

300617  
4  
20



# Universidad La Salle

**Escuela de Ingeniería  
Incorporada a la U.N.A.M.**

**SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO:  
CONTROL INTEGRADO TOTAL**

**TESIS PROFESIONAL  
Que para obtener el Título de  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

Area Principal: Ingeniería Electrónica

**P r e s e n t a n:**

- Humberto Rubén Cavazos Serrano
- Francisco Javier García - Moreno Elizondo
- Alejandra Herrera Sosa
- Jorge Salazar Flores
- Francisco Javier Sandoval Alcántara

**ASESOR DE TESIS: ING. GUILLERMO ARANDA PEREZ**

**MEXICO, D.F. FALLA DE ORIGEN 1995**



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

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

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

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



A los Pasantes Señores: Jorge Alvaro Salazar Flores  
Humberto Rubén Cavazos Serrano  
Francisco Javier Sandoval Alcántara  
Francisco Javier García Moreno Elizondo  
Alejandra Herrera Sosa

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a Ud. a continuación el tema que aprobado por esta Dirección, propuso como Asesor de Tesis el Ing. Guillermo Aranda Pérez, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista con área principal en Ingeniería Electrónica.

**"CONTROL DISTRIBUIDO: CONTROL INTEGRADO TOTAL"**

con el siguiente índice:

INTRODUCCION	
CAPITULO I	LOS SISTEMAS DE PRODUCCION MODERNOS
CAPITULO II	CARACTERISTICAS GENERALES DE UN SISTEMA DE CONTROL
CAPITULO III	CARACTERISTICAS DE UN SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO
CAPITULO IV	ANALISIS DE FACTIVILIDAD DE UN SISTEMA DE CONTROL INTEGRADO TOTAL.
CONCLUSIONES	
APENDICE A	
APENDICE B	
BIBLIOGRAFIA	

Ruego a Ud., tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado en la ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares, en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

ATENTAMENTE  
"INDIVISA MANENT"  
ESCUELA DE INGENIERIA  
México, D.F., a 25 de Enero de 1995



ING. GUILLERMO ARANDA PEREZ  
ASESOR DE TESIS



ING. EDMUNDO BARRERA MONSIVAIS  
DIRECTOR

**UNIVERSIDAD LA SALLE**

BENJAMIN FRANKLIN 47, TEL. 516-99-60 MEXICO 06140 D.F.

## **INDICE**

Introducción	2
<b>Capítulo 1</b>	
<b>1. Los sistemas de producción modernos.</b>	<b>4</b>
1.1 Definición de sistema de producción.	4
1.2 Clasificación de los sistemas de producción.	5
1.3 Factores que intervienen en un sistema de producción.	7
1.4 Medición de la eficiencia de un sistema de producción.	14
1.5 Sistema de control integrado total.	16
<b>Capítulo 2</b>	
<b>2. Características generales de un sistema de control.</b>	<b>21</b>
2.1 Antecedentes históricos.	21
2.2 Sistema de control en lazo abierto y en lazo cerrado.	27
2.3 Sistemas retroalimentados y prealimentados.	28
2.4 Modos de control.	31
2.5 Control compuesto y avanzado.	47
2.6 La computadora digital en el control de procesos.	52

**Capítulo 3**

<b>3. Características de un sistema de control distribuido.</b>	<b>62</b>
<b>3.1 Arquitectura típica.</b>	<b>62</b>
<b>3.2 Equipo y software de control.</b>	<b>69</b>
<b>3.3 Sistema de comunicaciones.</b>	<b>82</b>
<b>3.4 Interfaz hombre - máquina.</b>	<b>96</b>
<b>3.5 Tolerancia a fallas.</b>	<b>115</b>
<b>3.6 Criterios de selección de un sistema de control distribuido.</b>	<b>118</b>
<b>3.7 Ejemplo de un sistema de control distribuido: TDC-3000         de Honeywell.</b>	<b>126</b>

**Capítulo 4**

<b>4. Análisis de factibilidad de un sistema de control integrado total.</b>	<b>147</b>
<b>4.1 Criterios de evaluación de un sistema de control integrado total.</b>	<b>147</b>
<b>4.2 Problemática para lograr un sistema de control integrado total.</b>	<b>161</b>
<b>Conclusiones.</b>	<b>169</b>
<b>Apéndice A.</b>	<b>171</b>
<b>Apéndice B.</b>	<b>175</b>
<b>Bibliografía.</b>	<b>179</b>

## INTRODUCCIÓN

---

## INTRODUCCIÓN

A raíz de los avances tecnológicos de los últimos años, los sistemas de control han impactado en forma substancial a todas las ramas de la industria. Este impacto se ha reflejado en un incremento de la productividad, de la calidad y del bienestar de los trabajadores.

La industria está dividida en dos partes fundamentales, la parte administrativa y la parte operativa, que por lo general están parcialmente desligadas. Con la aparición de los Sistemas de Control Distribuido (DCS de sus siglas en inglés "Distributed Control System") a principios de los 80, se abre la posibilidad de superar este problema. La arquitectura flexible de los DCS permite establecer redes de comunicación enlazando tanto a la parte administrativa, que normalmente ya cuenta con una red de información, con la parte operativa, permitiendo la integración total de la planta industrial.

El objetivo de la presente tesis es analizar la problemática para "lograr" un Sistema de Control Integrado Total.

Para ello se analizan los factores que intervienen en los sistemas de producción modernos considerando su desarrollo a través de la historia. Además, el conocimiento de los conceptos básicos de la teoría de control es indispensable para poder comprender la evolución que la tecnología ha tenido desde los sistemas controlados manualmente, hasta los sistemas de control actuales. También se describirán los elementos de un DCS, desde su arquitectura típica hasta los criterios para su selección y, para ejemplificar, se hace una breve descripción del sistema TDC 3000 de Honeywell. Finalmente, considerando que los DCS son la parte medular de un sistema de control integrado total, se mencionarán los criterios y la problemática para lograrlo.

Al final se presentan las conclusiones y las referencias bibliográficas.



## 1. LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN MODERNOS.

Los sistemas de producción han evolucionado junto con el hombre; es así que, tanto en el sistema más primitivo de producción de fuego como en la producción de energía por medio de fusión nuclear, se tienen factores en común. Estos factores que pueden ser de carácter tecnológico, humano, organizacional, económico - social, de calidad o ecológico permiten, en conjunto, desarrollar modelos productivos por medio de los cuales el hombre es capaz de producir. Es de esta comunión que se dice que un sistema de producción es un conjunto de reglas y actividades en interacción que permiten obtener como resultado un bien. Es importante hacer notar el sentido atemporal que tiene esta definición.

Dichos factores permiten establecer definiciones propias de una época o de algún proceso en particular, por lo que resulta complejo dar una definición universal de sistemas de producción modernos. Sin embargo, con el afán de situar cronológicamente el presente trabajo dentro de la última década del siglo XX se dará una definición de sistema de producción moderno.

### 1.1 Definición de sistema de producción.

Un sistema de producción moderno es un conjunto de reglas y actividades orientadas a producir un bien que satisface la demanda y responde a los estándares de calidad que el mercado exige, valiéndose de sistemas automáticos computarizados y un número óptimo de personal altamente capacitado para operar, supervisar, programar, mantener y coordinar equipos, sistemas operativos y redes de comunicaciones, estableciendo estrategias comerciales dentro de un marco de máxima eficiencia y calidad total.

## 1.2 Clasificación de los sistemas de producción.

Los sistemas de producción se pueden clasificar según los siguientes parámetros:

a) Por su forma de producción:

- Informal
- Formal

Los sistemas de producción informal son aquellos en los que el volumen es tan pequeño que permite elaborar, en forma prácticamente artesanal, el producto, de tal manera que los parámetros para establecer las reglas y actividades a seguir durante el proceso carecen de patrones.

Los sistemas de producción formales permiten manejar volúmenes muy altos, a gran velocidad de producción y normalmente son bienes que serán consumidos por un gran número de personas, por lo que pueden estar sujetos a reglamentos, normas y estándares que requieren tanto equipo como personal especializado.

b) Por su grado de automatización:

- Manuales
- Semiautomáticos
- Automáticos

Los sistemas de producción manuales son aquellos en los que se permite tener un cierto rango de error en el bien producido. Actualmente son pocos los procesos que permiten tener un control meramente manual. Como ejemplo se puede citar la producción de chicle natural, que hasta nuestros días ha seguido el proceso original heredado desde hace más de 500 años.

Los sistemas semiautomáticos son, hoy por hoy, los más comunes tanto por su costo como por su integración entre el factor humano y el tecnológico. Como ejemplo se puede mencionar el

proceso de producción de la cerveza controlado casi en su totalidad por equipo electrónico altamente sofisticado y que sin embargo requieren al denominado "maestro cervecero" quien, en su momento, prueba el producto y determina los ajustes necesarios para dejarlo "a punto". Resumiendo, los sistemas semiautomáticos requieren de una u otra manera la intervención del hombre ya sea porque a que no es posible sustituir su función o porque el costo de automatizarlo totalmente es demasiado alto.

Los sistemas de producción automáticos se caracterizan por tener un sistema de control computarizado con algoritmos de control sofisticados y flexibles que les permiten modificar las diferentes variables que integran el proceso y mantenerlas dentro de rangos previamente establecidos. La producción de componentes electrónicos es un buen ejemplo de procesos 100% automatizados.

c) Por su naturaleza o continuidad:

- Discontinuos
- Continuos

Los sistemas discontinuos o también conocidos como tipo "batch" son aquellos en que la producción se realiza por lotes, es decir, se requiere de una secuencia de uno o más pasos de proceso para obtener el bien, para dar inicio a una nueva secuencia de producción. Normalmente el equipo involucrado en la producción es detenido, ya sea para hacer algún tipo de mantenimiento o ajustes antes de dar inicio al siguiente lote. Muchos ejemplos de procesos por lotes se les puede encontrar en la industria alimenticia.

Los sistemas continuos son aquellos en que la producción no se detiene, ya sea porque el equipo sufriría daño al realizar numerosos paros y arranques o porque la materia prima debe estar en constante movimiento a lo largo del proceso para que no sufra alteraciones en sus características. Se trata de los procesos de transformación o reprocesamiento físico o químico de materiales líquidos o gaseosos, por ejemplo en la producción de energía, en las industrias química y petrolera, en la producción siderúrgica o en plantas de laminación.

### 1.3 Factores que intervienen en un sistema de producción.

Los sistemas de producción están conformados por factores que determinan su proceso y evolución. Estos factores son determinantes para alcanzar el éxito dentro de un sistema productivo, siempre y cuando, se logre encontrar el equilibrio de todos ellos en cada sistema en particular.

Existen numerosos aspectos dentro de un proceso productivo siendo seis de ellos son los que muestran más trascendencia: tecnológico, humano, organizacional, económico - social, de calidad y ecológico.

#### 1.3.1 Factor tecnológico.

Durante los últimos 30 años la industria ha sufrido los cambios más vertiginosos de su historia desde la revolución industrial. Por ejemplo, el desarrollo tecnológico en el área electrónica ha sido tan rápido que las computadoras de la segunda mitad de los 80 son actualmente obsoletas, obligando a las empresas a orientar este tipo de inversiones de otra forma, es decir, una computadora prácticamente ya no puede ser considerada como un activo fijo debido a su acelerado proceso de obsolescencia.

Esta evolución de la industria ha traído cambios en los procesos obligando a éstos a ser más rápidos, precisos y complejos, en consecuencia, el desarrollo tecnológico ha tenido que ir de la mano en dicha evolución reemplazando equipo y sistemas productivos. Un punto angular han sido las computadoras y su gran capacidad de manejo y optimación de información, así sea controlando el proceso mismo o manejando la información corporativa de la compañía. La tendencia de la década de los 90 es el uso óptimo de la información a través de lenguajes de cuarta generación. Sin embargo, la experiencia ha mostrado que desde 1960 en que Digital Equipment Corporation (DEC) produjo por primera vez computadoras a menor costo introduciéndolas en ambientes de producción industrial, no ha dado, para muchas industrias, los

resultados de retorno de inversión que se esperaba, provocando un desconcierto dentro de los usuarios potenciales.

El mundo actual demanda información, y la demanda en tiempo real. Las redes telefónicas desde hace algunos años dejaron de ser suficientes para dar paso a las redes de comunicaciones vía satélite, inclusive para empresas de mediano tamaño.

Actualmente el costo de la tecnología aplicada ha disminuido permitiendo que día a día, más industrias incorporen equipos modernos con mayor capacidad para almacenar información y de enviarla a puntos lejanos.

La palabra clave dentro de este ámbito tecnológico es la automatización, concepto que hoy está ligado con el manejo de información a muy alta velocidad y en grandes volúmenes, de tal forma que se puede plantear el siguiente algoritmo gramatical:

Avance tecnológico = Manejo de más información a mayor velocidad

Finalmente, el desarrollo de hardware más poderoso va en constante pugna contra el del software que va un paso atrás, por lo que todo parece indicar que el reto a vencer, en un futuro cercano, es lograr el uso conjunto y adecuado de tan poderosas herramientas.

### 1.3.2 Factor humano.

Ahora más que nunca el factor humano ha tomado mucha importancia. Por un lado se tiene un avance tecnológico orientado a desplazar la mano de obra y que por ejemplo, ha llegado a establecer modelos de plantas productivas que trabajan a "luces apagadas", es decir, con un 100% de automatización, que no requieren de operadores para producir y por lo tanto no necesitan iluminación, y por otro, el crecimiento demográfico, en los países del tercer mundo provoca un aumento en la mano de obra. En el mejor de los casos, estas plantas de "luces apagadas" son ejemplos aislados que responden a la manufactura de productos muy

particulares, como son los componentes electrónicos y no representan un peligro inmediato para desestabilizar el equilibrio entre avanza tecnológico y el uso de mano de obra. Este creciente aumento de la población mundial obliga a ocupar la mano de obra disponible logrando con ello que países altamente industrializados busquen países subdesarrollados para instalar industrias que empleen dicha fuerza que se caracteriza por tener un bajo costo.

Por otro lado, los grupos sindicales son los que principalmente argumentan factores de seguridad laboral a favor del operador y es éste el que finalmente será el medio por el cual los sistemas de producción obtengan un producto dentro de especificaciones. Por tanto no es difícil concluir hoy en día, que el grado de dependencia entre el factor tecnológico y el humano requiere de especial atención en los nuevos planteamientos de modelos productivos.

Por tanto , es importante mantener y mejorar el equilibrio entre dichas fuerzas, la tecnológica y la mano de obra y utilizar la primera como un medio de mejora del operador. Como ejemplo se tiene que al finalizar este siglo es cuando mayor atención han tomado los factores ergonómicos en la labor del operador. Así el número de horas desarrollando una misma actividad, la iluminación de áreas o la capacidad de carga entre otros, son factores que actualmente las compañías diseñadoras de equipo y los Ingenieros Industriales toman en cuenta para integrar el avance tecnológico con la labor del hombre.

Algunos estudios arrojan que por cada dólar invertido en seguridad se ahorran \$5 dólares en gastos relacionados con accidentes laborales y en consecuencia con paros de producción.

### **1.3.3 Factor organizacional.**

El factor organizacional está referido al parámetro estratégico de conducción industrial que, buscando siempre la optimación de sus recursos, trata de lograr el máximo de producción al menor costo.

Los aspectos que debe manejar son entre otros los siguientes:

- Demanda del mercado
- Capacidad de producción
- Principales mercados a atacar

Hoy la estrategia organizacional ha tomado una nueva dimensión desde que las naciones Europeas, Norteamericanas y Asiáticas han formado tres bloques por lo que un mercado de globalización industrial marca una nueva tendencia en los sistemas de producción obligando a las empresas a modernizarse para entrar en el mercado mundial.

Esta modernización no va encaminada únicamente a mejorar los equipos ni a incrementar los niveles de automatización sino que se enfoca globalmente en la organización empresarial, logrando con ello buscar nuevos modelos. Por ejemplo, los modelos de organización horizontal; la producción tipo "justo a tiempo" -- del inglés "just in time"-- que orienta los programas de producción para surtir únicamente lo que se va a consumir y en el lugar adecuado, disminuyendo los inventarios en almacenes; o el sistema denominado "Empowerment", término difícil de traducir pero en sí un concepto muy sencillo: facultar, habilitar, autorizar a la gente más cercana al trabajo a tomar la mayor parte de las decisiones sobre la operación. Lo increíble de estas estrategias administrativas son los beneficios que traen consigo, en algunos casos proporcionan por lo menos un 20% de incremento en la productividad.

#### **1.3.4 Factor económico - social.**

La situación económico - social por la que esté atravesando un país determina en forma categórica las posibilidades de inversión y las estrategias a seguir en la orientación de prioridades en el desarrollo de nuevos sistemas productivos o en la implantación de mejoras a los ya establecidos. Se tiene como ejemplo, el desarrollo industrial que ha tenido México en las

últimas tres décadas. En los 70, con el "bum" del descubrimiento de nuevos y prometedores yacimientos petroleros, se marcó la dirección que se debería seguir. En los 80, la inclusión de México al Acuerdo General de Aranceles y Comercio (GATT) no permitió como se esperaba que las empresas tuvieran nuevas oportunidades de comercio internacional, con la condición de que mejoraran la calidad de sus productos y servicios. Finalmente en la presente década, los 90, la firma del Tratado de Libre Comercio (TLC) pone un gran reto a los sectores industrial y comercial en el que se verá quien sobrevivirá a este nuevo modelo de apertura comercial, donde se derrumba el proteccionismo estatal que predominaba en la década de lo 80's. La clave del éxito de la apertura comercial que marca el TLC es la modernización, misma que se está viendo mejor reflejada en pequeñas y medianas empresas como fabricantes de calzado, lencería y vestido que han podido adaptarse más rápidamente que las grandes, para incrementar sus exportaciones. Por otro lado tenemos el ejemplo de la industria maderera que atraviesa por grandes dificultades y que tiene que competir con la de E.U.A., que se modernizó hace más de 20 años. Resumiendo, México, necesita hacerse competitivo antes de que caigan todos los aranceles, y la única forma de conseguirlo es aumentando la productividad mediante la adquisición de nuevas tecnologías y logrando un cambio de actitud atacando el problema de educación.

El ejemplo anterior pone en evidencia la clara relación que existe entre los cambios en el ámbito económico - social y los sistemas productivos que tienen que adaptarse dinámicamente a tal transformación.

### **1.3.5 Factor de calidad.**

Calidad es la totalidad de las particularidades o características de un producto relacionadas con su capacidad para satisfacer necesidades establecidas o implícitas.

"Calidad Total" es el concepto que hoy en día ha venido marcando el rumbo de los procesos productivos. Gran número de empresas están adoptando este modelo como eje de sus

operaciones implantando equipos, sistemas, personal, etc. orientados a tener una producción homogénea sin perder los sistemas flexibles de producción como base de control de calidad modernos. Sin embargo no se debe perder de vista que al establecer un sistema de calidad se obliga a realizar inversiones a gran escala debido a que el costo de este tipo de sistemas es alto, sobre todo al inicio del programa. Esto es debido a que la eficiencia es menor durante la fase inicial de desarrollo. En general se considera que un sistema de calidad genera costos en tres categorías: de fallas, de detección y de prevención.

Un caso muy actual en la implantación de sistemas de calidad es el fenómeno de las maquiladoras a imagen espejo de sus gemelas en su país de origen, que producen bienes iguales y que serán consumidos en un mismo mercado, obliga a las primeras a mantener una calidad equivalente sin importar el costo.

Otro factor que obliga a las empresas a mejorar sus productos y por ende sus sistemas de control de calidad, es el consumidor, debido a que ha tomado mayor conciencia en lo que busca y compra. Es decir, en un mercado de múltiple oferta para un mismo tipo de producto, el consumidor busca el producto de mayor calidad al menor costo, fenómeno que se ha agudizado debido al mercado común.

Por otro lado existen compañías como Ford Motor Co. que otorga anualmente el premio "Q1" – Quality #1 – a sus proveedores que alcancen los niveles de calidad establecidos por Ford, orientando a éstos a lograr mejoras constantes en sus procesos para alcanzar y mantener la calidad en su producto.

Finalmente, el interés de un gran número de empresas por obtener el certificado ISO 9000 que involucra las normas para la gestión y garantía de calidad, denotando las pautas para su selección y utilización, pone de manifiesto una tendencia a globalizar el concepto "calidad".

### 1.3.6 Factor ecológico.

No cabe la menor duda que una de las más grandes preocupaciones de nuestro tiempo es la contaminación ambiental y es posiblemente el factor común de muchos procesos. Cada día se editan nuevas normas ecológicas y/o se revisan otras. Hoy todas las industrias están vigiladas por grupos ecologistas independientes y del gobierno que supervisan los métodos productivos para que éstos estén dentro de normas.

Sin embargo no se puede hacer a un lado que México se encuentra 20 años retrasado con respecto a Canadá y a E.U.A., en lo que respecta a regulaciones de protección ambiental, ya que ellos cuentan con sistemas establecidos para el estudio de impacto ambiental de los diferentes procesos y tecnología muy avanzada que ha dado valiosos resultados.

Tal vez la parte más importante no es la tecnología, sino que la gente realmente tome consciencia del daño que se provoca al medio ambiente.

Es por esto que el problema de la contaminación ha logrado despertar el interés, tanto en México como en el resto del mundo, de un gran número de compañías para desarrollar instrumentación para medición y equipos anticontaminantes. Este desarrollo tecnológico enfocado a eficientar los procesos, hacerlos más limpios y consumir menos energía está orientando grandes inversiones en plantas de tratamiento de aguas dentro de las industrias, modificaciones en sistemas de combustión y en el debido desecho o almacenamiento de productos químicos, entre otros.

En lo que resta del siglo se espera que los procesos productivos, en su totalidad, sean alcanzados por normas específicas que regulen su operación y las variables a medir para determinar su influencia nociva en el medio ambiente, enfrentando a los empresarios al nuevo contexto, en el que tendrán que resolver cuestiones que habían estado menospreciando en el pasado como es la protección ambiental, fomentando la integración del personal a esta nueva cultura ecologista.

#### 1.4 Medición de la eficiencia de un sistema de producción.

Tradicionalmente el método más común para medir la eficiencia de un sistema de producción ha sido el de "costo por unidad producida" que implica obtener el cociente de la relación de gastos totales y número de piezas producidas, ya que el objetivo primordial de cualquier proceso productivo, es obtener el volumen requerido al menor costo posible, lo cual es la clave en una estructura basada en costo.

Este método era sencillo y bien visto por ejecutivos de finanzas encargadas de evaluar la eficiencia, que una vez terminado el período establecido de evaluación (quincenal o mensual), recopilaban toda la información y la comparaban contra el valor establecido, de tal forma que si el valor obtenido era menor al establecido, la eficiencia había sido alta, pero si el costo era mayor, ésta había sido baja.

Conforme se fueron haciendo complejos los sistemas de producción, tanto en su metodología como en la diversidad de productos, fue haciéndose más complicado obtener la relación de costo por unidad de cada producto y cada línea de producción, por lo que se optó por un modelo más general que permitiera una medición más efectiva.

Actualmente se estima que únicamente el 10% del total del costo está referido al costo directo del producto o a la línea de producción. Esto significa que el 90% del costo depende de otro tipo de fuentes como gastos de ventas, inversiones de capital o cualquier otro factor relacionado con los productos. De esta forma todas las actividades desarrolladas en la planta entran en el costo total. A esta nueva forma de análisis se le denomina "Sistema de Manejo de Costos" y logra fundir los costos directos e indirectos dentro de un mismo concepto particularizado a un solo producto o línea. Sin embargo este modelo no resuelve del todo el problema de la medición de un sistema productivo, primero, porque aun cuando con los modernos sistemas de computo puedan referirse las actividades a cada producto, esto no es posible a un 100%, segundo, porque aun cuando esto fuera posible el costo por unidad no es necesariamente un factor determinante y tercero, porque normalmente este tipo de datos se calculan quincenalmente o

mensualmente, para entonces el producto con el cual se obtuvieron esos datos están fuera de producción y ya no hay forma de realizar alguna estrategia para modificar el proceso.

Todo esto llevó a la necesidad de crear un sistema más efectivo y apegado a la realidad del proceso a medir, por lo que la clave está en seleccionar los indicadores de rendimiento adecuados, instituir métodos de medición reales y presentárselos a las personas adecuadas y en el momento adecuado para permitirles realizar continuamente mejoras en el proceso. El denominado triángulo de Vollmann (Figura 1.1), desarrollado por el Dr. Thomas Vollmann, ayuda a visualizar y sintetizar la medición de eficiencia en un sistema productivo.



Figura 1.1 Triángulo de Vollmann

El triángulo denota en su parte alta la estrategia de medición a seguir que se presenta claramente al personal relacionado. Esta estrategia requiere un plan de acción (parte inferior izquierda) para poder realizarla y finalmente se toman mediciones (parte inferior derecha). Este modelo propone un sistema dinámico de medición de eficiencia lo cual marca una gran diferencia con los modelos originales de carácter pasivo. Este modelo implica necesariamente un infraestructura de recopilación de datos poderosa por medio de un sistema de cómputo. De cada punto clave dentro del proceso se recopila la información por área y se transfiere a la gerencia de planta para ser analizada y comparada contra patrones para determinar la

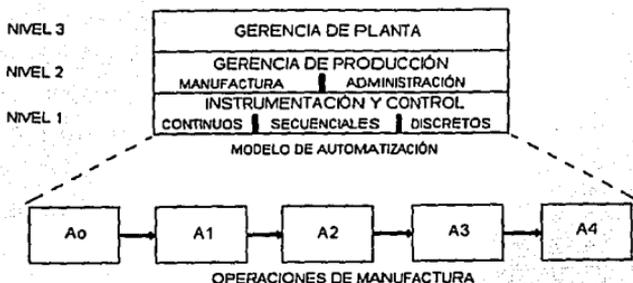
eficiencia. La transmisión de la información deberá ser en tiempo real para que la retroalimentación al sistema productivo tenga efecto inmediato.

Actualmente, es común encontrarse con plantas que manejan paquetes de "Control Estadístico de Procesos y de Control Administrativo" que les permiten manejar algoritmos complejos que relacionan las principales variables de control y traducen estos valores a resultados de medición de la eficiencia de producción.

### **1.5 Sistema de control integrado total.**

La evolución de los procesos productivos y del control de los mismos ha ido poco a poco relacionando las diferentes áreas de una empresa integrándolas en lo que se denominó como "Sistema de Producción Moderno". Como se mencionó en el inciso 1.1, estos sistemas cuentan con moderno equipo electrónico que permite mayor flexibilidad en el control de sus procesos para así obtener mayores velocidades y volúmenes de producción. Una de las características básicas de la nueva tecnología es la intercomunicación de equipos que ha permitido a los fabricantes de equipo de cómputo ofrecer sistemas que facilitan integración de las diferentes áreas de una planta productiva, teniendo como eje central la comunicación, el manejo de información a alta velocidad y en tiempo real. Dichos fabricantes han integrado las diferentes áreas en 3 niveles que permiten tener una visión global y simplificada de un proceso productivo. Estos niveles son: Nivel 1, Instrumentación y Control; Nivel 2, Gerencia de Producción y Nivel 3, Gerencia de Planta. (Figura 1.2)

El nivel 1 corresponde a la instrumentación y funciones de control de la planta y está dividido en tres segmentos basados en el tipo de control que depende de las operaciones de manufactura. En este nivel los procesos son controlados por equipos especializados para cada una de las variables a medir o controlar, normalmente son integrados por uno o más DCS.



**Figura 1.2** Modelo de Automatización Industrial.

El nivel 2 ha sido probablemente el último nivel en ser automatizado en los sistemas productivos modernos. Este nivel representa la funcionalidad referida como Gerencia de Producción, en la cual se encuentran las funciones gerenciales de programas de mantenimiento, producción, etc.. Estas funciones han tratado de ser integradas con las del primer nivel y contienen toda la información, en tiempo real, de este último. Por medio de este nivel muchos usuarios accesan información del primero. Principalmente se caracteriza por manejar la información a alta velocidad.

Por último, el tercer nivel representa la funcionalidad del manejo gerencial de la planta o se le conoce como nivel de soporte de decisión. Dentro de este nivel se encuentran funciones tales como manejo contable y de nóminas, análisis de mercado, etc. Funciones que han sido realizadas tradicionalmente en "Mainframes" o micro computadoras que trabajan fuera de línea, respondiendo a requisitos complejos no anticipados.

Actualmente los fabricantes de equipo especializado, en cada uno de los niveles, han formado alianzas o acuerdos para poder desarrollar la tecnología que permita establecer una red de comunicación en tiempo real incorporando funciones de intercambio entre los diferentes niveles

y segmentos para lograr lo que se denomina como "Control Integrado Total" (Figura 1.3). Hoy ya es posible establecer sistemas de este tipo con bases de datos compartidas en tiempo real desde cualquier nivel, normalmente bidireccional horizontalmente y con algunas restricciones en funciones de transmisión de datos o control entre niveles o verticalmente, como lo es el caso de unir los DCS y los Sistemas de Control Administrativo (BCS de sus siglas en inglés "Business Control System"). Esta capacidad con la que pocas empresas cuentan y que puede implantarse en cualquier empresa, no siempre produce los beneficios esperados debido a que diversos factores dificultan su instrumentación y crean una problemática que para algunas empresas se presenta infranqueable. Sin lugar a dudas el costo es uno de los principales factores que limitan su incorporación, debido a que existen industrias para las cuales la tasa de retomo de inversión no es atractiva debido a sus volúmenes de producción o porque no tienen el capital suficiente para una inversión inicial.

Independientemente al factor de carácter económico, el modelo de un "Sistema Integrado Total" se presenta como una alternativa ideal para los sistemas de producción modernos los cuales

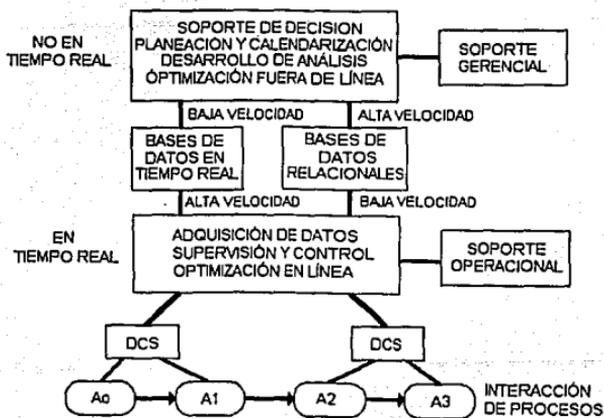


Figura 1.3 Control Integrado Total.

tienen que ser tan flexibles y dinámicos como la tecnología misma. La inversión que la industria está haciendo actualmente va encaminada a mejorar los sistemas automáticos tanto dentro del proceso como en áreas administrativas y sin embargo no será hasta dentro de algunos años, que el concepto de Integración de Información tome un carácter de "Total" permitiendo orientar la comunicación en tiempo real tanto en forma horizontal como vertical en el esquema de los tres niveles de un proceso productivo para alcanzar el mayor grado de productividad.



## 2. CARACTERISTICAS GENERALES DE UN SISTEMA DE CONTROL.

Los sistemas de control, desde los más primitivos hasta los más modernos, tienen características similares que se mencionaran a lo largo de este capítulo.

### 2.1 Antecedentes históricos.

Aunque se puede pensar que el Control Automático de Procesos se inicia en la década de los 60 con la introducción de las computadoras en las áreas de manufactura, se puede encontrar su primera aplicación en 1774, año en el que James Watt desarrolla su regulador centrífugo como controlador retroalimentado para controlar la velocidad de una máquina de vapor. Durante la Revolución Industrial, al aumentar la capacidad de los procesos productivos, el principal recurso que tenían los empresarios era la mano de obra abundante, barata y sin experiencia. Para poder administrar mejor los recursos disponibles, Frederick Taylor introduce el concepto de "Administración Científica" en la que cada obrero realizaba una parte fija del proceso (manufactura discreta) sin que se preocupara por el resto del mismo. Esta idea es la base del Control Manual. El problema surgió con los procesos continuos que no se podían dividir fácilmente en operaciones discretas porque estas no eran fácilmente distinguibles.

Para resolver el problema de controlar una planta de procesos continuos, se desarrolló la instrumentación adecuada para que los operadores pudieran "ver" las variables claves del proceso (temperatura, nivel, flujo y presión) y después, basados en el valor obtenido, si era necesario, lo ajustaban manualmente. Al concepto de medir una variable a través de un instrumento y ajustar el proceso mediante un actuador para mantenerla en un valor preestablecido, se le conoce como Control Retroalimentado (Figura 2.1).

Al crecer las compañías dedicadas a la instrumentación y control como Taylor, Foxboro y Brown, aumenta el interés por facilitar el trabajo a los operadores de las plantas de procesos continuos. Como resultado, se desarrollan distintos dispositivos mecánicos capaces de proporcionar acciones de control retroalimentado en forma automática. Para que estos dispositivos fueran efectivos, tenían

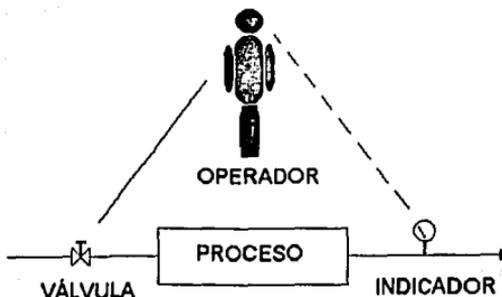


Figura 2.1 Control Retroalimentado.

que ser montados directamente en el proceso. Un ejemplo de este tipo de control, se tenía en el proceso de pasteurización de la leche. En esta época (1912) Taylor es el principal proveedor de instrumentos y controles de la industria lechera y Foxboro de la industria petroquímica, seguido por Brown.

El primer gran avance del control de procesos es la implantación de los sistemas de control neumáticos. Dado que los operadores tenían que estar en las áreas de proceso, existía la necesidad de poder localizar los controladores en forma remota, lo cual no era posible dada la falta de comunicación entre los elementos del lazo de control. La solución la dio el uso de sistemas neumáticos, los cuales permiten la comunicación entre los controladores y los actuadores por medio de una señal neumática en el rango de 3 a 15 psi. De esta forma, es posible ubicar los controladores en áreas diferentes a las del proceso. Los primeros controladores neumáticos estaban diseñados de tal forma que la señal de salida era proporcional a la magnitud de la diferencia entre la variable y el punto de ajuste (error) y si algunas de las variables del proceso cambian (variables de carga), el error

se mantiene ("offset") ya que las variaciones de la salida están ligados a las variaciones del error. Este tipo de control recibe el nombre de Modo de Control Proporcional.

Por otro lado, con el aumento de los niveles de producción (1933) las compañías petroleras se ven obligadas a confiar cada vez más en la instrumentación utilizada en el control de sus procesos, lo cual ocasiona que Foxboro y Brown desarrollen instrumentos y controles más precisos.

A mediados de los años 30, Taylor desarrolla su unidad de doble respuesta que estabilizaba la acción de control por medio de un reajuste (reset) automático de la válvula. Esta unidad estaba instalada en el vástago de la válvula, pero cuando Taylor rediseña el controlador Fulscope (Figura 2.2), se modifica y la incluye en el cuerpo del controlador. Años más tarde, a este modo de control se le conocería como Modo de Control Integral.

