

Sistemas de Automatización



Eduardo Izaguirre Castellanos

Edición: Liset Ravelo Romero

Corrección: Fernando Gutiérrez Ortega

Eduardo Izaguirre Castellanos, 2012

Editorial Feijóo, 2012

ISBN: 978-959-250-780-7



EDITORIAL
Feijóo

Editorial Samuel Feijóo, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Carretera a Camajuaní, km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba. CP 54830

Contenidos

Índice	iii
Introducción	vii

CAPÍTULO I: Introducción a los Sistemas de Automatización

Introducción a los Sistemas Automatizados	8
Concepto de Sistema Automatizado	10
Funciones de un Sistema Automatizado	13

CAPÍTULO II: Categorías de Sistemas Digitales

Estructuras de Sistemas Automatizados	18
Niveles de automatización. Pirámide jerárquica	21
Sistemas Digitales. Categorías	24

Sistemas de Control Distribuidos

Sistemas de Control Distribuidos. Evolución	25
Concepto y Esquema Típico	26
Configuración de un Sistema de Control Distribuido	28
Estándares básicos para los Sistemas de Control Distribuidos	30

Sistemas SCADA

Sistemas de Control Supervisorio y Adquisición de Datos	30
Historia de los sistemas SCADA	32
Esquema típico y componentes SCADA	32

Funciones de un SCADA	35
Prestaciones	35
Requisitos	36
Módulos SCADA	37
Software SCADA	39
Flujo de la información en los sistemas SCADA	39
Ventajas y desventajas de un SCADA	40
Necesidad de un sistema SCADA	40
Diferencias entre un SCADA y un SCD	41

Sistemas a Base de Autómatas Programables y PC

Sistemas basados en PLC y PC	42
Consideraciones en el empleo de los PLC	43
Autómatas Programables vs PC	45
La Automatización Mediante Ordenadores	48
Hardware o Software	49

CAPITULO III: Variables y Medios Técnicos de Automatización

Procesos y variables

Clasificación de los Procesos Tecnológicos	54
Clasificación de las variables	54
Análisis de las señales	56
Tipos de señales en los Procesos Industriales	59
Señales digitales	59
Señales analógicas	60

Caracterización estática y dinámica de las señales	64
--	----

Medios Técnicos de Automatización

Medios Técnicos en la Automatización	67
Instrumentación digital e inteligente	69
Reguladores PID digitales	72
Autómatas Programables	76
PC Industriales	79
Sistemas Empotrados	79
Ventajas del sistema embebido sobre las soluciones tradicionales	84

CAPÍTULO IV: Sistemas Automatizados de Tiempo Real

Sistemas de Tiempo Real. Definiciones	86
Clasificación de los Sistemas de Tiempo Real	89
Tareas en Sistemas de Tiempo-Real	90
Clasificación de las Políticas de Planificación	95
Políticas de Planificación Estáticas	97
Planificación Estática basada en el RMA	98

CAPÍTULO V: Comunicación Industrial

Introducción	101
Niveles Jerárquicos	102
Clasificación de los Sistemas Comunicación Industrial	106

Características de la Comunicación Industrial	109
Protocolos más importantes	110
Ethernet	112
MAP: Manufacturing Automation Protocol	115
Buses de Campo	117

CAPÍTULO VI: Fundamentos de Diseño Sistemas Automatizados

Generalidades del Diseño	124
Requisitos	128
Consideraciones para el Diseño	128
Etapas en el Proyecto de Automatización	131

CAPÍTULO VII: Seguridad en Sistemas Automatizados

La Seguridad y las Modernas Tecnologías	136
Los Nuevos Riesgos	137
Automatización y la Seguridad	139
Referencias bibliográficas	143

En la vida social el propio avance de la humanidad ha conllevado al auge de la producción, la tecnología y la ciencia, desarrollándose estas ramas impetuosamente en función del desarrollo y bienestar de la humanidad. En la actualidad el hombre se ve obligado a explotar procesos industriales muy complejos, con la calidad y fiabilidad requeridas, donde en muchos casos la cantidad de información manejada puede ser de miles de variables entre analógicas y digitales.

En la actualidad no se concibe ningún proceso productivo moderno sin presencia de la automatización. La misma puede abarcar en los casos más simples los sensores y lazos de control local, y en aplicaciones más complejas los sistemas de Adquisición de Datos por ordenador; sistemas SCADA, Sistemas de Control Distribuidos, etc.

En la automatización de los procesos tecnológicos, industrias, laboratorios y aplicaciones en la esfera de los servicios, los sistemas de control juegan un rol fundamental, pues gracias a ellos es posible garantizar el correcto funcionamiento, explotación, supervisión y gobierno de tales sistemas.

Este compendio tiene como objetivo servir de material de estudio de la asignatura de Sistemas de Automatización para los estudiantes que se forman como especialistas en Automática, de manera que sean capaces de asimilar y aplicar los conceptos relacionados con el diseño y explotación de los sistemas de automatización, siendo capaces de seleccionar adecuadamente sus principales elementos, medios técnicos, hardware y software para explotar adecuadamente este tipo de sistemas, en función de las características, requisitos y exigencias del proceso tecnológico.

La monografía está dividida en siete capítulos donde incursionamos en los temas relacionados con los Sistemas SCADA, Sistemas de Control Distribuido, Comunicación Industrial, Sistemas de Tiempo Real, Fundamentos de Diseño y Seguridad en los Sistemas Automatizados, etc. En el mismo hemos realizado una recopilación de temas a partir de variadas fuentes bibliográficas; con la finalidad de agrupar en un solo material las principales temáticas que pueden ser de interés para el estudiante, enriqueciendo cada capítulo con los aspectos que considerábamos novedosos y de interés.

Esperamos que le resulte útil y, por nuestra parte, estamos en la mejor disposición de atender las sugerencias y/o recomendaciones que Ud. pudiera aportar para el perfeccionamiento del mismo en futuras ediciones.

Muchas Gracias

Introducción a los Sistemas Automatizados

El desarrollo creciente de la industria moderna dio lugar a la necesidad de la creación de sistemas capaces de obtener información en diferentes puntos del proceso y transmitirla a centros procesadores de esta información, los cuales en función de los algoritmos que emplean para su trabajo, la utilizan para:

1. Representarla.
2. Realizar funciones de control.
3. Almacenarla.

Si realizáramos una breve reseña histórica acerca de cómo se han desarrollado los sistemas de automatización y control por computadora hasta nuestros días, pudiéramos resumirlo de la forma siguiente:

- 1950 - Concepción de un sistema de control por computadora. Brown and Campbell.
- 1954 - Primera computadora digital para control. Aplicada en control de vuelos.
- 1958 - Primer sistema para monitoreo en una Planta de Potencia.
- 1959 - Primer sistema en lazo cerrado en una refinería en Texas, 40 lazos supervisorios.
- 1962 - Primer Control Digital Directo (DDC) en una planta química en el Reino Unido.
- 1963 - Aparecen los Sistemas Operativos para tiempo real con superlenguajes.
- 1974 - Con el desarrollo de los microprocesadores y microcomputadoras, aparecen los sistemas de Control Distribuido con sus diferentes variantes y estructuras.

Hasta el inicio de la década de los setenta, los sistemas de automatización se concebían como grandes y potentes núcleos inteligentes a los cuales se hacía llegar, mediante la utilización de cables, la información sobre casi todo el proceso (200-1000 variables), en los que se realizaban las operaciones de medición y control a través de algoritmos muy complejos, requiriendo de máquinas computadoras de gran velocidad y elevadas capacidades de memoria. Ya desde comienzos de la década de los setenta, comercialmente se ofrecían sistemas de medición de información diseñados en función de una automatización implementada con computadoras digitales (tabla 1).

Luego, los mismos ceden el paso a sistemas de arquitectura descentralizada los cuales no suelen emplear la transmisión de señales analógicas a grandes distancias (evitando los grandes problemas de ruido eléctrico y ahorrando en cables, entre otras ventajas).

El propio desarrollo de la humanidad ha conllevado al auge de la producción, las ciencias y cada día más, a la aplicación de estas últimas en la práctica social, llegándose en la actualidad a procesos industriales complejos, como por ejemplo, las centrales electronucleares donde la cantidad de información manejada en cada reactor es muy alta.

Tabla 1. Primeros sistemas de medición en función de la automatización con computadoras digitales comercialmente disponibles.

País	Firma	Modelo	Velocidad de conmutación	Numero de canales/seg	Error (%)
USA	Esterl H. Packard	2320-A	200	20	0.1
		RD-2020	1000	14	0.09
		LN-53200	800	800	0.1
Gran Bretaña	Solartron M.B.Metals Dinamco		10000	100	0.025
		MBM 5 000	1000	20	0.01
		Data-Logg	1000	150	1.0
Alemania	Bolkow E. Frischen Rochde-S	B-2000	10000	500	0.1
		VDK-512W	100	10	0.05
		US-type	100	10	0.02
Japon	Takeda-Rikon	Dagg-3	20	5	0.1
		Dagg-2	400	20	0.1
Francia	T.A	SAD-5000	1000	20	0.03
Holanda	Phillips	PR-8600	1000	10	0.5
Finlandia	Nokia	PP-6404	100	20	0.05
Italia	O.G	Multileg	100	2	0.1

Entre los progresos alcanzados por la sociedad, en los últimos años, deben señalarse muy significativamente:

- Las tecnologías de los procesos productivos.
- La teoría de los sistemas y dirección de éstos.
- Las técnicas de la computación electrónica.

En sus inicios, la industria utilizaba materias primas obtenidas de la naturaleza. Con procesos simples de elaboración y con fuentes de energía naturales o las del propio hombre se obtenían productos utilizables en la sociedad. Con un mayor conocimiento de los materiales, la explotación de nuevas fuentes de energía, el hombre ha creado nuevas tecnologías más avanzadas y complejas en las operaciones con restricciones más precisas en las variaciones de las variables. Todo lo anterior trae como consecuencia que se necesite mayor información sobre el proceso y técnicas modernas de control y dirección. Este camino de elevación de los conocimientos del mundo continuará en los próximos años en todas las esferas.

Durante el decursar de la historia han existido diferentes etapas que se destacan por el desarrollo vertiginoso en algunas esferas, en los últimos años ha sido y es la electrónica (microelectrónica) y sus aplicaciones más directas.

El inicio del desarrollo del control automático se asocia con el control de velocidad de Watt para su máquina de vapor y al ruso Polunov para el control del nivel de agua en una caldera.

En el siglo pasado y hasta alrededor de los años sesenta se desarrollaron notablemente teorías de control para sistemas simples, métodos de optimización, modelos matemáticos, etc. A partir de entonces los sistemas multivariables, digitales. Luego comenzaron a desarrollarse investigaciones en relación con los sistemas de automatización, las cuales no se han detenido hasta nuestros días.

El desarrollo de las técnicas de computación influyó en dos sentidos:

- Aplicación práctica de sistemas de medición y control complejos.
- Aparición de nuevas técnicas de control que han necesitado de máquinas veloces y potentes para el análisis y diseño.

Los conocimientos, que va adquiriendo el propio hombre, hacen que se desarrollen los procesos tecnológicos, su necesidad de automatización y de una producción eficiente y con calidad. A su vez los sistemas complejos hacen que se puedan analizar y obtener más información, produciendo un aumento de los conocimientos del hombre, lográndose con ello un desarrollo sostenido.

En la figura 1.1 se muestra la interrelación de los conocimientos con el desarrollo.



Figura 1.1. Influencia de los conocimientos y desarrollo de los sistemas productivos

Concepto de Sistema Automatizado

Un sistema automatizado es el conjunto de elementos (equipamiento, sistema de información, y procedimientos) interrelacionados funcionalmente entre sí que conforman una estructura jerárquicamente expandida cuya función es garantizar el desempeño independiente del proceso a través de operaciones de control y supervisión total del sistema, bajo las técnicas más modernas y cumpliendo los requisitos establecidos de acuerdo al tipo de planta.

Características que distinguen a un sistema automatizado moderno.

1. Esquemas de comunicación que garantizan el intercambio confiable de datos, tanto vertical como horizontal entre todos los componentes del sistema.
2. Alta capacidad de adaptación en las características del proceso para futuras aplicaciones, automatización flexible.
3. Trabajo en Tiempo Real.

4. Operación según el principio de: “Control descentralizado bajo mando e información centralizados”.
5. Manejo y explotación de bases de datos.
6. Gran variedad de funciones implementadas que abarcan la explotación del sistema en las esferas de: automatización, control del proceso, monitoreo, ingeniería (simulación y parametrización), diagnóstico y ayuda, administración, etc.

Para concebir un sistema automatizado es necesario tener presentes las diferentes partes que componen el mismo, ellas son:

1. Proceso tecnológico o planta.
2. Los medios técnicos de automatización.
3. Elementos acondicionadores de señales.
4. Interfaces con los medios de cómputo.
5. Medios de cómputo.
6. Aseguramiento matemático.
 - Métodos.
 - Algoritmos.
 - Software.
7. El aseguramiento informativo.
8. El aseguramiento organizativo.
9. Hombre-Operador.

Se ha incluido al hombre por su importancia dentro del sistema; el mismo debe tomar las decisiones correctas no solo para el adecuado funcionamiento del sistema sino también ante la ocurrencia de anomalías.

En la actualidad el uso de las tecnologías informáticas ha permitido el aumento en la velocidad de realización de los cálculos, ha posibilitado además disponer de mayor cantidad de memoria para el almacenamiento de los datos y su procesamiento, una mejor representación de la información y visualización de parámetros, y sobre todo la comunicación con otras plantas o sistemas. Todo esto tributa en una mejor operación y explotación general del sistema.

Luego, hay sistemas que son relativamente sencillos de operar, otros suelen ser más complejos, en realidad existen diferencias entre los distintos sistemas automatizados que dependen en gran medida de las características propias de la planta o proceso automático.

Tabla 2. Diferencias entre la automatización de Agregados y de Instalaciones.

Aspectos	Automatización Agregados	Automatización Instalaciones
Cantidad de señales	Menor de 100	Mayor de 100
Distancia	Menor de 200 m	Mayor de 150 m
Comunicación Máquina- Máquina	Analógica (una unidad solamente) Bus Digital (más de una unidad)	Bus Digital
Algoritmos	Sencillos (adquisición y procesam. primario)	Complejos (ejecutados en el módulo central)

Una de las repercusiones más importantes que introdujo la aplicación de las microcomputadoras en la automatización de sistemas, consistió en el paso a concepciones de control y supervisión de forma descentralizada.

Partes fundamentales de estos sistemas descentralizados lo constituyen los módulos inteligentes funcionales, que incorporan en una sola unidad la posibilidad de adquisición y procesamiento de la información, control y actuación sobre la planta, transmisión de los datos, etc.

El paso hacia sensores inteligentes es ya una realidad; y la transformación de señales de corriente (4-20 mA) muy popular y difundida desde hace años en la automatización de procesos, se transforma hacia el empleo de señales digitales sobre un bus de campo.

Por otro lado tenemos, que en todo sistema automatizado es necesario e imprescindible realizar la medición de las variables del proceso, en tal sentido hay que plantearse entre otras las interrogantes siguientes: ¿Para qué se mide, cuál es su finalidad?, ¿Con qué calidad se requiere realizar la medición? Las respuestas a estas interrogantes definirán:

- Las variables a medir.
- Lugar de la industria que se presentará: local, paneles, computadora, etc.
- Calidad requerida.
- Funciones a cumplir.

No obstante al desarrollo que cada vez más experimentan los sistemas de automatización, se distingue que las tendencias actuales de los mismos van dirigidas a:

- Intercambio libre de elementos.
- Disminución del cableado.
- Estandarización de las comunicaciones.
- Simplificación de la interconexión de nuevos dispositivos.

Funciones de un Sistema Automatizado

Básicamente las funciones que se ejecutan en un sistema automatizado las podemos clasificar en cuatro tipos:

1. Funciones de Dirección
2. Funciones de Procesamiento y Control de la Planta.
3. Funciones de Comunicación.
4. Funciones informativas-computacionales.

1. Funciones de Dirección.

Las funciones de dirección son imprescindibles y de vital importancia para lograr el correcto funcionamiento del sistema, entre ellas podemos citar:

- Establecimiento de los regímenes de operación del proceso.
- Formación y transmisión de señales hacia los dispositivos de mando.
- Elaboración de secuencias de órdenes para el arranque, parada, atención a condiciones anormales, etc.
- Toma de decisiones.
- Organización de la transmisión de la información.
- Supervisión del funcionamiento global del sistema y coordinación de factores.
- Establecimiento de prioridades funcionales entre los elementos del sistema y con otros sistemas a diferentes niveles.
- Manejo y operación de los bancos de datos.

Es de señalar que estas funciones son típicas de un sistema de automatización jerárquico.

2. Funciones de Procesamiento y de Control del Proceso.

Comprende las acciones que ejecuta el sistema automático desde el punto de vista del control propiamente dicho, entre ellas tenemos:

- Adquisición y validación de los datos.
- Linealización y calibración de las mediciones.
- Manipulación aritmética y lógica de los datos.

- Análisis de los valores críticos de las variables (por ejemplo: límites, tendencias, etc.)
- Conversión de escalas y a unidades de ingeniería.
- Normalización de datos.
- Corrección de resultados.
- Ajuste automático (drift), etc.

3. Funciones de Comunicación.

Se encuentran dentro de este grupo de funciones las siguientes:

- Comunicación entre los elementos de la planta.
- Comunicación entre el proceso y el hombre.
- Comunicación entre diferentes subsistemas en los posibles modos de operación que tenga la planta.

4. Funciones informativas-computacionales.

Son aquellas orientadas a la presentación de la información y reportes al operador del proceso, entre ellas están:

- Indicación de las variables y parámetros del proceso.
- Registro histórico de la información.
- Detección de desviaciones de las variables de los límites establecidos (límite superior, límite inferior, razón de cambio máxima, etc.)
- Detección de estados y bloqueos del proceso. Reconocimiento y tratamiento de las condiciones de alarma.
- Medición indirecta de parámetros calculados a partir de otras mediciones.
- Cálculo y análisis de indicadores generales del funcionamiento del proceso.
- Cálculo de indicadores técnico-económicos de la explotación del proceso (ejemplo: gramos de combustible por cada Kw/h generado en una termoeléctrica).
- Diagnóstico y pronóstico del proceso, de gran utilidad para la prevención en el momento adecuado de los mantenimientos.
- Reportes de las incidencias y alarmas del proceso.

