimizar una función objetivo y considerar, además las restricciones o limitaciones del sistema. Aunque hablando con rigor al usar dinámicamente un modelo de optimización, estamos simulando, esta división resulta útil para entender la filosofía de los diferentes modelos.

Modelos de simulación. Los modelos de simulación tienen como finalidad representar un sistema para poder predecir mejor su funcionamiento. A diferencia de los modelos

de optimización no pretenden llegar a la mejor solución existente si no que representan un medio para que se determine experimentalmente cuales son los posibles efectos de cada decisión; generalmente se utilizan cuando no es posible usar un modelo de optimización, pues además de no garantizar un óptimo, resultan costosos por el tiempo de computación que requieren.

La computadora ha sido usada por los ingenieros de proceso exitosamente en los últimos años. La aplicación de la computadora en el diseño de procesos puede ser dividida en dos áreas principales: en el cálculo de las unidades individuales de operación y en la simulación del proceso en su totalidad.

La primer área involucra programas de computadora que calculan el tamaño y características de un equipo en particular como parte del proceso.

El uso de computadoras en el diseño de equipo es muy común hoy en día. Existen varias ventajas al usar programas en el diseño de equipo. Entre las más importantes es el ahorro de tiempo. Una segunda ventaja que existe es que los cálculos estarán libres de errores. Una ventaja más es que los procedimientos de diseño usados son estándar, ya que existen programas para cada equipo o situaciones específicas.

cas. Estos programas para hacerlos se necesitan semanas--- hombre o meses-hombre para elaborarlos y ponerlos en condición operacional. Pero una vez elaborados en cuestión de minutos tenemos resuelto nuestro problema por medio de la computadora. Es deseable al comprar los programas asegurar se que involucren lo último en tecnología respecto a lo que queremos comprar.

La segunda área es representada por programas que calculan los balances de materia y energía, la optimización del proceso o resuelven problemas en el campo de la investigación operativa.

Con la proliferación de las computadoras de alta velocidad, la simulación de los procesos ha tenido un especial significado para los ingenieros químicos, el cual ahora es inseparable de estas máquinas.

Una simulación puede tratar de un proceso continuo o de una serie de eventos discontinuos. Aunque los ingenieros químicos generalmente tratan con simulación de procesos continuos, muchos beneficios pueden ser derivados de estudios de eventos discontinuos. Las clases de simulación de estado estable o dinámico presentan sus propios problemas y ventajas. Los ingenieros generalmente están interesados con problemas determinísticos donde cada conjunto de ecuaciones

ciones ofrece una única real respuesta. Aún algunos problemas son tratados como determinísticos, no obstante que ellos son estocásticos, y algunas veces son manejados de esta manera.

La simulación de procesos químicos tiene muchas ventajas y puede ser un esfuerzo útil como en cualquier proyecto, el valor de la simulación se someterá a juicio en cuanto a estrategias de simulación y a estimación del costo, antes de comenzar el proyecto.

En simulación se han realizado excelentes trabajos y muchos de ellos están comercialmente disponibles. La verdad es que algunos refinamientos pueden ser necesitados en cada caso para acomodar un problema individual.

La simulación y modelación requiere de una gran cantidad de autodisciplina para lograr el éxito. Días y semanas de tiempo, y su enorme costo puede ser gastado mientras lo inquisitivo está siendo satisfecho.

Detalles de todas las posibles restricciones necesarias para guiar la simulación pueden señalar rápidamente las restricciones reales de la planta.

Y reduciendo la planta a un conjunto de ecuaciones,-

conduce a una completa y ordenada comprensión del proyecto, esto a menudo produce innovaciones en las ideas del proceso. El ingeniero modelador está también, en una singular posición para la exploración de alternativas en los esquemas de proceso.

La simulación de diseño de procesos es capaz de llevar a cabo sus tareas en una gran variedad de procesos. Pero para hacer esto flexible se requiere una gran cantidad de especificaciones de datos del proceso. Sin embargo, la tarea es relativamente simple cuando se reduce a series de pequeñas etapas.

La primera etapa es para desarrollar un diagrama de flujo del proceso, ésto parece trillado pero algunas veces una computadora es aproximada con solo una vaga idea para el desarrollo del proceso.