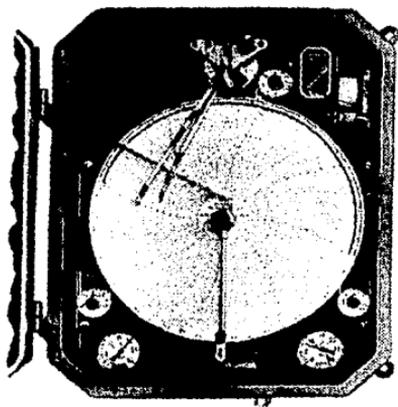


Figura 2.2 Controlador Fulscope.

En 1938, trabajando con el controlador Fulscope en una aplicación para la industria textil, por accidente se restringe la señal de retroalimentación, el efecto obtenido fue nombrado "Pre-Act" el cual es el primer control de tipo derivativo.

En 1940 Taylor lanza el Fulscope 100 que incluía las acciones de la unidad de doble respuesta y el Pre-Act, convirtiéndose en el primer controlador de tres modos (PID) en el mercado. Este controlador se configuró de tal forma que permitía un ajuste continuo de su sensibilidad, posteriormente conocida como ganancia que era de fácil ajuste, siendo su principal desventaja la sintonización de los tres modos en conjunto. En 1941, Ziegler y Nichols, que trabajaban para Taylor, desarrollan el método actualmente conocido como método de Ziegler-Nichols para sintonizar el controlador PID. Este método aún se utiliza.

En 1946 el controlador Nullmatic de Moore Products (Figura 2.3) elimina las gráficas circulares de su diseño lo cual facilita la construcción de paneles y cuartos de control centralizados, desde los cuales se podía supervisar el proceso.

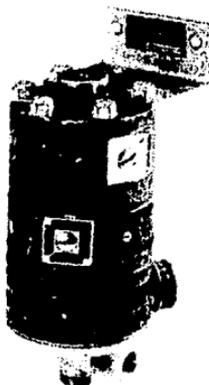


Figura 2.3 Controlador Nullmatic de Moore Products.

El desarrollo de la electrónica tiene un gran efecto en la automatización de procesos, especialmente en los procesos continuos, máquinas de control lógico y máquinas de control numérico. En los procesos continuos, los sistemas neumáticos son sustituidos por sistemas electrónicos analógicos, que utilizan señales de 4 a 20 mA..

Los primeros controles electrónicos de procesos American Microsen se introducen en 1953. En 1958 Foxboro, Taylor Instruments, Minneapolis - Honeywell y Leeds & Northrup lanzan sus primeros controladores electrónicos. Daystrom Systems instala el primer sistema de control adaptable en 1960. En 1969 Honeywell introduce su línea de controladores Vutronik los cuales permitan cambios escalón en el punto de ajuste sin producir "brincos" en el proceso, mediante la manipulación del algoritmo PID.

Es hasta la década de los 70 cuando aparecen los primeros controladores electrónicos que incluían circuitos integrados. Con los controladores electrónicos se introducen los tableros de alarmas, que le indican al operador las condiciones anormales del proceso.

Paralelamente, se desarrollaron los sistemas de control en base a relevadores eléctrico-mecánicos, empleados en las máquinas de control lógico, desarrollando la lógica de escalera.

Para los equipos que contaban con acciones repetitivas, se generan los controladores numéricos.

Las principales ventajas de los sistemas electrónicos eran la velocidad de respuesta y la cantidad de información que podía ser manejada. Con esta tecnología se comienzan a desarrollar los esquemas de control prealimentado que permiten compensar los cambios en el proceso en el momento en el que ocurren de tal manera que el error se reduce al mínimo.

En la década de los 60, el nivel de automatización en las industrias se consideraba avanzado, ya que existían lazos de control conectados en cascada y se utilizaban los esquemas de control prealimentado. Con el avance de las computadoras, se abren grandes posibilidades para el control de procesos.

Los obstáculos a vencer eran la necesidad de manejar la información de los procesos en tiempo real, la confiabilidad y el costo de las computadoras.

El primer esquema utilizado es el Control Supervisorio que presentaba problemas en la comunicación entre la computadora digital y los controladores analógicos. Normalmente era añadido a los sistemas analógicos existentes. Una alternativa al Control Supervisorio es el esquema del Control Digital Directo en el que todas las funciones de control se llevan a la computadora. Para poder implantar las funciones de control efectuadas por los controladores analógicos que funcionan de manera continua fue necesario desarrollar una estructura que permitiera el manejo de datos en tiempo real. La solución

se dio al introducirse el concepto de bloques de control (Figura 2.4) que están formados por software (programas, subprogramas y archivos) capaz de manejar información en tiempo real y de imitar las funciones de los controladores analógicos. Los bloques de control responden a los cambios en las entradas o datos en lugar de seguir una serie de instrucciones secuenciales. El desarrollo de los bloques de control, además de hacer posible el uso de la computadora en un esquema de Control

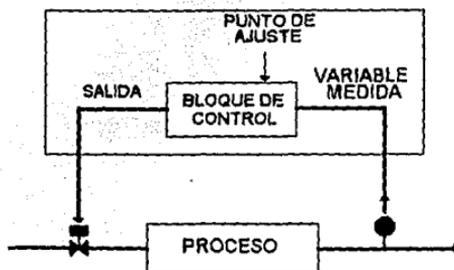


Figura 2.4 Bloques de Control.

Digital Directo, es la base para el desarrollo de estrategias más avanzadas en el Control Supervisorio. A finales de los años 60 y principios de los 70, al disminuir el costo de las computadoras, estas se comienzan a instalar en diferentes partes del proceso utilizando redes de comunicación. En los primeros sistemas instalados, los módulos de adquisición y salida de datos estaban conectados a una computadora central que realizaba el control completo del proceso. Este esquema recibe el nombre de Control Centralizado.

A partir de los años 70 y con el desarrollo de las comunicaciones digitales, es posible cambiar de los Sistemas de Control Centralizado a los DCS en los que el proceso a controlar se divide en subprocesos cada uno controlado por una computadora. Hoy en día los DCS utilizan todos los adelantos de la tecnología tales como el despliegue de gráficos en pantallas así como el uso de computadoras personales y estaciones de trabajo.

## 2.2 Sistemas de control en lazo abierto y en lazo cerrado.

La historia del desarrollo de sistemas de control ha estado envuelta en la necesidad de tener procesos confiables y seguros, adecuándolos a nuevas tecnologías y modernos sistemas de producción, según se ha podido apreciar anteriormente. Sin embargo, para la comprensión de la teoría de control, es necesario conocer algunos de los conceptos fundamentales que le son inherentes.

Sabiendo que los sistemas de control se han diseñado para volver más confiables los procesos y evitar errores debidos a operaciones manuales, primeramente se dirá que un proceso (Figura 2.5) se identifica como aquel que tiene uno o más elementos de entrada y del que se espera una salida que cumpla con parámetros previamente establecidos. Desde el punto de vista de control un proceso consta de variables de carga o elementos de entrada, variables manipuladas y variables controladas o elementos de salida, entre los cuales se van a establecer lazos para llevar a cabo las funciones de control del proceso.

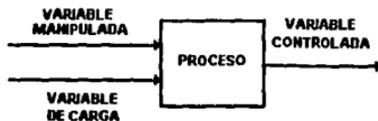


Figura 2.5 Variables de un proceso.

El sistema de control para un proceso determinado consiste fundamentalmente en elementos sensores que transmiten mediciones de las diferentes variables del proceso al controlador, dispositivo que determinará, en función a una señal de referencia o punto de ajuste ("set point") y de las variaciones en dichas mediciones, la acción de control a seguir a través de un elemento final de control haciendo que la variable manipulada cambie en forma tal que la variable de salida o controlada se acerque o haga igual que el punto de referencia (Figura 2.6).



Figura 2.6 Sistema de control en lazo cerrado.

Cuando éstas condiciones se cumplen y existe acción de control en el proceso se da una relación de variables llamada en lazo cerrado. En el caso de que alguna de las condiciones no se cumpla, y por tanto no se produce respuesta en la variable de salida para ajustarla al valor deseado, entonces la relación es en lazo abierto (Figura 2.7).



Figura 2.7 Sistema de control en lazo abierto.

La estructuración de los sistemas de control, de acuerdo a la tecnología que utilicen y dependiendo de la magnitud de los procesos a controlar, puede ser de tipo supervisorio, digital directo, centralizado, distribuido o jerárquico, cuyo estudio se hará más adelante.

### 2.3 Sistemas retroalimentados y prealimentados.

Generalmente, en un proceso que se pretende controlar, el problema al que se enfrenta el sistema de control es determinar el valor de la variable manipulada, que establece el balance entre todas las variables de carga y el valor de referencia, para que la variable controlada se

mantenga en el valor deseado. Este problema se ha resuelto en dos formas diferentes, cada una de las cuales corresponde a una filosofía básica de diseño de sistemas de control.

Uno es el sistema de control retroalimentado (Figura 2.8), donde la señal de control se genera a partir de la diferencia (o error) que existe entre la señal de salida real y el valor deseado o de referencia. Es un sistema que soluciona el problema de control a través de un procedimiento de prueba y error, haciendo que el error se minimice o vuelva cero. Es decir, los dispositivos de control sensan la señal de salida con la frecuencia que el proceso requiera, y la comparan con el valor deseado, para producir un efecto en los elementos finales de control que modifiquen alguna o algunas de las variables de carga (manipuladas) para atenuar dicha diferencia y hacerla llegar a cero. En un sistema retroalimentado se cumplen las condiciones de control en lazo cerrado. Este lazo se vuelve abierto por diferentes causas, como pueden ser fallas en los equipos de medición o de transmisión de información, o bien fallas en los elementos finales de control; también cuando el controlador se coloca en modo manual para un arranque o paro por mantenimiento en el proceso.

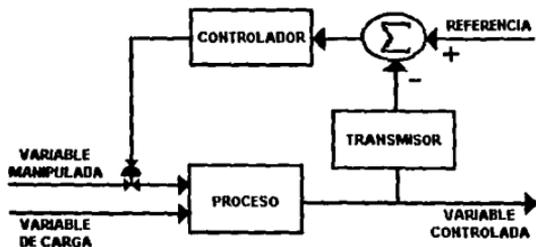


Figura 2.8 Sistema de control retroalimentado.

Un sistema retroalimentado además tiene la característica de que al efectuarse la acción de control, define la dirección de la respuesta del controlador en el sentido de que si la medición de la variable de salida se incrementa, dicha respuesta puede también incrementarse, o bien

reducirse. Es decir, una acción directa (incrementa-incrementa) origina que el controlador incremente su respuesta ante el incremento en la medición de la variable de salida. Por el contrario, la acción inversa (incrementa-decrementa) se da cuando el controlador reduce su salida en la medida en que la medición se incrementa. La selección equivocada en el sistema de retroalimentación hace que el control en cualquier proceso sea imposible. Es importante considerar que un sistema de control retroalimentado generará estabilidad en un proceso cuando tiene retroalimentación negativa. La retroalimentación positiva ocasiona inestabilidad.

La segunda opción para resolver el problema de control es el sistema de control prealimentado (Figura 2.9); en éste, la señal de control se genera de valores basados en las diferentes variables de carga que afectan el proceso, sin que el controlador considere el valor de la señal de salida del proceso. En otras palabras, la señal de control es el resultado de la ponderación de las variables de entrada contra un valor de referencia y con la cual se prevee la salida del proceso esperada. En general, ésta técnica es más complicada y costosa, pues requiere de un conocimiento mayor del proceso y la relación precisa entre las variables de carga (perturbaciones) y la variable de salida del proceso, ya que la acción de control se toma sin esperar a que se presente la señal de respuesta. También se pueden utilizar en procesos donde la salida esperada no requiere ser muy precisa.

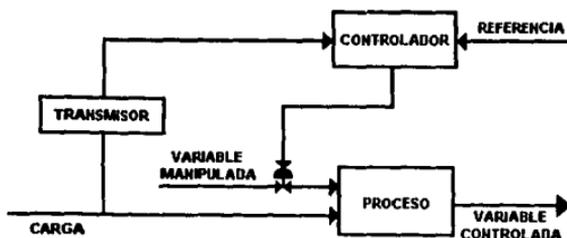


Figura 2.9 Sistema de control prealimentado.

## 2.4 Modos de control.

Recordando que el control tiene como propósito primordial el seguimiento y regulación de la variable de salida de un proceso, los modos de control son el medio por el cual un controlador va a producir una señal como respuesta a la medición de variables del proceso, que lleve a dicho resultado, en un marco de estabilidad y de compensación ante perturbaciones que se presenten, procurando además optimar el tiempo de respuesta.

Los cuatro modos básicos de control utilizados dependiendo de su acción para obtener una respuesta particular son el de "On-off" o de dos posiciones, el Proporcional, el Integral y el Derivativo, además de las combinaciones que entre ellos se pueden instrumentar. Es necesario entender cada acción individualmente para seleccionar el modo de control más apropiado en una aplicación, o la combinación de ellos y así lograr un equilibrio entre costo y complejidad del sistema.

Antes de analizar los diferentes modos de control que se utilizan es conveniente conocer dos características dinámicas inherentes a todo proceso que se han dividido en dos categorías: tiempo muerto y capacidad. Sin la consideración de estos factores y el conocimiento de sus causas y efectos, evaluar un modo de control necesario para un proceso es prácticamente imposible.

### a) Tiempo muerto y capacidad.

En forma general se puede definir el tiempo muerto como el tiempo que existe entre el cambio de una señal de control y la detección de su efecto en la variable de salida. Es usual que el tiempo muerto se presente en procesos que involucren el desplazamiento de materiales y componentes de un proceso, o bien en procesos de mezclado cuya composición dilata en ser detectada.

Desde el punto de vista de control, lo importante es cuánto tiempo dura ese lapso, ya que el tiempo muerto representa un intervalo en el que el controlador no tiene información sobre la

acción de control tomada previamente (Figura 2.10). Esa cantidad de tiempo en un proceso dificulta los ajustes del controlador y el desempeño que se puede esperar del sistema de control. Es por ello que el tiempo muerto interfiere con el control y se debe evitar al máximo.

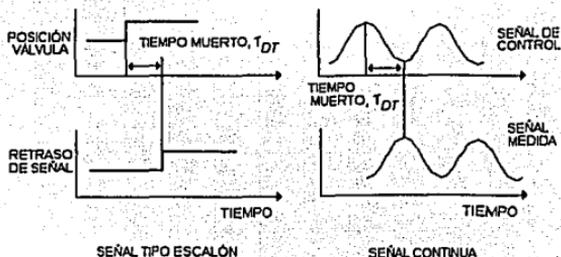


Figura 2.10 Retraso por tiempo muerto.

Sin embargo los procesos que únicamente tienen retraso por tiempo muerto no son comunes, y la mayoría incluye retrasos por elementos capacitivos (Figura 2.11). Dichos elementos capacitivos son dispositivos donde se almacena materia o energía. Las diferencias que tiene este retraso con los de tiempo muerto son que la medición en la variable de salida comienza a cambiar en cuanto hay señal de control, y que la capacidad no permite que la salida sea instantánea, aunque la señal de control lo sea, con lo que el proceso tiende a atenuar perturbaciones facilitando la acción de control, mientras que el tiempo muerto lo dificulta.

El tamaño de la capacidad se mide por lo que se denomina "constante de tiempo", que es el tiempo requerido para alcanzar el 63.2% del valor final de la respuesta (Figura 2.11).

La razón entre el tiempo muerto con respecto a la constante de tiempo de los elementos de un proceso, determina la dificultad que el sistema de control tendrá para mantener la estabilidad en el proceso.

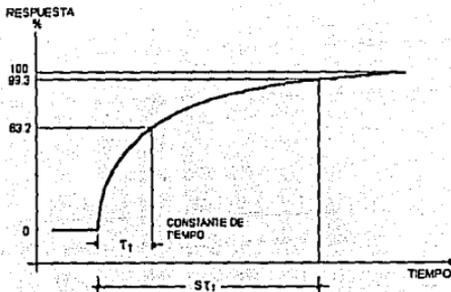
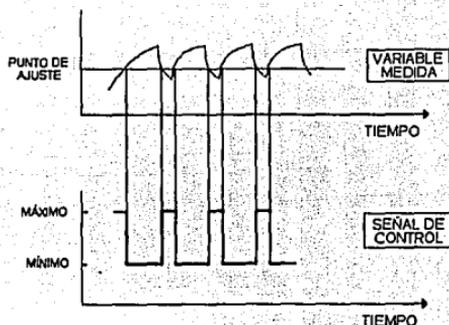


Figura 2.11 Definición de constante de tiempo.

b) Modo de control "On-Off" (dos posiciones).

La respuesta "On-off" es la forma más simple del control retroalimentado o en lazo cerrado, donde el controlador sólo puede tener dos posibles salidas: abierto o cerrado. Debido a esto y a tiempos de retraso en el proceso, la curva que describe la señal de salida es cíclica, ya que cuando la variable medida es mayor al punto de ajuste, la salida del controlador es mínima (dependiendo si es de acción directa o inversa), y cuando es menor al punto de ajuste la salida es máxima (Figura 2.12). Esta es una limitación que impide al controlador llevar el valor de salida al punto de ajuste con exactitud, pues no tiene la posibilidad de generar salidas entre los extremos máximo ("on") y mínimo ("off"). Los modos proporcional, integral y derivativo tienen esta capacidad, aunque cada uno está basado en un concepto diferente de como responder a la señal de error.

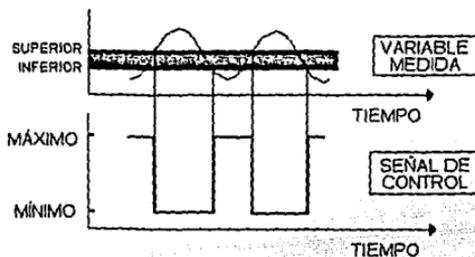


**Figura 2.12** Modo de control "on-off".

La duración de un ciclo de la curva depende del tiempo que tarde la variable medida en volver al punto de ajuste y así cambiar de "on" a "off" y viceversa. Dicho tiempo es directamente proporcional al tiempo muerto inherente al proceso. La frecuencia con que un elemento final de control debe variar de un extremo al otro provoca que tenga un desgaste excesivo. Una variación del control "on-off" (Figura 2.13) permite reducir dicho desgaste al considerar dos puntos de ajuste, uno inferior y otro superior. A esta variación se le denomina modo de control "on-off" con banda muerta y mientras la variable medida se encuentre entre los dos puntos de ajuste, la salida del controlador permanecerá en el valor anterior. Si la variable medida es mayor que el punto de ajuste superior, la salida del controlador será mínima (dependiendo de la acción del controlador). En el caso de que la variable medida sea menor al punto de ajuste inferior, las salida del controlador será máxima.

Por otro lado la amplitud del ciclo depende de cuanto cambia la medición de la variable antes de invertirse, y es inversamente proporcional a la constante de tiempo generada por elementos capacitivos.

A pesar de esta desventaja, el control "on-off" es muy simple y relativamente económico, por lo que tiene un uso generalizado en los sistemas de control tanto industriales como domésticos. Sin embargo, el modo de control "on-off" se utiliza normalmente cuando la regulación no requiere precisión. Además es conveniente que la razón de tiempo muerto contra la constante de tiempo sea pequeña para evitar que la amplitud del ciclo sea muy grande y provoque variaciones indeseables en la calidad de un producto o perturbaciones en otras partes del proceso.



**Figura 2.13** Modo de control "on-off" con banda muerta.

### c) Modo de control proporcional.

La necesidad de obtener un sistema de control que permitiera la regulación de la señal de salida dió como resultado el desarrollo del modo de control proporcional. Este se basa en que la respuesta del controlador es proporcional a la señal de error de la variable de salida.

Para comprender este modo de control, primeramente se ha de considerar que la respuesta generada por el controlador es lineal, representada por un algoritmo donde se relacionan el error y lo que se denomina banda proporcional. El porcentaje de variación en la medición de la señal de salida, con punto de ajuste constante, requerido para que el elemento final de control se

desplace de una posición extrema a la otra (100%), determina la magnitud de la banda proporcional.

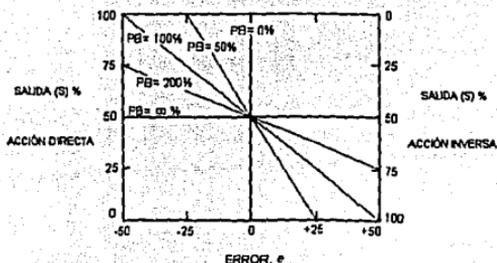
De la definición de banda proporcional se desprende el concepto de ganancia, que se calcula como el recíproco de la banda proporcional.

$$PB = \frac{100}{Kc}$$

donde PB = Banda Proporcional

Kc = Ganancia

Tanto la banda proporcional, como la ganancia cuantifican la sensibilidad del controlador ante los cambios de la señal de error, pero la ganancia determina la proporción que guardan el cambio en la salida con respecto al cambio del error, según se puede apreciar en la figura 2.14. También se puede observar que al disminuir la banda proporcional, el sistema de control es más sensible a los cambios en el error, ya que la ganancia se incrementa. Cuando la banda proporcional tiene un valor de cero, es decir ganancia infinita, la acción proporcional es equivalente al del modo "on-off", pues el mínimo cambio que se suscite produce salidas extremas del controlador. Por el contrario, si la ganancia del sistema es cero, o banda proporcional infinita, el controlador simplemente no responderá a los cambios de la señal de error.



PB = BANDA PROPORCIONAL

**Figura 2.14** Relación entre la salida del controlador proporcional y el error para diferentes valores de banda proporcional.

En un sistema de control, la señal que pasa a través de cada elemento que lo compone se hace más grande o más pequeño, dependiendo de la ganancia particular que tenga. El cálculo de la ganancia total del sistema se hace multiplicando las ganancias individuales, de tal forma que si el resultado es mayor a 1.0 (adimensional), la señal que se genere será mayor que la que entró. Es por esto que un sistema retroalimentado o en lazo cerrado, solo tenderá a ser estable cuando la ganancia del lazo sea menor que 1.0.

Sin embargo, la respuesta del modo de control proporcional hace que la medición gradualmente tome un valor separado del punto de ajuste igual al del error detectado en la señal de salida. Una vez en ese punto el sistema de control se estabiliza y no puede hacer regresar la variable al punto de ajuste (Figura 2.15). Esta desviación se denomina error en estado estacionario u "offset" y se presenta porque en el algoritmo de control existe un coeficiente de polarización proporcional (bias), que es constante. Si este bias cambiara para que el error sea igual a cero conforme se da la respuesta proporcional, entonces la medición podrá regresar al punto de ajuste. El ajuste del bias para este efecto, se conoce también como reajuste manual (reset manual).

La relación óptima entre la banda proporcional y la señal de error, propicia una respuesta en el controlador donde el proceso pueda estabilizarse con oscilación amortiguada de 1/4. De lo contrario puede tenerse el caso de que el controlador no responda a la señal de error, o bien que la medición tenga una oscilación excesiva y que tarde más tiempo en estabilizarse

El algoritmo que define la repuesta en modo proporcional es el siguiente:

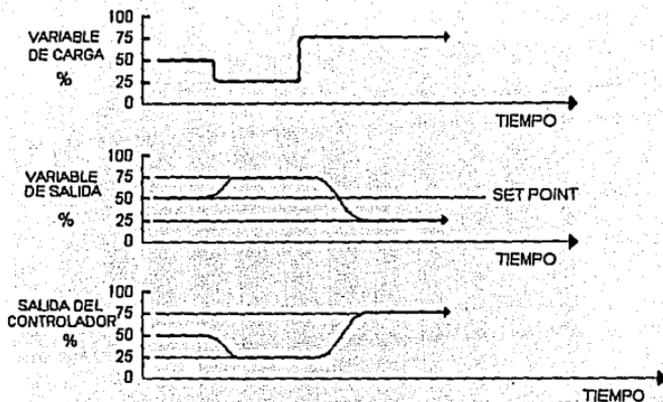
$$S = (1/BP)e + C$$

donde S = Señal de salida,

BP = Banda Proporcional

e = Error

C = Coeficiente de polarización proporcional (bias)



**Figura 2.15** Error en estado estacionario.

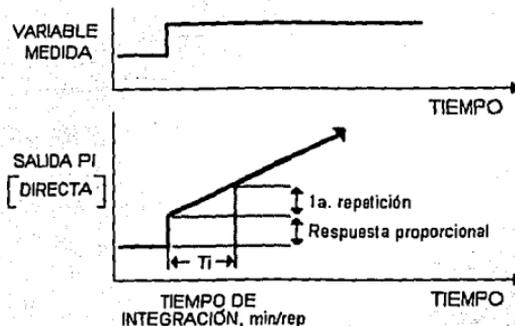
Con respecto al control "on-off", la acción proporcional tiene respuesta inmediata a la señal de error, y cada valor que éste tome genera un valor único en la salida del controlador. Sin embargo, su principal desventaja es el "offset" que se genera en la respuesta, por lo que el modo de control proporcional es factible de utilizarse en procesos que tengan variables de carga constantes y cuya banda proporcional sea lo suficientemente angosta, como para que el "offset" no le afecte.

d) Modo de control integral.

El modo de control integral surge como una solución al problema de "offset" ocasionado por la acción de control proporcional. En los sistemas en que se aplica el modo integral siempre se combina con el modo de control proporcional.

Al igual que el modo proporcional, el modo integral también genera su respuesta en función del error. Sin embargo, la acción proporcional solo tiene respuesta cuando hay un cambio en la magnitud de la señal de error, mientras que el modo de control integral (Incluyendo el proporcional) presenta respuesta tanto a la magnitud del error, como al tiempo en el que está presente. Es decir, cuando el error se mantenga estable, pero diferente al valor del punto de ajuste, la acción integral mantendrá variando la señal de control hasta que el error sea cero, eliminando de esta manera los inconvenientes que tiene el "offset".

En la figura 2.16 se puede observar la respuesta del modo integral ante un cambio en la medición de la salida del proceso. Primero se observa el cambio en la respuesta del controlador por parte del modo proporcional que varía su magnitud en función de la banda proporcional que tenga. Al mismo tiempo la parte de acción integral comienza a modificar la señal de control en función de la curva que describa la señal de error. De aquí se obtiene el concepto conocido como tiempo de integración, que se define como el tiempo que tarda la acción integral en producir la misma magnitud de salida que produjo la acción proporcional. Las unidades que se utilizan pueden expresarse en términos de minutos por repetición, refiriéndolos como tiempo de integración, o bien de repeticiones por minuto, que suponen una ganancia de integración, análogamente a lo que en el modo de control proporcional es banda proporcional y ganancia, siendo uno recíproco del otro.



**Figura 2.16** Respuesta del modo de control proporcional e integral.

La expresión matemática que define el comportamiento del controlador con respuesta integral es la siguiente:

$$S = (1/BP) [e + (1/T_i) \int e dt]$$

donde: S = Señal de salida

BP = Banda proporcional

e = error

T<sub>i</sub> = Tiempo de integración

$\int e dt$  = bias como una función integral del error con respecto al tiempo

Del algoritmo anterior se destaca como característica principal, que lo que en el modo de control proporcional es el coeficiente de polarización proporcional o bias, en el modo integral dicha constante es ahora la integral del error que es función del tiempo, que era la condición necesaria para poder eliminar el "offset". De esta manera, los parámetros que se ajustarán para optimizar el control proporcional-integral (PI) son la banda proporcional y el tiempo de integración. Hay

que observar que este tiempo de integración debe ser proporcional a la rapidez con que el proceso responde a la acción de control, ya que si el tiempo es muy corto, el elemento final de control actuará sin que la variable medida haya respondido a dicha acción, y cuando la variable medida cambie, el actuador final se irá al límite opuesto.

De la misma manera que el modo proporcional, el integral incrementa la ganancia del controlador. Si esta es excesiva el resultado puede ser que el lazo de control oscile y sea inestable.

Sin embargo, a pesar de que la acción integral reduce los inconvenientes del error de estado estacionario, en el controlador se presenta un retraso del tipo capacitivo, provocando que el lazo se desfase y el período de su oscilación se prolongue. Para considerar apropiada la respuesta PI en un lazo de control, el retraso no debe ser mayor al 50% de la respuesta con acción proporcional únicamente.

La utilización de este modo de control va a depender del tipo de proceso que se vaya a controlar. La regla general va a ser que donde haya lazos de control relativamente rápidos, el retraso del modo PI puede no ser significativo. En caso de que dicha respuesta sea lenta, dicho retraso puede ser una limitación muy seria.

#### e) Modo de control derivativo.

Para contrarrestar el efecto que tiene la aplicación del modo integral surge la acción derivativa, restringiendo la señal de retroalimentación del controlador, acelerando la respuesta del mismo en relación con la velocidad con que la señal de error va cambiando. Con esta acción se define la tendencia que toma la variable medida para suponer o anticipar el futuro, aunque en términos reales el controlador solo puede responder a un error real, sin poderlo anticipar propiamente.

El comportamiento de la respuesta al modo derivativo depende de la señal de error, al igual que en los modos proporcional e Integral (Figura 2.17). En este caso cuando la señal de error se mantiene estable, la acción de control derivativa no presenta ninguna respuesta. Si el error varía instantáneamente de un valor a otro, siendo fijos ambos valores, la respuesta del controlador

será un pico, debido a que la razón del cambio para un tiempo igual a cero la hace tender a infinito. Y cuando la modificación en el error es constante o describe una curva, la respuesta conformará la tangente a cada valor de la señal de error, mientras esta va cambiando. La acción derivativa, por tanto, no está directamente relacionada con el valor absoluto del error, sino con sus variaciones, y su respuesta, por lo tanto, se opone a dichas variaciones.

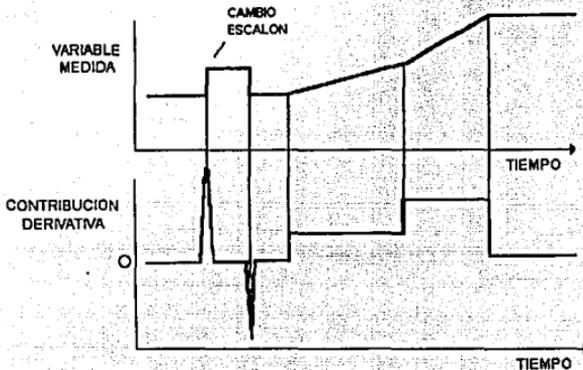


Figura 2.17 Aportación del modo derivativo en un sistema de control.

La combinación de los modos de acción proporcional y derivativo (PD), se muestra en la figura 2.18, donde se observa que ante un cambio en la medición, la acción derivativa aporta una respuesta inmediata, a la que se suma la parte de acción proporcional, que continúa modificando la salida del controlador mientras que el error sigue variando. Debido a la acción derivativa, la señal del controlador alcanza inmediatamente un valor que de otro modo hubiera tomado un tiempo lograr, es decir, permite que la respuesta proporcional se adelante. Al tiempo de adelanto que la acción proporcional sufre por el modo derivativo, se le llama tiempo derivativo o tiempo de adelanto.

La mayoría de los controladores de hoy en día están diseñados para que la respuesta generada por la acción derivativa se base únicamente en la variable medida. La relación matemática de la

que se obtiene el valor de salida del controlador, para un modo de control tipo PD es la siguiente:

$$S = (1/BP) [ e + t_d (de/dt) ]$$

donde: S = Señal de salida

BP = Banda Proporcional

e = Error

$t_d$  = Tiempo derivativo

de/dt = "bias" como la derivada del error en función del tiempo

La aplicación del modo de control derivativo, es recomendable para mejorar significativamente el control de procesos que tienen retrasos inherentes. Aunque la acción derivativa también incrementa la ganancia del controlador, sus cualidades permiten reducir o eliminar cualquier retraso en el lazo de control, y por lo mismo reducir el período de oscilación, incrementando la velocidad de respuesta.

La principal desventaja que presenta este modo de control es su alta sensibilidad al ruido. Como es una acción que responde a la más mínima variación del error, la presencia de ruido hace que su función como controlador se torne imposible, a menos que la señal sea previamente filtrada. Otra desventaja que tiene es que si un controlador se basa únicamente en la acción derivativa, al igual que el modo de control proporcional, produce un error de estado estacionario.

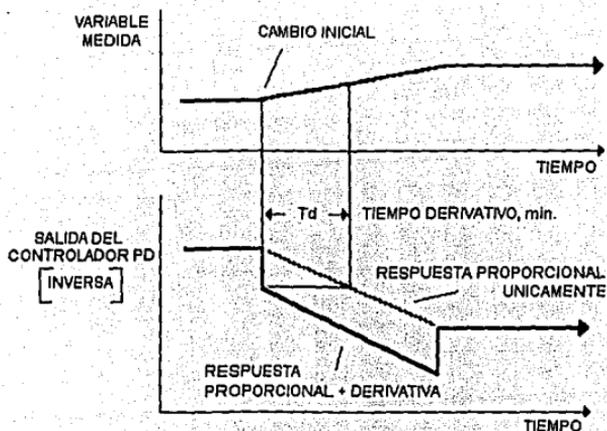


Figura 2.18 Resposta del contrador proporcional y derivativo.

f) Modo de control proporcional, integral y derivativo (PID).

Hasta estos momentos el análisis individual de los modos de control proporcionan las herramientas para satisfacer los requerimientos de un proceso, determinados por las variables que en el intervienen. Usualmente estas variables se relacionan una a una, tomando una de ellas como entrada al controlador o variable medida, y la otra como salida del controlador o variable manipulada, estableciéndose el lazo de control (Figura 2.19).

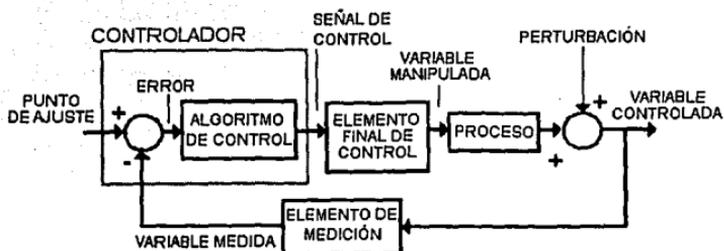


Figura 2.19 Lazo de control.

La relación entre las variables de entrada y salida del controlador está dada por un algoritmo de control que responde a una estructura del tipo Proporcional + Integral + Derivativo.

$$S = (1/PB) [ e + (1/T_i) \int e dt + t_d (de/dt) ]$$

En un principio este algoritmo se aplicó con controladores neumáticos y posteriormente electrónicos analógicos en distintas variantes. La aparición del microprocesador dió nuevas posibilidades para el control de procesos, tanto en la interrelación de lazos como en la potencialidad de algoritmos de control. El fenómeno de reducción de costos en este tipo de tecnología ha traído en consecuencia que los controladores basados en microprocesadores sustituyan a los de tecnología anterior, aunque la estructura básica de control sigue siendo un algoritmo PID.

La problemática que presenta un algoritmo de esta naturaleza es la existencia de tres parámetros, que son la banda proporcional, el tiempo de integración y el tiempo derivativo, y al proceso que se sigue para definirlos se le denomina sintonización. Durante mucho tiempo la única forma de resolver esta tarea fue por medios empíricos o teóricos, de los cuales se obtuvieron métodos en lazo abierto y en lazo cerrado. Hoy en día, muchos controladores ofrecen una sintonización automática del lazo, que determina los valores PID apropiados para una aplicación específica.

- El método en lazo abierto que se utiliza comúnmente, y es conocido como método de la curva de reacción, determina el valor de los parámetros PID a partir de un modelo simplificado del proceso. Para ello se estabiliza el proceso, se pasa el controlador a modo manual, y se provoca una perturbación en la salida al elemento final de control. El controlador determina, a partir de la respuesta del proceso, los valores de ajuste del controlador. Una desventaja de este método es que se requiere que el lazo esté en modo manual durante el período de sintonización. La curva de reacción obtenida permite aplicar algún método de ajuste, como podrían ser los algoritmos de Ziegler y Nichols, Cohen y Coon y otros..