- Preparación de la información e intercambio con otros niveles jerárquicos de procesamiento.

En relación con las funciones anteriormente mencionadas, se expone en la figura 1.2 los niveles jerárquicos y sus funciones asociadas.

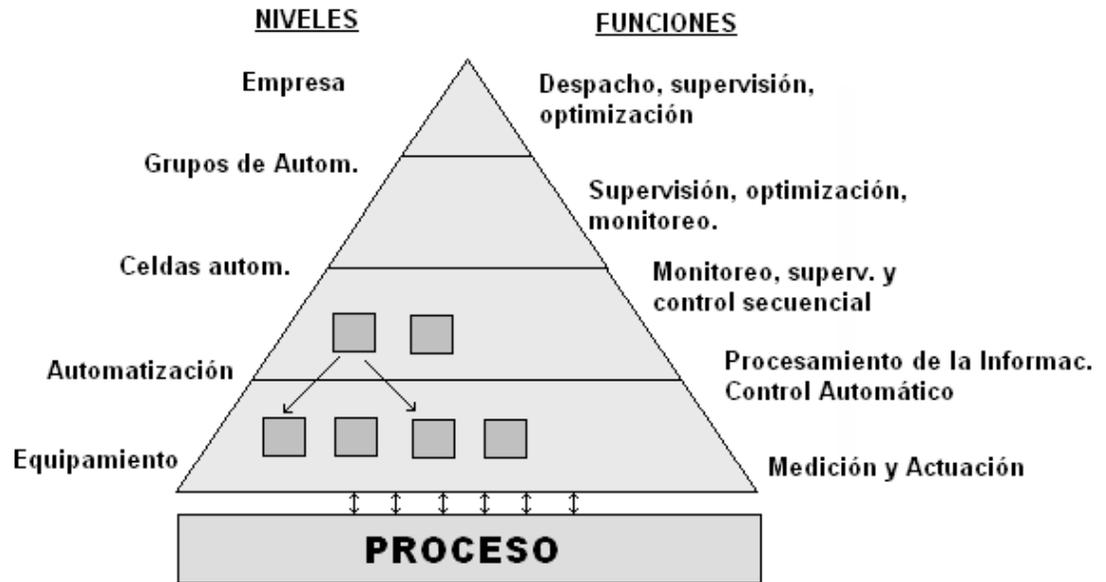


Figura 1.2. Niveles jerárquicos y sus funciones en un sistema automatizado

Las funciones de un sistema automatizado pueden realizarse en uno o varios medios de cómputo en dependencia de la estructura utilizada, aspecto que se tratará mas adelante. En dependencia de las funciones y el grado de relación del hombre en las tareas, se plantean tres regímenes de trabajo:

- 1) Régimen informativo-asesor.
- 2) Régimen supervisorio.
- 3) Régimen de Control Digital Directo.

Veamos a continuación cada uno de ellos:

- 1) Régimen informativo-asesor:

En este régimen los sistemas de cómputo reciben la información, las procesan, la entregan al personal de operación y, además, pueden dar instrucciones o recomendaciones para la dirección óptima del proceso, como por ejemplo el uso de sistemas expertos.

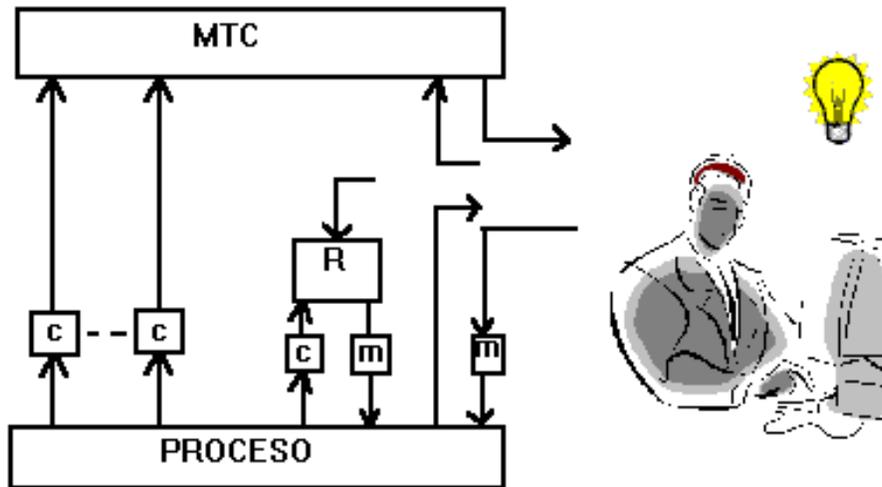


Figura 1.3. Régimen informativo-asesor.

2) Régimen supervisorio.

Es aquel en que los medios técnicos de computación calculan en tiempo real los valores de referencias y parámetros de ajuste de los sistemas locales de regulación. Se utilizan con frecuencia software para la operación óptima.

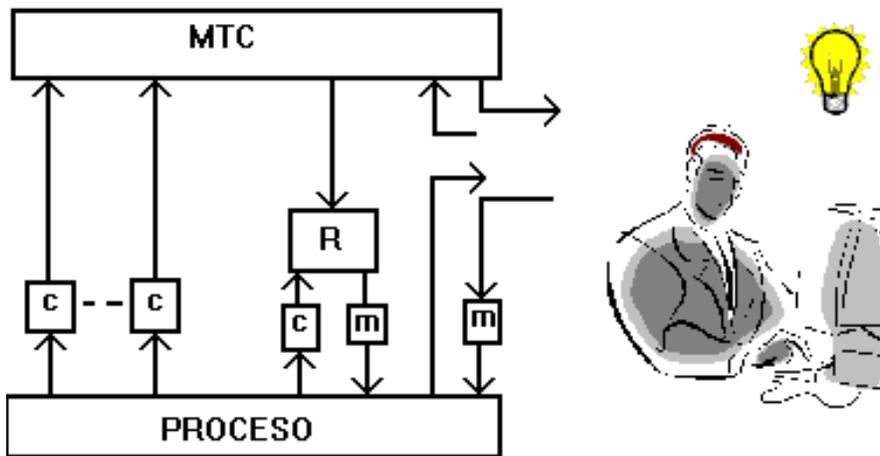


Figura 1.4. Régimen supervisorio.

3) Régimen de Control Digital Directo.

Los medios de cómputo actúan directamente sobre los elementos de mando en el proceso.

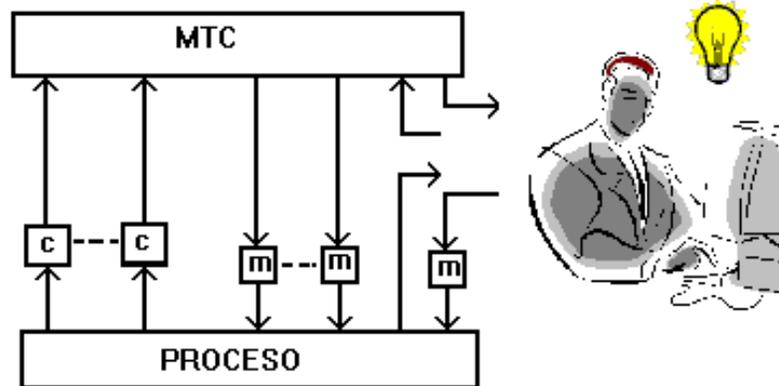


Figura 1.5. Régimen de control digital directo.

En la práctica pueden estar combinados estos regímenes y sobresalir uno de ellos.

Estructuras de Sistemas Automatizados

En sentido general y desde el punto de vista del control, existen dos formas típicas en que pueden estructurarse los sistemas automatizados, la estructura centralizada y la descentralizada.

Se dice que un sistema es centralizado cuando posee un solo órgano de control que es el encargado de organizar el trabajo del resto del sistema. En estos sistemas, todas las señales de los sensores son llevadas hasta la computadora de donde retornan las señales de mando a los correspondientes actuadores.

Los sistemas descentralizados son aquellos en los cuales las tareas están repartidas entre los elementos que constituyen o forman parte de su estructura, lo que representa una descentralización de la “inteligencia” y ello por supuesto presupone la presencia de más de una unidad de cálculo. Estos sistemas pueden ser concentrados o distribuidos. El sistema es concentrado cuando necesariamente los elementos de cómputo deben ser ubicados en el mismo lugar mientras que en un sistema distribuido, los elementos de cómputo están ubicados en lugares distantes.

En los años 60-70 fundamentalmente, aunque todavía existen, los sistemas de medición y control eran centralizados, o sea, toda la información del proceso se llevaba a una mini computadora. Con esta estructura llamada en estrella centralizada (figura 2.1) el costo de los cables era alto, además, la fiabilidad es relativamente baja al tenerse todas las funciones centralizadas en pocas máquinas. Esto último se resolvía en parte duplicando los sistemas de cómputos, como por ejemplo los sistemas informativos computacionales en termoeléctricas.

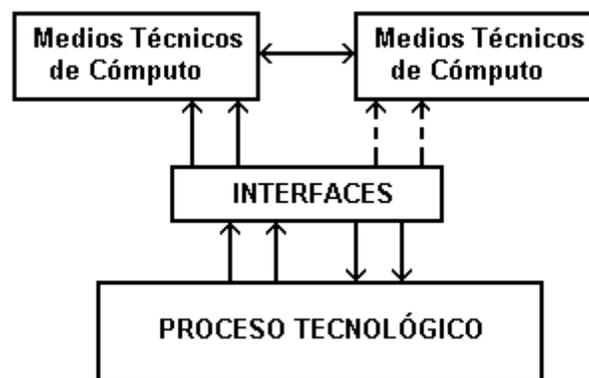


Figura 2.1. Estructura de estrella centralizada

En la actualidad es frecuente que se utilicen la combinación de estructuras de estrella y de buses, centralizadas y descentralizadas (Figuras 2.1 y 2.2).

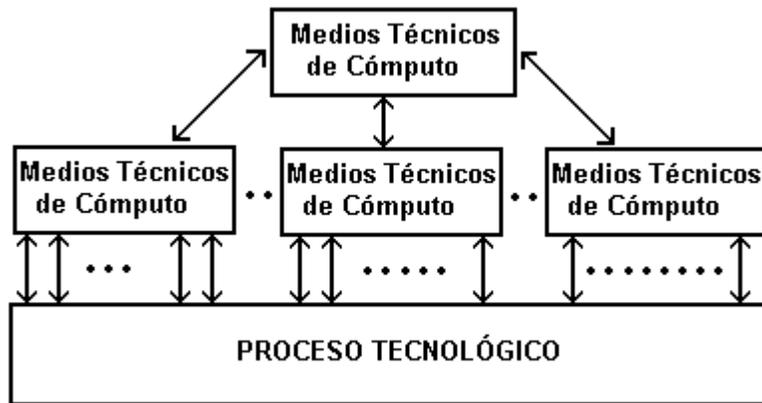


Figura 2.2. Estructura descentralizada en estrella

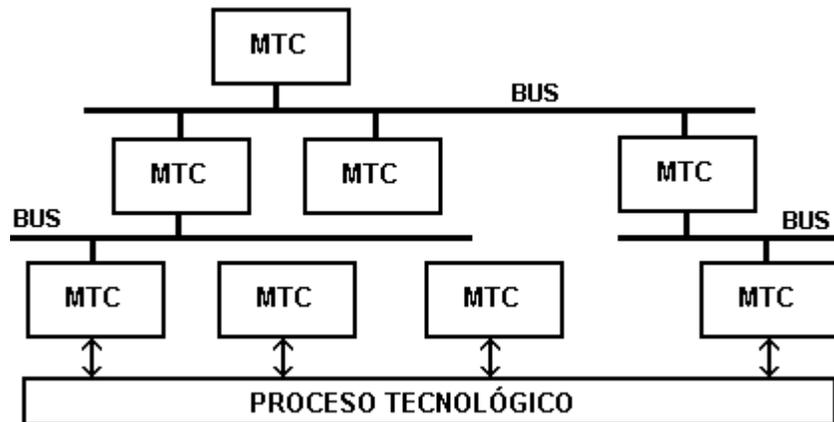


Figura 2.3. Estructura combinada de buses.

Actualmente existen diferentes medios técnicos, estructuras, redes, protocolos, etc. para la automatización industrial, existiendo lo que se conoce como redes industriales y redes comerciales, las primeras para los niveles inferiores de automatización.

Varios son los aspectos a considerar para la selección de los medios, estructura, software a utilizar, entre los que se tienen:

- Flexibilidad, expansión
- Fiabilidad
- Tiempo de diseño, proyección y puesta a punto
- Mantenimiento
- Cultura tecnológica
- Costo.

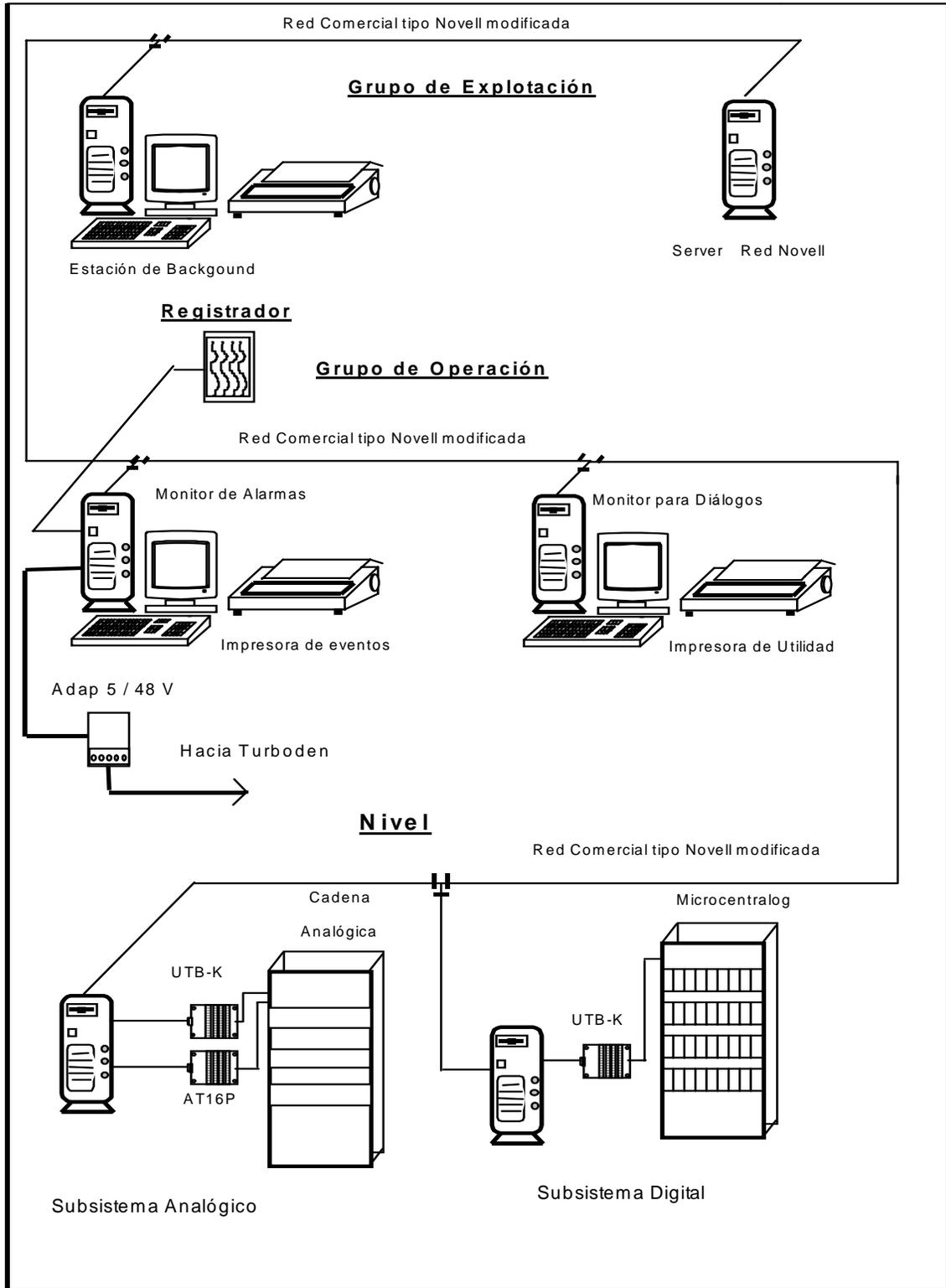


Figura 2.4. Ejemplo de configuración de un Sistema Informativo Computacional

Un esquema de la estructura del sistema informático computacional instalado en una termoeléctrica se muestra en la figura 2.4. Como puede apreciarse, en el nivel inferior, se utilizan: dos microcomputadoras (PC), una para la adquisición de las señales analógicas y otra para las señales discretas. En un segundo nivel están dos PC, una para el subsistema de alarmas y otra para mímicos, diálogos, reportes, etc. En un nivel superior se encuentra una PC para la explotación del sistema, esto es, donde se realizan cambios, llenado de base de datos, etc. por el personal autorizado para ello. Además, se encuentra un servidor para todo el sistema. La red utilizada es Novell con modificaciones para el trabajo en tiempo real.

Niveles de automatización. Pirámide jerárquica

Para un mejor estudio y conocimiento alrededor del tema de los sistemas de automatización, vamos a referirnos a la forma en que se “organiza” un sistema automático atendiendo a las funciones y características de los elementos que lo integran y en dependencia de los diferentes niveles que ocupan para una aplicación dada.

En la figura 2.5 se muestra la denominada pirámide jerárquica de automatización, compuesta por 4 niveles de automatismo jerárquicamente distribuidos. Cada uno se distingue por sus características peculiares en lo que respecta a elementos de hardware y funciones asignadas.