La siguiente etapa, es que el diagrama de tiempo debe ser reducido a diagrama de flujo de bloques que toma en cuenta la matiz del sistema de simulación usado. Por ejemplo en la unión T de una tubería, dos corrientes aparecen en un diagrama de flujo como una intercepción de dos líneas, aún cuando la simulación puede requerir un módulo de cálculos para adicionar juntos los vectores de la corriente.

Otras simulaciones requieren módulos de entrada y salida o módulos de alimentación y producto. Otros programas pueden aún requerir un modelo específico donde un reciclo reingresa al proceso.

ESTRATEGIAS EN DISEÑO DE PROCESOS. En la simulación de un proceso sencillo en la que están involucrados un pequeño número de unidades simples, la simulación puede realizarse construyendo un modelo matemático específico para el proceso en cuestión, pudiendo describirlo completamente. -- En este método el programador está en la posibilidad de utilizar las características del proceso para encontrar la máxima eficiencia del programa. Pero este método no ha encontrado gran aplicación en sistemas complejos, con varias unidades de proceso interconectadas, debido a que es necesario escribir un programa completamente diferente para cada una de las configuraciones a evaluar, aumentando tanto el esfuerzo de programación que esto resulta antipráctico.

La solución a esto al analizar un proceso, es deseable considerarlo como una colección de unidades individuales, cada una de las cuales es posible simular por medio de un conjunto independiente de subrutinas llamados por un programa central que contiene la información del diagrama de flujo, así como el orden en que deben ser calculadas las unidades.

La principal ventaja de este método, es que al haberse realizado la programación de las operaciones básicas, se facilitan notablemente simular procesos de cualquier grado y complejidad.

Para poder escribir el programa central, es necesario solucionar los siguientes problemas:

1. Manejo de información.
2. Secuencia de cálculo.
3. Método de convergencia.
4. Nivel de precisión requerido en la simulación de las unidades de proceso.

La simulación de las unidades individuales constituye el paso inicial y más importante para simular un proceso. El grado de detalle y la exactitud requerida dependen de la información que deseamos obtener de la simulación.

La aplicación principal de la simulación de procesos se encuentra en las etapas intermedia y final de diseño, donde deseamos explorar varias modificaciones de un diagrama básico de flujo, y quizás obtener los valores óptimos de las variables involucradas, lo que implica el tener que simular el proceso un gran número de veces. En este caso necesitamos emplear modelos realistas, pero al mismo tiempo -

tan simplificados como sea posible.

Se han escrito varios programas, una breve lista de los excelentes trabajos en simulación de procesos que se en encuentran disponibles se dan a continuación:

NOMBRE DEL PROGRAMA	O R I G E N
Process Design System	Chemical Process Consultants 1 Foxledge Lane Stillwater, OK 74074
Flowtran	Computerized Engineering Application 800 North Lindbergh Blvd. St. Louis, MO 63166
Pacer	Dr. Paul Shannon Digital System Corp. Engineering Design and Simulation 19 Main St/P.O. Box 986 Hannover, NH 03755
Generalized Process Flowsheet Simulator	Sun Computer Services 1608 Walnut St. Philadelphia, PA 19103

Process Design Analysis

William R. Vickroy

Mc Donnell Douglas

Automation Co.

P.O. Box 516

St. Louis, MO 63166

Tres de estas simulaciones, tratan casi exclusivamente con el procesamiento de hidrocarburos ligeros. Los paquetes termodinámicos disponibles son útiles en operaciones de plantas de gas y de petróleo. Cuando son usados dentro de los límites de presión y temperatura sugeridos los paquetes de propiedades físicas y termodinámicas son completamente buenos. Sin embargo, extrapolando más allá de los límites recomendados, o examinando corrientes con grandes cantidades (más de 5-10%), de hidrógeno, o usando corrientes con diferencias drásticas en componentes, pesos moleculares, o la presencia de agua, pueden causar problemas en las subrutinas termodinámicas.

Los tres paquetes de hidrocarburos son: Process Design System, Generalized Process Flowsheet Simulator y Process Design Analysis. Pacer y Flowtran, son más generalizados que los otros programas y tienen paquetes de propiedades físicas más extensivas. Ellos tienen también más capacidades de diseño.