La sintonización con el método en lazo cerrado se basa en el análisis de la respuesta del controlador ante cambios en la banda proporcional. El controlador se coloca en automático con modo proporcional únicamente, y se comienza a incrementar la ganancia proporcional (reducir la banda proporcional) al mismo tiempo que se generan cambios escalón en el punto de ajuste. Este procedimiento continúa hasta que la variable controlada empieza a oscilar con amplitud y frecuencia constante. Se toma la lectura de la ganancia que causó la oscilación, así como de la frecuencia de dicha oscilación. A estos valores se les llama la ganancia y periodos últimos. Con estos valores y con ayuda de las tablas que Ziegler y Nichols desarrollaron se procede a sintonizar el controlador PID.

El objetivo de utilizar algoritmos de control es minimizar el error de una variable de salida con respecto al tiempo. Los métodos para obtener la relación que existe entre los parámetros del controlador y el error en estado estacionario o su velocidad de respuesta, son sumamente analíticos, y por lo mismo difíciles de utilizar. En general, si la respuesta que se obtiene después de ajustar un controlador presenta una atenuación de  $1/4$  de la oscilación, entonces se puede decir que tiene una respuesta con error mínimo y una velocidad de respuesta aceptable.

Los procedimientos y guías para sintonizar las combinaciones de los modos proporcional, integral y derivativo de control, con nuevos criterios para su evaluación seguirán desarrollándose en un proceso de aproximación repetitiva, y así compensar los errores de medición o de ajuste.

## 2.5 Control compuesto y avanzado.

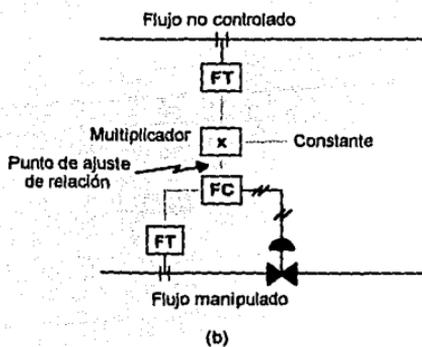
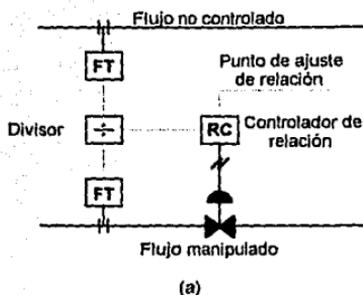
La combinación de los modos de control proporcional, integral y derivativo, son la columna vertebral de casi la mayoría de las estructuras de control de procesos. Sin embargo, en los últimos años y gracias a la evolución de las computadoras digitales, se han desarrollado estructuras de control más sofisticadas. Estas estructuras incluyen, entre otros, el control de relación, control en cascada, etc.

### a) Control de relación.

Como su nombre lo dice, el control de relación trata de mantener constante la relación de dos o más variable de flujo. El flujo de la variable no controlada se mide y el flujo de la variable manipulada se modifica para mantener los dos flujos en una relación constante. Algunos ejemplos incluyen: mantener la relación de reflujo en una columna de destilación, mantener la relación estequiométrica de dos reactivos dentro de un reactor, mantener la relación aire-combustible en una cámara de combustión, etc.

El control de relación se puede realizar de dos formas, que se muestran en la figura 2.20. En la figura 2.20(a) la relación de los dos flujos se mide y su relación se calcula (divide). Esta señal de relación calculada se alimenta a un controlador PI convencional como la variable de proceso medida. El punto de ajuste del controlador es el valor deseado de la relación. La salida del controlador va hacia la válvula de control que manipula el flujo para mantener constante la relación de los dos flujos. También, la señal de relación se puede utilizar para generar una alarma o una secuencia de pasos de seguridad ("interlock").

En la figura 2.20 (b), el flujo de la variable no controlada se mide y multiplica por una constante, que es la relación deseada. La salida del multiplicador es el punto de ajuste del controlador de flujo que modifica a la variable manipulada.



**Figura 2.20** Control de relación. (a) relación calculada; (b) flujo calculado.

## b) Control en cascada.

La estructura del control en cascada tiene dos controladores retroalimentados, con la salida del primario (maestro) como el punto de ajuste de un controlador secundario (esclavo). La salida de este último va hacia el elemento final de control, como se muestra en la figura 2.21.

Los objetivos del control en cascada son: (1) eliminar los efectos de algunas perturbaciones, y (2) aumentar la velocidad de respuesta del lazo de control (respuesta transitoria).

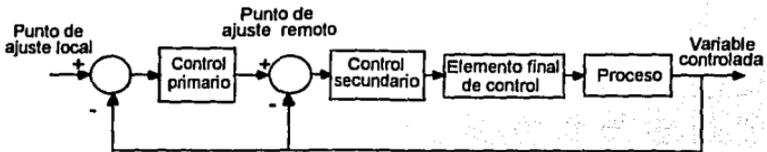
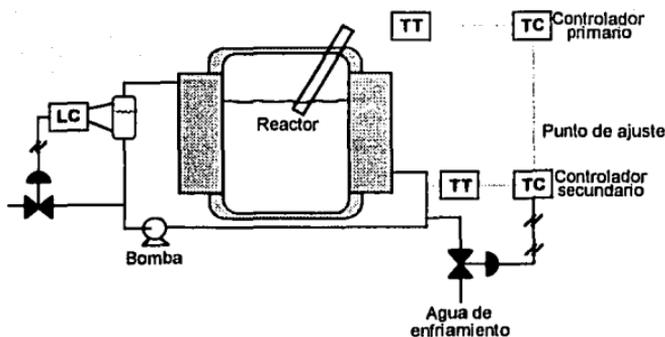


Figura 2.21 Control en cascada.

Para ilustrar el concepto de rechazo a perturbaciones, se considera el ejemplo del reactor de la figura 2.22. El controlador de temperatura del reactor es el controlador primario, y el de la temperatura de la chaqueta es el secundario. El control de la temperatura del reactor está aislado por el sistema en cascada de perturbaciones en la temperatura y presión del agua de enfriamiento.



**Figura 2.22** Control en cascada temperatura-temperatura de un reactor (CSTR, "Continuous Stirred-Tank Reactor").

c) Control no lineal.

Como la mayoría de los procesos industriales son no lineales, parece evidente que la aplicación de controladores no lineales tenga ventajas sobre los lineales. La esencia de estos controladores no lineales es compensar las no linealidades que pudiera tener un proceso.

Por ejemplo, se puede utilizar un controlador de ganancia variable en donde la ganancia  $K_c$  varía con la magnitud del error.

$$K_c = K_{c0}(1 + b|E|)$$

donde  $K_{c0}$ =ganancia del controlador con error cero,  $|E|$ =valor absoluto del error y  $b$ =ganancia ajustable.

Esto permite utilizar un valor pequeño de ganancia cuando el sistema está estable cerca del punto de ajuste. Cuando el proceso es perturbado lejos del punto de ajuste, la ganancia debe ser más grande. El sistema en lazo cerrado puede ser inestable para algunos puntos de operación, sin embargo, esta inestabilidad está en la dirección de "mover" al sistema rápidamente a la región estable cerca del punto de ajuste.

Otra ventaja de esta clase de controlador no lineal es que la ganancia pequeña cerca del punto de ajuste reduce los efectos del ruido.

#### d) Control Adaptable.

La idea del control adaptable es realizar una identificación continua (en línea) de los parámetros del proceso y sintonizar el controlador en función de dichos parámetros. Desafortunadamente, esta identificación en línea es compleja y lenta. La principal causa por la que los controladores adaptables no se han utilizado ampliamente en la industria es la falta de incentivos económicos, sin embargo, algunos de ellos han tenido grandes éxitos. Algunos de estos controladores adaptables son PID que se sintonizan por sí solos ("auto-tuning" o "self-tuning"). Estos controladores realizan una identificación de la respuesta dinámica del sistema en lazo abierto, al excitarlo con una señal de prueba, normalmente un escalón. Una vez que se obtiene los principales parámetros de esta respuesta (tiempo de asentamiento, máximo sobrepaso, etc.), se calculan los valores de las constantes del controlador BP, TI y Td, y se coloca en automático.

Otra forma de control adaptable es la llamada Ganancia programada ("Gain Scheduling") que consiste en calcular diferentes valores de ganancia para diferentes puntos de operación del sistema. Este esquema de control se utilizó ampliamente en el control de aeronaves. Para cada condición de altura, se tenía una ganancia diferente.

Aunque existan formas de control sofisticado, la mejor opción para un controlador siempre será la más sencilla, ya que, en muchas ocasiones al utilizar un esquema de control complejo no se logran los resultados esperados y en lugar de ellos surgen una serie de problemas. Por ejemplo, algunos esquemas de control que utilizan Inteligencia artificial (sistemas expertos, redes neuronales o lógica difusa), requieren ajustar más parámetros que los de un PID, obteniendo ligeras mejoras respecto a las de este último, que no son económicamente justificables. Sin embargo, para algunos sistemas muy específicos, el diseño de un controlador ad hoc siempre será recomendable, ya que dicho controlador se diseñara en función de especificaciones precisas que incrementarán, de alguna forma la eficiencia del sistema en lazo cerrado.

## **2.6 La computadora digital en el control de procesos.**

Los primeros sistemas de control utilizaban controladores neumáticos los cuales fueron desarrollados a tal grado que existe uno para casi cualquier aplicación, sin embargo, han sido desplazados a partir de los años 60 por controladores electrónicos y por el uso de las computadoras en los sistemas de control.

Los sistemas de control que involucran computadoras en su arquitectura permiten integrar procesos que tradicionalmente se controlaban de manera independiente, como es el caso del control de los generadores y turbinas en una Planta Termoeléctrica. En este tipo de sistemas, el uso de las computadoras es extenso, ya que se pueden encontrar desde controladores unilazo basados en microprocesadores hasta computadoras capaces de manejar una planta. Las señales que se manejan son discretas siendo la velocidad de muestreo lo que da la capacidad de predecir el comportamiento de un proceso.

Los sistemas de control que utilizan computadoras se clasifican en Control Supervisorio y Control Digital Directo que a su vez presenta dos aplicaciones: el Control Centralizado y el Control Distribuido. Los dos últimos pueden manejar el esquema de Control Jerárquico.

### **2.6.1 Control Supervisorio.**

El control Supervisorio utiliza una computadora central en un nivel superior a los controladores analógicos (Figura 2.23).

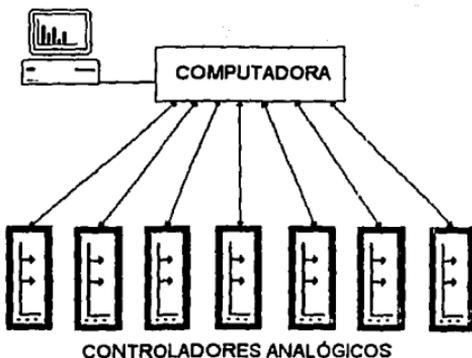


Figura 2.23 Control Supervisorio.

La función de la computadora es calcular los puntos de ajuste y enviarlos a los controladores analógicos.

Sus ventajas son la habilidad para realizar cálculos y el tener a los controladores analógicos como respaldo en el caso de una falla en la computadora, siendo sus desventajas las limitaciones en la comunicación entre computadoras digitales y controladores analógicos y el costo del sistema además de requerir el uso de instrumentación convencional instalada en el cuarto de control para ser utilizada como respaldo en el caso de que la computadora falle. El control Supervisorio se utilizó principalmente en la industria química y en la petrolera.

### 2.6.2 Control Digital Directo.

El Control Digital Directo es aquel en el que todas las funciones de control son realizadas por la computadora, es decir, la computadora recibe la información del proceso, calcula y envía la señal de control al elemento final de control. (Figura 2.24)

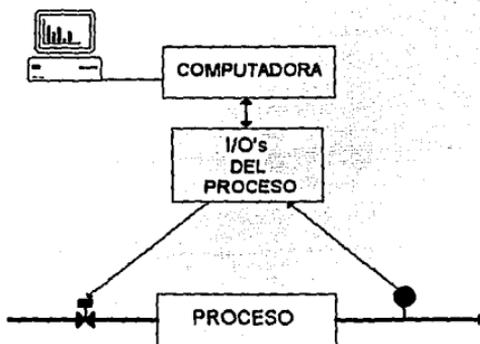


Figura 2.24 Control Digital Directo.

El software de las computadoras utilizadas está estructurado por bloques de control, los cuales pueden soportar las operaciones en tiempo real teniendo la capacidad de responder a las variaciones de las señales de entrada calculando y enviando los nuevos valores de las señales de salida.

### 2.6.3 Control Centralizado.

La arquitectura de un Sistema de Control Centralizado está basada en el Control Supervisorio, ya que utiliza una computadora y un grupo de controladores o tarjetas analógicas de entrada-salida (I/O's). (Figura 2.25)

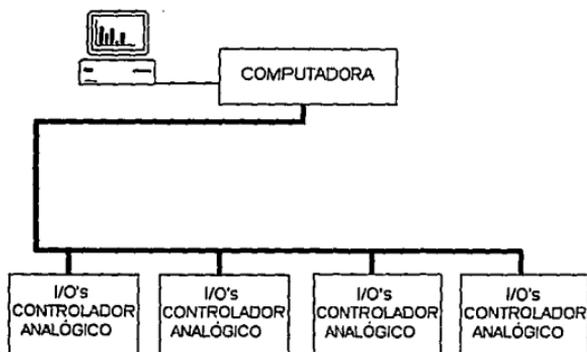


Figura 2.25 Control Centralizado.

En este tipo de arquitectura, se conecta un grupo de módulos de entrada y salida de señales analógicas a la computadora utilizando enlaces de comunicación digital.

La función de la computadora es leer las señales del proceso y de acuerdo al punto de ajuste, calcular las señales de control y modificar las variables del proceso.

La ventaja que presenta un Sistema de Control Centralizado es que los módulos de adquisición de datos pueden estar localizados en diferentes puntos de la planta. Su desventaja es que si falla la computadora falla todo el sistema.

#### 2.6.4 Control Distribuido.

La evolución de la tecnología de la computación y de las redes de área local ha dado lugar al desarrollo de los modems DCS. Por definición, un DCS es un conjunto de dispositivos de cómputo, parcialmente autónomos y separados geográficamente, con capacidad de tener entradas y salidas de planta y la posibilidad de ser interconectados a través de enlaces de comunicaciones digitales (Figura 2.26).

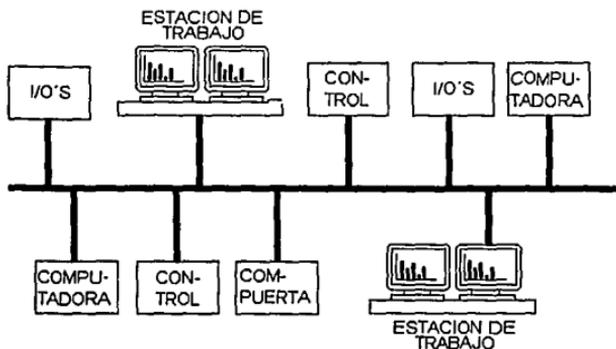


Figura 2.26 Control Distribuido.

Su facilidad de expansión y distribución de tareas en los módulos constitutivos lo hacen una solución más económica y confiable que una computadora centralizada de capacidad equivalente. Los beneficios de contar con funciones integradas se puede resumir de la siguiente forma:

- Mayor confiabilidad: En una arquitectura centralizada, la falla de un componente puede sacar de servicio inmediatamente a todo el sistema. En una arquitectura distribuida, la falla de un

componente puede, en el peor de los casos, sacar de servicio al módulo afectado y sus funciones. Dependiendo de la importancia del módulo afectado y del hecho que sea o no redundante, el resto del sistema puede continuar con un impacto mínimo o nulo a raíz de la falla. Por otro lado, esta arquitectura cuenta con un número de partes menor que una solución basada en un conjunto de controladores individuales, disminuyendo la posibilidad de falla.

- **Flexibilidad:** La especialización de funciones de cada módulo permite al usuario seleccionar los dispositivos necesarios para cada aplicación. En cualquier momento se pueden añadir módulos con nuevas funciones, formando sistemas de hasta cientos de módulos de control y supervisores. Todo este sistema funciona, sin importar su tamaño, con una sola base de datos, la cual puede ser accesada de la misma manera por cualquier módulo o usuario. La administración en línea de esta base de datos permite que en el sistema se estén realizando al mismo tiempo labores de configuración, mantenimiento, control y operación del proceso.
- **Integridad de la información:** La independencia de los módulos en una arquitectura distribuida facilita las labores de autodiagnóstico del sistema. Cada módulo cuenta con sus propias rutinas de autodiagnóstico de hardware y software. Los voltajes de alimentación, las líneas de comunicación y la lógica de control son monitoreados constantemente para detectar fallas. Los resultados de estas pruebas los puede almacenar el sistema en una bitácora que facilita las labores de mantenimiento.
- **Presentación de datos al operador:** Como parte de un DCS se encuentran los módulos especializados en la función de interfaz hombre-máquina. Estos módulos permiten que el operador cuente con una ventana en tiempo real del proceso, en la cual puede ver la información necesaria en un formato familiar, como diagramas del proceso y organizada de manera jerárquica, descomponiendo el proceso en unidades y contando con gráficos que lo pueden llevar desde una panorámica del proceso entero hasta el detalle de cada uno de los instrumentos y señales existentes. Existen desplegados estándar que procesan y seleccionan la información más importante, como los desplegados de las alarmas clasificadas por prioridad. Se pueden desarrollar desplegados específicos para cada aplicación, que muestran el proceso de una manera esquemática dando un sentido geográfico y físico de la información presentada al operador. En

muchas ocasiones, se pueden realizar a través de un mismo módulo funciones de operación, configuración y mantenimiento.

### 2.6.5 Control Jerárquico.

En un esquema de Control Jerárquico el proceso se divide en subprocesos cuyo control es más simple en vez de tratar de controlar el proceso como un todo. De esta forma, en la jerarquía o nivel más bajo, el control es más sencillo. Conforme se incrementa el nivel jerárquico, los algoritmos de control son más complejos disminuyendo la frecuencia con la que son ejecutados. El Control Jerárquico funciona tanto en Sistemas de Control Centralizado como en los DCS. Los niveles que se manejan son: nivel de proceso, nivel de coordinación, nivel de optimización y nivel gerencial (Figura 2.27).

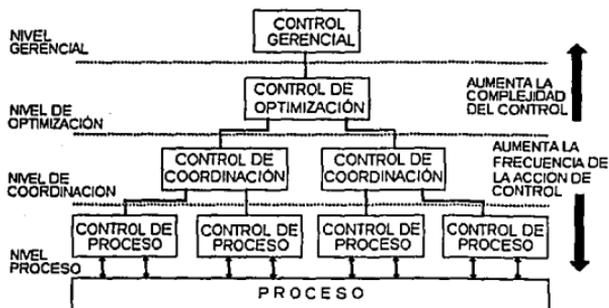


Figura 2.27 Control Jerárquico.

- **Nivel de Proceso:** Es el nivel más bajo. En este nivel las variables seleccionadas son llevadas a los valores preestablecidos utilizando lazos de retroalimentación. Por ejemplo, en una máquina

para hacer papel, se controlan seis variables y la computadora muestrea y actualiza las acciones de control cada dos segundos (Figura 2.28).

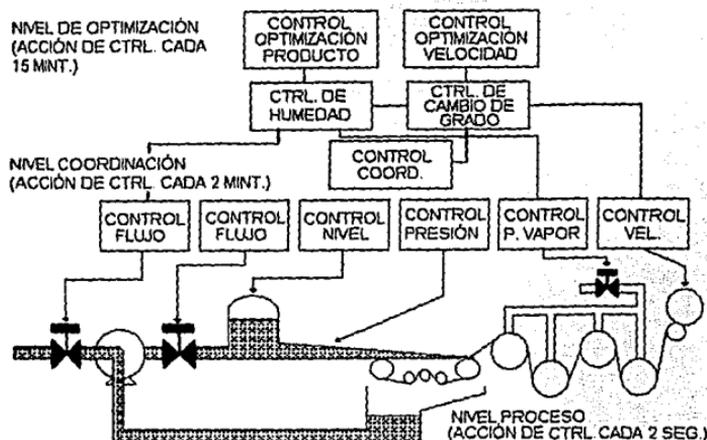


Figura 2.28 Máquina para hacer papel.

- **Nivel de Coordinación:** En este nivel se relacionan los parámetros de calidad y cantidad esperados del producto y los puntos de ajuste del proceso. Las especificaciones del producto son interpretadas y se manipulan los puntos de ajuste de los controladores del primer nivel para satisfacer dichas especificaciones. En la máquina para hacer papel, el nivel de coordinación está formado por un controlador coordinador, un controlador de cambio de grado de papel y un controlador de humedad/peso base. El controlador de humedad/peso base permite cambiar, cuando se requiere, de un grado de papel a otro. El peso base es el peso del papel ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) cuando deja la máquina, la humedad es el porcentaje de este peso que es agua. Ambas cantidades deben mantenerse en las especificaciones del cliente por lo que su control, aunque

Indirecto, es importante. El controlador coordinador proporciona una operación estable suprimiendo cualquier interacción de las tres variables que dirige. Esto lo logra almacenando en la computadora un modelo analítico del comportamiento del proceso y utilizando sus predicciones para contrarrestar interacciones no deseadas.

- **Nivel de Optimización:** Su función es establecer los puntos de ajuste óptimos para los lazos de control de los niveles de coordinación y de proceso. En la máquina para hacer papel, este nivel tiene dos funciones. El control de optimización del producto es un esquema que mide la variación estadística del peso base y la humedad y cambia los puntos de ajuste de manera que se produzcan, en forma independiente a los cambios del proceso, pequeñas cantidades de papel fuera de especificaciones. Esta estrategia es deseable ya que para muchos procesos de manufactura su operación es más rentable si se permite una pequeña cantidad de rechazos dado que existe relación entre el costo de tirar el producto defectuoso y la inversión necesaria para instalar y/o trabajar con un sistema de control más estricto. El tiempo necesario para reunir una muestra representativa es de 15 minutos por lo que el algoritmo se ejecuta con la misma frecuencia. El otro control de optimización es el de la velocidad de la máquina. La optimización de la velocidad se logra a través de un algoritmo que gradualmente aumenta la velocidad de la máquina hasta que alcanza una velocidad límite. Esta velocidad se mantiene hasta que un cambio en el proceso permite aumentar la velocidad o se requiere disminuirla. De esta forma, la operación de la máquina se encontrará siempre en o cerca de los límites de rendimiento sin tener el riesgo de dañar el equipo.
- **Nivel Gerencial:** Es el nivel más alto en la jerarquía donde se encuentran combinadas acciones de control que involucran toma de decisiones, generalmente basadas en variables complejas o no cuantificables. En este nivel la gerencia implanta la estrategia de producción, como por ejemplo, seleccionar los puntos de operación basándose en el grado de aceptación del producto. Un buen diseño requiere de una transferencia eficiente de información hacia los operadores y supervisores en cuanto a información para reportes y presentación de datos en las consolas del operador.



### 3. CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO.

Entre las características de un DCS se incluyen la arquitectura (topología de la red de comunicaciones), el equipo y software de control, el sistema de comunicaciones, el tipo de interfaz hombre-máquina, si cuentan o no con tolerancia a fallas, etc.. En este capítulo se analizarán dichas características, ejemplificándolas con el sistema TDC-3000 de Honeywell.

#### 3.1 Arquitectura típica.

La arquitectura de un sistema de control distribuido está constituida por los siguientes módulos:

- Módulos de adquisición de datos y control conectados al proceso
- Uno o varios sistemas de comunicaciones entre los módulos de funciones afines
- Módulos de almacenamiento de información
- Módulos de control supervisorio
- Módulos de enlace con computadoras de propósito general y
- Módulos para la interfaz con el operador.

##### a) Módulos de control y adquisición de datos.

Una de las funciones más básicas de estos módulos es el manejo de las señales de entrada y salida entre el proceso y el sistema de control. En un mismo módulo se pueden manejar generalmente señales analógicas y digitales de diferentes tipos para conectar una gran variedad de sensores y elementos de control. Los gabinetes donde llegan todas estas señales pueden estar centralizados o remotos. Para la segunda opción, hay varios fabricantes que ofrecen comunicaciones con fibra óptica, lo cual hace posible que los gabinetes remotos se localicen a

varios kilómetros del procesador central del controlador, lo que puede representar ahorros importantes de cableado.

Varios fabricantes permiten la conexión digital directa de los transmisores inteligentes de su marca. También hay tarjetas de comunicación serial con instrumentación especializada como básculas, analizadores, o dispositivos de control de otras marcas como PLCs.

La adquisición de señales del proceso y el manejo de las salidas al mismo, es sólo una de las funciones que realizan estos módulos.

Las funciones típicas que permite un controlador en un sistema de control distribuido son las siguientes:

- Control analógico.
- Control lógico.
- Control de procesos por lotes (Batch).
- Combinaciones de control lógico y analógico.
- Programas o secuencias escritas por el usuario usando un lenguaje de alto nivel orientado a funciones de control, específico de cada fabricante.
- Cálculos matemáticos para ser usados en funciones de adquisición de datos como linealización o en funciones de control.

Estos módulos trabajan con diferente grado de autonomía según el fabricante. Algunos módulos pueden contar con una consola local para configuración, monitoreo e incluso manipulación de algunos lazos de control críticos. Algunos otros sistemas concentran todas las funciones de interacción y configuración de estos módulos a través de los módulos de interfaz hombre-máquina.

**b) Red de comunicaciones.**

La idea general de un DCS de lograr el control centralizado de un proceso distribuyendo el procesamiento entre varios módulos de función específica comunicados entre sí, conlleva a la necesidad de un canal de comunicación entre todos los módulos. Las redes de área local tipo bus son una solución comúnmente empleada.

En este tipo de redes se tienen las siguientes ventajas:

Se puede realizar la comunicación entre todos los módulos del sistema, logrando así un intercambio global de datos.

Todos los módulos comparten el mismo canal de comunicación, resultando en costos de cableado menores que otras topologías. Cabe mencionar que para aumentar la confiabilidad de la comunicación, prácticamente todos los fabricantes utilizan redes con medio físico redundante, de manera que si un cable falla, todos los módulos hacen un cambio al cable restante de manera inmediata y la comunicación del sistema se mantiene. Se pueden añadir nuevos módulos a la red de manera sencilla, y en algunos casos con el sistema en línea.

En un mismo sistema de control distribuido se puede contar con diferentes redes de comunicaciones. Esto se debe a dos causas principales: en primer lugar el poder integrar equipos e instrumentación de diferentes marcas, ya que aunque las redes de comunicación se basan en estándares como IEEE 802.2, 802.4 o Modbus, los cambios hechos por cada fabricante para aumentar la confiabilidad de las comunicaciones, impide la conexión directa de equipos de otras marcas. En segundo lugar se trata de distribuir las comunicaciones, ya que al compartir un sólo medio de comunicación se podría limitar rápidamente la capacidad de expansión del sistema. Además, varios fabricantes prefieren dejar una red de comunicación exclusiva para los módulos críticos que realizan el control del proceso.

En un primer nivel encontramos comunicaciones de tipo serial como RS-232C, RS-485, y protocolos como Modbus. Estas redes se aplican a transmisores e instrumentación

especializada como básculas. También puede ser una forma de integrar de manera simple un PLC. La línea de transmisores inteligentes de cada marca se integra también por medio de una comunicación de este tipo aunque con un protocolo propietario del fabricante.

En un segundo nivel tenemos redes de área local con topología de bus con cables redundantes que siguen estándares como Ethernet o MAP, aunque generalmente con adiciones propias de cada fabricante encaminadas a asegurar la integridad de los datos usados por el sistema. En este punto se encuentran dos opciones. En algunos casos, en esta red se conectan todos los módulos que constituyen el DCS. En otros casos, el fabricante ha optado por implementar dos redes de características similares: una dedicada exclusivamente para los módulos de adquisición de datos y control y la otra para las comunicaciones del resto de los módulos.

En ambos casos es común que exista la opción del uso de fibra óptica como medio físico de las comunicaciones, lo cual permite la conexión de módulos con una distribución geográfica considerable, en distancias hasta de 100 kilómetros o más si el sistema contempla el uso de una red de cobertura amplia (WAN, "Wide Area Network").

#### c) Módulos de almacenamiento de información.

Los DCS poseen medios de almacenamiento como discos duros, donde se guardan los programas del sistema, la configuración de los esquemas de control, bitácoras del estado del equipo para mantenimiento y otros programas de aplicación así como el registro histórico de variables del proceso.

Al encender el DCS, es necesario cargar la base de datos, que se encuentra almacenada en este módulo, a la memoria RAM de los diferentes módulos del sistema. En el caso de los módulos de adquisición de datos y control, la base de datos contiene las estrategias de control implantadas al configurar el sistema y la descripción de todas las entradas/salidas del proceso. Es necesario además guardar en el módulo de almacenamiento los cambios que suceden

durante la operación, ya que hay valores como puntos de ajuste, límites de alarma o el estado de un controlador (Auto, Manual, Cascada) que se podrían perder al volver a encender el DCS. En el caso del registro histórico, este módulo se encarga de leer las variables especificadas, almacenándolas en un disco duro. En combinación con el módulo de interfaz con el operador, generalmente se dispone de flexibilidad para combinar variables en una misma pantalla, así como de funciones de ampliación (zoom) y cambio de escalas para obtener el nivel de detalle deseado. Debido a la cantidad de espacio que requiere el almacenamiento de un registro histórico de variables, estos módulos utilizan algún esquema de compresión de datos.

Una parte muy importante es el análisis de los datos almacenados. Para esto, algunos fabricantes proponen un módulo especial, que es básicamente una combinación de módulo de registro histórico e interfaz con el operador en donde se puede hacer el tratamiento de los datos históricos. En otros casos, se propone un interfaz para computadora personal junto con software de aplicación, para convertir a esta computadora personal en un servidor de la información almacenada para que pueda ser analizada fuera de línea en aplicaciones comerciales en ambientes gráficos como VWindows.

#### d) Módulos de control supervisorio.

En el caso de algunos fabricantes de DCS existe un módulo cuya función principal es la de ejecutar aplicaciones programadas por el usuario para poder realizar funciones que no se encuentran en el sistema. También por su lugar en la arquitectura del DCS son capaces de implantar estrategias de control entre puntos muy diversos del proceso. Algunas funciones presentes en este módulo son:

- Algoritmos de control analógico.
- Funciones auxiliares como temporizadores, contadores, banderas y numéricos.
- Lenguaje de alto nivel orientado a tareas de control.

Las aplicaciones de este módulo pueden ser algunas de las siguientes:

- Instrumentación de lazos de control usando entradas/salidas múltiples al proceso residentes en diferentes módulos del sistema.
- Elaborar algoritmos de control especiales definidos por el usuario
- Correr programas de aplicación propuestos por el fabricante del DCS, como programas para sintonización de lazos de control, o estrategias de control avanzado como control multivariable, o programas de control estadístico.

Si bien las funciones antes mencionadas se pueden realizar por medio de una computadora de propósito general conectada al DCS, la ventaja de este tipo de módulo es la de formar parte del DCS, por lo que la información que procesa es parte de la base de datos del sistema y no presenta restricciones de acceso de información como las que podrían presentarse con una computadora que dependa de un gateway para su conexión al DCS. Como otros módulos, el hardware que lo compone puede ser redundante para el caso de aplicaciones críticas.

e) Módulos de enlace con computadoras de propósito general.

La información de la operación del proceso es necesaria dentro de una empresa para una serie de departamentos que no son usuarios directos del DCS, por lo cual surge la necesidad de conexión a las redes corporativas y administrativas con usuarios como control de calidad, control de costos, planeación de producción, inventarios, mantenimiento, gerencia, etc.

Además, los atributos de un proceso se pueden calcular por programas de modelado y simulación del proceso, con lo cual se pueden anticipar los ajustes necesarios y se pueden descargar los puntos de ajuste adecuados a los dispositivos del DCS conectados al proceso.

Estos módulos establecen la comunicación con computadoras en redes usando protocolos como Ethernet, TCP/IP o DECnet. Generalmente hay límites en el número de variables por segundo que pueden ser leídas del DCS. Además el uso de estos módulos implica la programación del software de aplicación tanto en el DCS como en la computadora conectada al mismo. Las computadoras que más usualmente se conectan a un DCS son aquellas de Digital, Tandem, Hewlett Packard o IBM, entre otros. Una desventaja es que generalmente existe por parte del fabricante del DCS, un gateway especial para la conexión con cada marca de computadora, por lo cual puede haber la posibilidad que un fabricante no disponga de gateways para la conexión con todas las computadoras de uso general más usuales.

El incorporar a los DCS en sistemas abiertos constituye tal vez el área de mayor prioridad en el desarrollo de los mismos. Por el momento esta integración sólo es posible por medio de gateways como los mencionados en este inciso, o con la ayuda de módulos especiales de interfaz con el operador que presentan la información en ventanas y que por un lado son estaciones de trabajo con sistema operativo UNIX generalmente, y por el otro lado se conectan a la red de comunicaciones del DCS.

#### f) Interfaz hombre-máquina.

Todos los sistemas de control distribuido incluyen módulos que sirven de interface entre el proceso que está siendo controlado, el sistema de control y los diferentes tipos de usuarios del mismo.

Para un operador del proceso, este módulo representa una ventana al proceso, a través de la cual puede monitorearlo y controlarlo. En este módulo se reportan al operador las alarmas existentes y se pueden desplegar e imprimir valores históricos de algunas variables del proceso, tendencias, reportes y bitácoras. También se puede monitorear cualquier cambio en el estado o funcionamiento de los módulos componentes del sistema de control.

Para el ingeniero del proceso, este módulo sirve para configurar la base de datos del sistema, para construir gráficos, reportes y escribir y poner en marcha programas de control y secuencias.

Para el técnico de mantenimiento este módulo es una herramienta para el diagnóstico de fallas y para el mantenimiento del equipo en el cuarto de control y en las áreas cercanas al proceso, a través de bitácoras de las funciones de autodiagnóstico del sistema.

Para realizar las funciones que requiere cada tipo de usuario, algunos fabricantes ofrecen módulos con funciones específicas a cada tipo de tarea. Por el contrario, otros fabricantes ofrecen un interfaz hombre-máquina integrado que puede realizar en un mismo módulo, funciones de ingeniería, operación y mantenimiento.

Generalmente, los módulos de interfaz hombre-máquina se agrupan en consolas de operación que están constituidas por uno o hasta diez o más módulos. Cada módulo está compuesto por un monitor de video, un teclado de operación, un teclado alfanumérico, y un dispositivo de selección en pantalla que puede ser un mouse, un trackball, o un monitor sensible al tacto.

En una consola de operación, también se encuentran una o varias impresoras, algunas veces registradores, y algún medio removible de almacenamiento de información, como los discos flexibles, para cargar o respaldar el software del sistema o la base de datos.

### **3.2 Equipo y software de control.**

#### **3.2.1 Equipo.**

##### **a) Listado de equipo.**

Como se mencionó anteriormente, un DCS consta de varios módulos de función específica conectados entre sí por uno o varios medios de comunicación, con la finalidad de controlar un proceso distribuyendo el procesamiento entre sus módulos, mientras que logra concentrar toda

la información de la planta en una consola central de operación, formada por varios módulos de interfaz hombre-máquina. Este conjunto puede estar distribuido geográficamente e incluso supervisar de manera remota puntos distantes del proceso.