Veamos a continuación las características que distinguen al sistema automático para cada uno de los niveles que conforman el mismo.

Nivel I: Nivel de campo.

En este nivel se incluyen los sensores, transductores, motores, válvulas, actuadores, elementos de control final, instrumentación de campo, módulos de E/S, PLC's destinados al control de máquinas aisladas, dispositivos o procesos simples, lazos de control, robots, control de motores, etc.

Función básica: Control del equipamiento (lazos).

Características.

Medios Técnicos

- Sensores y actuadores.
- Reguladores PID convencionales.
- Reguladores digitales.
- Pequeños PLC.

Comunicación

- Comunicación rápida.
- Pocos datos y distancias pequeñas.

Automatismo

- Interconexión de sensores en una máquina.
- Mando individual de máquinas aisladas y procesos simples.

- Lazos simples de control.
- Se ejecutan las decisiones operativas.

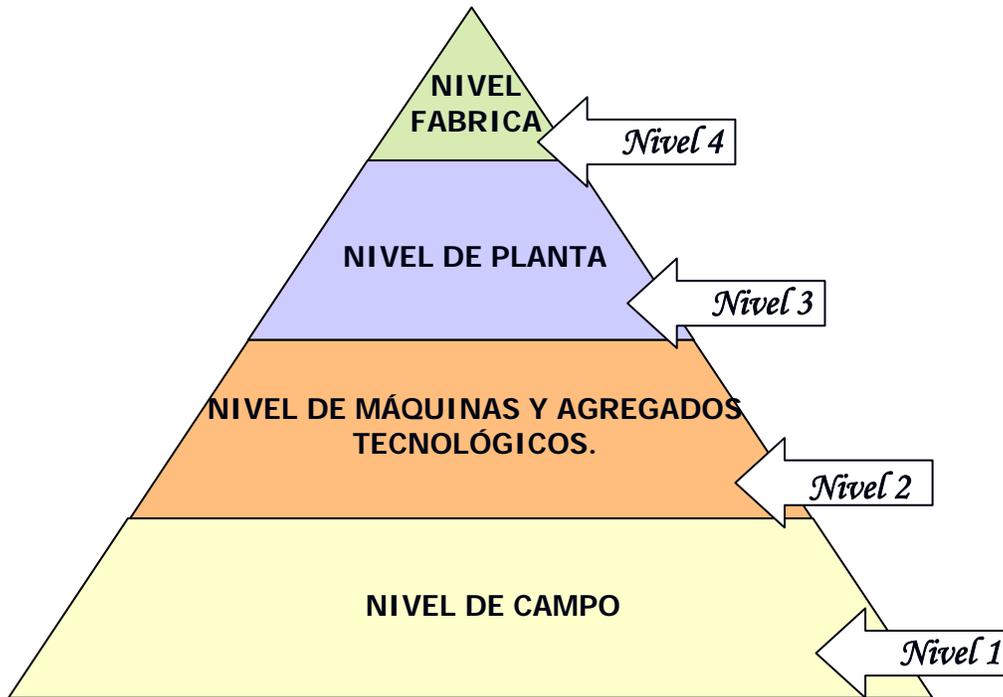


Figura 2.5. Pirámide jerárquica en la automatización

Nivel II: Nivel de máquinas y agregados tecnológicos.

Este nivel abarca las máquinas, líneas de producción, líneas de ensamblaje, procesos industriales.

Función básica: Automatización centralizada (que incluye control y supervisión).

Características.

Medios Técnicos

- Pequeños y medianos PLC
- Controladores digitales medianos.
- Módulos de E/S.

Comunicación

- Distancias medias
- Mayor cantidad de flujo de datos.
- Empleo bus campo.

Automatismo

- Interconexión de varias máquinas.

- Procesamiento de datos.
- Mando centralizado de máquinas y procesos.

Nivel III: Nivel de planta.

Abarca toda la planta (gestión de la producción).

Función básica: Control y gestión de la producción.

Características.

Medios Técnicos

- Grandes Controladores con gran cantidad de E/S.
- Módulos remotos de E/S.

Comunicación

- Redes de área local.
- Redes de autómatas y de ordenadores.
- Manejo de Bases de datos.

Automatismo

- Enlace entre ordenadores y autómatas medianos y grandes.
- Control total de la planta.
- Programación remota.
- Altos niveles de supervisión.

Nivel IV: Nivel de fábrica.

Este nivel abarca toda la Empresa o entidad en su conjunto.

Función básica: Planificación y control de la producción.

Características.

Medios Técnicos

- Grandes Controladores operando en redes.
- Computadoras en función de la producción.

Comunicación

- Redes de alto nivel.
- Procesamiento de grandes volúmenes de datos y toma de decisiones.
- Bases de datos relacionales complejas.
- Grandes distancias.
- Pocas exigencias de velocidad, pero altas de fiabilidad.

Automatismo

- Sistemas abiertos.
- Alto nivel de procesamiento de información.
- Interrelación sistemas informáticos con industriales.
- Se establecen las estrategias de producción.
- Supervisión total del sistema.

Es válido aclarar que desde el punto de vista práctico, carece de sentido establecer una división física entre cada uno de los niveles.

En lo que respecta a la comunicación, en todos los niveles jerárquicos existe comunicación horizontal para un mismo nivel.

Sistemas Digitales. Categorías

En los momentos actuales podemos decir de manera muy simple que el empleo de los medios técnicos de automatización digitales, la computadora como ejemplo más típico ya sea con mayores o menores prestaciones, se ha generalizado tanto, que hoy día está presente en aplicaciones que van desde funciones simples en tareas de control hasta la automatización de sistemas complejos.

De esta forma el término “Sistema Digital” se emplea para hacer referencia a cualquier sistema basado en computadora, o basado en microprocesadores, empleado ya sea en el control y/o la adquisición de datos.

Una de las repercusiones más importantes de la aplicación de los microprocesadores y microcomputadoras de una pastilla en la medición y automatización, consistió en el paso paulatino a concepciones de sistemas en forma descentralizada.

Las partes fundamentales de estos sistemas descentralizados estaban constituidas por módulos inteligentes para la adquisición, procesamiento de datos y actuación sobre el proceso.

Independientemente de su diversidad se han establecido para los sistemas digitales en sentido general, tres categorías diferentes, las cuales enunciamos a continuación.

Categorías en que se agrupan los Sistemas Digitales.

1. Sistemas de Control Distribuido (SCD)
2. Sistemas SCADA.
3. Sistemas a base de Autómatas Programables y PC.

No existe una diferenciación muy grande entre los SCD y los PLC en relación con sus prestaciones, mientras que los SCADA son más generales e incluyen a ambos.

Muchas aplicaciones realmente requieren de la combinación de más de un tipo de sistema digital de los mencionados anteriormente. En la práctica suelen encontrarse sistemas automatizados donde prime uno de ellos, aunque también podemos ver combinaciones de los mismos en dependencia de las características del proceso.

Sistemas de Control Distribuidos. Evolución

Los Sistemas de Control Distribuido (SCD) surgieron producto del propio desarrollo alcanzado por los microprocesadores y en la mitad de la década de los 70 donde aparecen los primeros SCD basados en microprocesadores que fueron concebidos para desplazar los paneles de instrumentación electrónicos convencionales por paneles conformados por sistemas digitales de donde existía una mejor compactación y representación de la información, empleo de vídeo terminales, funciones compartidas por controladores y elementos que permitían de una manera más fácil realizar las funciones de regulación, estrategias de control, secuencias control, temporización y conteo, por solo mencionar algunas.

Alrededor de la primera mitad de los ochenta el empleo de las PC en la industria alcanza relativa madurez y los SCD alcanzaron una etapa superior de desarrollo, donde se adicionaba el empleo y aplicación de paquetes SW para aplicaciones industriales lo cual trajo consigo el poder realizar nuevas funciones tan necesarias e imprescindibles para el desarrollo industrial de aquellos años como son el manejo de bases de datos, análisis de costo, planificación económica, técnicas de optimización, mantenimiento industrial programado, flexibilidad de la producción, etc.

De esta manera alrededor de la operación y funcionamiento de una planta giraban varios aspectos muy importantes a tener en cuenta: Información del Proceso, Técnicas Computacionales y Comunicación.

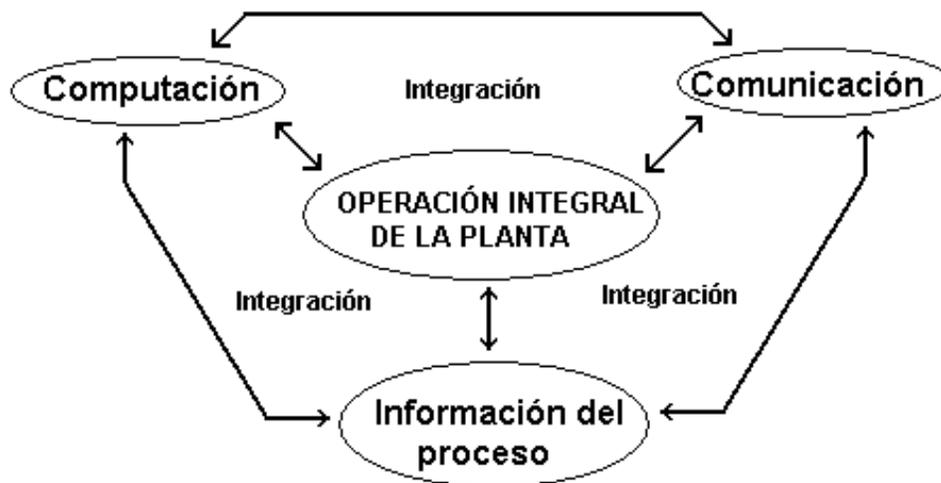


Figura 2.6. Aspectos importantes que giran alrededor de la Automatización de una Planta

De esta manera es que los SCD van evolucionando o pasando por diferentes generaciones, llegando hoy día a la llamada tercera generación (1987), caracterizada por el empleo de la computación

distribuida (inteligencia distribuida), redes de comunicación, interfaces gráficas, etc. De aquí se deriva entonces el denominado concepto moderno de SCD.

Concepto y Esquema Típico

Concepto de Sistema de Control Distribuido (SCD)

Un sistema de control distribuido es el conjunto de elementos de hardware y paquetes de software que de forma conjunta permiten lograr toda la funcionalidad requerida para realizar el control y la adquisición de datos de una planta o proceso dado.

Un SCD se describe como un sistema de control con capacidad de procesamiento distribuida.

Un SCD incluye:

1. Interfaces gráficas de operador (VDU: Vídeo Display Unit)
2. Paquetes de alarma.
3. Recolección de datos históricos (manejo de bases de datos relacionales).
4. Control continuo y discontinuo.
5. Paquetes que permiten configuración completa del sistema.
6. Redundancia de hardware estandar.
7. Generación de reportes.
8. Capacidad de comunicación con otros sistemas digitales.
9. Simulación de procesos por computadora.

Todas estas funciones son suministradas en un solo paquete por el fabricante.

Los SCD se caracterizan por la existencia de varios lazos de control (nodos) con capacidad de procesamiento de la información, los cuales están conectados en red. Cada nodo de control ejecuta un conjunto de tareas concurrentemente con otros nodos.

Las unidades inteligentes (procesadores) pueden comunicarse y sincronizarse para lograr un objetivo común.

Existe en la literatura una notable confusión entre un sistema distribuido y una red de ordenadores. La clave de la diferencia es que en un sistema distribuido, la existencia de múltiples ordenadores autónomos es transparente al usuario, el puede teclear un comando para correr un programa y observar que se ejecuta. En otras palabras, el usuario de un sistema distribuido no tiene conocimiento de que hay múltiples procesadores, más bien se ve al sistema con un monoprocesador virtual. En una red el usuario debe explícitamente entrar a una máquina, enviar trabajos remotos, mover archivos y por lo general, gestionar de manera personal toda la administración de la red. Con un sistema distribuido nada se tiene que hacer de forma explícita, todo lo hace de manera automática el sistema, sin que el usuario tenga conocimiento de ello.

Sin embargo, existe un gran solape entre los dos temas, tanto el sistema distribuido como el de redes de ordenadores, necesitan mover información, la diferencia está en quién invoca el movimiento, el usuario o el sistema.

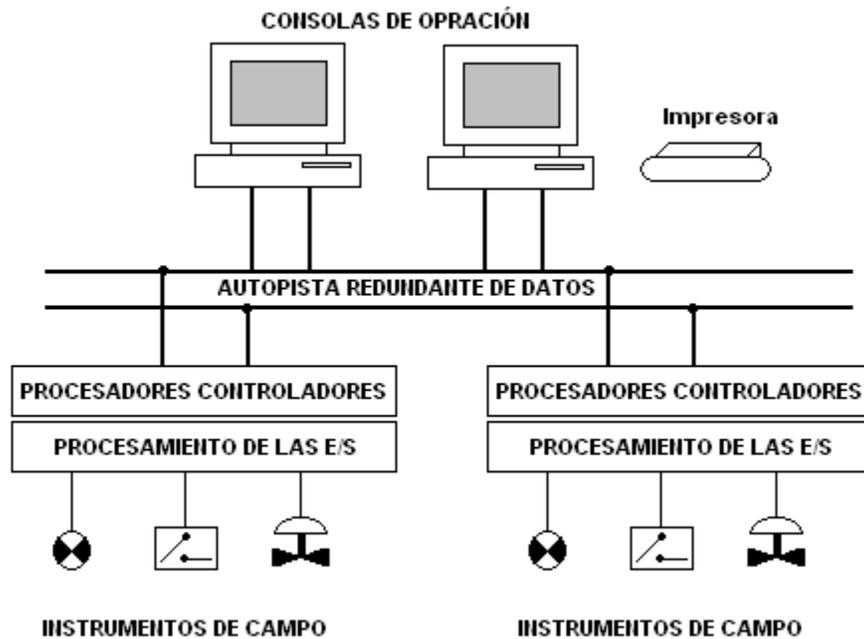


Figura 2.7. Esquema Típico de un Sistema de Control Distribuido

La arquitectura típica de un Sistema de Control Distribuido consiste en módulos múltiples de SW y HW. Algunos módulos manipulan las entradas salidas, realizan la conversión de las señales, ejecutan funciones lógicas, etc. Estos módulos están referidos como módulos controladores. Otros módulos pueden encargarse de mostrar datos y permitir al operador controlar e interactuar con funciones lógicas, estos son los referidos como consolas de operación.

Los módulos de HW en los SCD están conectados mediante un enlace de comunicación digital conocido como autopista de datos. La autopista de datos es parte integrante del SCD y es muchas veces denominado la *columna vertebral del sistema*.

Un SCD normalmente contiene como mínimo una consola de operación, un módulo controlador y una impresora, aunque puede contener varios de cada uno de estos elementos.

El módulo controlador puede realizar funciones de control y operaciones lógicas sin la consola de operación, pero esta última requiere de un personal para atender el monitor y otras actividades de control.

Muchos de los fabricantes ofrecen gran variedad de módulos para ejecutar un gran número de funciones. Las capacidades y disponibilidad de los módulos necesarios pueden variar de un sistema a otro.

Configuración de un Sistema de Control Distribuido

En un sistema industrial de control distribuido, las tareas se suelen dividir en cuatro niveles o grupos distintos. En consecuencia, la estructura de comunicaciones se suele distribuir también por funciones en cuatro grupos, tal y como se indica a continuación (véase la figura 2.8)

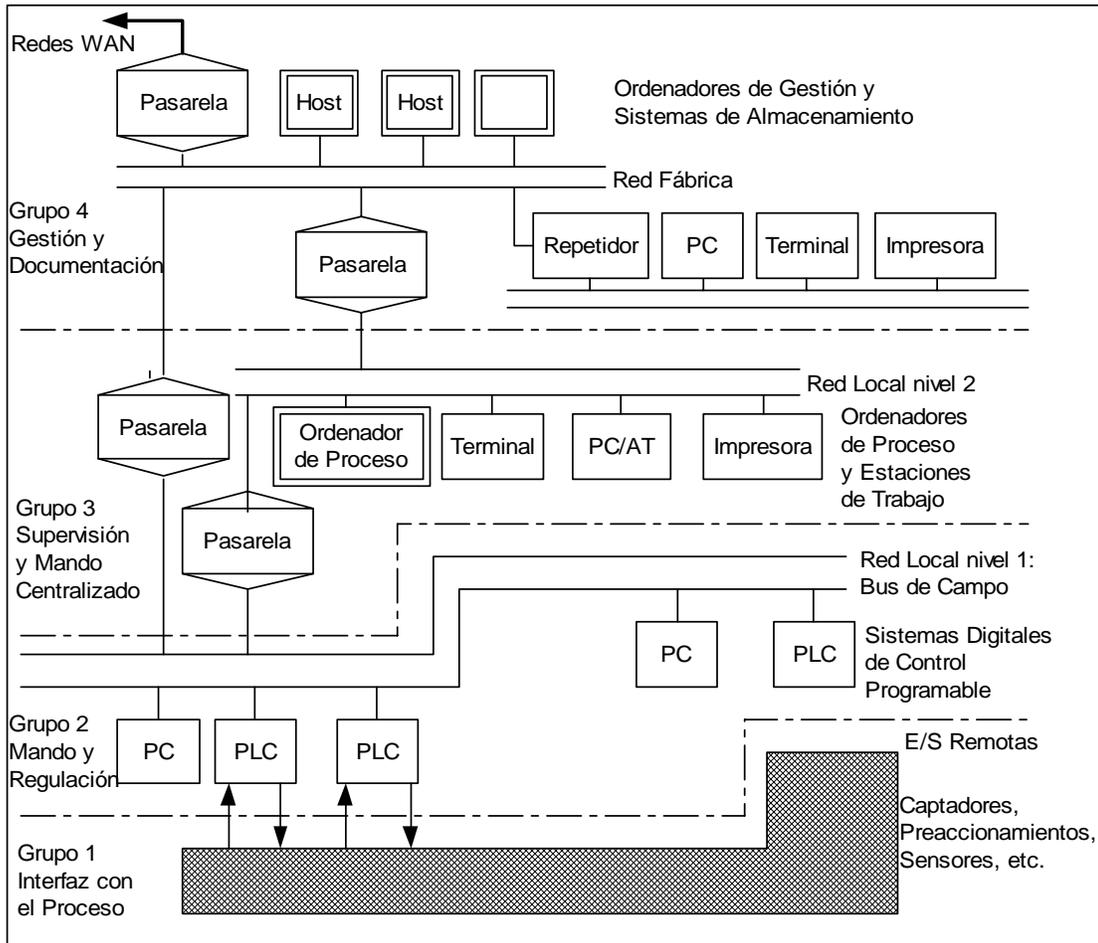


Figura 2.8. Grupos de tareas en el sistema de control con estructura distribuida

Grupo 1: Interfaz con el proceso.