Algunas veces los programas generales no son la me -
jor solución al problema en la mayoría de los casos, ya que
al tratar de simular todos los procesos utilizando el mismo
-método, el programa no puede tener la flexibilidad neces-
aria para seleccionar el método de cálculo más apropiado pa-
ra cada problema específico.

La simulación de plantas químicas y el diseño de pro
gramas han hecho un significativo cambio en la profesión de-
la ingeniería química, y parece que aún más cambios tienden
hacia el futuro. Como las materias primas y el petróleo es
tán haciéndose más caro, la industria requerirá más sofisti
cados diseños para permanecer competitiva.

4.5 EVALUACIONES ECONOMICAS

La determinación del costo del hardware para un sis-
tema controlado por computadora es relativamente fácil, pe-
ro ésto no sucede así para el software, debido a la comple-
jidad que éste representa. Los beneficios que obtendremos
del sistema controlado por computadora lo obtendremos por -
un análisis del caso en estudio.

La evaluación de un sistema controlado por computado
ra es un procedimiento complejo en el cual hay que contes -
tar a preguntas tales como: "Cuál es el costo? ¿Cuáles son

los beneficios?

Para cualquier proceso dado, la primera pregunta pertinente que necesita ser contestada es: ¿Por qué un sistema de computación está siendo considerado? Una respuesta - aceptable a esta pregunta indica la evidencia que un sistema de control por computadora puede ser benéfico. El hecho que una compañía X tenga una computadora en una unidad similar la evidencia no es suficiente.

En este punto la evidencia debe ser más descriptiva- que cuantitativa. Por ejemplo, el proceso es dinámicamente inestable; variables críticas pueden ser calculadas pero - no medidas; existen tiempos muertos o grandes retrasos en - el proceso; o existen alicientes económicos, tales como excesivo producto fuera de especificación, baja eficiencia, y un alto costo del producto.

CALCULO DEL COSTO. Aunque un sistema de control puede ser ensamblado de componentes estándar, cada uno de es - tos debe ser entallado a los requerimientos únicos del control del proceso, consecuentemente no es posible dar un procedimiento específico para determinar el costo.

El costo de un proyecto de control por computadora - puede ser dividido en tres principales categorías: Hardware,

software, e ingeniería y servicios.

COSTO DEL HARDWARE. Después que el análisis de control ha definido la estructura y tamaño del sistema de control, el hardware cuyo costo es generalmente el más fácil de estimar debe de examinarse en detalle.

Un sistema de hardware consiste de sensores, transmisores de señales y/o transductores, registradores, elemen-tos finales de control, la computadora y periféricos, sistemas de entrada y salida de la computadora, dispositivos de comunicación sistema-hombre y controladores convencionales.

Los controladores convencionales pueden o no ser in-cluídos, dependiendo de la extensión que el control digital directo pudiera hacer. Aunque mucha de la instrumentación es la misma o similar a la de los sistemas de control con-vencional, muchas viejas reglas en el manejo para estima-ción de costos, no son tan aplicables. Esto es cierto debido a las características especiales requeridas para un sistema de control por computadora.

Quando un sistema de control por computadora debe ser adicionado a una planta existente, debe hacerse una revisión completa de la existencia de la instrumentación, pueden requerirse modificaciones para asegurar la compatibili-

dad con el sistema de computadora, o asegurar que se logren las funciones de control deseado.

Una nueva planta tendrá un mínimo de incremento en los costos de instrumentación, ya que en la nueva planta se rá diseñada con el sistema de control con computadora.

Un área crítica para el diseño y para la estimación de costos es el equipo de entrada y salida. Desde el análisis del proceso, el número y tipos de entrada y salida re querido puede ser determinado, así como las especificaciones para el equipo de entrada y salida.

En el sistema de entrada y salida debe de incluirse: los convertidores analógico-digital y digital-análogo, el equipo de interfase entre la computadora y el proceso, y -- cualquier multiplexor necesario. Alguno de estos equipos -- puede estar fuera de línea, y deben ser construídos.