Los módulos de un DCS son cada uno, una computadora de propósito específico. La mayoría usan arquitecturas propietarias basadas en microprocesadores CISC como la familia 68000 de Motorola y la familia 80X86 de Intel. Pareciera que la tecnología de estos módulos no está a la par con los más recientes avances en computación, pero esto se debe a que al distribuir la tarea de control de proceso entre varios módulos, no hacen falta microprocesadores más poderosos, lo que reduce significativamente los costos. El hecho de que la tecnología y los algoritmos en cada sistema sean propietarios, explica por qué no es fácil portarlos a otros procesadores. Esto está cambiando por el hecho de que cada vez más usuarios desean conectar equipos de distintas marcas, uniendo al DCS con otros sistemas informáticos del área de manufactura y planeación, motivando a que existan sistemas de control abiertos. Esto es más notorio por el momento en el caso de los módulos de interfaz hombre-máquina, en donde varios fabricantes ofrecen la conexión de estaciones de trabajo y el uso de computadoras personales como interfaz con el sistema. En el caso de las consolas de operación el equipo más común incluye de uno a diez módulos de interfaz con el usuario que constan de monitores de 19 pulgadas, sensibles al tacto en muchos casos, con resoluciones que van desde 640 x 480 píxeles hasta sistemas que manejan en ventanas varios desplegados, en monitores de 1280 x 1024 píxeles de resolución. El número de colores que se pueden desplegar a la vez varía desde 16 colores con varias paletas a escoger hasta 256 colores. En el caso de que el monitor no cuente con una pantalla sensible al tacto se utiliza un mouse o trackball. Generalmente se dispone de un teclado de membrana para operación, con teclas de funciones especiales preconfiguradas y un teclado de ingeniería, similar al de una computadora normal, más adecuado para las labores de configuración y desarrollo de programas. Para almacenar la información del DCS, normalmente se dispone de uno o varios módulos de almacenamiento con discos duros desde 120 hasta 520 megabytes o más, según las necesidades del usuario, los cuales pueden ser redundantes.

También se dispone de medios removibles de almacenamiento que van desde discos flexibles de 3 1/2 pulgadas, cartuchos removibles de 20 megabytes, hasta CD-ROM de 640 megabytes. Aquí se suelen respaldar la base de datos y se conservan archivos y programas del usuario, además son el medio para la distribución de software de aplicación para el sistema.

Se suele contar con una o más impresoras de matriz de puntos para la impresión de datos, bitácoras, listados. Además existen ahora impresoras a color, de inyección de tinta o térmicas que se conectan por comunicación serial o por la interfaz de video del monitor. Su propósito es imprimir cualquier desplegado que se encuentre en pantalla al momento de la impresión, incluyendo colores, con lo que se pueden apreciar los estados de los equipos y los colores de la tendencia de diferentes variables. Existe también la conexión para un modem, lo que hace posible que una estación remota se vuelva miembro de la red del DCS, con propósitos de asistencia técnica o para la instalación de actualizaciones y nuevo software de aplicación sin perturbar las labores de operación.

En el caso de algunos sistemas, los módulos que componen el DCS constan de una tarjeta procesadora común a varios módulos, más tarjetas para la función específica de cada módulo. El caso de los módulos de control y adquisición de datos suele ser diferente, a pesar de estar basados en el mismo microprocesador que otros módulos, además, se instala en un tipo de gabinete distinto, más adaptado al medio ambiente de la planta.

Las redes de comunicaciones usan cableado redundante, y el medio físico de estas redes puede ser cable coaxial o fibra óptica.

Todos los equipos cuentan con circuitos de autodiagnóstico interconstruidos. En todos los buses existe un código de paridad que se verifica en todas las interfaces físicas. Los registros críticos de control y datos cuentan también con revisión de paridad. Para asegurar la integridad de las memorias y el firmware se verifican las memorias estáticas y dinámicas para detectar errores de uno o varios bits así como en todas las direcciones de la memoria principal de cada módulo.

b) Equipos de control y adquisición de datos y sus entradas/salidas.

Estos módulos suelen estar compuestos por un conjunto de microprocesadores que se encargan de diferentes tareas. La figura 3.1 muestra la arquitectura típica de uno de estos módulos. Los

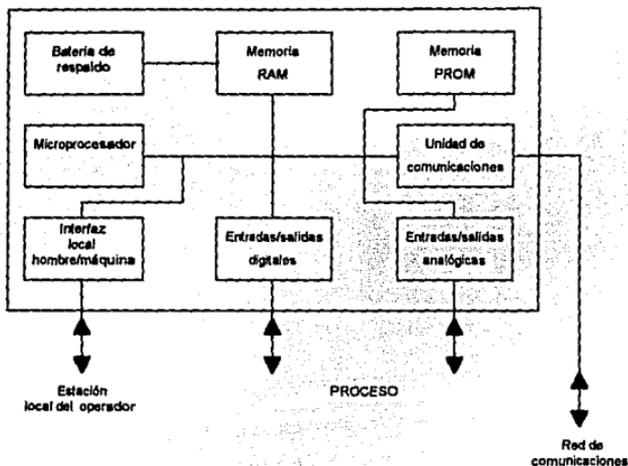


Figura 3.1 Arquitectura típica de un controlador.

procesadores de entradas/salidas cuentan con un microcontrolador para reportar el estado de sus conexiones al campo (Figura 3.2). Los principales tipos de tarjetas de entradas/salidas se muestran en la siguiente tabla:

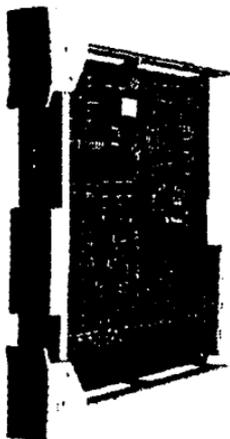
Tipo de entrada/salida	Número de puntos por tarjeta
Entrada analógica 4-20 mA	8 o 16
Entrada analógica para RTD y termopares	8 o hasta 32 con MUX
Salida analógica 4-20 mA	8
Entradas digitales (125, 240 VAC)	16 o 32
Entradas digitales (24 VDC)	16 o 32
Salidas digitales (125,240 VAC)	8 o 16
Salidas digitales (24 VDC)	8 o 16
Entrada de pulsos hasta 20 kHz	8
Interfaz con transmisor inteligente	8 o 16

La instrumentación de campo que se compone de transmisores inteligentes puede comunicarse de manera serial con el módulo de control o formar parte de un bus de campo que puede ser por ejemplo, Fieldbus o Modbus. También se pueden integrar PLCs u otros instrumentos especializados a través de comunicación serial.

Otros subsistemas con conexión al módulo de control y adquisición de datos pueden ser controladores unilazo del mismo fabricante o estaciones Auto/Man para manipular de manera local lazos críticos. Incluso puede haber un interfaz local con monitor y teclado conectado a estos módulos. Unos ejemplos se muestran en la figura 3.3a y 3.3b.

Las tarjetas descritas en la tabla anterior se pueden localizar en el mismo gabinete que el procesador central de control o se puede localizar de manera remota, comunicado con un bus de datos redundante de fibra óptica en algunos casos. Incluso puede haber gabinetes satélite que contengan las tabillas de terminales de cableado, las cuales se comunican con su respectiva tarjeta procesadora de entradas/salidas.

El número máximo de entradas/salidas no es fijo ya que depende de la combinación de tipos de tarjetas de I/O que se haya seleccionado. El límite normalmente está en el número de tarjetas de I/O de cualquier tipo que se pueden conectar a cada módulo de control, 40 en el caso de Honeywell y 64 en el caso de Foxboro. Esto es cierto teniendo en cuenta que no se ha rebasado la capacidad de procesamiento del controlador.



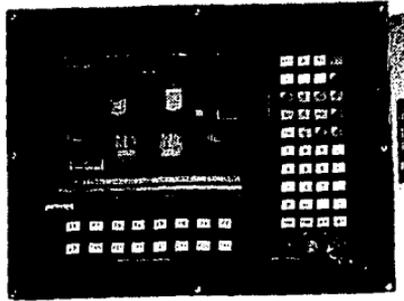
**Figura 3.2** Tarjeta procesadora de entradas y salidas.

### **3.2.2 Software.**

#### **a) Base de Datos.**

Para el control de un proceso particular se necesitan definir las estrategias de control para lograrlo. En consecuencia, la definición de las funciones que debe realizar el sistema de control distribuido y el proceso de alimentar los datos necesarios para realizarlas se le conoce como creación o configuración de la base de datos. Esta actividad consta de cuatro partes principales para todos los sistemas de control distribuido aunque el procedimiento para realizarlas varía según el fabricante:

- a.1) Definición del procesamiento de las entradas/salidas y sus alarmas.
- a.2) Definición de las funciones de control analógico.
- a.3) Configuración de interlocks y secuencias de control.
- a.4) Configuración de los desplegados del operador y creación de gráficos.



**Figura 3.3a** Consola de operación local.

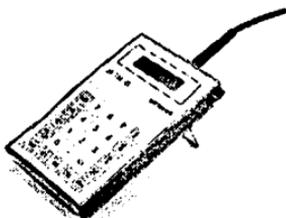
**a.1) Definición del procesamiento de las entradas/salidas y sus alarmas.**

Todas las piezas de información en un sistema de control distribuido se organizan en puntos. Podemos decir que un punto es una colección de parámetros e información de procesamiento que tienen relación entre sí y que están agrupados bajo un mismo nombre.

Un punto consta de un nombre o etiqueta, parámetros y funciones. El contenido de estas partes puede variar según el tipo de punto. De esta forma, cada pieza de información en el sistema se identifica por una combinación etiqueta-parámetro.

Un parámetro es un valor individual. Estos valores pueden ser:

- Valores de entrada como: flujo, temperatura, presión, etc.
- Parámetros de sintonización como: ganancia, constantes de tiempo, bias, los datos de una receta, etc.
- Valores de salida como: la salida de un controlador, el estado de una alarma, etc.



**Figura 3.3b** Configurador manual de campo.

Una característica importante en los sistemas de control distribuido es la de tener una base de datos distribuida. En consecuencia, cada punto de información reside en uno y sólo uno de los módulos del sistema. Un módulo del sistema que ejecuta una tarea o programa en donde necesita un parámetro de un punto, lo solicita por su nombre. Esta petición es codificada por el sistema y se enruta al módulo donde reside el punto solicitado. Este módulo verifica que la petición sea legítima y manda la información.

El proceso de crear los puntos que forman la base de datos se realiza a través de desplegados preconfigurados del sistema, en donde se deben llenar los huecos, para alimentar la información necesaria al sistema. El repetir esta operación para cada uno de los puntos existentes en un sistema grande sería muy laborioso, por lo que generalmente se cuenta con algunas herramientas de ayuda. En primer lugar, para varios de los datos necesarios el sistema propone un valor inicial, que puede ser satisfactorio para el usuario y no necesita ser especificado por el. En otros casos, hay opciones que el sistema propone como inactivas a menos que el usuario las requiera, y sólo entonces necesita alimentar la información necesaria. Otro método consiste en construir un patrón para cada tipo de punto. De esta forma sólo se necesita especificar lo que cambia de un punto a otro. Incluso hay herramientas para desarrollar la base de datos en una computadora personal y después traducir la información para alimentarla al sistema.

Esta forma de configuración de la base de datos no requiere experiencia en programación y requiere poco entrenamiento. Un factor importante es que antes de empezar este proceso la base de datos debe estar ya definida de antemano.

El DCS se encarga de realizar funciones de monitoreo y generación de alarmas basado en las condiciones del proceso, las acciones del operador o las fallas de algún componente del sistema. Estas alarmas se presentan al operador clasificadas por prioridad y por el área del proceso en donde se generaron. Las funciones de manejo de alarmas son ejecutadas por el DCS con los datos provistos por el usuario como límites de alarma y prioridad para cada punto.

Para el ejemplo de una entrada analógica el usuario necesita definir entre otros datos, la siguiente información: límites alto y alto-alto, bajo y bajo-bajo, límite de razón de cambio positiva y negativa, y prioridad de la alarma. En algunos casos es posible definir una prioridad diferente para cada uno de estos límites.

Cuando una alarma es detectada, el programa de manejo de alarmas del DCS debe mandarla según las instrucciones programadas por el usuario, a los siguientes destinos:

- A las secuencias y programas de control en el mismo módulo de control.
- A otros módulos de control conectados a la misma red.
- A los módulos de interfaz hombre-máquina.
- Al módulo de almacenamiento para su registro en la bitácora de alarmas.
- A la impresora asignada en la consola de operación.

La interfaz hombre-máquina recibe las alarmas que corresponden al área del proceso a la que se encuentra asignada.

En un sistema que maneje cientos de señales, se vuelve muy importante el contar con herramientas para administrar las alarmas generadas, ya que fácilmente se puede saturar al operador con información que muchas veces es innecesaria, volviéndose difícil el poder discriminar aquellas alarmas que sí son importantes.

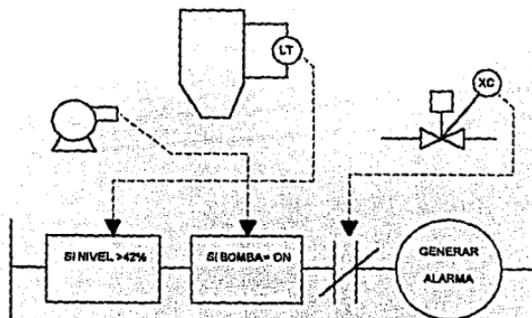
Un caso típico es el del paro programado de un proceso. Normalmente, al parar todos los equipos, el operador recibirá una multitud de alarmas que no le darán información útil, pues se sabe que el proceso no paró por un problema sino de forma intencionada. Si el operador es confrontado con esta situación constantemente, es muy probable que su capacidad de distinguir las alarmas importantes se vea reducida.

En respuesta a este problema muchos sistemas de control distribuido permiten a través de sus módulos controladores la configuración de alarmas condicionales o la posibilidad de escribir un programa que inhíba las alarmas de algunos puntos bajo condiciones establecidas.

La figura 3.3 muestra un ejemplo de este tipo de alarma.

#### a.2) Definición de las funciones de control analógico.

Los módulos de control y adquisición de datos de un DCS cuentan con una serie de algoritmos programados para funciones de control. Para elaborar una estrategia de control se necesita definir cada controlador como un punto de la base de datos, alimentando la información al sistema llenando los huecos, como se explicó anteriormente. Se pueden unir por software



En base a las condiciones se genera una sola alarma.  
Las condiciones pueden ser una combinación de señales analógicas y digitales.

Figura 3.4 Ejemplo de una alarma condicional.

bloques de diferentes funciones para armar esquemas de control de gran complejidad. Sin embargo, es importante que el DCS incluya herramientas para verificar y desplegar estas conexiones, ya que al realizarse por software, residen sólo en la memoria del controlador y pueden resultar inaccesibles al usuario de otra forma. Algunos algoritmos de control analógico en un DCS son los siguientes:

- Proporcional, Integral Derivativo.
- PID con prealimentación (Feedforward).
- Controlador proporcional de posición.
- Control de relación.
- Estación auto/manual.
- Switch.

Existen también algoritmos de cálculo que se utilizan sobretodo para funciones de adquisición de datos:

- Compensación de flujo.
- Selector del valor medio entre tres puntos.
- Cálculo del promedio, selección del valor más alto y más bajo de hasta 6 entradas analógicas.
- Sumador.
- Totalizador.
- Linearización.
- Punto de cálculo.

a.3) Configuración de Interlocks y secuencias de control.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Para el procesamiento de funciones lógicas, se pueden enlazar bloques de funciones lógicas de forma similar en la que se enlazan controladores PID. Algunos bloques de funciones lógicas son los siguientes:

- Compuertas AND, OR, NOT, NAND, NOR, XOR.
- Comparación mayor que con banda muerta, menor que con banda muerta, igual.
- Generador de pulso.
- Retraso, ondelay, offdelay.
- Timer.
- Flip-flop.
- Banderas y numéricos.

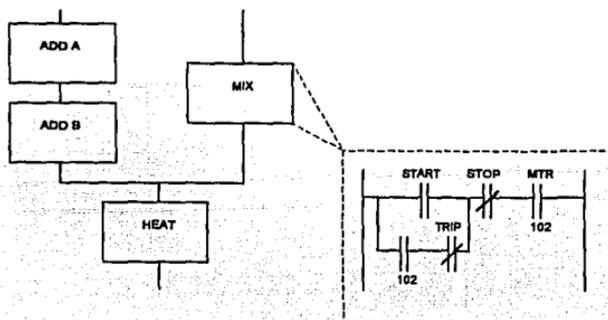
Para checar la conexión de las compuertas y monitorear el estado de los permisos, la función lógica se despliega en pantalla como un diagrama de compuertas (Figura 3.5).

Debido a la integración cada vez más frecuente de PLCs con el DCS, la programación de funciones lógicas en lenguaje de escalera se está volviendo común. Sin embargo, hay sistemas en donde las funciones implementadas de esta forma sólo corren en PLCs o módulos similares conectados al DCS.

De cualquier forma, estas funciones se vuelven poderosas ya que el DCS permite la combinación de todas ellas para elaborar soluciones integradas. En la figura 3.6 se ilustra el ejemplo de un control de un proceso por lotes (Batch). La secuencia principal está programada en un lenguaje especial, mientras que cada paso es una escalera que corre en un PLC conectado a la misma red. Otro caso puede ser el de los puntos compuestos que engloban varias funciones. Por ejemplo un punto que une una entrada/salida digital para el arranque de un motor, junto con la programación de los interlocks de arranque y el despliegado de una variable analógica, como la corriente consumida por el motor, con límites que forman parte de los permisos. De igual manera se pueden realizar combinaciones entre secuencias y bloques

de control analógico. En todos los casos la estrategia de control se puede armar entre puntos que residen en diferentes módulos de la misma red, y en algunos casos, usando información proveniente de cualquier dispositivo del DCS.

La programación de un sistema por lotes (Batch) se puede volver complicada, sobretodo si se deben manejar varias recetas. Para este fin, muchos fabricantes ofrecen programas de aplicación que enlazan las funciones de varios módulos y permiten al usuario definir un proceso por lotes (Batch) de manera gráfica. De esta forma, puede haber una secuencia principal, cuyo estado se muestre en un desplegado especial, y cuyos valores provienen de la librería de recetas que reside en el módulo de almacenamiento. Una ventaja importante es el poder modificar una receta o crear una nueva en línea, sin necesidad de recompilar secuencias.



**Figura 3.6** Ejemplo de control de un proceso por lotes (Batch).

### 3.3 Sistema de Comunicaciones.

La aplicación de las computadoras al control automático evolucionó desde una sola computadora supervisando varios controladores analógicos hasta sistemas complejos que

interrelacionan varios procesadores. Estos procesadores incluyen controladores PID, multilazo y estaciones de operación, PLCs, transmisores inteligentes, etc. integrados en una o varias redes de tiempo real o redes de control de procesos.

Por otra parte, la mayoría de las plantas industriales cuentan con computadoras que satisfacen sus necesidades administrativas. Estas computadoras también están conectadas a una red que se denomina comúnmente como red administrativa. Parece evidente que al unir estas dos redes se facilitaría la administración de cualquier planta, como la compra de materias primas, la producción, la venta, la nómina, etc.

Surgen entonces dos áreas para la implantación de redes en las que participan los equipos digitales de control de procesos: la integración de estos equipos entre sí, y la integración de estos equipos con la red administrativa. Estas dos formas de integración presentan diversos problemas.

Para el caso de un DCS, presentan una o varias redes como parte de su arquitectura cuyo diseño es propiedad del proveedor, por lo que el usuario no dispone de sus especificaciones.

Lamentablemente, no existe una norma de comunicaciones para la transmisión de datos en tiempo real. Esto hace que en algunos casos resulte técnicamente difícil, si es que no imposible, comunicar equipos de distintos fabricantes. Más aún, en algunos casos no es económicamente aconsejable. Existen varias normas que intentan llenar este vacío como, MAP, SP50, etc., sin que ninguna de ellas haya logrado, hasta ahora, una amplia difusión.

Las redes de datos en tiempo real y las administrativas implican conceptos diferentes. Por ejemplo, la seguridad. En la red administrativa la seguridad está asociada con el acceso a la información o su respaldo. En la red de control de procesos, la seguridad también está asociada con la disponibilidad de los datos en tiempo real y a la inmunidad del sistema a fallas.

Típicamente, los equipos de control de procesos se comunican a través de redes de área local ("Local Area Networks", LAN) en tiempo real. Una LAN es un sistema de transmisión de alta velocidad entre una gran variedad de dispositivos inteligentes dentro de un área geográfica

limitada. Existen varias formas como se puede realizar dicha comunicación. En 1983, la Organización Internacional de Estándares ("International Standard Organization", ISO) dio a conocer un modelo para estandarizar los protocolos que se fueran a desarrollar en los años siguientes. Un protocolo es el conjunto de reglas que es necesario cumplir para poder entablar comunicación con uno o más dispositivos o equipos. El modelo de la ISO se conoce como Modelo de Referencia de Interconexión de Sistema Abiertos ("Open System Interconnection Reference Model", OSI) ya que trata de sistemas que están "abiertos" a comunicarse con otros sistemas. El modelo OSI tiene siete capas cuyas funciones son (Figura 3.7):

1. Capa física ("Physical Layer"). La capa física se refiere a las características mecánicas y eléctricas de la conexión al medio físico, así como a los procedimientos para realizarla. Esta capa determina la topología y el medio físico.
2. Capa de conexión de datos ("Data Link Layer"). Esta capa está dividida en dos subcapas: la de control de acceso al medio ("Medium Access Control", MAC) y la de control de conexión lógica ("Logical Link Control", LLC). La primera se refiere a la forma como se obtiene o deposita la información en el medio físico, es decir, define el procedimiento mediante el cual varias estaciones acceden al uso del medio físico compartido, sin que se produzcan interferencias entre ellas. Para ello existen varios métodos, algunos de ellos son: maestro-esclavo, "token" bus, "token ring" y acceso múltiple con detección de portadora y colisiones. El control lógico de línea provee una interfaz entre la MAC y la capa de red, no importando el método de acceso al medio que se utilice. También establece los procedimientos para una transmisión libre de errores. Por lo que implanta métodos de verificación como el bit de paridad transversal y longitudinal, o un código de redundancia cíclica.
3. Capa de red ("Network layer"). La capa de red controla las operaciones de las dos capas inferiores para poder enviar los paquetes de información desde la fuente hasta el destino, es decir, agrega la información requerida para el manejo de mensajes en una red con caminos múltiples. Para este caso, habrá más de un camino entre la fuente y el destino, y será necesario

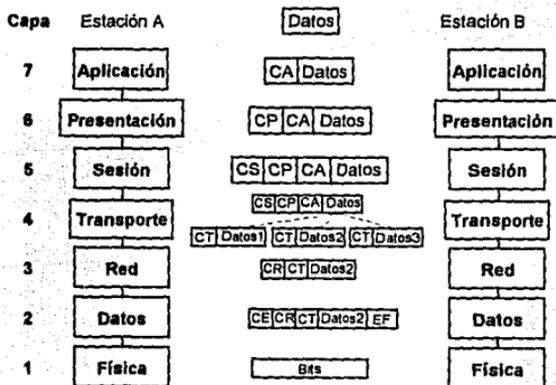
definir procedimientos para seleccionar el camino que seguirá un mensaje, así como los procedimientos para casos de congestión de tráfico.

4. Capa de transporte ("Transport layer"). La función básica de esta capa es la de aceptar datos de la capa de sesión, dividirla en paquetes pequeños, pasarlos a la capa de red, y asegurarse que todos los paquetes lleguen correctamente al destino. Todo lo anterior deberá realizarse eficientemente y es una forma de aislar a la capa de sesión de los cambios inevitables en la tecnología del hardware.
5. Capa de sesión ("Session layer"). Esta capa permite que varios programas, residentes en diferentes computadoras, dialoguen (sesión) entre sí. Uno de los servicios de la capa de sesión es el de controlar dicho diálogo.
6. Capa de presentación ("Presentation layer"). La capa de presentación convierte las estructuras abstractas de datos manejadas dentro los equipos a una representación estándar utilizada dentro de la red, es decir, tiene que ver con la semántica y la sintaxis de la información transmitida.
7. Capa de aplicación ("Application layer"). Provee los servicios a los usuarios finales, dando acceso a la información. Por ejemplo: emulación de terminales, transferencia de archivos, correo electrónico, etc.

Con el modelo OSI, el problema de la comunicación queda dividido en varias capas que se pueden analizar individualmente. Cada capa tiene dos funciones básicas: proveer los servicios para la capa inmediata superior apoyada en la capa inmediata inferior dentro del mismo sistema, y comunicarse con la misma capa en otro sistema a través del canal de comunicaciones mediante el uso de protocolos. Para que dos dispositivos se puedan comunicar deberán utilizar el mismo protocolo en cada capa. Durante la emisión de un mensaje, cada

capa pasa la información recibida desde la capa superior hacia la capa inferior, agregando la información de control característica de la capa: tipo de aplicación en el nivel 7, número de paquetes en el nivel 4, bytes de verificación en el nivel 2, etc. (Figura 3.7). El receptor recibirá los bits, y procederá a interpretarlos bajo los mismos criterios, en un flujo de información de abajo hacia arriba. Por tanto, resulta más sencillo analizar el proceso de comunicaciones como una comunicación horizontal entre capas iguales.

Se debe considerar que el modelo OSI intenta generalizar el proceso de comunicaciones considerando múltiples aspectos que probablemente no sean requeridos en su totalidad en una determinada aplicación. Para el caso de una aplicación en tiempo real, normalmente se requieren tres capas: la capa física, la de conexión de datos y la de aplicación.



**Figura 3.7** Conexión entre dos sistemas mediante el modelo OSI. Cada capa agrega un encabezado, (CA: encabezado de aplicación; CP: encabezado de presentación, etc.). La capa de datos también agrega datos al final del paquete.

Como se mencionó, la capa física está relacionada con el medio de transmisión. En una LAN, la transmisión se puede realizar a través de par trenzado, cable coaxial o fibra óptica. La selección de uno u otro medio depende, básicamente, de tres factores:

- El ambiente que rodea al sistema de comunicaciones.
- La velocidad de transmisión requerida que a su vez depende del número de variables a controlar y/o supervisar.
- El costo.

En cuanto a la capa de conexión de datos, se mencionó que estaba formada de dos subcapas, la MAC y la LLC. Uno de los estándares de esta capa fue normalizado por la IEEE ("Institute of Electrical and Electronics Engineers") en el estándar IEEE 802. El estándar IEEE 802.1 define la relación entre los estándares IEEE 802.

El estándar IEEE 802.2 define el protocolo de la subcapa LLC, que describe la relación que establecen las estaciones antes y después de enviar un mensaje. Estas relaciones se clasifican en tres tipos que son:

**Tipo 1. Sin conexión y sin reconocimiento.** Las estaciones que intercambian un mensaje no establecen una conexión previa anticipando el envío del mensaje, es decir, la estación emisora envía el mensaje sin anticipar esta acción a la receptora. La estación receptora tampoco envía un mensaje confirmando la correcta recepción del mensaje.

**Tipo 2. Con conexión y sin reconocimiento.** En este caso la estación transmisora anticipa a la receptora que le enviará un mensaje, luego la receptora confirma que está en condiciones de recibirlo, y entonces el mensaje se envía.

Tipo 3. Sin conexión y con reconocimiento. No se establece una conexión previa, pero sí se envía un mensaje de reconocimiento indicando que el mensaje enviado ha sido correctamente recibido.

Los estándares IEEE 802.3, 802.4 y 802.5 normalizan la subcapa MAC.

El estándar IEEE 802.3 está asociado con Ethernet. Este método conocido como Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Detección de Colisión CSMA/CD ("Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection") no es determinístico, involucra transmisión en banda base y banda ancha y normalmente utiliza topología tipo bus. En el método CSMA/CD, cada estación o nodo "escucha" la línea de transmisión y envía información cuando está desocupada. Si dos estaciones quieren enviar información al mismo tiempo, puede existir una colisión. La estación que envía detiene su transmisión al detectar la colisión, y retransmite después de esperar una cantidad de tiempo aleatorio. A medida que aumenta el número de estaciones (carga), la probabilidad de colisión se incrementa exponencialmente. Esto puede reducir la eficiencia de la red exactamente cuando está más ocupada, lo que puede ser un problema en situaciones de control de procesos cuando ocurren alarmas múltiples. CSMA/CD tiene las ventajas de ser simple, tiene un costo bajo por nodo y una longitud de mensaje variable. Las desventajas son el retraso en la transmisión debido a colisiones, el incremento potencial en las colisiones debido al aumento en el tráfico, la reducción de la velocidad cuando se incrementa la distancia entre nodo y nodo, y la falta de habilidad para manejar prioridades.

El estándar IEEE 802.4 se conoce como "token pass" y utiliza topología de bus. Este estándar ha tenido un gran soporte de la General Motors y otras compañías a través del Protocolo de Manufactura Automatizada ("Manufacturing Automation Protocol", MAP). Este método es determinístico y puede utilizar banda base pero normalmente utiliza banda ancha. En el "token pass" se envía un mensaje especial llamado "token" (estafeta) de una estación a otra. Una estación puede transmitir solamente si recibió el "token" libre de otra. Aunque las estaciones están físicamente conectadas en un bus, están organizadas en forma lógica en un anillo (Figura 3.8). Este método tiene las ventajas de tener retrasos determinísticos, control de acceso limitado



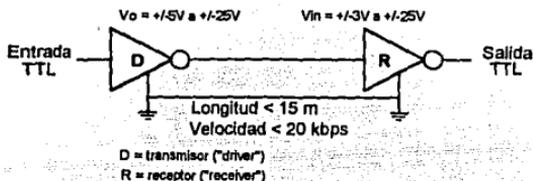
la interfaz de anillo de la estación anterior, y en su salida a la interfaz de anillo de la estación siguiente. La función de la interfaz es administrar el tráfico de datos entre una estación y el anillo, operando en dos formas: de escucha y de transmisión. En el modo de escucha y de transmisión recibe los bits en su entrada, y los envía a la salida y a la estación. Este proceso se realiza con un retardo equivalente a un bit, es decir, durante la circulación de un mensaje, la interfaz del anillo almacena los bits transmitidos uno a la vez. Cuando una estación está en modo de transmisión, su interfaz de anillo se abre, transmitiendo los mensajes por la salida, y recibéndolos nuevamente por la entrada. luego que recorrieron todas las interfaces del anillo. Mientras ninguna estación desee transmitir, el "token" está circulando por el anillo. Cuando una estación desea transmitir, captura el "token", abriendo la interfaz del anillo, impidiendo que su circulación continúe. Luego empieza a transmitir por la salida de la interfaz del anillo. El mensaje circula por las diferentes estaciones del anillo. Finalmente llegará a la estación que lo transmitió. Una característica de la IEEE 802.5 es que tiene una estación supervisora que se encarga de vigilar que el "token" no se haya perdido, verificar la integridad del anillo, etc. Si la estación supervisora falla, cualquier estación tiene la capacidad de convertirse en supervisora.

Cuando se habla de protocolos en tiempo real o para control de procesos, se quiere decir que son protocolos que permiten la transferencia de valores o estados asociados a variables de proceso, y el intercambio de datos entre aplicaciones corriendo en distintos equipos digitales, dentro de tiempos muy cortos cuya definición depende de la aplicación. Existe una gran cantidad de estos protocolos, la mayoría definidos por los fabricantes. Por mencionar algunos de ellos, Modbus de Modicon, Unitelway de Telemecanique, Node Bus de Foxboro, etc. La mayoría utilizan el método de acceso maestro-esclavo y utilizan los estándares de comunicaciones RS232 o RS485. Estos estándares son de la Electronic Industries Association (EIA) y están incluidas en la recomendación V24 del Comité Consultatif Internationale Télégraphique et Téléphonique (CCITT).

La recomendación RS232E es la quinta revisión de la norma y define las características mecánicas, eléctricas y funcionales de la conexión entre un equipo terminal de datos (DTE,

"Data Terminal Equipment") y un equipo de comunicación de datos (DCE, "Data Communication Equipment"). Los bits se transmiten en forma serial, esto es, se utiliza un conductor para transmitir y otro para recibir, y otros conductores más para el control de la transmisión.

Desde un punto mecánico, la norma establece un tipo de conector, el DB25 de 25 "pines". Desde el punto de vista eléctrico, cada uno de estos "pines" puede ser uno lógico en  $-3$  V, o cero lógico en  $+4$  V. Todos los "pines" comparan su nivel de voltaje respecto a un nivel común que está dado en el "pin" siete. Esta técnica se denomina transmisión desbalanceada. Desde un punto de vista funcional se definen las funciones para cada uno de los "pines". La forma de conexión que establece la norma RS232 es punto a punto, por lo que solo dos equipos pueden estar conectados a la vez. La figura 3.9 resume las características de esta norma.



**Figura 3.9** Características de la norma RS232E.

La norma RS485 permite conectar más de un solo dispositivo a la vez (hasta 32) y se diferencia de la RS232 en la forma de transmisión. Esta norma utiliza una forma de transmisión que se llama transmisión balanceada, en donde no existe un hilo común. Los unos y los ceros lógicos se establecen en función de la diferencia de tensión entre ambos conductores del circuito. De esta forma se alcanzan distancias de hasta 1200 m con velocidad de hasta 10 Mbps. La figura 3.10 presenta las características de la norma RS485.

Durante la última década se han hecho esfuerzos para tratar de normalizar los protocolos de comunicaciones en tiempo real. En estos esfuerzos se observó que el problema tiene dos aspectos (Figura 3.11):

- El manejo de información asociada al proceso en redes de control enfocadas a la supervisión, o en la red administrativa de la planta.
- La integración de datos de diversos equipos de control, a nivel campo.

En 1980, General Motors inició el desarrollo del Protocolo de Manufactura Automática (MAP, "Manufacturing Automation Protocol"), que apunta a resolver el primer aspecto, desafortunadamente, su desarrollo se ha visto reducido desde 1987.

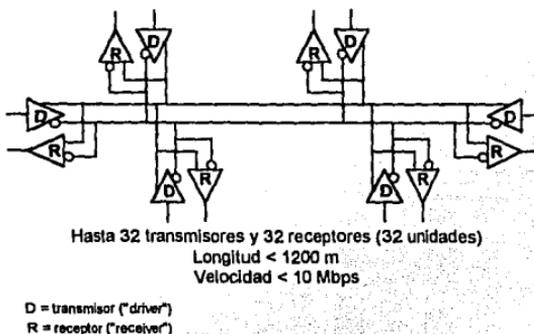
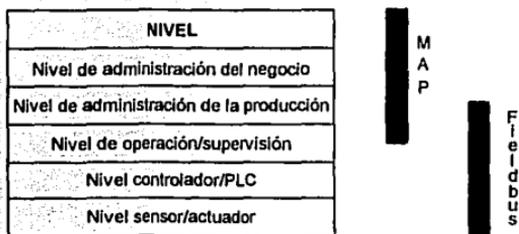


Figura 3.10 Características de la norma RS485.

Por otra parte, desde 1989 ha aumentado la actividad para concretar una norma de bus de campo ("Fieldbus"), que trataría de resolver el problema de integración de equipos de campo.