Este nivel está constituido básicamente por unidades de captación de señales y entrada/salida de datos del proceso o de un operador local. Su conexión a red permite la comunicación con sensores, captadores y accionamientos y el control manual a pie de proceso. El enlace entre unidades de este nivel suele efectuarse mediante redes simples o buses de campo, cuya estructura suele ser del tipo maestro esclavo o en algunos casos de maestro flotante.

Grupo 2: Mando y regulación.

Constituido por unidades de control, con CPU y programas propios, que se encargan del control automático de partes del proceso. La integración en red de estas unidades permite intercambien datos e información que son de utilidad para el control global del proceso. Estas unidades suelen ejercer el papel de maestro en la comunicación con el nivel inferior (bus de campo), pero a su vez permiten el enlace con los niveles superiores, enlace que suele requerir redes con protocolos más elaborados que el bus de campo.

Grupo 3: Supervisión y mando centralizados.

Este nivel incluye una serie de unidades destinadas al control global del proceso, terminales de diálogo, sinópticos, terminales de enlace con oficina técnica, entre otros. Desde estas unidades se tiene acceso a la mayor parte de variables del proceso, generalmente con propósito de supervisar, cambiar consignas, alterar programas y obtener datos con vista a su posterior procesamiento.

Grupo 4: Gestión y documentación.

Este nivel incluye la comunicación con ordenadores de gestión y se encarga del procesamiento de los datos obtenidos por el nivel 3 para efectos estadísticos, control de la producción, control de calidad, gestión de existencias y dirección general. En algunos casos, las unidades de este nivel pueden disponer de conexión a redes más amplias de tipo WAN.

En cada uno de los grupos podemos distinguir dos tipos de bloques: bloques de procesamiento y bloques de comunicación, con funciones distintas, generalmente ejercidas por distintas CPU. Los primeros serán responsables del control propiamente dicho y del diálogo con los operadores, mientras que los bloques de comunicación tienen a su cargo asegurar las transferencias de información con la máxima rapidez y fiabilidad, ya sea entre unidades del mismo nivel (flujo horizontal) o con los niveles superior e inferior (flujo vertical).

Los SCD requieren de una configuración, donde se establecen aspectos tan importantes como:

- Tipos de E/S
 - Direccionamiento de las E/S.
 - Dip-switch
- Algoritmos de Control.
 - Inicialización del sistema digital. (generalmente programadas en lenguajes de alto nivel)
 - Secuencias de control
- Definición de alarmas
- Creación de reportes y pantallas gráficas.
- Creación de bases de datos.
- Configuración de la comunicación.

La configuración de un SCD se especifica a partir de los módulos de hardware con que cuenta el sistema y se realiza desde la propia consola de operación con las bases de datos, las cuales están disponibles en los módulos de hardware del sistema.

Los SCD constituyen la primera opción a tener en cuenta para la aplicaciones donde exista control y adquisición de datos en gran escala, debido al sistema modular que permite una garantía en lo que

respecta a la integración del sistema, así como fiabilidad en la recolección de datos tanto analógicos como digitales, y control en sentido general.

Los vendedores ofrecen paquetes de SW para configurar el sistema que corren sobre PC y posteriormente transfieren las bases de datos resultantes de la aplicación a los respectivos módulos del Sistema Distribuido de Control.

De acuerdo a todo esto los SCD son los más costosos de los sistemas digitales; no obstante considerando las ventajas que pueden ofrecer y en dependencia del tipo de proceso donde se decida aplicar el mismo, este costo puede ser amortizado en un tiempo relativamente breve.

Estándares básicos para los Sistemas de Control Distribuidos

La “Instrument Society of América” (ISA) anualmente publica el denominado directorio de la ISA donde hace referencia a la lista de fabricantes y vendedores de SCD clasificados en dos categorías: “Sistemas de control” y “Sistemas de Adquisición de Datos”, a esta información se puede acceder visitando el sitio <http://www.isadirectory.org>

Es válido aclarar que en relación con los SW de aplicación, plataformas computacionales, protocolos de comunicación, etc. que se aplican en los SCD, existen hoy día varios estándares que se han establecido como básicos entre los fabricantes de módulos tanto de SW como de HW para los SCD, logrando con ello una inter-operabilidad y una aceptable integración, cohesión y funcionalidad de los SCD, estos estándares lo constituyen:

1. Sistemas operativos estándares como UNIX ó POSIX.
2. Modelos de comunicación (OSI - Open System Interconnect).
3. Modelos computacionales cooperativos Cliente-Servidor.
4. Protocolos X-Windows para la comunicación de las estaciones de trabajo.
5. Sistemas para el manejo de bases de datos relacionales distribuidos (SQL, Access).
6. Programación orientada a objetos y lenguajes de plataforma independiente.
7. Ingeniería de SW asistida por computador.

Sistemas de Control Supervisorio y Adquisición de Datos

Los sistemas de Control Supervisorio y Adquisición de Datos, son conocidos por el término SCADA, que proviene de las siglas en inglés "Supervisory Control And Data Acquisition".

Un SCADA consiste en un software de aplicación diseñado especialmente para ejecutarse sobre ordenadores destinados al control de la producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores digitales autónomos, autómatas programables, instrumentación inteligente, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador.

El mismo permite realizar a distancia operaciones de control, supervisión y registro de datos del proceso industrial, de esta manera un sistema de este tipo, provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto desde el propio nivel de campo como de otros niveles supervisores superiores que pueden llegar hasta nivel de empresa, abarcando aspectos tan importantes como el control de la calidad, supervisión, mantenimiento, etc.

Todos los programas necesarios, y en su caso el hardware adicional que evidentemente siempre se necesita, se denominan en general sistema SCADA.

Estos sistemas mejoran la eficacia del proceso de monitoreo y control proporcionando la información oportuna para poder tomar decisiones operacionales apropiadas. De igual forma, ya que cuenta con información del proceso de primera mano (alarmas, históricos, paradas, etc.), permite la integración con otras herramientas como lo son las bases de datos, estadísticas del proceso, uso de intranets, etc.

De forma general, los SCADA permiten al cliente conocer en todo momento el estado de una instalación, centralizando toda la información de los emplazamientos remotos en uno o varios Puestos de Control. Los equipos de control situados en las estaciones analizan los parámetros más importantes recogiendo los valores aportados por los diferentes sensores. Cuando se identifica una situación especial o de alerta estos equipos realizan la actuación adecuada y advienen del mismo al Puesto de Control, desde donde se procesa la información y se genera de forma automática la señal de mando apropiada. De igual forma, desde el Puesto Central se puede obtener, en tiempo real, cualquier información relativa a las estaciones remotas.

Además de gestionar alarmas y de capturar datos, los sistemas SCADA permiten generar planes de mantenimiento y eficaces procedimientos de actuación para los operadores. Estos facilitan el trabajo del personal de mantenimiento permitiendo automatizar procesos hasta niveles insospechados por el propio cliente.

Para comunicar las estaciones remotas con los Puestos de Control se utilizan las redes de comunicación. Estas redes pueden ser privadas (PMR, Trunking, Tetra, WirelessLan, WirelessWan, etc.) o redes de operadores públicos (Red telefónica, GSM, GPRS). Los sistemas pueden basar sus comunicaciones en una única red o permitir una comunicación redundante que garantice la comunicación, en caso de problemas en alguna de las redes.

Un sistema SCADA tiene como característica fundamental el empleo de varios protocolos y vías para establecer la comunicación. El mismo es capaz de comunicarse sobre diversos medios físicos, ya sea líneas telefónicas, sistemas de microondas, transmisión por radio UHF/VHF, cables y fibra óptica, y en los casos más complejos por sistemas de satélites.

A diferencia de los Sistemas de Control Distribuido (SCD), en un SCADA el lazo de control puede ser generalmente atendido (cerrado) por el operador. Hoy día es fácil encontrar un sistema SCADA realizando tareas de control automático en cualquiera de sus niveles, aunque su labor principal sea de supervisión y control por parte del operador.

Historia de los sistemas SCADA

Los primeros SCADA eran simples sistemas que proporcionaban reportes periódicos de las variables de campo, vigilando las señales que representaban medidas y/o condiciones del estado de la planta desde ubicaciones generalmente remotas, en muchos casos lo que se hacía era imprimir o registrar en papel la información de las variables de la planta, llevando un histórico de los eventos que ocurrían durante la operación del proceso. Estos sistemas ofrecían capacidades muy simples de monitoreo y control, sin proveer funciones de aplicación alguna. La visión del operador del proceso estaba basada en instrumentos y señalizaciones lumínicas montadas en paneles llenos de indicadores.

Con el desarrollo de la tecnología, los ordenadores empezaron a aplicarse en el control industrial, pudiendo realizar tareas de recolección y almacenamiento de datos, generación de comandos de control, y una nueva función muy importante: la presentación de la información sobre una pantalla, que para aquel entonces eran monocromáticas.

Muchas empresas viendo la necesidad y lo rápido que avanzaba el desarrollo de los ordenadores, fueron realizando programas de aplicación específicos para atender requisitos de algún proyecto particular. Así aparecieron los pequeños SCADAS nacidos de empresas desarrolladoras de software, constituyendo una nueva experiencia para muchas de ellas.

Hoy, los proveedores de sistemas SCADA permiten que su diseño pueda aplicarse a las más variadas necesidades y requisitos de muchas industrias, con módulos de software disponibles para cualquier variante de supervisión y control.

Normalmente también se pueden encontrar en el mercado firmas como la ABB, Fisher-Rosemount y Grupo Shneider, entre otras, que son proveedoras de sistemas de este tipo y que con el transcurso de los años se han especializado en alguna que otra rama del control, como por ejemplo Plantas Generadoras, Refinerías, Industria Textil, etc.

La mayoría de los sistemas SCADA modernos que son instalados hoy día, constituyen parte integral de la estructura de dirección y gerencia de cualquier planta. Estos sistemas ya no son vistos por la gerencia simplemente como herramientas operacionales para la supervisión y el control automático, sino como un recurso importante de información corporativa, sin el cual sería imposible administrar la empresa. Jugando este importante papel, los sistemas SCADA continúan sirviendo como centro de responsabilidad operacional, proporcionando también datos importantes a los sistemas y usuarios que fuera del ambiente de control, dependen de dicha oportuna información para tomar sus decisiones económicas cotidianas.

Esquema típico y componentes SCADA

Los componentes de un sistema SCADA son los siguientes:

1. Instrumentación de campo.
2. Estaciones terminales remotas.
3. Red de comunicación.

4. Estación central de monitoreo.

Las Estaciones o Unidades Remotas (RTU: Remote Terminal Unit) reciben las señales directamente de los sensores de campo y a su vez comandan a los actuadores y demás elementos de control final. Para su interconexión disponen un canal de comunicación en serie por cable o radio frecuencia. Son programables y tienen capacidad de soportar algoritmos de control. Un PLC también puede integrarse dentro de una RTU y formar parte de la estrategia de control que se quiera implementar en el lugar. Un protocolo de comunicación muy utilizado por varios fabricantes es el MODBUS.

La Estación Maestra, es un computador que permite correr un programa SCADA de cierta complejidad, que comprende diversas funciones de acuerdo a la aplicación.

Como puede apreciarse en la figura 1 un sistema SCADA se caracteriza por una combinación de telemetría (técnica empleada para transmitir y recibir información o datos sobre un determinado medio) y adquisición de datos. La información a transmitirse puede ser analógica o digital (nivel, temperatura, voltaje, velocidad, señales on/off, etc.) debiendo ser primeramente medida por los elementos y sensores ubicados a nivel de campo.

La Red o Sistema de Comunicación, se realiza por distintos soportes y medios: línea dedicada, línea telefónica, cable coaxial, fibra óptica, telefonía celular, radio VHF/UHF, microondas, satélite, etc. De esta manera los datos son transmitidos hacia múltiples partes (en ocasiones a un sitio central) mediante el medio físico más apropiado. La manera de direccionar los diferentes sitios hacia donde se envía y/o recibe información del proceso, está incorporada como parte integrante dentro del sistema SCADA.

El soporte de la comunicación a tener en cuenta depende del tamaño del sistema SCADA, la distancia de las RTU, cantidad de datos a transmitir, velocidad y disponibilidad de servicio público de comunicación, características del proceso y tipo de aplicación, por solo mencionar algunas.

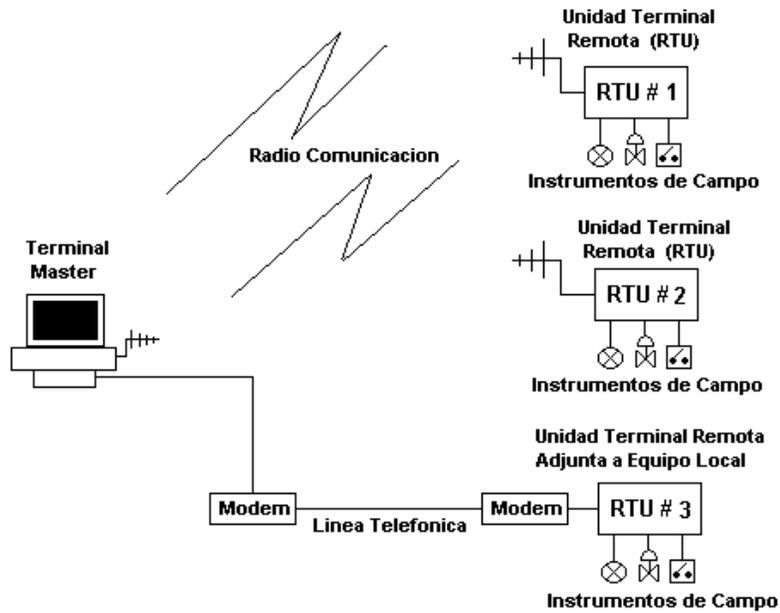


Figura 2.9. Sistema SCADA Típico.

Los sistemas SCADA mejoran la eficacia del proceso de monitoreo y control proporcionando la información oportuna para poder tomar decisiones operacionales apropiadas. De igual forma, ya que cuenta con información del proceso de primera mano (alarmas, históricos, paradas, etc.), permite la integración con otras herramientas como lo son las bases de datos, estadísticas del proceso, uso de intranets, etc.

De forma general, los SCADA permiten al cliente conocer en todo momento el estado de una instalación, centralizando toda la información de los emplazamientos remotos en uno o varios Puestos de Control. Los equipos de control situados en las estaciones analizan los parámetros más importantes recogiendo los valores aportados por los diferentes sensores. Cuando se identifica una situación especial o de alerta estos equipos realizan la actuación adecuada y advienen del mismo al Puesto de Control, desde donde se procesa la información y se genera de forma automática la señal de mando apropiada. De igual forma, desde el Puesto Central se puede obtener, en tiempo real, cualquier información relativa a las estaciones remotas.

Además de gestionar alarmas y de capturar datos, los sistemas SCADA permiten generar planes de mantenimiento y eficaces procedimientos de actuación para los operadores. Estos facilitan el trabajo del personal de mantenimiento permitiendo automatizar procesos hasta niveles insospechados por el propio cliente.

Para comunicar las estaciones remotas con los Puestos de Control se utilizan las redes de comunicación. Estas redes pueden ser privadas (PMR, Trunking, Tetra, WirelessLan, WirelessWan, etc.) o redes de operadores públicos (Red telefónica, GSM, GPRS). Los sistemas pueden basar sus comunicaciones en una única red o permitir una comunicación redundante que garantice la comunicación en caso de problemas en alguna de las redes.

Un sistema SCADA tiene como característica fundamental el empleo de varios protocolos y vías para establecer la comunicación. El mismo es capaz de comunicarse sobre diversos medios físicos, ya sea líneas telefónicas, sistemas de microondas, transmisión por radio UHF/VHF, cables y fibra óptica, y en los casos más complejos por sistemas de satélites.

A diferencia de los Sistemas de Control Distribuido (SCD), en un SCADA el lazo de control puede ser generalmente atendido (cerrado) por el operador. Hoy día es fácil encontrar un sistema SCADA realizando tareas de control automático en cualquiera de sus niveles, aunque su labor principal sea de supervisión y control por parte del operador.

La función asociada al mismo consiste en recopilar información, transferir la misma hacia un sitio central, donde necesariamente se realizan funciones de análisis, control y monitoreo, caracterizándose además por la posibilidad de transmitir datos y comandos sobre el equipamiento de campo (actuadores, reles, válvulas, motores, etc.), que garanticen el control sobre el proceso o planta.

Las interfaces gráficas juegan un rol muy importante y desde la propia pantalla del ordenador (que es configurada por el usuario y puede ser modificada con facilidad) se puede monitorear y controlar todo el sistema.

El empleo de un gran número de pantallas de operador, video terminales y otras interfaces hombre-máquina, constituye elemento clave en este tipo de sistema.

Funciones de un SCADA

Dentro de las funciones básicas realizadas por un sistema SCADA están las siguientes:

1. Adquirir, almacenar y mostrar información, en forma continua y confiable, acerca del estado de los dispositivos de campo, demás mediciones y alarmas.
2. Ejecutar acciones de control iniciadas por el operador.
3. Alertar al operador de los cambios detectados en la planta, tanto aquellos que no se consideren normales (alarmas) como cambios que se produzcan en la operación diaria de la planta (eventos). Los cambios son almacenados en el sistema para su posterior análisis.
4. Aplicaciones en general, basadas en la información obtenida por el sistema, tales como: reportes, gráficos de tendencia, historia de variables, cálculos, predicciones, detección de anomalías, etc.