La elección del sistema de computadora, incluyendo el procesador central, dispositivos periféricos, y características opcionales, dependerán de la extensión en consideración. Cosas tales como ciclos de tiempo, flexibilidad, -- características especiales, equipo disponible, opcional, seguridad, software disponible y experiencia con proyectos -- previos, influenciarán en la selección.

Para la estimación de costos preliminares, la selección de un vendedor no es tan importante como la estructura del sistema. Incluyendo en el diseño una característica opcional innecesaria puede incrementar la estimación más que la diferencia entre los precios de los vendedores.

Dispositivos para la comunicación hombre-sistema en algunos casos debe ser limitada a la instrumentación normal. En otros casos, los dispositivos deben ser completamente -- complejos con pantallas e indicadores para la información de entrada. El costo de uso de tales dispositivos es mayor que el costo del dispositivo solo, debido al software necesario para interpretar las entradas y el manejo de las consolas exhibidoras.

Suministro de energía al sistema de control. Aunque es un relativo costo menor, no debe ser ignorado. Puede ser necesario incluir un sistema de energía de respaldo, debido a que pudiera ocurrir una paralización en la planta de energía. La calidad y aislamiento del suministro de energía es importante y debe de adicionarse al costo del sistema.

COSTO DEL SOFTWARE. El costo del software el cual puede ser fácilmente en algunas ocasiones más del 50% del costo del proyecto de control por computadora, es una de -

las cosas más difíciles de estimar. El software es complejo y confuso.

Todos los vendedores ofrecen algún software como parte integral de la computadora, algunos ofrecen más que -- otros, aunque algunos son básicos a todas las aplicaciones, algunos pueden ser completamente inútiles para un proceso - en particular.

El software necesario para el uso de la computadora, no obstante su aplicación incluye cargadores, diagnósticos, rutinas, ensambladores, compiladores, traductores y conductores para equipo periférico.

Para realizar el trabajo del sistema de control son necesarios, monitores, rutinas ejecutivas, conductores para entrada y salida y equipo de exhibición. Los dispositivos-necesarios que ejecutan ciertas funciones en un sistema de control, son una de las partes más difíciles en cuanto a estimación de software.

Ya que el software apropiado probablemente no se encuentra disponible para el control de un proceso específico, en esta parte la estimación del costo se hace difícil. Esto incluye más análisis del proceso y sistema de control, - desarrollo de modelos y colección y correlación de datos. -

La simulación del proceso y sistema de control es una gran ayuda en esta etapa del desarrollo y se ha estado usando efectivamente.

COSTO DE LA INGENIERIA Y SERVICIOS. Un número de servicios deben ser incluidos en el costo del proyecto de control por computadora. Para una evaluación total, la continuación de costos de software y hardware en cuanto a mantenimiento también debe tomarse en consideración.

Los sistemas de software y hardware deberán ser completamente revisados antes de entregarse a la planta. Sin embargo, en algunas ocasiones, algunas pruebas en el sistema ya instalado completamente son inevitables.

Mientras el costo de la instalación de la computadora, equipo periférico y sistemas de entrada y salida no es muy grande, la instalación de la instrumentación es mayor que la de los instrumentos convencionales, debido a que en estos hay reducciones en el nivel de ruido de señales y suministran mediciones adicionales.

Dependiendo de la magnitud del proyecto y de la perfección de las preparaciones, el poner el servicio activo puede requerir sólo unas semanas-hombre. Por otra parte, la proporción inadecuada y la falta de pruebas en fábrica

puede prolongar la fase para poner el sistema en servicio activo.

El personal usuario debe tener por lo menos algún grado de habilidad en mantenimiento de software y hardware, y debe por supuesto, aprender el uso del sistema. El costo del tiempo gastado en entrenamiento deberá ser incluido en el costo total del sistema. Sin embargo, un beneficio que la nueva planta controlada por computadora puede producir es una reducción en la cantidad de entrenamiento al operador, la razón es que la planta controlada por computadora es fácil de operar.

La documentación completa de ambos sistemas hardware y software es muy importante. La documentación del hardware incluirá diagramas de bloques; dibujos de ingeniería; operación e instrucciones de mantenimiento para todas las piezas del equipo. La documentación del software incluirá descripciones de las funciones de los programas, diagramas de flujo y listas de programas.