**Figura 3.11** Modelo de niveles jerárquicos para la comunicación en tiempo real.

El objetivo de MAP es lograr que dos estaciones MAP puedan comunicarse sin definir más detalles para realizarlo. MAP comprende una especificación para cada una de las capas del modelo OSI. A su vez, cada capa hace referencia a distintas normas. Muchas de ellas establecidas en consenso con el grupo TOP, con el liderazgo de Boeing, utilizándose los mismos protocolos en MAP y TOP. TOP son las siglas de "Technical Office Protocol" que es un conjunto de protocolos para aplicaciones administrativas. Este conjunto de protocolos comprende todos los niveles del modelo OSI, para asegurar que dos estaciones que cumplan con TOP se integren en la misma red sin ningún problema.

La figura 3.12 presenta la arquitectura de protocolos de MAP y TOP. La capa de aplicación comprende principalmente a la Especificación de mensajes de Fabricación ("Manufacturing Message Specification", MMS) que incluye más de 80 servicios para el intercambio de mensajes en plantas de manufactura. Otro servicio incluido en la capa de aplicación es el de Transferencia y Administración de Archivos ("File Transfer Access Management", FTAM).

MAP no alcanzó la difusión esperada, en parte por los altos costos que implica. Por ejemplo, en 1987, George Blüchley, editor de la revista Control Engineering, opinaba que MAP había perdido impulso en la medida en que se tomaba conciencia de los costos implícitos, incluyendo hardware, software, planificación, instalación, pruebas y correcciones. Este alto costo está asociado al diseño de la capa física, de datos y de transporte.

MAP comprende una serie de arquitecturas como MAP/EPA ("Enhance Protocol Architecture"), MAP/PROWAY y MiniMAP, que tratan de tener un menor costo para ciertas aplicaciones.

Como se mencionó anteriormente, el protocolo Fieldbus trata de normalizar la conexión de dispositivos de campo entre ellos y con otros equipos. El surgimiento del Fieldbus se debe a la incorporación de los microprocesadores a los equipos de campo que permitió su integración en redes, con ventajas importantes como la mayor precisión derivada de la integración digital, el ahorro de tendido en los cables, diagnóstico remoto, etc. Estos conceptos resultaron aplicables a controladores unilazo, módulos remotos de entrada/salida, transmisores inteligentes, PLC's, etc. Dado que no existían normas para la integración digital de estos equipos, cada proveedor desarrolló su propio protocolo, por lo que estas ventajas estuvieron limitada a algunos equipos del mismo proveedor.

Aplicación	MAP		TOP	
	MMS	FTAM	FTP	VTP
Presentación	ISO 8823		ISO 8823	
Sesión	ISO 8327		ISO 8327	
Transporte	ISO 8073		ISO 8073	
Red	ISO 8473		ISO 8473	
Datos	IEEE 802.2		IEEE 802.2	
Física	IEEE 802.4		IEEE 802.3 IEEE 802.4	

**Figura 3.12** - Protocolos MAP y TOP. MMS = Manufacturing Message Protocol, FTP = File Transfer Protocol, VTP = Virtual Terminal Protocol, FTAM = File Transfer, Access and Management.

Actualmente, existen varios grupos que intentan editar una norma para el Fieldbus. Entre estas normas en desarrollo se encuentran la SP50 de la ISA ("Instrument Society of America"), la

norma alemana Profibus ("Process Field Bus") y la norma francesa FIP ("Factory Instrumentation Protocol").

Mientras los fabricantes de equipo y las asociaciones de ingenieros no se pongan de acuerdo sobre qué norma seguir, no se dispondrá de una red única en los próximos años. Por lo tanto, es necesario disponer de elementos que permitan integrar redes de distintos tipos.

Para efectuar esta integración se requieren equipos cuyas características dependen de las diferencias entre las redes a interconectar. Existen varios dispositivos entre ellos los repetidores, los puentes, los enrutadores y los gateways.

Los repetidores permiten extender la distancia cubierta por una red y modifican aspectos relacionados con la capa física como por ejemplo, el medio físico utilizado. Su función básica es repetir una secuencia de bits, sin ningún tipo de tratamiento.

Los puentes operan sobre el nivel 2, en la subcapa MAC, y se utilizan cuando se necesita conectar redes que utilizan diferentes métodos de acceso. Por ejemplo, conectar una red IEEE 802.3 con una IEEE 802.4.

Un enrutador opera en los niveles 1, 2 y 3 del modelos OSI. Básicamente, permiten guiar mensajes en redes de varios caminos, así como la integración de redes WAN y LAN.

Finalmente, los gateways son necesarios cuando las redes a interconectar son totalmente distintas. Normalmente son la forma como se conectan redes de proceso, como es el caso de la conexión de una red Modbus a un DCS. Como operan en todos los niveles del modelo OSI, tiene un rendimiento relativamente bajo, su costo es moderadamente alto o muy alto ya que cada equipo requiere un gateway específico.

### 3.4 Interfaz hombre - máquina.

La comunicación, normalmente bidireccional, entre un sistema de control y el operador se lleva a cabo por medio de dispositivos denominados "Interfaz Hombre - Máquina" (Human-Machine Interface, HMI). Otras denominaciones utilizadas son: Interfaz al ser humano (Human Interface, HI), Interfaz del Operador (Operator Interface, OI), Interfaz de Usuario (User Interface, UI). Comúnmente para un DCS suelen ser, con terminales y monitores a color, luces piloto, paneles de alarma y displays alfanuméricos, que permiten que el operador interactúe con el sistema de una forma amigable y rápida por lo que su diseño es crítico para obtener una operación eficiente del sistema. Anteriormente los operadores tenían que controlar y supervisar los sistemas desde grandes cuartos de control que incluían mímicos de pared a pared, cuadros de alarmas, un gran número de graficadores, racks completos con controladores y un sinnúmero de instrumentos indicadores de variable de menor tamaño como manómetros o termómetros, dificultando el monitoreo del sistema (Figura 3.13). Normalmente el "Cuarto Central de Control" (CCC) era manejado por un gran número de operadores.

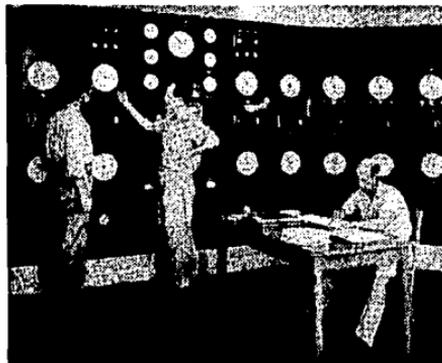
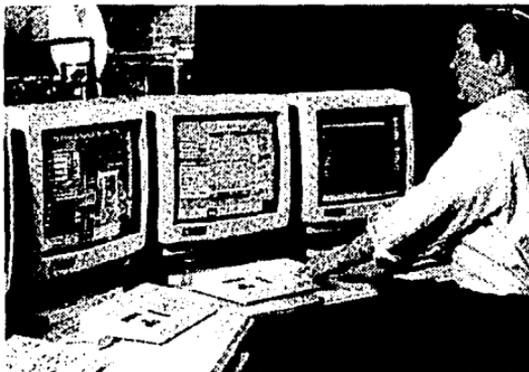


Figura 3.13 Antiguo tablero de control.

FALLA DE ORIGEN

Actualmente, los CCC incluyen una o más terminales con monitores a color que permiten que un solo operador realice la supervisión y el control de un proceso complejo en una forma rápida y sencilla. (Figura 3.14)



**Figura 3.14** Moderna consola de control.

Resumiendo las principales funciones de una HMI son:

- Permitir al operador supervisar al proceso en tiempo real.
- Permitir al operador realizar acciones de control y ajuste sobre el proceso.
- Asistir y guiar al operador para determinar las fuentes de los problemas o fallas.
- Hacer al DCS transparente al operador.
- Permitir que el ingeniero de proceso realice la configuración y ajuste del DCS.

Dos cuestionamientos que comúnmente se formulan con respecto a la eficiencia de la HMI son:

¿Cuántos monitores son necesarios por operador?

Una regla práctica indica que un operador puede administrar de 60 a 80 lazos. En función de un adecuado diseño de la HMI y de estrategia de control, este número puede ser mayor. Por otra parte, es deseable que cada operador cuente con al menos dos monitores, de modo de contar con un respaldo en el caso de falla en uno de ellos, y de facilitar la operación durante los transitorios.

¿No es demasiado lento este sistema?

En cualquier instante, un monitor presenta sólo parte de la información de la planta. Para obtener más información, es necesario cambiar de pantalla, una operación que puede tomar algunos segundos. En estos casos, los sistemas dan la impresión de ser "lentos" comparados con los tableros de instrumentos, en los que toda la información está permanentemente disponible. Esta impresión no es correcta, ya que para disponer de la información adecuada, el operador debe recorrer la longitud del tablero, tarea que también consume tiempo. Este tiempo parece menor, ya que el operador está activo recorriendo el tablero, en lugar de estar en una actitud pasiva frente a un monitor. Sin embargo, se ha comprobado que la operación desde una pantalla es más rápida y eficiente que desde un tablero.

#### **3.4.1 Dispositivos para entrada de datos.**

Una cantidad importante del trabajo que realiza el operador en el monitoreo y control de un proceso es realizada por medio de los dispositivos de entrada de datos. Tradicionalmente el teclado es el instrumento por excelencia para cubrir esta función, sin embargo actualmente existe gran variedad de dispositivos para dar acceso a información.

Estos dispositivos son:

- Teclados:

Los teclados son la forma más comúnmente utilizada para el acceso de información por su costo y versatilidad. Existen diferentes diseños ya sea en número de teclas, distribución o tipo, es decir, los teclados pueden ser tipo Alfanumérico, similares a los de las computadoras personales (PCs) o tipo Anunciador que cuenta con teclas dedicadas y, en algunos casos, indicadores luminosos. Las teclas pueden ser tipo botón o tipo membrana. (Figura 3.15)

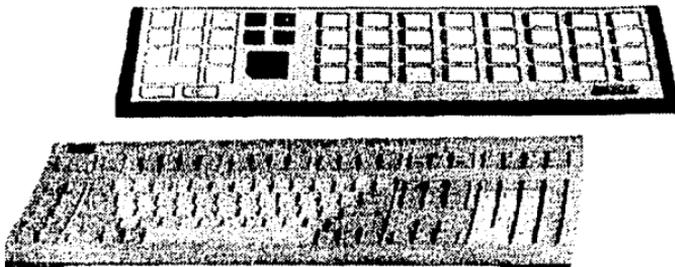


Figura 3.15 Teclados de operador.

- Tablas digitalizadoras:

Las tablas digitalizadoras comúnmente utilizadas en el diseño de pantallas son una alternativa para el acceso de información de funciones complejas. Normalmente se utiliza un dispositivo en forma de lápiz para activar las diferentes funciones configuradas en el tapiz de la tabla.

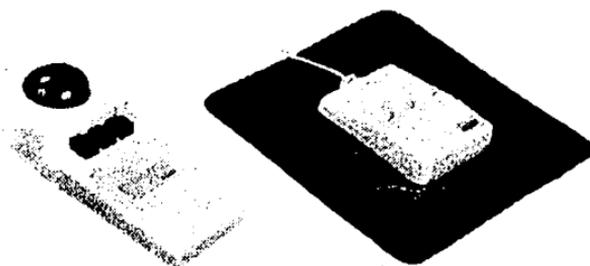
- Teclados de computadora configurables por software:

Actualmente las computadoras de uso industrial ofrecen un bloque de teclas tipo membrana incorporadas al gabinete del monitor denominadas con las siglas: F1, F2, F3, etc. por medio de

las cuales se pueden ejecutar funciones específicas previamente configuradas por software y señalizadas en pantalla.

- Mouse, track ball, lápiz óptico, joystick:

Estos dispositivos, aún cuando presentan diferente morfología, son operacionalmente similares, es decir, el operador los manipula teniendo como guía el cursor en pantalla y con interruptores o botones adjuntos, ejecuta funciones mostradas en pantalla. (Figura 3.16)



**Figura 3.16** Trackball y Mouse.

- Pantallas sensibles al tacto o tipo "Touchscreen":

Sin duda, los monitores "Touchscreen" son uno de los dispositivos más versátiles para la operación de una terminal, reúnen características de rapidez, versatilidad y reducción de dispositivos. Estos monitores son muy poderosos ya que permiten al operador realizar funciones previamente definidas en pantalla únicamente con tocar con un dedo el punto indicado sobre la misma. (Figura 3.17)



**Figura 3.17** Pantalla sensible al tacto o tipo "Touchscreen".

- **Paneles de botoneras:**

son paneles convencionales de pulsadores, llaves y luces indicadoras, utilizados en varias aplicaciones industriales. Cuando se integran a estaciones de trabajo, pueden tener funciones similares a las de un teclado anunciador, como arrancar o parar una bomba, o iniciar una secuencia de paro de emergencia.

- **Sistemas de reconocimiento de voz:**

Permiten al operador dar acceso a la información o ejecución de funciones con ordenes verbales que pueden estar restringidas a un solo operador por medio de candados de acceso. Actualmente se encuentra en desarrollo aún cuando ya están en operación en diversos sistemas, sin embargo se requiere de un sistema sofisticado y costoso para su buen funcionamiento.

### **3.4.2 Dispositivos para salida de datos.**

Parte fundamental son los sistemas de salida de información; estos son la ventana al proceso y que gracias a los modernos sistemas de redes de comunicación, es relativamente fácil tener el

CCC en el lugar más apropiado sin que esto represente un alto costo, ya que es muy probable que al mismo lleguen únicamente un par de cables por los que circula toda la información. El dispositivo más poderoso y usual es el monitor a color ya que permite desplegar con gran flexibilidad un sinnúmero de diagramas con comportamiento dinámico en tiempo real.

Los principales dispositivos son:

- Monitor (Displays) tipo CRT (de sus siglas en inglés Cathode Ray Tube, CRT) monocromáticos o en color:

Hoy por hoy es el dispositivo más popular para despliegado de información, permite una gran flexibilidad en el despliegado de datos, gráficos, alarmas, etc. por medio de mímicos análogos al proceso que lo presentan en forma amigable y clara al operador. Normalmente, la selección de utilizar un monitor monocromático o en color lo determinará el costo de inversión y la complejidad de las gráficas ya que si éstas son demasiado elaboradas justifican el uso de colores para facilitar la operación y monitoreo del proceso. (Figura 3.18)

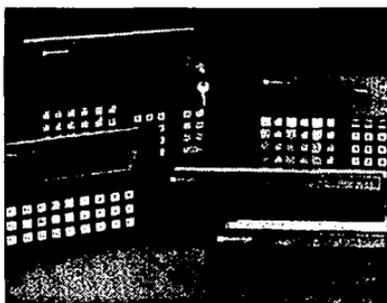
Las características de resolución y cantidad de colores de un monitor quedan determinadas por la norma de video utilizada. Las normas más populares son: CGA (Color Graphic Adapter) 2 colores en 640 x 200 pixeles o 16 colores en 160 x 200 pixeles, EGA (Expanded Graphic Adapter) 16 colores en 640 x 350 pixeles, VGA (Video Graphic Adapter) 16 colores en 640 x 480 pixeles, SVGA (Super Video Graphic Adapter) 16 colores en 800 x 600 pixeles o 256 colores en 1024 x 768 pixeles y el XGA (Extended Graphic Array) 25,536 colores en 640 x 480 pixeles o 256 colores en 1024 x 768 pixeles.



**Figura 3.18** Consola con monitor de control y supervisión.

- **Displays alfanuméricos:**

Comúnmente son utilizados en puntos estratégicos dentro del proceso, es decir, en campo debido a que presentan datos como alarmas o valores de variables que son útiles para el operador en sitio. (Figura 3.19)



**Figura 3.19** Displays alfanuméricos.

- **Displays planos o de plasma:**

Comunmente son utilizados en ambientes agresivos o peligrosos, en gabinetes de reducido espacio debido a ser pequeños e intrínsecamente seguros.

- **Proyectores de monitores de CRT para mímicos en pared:**

No es frecuente su uso pero se recurre a ellos cuando es necesario reemplazar la antigua función de los mímicos murales dentro de los CCC. (Figura 3.20)



**Figura 3.20** Proyectores de monitores de CRT para mímicos en pared.

- **Sintetizadores de voz:**

Al igual que los sistemas de reconocimiento de voz juegan un papel importante dentro del desarrollo de la nueva tecnología para suministro de información y que probablemente serán un común denominador en un futuro próximo dentro de los CCC.

FALLA DE ORIGEN

- **Impresoras:**

Utilizadas comúnmente como medios para obtener reportes, copias de gráficos, informes de alarmas, etc.. Cada día son menos utilizadas debido a la facilidad de comunicaciones e intercambio de información entre los diferentes niveles dentro de una planta, lo cual permite a los supervisores obtener en pantalla fuera del CCC la información que deseen consultar sin esperar a que les sea reportada en papel.

### **3.4.3 Creación de desplegados.**

Todos los DCS ofrecen la posibilidad de crear desplegados para configurar pantallas representativas del proceso también conocidos como mímicos, lo cual amplía el potencial del sistema para configurarlo justo a las necesidades del usuario. Pueden contener desde un Diagrama de Tuberías e Instrumentación (DTI) o gráficos de proceso constituido por un tanque y un par de válvulas y tuberías hasta columnas completas de destilación que cuenten con una instrumentación compleja. Es de suma importancia los desplegados dentro de un DCS ya que son las ventanas al proceso por lo que podrán ser tan generales o particulares a un área como se requiera.

#### **a) Funciones de los desplegados.**

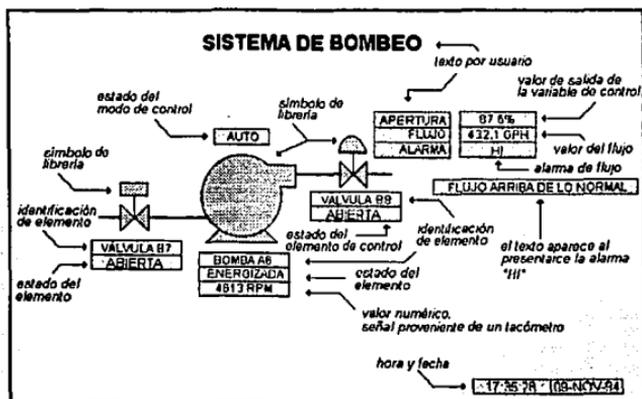
Existen varias funciones básicas de los desplegados gráficos que son:

##### **a.1) Presentación de gráficos.**

Gracias a su capacidad de desarrollo de dibujos se pueden lograr representaciones gráficas de procesos completos desplegando tanques, válvulas, tuberías, interruptores, motores y un sinnúmero de elementos ya sea obtenidos de sus bibliotecas o diseñados por el usuario.

## a.2) Presentación del estado del sistema.

En conjunto con gráficos que incluyan elementos como motores, válvulas, bombas, etc. puede servir de indicador por medio de textos o por código de colores del estado en el que se encuentran dichos elementos. Por ejemplo, energizado o desenergizado en el caso de motores o bombas y abierto o cerrado en el caso de válvulas (Figura 3.21). También permiten, por ejemplo, desplegar por medio de gráficos dinámicos el llenado de un tanque o el desplazamiento de materiales sobre una banda transportadora.



**Figura 3.21** Configuración de una pantalla de operación y supervisión.

## a.3) Presentación de datos.

Los datos que pueden ser desplegados corresponden a los valores de variables o señales de control, identificación de elementos, "Tags" y valores de datos accedidos por el operador. Estos son desplegados en forma asociada a los elementos correspondientes o en tabla específicas de datos. (Figura 3.21)

#### a.4) Presentación de base de datos Relacionales.

La asociación de elementos en pantalla, valores de variables o señales de control son almacenadas en bases de datos relacionales que permiten el uso óptimo de dichos elementos en la configuración de pantallas, de tal forma que el operador puede editar la base de datos para dar de alta o baja nuevos elementos o actualizar valores en los datos existentes.

#### a.5) Operación desde pantallas.

Esencialmente los desplegados gráficos tienen el objetivo de mostrar información, sin embargo pueden cumplir la función de manipulación de variables, ya sea por medio de un teclado o un sistema apuntador dinámico (ratón o lápiz óptico) o una pantalla tipo Touchscreen (Figura 3.17 y 3.22). El operador podrá, por ejemplo, abrir o cerrar una válvula, ajustar un punto de ajuste (set point) de alguna variable o energizar o desenergizar un motor. Esto es posible cuando se interrelacionan los iconos en pantalla (válvulas, motores, etc.) con acciones de control (abrir, cerrar, energizar, desenergizar, etc.).

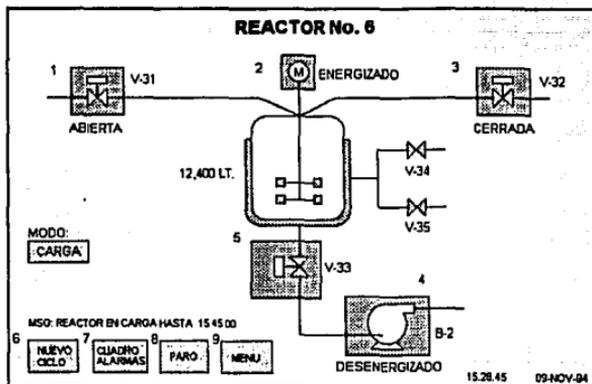


Figura 3.22 Pantalla con gráfico de interacción con el operador.

Normalmente se toman medidas de seguridad para algunas acciones cuando se utilizan sistemas de "Touchscreen" para evitar que con un solo toque de pantalla se ejecute un acción directa, de tal forma que se requieren la verificación de la acción tocando un segundo punto en pantalla señalado como "Esta seguro: si - no".

Algunos sistemas permiten la interacción por medio de un teclado dedicado que contiene símbolos y teclas con funciones predefinidas por medio de las cuales se puede accionar los iconos preconfigurados en pantalla.

La asociación de iconos con acciones de control se realiza gracias a la preconfiguración de una base de datos en la que se relacionan dichos elementos con los elementos de campo por medio de colores, valores, "tags", etc.

#### a.6) Presentación de alarmas.

Todos los DCS permiten configurar cuadros de alarmas que suministran al operador la información de las variables en estado de alarma por medio de pantallas que las enlistan, con las opciones de ordenarlas por prioridad, por horario o por zona. Esto es de suma importancia para la óptima atención al problema tanto en oportunidad como en clase de asistencia. Frecuentemente se utilizan desplegados intermitentes en los mímicos de representación del proceso para indicar algún tipo de alarma o falla y en ocasiones se utilizan alarmas sonoras dispuestas en la consola de control para alarmas de baja prioridad y sirenas generales en planta para las de alta prioridad o para indicar desalojo de planta.

#### a.7) Presentación de reportes.

Las pantallas de reportes permiten dar información estadística al operador sobre el estado del proceso, el volumen de producción, fallas, materia prima utilizada, etc..

**a.8) Presentación de pantallas de ayuda.**

Las pantallas de ayuda son desplegadas a los cuales puede acudir el operador para solicitar información, normalmente sobre el uso del sistema operativo. Algunos DCS permiten configurar sus propias pantallas de ayuda las cuales están orientadas a la operación del proceso.

**a.9) Presentación de pantallas de configuración.**

Las pantallas de configuración se utilizan durante el procedimiento de instalación de los diferentes módulos de software que forman un DCS y para la configuración misma del sistema que incluye configuración de dispositivos de entrada y salida, tarjetas de comunicaciones, controladores, monitores, etc.

**b) Diseño de desplegados.**

El diseño de desplegados es una actividad a la que se le debe dedicar tanto el tiempo como el personal adecuado, debiéndose planear cada pantalla para cubrir funciones muy específicas. Afortunadamente los fabricantes de DCS han desarrollado sistemas de generación de pantallas sumamente sencillos y que permiten realizar, con un corto entrenamiento, mímicos sencillos para su comprensión visual y con la información necesaria para el operador. De esto dependerá la eficiencia con la que el operador desarrolle su trabajo de monitoreo y control. Una pantalla sin la información necesaria puede causar tanta ineficiencia como una con demasiados datos y elementos. Aun cuando el sistema de generación de pantallas varía de DCS a DCS, todos cuentan con bibliotecas de símbolos que auxilian en su desarrollo. En esas bibliotecas se pueden encontrar símbolos de válvulas, actuadores, motores, tanques, etc. (Figura 3.21) que el usuario puede utilizar o en su defecto, desarrollar sus propios símbolos por medio del uso de un sistema de dibujo, incluido en el sistema, a través de un teclado especial, tabla digitalizadora, "ratón" o algún otro dispositivo.

Dependiendo del proveedor, los DCS suelen ofrecer dos posibilidades básicas para el diseño de las pantallas destinadas a servir como interfase al proceso. Estas son:

- Pantallas predefinidas
- Pantallas configurables

**b.1) Diseño de pantallas predefinidas o preconfiguradas.**

Todos los DCS cuentan con pantallas predefinidas incluidas en bibliotecas y que pueden ser utilizadas para generar pantallas más complejas (configuradas o libres). Estas pantallas estándar cubren un gran número de aplicaciones típicas en control de procesos y suelen ser de rápida implantación, pero de escasa flexibilidad. Las distintas pantallas predefinidas pueden clasificarse en:

- **Diseño de pantallas Hierarchy:**

Los DCS típicamente ofrecen configuraciones de gráficos que se encuentran asociados por niveles de tal forma que el operador puede tener referencia de toda la planta en una sola pantalla o gráfico e ir bajando por niveles a zonas o áreas más específicas en las que se incluyan secciones de procesos (Figura 3.23). La división de niveles en gráficos tipo Hierarchy son:

- Vista general
- Vista de grupo o área
- Vista de Punto o unidad

**Vista general:**

Permite ver una concentración de áreas o grupos (cuatro en este ejemplo) de los cuales no se requiere tener información muy detallada, normalmente estados de alarmas de grupo.

Vista de grupo o área.

Permite entrar a un grupo o área, del cual podemos observar una subdivisión en tres puntos o unidades y de ellos se puede obtener información más concreta como valores de variables y alarmas.

Vista de Punto o unidad:

Muestra al operador una parte del proceso (punto o unidad) con detalles muy concretos como el valor de variables, nomenclatura de elementos, estado de componentes, diagnósticos, gráficos de tendencias, gráficos de barras, etc.

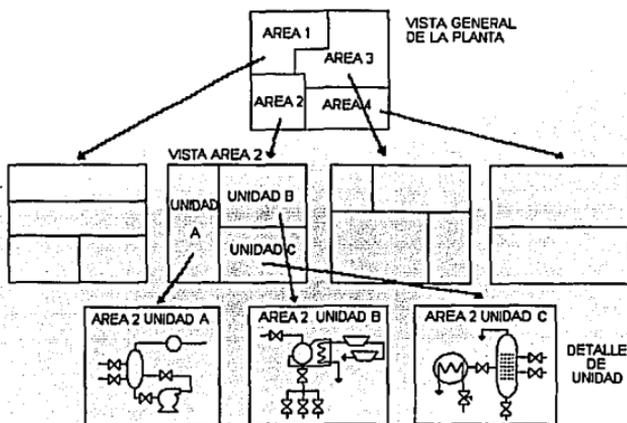


Figura 3.23 Gráficos asociados tipo Hierarchy.

- Diseño de pantallas de alarmas:

Las alarmas se despliegan en pantallas dedicadas denominadas cuadros de alarmas (Figura 3.24) en los que se enlistan, en un orden predeterminado por el operador, los textos que incluyen la hora, la fecha, el "tag" de identificación de la variable, el último estado de la variable, etc., en forma intermitente o normal.

CUADRO DE ALARMAS				
REC. ALARMA	PAGINA ALARMA	TIPO ALARMA		
HORA	DESCRIPCION DE TAG	ESTADO	UNIDADES	NIVEL
18.40.35	FLUJO ENTRADA MIXER	80	l/min	RAPIDO
18.39.44	VÁLVULA TANQUE MIXER	ABIERTA	FLUJO	TRABADO
18.33.37	NIVEL TANQUE 2	80	Litros	MUY ALTO
18.33.37	VÁLVULA TANQUE 2	ABIERTA	FLUJO	PROBLEMA
TAG: ENTRADA AL MEZCLADOR VALOR: 81 TIEMPO ACTUAL: NOV 11 18:40:49				
18:33:37	TANQUE No 2 DE MEZCLAS	80 LITROS	MUY ALTO / ALM 1	

Figura 3.24 Cuadro de Alarmas.

Las alarmas se pueden clasificar en dos tipos:

#### Alarmas de proceso:

Indica que una variable se encuentra fuera de los límites admitidos de desvío. Los DCS permiten establecer sobre una misma variable varios niveles de alarma como: alarma de prevención, alarma de alto desvío y alarma de muy alto desvío. Estos niveles de alarmas pueden ser establecidos tanto para valores superiores como para valores inferiores del valor deseado. Algunos DCS permiten también alarmar por exceso de velocidad de cambio de la variable.

#### Alarma de sistema:

Indica que algún elemento del sistema (tarjeta de entrada/salida, procesador, bus, etc.) ha tenido una falla. generalmente posee asociado un código de error que permite conocer el tipo de falla y si la misma fue o no superada.

- **Diseño de pantallas de eventos:**

Contiene un listado de las acciones realizadas por el operador, por ejemplo el cambio de operación de modo automático a manual de un controlador, un cambio de receta de producción, etc..

- **Diseño de pantallas digitales:**

Frecuentemente es necesario presentar al operador información de señales no analógicas por lo que se dispone de presentaciones o formatos no gráficos propiamente. La mayoría de DCS manejan los formatos de representación de:

- Contactos de entradas y salidas (I/Os)
- Grupos de contactos
- Bloques de dispositivos.

- **Diseño de pantallas con diagramas de barras:**

Estos gráficos son comúnmente utilizados para desplegar la información relacionada con una variable de control en los cuales se puede mostrar los tres datos en tiempo real que son referidos siempre a una variable de este tipo, que son: el valor de la variable (PV), valor del punto de ajuste o "set point" (SP) y el valor de la señal de control normalmente en porcentaje (CV) (Figura 3.25). Normalmente a este tipo de gráficos se les conoce como "Face Plates". También pueden ser utilizados para mostrar datos estadísticos del comportamiento de variables por unidad de tiempo en procesos tipo "batch".

- **Diseño de pantallas de tendencias:**

En este tipo de gráficos se puede desplegar el comportamiento que han presentado las variables con respecto al tiempo, es decir, se obtiene un gráfico X-Y. El eje de las abscisas denota el tiempo y el eje de las ordenadas al valor de la variable ya sea en porcentaje o en algún valor por

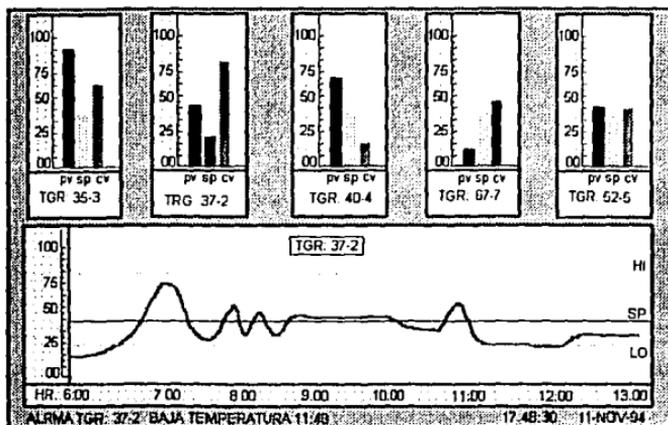


Figura 3.25 Gráfico combinado de barras y análisis de tendencias.

unidad (Figura 3.25). Los gráficos de tendencias son de suma utilidad en el análisis del comportamiento de procesos en función del tiempo y se toman como referencia para su calibración o en el ajuste fino de los parámetros de control. Comúnmente se les asocia con algún otro tipo de gráfico, ya sean de barras, o cuadros de alarmas.

#### b.2) Diseño de pantallas configurables:

Las pantallas configurables, pantallas libres o también llamadas pantallas tipo mímico, pueden ser diseñadas virtualmente sin limitaciones, con gran flexibilidad. Generalmente, permiten el diseño de pantallas de operación más efectivas. Este diseño requiere más tiempo y conocimiento del proceso que las predefinidas ya que por su medio el operador debe dar respuestas rápidas y certeras a los requerimientos del proceso, especialmente durante los transitorios (arranques, paros, cambios de modos operativos, emergencias, etc.). Particularmente, las plantas de procesos continuos suelen tener largos períodos en los que el

estado es estacionario y prácticamente no se requiere la acción del operador. Para que la tarea del operador sea eficiente, el diseño de las pantallas debe mantenerlo alerta en condiciones normales de operación. Por otra parte, durante los estados transitorios o durante las emergencias el nivel de información no debe ser superabundante, sobrecargando la atención del operador.

Es usual que se sigan conceptos similares a los aplicados en las pantallas predefinidas. De tal forma que un conjunto de pantallas basadas en el concepto de las tipo Hierarchy (Figura 3.23) presentarán los diferentes niveles que la planta requiera para desplegar los diferentes procesos y dentro de ellos los lazos de control por medio de mímicos diseñados a la medida.

### **3.5 Tolerancia a fallas.**

En cualquier planta de producción se presentan fallas de equipo. Estas fallas son tomadas en cuenta para calcular la confiabilidad del proceso. En la programación de la producción se considera esta medida, por lo que en la práctica, más que tratar de alcanzar una meta de cero fallas, se busca que la producción rebase los resultados programados. Esto se logra mejorando la forma en que se manejan las fallas, e incrementando la disponibilidad del equipo. Para lograr esto, se pueden realizar cosas como reparación en línea, o contar con un sistema redundante.

Los valores que determinan la disponibilidad, se pueden calcular para un dispositivo, una unidad del proceso, o para la planta entera. Generalmente se calculan para las unidades de producción que son parcialmente independientes, o que están prácticamente aisladas.

#### **3.5.1 Definiciones.**

El tiempo medio entre fallas MTBF (Mean Time Between Failures), es el tiempo promedio para que suceda un tiempo muerto en algún equipo o proceso. El tiempo medio de reparación, MTTR (Mean Time to Repair), es la suma del tiempo promedio en que se diagnostica una falla, y el

tiempo que toma la reparación de la misma. Generalmente el diagnóstico de una falla toma mucho más tiempo que la reparación de la misma. El tiempo medio de arranque MTTS, es el tiempo que toma el inicio de las operaciones a partir de que fue reparado.

La disponibilidad es el porcentaje de tiempo en que el proceso genera un producto dentro de especificaciones. Matemáticamente, se define como:

$$\text{Disponibilidad} = 1 - [ (\text{MTTR}) + (\text{MTTS}) ] / (\text{MTBF})$$

El aumento de la disponibilidad del proceso es un esfuerzo conjunto entre los departamentos de operación y mantenimiento. En el caso de una falla se debe localizar la causa básica, y se le debe diagnosticar en el menor tiempo posible. Si no se puede aislar el equipo en falla, se debe minimizar el tiempo de reparación.

En un DCS, la forma en que se manejan y despliegan las alarmas es muy importante para reducir el tiempo de diagnóstico.

Una manera de reducir el tiempo medio de reparación es contando con equipos que puedan ser reparados en línea. De esta forma la falla queda aislada, y la operación continúa sin problemas.

Otra forma consiste en disponer de sistemas con redundancia en sus componentes críticos.

La norma DIN 40.041 define la redundancia como la existencia de más medios de los necesarios para cumplir una función dada.