Prestaciones

Un paquete SCADA para poder llevar a cabo las funciones básicas mencionadas anteriormente, debe estar en disposición de ofrecer las prestaciones siguientes:

- **Adquisición de datos.** Recolección de datos.

- **Trending.** Salvar los datos en una base de datos, y ponerlos a disposición de la mejor manera para su análisis. Incluye generación de históricos de señal de planta, que pueden ser volcados para su proceso sobre una hoja de cálculo.
- **Procesamiento de Alarmas.** Análisis de los datos recogidos para evaluar si han ocurrido condiciones anormales, y alertar al personal de operaciones sobre las mismas. Posibilidad de crear paneles de alarma, para reconocer una parada o situación de alarma, con registro de incidencias
- **Control. Control a Lazo Cerrado, e iniciados por operador.** Incluye la ejecución de programas que modifican la ley de control, o incluso el programa total sobre el autómatas, bajo ciertas condiciones.
- **Visualizaciones.** Gráficos actualizados acerca del estado equipamiento que refleja los datos y variables del campo.
- **Hot Standby,** es decir, mantener un sistema idéntico con la capacidad segura de asumir el control inmediatamente si el principal falla.
- **Interfaces con otros sistemas.** Transferencia de datos hacia y desde otros sistemas digitales, por ejemplo, el procesamiento de órdenes de trabajo, de compra, actualización de bases de datos, etc.
- **Seguridad.** Control de acceso a los distintos componentes del sistema.
- **Administración de la red.** Monitoreo de la red de comunicaciones.
- **Administración de la Base de datos.** Agregar nuevas estaciones, puntos, gráficos, cambio de alarmas, y en general reconfiguración del sistema.
- **Aplicaciones especiales.** Software de aplicación especial, asociado generalmente al monitoreo y al control de la planta.
- **Sistemas expertos,** sistemas de modelado. Incluir sistemas expertos incorporados, o capacidad de modelado de datos.

Con ellas, se pueden desarrollar aplicaciones basadas en el PC, con captura de datos, análisis de señales, presentaciones en pantalla, envío de resultados a disco e impresora, etc.

Además, todas estas acciones se llevan a cabo mediante un paquete de funciones que incluye zonas de programación en un lenguaje de uso general (como C++, Pascal, o Basic), lo cual confiere una potencia muy elevada y una gran versatilidad al sistema.

Los paquetes SCADA suelen estar formados por dos programas: Editor y Ejecutor. Con el primero se generan las aplicaciones descritas, aprovechando los editores, macros, lenguajes y ayudas disponibles y con el segundo se realiza la compilación para obtener el fichero de ejecución continua tras el arranque.

Requisitos

Un SCADA debe cumplir varios objetivos para que su instalación sea perfectamente aprovechada:

- Deben ser sistemas de arquitectura abierta, capaces de crecer o adaptarse según las necesidades cambiantes de la empresa.
- Deben comunicarse con total facilidad y de forma transparente al usuario con el equipo de planta y con el resto de la empresa (redes locales y de gestión).

- Deben ser programas sencillos de instalar, sin excesivas exigencias de hardware, y fáciles de utilizar, con interfaces amigables con el usuario.

Los ordenadores convencionales se utilizan normalmente como soporte hardware de los programas SCADA, desde mini ordenadores PC hasta estaciones de trabajo, e incluso ordenadores personales de sobremesa con alguna protección adicional para operar en ambientes industriales.

Aunque pueden emplearse arquitecturas basadas en ordenador con sistema operativo DOS o Windows y paquetes de software que incluyen funcionalidades para mejorar sus prestaciones, la disponibilidad de máquinas con sistemas operativos más completos (VAX/VMS, Unix, Windows NT, etc.) y arquitecturas cliente-servidor que comparten recursos informáticos, permiten ofertar programas que atienden varios servicios a la vez.

En muy grandes aplicaciones se utilizan estas arquitecturas cliente-servidor para distribuir los datos procesados entre diferentes ordenadores y así reducir la carga de cada uno de ellos.

Módulos SCADA

Los módulos o bloques software que permiten las actividades de adquisición, supervisión y control son los siguientes:

- *Configuración*: permite al usuario definir el entorno de trabajo de su SCADA, adaptándolo a la aplicación particular que se desea desarrollar.
- *Interfaz gráfico del operador*: proporciona al operador las funciones de control y supervisión de la planta. El proceso se representa mediante sinópticos gráficos almacenados en el ordenador de proceso y generados desde el editor incorporado en el SCADA o importados desde otra aplicación durante la configuración del paquete.
- *Módulo de proceso*: ejecuta las acciones de mando preprogramadas a partir de los valores actuales de variables leídas. La programación se realiza por medio de bloques de programa en lenguaje de alto nivel (como C++, Basic, etc.)
- *Gestión y archivo de datos*: se encarga del almacenamiento y procesado ordenado de los datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.
- *Comunicaciones*: se encarga de la transferencia de información entre la planta y la arquitectura hardware que soporta el SCADA, y entre ésta y el resto de elementos informáticos de gestión.

Por su importancia se explicarán a continuación los módulos de gestión y archivos de datos y comunicaciones.

Módulo de Gestión y Archivos de Datos.

Este bloque del SCADA se encarga del almacenamiento y procesado ordenado de los datos según formatos inteligibles para periféricos (impresoras, registradores) o software (bases de datos, hojas de cálculo) del sistema.

Pueden seleccionarse datos de planta para ser capturados a intervalos periódicos, y almacenados con cierto formato para su salida posterior por periféricos gráficos o alfanuméricos como un registro histórico de actividad, o para ser procesados inmediatamente por alguna aplicación como presentaciones estadísticas, análisis de calidad o mantenimiento. Esto último se consigue con un intercambio de datos dinámico entre el SCADA y el resto de las aplicaciones que corren bajo el mismo sistema operativo. Por ejemplo el protocolo DDE de Windows permite intercambio de datos en tiempo real con las limitaciones propias del sistema operativo. Para ello, el SCADA actúa como un servidor DDE que carga variables de planta y las deja en memoria para su uso por otras aplicaciones Windows, o las lee en memoria para su propio uso después de haber sido escritas por estas otras aplicaciones.

Una vez procesados, los datos se presentan en forma de gráficas analógicas, histogramas o representación tridimensional, formando históricos o resúmenes que permiten después analizar la evolución global del proceso, y conocer los elementos que influyen sobre él y la intensidad con que lo hacen.

También los datos procesados por el módulo de control pueden ser ordenados por el mismo mientras se van generando, y exportados a ficheros auxiliares desde donde pueden ser llamados para su proceso posterior por estos módulos de tratamiento de la información.

Módulo de Comunicaciones.

El módulo de comunicaciones contiene los drivers de conexión con el resto de elementos digitales conectados, entendiendo el driver como un programa que se encarga de la iniciación del enlace, aplicación de los formatos, ordenación de las transferencias, en definitiva, de la gestión del protocolo de comunicación. Estos protocolos pueden ser abiertos como el Modbus, FieldBus y Map, o propios de los fabricantes. En ocasiones, estos últimos pueden necesitar una licencia específica del fabricante antes de ser incluidos en la aplicación. Adicionalmente, en los SCADA distribuidos en arquitecturas cliente servidor, los módulos de comunicaciones son también los responsables del enlace entre los diferentes ordenadores de proceso que soportan la aplicación, enlace probablemente establecido sobre una red local DECnet, TCP/IP, MAP/TOP, Novell, etc. Bajo Windows, los módulos NetDDE incorporan todas las ventajas de los protocolos de Intercambio Dinámico de Datos (DDE) al mundo de las redes.

Soportados por diferentes sistemas operativos y sin necesidad de servidores, establecen conexiones punto a punto que permiten la conectividad del software entre aplicaciones que corren sobre diferentes plataformas estándar de mercado.

Las posibilidades de automatización que ofrecen los nuevos soportes informáticos y las comunicaciones industriales, han propiciado la aparición de productos de software dedicados no al control de la planta, sino también a la gestión de los datos generados en ella, tanto para cubrir

necesidades elementales de monitorización y registro, como para más avanzadas de control de calidad y mantenimiento.

Software SCADA

Algunos de los programas SCADA, o que incluyen SCADA como parte de ellos, son:

- CIRNET, de CIRCUTOR S.A.
- SCADA InTouch, de LOGITEK.
- WinCC, de Siemens.
- Coros LS-B/Win, de Siemens.
- SYSMAC SCS, de Omron.
- FIXDMACS, de Omron-Intellution.

Flujo de la información en los sistemas SCADA

El fenómeno físico lo constituye la variable que deseamos medir. Dependiendo del proceso, la naturaleza del fenómeno es muy diversa: presión, temperatura, flujo, potencia, intensidad de corriente, voltaje, ph, densidad, etc. Este fenómeno debe traducirse a una variable que sea útil para el sistema SCADA, es decir, en una variable eléctrica. Para ello, se utilizan los sensores o transductores. Los sensores o transductores convierten las variaciones del fenómeno físico en variaciones proporcionales de una variable eléctrica. Las variables eléctricas más utilizadas son: voltaje, corriente, carga, resistencia y capacitancia.

Sin embargo, esta variedad de tipos de señales eléctricas debe ser procesada para ser entendida por el computador digital.

Para ello se utilizan acondicionadores de señal, cuya función es la de referenciar estos cambios eléctricos a una misma escala de corriente o voltaje. Además, provee aislamiento eléctrico y filtraje de la señal con el objeto de proteger el sistema de transientes y ruidos originados en el campo. Una vez acondicionada la señal, la misma se convierte en un valor digital equivalente en el bloque de conversión de datos. Generalmente, esta función es llevada a cabo por un circuito de conversión analógico/digital(C A/D). El computador almacena esta información, la cual es utilizada para su análisis y para la toma de decisiones. Simultáneamente, se muestra la información al usuario del sistema, en tiempo real.

Basado en la información, el operador puede tomar la decisión de realizar una acción de control sobre el proceso. El operador comanda al computador a realizarla, y de nuevo debe convertirse la información digital a una señal eléctrica. Esta señal eléctrica es procesada por una salida de control, la cual funciona como un acondicionador de señal, que permite manejar un dispositivo dado: bobina de un relé, setpoint de un controlador, etc.

Ventajas y desventajas de un SCADA

Ventajas

1. Reducción de los costos de producción, operación y mantenimiento.
2. Aumento de producción
3. Diversificación de la producción.
4. Mejoramiento de la coordinación con el área de mantenimiento.
5. Se dispone de información precisa para efectos de estudio, análisis y estadística.
6. No se requiere de personal para realizar labores de lectura de las variables ya que estos datos son leídos y enviados a centros de cómputos a través de la red.
7. Sistema de medición más rápido y confiable.

Desventajas

1. Se requiere de una red industrial fiable, pues resultaría crítico no contar con la misma.
2. Alto costo inicial, por concepto de adquisición de los equipos e implantación del sistema acorde a las necesidades y requisitos exigidos.
3. Se requiere además realizar gastos en conexión a la red de datos.

Necesidad de un sistema SCADA

Para evaluar si un sistema SCADA es necesario para manejar una instalación dada, el proceso a controlar debe cumplir las características siguientes:

- a) El número de variables del proceso que se necesita monitorear es muy alto.
- b) El proceso está geográficamente distribuido. Esta condición no es limitativa, ya que puede instalarse un SCADA para la supervisión y control de un proceso local.
- c) La información del proceso se necesita en el momento en que los cambios se producen en el mismo, o en otras palabras, la información se requiere en tiempo real.
- d) La necesidad de optimizar y facilitar las operaciones de la planta, así como la toma de decisiones, tanto gerenciales como operativas.
- e) Los beneficios obtenidos en el proceso justifican la inversión en un sistema SCADA. Estos beneficios pueden reflejarse como aumento de la efectividad de la producción, de los niveles de seguridad, etc.
- f) La complejidad y velocidad del proceso permiten que la mayoría de las acciones de control sean iniciadas por un operador. En caso contrario, se requerirá de un Sistema de Control Automático, el cual lo puede constituir un Sistema de Control Distribuido, PLC's, Controladores a Lazo Cerrado o una combinación de ellos.

Diferencias entre un SCADA y un Sistema de Control Distribuido

Los SCD se aplican generalmente en fábricas y están localizados dentro de un área más confinada, los mismos emplean medios de comunicación de alta velocidad, tales como redes LAN. Por otra parte un sistema SCADA cubre áreas geográficas mucho más grandes, con una significativa cantidad de lazos cerrados de control; emplea además una variedad mucho mayor de enlaces o tipos de comunicación, como por ejemplo de radio y telefonía, mientras que los sistemas de control en lazo cerrado no constituyen la máxima prioridad para el sistema SCADA hablando en términos de regulación propiamente dicho. La tabla 1 muestra las diferencias entre ambos sistemas de forma comparativa.

A diferencia de los Sistemas de Control Distribuido que se caracterizan por realizar las acciones de control en forma automática, en un SCADA el lazo de control puede ser generalmente atendido (cerrado) por el operador.

La columna vertebral de un SCADA es su habilidad para comunicarse. Desde el nivel de mayor jerarquía hasta el más pequeño dispositivo de campo, la comunicación dentro de este tipo de sistema adquiere un carácter crítico.

Tabla 1. Diferencias típicas entre sistemas SCADA y SCD.

Aspectos	SCADA	Control Distribuido
Arquitectura	Centralizada	Distribuida
Control Predominante	Supervisorio: Lazos de control cerrados por el operador. Adicionalmente control secuencial y continuo.	Regulatorio: Lazos de control automáticamente cerrados por el sistema. Adicionalmente control secuencial, bath, algoritmos avanzados, etc
Tipo de variables	Desacopladas	Acopladas
Área de acción	Áreas grandes, geográficamente distribuidas	Área de la Planta.
Unidades de Adquisición Datos y Control	Remotas, Autómatas Programables.	Controladores digitales de lazo, Autómatas Programables.
Medios Comunicación	Radio enlace, satélite, líneas telefónicas, conexión directa, Redes LAN, WAN	Redes de Área Local, conexión directa.
Bases de Datos	Centralizada	Distribuida

Sistemas basados en PLC y PC

Existen muchas arquitecturas de sistemas automatizados que no necesariamente responden a las características de las categorías digitales de un SCADA o un Sistema de Control Distribuido. En este acápite queremos referirnos a estos sistemas basados en autómatas programables y ordenadores, brindando algunos elementos importantes a la hora de considerar el empleo de estos medios de cómputo para la automatización de sistemas, así como resaltar o destacar algunas de sus características básicas a tener en consideración en relación con el empleo de los Autómatas Programables o las Computadoras Personales (PC) en la automatización de sistemas.

Primeramente vamos a realizar una incursión en dos grandes líneas muy bien definidas que existen dentro del área de análisis y diseño de sistemas automatizados, ellas son:

1. Automatización de los Sistemas Lógicos.
2. Automatización de los Sistemas Diferenciales.

Automatización de los Sistemas Lógicos.

La automatización de los sistemas lógicos (también conocidos como de Eventos Discretos), abarca aquellos sistemas donde el automatismo se basa en garantizar una secuencia lógica de operaciones o pasos que se deben seguir, donde lo más importante no es precisamente la regulación continua de alguna variable, sino respetar la secuencia de operaciones establecida, logrando así el correcto funcionamiento del sistema. Estos procesos caracterizados por la ocurrencia o sucesión de eventos, pasos o etapas, siempre van a responder a una determinada secuencia lógica, la cual puede ser una función del tiempo o dependiente de la ocurrencia de determinadas condiciones o eventos externos. Entre los sistemas secuenciales podemos citar por ejemplo: control secuencial del tráfico ferroviario, control de elevadores de un edificio, sistema de llenado de botellas, etc.

Los procedimientos de análisis y diseño a emplear se basan en las técnicas de diseño secuencial generalmente utilizando métodos y herramientas matemáticas concebidas para el tratamiento de sistemas secuenciales, como por ejemplo las Redes Petri, Optimización por técnicas de Ramificación y Poda, etc. Estas técnicas suelen ejecutarse sobre ordenadores y en PLC, estos últimos disponen de amplias funcionalidades para dar respuesta e implementar automatismos de lógica secuencial.

En este sentido los PLC's se caracterizan por tener lenguajes estructurados de raíces secuenciales (lo cual es considerado una desventaja por muchos autores), no obstante es innegable la ventaja que representa el empleo de PLC's para el tratamiento de automatismo secuenciales y/o medición-regulación de variables analógicas.

Automatización de los Sistemas Diferenciales.

Cuando hablamos de los sistemas diferenciales, estamos refiriéndonos al caso de los comúnmente conocidos sistemas de control continuo, cuyo objetivo fundamental es la regulación de variables continuas en el tiempo como pueden ser temperatura, nivel o presión. En este caso se emplean para la

regulación los clásicos controladores PID en sus diferentes estructuras. Procedimientos avanzados en la teoría del control moderno como pueden ser el control fuzzy, control robusto, control adaptable u otras técnicas de control inteligente (redes neuronales, algoritmos genéticos, etc.) se pueden emplear para resolver problemáticas más complejas que se presentan en el control de sistemas no lineales, con retardos de transportación, e interacciones entre variables, por solo citar algunos ejemplos.

En sentido general no es muy cotidiano ver en la práctica algún sistema automatizado que pertenezca enteramente al grupo de los sistemas secuenciales o al de los sistemas continuos, lo que comúnmente ocurre es que suelen encontrarse combinaciones de ambos, aun en aplicaciones relativamente sencillas, ello no quiere decir que puede predominar uno en particular, en dependencia de las características del proceso a controlar.

En una aplicación simple nos podemos encontrar la necesidad del empleo del control secuencial (arranque y pare de una bomba, operación de emergencia, repetición de una determinada secuencia de operaciones, etc.) combinada con la estabilización de determinadas variables analógicas de la planta.