El costo de un sistema de control por computadora y el valor de los beneficios de ello, no puede ser considerado completamente independiente uno a otro. Por eso es difícil determinar el costo incremental de la obtención de cada beneficio. La adición de una función de control puede re -

forzar los beneficios de otra. Opuestamente, la eliminación de uno puede reducir los beneficios de otro. Con esto en mente prestaremos nuestra atención a la pregunta ¿Cuál es el valor de los beneficios?

BENEFICIOS ECONOMICOS. La numeración de los posibles beneficios económicos de un proyecto de control por computadora es relativamente fácil, lo difícil de esta tarea es asignarle un valor a cada beneficio.

Incremento de la capacidad de la planta. Este puede ser un beneficio tangible muy importante obtenible por medio del control por computadora. En una planta en operación produciendo a capacidad, aún un pequeño incremento en capacidad puede ser significativo. Este incremento en capacidad puede ocurrir en dos formas: incremento en rendimiento en la corriente por día, e incremento de tiempo en la corriente.

Incremento en el rendimiento significa que el control por computadora permite la operación de la planta más cerca a las restricciones del proceso, el cual depende del proceso involucrado y puede ser casi cualquier parámetro. Para realizar los beneficios, un estudio completo de las restricciones del proceso es necesario antes de que el sistema de control por computación sea implementado.

Un factor que algunas veces se pasa por alto en una evaluación, es el incremento de la capacidad de la planta atribuible al incremento del tiempo en la corriente. Esto significa que el control por computadora dá un arranque más rápido y menos paros fuera de programa causados por violaciones de restricciones. También un proceso batch tendrá más tiempo efectivo en la corriente debido a la rápida maniobra que será suministrada a la operación batch.

Como la capacidad de la planta es incrementada, el producto adicional es hecho con un costo incremental muy bajo: costos fijos (los que no varían con el cambio incremental en la producción), tales como labor, mantenimiento, costos fijos directos, costos fijos indirectos y la depreciación no se incrementará.

Mejoramiento de la eficiencia. Esta es la segunda gran área de beneficios tangibles. Los costos de materias primas pueden ser reducidos por el incremento en la producción, menos costosa materia prima (baja pureza) podría ser usada, o una combinación menos costosa de materia prima podría derivarse. El control por computadora puede también reducir la cantidad de materia de desperdicio o desechos, o permiten la operación más cercana a las especificaciones (menos materia prima será necesitada). El incremento de la eficiencia en algunas ocasiones mejora notablemente el pro-

ceso. La evaluación de la óptima carga de una columna de destilación, el óptimo reflujo, vapor y agua de enfriamiento a menudo justifica el control por computadora.

Alto valor del producto, seguridad. Muy importante, pero a menudo difícil de evaluar es el incremento del valor del producto debido al mejoramiento en el control de calidad del producto. Algunas veces la adición del control por computadora a una planta existente no cambiará los requerimientos de la labor de operación, debido a que en la mayoría de las plantas la labor de operación se ha reducido a un mínimo, aún sin el control por computadora. Pero hay ejemplos en el cual la mano de obra puede disminuirse bastante, particularmente en los procesos batch.

El inventario de una planta puede ser reducido con el mejoramiento del control de la calidad del producto, debido a la fácil maniobra de un producto a otro, y menos períodos de desorden. Esto significa no sólo una reducción en el espacio de almacen, sino también un decremento en el capital de trabajo, el cual puede ser grande si es obstruido en un inventario de producto terminado. Esto es aún más verdadero si varios productos son hechos en la misma planta.

Como estado precoz, beneficio intangible, difícil de definirse económicamente y a la vez muy importante es la se

guridad. Actualmente hay más disposición que antes para autorizar capital de inversión para este propósito, debido al énfasis de seguridad que están tomando las plantas modernas.

En algunas ocasiones, el sistema de control por computadoras es justificado casi en su totalidad debido a las consideraciones de seguridad. Por ejemplo, en las instalaciones eléctricas en las cuales los complejos procedimientos de paro y arranque pueden justificar el control por computadora. La seguridad es muy importante también en los reactores atómicos.