### **3.5.2 Redundancia en un DCS.**

Generalmente en un DCS existe la posibilidad de contar con módulos redundantes de casi cualquier componente. Los módulos de interfaz con el operador no aplican este concepto, pues todas son capaces de acceder la misma información, con lo que la falla de un módulo de este tipo, no tiene un impacto grave en la operación del proceso. La redundancia en el DCS se realiza de manera transparente al usuario durante la operación y desarrollo de aplicaciones. La entrada del módulo redundante es inmediata, impidiendo disturbios en el proceso. El cableado de las redes de comunicación también es redundante, e instalado por rutas independientes. En

el caso de los módulos de control con conexión al proceso se cuenta con redundancia desde la fuente de alimentación hasta las tarjetas de entradas/salidas o el procesador principal. Incluso hay circuitos para analizar la señal proveniente de campo y verificar la salida de las tarjetas. Esto permite hallar la mejor solución entre el costo y el aumento de la disponibilidad del sistema. La redundancia se utiliza básicamente para aumentar la disponibilidad del sistema o por razones de seguridad. Hay normas como la DIN V19.250, y IEC SC65A que establecen criterios para determinar cuando es justificable la redundancia por motivos de seguridad. El aspecto del aumento de disponibilidad es más fácil de evaluar a través de un análisis costo/beneficio.

### **3.5.3 Controladores especiales. Ejemplo de un controlador Triconex.**

Para aplicaciones críticas, se puede recurrir al uso de un controlador tolerante a fallas que se pueda comunicar con el DCS, se encargue del control de una parte del proceso y reporte el estado del mismo a los demás módulos.

Un controlador tolerante a fallas es aquel que compensa la falla de sus componentes y permite su reparación en línea sin interrumpir el proceso.

El Triconex es un controlador de este tipo que está basado en una arquitectura triple modular redundante (TMR, Triple Modular Redundant). Un sistema Triconex puede estar constituido hasta por 15 gabinetes locales o remotos, para un total de 2300 puntos de entrada/salida. La arquitectura TMR emplea tres sistemas de control paralelos e independientes con múltiples rutinas de diagnóstico. Las entradas del campo se distribuyen en tres rutas diferentes en la tarjeta de entrada y se envían por tres caminos independientes a cada procesador principal. El controlador usa un sistema de votación para obtener el estado de las entradas y/o salidas por mayoría, 2 de 3.

El bus de comunicación TRibus, lleva a cabo la votación dos de tres, y elimina diferencias entre las señales de entrada. Esto asegura que cada procesador ejecuta el programa de aplicación con los datos de la votación.

Las salidas al proceso se mandan a través de tres buses distintos hacia las tarjetas de salidas, donde se vota y selecciona su estado para asegurar la integridad de la información. Los circuitos de votación incluyen una retroalimentación de la salida para la validación final de las mismas, y para el diagnóstico de fallas inminentes.

Para elaborar una aplicación se necesita un solo programa de aplicación, pues la arquitectura TMR es transparente para el usuario. La configuración se realiza en diagrama de escalera por medio de una computadora personal 386/486.

Algunas características del Triconex son:

- No hay un punto de falla individual
- Se puede operar con 3,2 o un procesador principal
- Arquitectura transparente al usuario
- Reparación en línea
- Diversidad de tarjetas de entrada/salida
- Conexión a sistemas DCS

Algunas aplicaciones del controlador son:

- Sistemas de paro de emergencia como en recipientes a presión, compresores y reactores.
- Control de quemadores. Monitoreo de permisos de arranque/paro y detección de flama.
- Controles de seguridad de turbinas. Control de velocidad, arranque y paro.

### **3.6 Criterios de selección de un DCS.**

Antes de enumerar los criterios de selección de un DCS, es necesario realizar un análisis para saber si realmente un sistema de control distribuido resolverá los problemas de automatización de un proceso determinado. Para ello se formulan las siguientes ocho (8) preguntas:

1. ¿Cuál es la distribución de los procesos dentro de la planta y qué distancias existen entre ellos? Ya que si los procesos son de un número reducido de lazos de control y se encuentran localizados en un área pequeña, tal vez un DCS no sea la solución más adecuada.
2. ¿Hay una cantidad importante de señales de control digital, señales discretas? De ser así, probablemente un Controlador Lógico Programable sea un mejor solución.
3. ¿Primordialmente se requiere la adquisición de datos? De ser así existen equipos dedicados para tales aplicaciones (SCADA).
4. ¿Se requiere de un sistema flexible? Si va a ser necesario cambiar las estrategias de control después de haber arrancado el sistema, un DCS será una buena alternativa.
5. ¿Existe la posibilidad de expansión futura dentro del sistema? De ser así la modularidad que presenta un DCS no necesariamente es una ventaja.
6. ¿Qué tan sofisticada será la estrategia de control? Si la aplicación implica un sistema de control de calefacción, control de niveles en tanques o un sistema de control y monitoreo de temperaturas en un horno, en los cuales únicamente están formados con una o dos unidades, un control analógico será la mejor opción. Para procesos en los cuales exista mucha interacción, continuos y grandes cambios dentro del proceso, o cambios en las formulaciones en forma de inferencias, un DCS presenta una mejor alternativa.
7. ¿El personal de la planta aceptará un nuevo concepto tal como un DCS que implica un cambio radical en la operación del proceso?
8. ¿La situación del equipo actual, instalaciones generales de planta y constitución del ambiente dentro de planta es favorable para instalar el equipo relacionado con un DCS? ¿Se deberá gastar una cantidad importante en poner en condiciones la planta para proteger el equipo?

En el caso de usar un DCS se deberá tomar en cuenta que el costo del hardware, instalación, mantenimiento y entrenamiento es muy alto, lo que implica seleccionar a una compañía capaz de resolver el problema.

Una vez que se determinó que un DCS es la mejor alternativa para dar solución al control de un sistema de producción, se debe hacer un análisis detallado para poder seleccionar tanto al sistema como al proveedor más adecuados.

No deja de ser complicado hacer una selección de un sistema que en sí es complejo y más con una oferta de sistemas muy competitivos que en la actualidad reúnen excelentes niveles de calidad.

Entre los principales fabricantes DCS junto con su principal producto tenemos:

- Asea Brown Boveri (MOD 300)
- Bailey Controls (INFI gr)
- Fisher & Porter (DCI System Six)
- Fisher-Rosemount systems (RTM/1 Solutions)
- Foxboro (I/A Series System)
- Honeywell (TDC 3000)
- Johnson Yokogawa Corporation ( $\mu$ XL y CENTIUM XL)
- Leeds & Northrup (MAX 1000)
- Measurex Corporation (MXOpen)
- Micon, Powell Process Systems (A/S Open)
- Moore Products (Mycro APACS)
- Reliance Electric Company (AutoMax DCS)
- Texas Instruments (D/3)
- Toshiba International (TOSDIC CIE)
- Westinghouse (WDPF II)

Cada uno de ellos ofrece arquitecturas con hardware y software propios, de muy alta calidad, probados y actualmente en operación en diferentes tipos de industrias en todo el mundo. Varios de ellos tienen puntos en común en las funciones que ofrecen sus equipos y sistemas, sin

embargo hay funciones exclusivas de algunos que les permiten abarcar con más flexibilidad un mayor número de aplicaciones. Es por estos factores que es imprescindible realizar un análisis completo haciendo especial énfasis en dos puntos: la experiencia (currículum) del proveedor y su capacidad de servicio, factores determinantes en la actualidad en la que las diferencias de hardware se van acortando.

**a) Distribución geográfica de la planta.**

Se debe considerar la longitud máxima que va a tener la instalación para determinar dos puntos básicos: la longitud máxima a la cual van a ser conectados los dispositivos de I/Os de los controladores y la máxima longitud de la red de comunicaciones.

**b) Grado de acoplamiento entre subprocesos.**

Se debe determinar el nivel jerárquico entre los procesos y subprocesos para que las funciones de control y su prioridad en el DCS sean congruentes.

**c) Ambiente del proceso.**

Se debe considerar las condiciones a las cuales va a estar sometido el equipo, tales como: temperatura, humedad, tipo de atmósfera, vibración, variaciones de voltaje, ruido eléctrico, etc. Evidentemente este tipo de equipo está diseñado para ambientes de tipo industrial sin embargo existen diferencias en las tolerancias de los factores anteriores de una marca a otra por lo que se deberá tomar en cuenta para prevenir un costo adicional para realizar las adaptaciones necesarias.

**d) Control secuencial.**

Actualmente los DCS se están moviendo hacia una plataforma más amigable con PCs y PLC por lo que si el sistema requiere de un buen número de operaciones secuenciales se deberán considerar seriamente los DCS con configuraciones abiertas a PLCs o sus funciones ya integradas, como es el caso de MOORE PRODUCTS.

**e) Necesidades del operador y del ingeniero.**

No se debe olvidar que existe una gran diferencia conceptual y operativa entre el operador y el ingeniero. Lo que para el ingeniero es la mejor alternativa no necesariamente lo es para el operador. La experiencia ha mostrado más de un fracaso en instalaciones completas por las diferencias entre estos dos elementos.

**f) Confiabilidad.**

El proveedor deberá mostrar un estudio estadístico de ocurrencia de fallas en sus equipos y la efectividad que tienen sus sistemas de tolerancia a fallas.

**g) Naturaleza de los procesos: Por lotes (Batch) o continuos.**

Todos los sistemas ofrecidos por los proveedores mencionados cubren al 100% aplicaciones de procesos continuos y tipo "Batch" con funciones de alto nivel y lenguaje secuencial. Tal vez uno de los factores a considerar sea que tan amigable es el lenguaje, ya que puede ser como el de RELIANCE ELECTRIC que corre en una PC compatible con IBM y bajo ambiente Windows o como el de ASEA BROWN BOVERI que corre con funciones de lenguaje estructurado o lógica escalera.

**h) Requerimiento de alta velocidad y alta exactitud.**

Son factores de suma importancia cuando se manejan volúmenes muy grandes de datos, por lo que es necesario tomar en cuenta las especificaciones de velocidad de transmisión de información entre niveles y potencial matemático de algoritmos de alto nivel.

**i) Necesidad de un control supervisorio complejo.**

Es frecuente manejar arquitecturas complejas de control supervisorio por lo que no todos los DCS ofrecen las mismas alternativas. Se requiere desarrollar un cuadro denotando las necesidades y verificando las alternativas de solución de cada uno.

**j) Número de lazos cerrados en cada localidad y número total de variables.**

Se requiere especificar el número y tipo de entradas y salidas (I/Os) así como los lazos de control en los cuales intervienen y su tipo. Normalmente los DCS están orientados a manejar un alto número de lazos cerrados de control, de lo que podemos suponer que no es una limitante.

**k) Crecimiento futuro del sistema.**

Se debe determinar que crecimiento tendrá el sistema para incluirlo en el diseño inicial y verificar la capacidad de expansión que ofrece cada proveedor.

**l) La necesidad de conectar el sistema nuevo a un sistema anterior.**

Un problema que se presenta sobre todo con los proveedores de mayor antigüedad como es el caso de FOXBORO quien ofrece interfaces de comunicaciones con familias anteriores. Por este motivo se deberá prever que el equipo ofrezca escalabilidad a configuraciones futuras.

**m) La necesidad de modificar el sistema frecuentemente.**

La flexibilidad del sistema tanto en hardware como en software es un punto clave ya que deberán permitir cambios en línea ("on line"), es decir, sin tener que sacar de operación al sistema para realizar algún cambio. La mayoría de los DCS permiten programación "on line" y reemplazo de tarjetas con el equipo energizado.

**n) La intención de hacer que el personal de la planta se haga responsable de la operación y mantenimiento del sistema.**

Se requiere anticipar los niveles y profundidad de la capacitación que se requiere y si el proveedor tiene las facilidades de otorgarla tanto antes como durante de la instalación del DCS.

**o) La existencia de sensores y actuadores situados remotamente.**

Todos los DCS permiten esta función, pero la diferencia está en la longitud máxima permitida y el número de dispositivos, por lo que ambos datos deberán ser verificados. Como ejemplo

podemos mencionar que FOXBORO permite conexiones hasta de 20 km, mientras que JOHNSON YOKOGAWA CORPORATION de hasta 50 m.

**p) Software coordinado.**

La mayoría de los proveedores tienen paquetes para manejar varios lazos de control que forman un proceso, sin embargo, es importante comparar el número de lazos que pueden ser manejados por el software y la complejidad del algoritmo de coordinación requerido.

**q) Conexión al sistema gerencial.**

Las especificaciones de conexiones de alto nivel varían significativamente entre los distintos proveedores, tanto en velocidades como en protocolos, por lo que habrá que prestar suma atención en la selección en este punto, debido a que también se deberá tomar en cuenta la flexibilidad de interconexión entre diferentes equipos, porque ya estén instalados o porque en un futuro lo estarán.

**r) Costo.**

Factor que para los departamentos técnicos no tiene una importancia determinante pero que para el departamento de finanzas de una planta puede definir radicalmente que sistema se instalará. Esto a orillado a que los proveedores cuiden que sus precios se mantengan en rangos competitivos. Sin embargo se puede decir que los equipos básicos de un DCS tienen un precio estándar, aunque la diferencia radicarán en los dispositivos de campo, sensores y actuadores que se seleccionen.

**s) Capacidades del fabricante y/o integrador.**

Estos son los factores que se deberán considerar para definir cuál es el proveedor más calificado:

- Capacidades corporativas.
- Capacidades de su personal.
- Experiencia en instalaciones a nivel internacional.

- Estado financiero de la compañía.
- Experiencia en manejo de proyectos.
- Experiencia del personal de ingeniería.
- Capacidad de soporte en instalaciones y arranques.
- Experiencia en servicio post venta.
- Localización de almacenes con partes de repuesto.
- Tiempo mínimo de respuesta para atención a fallas.
- Curriculum de aplicaciones realizadas, cuántas instalaciones han vendido y cuántas han instalado y puesto en marcha.
- Capacidad de soporte técnico.
- Experiencia en diferentes campos de aplicación.
- ¿Qué tipo de documentación está en disposición?
  - Manuales de servicio
  - Dibujos de ingeniería
  - Formas de configuración
  - Manuales de programación

t) Definir requerimientos de los siguientes conceptos y analizar capacidades de cada proveedor.

- Alarmas
- Voltajes
- Algoritmos
- Tendencias
- Gráficos
- Dispositivos de desplegado de información (Displays)
- Impresoras
- Unidades de disco
- Modularidad
- Cantidad de memoria y tipo

- Capacidad de reserva
- Tolerancia a fallas
- Reportes

Por último es necesario que se redacte un documento al cual se le conoce como "Paquete de Especificaciones", en el que se describe en forma detallada la aplicación para que la compañía que vaya a presentar una solución tenga la información necesaria para cotizar y así mismo le permite al usuario hacer una evaluación de las ofertas que le presenten y finalmente tomar una decisión en la selección del DCS.

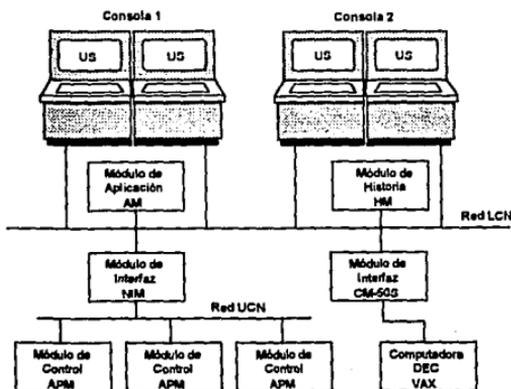
### **3.7 Ejemplo de un DCS: TDC-3000 de Honeywell.**

A continuación se presenta como ejemplo de los puntos tratados anteriormente en este capítulo, y por el grado de familiaridad con este equipo al TDC-3000 de Honeywell. La arquitectura de este DCS se muestra en la figura 3.26.

#### **Redes de comunicaciones.**

Se puede notar que en este sistema se contempla el uso de tres redes principales de comunicaciones:

- La red UCN (Universal Control Network) es una red con cableado redundante, de 5 megabits por segundo, de banda ancha con protocolo "token pass" basada en los estándares IEEE 802.2 y 802.4 que comunica a los dispositivos controladores con conexión al proceso.



**Figura 3.26** Ejemplo de arquitectura del TDC-3000 de Honeywell.

- La red LCN (Local Control Network) de características similares a la red UCN, comunica a los módulos de interfaz con el operador, al módulo de almacenamiento, y otros módulos como gateways con computadoras de otras marcas y PLCs. La comunicación entre la red LCN y UCN se realiza a través de un módulo llamado NIM (Network Interface Module).
- La red llamada Data Hiway es una red redundante de comunicación serial en palabras de 31 bits, a una velocidad de 250,000 bits por segundo, que comunica a los módulos de la generación anterior de este sistema, el TDC-2000. La integración de estos módulos al nuevo sistema es posible mediante un gateway denominado HG (Hiway Gateway). El HG permite el acceso a la información de los módulos del TDC-2000 de manera transparente al usuario o para los módulos del LCN que necesiten usar esta información.

En el LCN se conectan los diferentes gateways con que cuenta el sistema, algunos de los cuales son:

- **Personal Computer Network Manager (PCNM).** Este módulo permite la conexión de una red local de computadoras personales compatibles IBM a la red LCN.
- **Programmable Logic Controller Gateway (PLCG).** Este módulo permite la conexión de PLCs de diferentes marcas a la red LCN, así como la conexión de otros sistemas como un controlador de procesos críticos Triconex.
- **Computing Module 50S (CM50S).** Este módulo permite que una computadora VAX o MicroVAX de Digital Equipment Corporation, actúe como un módulo de la red LCN, con la posibilidad de acceder y escribir datos a cualquier módulo de la red LCN en tiempo real. Este módulo tiene conexión directa al bus de la VAX. Una variante de este módulo, el CM50N, se conecta a una red DECnet de computadoras VAX.
- **Network Interface Module (NIM).** Este módulo comunica las redes LCN y UCN. No solo realiza la conversión de datos, sino que este módulo mantiene una imagen actualizada de la base de datos de todos los dispositivos conectados a esa red UCN, evitando que los módulos del LCN tengan que leer o escribir datos directamente a cada controlador.

Modulos de control de procesos y adquisición de datos.

El principal módulo de control en el sistema TDC-3000 es el Advanced Process Manager (APM). Este módulo es capaz de realizar funciones de control y adquisición de datos:

- Hasta 160 lazos de control regulatorio
- Control lógico y de motores
- Control de procesos batch
- Programas del usuario escritos en Control Language (CL)
- Comunicación serial con otros subsistemas o dispositivos de otras marcas
- Gabinetes remotos de entradas/salidas comunicados via fibra óptica
- Integración digital de transmisores inteligentes

El APM cuenta en su arquitectura con varios procesadores, lo cual se muestra en la figura 3.27. Esta arquitectura asegura el cumplir con la velocidad de procesamiento de las funciones de control, adquisición y acondicionamiento de entradas/salidas, y comunicaciones aún a plena carga. La asignación de los diferentes procesadores es la siguiente:

- Procesador avanzado de control. Ejecuta todos los algoritmos y programas de control.
- Procesador avanzado de comunicaciones. Enlaza todos los datos de control, entradas/salidas y autodiagnóstico a la red UCN. Mantiene la sincronía del APM con la red UCN y maneja también todas las peticiones de comunicación punto a punto "peer to peer communication" con otros controladores conectados a la misma red.

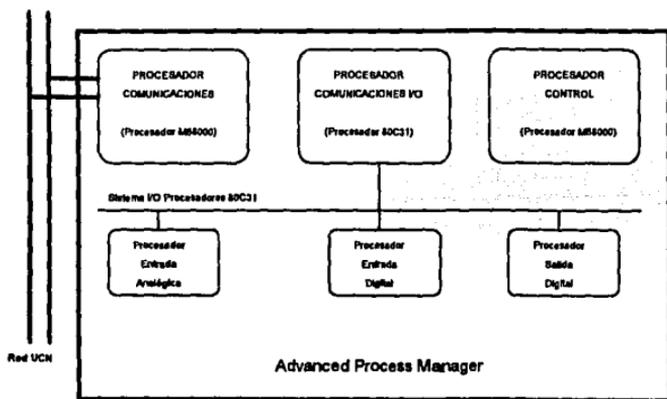


Figura 3.27 Arquitectura del APM.

- Procesador I/O Link. Administra la comunicación en la red redundante hacia las tarjetas de entradas/salidas.

- Procesadores de entradas/salidas "I/O Processors". Se encuentran en cada tarjeta de I/O y se encargan de la adquisición y acondicionamiento de las señales del proceso. Además cuentan con funciones de autodiagnóstico.

Para mayor flexibilidad, se pueden procesar algunos puntos específicos cada cuarto de segundo, mientras que otros puntos del mismo tipo se pueden procesar cada 1/2 segundo o cada segundo.

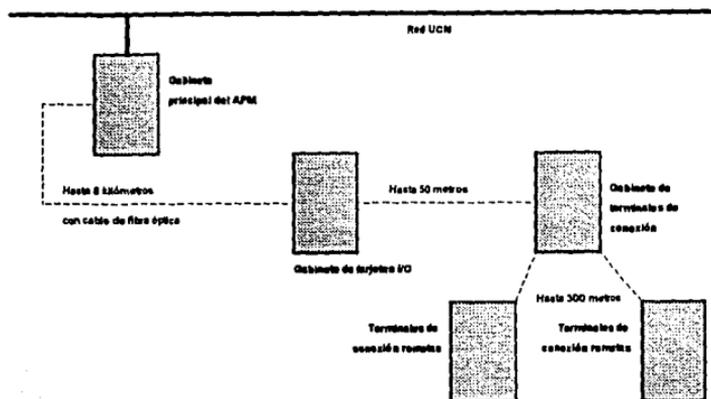
El diseño del APM es modular, por lo que los gabinetes se pueden encontrar con los procesadores más las entradas/salidas, o sólo con procesadores de entradas/salidas.

Las señales del campo se conectan a unas tabillas terminales llamadas FTAs (Field Terminal Assembly). A su vez, los FTAs se conectan a su correspondiente procesador de entradas/salidas que se puede encontrar hasta una distancia de 50 metros.

Los gabinetes con entradas/salidas se pueden instalar en localidades remotas. El I/O Link Extender soporta distancias de hasta un kilómetro mientras que el Long Distance I/O Link Extender permite instalar los gabinetes remotos de entradas/salidas hasta ocho kilómetros del gabinete principal del APM. La conexión con los gabinetes remotos se realiza por medio de fibras ópticas redundantes que permiten mantener la velocidad de procesamiento además de ser inmune a la interferencia en la comunicación. Cada APM puede disponer de hasta seis gabinetes remotos. Esta disposición de los gabinetes del APM se muestra en la figura 3.28.

El APM ofrece los siguientes procesadores de entradas/salidas:

- Entrada analógica.
- Salida analógica.
- Entrada de RTDs y termopares.
- Entradas/salidas digitales.
- Entradas de pulso hasta 20 kHz.



**Figura 3.26** Disposición de gabinetes del APM.

- Procesador de comunicación serial para conexión con dispositivos compatibles con Modbus.
- Secuencia de eventos de un milisegundo de resolución para entradas digitales.
- Comunicación serial bidireccional con transmisores inteligentes Honeywell, con la posibilidad de realizar configuración y carga de base de datos remota de estos instrumentos.
- Comunicación serial bidireccional con controladores unilazo Honeywell.

En el aspecto de confiabilidad el APM cuenta con rutinas de autodiagnóstico de todos sus componentes. La red UCN y los demás canales de comunicación del APM cuentan con cableado redundante. Desde el punto de vista hardware se puede tener un juego de procesadores del APM redundante así como tarjetas redundantes de entradas/salidas en donde se desee. La fuente de alimentación es redundante y puede contar con una batería de respaldo en cada gabinete local o remoto.

Módulo de almacenamiento de información.

El Módulo de Historia (HM), es uno de los módulos que se conectan a la red LCN. El HM se puede comunicar con todos los módulos conectados a la red LCN, con todos los módulos de control conectados a la red UCN, y con los módulos conectados al Data Hiway. Este módulo almacena información del proceso y del sistema, la cual puede ser visualizada o impresa a través del módulo de interfaz con el operador. También los gateways de comunicación con otras computadoras como el CM50 explicado anteriormente, pueden acceder la información almacenada en el HM para satisfacer las necesidades de información de diferentes departamentos de la empresa.

El HM sirve como un servidor de diferentes tipos de información para todo el sistema. Los tipos de información que puede almacenar si así se desea son los siguientes:

a) Historización de variables del proceso.

- Valores instantáneos.
- Promedios.

b) Bitácoras de eventos.

- Eventos en el proceso
- Eventos del TDC-3000 (provenientes de las rutinas de autodiagnóstico del hardware)

c) Archivos necesarios durante la operación del sistema.

- Gráficos de operación compilados.
- Respaldos actualizados de la base de datos de todo el sistema.
- Programas del usuario.
- Archivos para la configuración del sistema.

d) Archivos del sistema.

- Programas operativos de cada módulo para ser cargados al encender el sistema.

e) Programas de análisis en línea.

- Programas para mantenimiento y localización de fallas del sistema.

Los tipos de información a almacenar y el espacio dedicado a cada uno se establecen al hacer la configuración del sistema.

Algunos factores que afectan la cantidad de espacio de almacenamiento necesario son:

- El número de funciones dentro de las opciones disponibles, que se desea que realice el HM
- El número de módulos conectados a la red UCN
- El número de módulos de control y adquisición de datos conectados a las redes UCN o Data Hiway del sistema.
- El número de variables a historizar
- El tiempo que se desea guardar un dato histórico

En la función de almacenamiento de datos históricos, el HM puede almacenar hasta 2400 valores cada minuto. Estos valores se usan para calcular los siguientes promedios:

- Promedio por hora de la última semana.
- Promedio al turno de la última semana.
- Promedios diarios del último mes.
- Promedios mensuales del último año.

Adicionalmente se pueden configurar otras opciones como promedios en un periodo especificado por el usuario.

El HM puede estar compuesto por uno o hasta cuatro discos, que pueden ser redundantes o no. Cada disco tiene una capacidad aproximada de 136 megabytes.

**Módulo de control supervisorio.**

El Módulo de Aplicación (AM), es uno de los módulos que se conectan a la red LCN. Su función es la de procesar algoritmos de control y cálculo avanzados. Cada AM es capaz de procesar muchos más puntos que los módulos de control y adquisición de datos (APM). El AM incluye un juego de algoritmos y funciones, pero también está diseñado para ejecutar programas del

usuario programados en el lenguaje CL (Control Language). Por su posición en la arquitectura del sistema, el AM puede leer información de cualquier dispositivo conectado al proceso, así como del resto de los módulos en la red LCN. Los resultados de los cálculos del AM pueden escribirse de igual manera a cualquier módulo del sistema.

La base de datos del AM está compuesta por una serie de puntos identificados por una etiqueta. Cada punto es un conjunto de parámetros fijos y variables que desempeñan una función específica. Durante la configuración del AM, se define el nombre o etiqueta del punto, el tipo de función que realiza, el algoritmo seleccionado si aplica esta opción, las variables de entrada, que pueden ser hasta 16 provenientes de diferentes módulos, las salidas (hasta 8), los límites de alarma y el tiempo de barrido al que debe ejecutarse.

Cada uno de los puntos definidos se puede ejecutar de manera rápida o lenta, con tiempos de barrido que van de 1 vez por segundo a una vez cada 24 horas. Los puntos que se deben ejecutar de manera rápida son procesados con prioridad a intervalos regulares. Los puntos que no son críticos, se ejecutan con un tiempo de barrido más largo, de manera que no interfieran con el procesamiento de los puntos definidos como críticos. Además de poder escoger el tiempo de barrido, se puede especificar si un punto debe ser procesado antes o después de algún otro, bajo demanda, o sólo cuando ocurra un evento específico en el proceso. El lenguaje CL permite que el usuario defina sus propios algoritmos y rutinas de procesamiento. Cada programa puede estar ligado a una biblioteca de datos. Estos datos del usuario están disponibles para desplegados del operador u otras funciones. Algunos de los algoritmos ya programados en el AM se muestran en la siguiente tabla:

Algoritmos de cálculo	Compensación de flujo Sumador Divisor/multiplicador Suma de productos Totalizador Linearización Selector de promedio alto/bajo PID con diferentes opciones Adelanto/retraso Switch Algoritmo programado en CL Control de relación
Algoritmos de control regulatorio	

Aun las funciones estándar del AM pueden ser modificadas, ya que se puede insertar un programa de CL con un algoritmo especial, en diferentes partes del procesamiento estándar de un punto.

También existen aplicaciones hechas por Honeywell que se procesan en el AM. Algunos ejemplos son programas de control multivariable, o de simulación de procesos, o de sintonización de lazos de control.

El AM puede ser sencillo o redundante, y se pueden tener hasta diez en cada red LCN, aumentando la capacidad de procesamiento de información del TDC-3000.

Módulo de interfaz con el operador

La Estación Universal (US) es el Interfaz hombre-máquina del TDC-3000.

Este módulo se conecta a la red LCN y se comunica con todos los módulos del sistema TDC-3000. La US se muestra en la figura 3.29. Está diseñada para ser una ventana universal al sistema y al proceso, para realizar las funciones requeridas por los siguientes usuarios:

- El operador puede monitorear y manipular el proceso y el sistema, teniendo acceso a información histórica del mismo.
- La US permite al ingeniero del proceso, el configurar la base de datos del sistema, elaborar los desplegados gráficos para operación y escribir, probar y compilar programas de CL.

El técnico de mantenimiento tiene acceso a las bitácoras de funcionamiento de cada módulo y a los programas de prueba y diagnóstico de fallas.

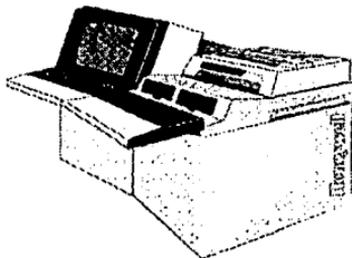


Figura 3.29 Estación universal.

FALLA DE ORIGEN

Una US se instala en un gabinete especial que contiene un CRT a color de alta resolución, de 19 in., un teclado de operador, más las tarjetas electrónicas que lo componen. Las US se pueden agrupar junto con sus dispositivos periféricos y opciones para formar una consola de operación, como la que se muestra en la figura 3.30. La consola contiene todo lo necesario para realizar funciones de operación y configuración del sistema. Para este fin se incluyen dispositivos periféricos tales como impresoras, registradores, impresoras de video o a color, teclados de ingeniero y unidades de cartuchos removibles de 5 1/4 pulgadas, cada uno con capacidad de almacenar 20 megabytes de información.

El teclado del operador (fig. 3.31) es un teclado de membrana con retroalimentación auditiva al oprimir una tecla. El teclado está dividido por funciones. Las teclas del lado derecho agrupan funciones del sistema, de manejo de alarmas y de manipulación de lazos de control. Las ochenta y seis teclas del lado izquierdo del teclado son programables. Su función se define al realizar la configuración del sistema. Algunas de las teclas programables cuentan con un par de LEDs, rojo a la izquierda y amarillo del lado derecho. Estos indicadores son controlados por software y definidos igualmente durante la configuración del sistema. Los indicadores pueden parpadear a dos frecuencias diferentes, y sus colores pueden ser usados para distinguir la prioridad de una alarma o evento que ha sucedido en el proceso. Una aplicación típica de estas teclas consistiría en

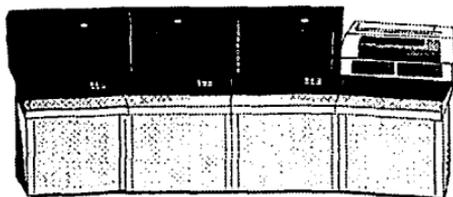


Figura 3.30 Consola de operación.

asignar que al oprimirla se llame a la pantalla a un gráfico de operación definido por el usuario que contenga la información de algún sistema del proceso. De esta forma, los indicadores en la tecla se usarían para indicar la existencia de alguna alarma en los equipos mostrados en el gráfico de operación. Los colores de cada indicador se usarían para distinguir la prioridad de la alarma, y el parpadeo para saber si la alarma está presente o si ha sido reconocida por el operador. Estas teclas tienen entonces, la ventaja de ofrecer información valiosa al operador aún cuando este se encuentre viendo otro algún otro gráfico en la pantalla.

El teclado del ingeniero, es portátil y se puede conectar a cualquier US. Su arreglo es el de un teclado QWERTY de computadora con la adición de teclas de funciones especiales y 17 teclas programables que pueden configurarse para realizar acciones como las existentes en el teclado de operador.

Los diferentes usuarios de la US pueden ver desplegados o gráficos, y alimentar datos al sistema por medio del teclado o seleccionando en una pantalla sensible al tacto, o con la ayuda de un trackball o mouse. En general, hay tres maneras de llamar un desplegado:

- Por medio de una tecla de función especial
- Usando una tecla programable previamente configurada

A través de un menú en pantalla presente en otro gráfico.

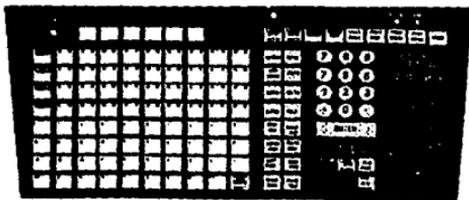


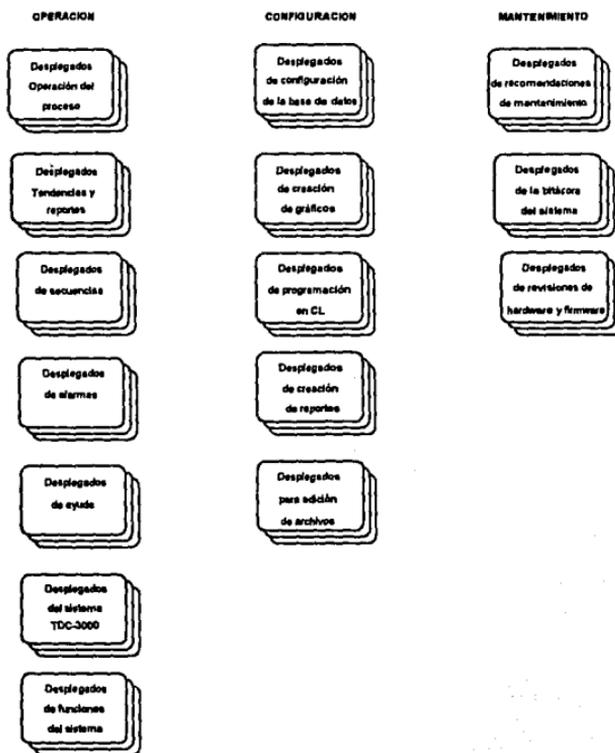
Figura 3.31 Teclado de operación.

Las unidades de cartucho removible se usan para cargar los programas operativos de los módulos conectados a la red LCN, así como sus bases de datos. También pueden contener archivos y programas del usuario así como programas de aplicación elaborados por Honeywell. La impresora de matriz de puntos se usa para imprimir bitácoras, reportes, tendencias o desplegados. Existen otras impresoras que permiten obtener una impresión a color de lo que se muestra en pantalla, ya sean desplegados del sistema o gráficos de operación elaborados por el usuario.