Consideraciones en el empleo de los PLC

En las aplicaciones donde se hace empleo de los PLC, de una manera sencilla se posibilita la ejecución de los dos tipos de automatismo mencionados anteriormente sobre un mismo equipo y ello indiscutiblemente constituye una ventaja a favor del usuario que se decide por explotar esta tecnología.

Mundialmente existe además la proliferación, desarrollo y perfeccionamiento de los lenguajes gráficos de programación para autómatas (Lista de Instrucciones, Diagrama de Contactos, y Gráfico Secuencial de Funciones -Grafcet-) que evidentemente indican que los mismos no se han quedado atrás en lo que respecta al desarrollo del software para aplicaciones de todo tipo.

El conocimiento de las características principales que distinguen a los controladores lógicos programables, resulta muy útil a la hora de concebir una aplicación con esta tecnología. Estas características se resumen a continuación.

Características principales que distinguen a los PLC:

1. Constituyen elementos inteligentes de control, potentes, de alta fiabilidad y robustez.
2. Presentan estructura modular, expandible.
3. Alta flexibilidad en la configuración tanto del software como del hardware.
4. Emplean lenguajes de programación de alto nivel, con lenguajes estructurados, programación sencilla y elementos de programación bien diseñados acorde a las aplicaciones industriales.
5. Alta capacidad de realización de tareas (multitareas) y operación en tiempo real.

6. Adaptabilidad máxima gracias a diferentes tipos y gran número de módulos de E/S configurables, garantizando alta versatilidad según el tipo de aplicación, incluyéndose módulos con funciones inteligentes (comunicación, regulación PID, control de motores, etc).
7. Permiten la realización del tratamiento primario de la información (filtraje, conversión A/D y D/A y linealización, por solo mencionar algunos).
8. Amplias facilidades de comunicación (a través de procesadores de comunicación) con elementos periféricos de todo tipo (computadoras, impresoras, instrumentación digital, autómatas).
9. Capaces de formar redes de comunicación de alto nivel que garantizan la transmisión de información segura y transparente a todos los niveles dentro de la jerarquía de automatización.
10. Conforman familias de grado de potencialidad y prestaciones ascendentes, garantizando niveles de funcionalidad escalonada.
11. Disponen de variadas y potentes interfaces de comunicación Hombre-Máquina que incluyen visualizadores de texto, paneles de mando, operación y supervisión del proceso.
12. Fácil montaje, puesta en marcha, ajuste y mantenimiento (se incluyen: menús de ayuda, programas prueba, generación de código de errores y detección de fallas).

Tendencias actuales de los Autómatas Programables:

Los resultados de una encuesta realizada a finales de la década del 2000 arrojaron los resultados siguientes:

- En la automatización de Sistemas Lógicos, el 77,3 % de los usuarios emplea los PLC's específicamente en tareas relacionadas con automatismos secuenciales.
- En lo que se refiere a los Sistemas Diferenciales encontramos que el 61,5 % de los usuarios utiliza los PLC's en tareas de control de procesos.

La misma encuesta establece que:

- El 55,7 % de los usuarios emplea los PLC's de forma independiente.
- El 35,6 % de los usuarios industriales de autómatas lo usa en redes propias de estos. De ellos un 32,2 % en alguna medida están conectados a redes de PC. En total, un 6,3% de estas redes de PLC están formado parte integrante de sistemas profesionales de control distribuido (con tendencia al aumento).

Las aplicaciones relacionadas con el empleo de los autómatas en redes dentro de sistemas de control distribuido y/o en redes conjuntamente con ordenadores van en aumento cada año. La creación de redes de control distribuido con empleo de autómatas programables y microcomputadoras en medianas y grandes aplicaciones fortalecen esta tendencia, añadiéndose nuevos elementos funcionales

(optimización, cálculo económico, control de la calidad, etc.) muy importantes en la automatización de sistemas de este tipo.

En general, un sistema distribuido de control está formado por dispositivos autónomos inteligentes que cooperan con objetivos concretos. Se destaca la enorme importancia que juega el sistema de comunicación como soporte de las estrategias de automatización. En estas redes de comunicación modernas está fuertemente desarrollado el empleo de los buses de campo y los sensores y actuadores inteligentes (equipamiento SMART por ejemplo). Esto ha permitido que las redes con PLC's trabajen sobre los modelos de capas y soporten la utilización de estas técnicas en módulos especiales de acoplamiento cuyo hardware está muy a tono con el desarrollo científico-técnico actual en la rama.

La tendencia que debe caracterizar a los autómatas programables en los años venideros se enfoca a los aspectos siguientes:

1. Capacidad para crear Sistemas Abiertos.
2. Incremento de las capacidades analógicas.
3. Aumento en las potencialidades de comunicación.
4. Desafío competitivo con las PC.
5. Aumento de aplicaciones en redes (ya sea con otros PLC o con PC).

Autómatas Programables vs PC

Una pregunta que muchos nos hacemos con bastante frecuencia tiene que ver con la decisión de la variante más adecuada a utilizar a la hora de llevar a cabo la implementación de un sistema automático: ¿Empleo de PLC's o PC? Sobre esta polémica hay muchas interrogantes y existen múltiples especialistas en la materia que se inclinan a favor o en contra de una u otra variante, cada uno aportando sus propios elementos en relación con tan controvertido tema, donde en ocasiones priman intereses comerciales por encima de los puramente técnicos.

En tal sentido no queremos identificarnos con una variante u otra, sino brindar un grupo de elementos importantes que se deben tener en cuenta a la hora de decidir el empleo de los PLC o las PC en la automatización de sistemas, no con el ánimo de realizar una comparación de cuál opción es mejor, ya que para tomar un decisión de este tipo habría que considerar muchos aspectos, que a veces no todos los especialistas toman en consideración.

A continuación vamos a brindar algunas premisas a considerar a la hora de decidir sobre el empleo de un PLC o una PC en la automatización de sistemas.

Premisa No. 1

El diseño actual de sistemas de automatización en base a PLC's depende enormemente de la experiencia del programador.

Esto puede ser considerado una desventaja por unos y una ventaja por otros; todo depende de bajo qué filosofía se analice este aspecto.

A la hora de configurar, programar e instalar un sistema a base de autómatas, juega un rol fundamental la experiencia del usuario, no solo lo relacionado con las características del proceso sino también en función del tipo de PLC que empleará y sus características, ello permitirá realizar una correcta aplicación del sistema en cuestión.

Por todos es conocido que para un especialista en el tema, es relativamente más fácil hacer la selección y compra de un ordenador que la de un determinado PLC.

Para la adquisición de uno o varios PLC, luego de un estudio minucioso del objeto a automatizar, hay que considerar, entre otros, aspectos tales como:

1. Estudio de las características del equipamiento dentro de varias firmas fabricantes de PLC y comparación con otros proveedores, para seleccionar las mejores variantes (precios, prestaciones, fiabilidad, etc).
2. Definir cuáles son los autómatas dentro una familia dada que más se adaptan a nuestras prestaciones.
3. Definir la configuración más adecuada para el mismo (Fuente, potencia, CPU, módulos de E/S, módulos de comunicación, módulos funcionales, interfaces, etc).
4. Definir el lenguaje de programación a emplear más idóneo de acuerdo a la aplicación.

En consideración a esta premisa podemos entonces decir que el grado de experiencia del usuario responsable de automatizar un sistema puede significar una ventaja adicional sobre el resultado de la calidad total de la automatización resultante.

Este aspecto se agudiza si se quiere incluir por ejemplo un adecuado nivel de tolerancia a fallas en el sistema, pues aunque existen PLC diseñados para tales aplicaciones, en este caso es mucho más significativo el nivel de experiencia de los especialistas designados para llevar a cabo la aplicación.

Premisa No. 2

La tendencia actual en la automatización de sistemas se inclina un poco más al empleo de los PLC's, sobre todo en el nivel de campo y de máquina.

Dicha premisa se sustenta gracias a las siguientes características que poseen los PLC:

- Fiabilidad tanto de hardware como de software. (los autómatas disponen de sistemas operativos mucho más estables que las PC).
- Homologación.
La homologación es garantía de seguridad, fiabilidad, es indicador de que el fabricante cumple con las normas internacionales. La homologación es cara y muchos fabricantes por ejemplo de tarjetas de adquisición de datos no homologan sus productos, sobre todo cuando las producciones son pequeñas.

- Flexibilidad.

Los PLC disponen de una mayor flexibilidad, entiéndase ello como la capacidad de adaptarse a cambios en el proceso.

Para lograr la flexibilidad, los fabricantes de PLC disponen de una diversidad de módulos E/S, así como de una amplia gama de opciones de autómatas (familia) con funcionalidades y prestaciones acorde a los niveles de complejidad de la aplicación.

Las familias de autómatas se pueden agrupar en tres grandes clasificaciones: los micro-autómatas, los autómatas de serie media, y los llamados macroautómatas, siendo sus principales características, las siguientes:

Micro-autómatas:

- Compactos y fáciles de programar.
- Restringida capacidad de instrucciones.
- Aplicaciones específicas (control de temperatura, sistemas secuenciales, etc.)
- Número pequeño de E/S.
- Bajo costo, de \$ 80 a \$120, aproximadamente.

Autómatas de serie media

- Se le adicionan capacidades para otras prestaciones como pueden ser módulos analógicos, módulos de temperatura, control PID, etc.
- Instrucciones de programa que incluyen operaciones más complejas.
- Mayor capacidad de memoria.
- Costo aproximado alrededor de los \$200.

Macroautómatas

- Módulos funcionales de alta complejidad y capacidad.
- Gran número y diversidad de E/S.
- Alta velocidad de procesamiento de la información.
- Considerablemente mayor costo.

Por último, queremos mencionar un grupo de elementos que resaltan otras características de los PLC como hardware por excelencia en la automatización de sistemas de todo tipo, ello se enuncia en las premisas siguientes:

Premisa No. 3

Las tareas de control, visualización, supervisión, adquisición de datos, etc., pueden ser efectuadas por los PLC conectados en redes mejor que con exclusivamente PC destinadas al control.

Premisa No. 4

Los PLC están diseñados para ser empleados en ambientes industriales exigentes, y el sistema operativo en tiempo real sigue siendo su mayor virtud; por lo tanto sigue siendo la primera opción para todo control de tareas críticas o extremas donde una PC simplemente podría estar cargada.

Premisa No. 5

El empleo de PC en tareas de control implica el empleo de extensiones del hardware (tarjetas de adquisición de datos) lo cual puede en ocasiones encarecer la inversión.

No obstante hay otras que destacan las ventajas que trae el uso de las computadoras en el control de procesos, entre ellas tenemos.

Premisa No. 6

Las PC fundamentalmente se emplean o se conciben para lograr la integración en el sistema de control, sobre todo cuando es gobernado por PLC.

Premisa No. 7

Si el control de tareas implica un gran procesamiento de datos, trabajo en red y amplias necesidades de visualización gráfica, el empleo de una PC debe entonces ser tomado en consideración por encima de los PLC.

Premisa No. 8

Un gran número de simuladores de PLC por software han aparecido en el mercado, ello está ayudando a transferir el control de tareas al disco duro, garantizando una automatización más efectiva (en costo) en una simple pieza de hardware (la PC).

Premisa No. 9

El Windows aunque no es considerado como un sistema operativo en tiempo real, puede actuar de forma suficientemente rápida para aplicaciones suaves de tiempo real (control de temperatura, por ejemplo).

Lo que finalmente es más práctico y menos costoso depende de un gran número de factores. Los mismos deben ser considerados individualmente para cada proyecto de automatización en cuestión. Lo más importante es saber encontrar la solución más eficaz, económica y útil para cada aplicación. En eso radica la responsabilidad de los ingenieros.

La Automatización Mediante Ordenadores

Tanto en el hogar como en las oficinas, el ordenador personal continúa su progreso triunfal. Las microcomputadoras se han establecido en un gran número de campos de la vida moderna, y el sector industrial no ha quedado al margen de ello. Análogamente al lema "Más rápido, más alto, más lejos", los componentes hardware y software destinados a las computadoras personales están siendo cada vez más potentes y rentables, y lo que es más importante, la fiabilidad ha aumentado. Por lo tanto, es lógico que la industria quiera tomar provecho de este hecho, para reducir costos y/o incrementar la productividad.

Es cierto que desde hace tiempo, muchas tareas industriales de control eran ya responsabilidad de los ordenadores, y es muy común encontrarse aplicaciones que corren sobre Windows, sobre todo cuando se manejan pedidos y/o se ajustan parámetros de maquinaria que incluyen hasta preparar o visualizar datos prácticamente de cualquier tipo. No hay que sorprenderse entonces, de que tanto los especialistas en automatización como los usuarios estén ahora pensando en qué manera pueden transferir al ordenador otras tareas relacionadas con la automatización, con el objetivo de lograr un mayor ahorro. Recientemente un gran número de herramientas de software, entre las que se encuentran los simuladores de PLC que corren sobre ordenadores, han aparecido en el mercado y están ayudando a transferir el control de tareas a la PC, presentando una automatización más efectiva en lo que a costos se refiere en un hardware muy común a todos que es la PC.

Todo esto nos inclina a realizarnos las interrogantes siguientes: ¿Qué sucederá con el software para el PLC?, ¿Cómo puede emplearse y en qué condiciones?, y sobre todo, ¿Tiene el PLC sus días contados?

Hardware o Software

El hecho es que las tareas automatizadas de control, visualización y computación pueden ser efectuadas por controladores lógicos programables (conectados en red mediante los módulos adecuados) mejor que con sistemas de control basados en PC exclusivamente.

Lo que finalmente es práctico, no obstante, depende de un gran número de factores y la mayoría deben ser considerados individualmente para cada proyecto de automatización.

Así, por ejemplo, los actuales conocimientos y preferencias del usuario pueden jugar un mayor papel que la pura potencia del ordenador. Los factores cruciales, no obstante, son los atributos de capacidad en tiempo real y las propiedades de seguridad que hasta ahora han sido fuertemente asociadas con el PC. No obstante, un sistema de control es inconcebible sin capacidad de procesamiento de tareas en tiempo real lo cual es altamente demandado en la industria.

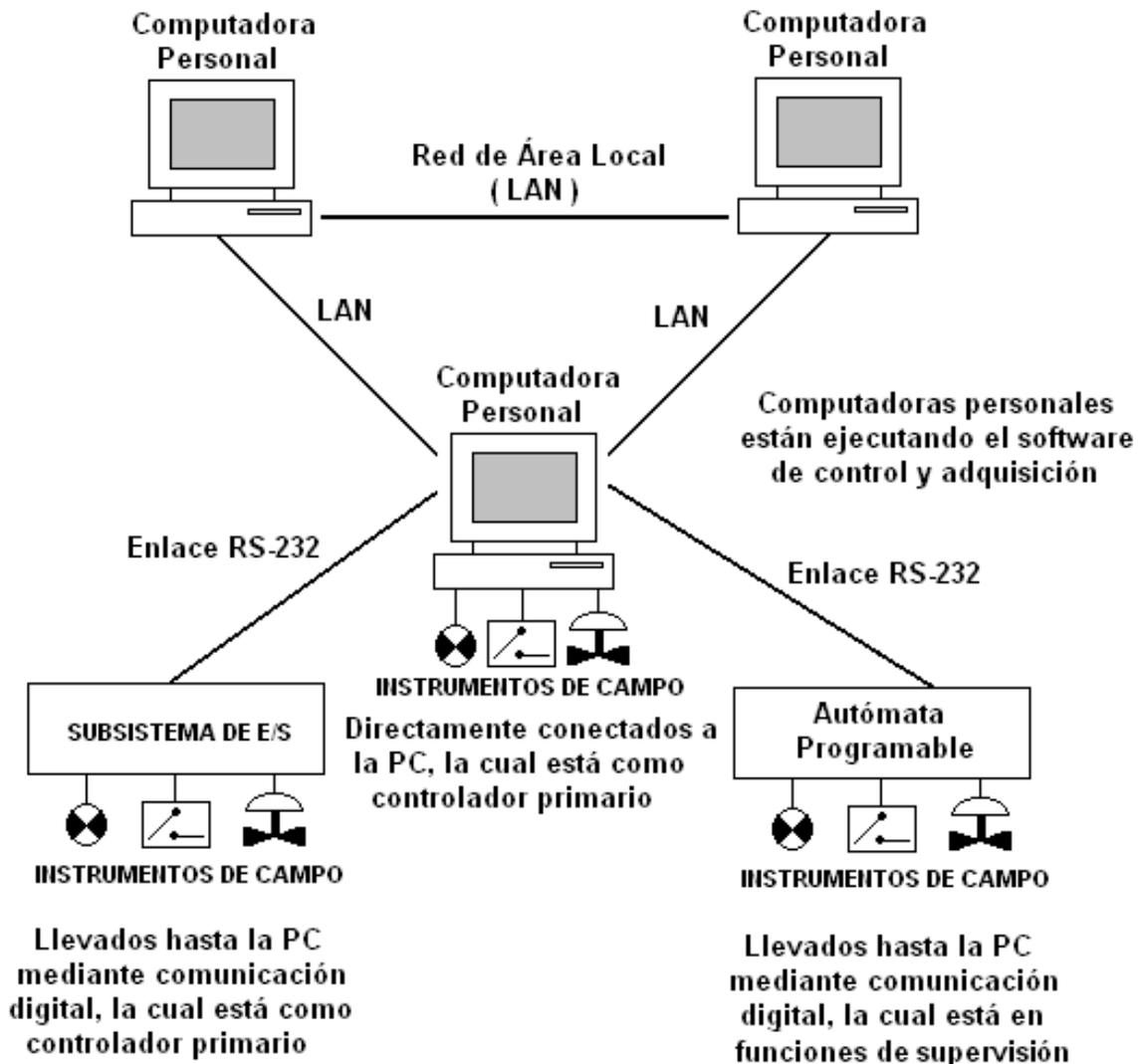


Figura 2.10. Sistema de Control y Adquisición de Datos basado en PC

Desde el punto de vista conceptual, la posibilidad de trabajo en tiempo real se refiere a la capacidad del ordenador para que el mismo sea capaz de procesar y proporcionar los resultados dentro de un tiempo especificado, de acuerdo a las características del proceso. En este contexto "estrictamente en tiempo real" significa que un sistema reacciona a los eventos externos dentro de un tiempo especificado en un 100 % de los casos. Si, de otra forma, los tiempos de reacción pueden superarse en ciertos casos, como en el simple caso de controladores de temperatura, hablamos de "tiempo real suave".