Mejoramiento de la totalidad de las operaciones.

Aquí varios beneficios intangibles son agrupados juntos, tales como uniformidad en el paro y arranque; más control de calidad; pruebas de planta más fáciles para nuevos productos (con más seguridad en la información para la evaluación de nuevos productos); mejor programa y coordinación; e incremento en la actividad del grupo técnico. Tales intangibles hacen más significativa a una compañía que ha tenido éxito en la operación del sistema de control por computadora.

Revaluación del sistema de control de Procesos. Ya que las evaluaciones preliminares a menudo son completamente conservativas, un sistema de control por computadora se-

rá revaluado después que ha estado en operación lo suficiente para acumular datos confiables. Esto podrá mostrar mucho mejor el pago contra la rentabilidad esperada.

JUSTIFICACION DEL CONTROL DE PROCESOS POR COMPUTADORA. La justificación involucra muchos aspectos los cuales traen como consecuencias el retorno de la inversión, que al principio es complejo de estimar. Hay muchas razones por las cuales las plantas son automatizadas. Generalmente la más importante justificación es la económica. En otros casos por ejemplo, la justificación está en relación al costo mejorando el control de un proceso, debido a que es imposible obtener un producto congruente con los sistemas de control convencionales.

Enseguida mencionaremos algunos criterios generales de selección. Aunque algunos proyectos no pueden entrar en esta categoría, la mayoría de las instalaciones de control por computadora han encontrado una o más de las siguientes justificaciones:

1. Modificación frecuente del proceso a ser controlado.
2. Maximización del proceso de producción en el que existen muchas variables de entrada.

3. Existencia de muchas mallas de control y muchos y diferentes parámetros.

4. Ejecución de complicados cálculos para controlar un proceso.

5. Control de la producción de un proceso con numerosas entradas y salidas digitales.

6. Requerimientos de control para un acercamiento a las tolerancias.

7. Frecuente realambramiento del equipo de producción debido a cambios del modelo.

8. Identificación de una multitud de diferentes unidades.

9. Prueba de producto en multimodelos en producciones en masa.

10. Pruebas con instrumentación complicada.

11. Prueba de producto, requiriendo muchas mediciones, gran reducción de datos y evaluaciones estadísticas.

12. Prueba de producto en que se requiere ajuste - frecuente debido a la interacción de diferentes parámetros - del proceso.

13. Pruebas complicadas en unidades de poco volumen.

14. Prueba de productos que requieren trabajo simul - táneo o programas de pruebas secuenciales.

15. Procesos o pruebas donde la interacción humana - es incierta.

Hemos mencionado los aspectos principales por los - cuales se llega a una justificación de un sistema de compu - tadora. La computadora digital es de significante interés - en el campo del control de procesos, debido a su capacidad - para almacenar programas, calcular relaciones de control - simples y complejas, computar variables los cuales no son - directamente medibles, monitorea el proceso y toma la ac - ción de acuerdo con un programa preplaneado. La computado - ra digital lleva a cabo fácilmente tareas que los sistemas - análogos encuentran difíciles; puede ser fácilmente progra - mada para adoptar el sistema del control total, para cam - bios en procesos dinámicos, materiales, equipos y demandas - de producción. Debido a esta versatilidad las computadoras - digitales están siendo diseñadas e instaladas en plantas de

proceso continuo, así como en plantas de proceso batch.

C O N C L U S I O N E S

En esta tesis se ha hecho un estudio en cuanto a la aplicación de la computadora digital electrónica a las plantas de proceso.

Respecto al diseño de procesos el uso de las computadoras se justifica no sólo por la gran velocidad en la realización de los cálculos de ingeniería, sino también porque nos proporciona nuevos caminos para hacer las cosas.

En la actualidad, la utilización de una computadora en el trabajo de diseño es realmente una necesidad, fundamentalmente por la economía que se genera, ya que para las firmas de ingeniería sale menos costoso estudiar el comportamiento de procesos mediante la manipulación de modelos matemáticos, realizando así cálculos más exactos, que por medio de una planta piloto. Así, el ingeniero al quedar liberado de cálculos tediosos está en la posibilidad de dedicar

más tiempo al trabajo creativo, y por ende, lograr mejores diseños en la industria de proceso.