El acceso a las funciones que se pueden realizar en la US se controla por medio de una llave con tres posiciones. En la posición de operación el operador puede realizar cambios y manipular el proceso, pero no puede acceder parámetros o información más crítica. En la posición de supervisión, se pueden realizar cambios en parámetros críticos del proceso. En la posición de ingeniero, se tiene acceso a toda la base de datos y a cualquier parámetro del sistema y de la operación. Hay otro nivel de acceso que permite ver cualquier desplegado en la US, pero no se puede cambiar ningún dato o parámetro. Hay opciones para que durante la configuración del sistema se decida el nivel de acceso requerido para cada función que se puede realizar en la estación. Como medida de seguridad adicional, cada dato que se alimenta al sistema es verificado para ver si corresponde al dato requerido, o si está dentro de un rango adecuado. De no ser así el dato es rechazado, se despliega una alarma en la parte superior de la pantalla y se genera un aviso audible.

La figura 3.32 muestra los tipos de gráficos disponibles para cada usuario de la US.

El operador puede manipular y monitorear el proceso, o la parte del proceso asignada a esa estación a través de desplegados gráficos, desplegados del sistema para operación y desplegados de alarma. Además cuenta con bitácoras y desplegados de tendencias para el manejo de los datos históricos.



**Figura 3.32** Desplegados disponibles para cada usuario de la US.

Los desplegados disponibles para la operación del proceso se pueden clasificar en tres categorías, que serán explicadas a continuación.

a) Desplegados del proceso. Estos desplegados se relacionan al monitoreo y control del proceso y permiten que se realicen las siguientes funciones:

- Monitoreo y control de procesos continuos y por lotes.

- Cambio de parámetros del proceso, modos de control, arranque/ paro de secuencias.
  - Monitoreo de tendencias.
  - Manejo de alarmas del proceso, de las secuencias o mensajes del sistema
- el nivel de detalle de la información disponible en esta categoría de desplegados se puede clasificar de la siguiente manera:
- Desplegados de Área. Estos desplegados resumen la información del área del proceso asignada a esa consola de operación.
  - Desplegados de Unidades. Estos resumen la información de una unidad del proceso. (Cada área se subdivide en unidades, ver fig. 3.33)
  - Desplegados de Grupo. Muestra los valores, tendencias y status de hasta ocho puntos a la vez. También incluye el status de secuencias, si se les incluye en el grupo. Se puede acceder a través de una tecla configurada para este fin en el teclado del operador.
  - Desplegados de Detalle. Presenta toda la información concierne a un solo punto de la base de datos o a una secuencia. Se puede acceder a través de una tecla configurada para este fin en el teclado del operador.

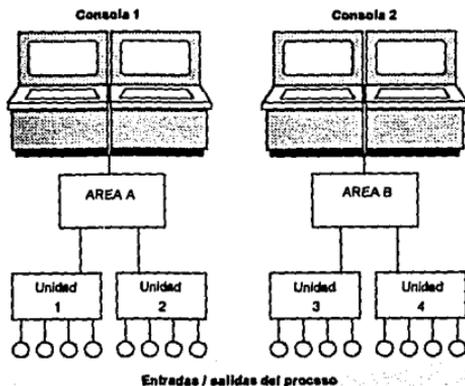
Los principales desplegados de operación son los desplegados de grupo, de detalle y los gráficos de operación configurados por el usuario.

Se pueden definir hasta cuatrocientos desplegados de grupo, cada uno muestra la información de hasta ocho puntos o secuencias. Un punto puede aparecer en varios grupos, y existen ocho desplegados de grupos que se pueden configurar e invocar en línea.

Un desplegado de detalle muestra la información correspondiente a un punto en la base de datos.

El más útil de estos desplegados es el gráfico configurado por el usuario. Este gráfico está diseñado para cada proceso particular, basados en conceptos y prácticas comunes a cada compañía. Estos desplegados pueden contener información gráfica, texto, y tendencias. Se pueden elaborar con el nivel de detalle deseado, desde un área completa al detalle de un punto.

Desde estos gráficos se pueden parar y arrancar equipos, secuencias, modificar parámetros del sistema, representar alarmas de varias formas, y pueden incluir un menú diseñado por el usuario, para llamar otros gráficos o desplegados estándar del sistema.



**Figura 3.33** División de la base en áreas y unidades.

Estos desplegados pueden estar residentes en la memoria de la US o almacenados en disco duro en el HM o en cartuchos, por lo que el número de gráficos que se pueden contruir y utilizar es casi ilimitado.

Los desplegados de tendencias muestran la información histórica de las variables del proceso seleccionadas. Los desplegados de tendencias de área y unidad muestran la información de hasta 24 variables del proceso. Las tendencias de grupo, muestran la información de hasta ocho variables. Ambos desplegados de tendencias pueden ser mostrados en pantalla o impresos con una escala de tiempo fija, o en un periodo definido por el usuario.

Los desplegados de alarma notifican al operador de la existencia de algún disturbio en el proceso o de alguna falla en un componente del sistema.

Las alarmas relacionadas con el proceso pueden tener asignadas alguna de las prioridades que se muestran en la siguiente tabla:

Prioridad de la alarma	Acción en la US	Acción en el HM
Emergencia	Desplegado en pantalla, impresión opcional	Registro en bitácora
Alta	Desplegado en pantalla, impresión opcional	Registro en bitácora
Baja	Desplegado en pantalla, impresión opcional	Registro en bitácora
Bitácora	Impresión opcional	Registro en bitácora
No acción	Ninguna	Ninguna

Cuando ocurre una alarma, sucede lo siguiente. El indicador luminoso en la tecla ALARM SUMM en el teclado del operador comienza a parpadear. Además la US tiene tres contactos para conectar un mecanismo externo como una sirena o indicador luminoso. La alarma es almacenada en la bitácora apropiada en el HM e impresa si se desea a través de la impresora asignada a la consola de operación. La alarma se muestra parpadeando en todos los desplegados relacionados con la alarma. La alarma parpadea hasta ser reconocida por el operador y permanece indicada hasta que desaparezca la condición de alarma.

En el desplegado del resumen de alarmas se muestran hasta 100 de las más recientes alarmas de todas prioridades, agrupadas por unidad.

#### b) Desplegados del sistema TDC-3000.

Este desplegado muestra el estado de todos los módulos que componen el sistema en las redes LCN, UCN y Data Hiway. Este desplegado se llama desde la tecla SYST STATS del teclado de operador. A través de las opciones en este desplegado se puede ver el estado de los módulos que forman la consola de operación, realizar algunas funciones como cambios de nivel de acceso en las US, monitoreo de los periféricos como impresoras, hasta llegar al detalle de

cualquier módulo en el sistema. Cada tipo de módulo de la red LCN se muestra en un desplegado aparte adonde se puede ver el status de cada módulo individual, y se realizan funciones como reiniciar o apagar un módulo, carga de su programa operativo y respaldo y carga de su base de datos.

En el caso de las redes UCN, se puede llegar al detalle de cada APM, e incluso hasta el detalle de cada tarjeta de entradas/salidas.

### c) Desplegado de funciones del sistema.

Desde este desplegado se seleccionan diferentes funciones del sistema. Una de las principales funciones que se seleccionan en este desplegado es la consulta de la base de datos del sistema. Hay opciones para clasificar los puntos de la base de datos por módulo en donde residen, por unidad o área a la que pertenecen, por tipo de punto y hasta por atributos o estado, como una lista de todos los controladores en el sistema que se encuentren en modo manual, o todos los puntos cuya alarma ha sido deshabilitada, por ejemplo. Otra función es la consulta de la bitácora de eventos del sistema o de datos históricos de variables del proceso en forma numérica en un periodo de tiempo definido por el usuario. Estas consultas pueden ser desplegadas en pantalla y además impresas. Otras funciones incluyen el obtener una lista de todos los gráficos disponibles, de todos los desplegados de grupo existentes, y de modificar aquellos que se pueden configurar en línea.

Las funciones útiles para la configuración del sistema se accesan sobretodo desde el Menú principal de ingeniería. La mayoría de estas opciones contienen desplegados preformateados en donde se llenan los huecos para alimentar al sistema con la información necesaria para formar la base de datos del sistema. Varias opciones vienen con un valor sugerido.

Una de las funciones principales es la de construir, modificar o borrar los puntos de la base de datos. Cada punto representa una entidad como una entrada o salida o un controlador o secuencia. Estos puntos se construyen de dos maneras. Una es alimentar los datos de cada

punto, y la otra es crear un patrón para todos los puntos de un mismo tipo, de tal forma que sólo se alimentan al sistema las diferencias entre uno y otro punto.

Existe un editor de gráficos que permite la creación, modificación y borrar los gráficos de operación. El gráfico es dibujado en pantalla con ayuda de varias herramientas, sin necesidad de programar en algún lenguaje. Algunas herramientas disponibles para dibujar un gráfico son las líneas, polígonos, desplegado de variables del proceso, tendencias, comportamiento de objetos como cambio de color o parpadeo en la presencia de una alarma, o el uso de imágenes que pueden almacenarse para formar una biblioteca y poder ser usadas en otros gráficos, lo que puede asegurar una consistencia al presentar la información al operador y el establecer o apegarse a estándares de cada compañía concernientes a la presentación gráfica de la información.

Otra de las funciones de ingeniería es la creación prueba y compilación de los programas del usuario escritos en el lenguaje CL. Este lenguaje tiene las siguientes características:

- Se puede usar para elaborar programas que corran en diferentes módulos como el AM, el APM, o en el interfaz con computadoras VAX, el CM.
- Los programas se estructuran en secuencias, fases y pasos.
- El juego de instrucciones está orientado a funciones de control, y comunicaciones.
- Contiene un juego de operaciones aritméticas, lógicas, logarítmicas y trigonométricas.
- Incluye condiciones de condición y salto.
- Incluye instrucciones para mandar mensajes al operador y recibir datos del mismo.
- Existen instrucciones para elaborar subrutinas de manejo de condiciones anormales que se ejecutan tan pronto se genera un evento definido por el usuario.

La elaboración y prueba de los programas en CL se realizan completamente a través de la US. Las fallas que ocurren en el TDC-3000 son detectadas por pruebas internas y rutinas de auto-diagnóstico que se ejecutan al inicio y durante la operación de cada módulo. La falla es analizada y aislada por el sistema a un componente óptimo de reemplazo, llamado (ORU). Cada ORU es un componente reemplazable que mantiene el mejor balance entre el costo de

reemplazo y la dificultad de diagnosticar con precisión la falla a un componente menor. En base a este análisis se despliega una recomendación de mantenimiento, que aparece en el desplegado del estado del sistema, descrito anteriormente. Además, existe un menú de mantenimiento de sistema, donde un técnico en mantenimiento puede realizar las siguientes funciones:

- Recopilar las recomendaciones de mantenimiento del sistema.
- Llamar desplegados relacionados con la falla, como la bitácora del sistema, los contenidos de la memoria del módulo o las revisiones de hardware/software.
- Consultar el detalle del error de un módulo en falla.

Finalmente, la US es el módulo donde se conectan las tarjetas que permiten extender la distancia de la red LCN a través de fibra óptica redundante hasta una distancia de 2 kilómetros, con la ventaja de poder intercalar hasta seis segmentos de red de cable coaxial y fibra óptica.



#### 4.0 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE UN SISTEMA DE CONTROL INTEGRADO TOTAL.

Idealmente, es completamente posible llegar a tener un sistema de control integrado total; realmente, es utópico.

##### 4.1 Criterios de evaluación de un sistema de control integrado total.

Antes de pensar en la instalación de cualquier tipo de sistema de control en la industria en general, es indispensable hacer un profundo análisis de diversos factores, los cuales influirán directamente en la decisión más acertada. Hay que definir claramente la necesidad o el problema para poder identificar todas las alternativas viables que contribuyan a la solución del mismo y evaluarlas con sentido crítico. ¿ Se piensa iniciar un nuevo proceso de manufactura, o han de automatizarse los procesos existentes en fábrica ?.

- **Factor administrativo:**

En cualquier caso, hay que determinar la mezcla de instalaciones apropiadas identificando los principales objetivos de la manufactura de la empresa y monitoreando el progreso de dichos objetivos a nivel corporativo. Hay que analizar la rentabilidad, apoyados en las decisiones correspondientes a la inversión en instrumentación y sistemas de control en términos de su consistencia con los planes de evolución del producto (ciclo de vida) y de su proceso de manufactura. Hay que determinar la dirección y el ritmo de los cambios importantes en los procesos de producción sin olvidar la evaluación de las oportunidades del producto y del mercado en base a la capacidad de manufactura de la empresa y, hay que seleccionar la estructura apropiada para el proceso de manufactura, para los sistemas de control y para el producto de tal manera que se pueda tener acceso a nuevos mercados. Supervivencia, rentabilidad y crecimiento son las tres palabras claves para sobrevivir hoy y crecer mañana y así sobrevivir en el futuro.

En el caso de iniciar una empresa de manufactura, se ha de tener conciencia de la localización geográfica, de la segmentación del mercado, de la situación política en materia de beneficios como los subsidios en precios, empleos y en investigación, beneficios como reducciones tributarias, exenciones fiscales y préstamos garantizados. Se ha de tener conciencia también en la situación económica de la localidad o del país en general, del nivel cultural de la fuerza laboral, de la influencia y fuerza sindical, del costo de la mano de obra, de la posibilidad de abastecimiento, del acceso a las importaciones y a las exportaciones, de la infraestructura y control de los canales de distribución, de la posibilidad de crecimiento y diversificación real y de la normatividad general entre otras cosas. Estos factores también han de replantearse en el caso de querer mantenerse o sobrevivir en el mercado.

Es necesario conocer a fondo la organización de la empresa desde todos los diferentes departamentos que la forman con el fin de lograr llegar a un entendimiento completamente homogéneo y poder así lograr un bien común, lograr mantener un mismo rumbo en todas las áreas dirigido al éxito en la operación; es decir, todo mundo debe conocer y estar consciente de la estrategia competitiva de la empresa en todo momento. Esto es, que producción hable el mismo idioma que almacén, que control de inventarios, sistemas, compras, ingeniería y mantenimiento, aseguramiento de calidad, embalaje, embarques, dirección general, ventas, mercadotecnia, publicidad, etc., el mismo idioma, todas las gerencias y sus departamentos deben estar involucrados entre sí y poder responder a diferentes ritmos de operación debido a que independientemente de las actividades de cada área, todas están enfocadas a un mismo fin. Una ruptura en las líneas de comunicación o la falta de capacidad de respuesta de una área en específico por desconocimiento de la estrategia competitiva de la compañía puede lógicamente, producir resultados indeseables en alguna parte del proceso, o en toda la operación de la empresa. El factor estratégico además de ser establecido por los niveles directivos, debe ser reguado y supervisado por los mismos para cumplir con los objetivos de la estrategia competitiva de la empresa.

- **Factor tecnológico:**

Hay que considerar que un atraso o un avance en tecnología perjudican por igual la supervivencia de una empresa. Es en los sectores de tecnología avanzada donde se encuentran los éxitos más brillantes y paralelamente la tasa más alta de mortalidad de las empresas. Por cada innovador que alcanza el éxito, más de uno fracasan por haber llegado al mercado muy temprano, cuando éste no estaba aún preparado para recibir el producto. De manera inversa, no es posible recuperarse de una demora tecnológica en un sector tan intensamente competido como es el industrial ya que requeriría de hacer inversiones simultáneamente en investigación y desarrollo y en la adquisición de equipos tanto de producción como de control.

Es necesario pensar a futuro en todos los aspectos. Una empresa que no se diversifica, nace, crece, se estanca y muere con su único producto. Dura lo que dura el producto. La vida útil de un producto depende de una combinación de factores difícilmente previsibles, tales como la evolución tecnológica, la moda, la reglamentación (precios, normas, etc.), la innovación de la competencia, etc. por lo que, por el hecho de querer resolver un problema actual de manufactura o de control de procesos, no se debe de perder de vista el crecimiento y la dinámica de los productos, de los procesos, de los sistemas de control, de los mercados y particularmente de la competencia. El aspecto tecnológico debe ir siempre ligado a la actividad comercial, y por ello han de considerarse 4 puntos muy importantes:

- a) El crecimiento en el volumen de ventas de un producto existente en el mercado.
- b) La expansión de una línea de producto dentro del mercado.
- c) La creación y/o expansión de la estructura de los procesos de manufactura.
- d) La introducción de nuevos productos en el mercado.

Es necesario partir de la tecnología previamente instalada para controlar el proceso que se tiene y poder así definir la tecnología a instalarse. En caso de iniciar la operación de una planta, el hecho de que se escoja inicialmente un tipo de proceso, no significa al mismo tiempo, que todas

las alternativas de operaciones queden automáticamente determinadas ya que existe una considerable holgura en la selección de los elementos específicos de un proceso de producción; es decir, no es lo mismo actualizarse en el control de procesos que iniciarse en el mismo y por ello siempre que se pretenda instrumentar un sistema de control ha de considerarse no sólo la solución de los problemas de manufactura que estén presentes sino que ha de preverse cualquier cambio que pudiera existir en el proceso para que paralelamente se puedan instrumentar los cambios adecuados en el sistema de control y/o en la instrumentación. En cualquier caso, tratándose de un proyecto o de la tecnología previamente instalada, es importante para un futuro inmediato, tener la opción de crecer en los métodos de control sin la necesidad de hacer cambios de tecnología. Esto es, tener por un lado la posibilidad de incrementar la instrumentación para reforzar los lazos de control ya existentes y por otro lado mejorar y/o actualizar los sistemas de control con el fin de no permitir que toda aquella tecnología instalada se haga obsoleta creando una barrera que con el tiempo cueste más reducir por el hecho de tener que "brincar" de un nivel tecnológico a otro. Se debe tener muy presente hasta que nivel la instrumentación es escalable independientemente de que escale al ritmo de la evolución tecnológica o no. La evolución de la tecnología tiene un ritmo tan acelerado, que por lo general cualquier equipo electrónico queda completamente obsoleto antes de poder ser depreciado contablemente debido a que en muchas ocasiones los ciclos de vida son inferiores a dos años puesto que los descubrimientos tecnológicos cambian no solo al producto sino también, la necesidad que el producto satisface.

- **Compatibilidad:**

Es imperativo que se observe la apertura técnica de las diferentes marcas de equipos de instrumentación con el fin de poder asociar diversas opciones para un mismo equipo de control ya que el hecho de no poder hacerlo, traería como consecuencia una limitante de gran impacto como podría ser entre otras cosas, la necesidad de utilizar una sola marca o línea de equipo que probablemente por su incompatibilidad técnica, en un futuro no llegara a satisfacer las necesidades que se presenten en el sistema de control. Además no se debe olvidar que todas

las empresas que adquieren instrumentación para cualquier aplicación, prácticamente se convierten en el momento de hacerlo, en "entes" dependientes de la marca adquirida y lo que realmente importa no sólo son las prestaciones que ofrecen los equipos para lograr un beneficio en los procesos sino el servicio técnico y operativo que sostienen a la marca en el mercado. De nada sirve estar a la vanguardia con lo último en tecnología si en el primer tropiezo no se tiene el debido respaldo para buscar la solución del problema y resolverlo. Por lo general es mucho más grave mantener un problema sin resolver en cualquier tipo de proceso durante un tiempo indeterminado que cientos de ellos en diferentes puntos pero con soluciones rápidas. En el caso de que se presente una limitante de ésta índole, es prácticamente un hecho encontrarse con la necesidad de cambiar la tecnología o de quedarse "estancados" en el bloque afectado ya que no habría posibilidad alguna de crecer o posiblemente de mejorar en el sistema de control correspondiente. Por otro lado, hay que tener muy presente que tanto el proceso como la instrumentación utilizada para controlarlo, deben estar dispuestos de tal forma que permitan en cualquier momento hacer innovaciones en el producto para poder cubrir los cambios en las demandas del mercado.

- **Instalación:**

Otro factor de suma importancia a considerar, es la instalación de los equipos. Aunque pudiera creerse que no existe ninguna relación entre las fallas que se presentan en los dispositivos de los sistemas de control y las consideraciones de instalación, éstas fallas en muchos casos son originadas por los errores u omisiones de los proveedores, de los técnicos de instalación o de los clientes que desconocen las especificaciones técnicas de los dispositivos en cuanto a su instalación y a su ubicación.

El buen o mal funcionamiento de los dispositivos de control, de alguna manera depende de las condiciones físicas, mecánicas y ambientales bajo las cuáles operan. Con relación a éstas condiciones, deberá considerarse entre otras cosas, la capacidad de carga de los pisos, el espacio, el suministro eléctrico, el sistema de tierra, el ambiente de ruido eléctrico, el sistema de aire acondicionado y las condiciones ambientales como la temperatura y la humedad que para

la operación confiable y segura de los sistemas de control deberán cumplir con lo especificado por cada fabricante. Por otro lado, muchos procesos industriales arrojan al ambiente contaminantes (en ocasiones sólidos) que pueden llegar a cambiar las condiciones de operación de algunos dispositivos, como un cambio en la temperatura de trabajo y por ende, una mala operación o inclusive falsos contactos y cortos en componentes eléctricos de acción mecánica.

- **Facilidad de operación:**

En la actualidad, los sistemas de control son bastante sofisticados y prácticamente nunca están diseñados por operadores o gente que esté directamente involucrada en los diferentes procesos industriales. Esto trae como consecuencia una gran diversidad de lenguajes, de nomenclaturas y de aplicaciones que no necesariamente están estandarizadas. El personal que se dedica al diseño de los diferentes tipos de instrumentación al igual que el personal que se dedica al diseño de los sistemas de control están normalmente en niveles muy superiores a lo que pudieran tener los obreros o usuarios en la industria en general y esto siempre genera una barrera entre el fabricante y el usuario y que en ocasiones puede ser perjudicial para una marca en el mercado. Esta barrera será tan grande como la dificultad que se presente en la operación de los instrumentos y se podrá reducir sólo en el caso en que la operación se facilite con una adecuada y sencilla capacitación. Este tipo de barreras se pueden observar no sólo en la industria sino también a nivel doméstico y para muestra basta con preguntarse cuánta gente sabe realmente utilizar los comandos del sistema operativo de una computadora personal o cualquier aplicación para ésta, cuántas personas aprovechan las prestaciones en un 100 % de su horno de microondas o de su plancha de vapor que tiene 7 posiciones para prendas de algodón y otras tantas opciones para otras más. Actualmente todos los fabricantes o proveedores de bienes y servicios ofrecen productos con una inmensa gama de prestaciones, a veces más de las necesarias con el fin de ser competitivos en un mercado en el que día a día es más difícil de permanecer. La realidad es que cuando alguien se encuentra con instructivos grandes o con la necesidad de dedicarle mucho tiempo al aprendizaje de algún dispositivo, se genera una barrera que va en contra de los beneficios que se pudieran obtener del bien que

adquirió para resolver una necesidad ya sea a nivel industrial o a nivel doméstico. Por ello, es necesario que la instrumentación y en sí los sistemas de control sean lo más fácilmente operables sin tener que conocer más de lo mínimo necesario para que los usuarios se involucren rápidamente para lograr que la productividad se vea beneficiada.

- **Factor Ergonómico:**

El hecho de que los equipos sean fáciles de utilizar no resuelve por completo el problema en el campo ya que es importante también considerar en el momento de su instalación, factores como su localización y acceso tanto para su operación como para su mantenimiento. El sistema debe asistir al operador en el entendimiento del estado particular de un proceso o en general de toda la planta y por ello se ha de pensar que todas aquellas personas que manipulen o tengan contacto visual con los instrumentos puedan tener un acceso completamente directo y esto se debe a que no todo el personal posee la mismas características físicas, es decir no todos tienen la misma altura o la misma longitud en sus extremidades y sería además de absurdo, peligroso el hecho de que para poder monitorear una variable en el proceso tuvieran que recurrir a prácticas inseguras como podría ser el subirse a una máquina o sujetarse de algún elemento que forme parte del proceso o del mismo sistema de control poniendo en riesgo su integridad y como consecuencia la seguridad del personal del área de trabajo en que se localicen. En cuanto al mantenimiento de la instrumentación, tal y como se citó en líneas anteriores además de tener fácil acceso, se ha de pensar en obtener tales dispositivos que proporcionen durabilidad con poco mantenimiento con el fin de reducir el valor agregado que en cuanto a costo puede adquirir la instrumentación y el sistema de control en general. De por sí es conocido que lo costoso en los sistemas de control es la instrumentación y el hecho de gastar mucho dinero en su mantenimiento va en detrimento de la inversión ya que este tipo de gastos se suman a la depreciación de los activos por lo que sí se han de comprar dispositivos baratos que requieren de un elevado costo en mantenimiento, será mejor adquirir equipos caros que muchas veces ya no requieren de mantenimiento y que por ello son por mucho la mejor opción en todos los

aspectos siempre y cuando proporcionen el mismo beneficio en cuanto a productividad se refiere.

- **Factor de seguridad:**

Un punto de gran importancia o quizá el número uno en prioridad en el que han de apoyarse todos aquellos que estén involucrados en la decisión para comprar cualquier tipo de instrumentación, es el relativo a la SEGURIDAD. Todas las empresas están formadas básicamente por sus recursos materiales (activos) y por sus recursos humanos (personal). Es evidente que por lo general las personas que están sujetas a un mayor riesgo son aquellas que directamente participan en los procesos pero en sí, todo el personal que se encuentre dentro de las instalaciones independientemente de la zona en la que laboren está bajo cierto nivel de riesgo ya que un siniestro puede afectar desde un puesto de trabajo hasta la totalidad de las instalaciones. No solo se debe pensar en las consecuencias económicas que puede traer una falla en los dispositivos de seguridad en un proceso. Todo el material que se pueda perder no vale nada comparado con el costo de una vida humana o de una mutilación.

La seguridad cuesta mucho dinero y desafortunadamente esto permite que en el mercado se oferten algunos productos que con el fin de tener niveles competitivos en sus precios no ofrecen lo más óptimo en cuanto a seguridad se refiere, es decir, no cumplen con las normas vigentes. En el caso de la instrumentación, hay que estar seguros de la calidad que ofrecen los fabricantes en sus componentes. En un sistema de control hay que prever las consecuencias que pudiera traer una falla local en el proceso y la magnitud de las consecuencias de ésta o cualquier otra falla en el sistema.

Tomando como base el tipo de proceso y producto a controlar, han de considerarse también, todas las normas y regulaciones emitidas por instituciones gubernamentales y algunas privadas en cuanto a sistemas y equipos de protección y de seguridad e higiene se refiere. Han de considerarse normas relativas a:

- Las instalaciones, los locales y las áreas de los centros de trabajo.
- La obtención y refrendo de las licencias de los operadores de grúas y/o montacargas.

- Las de sistemas de protección y seguridad en la instrumentación y maquinaria asociadas a los procesos de manufactura en los centros de trabajo.
- A la seguridad en el almacenamiento, transporte, y manejo de sustancias corrosivas, tóxicas, inflamables, combustibles y explosivas.
- Las de estiba, manipulación y desestiba de materiales.
- Las relativas a la seguridad e higiene en las áreas donde se manejen fuentes generadoras o emisoras de radiaciones ionizantes y electromagnéticas no ionizantes como las microondas, radiaciones láser, infrarrojas y ultravioleta entre otras.
- Las que regulan los trabajos que se desarrollan a presiones ambientales anormales.
- Las relativas a la exposición laboral en condiciones térmicas elevadas.
- Las correspondientes a los requerimientos y características de las regaderas, vestidores, casilleros, equipo de protección respiratoria, materiales de curación, etc., y personal de primeros auxilios.
- Las relativas a las condiciones de seguridad en donde la electricidad estática represente un riesgo, así como la vibración de los pisos, los niveles y condiciones de iluminación, los códigos de colores para la identificación de fluidos, los colores en general y sus diferentes aplicaciones, los señalamientos y avisos de seguridad.

En cuanto a higiene industrial, las normas relativas al medio ambiente laboral; es decir aquellas correspondientes a las diversas formas de emisión de diferentes tipos de contaminantes en el aire.

Estas son sólo algunas consideraciones que habrán de estar presentes durante la planeación e instalación de procesos y de sistemas de control y representan un muy elevado costo.

Por otro lado, no sólo se debe tomar en cuenta el tipo de equipo que se va a comprar para instalar un sistema de control, cualquiera que éste sea. Hay que seleccionar a las personas que estarán involucradas en todos los pasos del desarrollo del proyecto a partir de los recursos humanos que se tienen disponibles. La fuerza de trabajo en una empresa es muy variada y esto

es consecuencia de los diversos niveles sociales, culturales y económicos que ofrece el mercado y por ello, se destina al personal en base a sus aptitudes a las diversas áreas de responsabilidad existentes en las que se apoya la operación de la planta diariamente. No siempre se cuenta con el personal que las actividades propiamente demanden por lo que hay que pensar en la capacitación del mismo que, puede ir desde niveles ínfimos hasta niveles altamente especializados, desde cursos baratos hasta, por qué no, maestrías o diplomados. En caso de no poder completar un equipo de trabajo con los recursos humanos que se tienen disponibles, habrá que pensar en la contratación de nuevo personal con el debido nivel de capacitación, aunque esto suponga un incremento en el costo del "paquete", siempre será más barato que el tener que reparar los daños ocasionados por la falta de capacidad de uno solo, quizá, de quien no supo elegir.

Considerar al personal, no significa únicamente pensar en su perfil, significa tener que pensar paralelamente en una amplísima gama de factores que de manera implícita están presentes. Factores que bien encausados pueden traer un gran beneficio a los resultados de la empresa ya que de alguna manera impactan directamente en la actitud de las personas.

Se debe recordar que la actitud es la forma más fidedigna de manifestar el estado de ánimo y el interés que los trabajadores y en general las personas tienen hacia alguien o algo. La actitud en los trabajadores es hasta cierto punto influenciable tanto positiva como negativamente y esto es una ventaja para los administradores y directivos que en verdad aprecian al recurso humano ya que por medio de buenas actitudes y de ciertos estímulos como pueden ser la capacitación, las promociones laborales y económicas, los premios de reconocimiento por sus logros entre otros, se puede lograr mantener a una persona o a un grupo de trabajo con la motivación necesaria para hacer bien las cosas, para hacerlas con calidad, convirtiendo éste concepto en una forma de vida. El hecho de que el personal esté y se sienta verdaderamente involucrado en la operación y por consecuencia en la empresa, es indispensable.

Por otro lado, dentro del renglón cultural, mucho tiene que ver el desarrollo académico de una persona durante su crecimiento ya que esto le permite irse sensibilizando además de desarrollar un criterio y enterarse de la realidad. Probablemente no es necesario ser un erudito en las artes

o en cualquier otra rama académica, lo que si importa es por lo menos tener una idea general del mundo en el que vivimos para poder así, apreciar lo que se nos ofrece, lo que tenemos y lo que nos rodea. Es evidente que mientras más pobre sea una persona culturalmente hablando, más limitada será su visión en cualquier panorama y como consecuencia será una persona más influenciada por aquellos que lo rodean. Este factor es una especie de arma de dos filos tal y como se mencionó anteriormente al citar la actitud, y por ello, no se debe dejar de pensar por ningún motivo en que todos los estímulos y todos aquellos esfuerzos que se hagan por mantener motivada a la gente pueden ser hasta cierto punto opacados por los sindicatos.

- **Calidad:**

Durante los años 60 y 70 se hizo hincapié en la importancia de la participación en el mercado para explicar las diferencias de rentabilidad y crecimiento entre las empresas. Se manejaba el término de calidad enfocado al producto y nada más. En los años 80 se hizo resaltar la calidad como factor determinante de la participación industrial en el mercado. Fué el decenio de la calidad total, en donde se empezó a involucrar todo lo relacionado con la empresa dejando de ser por tanto, sólo un concepto técnico. Actualmente la calidad es un factor primordial en los procesos de manufactura y en general en todo tipo de industria de bienes y servicios, es cuestión de organización y de actitud por lo que antes de iniciar cualquier proceso y de instrumentar algún sistema de control hemos de cuestionarnos algunas cosas basándonos en que la calidad determina el valor percibido y, finalmente la competitividad de la empresa:

- ¿ Es el diseño del producto adecuado ?
- ¿ Es el proceso o el sistema de manufactura adecuado ?
- ¿ Es el sistema de control el adecuado ?
- ¿ Es la inspección adecuada ?

La calidad es al mismo tiempo, un índice del valor del producto y de la eficiencia de las operaciones. Hay que entender con precisión las necesidades del cliente y la forma en que éste

usa y mal usa el producto para poder definir una dirección hacia la calidad. Lograr que la calidad suceda significa hacer productos o entregar servicios acordes a las normas y especificaciones vigentes, y si se encuentra que éstas no existen o los requerimientos del mercado o de manufactura son diferentes, provocar su cambio formal. Hay que tener presente que la calidad en una operación y por consecuencia en un producto se mejora sólo cuando todos los involucrados toman conciencia de que su actividad diaria puede afectar a la calidad. Los niveles directivos y de ingeniería deben servir a los trabajadores y no viceversa. La calidad cuesta mucho dinero y su costo se convierte en el costo de hacer las cosas mal, de no cumplir con las normas y especificaciones.

Sólo para estar conscientes se debe profundizar en lo que realmente significa el "costo de la calidad" y no solamente manejar el término como un concepto más en el análisis correspondiente.

Para tener una mejor idea, los elementos en el costo de la calidad se pueden fragmentar como sigue:

Costos de fallas

- Quejas de consumidores.
- Tiempo de paros por defectos.
- Desviaciones de diseños
- Servicios de campo.
- Devoluciones de productos, traslados y costos de acciones correctivas.
- Cambios a ordenes de compra.
- Rediseños.
- Reinspecciones.
- Costos de garantías.

Costos de detección

- Mediciones de la capacidad del proceso.
- Aceptación del producto.
- Inspección y pruebas de prototipos.
- Inspección y pruebas de recibo.
- Vigilancia de proveedores
- Inspección y pruebas de órdenes en proceso y producto terminado.

Costos de prevención

- Revisiones de diseño.
- Revisión de planos.
- Programa de orientación a la calidad de ingeniería.
- Revisión de especificaciones de ingeniería.
- Mantenimiento preventivo.
- Estudios de la capacidad del proceso.
- Calificación del producto.
- Auditorías de calidad.
- Programas de orientación hacia la calidad.
- Evaluación de proveedores.
- Seminarios de calidad a proveedores.
- Control de maquinaria y herramientas.
- Entrenamiento y capacitación de los trabajadores.

Para cambiar los resultados de la calidad, y reducir al máximo el costo que ésta supone, es necesario considerar los siguientes puntos entre muchos otros factores:

1. Obtener el compromiso de la dirección.
2. Establecer un equipo de mejoramiento de la calidad.
3. Medir la calidad.
4. Estimar el costo de la calidad.
5. Difundir la conciencia de la calidad.
6. Promover la "acción correctiva".
7. Entrenar a los trabajadores en todas sus jerarquías.
8. Establecer metas.

9. Eliminar las causas de errores.
10. Reconocer logros.
11. Establecer un consejo de calidad.
12. Repetirlo tantas veces sea necesario.

Por otro lado, las normas son aplicables por igual a cualquier tamaño o giro de industria: Desde una altamente tecnificada hasta una escuela o un hospital, por lo que además de cumplir con las normas y especificaciones tanto locales como internacionales (que son bastantes), ha de buscarse la forma de lograr que todos hagan de la calidad, un hábito, una forma de vida, una actitud y no una tarea o un objetivo más dentro de las actividades rutinarias.