Los controladores lógicos programables, en la mayoría de los casos, están diseñados específicamente para ser empleados en ambientes industriales exigentes y han sido continuamente desarrollados de forma que sus sistemas operativos en tiempo real constituyan su mayor virtud y ventaja. Ellos son y seguirán siendo, no obstante, la primera elección para todo control de tareas críticas o extremas por su alto rendimiento y fiabilidad, en los que un PC podría estar simplemente "sobrecargado".

Si, además del control de tareas, se necesita un procesamiento de datos, trabajo en red o visualización, un sistema basado en PC debe ser tomado en consideración. Ello se aplica en particular si una PC (de calidad industrial donde sea posible) está actualmente en disposición y el software existente puede y debe continuar siendo empleado.

No obstante Windows no es estrictamente un sistema operativo en tiempo real como lo es el de un PLC, pero puede actuar de forma suficientemente rápida para aplicaciones "suaves" en tiempo real, gracias a su arquitectura de micro-kernel y puede llegar a ser considerado como un estándar para soluciones de automatización basadas en PC, en aplicaciones donde un sistema "suave" en tiempo real es permitido.

Aún no se ha establecido un estándar para soportar la compatibilidad de sistemas operativos cuando se requiera trabajar en aplicaciones de tiempo real. De una forma estrictamente determinante, los sistemas estándar actuales deben ser modificados de forma general, así que la principal ventaja de un sistema basado en PC —su estructura abierta— es rápidamente un inconveniente. La solución comienza nuevamente a tener un carácter propietario (cada empresa ofrece su solución) y la conversión a futuras generaciones de sistemas operativos lo hace más difícil. De manera resumida podemos afirmar: si es necesario operar en tiempo real, entonces debe hacerse independientemente del sistema operativo PC.

Como el sistema operativo sólo puede proporcionar respuestas suaves en tiempo real lo más simple es emplear extensiones hardware para las tareas críticas (tarjetas de expansión) y soluciones software para el resto de tareas. Esto nos lleva a una compatibilidad con futuros sistemas operativos y una solución totalmente factible actualmente.

Tarjetas de Adquisición de Datos

Las Tarjetas de Adquisición de Datos (TAD) están diseñadas para conectarse directamente a los *slots* internos de expansión de la computadora permitiendo una rápida transferencia de los datos a la memoria del ordenador sin la necesidad de un protocolo de comunicación. Las mismas se caracterizan por poseer una alta fiabilidad, bajo costo y tamaño pequeño.



Figura 2.11. Sistema con el empleo de TAD y ordenador

El empleo de las tarjetas de adquisición de datos lleva implícito que el hardware de adquisición de datos está dentro de la computadora, por lo cual se obtienen ventajas en lo que respecta al tamaño y empleo racional del espacio, además de la alta velocidad en la transferencia de la información digital por encontrarse acoplada directamente al bus de la PC.

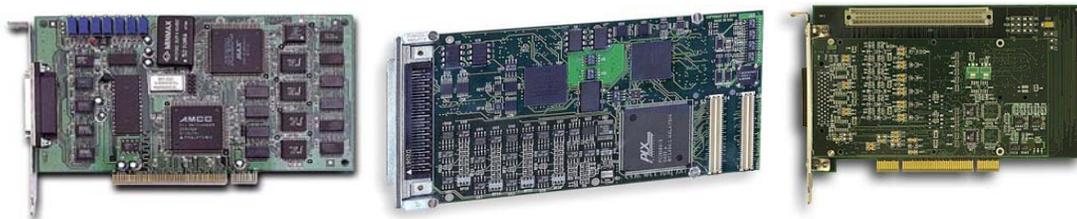


Figura 2.12. Tarjetas de adquisición de datos que se conectan al bus interno de la PC

Las TAD son una opción de bajo costo, no obstante requiere en la mayoría de los casos el acondicionamiento de las señales, esto hace que en muchas ocasiones se prefiera emplear como hardware de expansión para las PC a los autómatas programables, para tareas en estricto tiempo real, debiendo evaluar el costo de acuerdo a las aplicaciones.

La tendencia actual en el control de procesos complejos es utilizar los autómatas en red o como periféricos de un ordenador, con lo cual se combinan la potencia de cálculo del ordenador y la facilidad de interfaces estándar que ofrece el autómata. El resultado de esta integración es la red de autómatas conectada a ordenador, capaz de ofrecer las prestaciones y ventajas de ambos elementos al integrar en un solo sistema todas las funciones de producción asistida por ordenador, apareciendo el término CIM (*Computer Integrated Manufacturing*)

El sistema de control resultante de esta combinación ofrece las prestaciones siguientes:

1. Sistema programable con una gran potencia de cálculo.
2. Gran cantidad de software estándar para manipulación de datos y gestión de la producción.

3. Interfaces estándar de ordenador para estaciones gráficas, utilizadas para monitorizar el proceso.
4. Control descentralizado con inteligencia distribuida, sin interrumpir el proceso cuando hay fallos del control central.
5. Sistemas de comunicación estándar LAN o WAN.
6. Facilidad de interfaz gráfica con la planta.
7. Mantenimiento fácil por secciones.
8. Disponibilidad de herramientas de test, diagnóstico y mantenimiento.
9. Visualización del proceso en tiempo real.
10. Programación fácil a nivel de secciones.
11. Flexibilidad para la realización de cambios y/o modificaciones.

Clasificación de los Procesos Tecnológicos

Para el tratamiento desde el punto de vista de la automatización, se pueden clasificar los procesos en tres grandes grupos, en dependencia del tipo de producción que los caracteriza, a saber:

- Por lotes (batch). Discontinuos

Su producción lo constituyen elementos discretos: piezas, equipos, etc. Poseen incluso sus propias nomenclaturas para designar la automatización de dichos procesos. Ejemplo: CAD-CAM, células flexibles de automatización, etc.

- Continuos

En estos procesos la producción es un flujo continuo de energía, materiales, etc. Por ejemplo la producción de fertilizantes, generación de energía eléctrica, etc.

- Laboratorios.

Además de la posible producción, los objetivos fundamentales están encaminados a las investigaciones, por lo que presentan características de las anteriores. Están diseñados para realizar experiencias en períodos de tiempos relativamente cortos.

Puede definirse un sistema automatizado de medición y control por computadora como un sistema hombre-máquina que garantiza la adquisición de la información, procesamiento, formación de acciones de dirección, en correspondencia con criterios de optimización dados.

Esto implica:

- Participación activa del hombre.
- Procesamiento automatizado de la información y acciones de dirección.
- Criterios de optimización del proceso.

Clasificación de las variables

Para lograr un adecuado control de un sistema automatizado es necesario caracterizar las magnitudes o variables relacionadas con el mismo, pues estas determinan entre otras cosas las características y nivel de complejidad del sistema, la magnitud de la base de datos a implementar, los medios técnicos de

automatización, instrumentación y elementos de cómputo que deberán disponerse, entre otras muchas cosas.

En los sistemas automatizados, generalmente, existen variables cuyos valores deben ser introducidos manualmente como es el caso de análisis de laboratorios, por ejemplo se tienen las características energéticas del petróleo que se usará en un generador de vapor para ser utilizado en el cálculo de la eficiencia. Muchas variables se miden del proceso, otras se calculan a partir de otras, como ejemplo cálculo de la energía consumida, entalpías, transferencias de energía, etc. Se tienen las variables manipuladas fundamentalmente para las funciones de control. Las variables de perturbación pueden o no medirse, como es el caso de la temperatura ambiente que puede medirse.

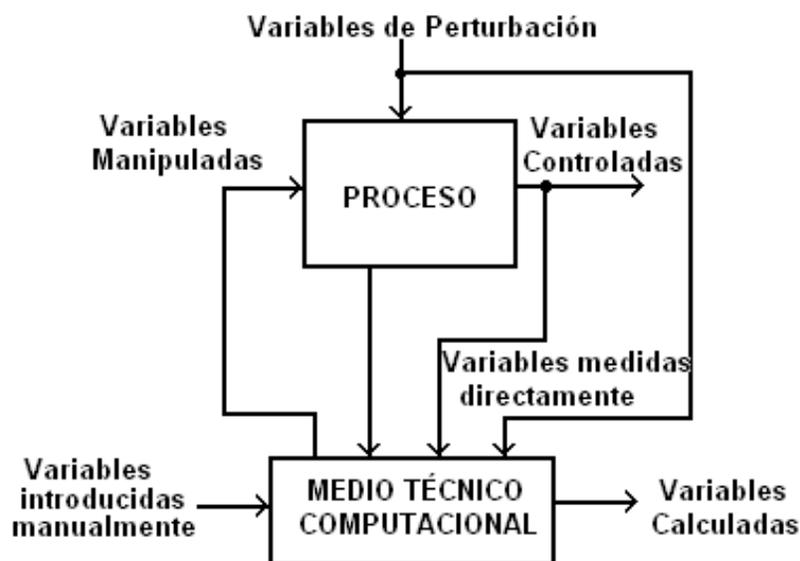


Figura 3.1. Esquema de las variables de un proceso automatizado

Variable Controlada: Es aquella que se busca mantener constante o al menos con cambios mínimos durante la operación estable del sistema. Su valor debe seguir a la referencia (set-point) o valor deseado.

Variable Manipulada: A través de ella se debe corregir el efecto de las perturbaciones sobre la planta. La misma constituye la salida del elemento actuador.

Variable Perturbadora: variable que provoca cambios no deseados en la salida del sistema, afectando el comportamiento del mismo. Puede llevar a la inestabilidad.

Variable Medida: Es toda variable adquirida cuyo valor es necesario visualizar, almacenar y monitorear, y que necesariamente no hay que controlar.

Variable Calculada: aquella cuyo valor es el resultado de operaciones de cálculo realizadas a partir de los valores conocidos de otras variables.

Variables introducidas manualmente: son las variables ingresadas al sistema por el operador, empleando las interfaces del proceso (teclados, botones, interruptores, paneles, etc.).

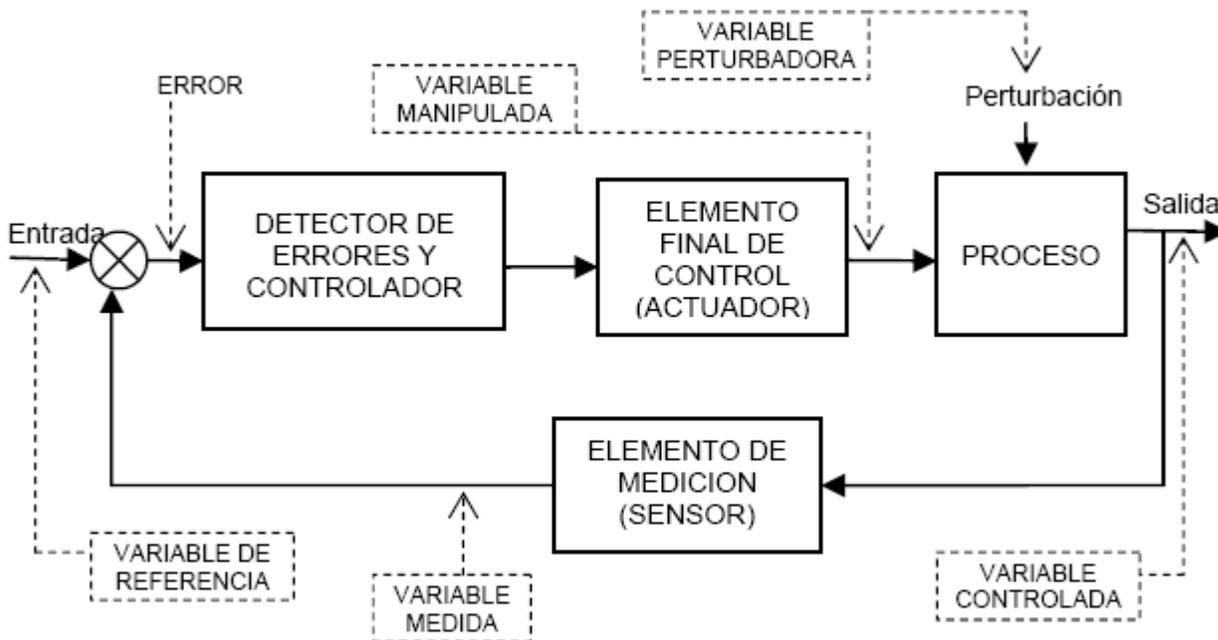


Figura 3.2. Representación de las variables dentro del lazo de control

Análisis de las señales

Por todos es conocida la importancia que reviste la medición de las variables de un proceso tecnológico dado, entre otras cosas para poder controlar, supervisar y explotar el mismo. Cada variable brinda una representación de la magnitud de alguna señal física que existe o caracteriza el proceso.

Se define una señal como aquella cantidad física variable con el tiempo que es portadora de información acerca del estado de un sistema, siendo una función $f(t)$ medible en el campo de los números reales (\mathfrak{R}).

Existen diferentes tipos de señales que podemos encontrar en los procesos industriales, donde toda señal suele ser generalmente el resultado de una medición realizada sobre un sistema físico en particular.

Las señales cumplen con las propiedades de adición y multiplicación siguientes:

$$(f + g)(t) = f(t) + g(t)$$

$$(\alpha f)(t) = \alpha f(t)$$

Pudiéndose definir dos subespacios para todo su posible universo de existencia el S_+ y el S_- , definidos como:

$$S_+ = \{f \in S : f(t) = 0; \forall t < 0\}$$

$$S_- = \{f \in S : f(t) = 0; \forall t > 0\}$$

Por definición vamos a trabajar con las señales definidas en el subespacio S_+ o sea las que están ubicadas en el intervalo $[0, \infty]$, aunque el intervalo real de existencia de la misma será el correspondiente a $[t_0, t_f]$. Donde t_0 sería el instante de tiempo en el cual la señal aparece y t_f cuando se extingue.

En sentido general podemos establecer la siguiente clasificación de las señales:

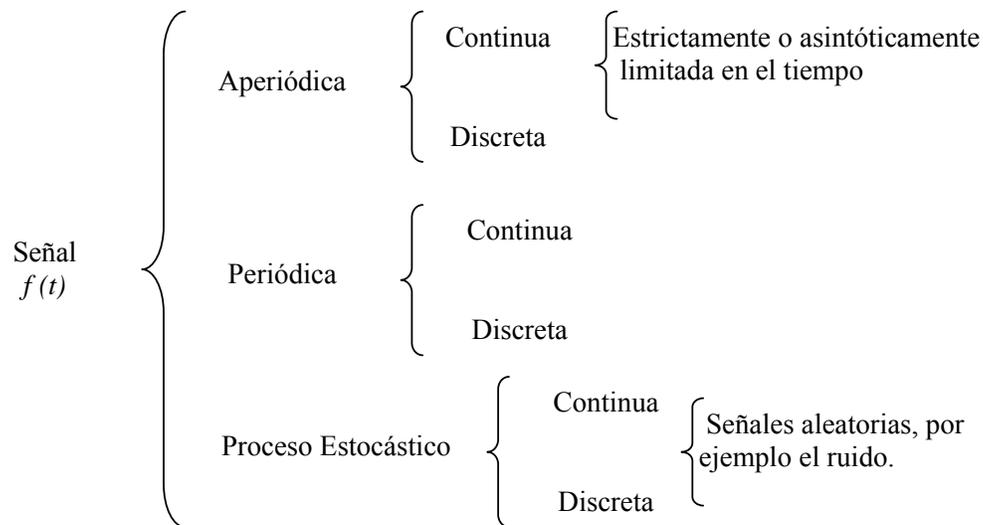


Figura 3.3. Clasificación general de las señales

En los procesos tecnológicos podemos encontrarnos con diferentes tipos de señales, de las cuales se requiere tomar información. Pueden por lo general, interesarnos en la medición tanto su valor en un momento dado t_1 ($t_0 < t_1 < t_f$), como conocer con qué periodicidad debe “refrescarse” dicho valor en el sistema de medición. Lo primero tiene estrecha relación con la caracterización estática de la señal, lo segundo con su caracterización dinámica.

Como las variables físicas son señales variantes con el tiempo, en dependencia del método de medición habrá que tener en cuenta los siguientes parámetros para poder sensar adecuadamente las mismas.

- Estado de la señal.
- Cantidad de cambios de estados.
- Nivel o amplitud de la señal.
- Forma de la señal.
- Frecuencia.

En dependencia de la naturaleza de la información que portan las señales las podemos clasificar en:

- Analógicas
- Discretas

Mientras que en dependencia de la forma de su obtención las clasificamos en:

- Variables Medidas.
- Variables Calculadas.
- Entrada manual.

En dependencia de la procedencia, se pueden clasificar en:

- Internas
- Externas

Las variables físicas son señales variantes con el tiempo, en dependencia del método de medición las señales se clasifican (figura 3.4) en los tipos siguientes:

- Estado.
- Cantidad de cambios de estados.
- Magnitud o Nivel.
- Forma.
- Frecuencia.