Recientemente en las computadoras se ha encontrado una amplia aplicación. Las inversiones en un sistema de control por computadora son generalmente retornadas a corto plazo. Esto no sólo es debido exclusivamente a la alta productividad o bajos costos de producción que se generan, sino también al mejoramiento de las características del proceso. Las computadoras digitales introducidas en las plantas ya en operación logran el recurso inusitado accesible e incrementan la producción a costos considerablemente más bajos. Debe notarse sin embargo, que las computadoras no son la panacea la cual producirá cualquier efecto deseado a cualquier condición inicial.

El control de procesos por computadora está llegando a ser una gran herramienta en la industria de procesos. Los altos costos primarios de instalación hacen pensar que esta tecnología sólo puede ser adoptada por grandes compañías. Sin embargo, este es un concepto erróneo, ya que medianas y pequeñas fábricas pueden aplicar el control de procesos por computadora exitosamente mejorando la operación de la planta. El advenimiento de los bajos costos de las minicomputadoras ha hecho esta tecnología aún más atractiva.

En efecto un sistema de control digital es más costoso que un sistema de control análogo convencional. Pero en la mayoría de los casos, la justificación para este gasto - de capital extra mejora notablemente el control usando técnicas de control avanzado, que sería imposible o impráctico utilizando el hardware de los sistemas convencionales.

Actualmente, con la reducción de los costos de las - computadoras y con el incremento de los costos de la ener - gía y las materias primas, el uso de la computadora en los - procesos industriales compite con la era actual.

B I B L I O G R A F I A

1. Rembold V., Seth M. y Weinstein J., Computers in Manufacturing, Marcel Dekker, New York, 1977.
2. Rao Guthikonda V., Complex Digital Control Systems, Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1979.
3. Smith Cecil L., Digital Computer Process Control, In text Educational Publishers, Scranton PA., 1972.
4. Luyben W.L., Process Modeling, Simulation and Control for Chemical Engineers, Mc Graw Hill, New York, 1973.
5. Shinsky F.G., Process Control Systems, Mc Graw Hill New York, 1967.
6. Lapidus Leon, Digital Computation for Chemical Engineers, Mc Graw Hill, New York, 1962.
7. Franks R.G., Modeling and Simulation in Chemical Engineering, Wiley, New York, 1972.
8. Arnold R., Hill H. y Nichols A., Modern Data Processing, Wiley, New York, 1969.
9. Hunter Ronald P., Automated Process Control Systems, Prentice Hall Inc., New Jersey, 1978.

10. Carnahan Brice y Wilkes James O., Digital Computing- and Numerical Methods, John Wiley and Sons, New York, 1973.
11. Gordon Davis B., Introduction to Computers, Mc Graw-Hill Kogakusha Ltd., 3° ed., Tokio, 1977.
12. Shannon Robert E., Systems Simulation, Prentice Hall, New Jersey, 1975.
13. Kuck David J., The Structure of Computers and Computation, John Wiley, New York, 1978.
14. Hoyle D.L. y Rice R.B., Computerizing a Petrochemical Plant, Instrumentation Technology, Abril, 1977, P. - 53-58.
15. Klumpar Ivan V., Process Predesign by Computer, Chemical Engineering, Sept. 22, 1968, P. 114-122.
16. Lederman Peter B., Process Design with Computers, - Chemical Engineering, Sept. 22, 1968, P. 221-226.
17. Lederman Peter B., Equipment Design by Computers, - Chemical Engineering, Oct. 21, 1968, P. 151-154.
18. Briddell Talbot E., Process Design by Computer, Chemical Engineering, Mar. 4, 1974, P. 113-118.
19. Lozada A. y Barnés F., Desarrollo de Tecnología Química Apropriada, I.M.I.Q., Agosto 1972, P. 64-70.
20. Moore C.F., Improved Algorithm for Direct Digital - Control, Instruments and Control Systems, Ene., 1970, P. 70-74.
21. Rovira A., Modified PI Algorithm for Digital Control, Instruments and Control Systems, Ago., 1970, P. 101-102.