Actualmente, empresas regidas por normas regionales e internacionales como las de la organización internacional de metrología legal ("OIML"), convergen hacia normas como las "ISO 9000" debido a que se ajustan perfectamente a las necesidades del comercio internacional y permiten a las empresas de todo el mundo tener una seguridad razonable sobre la confiabilidad de sus contrapartes. Estas normas permiten certificar que la empresa cuenta un sistema de aseguramiento de calidad, que es diferente e independiente de los controles de calidad que se realizan en la etapa de producción. Además disponen de varios niveles de demostración y de rastreabilidad de los procesos y generan evidencias documentales de que el sistema es adecuado y de que el producto cumple con las especificaciones predeterminadas. Por otro lado, éstas normas ofrecen un sustento legal para enfrentar reclamos contra el producto, siempre y cuando éste y los sistemas que lo generen se mantengan apegados a los parámetros de la norma respectiva.

- **Factor ecológico:**

En el aspecto ecológico actualmente están vigentes una serie de normas y especificaciones acompañadas con un gran número de restricciones. Hoy más que nunca ha de tomarse en cuenta este aspecto debido a que el hecho de que se piense en instrumentar un proceso o un

sistema de control, implica considerar de manera implícita la instalación de sistemas ecológicos que operen en función a los procesos industriales y regidos por los estándares oficiales.

#### **4.2 Problemática para lograr un sistema de control integrado total.**

El principal factor en la problemática para lograr un sistema de control integrado total no radica en el aspecto tecnológico; radica normalmente en el débil vínculo existente entre la producción y la alta dirección de las empresas. Este factor es una especie de eslabón perdido en la estrategia empresarial de manufactura. La comunicación total entre todas las áreas.

- **Organización:**

Con mucha frecuencia, la alta dirección no tomaba y en muchas ocasiones aún no toma en cuenta el potencial que poseen sus departamentos de fabricación o producción para reforzar o debilitar la capacidad competitiva de la empresa. La fabricación ha estado demasiado tiempo dominada básicamente por técnicos especialistas. Durante muchos años fueron los Ingenieros Industriales y en la actualidad, son los expertos en computadoras. Como resultado, muchos ejecutivos de alto nivel tienden a evitar verse comprometidos en la creación de políticas de producción. Por lo general los gerentes de producción desconocen la estrategia de la empresa y, una función que podría ser valiosísima como actividad y/o como herramienta de la estrategia de la empresa se convierte en un riesgo potencial. Se debe tener presente que la función fabril de una empresa característicamente es o un arma para competir o un peso que la está hundiendo, rara vez es neutral. La relación existente entre la producción y éxito dentro de la empresa casi nunca está considerada como algo más que la obtención de mucha eficiencia y costos bajos. Son pocos los administradores en puestos directivos que están conscientes de que algunas decisiones fabriles que parecen meramente rutinarias, con frecuencia limitan las opciones estratégicas de la empresa, restringiéndola con instalaciones, maquinaria, instrumentación, sistemas de control, personal, y políticas básicas, a situaciones incompetentes

cuya corrección puede tomar varios años. En tanto no se logre la verdadera interacción entre todas las áreas operativas y administrativas de la empresa y en tanto todos los participantes de dichas áreas no hagan conciencia de la importancia que tiene el hecho de involucrarse con los demás, difícilmente se logrará conocer la estrategia empresarial y como consecuencia difícilmente se llegará a la "automatización" del flujo de las operaciones y a consumir el concepto del sistema de control integrado total.

- Tecnológico:

Este renglón definitivamente no presenta ninguna limitante ya que en la actualidad el hombre ha superado la mayoría de sus problemas con la tecnología desarrollada. Es verdaderamente impresionante la distancia que se ha recorrido en desarrollos tecnológicos. La evolución de los sistemas en gran parte de la industria ha sido proporcional a la evolución en el campo de la electrónica, y básicamente en la rama de los semiconductores que han permitido el desarrollo de circuitos microprocesadores con funciones y velocidades prácticamente infinitas comparado con lo que se ofrecía hace no más de 15 o 20 años. La única situación en donde pudiera encontrarse algún impedimento circunstancial es en la aplicación de ésta tecnología debido a que los que desarrollan, no venden precisamente su producto y los que lo venden, muchas veces desconocen las diferentes aplicaciones que pudiera tener el producto. No obstante, esto no afectaría a los resultados del control integrado total por el alto nivel de improvisación que se presenta en la instrumentación de las diversas aplicaciones tecnológicas.

- Humano:

El personal en las empresas es el recurso más complejo e importante de éstas ya que realiza la operación en general independientemente de su especialidad. Es paradójico, pero el hombre crea sus procesos para poder producir y también crea los instrumentos necesarios para supervisar y controlar sus procesos en general, pero lo que también hace el hombre en muchísimas ocasiones es obstaculizarse el solo. Mucho tiene que ver el país, la cultura y las tradiciones de quienes formen una empresa, pero independientemente de esto, la diferencia

básica que existe entre el hombre y las máquinas o instrumentos de medición radica en que los dispositivos no son racionales y por lo tanto no deciden cuando estropear la operación. El hombre es un ser racional y como consecuencia tiene sus propios intereses. Es más fácil sincronizar y poner en armonía a cientos o quizá miles de dispositivos que crear un ambiente homogéneo en una reunión de no más de cinco personas. Si se extrapola esta realidad a toda una planta con 20, 30, 100, 500 o más personas es fácil deducir que habrá siempre una serie de factores que obstaculizarán la continuidad o el buen funcionamiento de la operación; factores que no conocen jerarquías administrativas como los sindicatos, los intereses personales, las huelgas, las políticas obsoletas en cuanto a métodos y procedimientos, la desidia, la envidia, el sabotaje, la ignorancia, la prepotencia, etc... y que siempre estarán presentes entre todos los niveles y como consecuencia siempre habrá fisuras en las vías de comunicación y seguimiento de la operaciones, fisuras que representan una gran desventaja y retroceso en el camino para lograr la instrumentación de cualquier sistema de control integrado total.

Un verdadero problema no tan sólo a considerar sino en el que necesariamente hay mucho por hacer es el tema de los sindicatos. Por desgracia, la mayoría de los sindicatos no entiende cuál es su verdadera función y no se preocupan en averiguarla, creen que velar por los intereses de los trabajadores es sinónimo de estar en "guerra" contra el patrón y por ello en muchos imperan la corrupción y la lucha por los intereses de algunas cuantas personas. Esto generalmente se traduce en influencias negativas hacia los trabajadores quienes como consecuencia, se oponen a los cambios y a las exigencias propias de sus actividades. Es prácticamente un hecho inevitable que el personal sindicalizado rechace sistemáticamente cualquier modificación a su cargo, a las condiciones de trabajo o su status y sin embargo, con respecto a sus exigencias en cuanto a condiciones sociales y salariales, éstas son tales que muchas veces llegan a romper la viabilidad económica de la empresa. En general, la falta de discernimiento y el espíritu de obstrucción sistemática, en algunas ocasiones exacerbado por la pasión política de los dirigentes sindicales, amenazan la existencia no sólo de la empresa sino también del trabajador que vive muchas veces pensando que se está negociando un mejor contrato laboral para él.

Los trabajadores deberían de ver a las empresas donde trabajan como sus benefactores y no como sus explotadores.

Los sindicatos son una especie de "empresa" dentro la empresa que en lugar de producir producto, produce problemas tales como los paros laborales o huelgas, los bloqueos en las promociones de los mismos trabajadores en diversos puestos por tener absoluto control en el escalafón. Es verdaderamente increíble el poder que tienen los sindicatos como consecuencia del exagerado proteccionismo que la ley les ha heredado y mucho de esto se puede observar tan sólo en las negociaciones anuales ya sea por tratarse de la revisión de sueldos o por la revisión del contrato colectivo en cuyo pliego de peticiones se van más allá de lo imaginable para poder conseguir el máximo de lo solicitado sin ver las consecuencias que en un futuro inmediato pudieran sufrir las empresas. Esto es debido a la absoluta falta de sentido común y de objetividad que impera en ellos. Obviamente de no lograr lo deseado y solicitado en el pliego correspondiente se les hace muy fácil detener la operación y romper cualquier negociación estallando las huelgas. No todas las empresas son de la misma magnitud y no todas tienen capacidad de satisfacer cierto tipo de demandas por cuestiones circunstanciales y menos en la actualidad que la situación microeconómica deja mucho que desear. Si tan sólo el nivel cultural de los dirigentes sindicales fuera un poco más elevado, si tuvieran mentalidad de empresarios, si fueran emprendedores y no saqueadores, si supieran de economía, de administración y finanzas, es muy probable que los resultados en cualquier tipo de negociación fueran más consecuencia de un trato objetivo. ¿Cuántas empresas terminan siendo cooperativas como consecuencia de haber perdido el poder y el control justamente en alguna negociación de contrato y cuántas de éstas cooperativas en realidad producen sin tener que ser subsidiadas por el gobierno con el fin de que no se pierdan las fuentes de trabajo ? En fin, la creación y la evolución actual que hay de los mercados comunes tiene como principal característica el llegar a gozar de los mismos privilegios en todos los aspectos y, es quizá por hoy, uno de los primeros pasos para mejorar entre otras cosas, el concepto laboral desde el punto de vista sindical, ya que es una forma buscar lograr el equilibrio en la fuerza laboral de cada país para evitar la fuga de cerebros y de mano de obra. Es quizá, el acceso a los sistemas de control integrado total.

- **Calidad:**

Como se mencionó en el punto anterior, la calidad abarca una amplísima gama de normas, especificaciones y regulaciones necesarias de cumplir para lograr la certificación del producto y por ello, tener la seguridad de su permanencia en el mercado por lo menos durante su ciclo de vida. Un producto está sujeto a revisiones e inspecciones de su calidad tanto a nivel interno (en la empresa) como a nivel externo (las autoridades). Desafortunadamente muchas personas cuyas actividades están enfocadas en el aseguramiento de la calidad de la empresa, no están verdaderamente especializadas en el tema y por ello suele ocurrir que se hable y se discuta sobre las normas cualesquiera que éstas sean sin entenderlas. Es casi inevitable que por algún procedimiento, por la actitud de alguna persona o por algún proveedor existan fallas en alguna parte del proceso y por ello no se logre poner en práctica completamente el concepto de "calidad total". La teoría en éstos temas es por lo general un Ideal a alcanzar, un índice que nos permite trazar una dirección y un camino a recorrer. La práctica demuestra que éste tipo de índices, están estrechamente ligados con el aspecto cultural de una persona o, de un país o de una raza específica. Mientras no exista un verdadero avance en la educación de la sociedad, poco se avanzará en la práctica en cualquier concepto teórico y mucho menos, en el correspondiente a los sistemas de control integrado total. Hay países donde realmente se aplican y de manera rigurosa, las normas y regulaciones que en materia de todos los aspectos asociados a la actividad industrial existen. Hay otros países como el nuestro, en donde la inmensa mayoría de las normas simplemente están escritas y no se pueden aplicar porque aquellos a quienes le corresponde hacerlo tienen una muy pequeña noción o ignoran por completo de que se tratan y por otro lado porque están completamente desactualizadas. Desafortunadamente la evolución de los procesos así como la evolución de los productos y de los mercados no acarrearán de manera implícita la evolución necesaria en la elaboración, actualización y regulación de las normas correspondientes en este país. Hay que recordar que las normas no sólo están hechas para "exigir" que las especificaciones se cumplan en un producto, también están hechas para proteger a un producto de la competencia desleal y para

proteger a los mercados de la industria en general y para lograrlo, todas las regulaciones han de estar actualizadas en base a los mercados internacionales.

- **Socioeconómico:**

Dentro de éste renglón se derivan una serie de problemas que de alguna forma están ligados por tratarse en su mayoría de conflictos sociales. En México, la crisis política y el fracaso en los programas destinados a la educación en general son una barrera que con el tiempo parece que va creciendo a un ritmo casi exponencial y son la fuente de los principales atrasos y atrocidades en la sociedad. Es un problema que se agudiza con el paso del tiempo y que desafortunadamente no permite que en los niveles operativos de las diferentes instituciones gubernamentales de servicio, se pueda ocupar a gente competitiva, con educación, con calidad académica y calidad humana. Este problema es lo que ha hecho durante varios años la distinción en los conceptos entre el servicio público y la iniciativa privada sin dejar de mencionar que en ésta última aparecen en ocasiones síntomas similares en ciertos giros industriales y de servicios como en pequeñas empresas en las que no se practica la cultura empresarial. Esto sin embargo tiene arreglo ya que cualquier cliente que solicite un producto o un servicio tiene el privilegio de escoger a su proveedor y en el caso de los servicios del sector público, uno tiene que sujetarse a las barreras con las que generalmente choca para poder conseguir algo. Es increíble como en muchas ocasiones, los resultados en cualquier gestión que se realice en los niveles operativos del sector público dependan de la actitud y del estado de ánimo de quien esté en turno, ya sea en ventanilla o en visita domiciliaria y para darse cuenta de cómo esto sucede, basta con presentarse en cualquier oficina de normatividad ya sea de homologaciones, de verificación o de certificación y solicitar un servicio que, por el bien de quien lo solicita, debe ser atendido de inmediato y lo primero con lo que nos encontramos es con la brutal inercia de la burocracia y de la ignorancia que reina en todos aquellos ambientes operativos que supuestamente están para dar apoyo y resolver la problemática actual.

Por lo general la micro, pequeña y en ocasiones la mediana empresa están constantemente asediadas por la corrupción de inspectores de las delegaciones políticas quienes practican una

especie de terrorismo como forma de vida para recolectar de manera ilegal gratificaciones, argumentando todos los problemas que tienen sus víctimas con relación al uso del suelo (un problema muy común) y cuántos repentinamente reciben una visita de los bomberos o de prevención de incendios, de Salubridad, de Hacienda, de SECOFI, o de alguna institución que muchas veces es completamente desconocida. Esto es una realidad y no un drama novelesco, es un problema latente que dista por mucho de ser corregido más que eliminado y es consecuencia entre otras cosas, de los pésimos sueldos que paga el gobierno en los niveles operativos y primordialmente de la crisis educativa en nuestro país. Este problema también es resultado de la sobrepoblación sobre la que el gobierno no ha podido hacer prácticamente nada. Este fenómeno también tiene un crecimiento de carácter exponencial y evidentemente no es proporcional al crecimiento económico del país; es decir, a la generación de fuentes de trabajo. Con todo esto, actualmente se abren ventanas hacia nuevos horizontes, hacia nuevas oportunidades, y hacia nuevas actitudes y condiciones laborales con los mercados comunes. Esto es el posible inicio de un cambio, un cambio indispensable de lograr no sólo para llegar a los sistemas de control integrado total, sino a la excelencia en general.

- Ecológico:

En teoría, la única problemática que presenta éste factor es simplemente el impedimento que se pudiera tener para la obtención de ciertas licencias por no cumplir con las normas y especificaciones ecológicas de los diversos procesos y en general de la planta.

## **CONCLUSIONES**

---

**CONCLUSIONES**

A partir de la tecnología actual, mediante la aplicación de los sistemas abiertos, es posible que un Sistema de Control Distribuido sea la base de un Sistema de Control Integrado Total. Esto es, el factor tecnológico no representa ningún obstáculo para poder establecer una comunicación eficiente entre la parte administrativa y la operativa de una planta industrial.

A pesar de que este factor no limita la posibilidad de lograrlo, no existen, cuando menos aquí en el país, industrias que trabajen bajo este esquema. Esto se puede deber a diversos aspectos como son: el humano, el económico y el organizacional.

La industria mexicana ha sufrido los embates de las políticas económicas impuestas por el Estado, que lejos de permitir su crecimiento ha limitado su desarrollo, provocando no solo su estancamiento, sino hasta la desaparición de algunas de ellas. Aunado a esto, la situación económica global hace más difícil su desarrollo. En estos últimos años, la aparición de bloques comerciales trata de reducir este efecto; sin embargo, para poder competir en un mercado mundial se necesitan producir bienes de calidad al menor costo posible. Para esto, la automatización juega un papel muy importante junto con la mano de obra capacitada. Por estas razones, los empresarios se resisten a invertir en un mercado incierto, con políticas económicas posiblemente erróneas y con una mano de obra poco eficiente.

Como se ha mencionado, quizá el aspecto humano sea el más difícil de solventar, ya que la actitud y la educación de la población no depende de una industria en particular, sino de todo un país. En México, las reformas educativas no darán los resultados esperados sino hasta que haya un cambio en la política interna. Estos resultados se verán aún más limitados si el crecimiento de la población no se controla. Además, la mayoría de la población deberá de vencer la barrera del conformismo que se ha visto incrementada en las últimas dos décadas.

Las empresas establecidas que ya cuentan con infraestructura moderna y nichos de mercado bien establecidos, son las que tienen más posibilidades de instrumentar un sistema de control integrado total. Desgraciadamente, la organización de estas empresas no contempla la implantación de este tipo de sistemas ya que presentan una estructura muy tradicional, tal vez demasiado vertical, poco flexible y con un régimen más autoritario que administrativo, que se contraponen al modelo de una empresa con un sistema de control integrado total.

Convencionalmente la producción había sido administrada desde abajo hacia arriba. El clásico proceso de la "era de la producción en serie". Seleccionar una actividad, desmenuzarla en elementos integrantes, analizar y mejorar cada elemento y volverlo a armar tal y como lo propuso Frederik Taylor. Lo que se requiere hoy en día para llegar a la manufactura de clase mundial es un sistema diferente. Este sistema empieza con la empresa y su estrategia competitiva; su meta es definir las políticas de producción, que permita que la producción se administre desde arriba hacia abajo, que se caracterice por el mayor número de productos, series más pequeñas, la gran aceleración de los cambios de los productos y la mayor competencia de mercados. La suposición es que cuando se hayan definido las políticas de producción básicas, podrán los expertos técnicos, los ingenieros industriales, los de producción, los especialistas en relaciones laborales, y los expertos en computadoras y sistemas de control desempeñar su labor. El sistema de administración de la producción de arriba hacia abajo, al centrarse en la estrategia de la empresa y en la actividad de fabricación, podrá proporcionar a la alta dirección tanto el acceso a la producción, como los conceptos que necesita para tomar la iniciativa y administrar realmente esta función. Cuando esto se logre, es probable que los ejecutivos, que hasta entonces estuvieran poco involucrados y familiarizados con los procesos de producción, se den cuenta de que en realidad no hay ningún eslabón perdido entre sus funciones y la producción; Es decir, llegarán indudablemente a practicar el concepto de manufactura de clase mundial.



## **SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO COMERCIALES.**

Dentro de los Sistemas de Control Distribuido Comerciales se pueden encontrar una gran variedad de tipos y tecnologías. La mayoría provee los mismos beneficios siendo posiblemente, el costo, el factor determinante en la selección de alguno de ellos.

Probablemente, el valor real de un DCS está en qué tan fácilmente el usuario puede aprender el 10% de la su capacidad, y en su facilidad de reconfiguración o expansión. Otras consideraciones están en qué tan ergonómicos son el hardware y el software. Por ejemplo, qué tantas consideraciones existen para que una persona minusválida pueda tener acceso a estos sistemas, o qué colores se utilizan para que una persona con deficiencia en la visión cromática pueda observar adecuadamente las pantallas, etc.

La tecnología de las comunicaciones avanza rápidamente, de tal forma que los dispositivos de campo ya no están aislados del resto de los equipos que forman un DCS. Ahora más que nunca es necesaria una normalización de las comunicaciones en todos los niveles. Esta tendencia se observa en algunos productos que intentan ofrecer Sistemas Abiertos como su principal estrategia de venta.

Entre los Sistemas de Control Distribuido Comerciales se encuentran:

- El MOD 300 de Asea Brown Boveri
- El INFI 90 de Bailey Controls
- El DCI SYSTEM SIX de Fischer & Porter
- El RTM/1 de Fisher-Rosemount
- La Serie I/A de Foxboro
- El TDC 3000 de Honeywell
- El  $\mu$ XL y el CENTUM-XL de Johnson Yokogawa
- El MAX 1000 de Leeds & Northrup
- El MXOpen de Measurex
- El A/S OPEN de Micon-Powell
- El Mycro APACS (Advanced Process Automation and Control Series) de Moore
- El Auto Max de Reliance
- El D/3 de Texas Instruments
- El WDPF II de Westinghouse

cuyas características principales se presentan a continuación:

FALLA DE ORIGEN

	ABB MOD 300	Balley INF1 90	Fischer & Porter DCI System Six	Fisher- Rosemount RTMI Solutions	The Foxboro Co. I/A Series System	Honeywell TDC 3000	Johnson Yokogawa Corp. µNL	Johnson Yokogawa Corp. CENTUM-SL
<b>A. Control Continuo</b>								
1. Capacidad de control continuo?	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
2. Redundancia completa del controlador del sistema	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
3. Transformación Manual-Automática suave	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
4. Software modificable en línea	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
5. Dispositivo utilizado para la configuración del controlador	Cualquier consola	Consola del operador, estación de trabajo PC, terminal de mismo	Cualquier estación de operación, pasword, protected out pasword	Consola del ingeniero	Estación de trabajo o PC compatible	Estación Universal	Estación de trabajo o PC	Consola del ingeniero
6. ¿Las controladores redundantes comparten el mismo "back plane"?	Separado	Mismo	Separado	Separado	Separado	Separado	Separado	Separado
<b>B. Control "batch"</b>								
1. Capaz para control de procesos en lote	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
2. El mismo controlador para control continuo y por lotes	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
3. Configuración del sistema de control de procesos por lotes	Blíques, escalera y lenguajes estructurados	Funciones de usuario y/o lenguajes de alto nivel	Módulos de software y lenguaje de alto nivel	Blíques y funciones "batch"	Lenguaje secuencial, escalera y/o lenguajes de alto nivel	Lenguaje de control para parras, fases, secuencias y relaciones de estado	Blíques "batch"	Lenguaje de alto nivel M-HAL
4. Controlador "batch" totalmente redundante	Si, 11 hasta 111	Si, 11	Si, 11	Si, 11 hasta 14	Si, 11	Si, 11 hasta 18	Si, 11	Si, 11
<b>C. Misceláneos</b>								
1. Método usado para configurar gráficos	Constructor de Display AdhAlbild	Estación de trabajo basada en PC	Mouse o trackball	Editor de gráficos en la consola del ingeniero, AutoCAD	Estación de trabajo o PC	Función universal y editor de gráficos	Consola del operador o PC, AutoCAD y constructor de gráficos	Consola del ingeniero
2. Gran cantidad de entradas/salidas	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
3. Acceso en la consola del operador a la base de datos y gráficos	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
4. A falla de potencia, ¿cómo fallan los softwares?	Seleccionable por el usuario	Seleccionable por el usuario	Seleccionable por el usuario	Seleccionable por el usuario	Seleccionable por el usuario	Seleccionable por el usuario	Seleccionable por el usuario	Seleccionable por el usuario
5. ¿Se pueden cambiar los módulos (tarjetas) capacitados a tensión?	Si, controladores y tarjetas de I/O	Si, todas	Si, todas	Si, I/O	Si, todas	Si, adaptación de datos y control	Si	Si
6. Distancia máxima de terminales de I/O desde controladores remotos	1000 m	3,000 m	1,600 m	1,600 m	20,000 m	3,000 m	4,300 m	30 m
7. Control estadístico de procesos, control predictivo CAD	Disponible	Dependable	Dependable de terceros	Disponible	Disponible	Disponible	Disponible	Disponible
<b>D. Comunicaciones</b>								
1. Protocolos disponibles Ethernet, MAP, TOP	Si, Si, No	Si, Si, Si	Si, No, No	Si, todos	Si, Si, No	Si, Si, Si	Si, Si, No	Si, Si, No
2. Opciones de comunicaciones	Distributed Communication Network (DCN) 20MBd	INFUNET - 10MBd Controlbus-1 MHz Slave bus-500 kHz Fieldbus-9600 B Remote I/O-1 MBd	Display Network - Ethernet 10 MBd, Process network - Ethernet 10 MBd, Remote I/O - Remote 375 kBd	Data Highway 250 kBd, Process Control & information highway 5 MBd, Ethernet DECnet 170 kBd	Carrierbus LAN-5 MBd, Nodebus-10MBd, Fieldbus 268 kBd	Data Hwy-250 kBd, CAN-5Mb, DCN-5Mb	RT-Bus, I/O Remotus, Ethernet	RT-Bus (control) 1MBd, SI-Bus (data), Fibernet-2MBd
3. Comunicación hacia transmisores inteligentes	Si, HART	Si, estándares Bailey & BIP	Si, Fischer & Porter & Rosemount	Si, HART	Si, Foxboro	Si, Honeywell	Si, Yokogawa	Si, Yokogawa
4. Operación de la pista de datos	Petición de datos, Alarmas se envían a equipos especiales	Por expansion	Por expansion	Token bus	Por expansion	Por petición	Las alarmas se envían a todas las estaciones	Token passing IEEE 802.4
5. Longitud máxima	30,000 m	300,000 m	1,500 m	2,500 m, 600 m	18,000 m	3 x 1,500 m	15,000 m	22,000 m
6. Fibra óptica disponible	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si

	Luca & Northrup MAX 1000	Messuras MXOpen	Micon, Posid Process Systems A/S Open	Moore Products Mycro APACS	Radiane Electric AutoMax DCS	Teas Instrumenta D/S	Toshiba TOSDIC CIZ	Westinghouse WDPF II
<b>A. Control Continuo</b>								
1. Capacidad de control continuo?	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
2. Redundancia completa del controlador del sistema	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
3. Transferencia Manual-Automatica suave	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
4. Software modificable en linea	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
5. Dispositivo utilizado para la configuración del controlador	Manipulador de información, PC	Estación de trabajo FluidView	Estación de trabajo Zterminal o PC	PC o estación de trabajo UNIX	PC compatible bajo Windows	Consola de proceso basada VAX/VMS	Laptop Toshiba	PC o estación de trabajo
6. ¿Los controladores redundantes comparten el mismo "backplane"?	Separado (sin las fuentes de poder)	Mismo	Separado	Separado o mismo	No disponible	Separado con doble backplane	Mismo	Separado
<b>B. Control "batch"</b>								
1. Capacidad para control de procesos en lote	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
2. El mismo controlador para control continuo y por lotes	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
3. Configuración del sistema de control de procesos por lotes	Bloques, lenguaje de alto nivel	Funciones de usuario, escalera y lenguajes estructurados	115 Bloques de funciones para interfaz secuencial y analógica	Bloques de funciones, escalera o texto estructurado	Windows en PC compatible con BIM	Lenguaje estructurado en ambiente multitarea y temporal	Bloques de funciones, logica de escalera o paquete "batch"	Configuración en lenguaje inglés (VERBAL)
4. Controlador "batch" totalmente redundante	Si, 1:1	Si, 1:1	Si, 1:1 hasta 1:8	Si, 1:1 o selectivo	No	Si, 1:1	Si	Si
<b>C. Misceláneos</b>								
1. Metodo usado para configurar graficos	Bibliotecas de iconos	Paquete CAD en estación de trabajo	Estación de trabajo SPARC con biblioteca de iconos	Biblioteca de simbolos de proceso y paquete CAD	Paquetes de software separados	Constructor de graficos en PC o estación de trabajo basada en VAX	Constructor de graficos en PC	Paquete CAD en PC o estación de trabajo RISC
2. Gran densidad de entradas/salidas	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
3. Acceso en la consola del operador a la base de datos y graficos	Si, hasta 10 niveles de seguridad	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
4. A falta de potencia, ¿cómo fallan las señales?	Seleccionable por el usuario	Seleccionable por el usuario	Seleccionable por el usuario	Seleccionable por el usuario	Se apagan	Seleccionable por el usuario	Seleccionable por el usuario	Seleccionable por el usuario
5. ¿ Se pueden cambiar los módulos o unidades a laptop ?	Si, todas	Si, estación de datos y control	Si, control, comunicaciones e I/O	Si, todas	No	Si, todas	Si, todas	Si, todas
6. Distancia máxima de terminales de I/O desde controladores remotos	1,500 m	No disponible	26,000 m	700 m	1,000 m	1,500 m	2,000 m	2,000 m
7. Control estadístico de procesos, control predictivo y CAD	Disponble	Disponble	Disponble y abierto a terceros	Disponble	Si, Si, No	Disponble	Disponble	Disponble
<b>D. Comunicaciones</b>								
1. Protocolos disponible Ethernet, MAP, TOP	Si (sistema abierto)	Ethernet (OSI, TCP/IP)	Si, No, Si	Si, Si, No	Si, No, No	Ethernet, DEUnit	Si, Si, No	Si, Si, Si
2. Opciones de comunicaciones	Otra	MXOpen LAN - 10Mb/s, Inter Bus - 0.07Mbit	FDDI-100Mbit, Ethernet-10Mbit, IEEE802.4-Mbit, FIELBUS-1Mbit, Renate-9600 Fluid	Ethernet, MODBUS-RTU-Carriband 802.4-5Mbps, MODBUS-1Mbps, IOBUS-1Mbps, HART Filebus	Ethernet TCP/IP-10Mbit, DCSNet-875Kbit, Renate IO-875 Kbit	Ethernet IEEE 802.3	LAN de proceso ADMAP, IEEE 802.4 bus serial IO, bus paralelo IO	WeSNet II (HDLIC) -2Mbit, information Highway (TCP/IP)-100 Mbit, Renate (AT-1.6 Mbit)
3. Comunicación hacia transmisores inteligentes	No disponible	No	Si, HART	Si, HART	No	No	Si, HART	Si, HART
4. Operación de la pista de datos	Túnel ring, anillo físico, alarmas por excepción, otros por petición	Configurable por excepción, petición o evento	Alarmas por excepción, Datos por petición	Transmisión global y reportes por excepción	Todos los datos y funciones disponibles en DCS-Net	Datos por petición, Alarmas y detecciones específicas	Mensajes y transmisiones en memoria común en cada nodo	WeSNet II detección basada en IEEE 802.4 Token Bus
5. Velocidad máxima	6,000 m	3,000 m	30,000 m	15,000 m	1,000 m	3,000 m	8,000 m	42,000 m
6. Fibra optica disponible	Si (estandar)	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si

## APÉNDICE B

---

**Glosario básico de términos y siglas referidas a Control Industrial.**

<b>Siglas</b>	<b>Descripción</b>
ABB	Asea Brown Boveri.
ADC	Automated Data Capture.
ALU	Arithmetic-Logic Unit.
AM	Amplitude Modulation.
ANSI	American National Standards Institute.
ASCII	American Standard Code for Information Interchange.
BCD	Binary Coded Decimal.
BCM	Bus Control Module.
BCS	Business Control System.
Bit	Binary Digit.
BSD	Bisynchronous Transmission.
CASE	Common Applications Service Elements.
CGA	Color Graphic Array.
CHIP	Computer Highway Interface Package.
CIM	Computer Integrated Manufacturing.
CMA	European Computer Manufacturers Association.
COS	Corporation for Open Systems.
CRT	Cathodic Ray Terminal.
CSA	Canadian Standard Association.
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect.
DCS	Distributed Control System.
DEC	Digital Equipment Corporation.
DMM	Digital Multimeter.
DNA	Digital Network Architecture.
DOC	Distributed Operator Center.
DPDT	Double Pole Double Throw.
EIA	Electrical Industries Association.
EPA	Enhanced Performance Architecture.
EXACT	Foxboro Expert Adaptive Control Tuning.
FDM	Frequency Divided Multiplexed.
FM	Factory Mutual.
FTAM	File Transfer Service.

HDLC	High-Level Data Link Control.
HHT	Hand Held Terminal.
HP	Hewlett-Packard.
HVAC	High Velocity Air Conditioning.
I/O	Input/Output.
IB	Interfase Bus.
IBM	International Business Machines.
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers.
IMC	Integrated Motion Control.
IP	Internet Protocol.
IPC	InetrProcess Communication.
ISA	Instrument Society of America.
ISDN	Integrated Systems Digital Network.
ISO	International Standards Organization.
LAN	Local Area Network.
LCD	Liquid Crystal Display.
LCM	Loop Control Module.
LLC	Logical Link Control.
LOC	Local Operator Center.
MAC	Media Access Control.
MAP	Manufacturing Automation Protocol.
MCAA	Measurment, Control and Automation Association.
MMS	Manufacturing Messaging Service.
MTBF	Mean Time Between Failure.
MTTR	Mean Time To Return.
OEM	Original Equipment Manufacture.
OIS	Open Industrial Systems.
OSI	Open system Interconnection model.
PC	Personal Computer.
PCM	Pulse Codified Modulation.
PID	Proportional / Itegral / Derivative.
PLC	Programmable Logic Controller.
PS	Power Supply.
RADAR	Rutime Alarm Detection And Recording.
RAM	Random Access Memory.
REM	Remote.

<b>REM I/O</b>	Remote Input/Output.
<b>RISC</b>	Reduced Instruction Set Computing.
<b>ROM</b>	Read Only Memory.
<b>RS-</b>	Recomended Standard.
<b>RTD</b>	Resistance Temperature Detector.
<b>RTU</b>	Remote Terminal Unit.
<b>SAP</b>	Service Access Point.
<b>SCADA</b>	Supervisory Control And Data Adquisition.
<b>SCSI</b>	Small Computer System Interface.
<b>SICT</b>	Software Image Configuration Table.
<b>SLC</b>	Small Logical Controller.
<b>SPDT</b>	Single Pole Trigger.
<b>T/C</b>	Thermo Couple.
<b>TCP</b>	Tmasmission Control Protocol.
<b>TDM</b>	Time Divided Arquitecture.
<b>TI</b>	Texas Instruments.
<b>TOP</b>	Technical and Office Protocol.
<b>TTL</b>	Transistor/Transistor Logic.
<b>UL</b>	Underwriters Laboratories.
<b>VGA</b>	Video Graphic Array.
<b>VMS</b>	Virtual Memory Storage.

## **BIBLIOGRAFÍA**

---

**BIBLIOGRAFÍA****Libros.**

Doebelin O. Ernest, Control System Principles and Design.  
EUA, John Wiley & Sons, primera edición, 1985

Leigh, Applied Digital Control.  
Prentice Hall, EUA, 1992.

Luyben, William, Process modeling, simulation and control for chemical engineers.  
Mc Graw Hill, EUA, 1989

Martin, Peter, Dynamic performance management, the path to world class manufacturing.  
Van Nostrand Reinhold, New York, 1993.

Ogata, Katsuhiko, Ingeniería de Control Moderna.  
Prentice Hall, México, 1993

Sallenave, Jean-Paul, La gerencia integral.  
Grupo editorial norma, Colombia, 1994.

**Revistas.**

Babb, Michael, Pneumatic Instruments Gave Birth To Automatic Control.  
Control Engineering, Octubre 1990, EUA, Vol. 37, No. 12, pag. 20.

Blickley, George, Modern Control Started with Ziegler-Nichols Tuning.  
Control Engineering, Octubre 1990, EUA, Vol. 37, No. 12, pag. 11.

Gordon, Lewis, Basic concepts, terminology and techniques for process control.  
Chemical Engineering, Mayo, New York, 1983.

Gordon, Lewis, Feedback control modes.  
Chemical Engineering, Agosto, New York, 1983.

Morris, Henry, Electronic PID Controllers Shrink While Features Grow  
Control Engineering, Octubre 1990, EUA, Vol. 37, No. 12, pag. 31.

Kinney, Thomas, Tuning process controllers  
Chemical Engineering, Septiembre, New York, 1983

Ricalde, Marian, ¿Están bien protegidos los trabajadores?  
Manufactura, Septiembre/Octubre, México, 1994, pag. 62.

Rozenberg, Dino, El diploma de eficiencia,  
Manufactura, Septiembre/Octubre, México, 1994, pag. 7.

#### **Manuales.**

Foxboro, Sys-1 Course manual,  
I/A system, 1989

Honeywell, UCN implementation, Process manager -2  
TDC 3000, 1990.

Honeywell, LCN system summary  
TDC 3000, 1990.