22. Korn G.A., Digital Computer Interface Systems, Simulation, Dic., 1968, P. 285-298.
23. Wherry T.C., Pennington E.N. y Miller E.E., Direct - Digital Control, Chem. Eng. Progress, Abril, 1968, - P. 33-38.
24. Stout T.M., Selection and Costs, Chemical Engineering Sep., 11, 1972, P. 89-83.
25. Giles R.G. y Bullock J.E., Justifying the Cost of - Computer Control, Control Engineering, Mayo, 1976, - P. 49-52.
26. Reynolds B., Microcomputer Software Basics, Instru - ments and Control Systems, Ago., 1977, P. 35-39.
27. Pike E. Herbert, Process Control Software, Proceedings of the IEEE, Ene., 1970, P. 87-97.
28. Smith Cecil L., Fill in the Forms Computer Languages for Process Control, Chemical Engineering, Mar. 3, -- 1975, P. 151-156.
29. Sommer M. y Cooke E.F., Process Control in a Petro - chemical Complex, Chem. Eng. Progress, Oct., 1971, - P. 54-58.
30. Morrison R.L., Getting Transducers to Talk to Digi - tal Computers, Instruments and Control Systems, Ene., 1978, P. 27-31.
31. Olliver R.T., A Technique for Selecting Small Compu - ters, Datamation, Ene., 1970, P. 141-145.
32. Mears Frank C., Direct Digital Control - The Ultimate, Advances in Instrumentation, I.S.A., 1974, Vol. 29, - P. 521 1-10.

33. Akihiro Uetani y Takashi Toayama, Refinery Supervisory Control by Using Process Control Oriented Software System, Advances in Instrumentation, I.S.A., 1976, Vol. 31, P. 844, 1-17.
34. Farrar Gerald L., Computer Control in the Industry, - The Oil and Gas Journal, Dic. 6, 1971, P. 87-90.
35. Noonan Ronald P., What Kind of Computer for your -- Plant?, Chemical Engineering, Jun. 2., 1969. P. 112-116.
36. Farrar Gerald L., Industry Uses More Process Control Computers, The Oil and Gas Journal, Dic. 6, 1976, P. 83-84.
37. Weissberger Alan J., Microprocessors in the Processing Plant, IEEE Transaction on Industrial Electronics and Control Instrumentation, Ago., 1975, Vol. IECI-22 No. 3, P. 353-358.
38. Mouly R. J., Systems Engineering in the Glass Industry, IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics, Vol. SSC 5, No. 4, Oct., 1969, P. 129-134.
39. Maisel James E., Fundamentals Concepts of Feedback - Control, IEEE Transactions on Industrial Electronics and Control Instrumentation, Mayo, 1975, P. 122-128.
40. Donoghue John F., Feedforward Control of Pure Transport Delay Process, IEEE Transactions on Industrial-Electronics and Control Instrumentation, Nov., 1975, P.560-565.
41. Beveridge, G.S. y Schechter, Optimization: Theory - and Practice. Mc Graw Hill-Kogakusha, L.t.d., Tokio, 1970.
42. Latour Pierre R., Online Computer Optimization, Hydrocarbon Processing, Junio, 1979, P. 73-82.

43. Himmelblau D.F., Applied Nonlinear Programming, Mc - Graw Hill Book Co., New York, 1972.
44. Sung C. Hu, Microprocessors Characteristics and Role in Process Control, Advances in Instrumentation -- I.S.A., 1976, Vol. 31, P. 552 1-10.
45. Fumiyuki Inose, y Minoru Hiroshima, A Digital Data - Highway System for Process Control, Advances in Instrumentation, I.S.A., 1970, Vol. 25, P. 567 1-7.
46. Smith Cecil L., Process Control: Trends for the future, Chemical Engineering, Jun. 21, 1976, P. 289 -- 291.
47. Rademaker O., Digital Computer Applications to Pro - cess Control, Automatica, Vol. 14, 1978, P. 289 -- 291.
48. Chun H. Cho, Managing Energy with Computers, Instru - ments and Control Systems, Abril, 1978, P. 35-38.
49. Bader F.P., Interface Computers to Existing Plants, - Hydrocarbon Processing, junio 1979, P. 83-87.