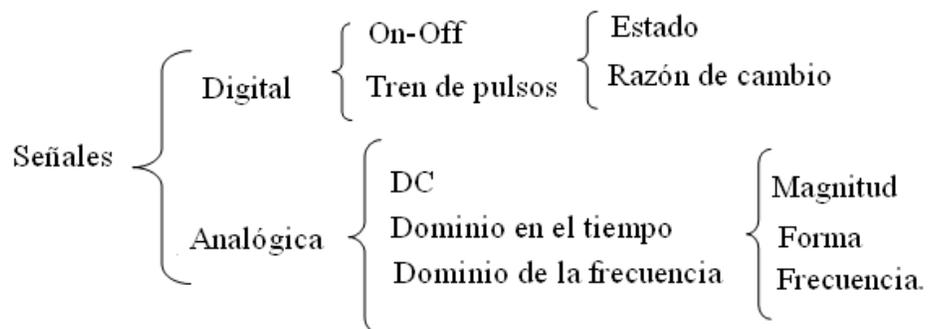


Figura 3.4. Clasificación de las señales de un proceso

Tipos de señales en los Procesos Industriales

A continuación vamos a ver los tipos de señales más comúnmente encontradas en los procesos industriales.

- 1- Señales digitales. (de dos estados)
 - Señales ON – OFF.
- 2- Señales analógicas. (continuas en el tiempo)
 - Señales sinusoidales.
 - Señales no sinusoidales periódicas.
 - Señales no sinusoidales aperiódicas.

Las señales digitales (o discretas como también se les conoce), presentan dos niveles: alto (ON) y bajo (OFF), en este caso nos interesa el estado como tal de la misma o la medición de la cantidad de pulsos asociados a la señal dentro de un intervalo de tiempo dado.

Las señales analógicas contienen información por su continua variación con respecto al tiempo y se puede plantear que la información está dada por su magnitud en el tiempo (señales de baja frecuencia o DC) y otras en que su información está en la frecuencia de la señal y su análisis. En la figura 3.3 se muestra una breve clasificación de estos dos grandes grupos de señales (analógicas y digitales).

Las señales ON-OFF o de niveles alternados caracterizan condiciones del proceso del tipo AUSENCIA-PRESENCIA, SI-NO, 0-1, TODO o NADA. Al medir estas señales lo que nos interesa es el estado de dicha variable, por ejemplo: si la temperatura llegó a un valor dado o no, si la presión se excedió de un límite establecido, etc.

Señales digitales

La información que brinda este tipo de señal se encuentra contenida en el nivel o estado de la misma, como por ejemplo: motor ON/OFF, lámpara encendida/apagada, interruptor de final de carrera abierto/cerrado, etc.

Otra situación puede establecerse con las transiciones de los estados (trenes de pulsos) ya sea por:

- La cantidad de los pulsos.
- Frecuencia de ocurrencia.
- Tiempo entre pulsos.

Ejemplos:

1. La medición de energía eléctrica consumida por una estación puede establecerse como la cantidad de pulsos generados por un watímetro.
2. Conociendo la frecuencia de pulsos de un encoder se puede medir la velocidad de un motor.

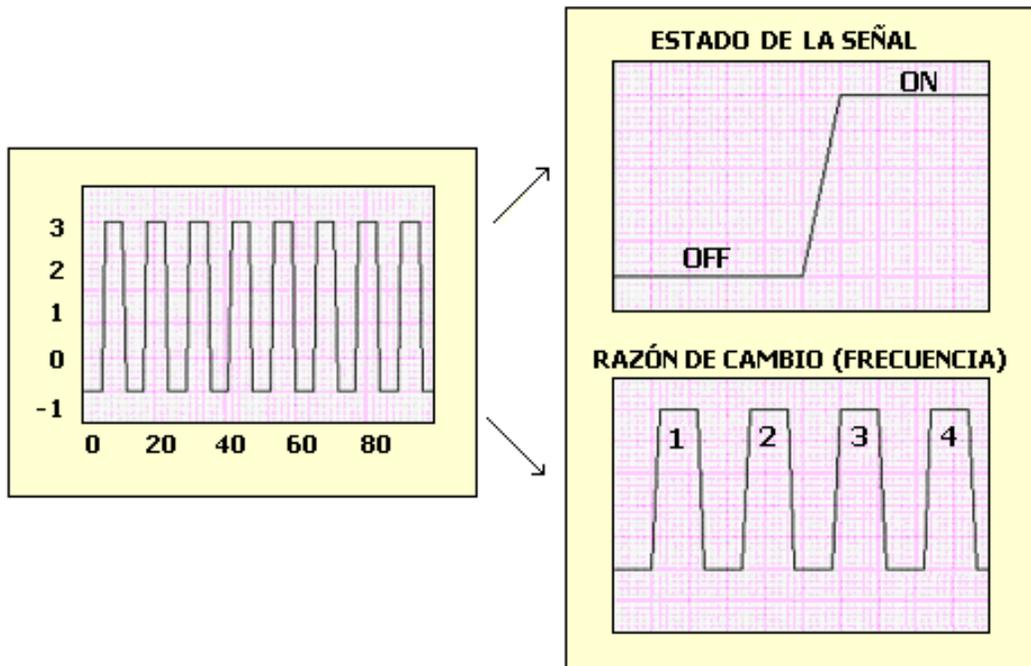


Figura 3.5. Caracterización de la señal digital

Los circuitos de detección para este tipo de señales son relativamente simples, pues solamente es necesario considerar el nivel o magnitud que va a caracterizar a dicha variable dentro de un universo de tiempo dado, generalmente desde el punto de vista industrial estos valores de amplitud de la señal pueden ser de 24 volts DC o bien 110/220 volts AC, para este caso normalmente se busca un correcto aislamiento de las señales.

Veamos a continuación cada uno de los diferentes tipos de señales:

Señales Analógicas

Señales sinusoidales.

Las señales sinusoidales pueden ser portadoras de información en su:

- a) Amplitud: manteniendo constante la frecuencia.
- b) Frecuencia: manteniendo constante su amplitud.
- c) Fase relativa: manteniendo constante frecuencia y amplitud.
- d) Cambio de frecuencia alternadamente entre 2 valores: representando de esta manera dos posibles estados diferentes del proceso.

Señales no sinusoidales periódicas.

Pueden ser también portadoras de información útil de un proceso o sistema dado. Poseen una componente fundamental de frecuencia (f_0), una componente de frecuencia cero (o de señal DC) y un conjunto de armónicos cuyas amplitudes decrecen al aumentar su número de orden.

Las señales no sinusoidales periódicas experimentan variaciones tanto en amplitud como en frecuencia con el tiempo, aun cuando su periodo no cambie. Este tipo de señal porta su información en su frecuencia o bien en su fase. En este caso no se usa la amplitud pues esta no es un reflejo real y constante de la señal, ya que la amplitud sufre variaciones (atenuación) cuando esta señal es transmitida por un canal con un ancho de banda dado. La amplitud de los distintos armónicos se ve afectada de manera diferente debido a las distintas componentes de frecuencia que los caracterizan, cuando los mismos son transmitidos por un canal de ancho de banda finito y constante.

Señales no sinusoidales aperiódicas.

Las señales no sinusoidales aperiódicas caracterizan a los procesos estacionarios y ergódicos.

Resultan ser la mayoría de las señales objeto de medición en un proceso industrial. Portan la información en su amplitud instantánea, relacionándose ese valor de amplitud para ese instante de tiempo con algún parámetro de operación del proceso (temperatura, presión, flujo, etc).

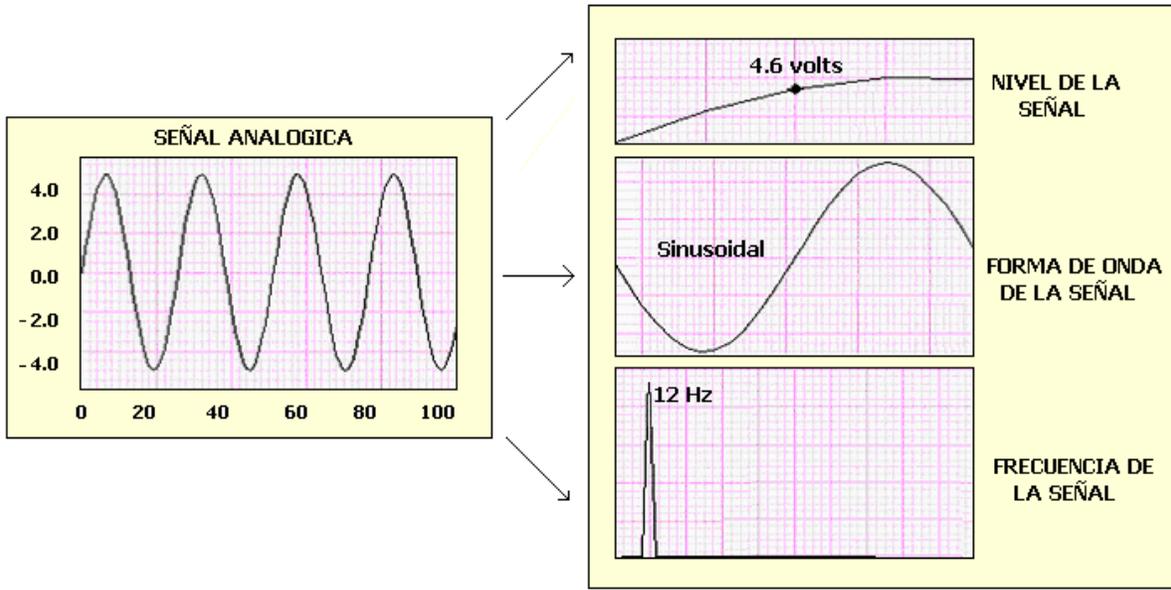


Figura 3.6. Caracterización de la señal analógica

Por sus características dinámicas la señal analógica es muy apropiada para transmitir información de un proceso dado, si consideramos estas propiedades dinámicas de las mismas, pudiéramos clasificarlas como:

1. Señales analógicas de baja frecuencia o DC.
2. Señales analógicas en el dominio del tiempo.
3. Señales analógicas en el dominio de la frecuencia.

Señales analógicas de baja frecuencia o DC.

Son señales que varían muy lentamente, en este caso la información está dada por la amplitud para un instante de tiempo dado. Gran cantidad de magnitudes físicas se obtienen de forma analógica en la industria: temperatura medida con termopares, nivel, presión, etc. Estas son las de mayor interés en los procesos automatizados.

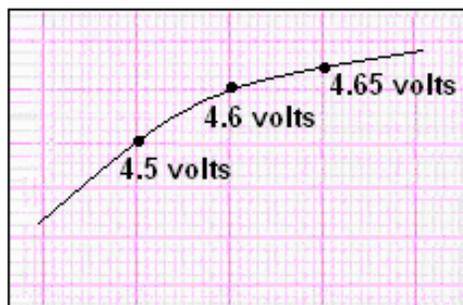


Figura 3.7. Señal analógica de baja frecuencia.

Señales analógicas en el dominio del tiempo.

Para estas señales no solamente interesa el valor instantáneo, sino cómo varía con el tiempo, pendientes, picos máximos o mínimos, etc. Se necesitan frecuencias de muestreos altas para reproducir lo más fielmente la señal. En muchos casos en la industria se necesita obtener la dependencia de una señal con el tiempo para su análisis posterior. Un ejemplo típico se tiene en los electrocardiogramas donde la forma de la señal, sus picos, sus posiciones relativas, etc. brindan gran información.

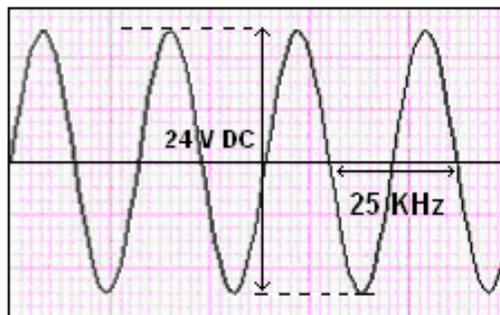


Figura 3.8. Señal analógica en el dominio temporal

Señales analógicas en el dominio de la frecuencia.

Para estas señales se mide el valor instantáneo o la forma de onda, pero la principal información está dada en las componentes de frecuencia de la señal requiriéndose frecuencias de muestreos relativamente altas y procesamiento digital de señales. Son típicas de estas señales las generadas por radiofrecuencias, medición de características de ruidos, etc.

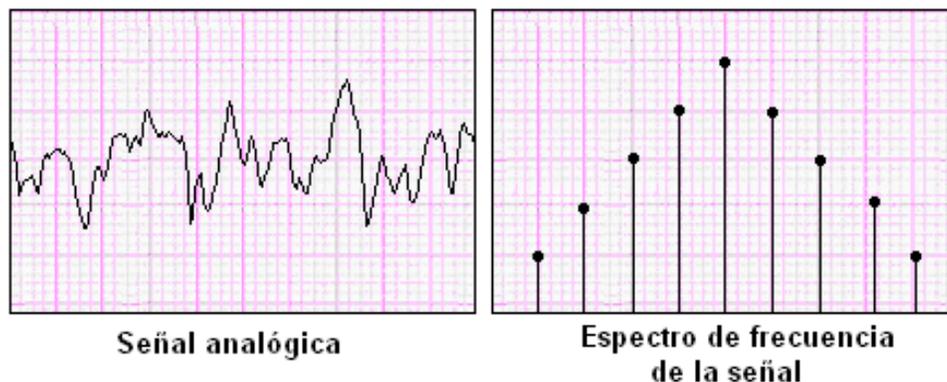


Figura 3.9. Señal analógica en el dominio frecuencial

Caracterización estática y dinámica de las señales

La caracterización estática de una señal podemos considerarla como el acotamiento dentro de un rango de valores entre los que la señal se mantiene o existe, siendo en cada momento portadora de la información sobre el proceso, incluyendo en dicho rango todos los valores posibles que puede alcanzar la señal bajo cualesquiera condiciones de operación del proceso.

Conocer las características estáticas de una señal permite el procesamiento posterior de la información, como son: rango de la variable, linealidad, tabla de valores, ecuaciones de entrada/salida, etc.

Por otra parte, la caracterización dinámica de una señal (analógica o digital) tiene una relación muy directa con su espectro de frecuencias. La misma permite determinar el tiempo de muestreo de manera adecuada.

Si se requiere en un sistema de medición lograr la reproducción fiel de una señal física de naturaleza analógica, resulta necesario conocer el valor de frecuencia máxima (f_{max}) que posee la señal medible en todo su espectro de frecuencias, ello posibilita seleccionar el sensor-transductor idóneo cuya respuesta dinámica sea la más adecuada, facilitando con esto la medición fiable de la señal.

En relación con las características temporales de las señales existentes en los procesos industriales, podemos observar en la siguiente tabla una clasificación desde el punto de vista de sus parámetros cualitativos y cuantitativos.

El tiempo de reacción referido en la tabla incluye desde que se efectúa la medición hasta que se envía la señal de control, por lo tanto el tiempo de medición debe ser mucho menor que el tiempo de reacción.

Tabla 1. Características temporales de las señales existentes en los procesos industriales

Cualitativamente	Cuantitativamente
Muy breves / Muy pocas	Tiempo de reacción (t_r) del orden de los mseg Ejemplos: Robótica, Laminadores ($t_r = 1$ mseg)
Breves / Pocas	Tiempo de reacción del orden de las decenas de mseg Ejemplos: Máquinas Herramientas ($t_r = 10$ mseg), Control y Accionamiento ($t_r = 20$ a 50 mseg)
	Tiempo de reacción del orden de los cientos de mseg

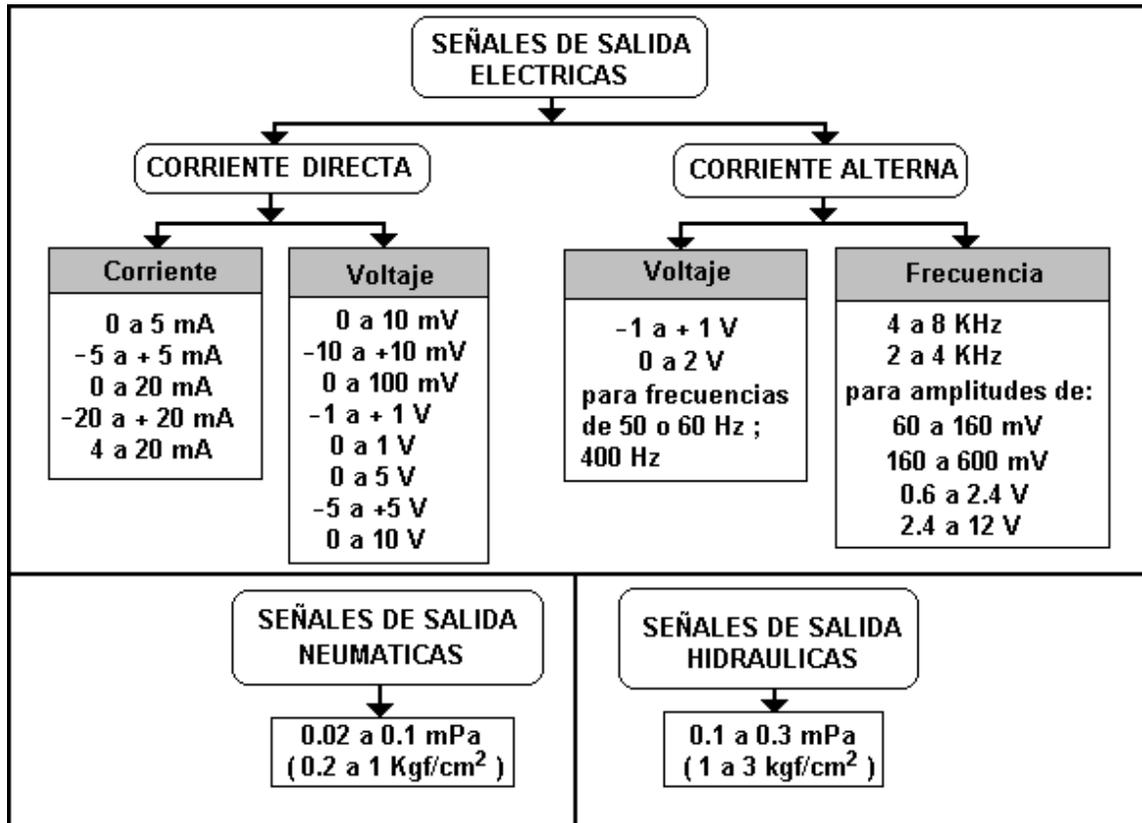
Medianas	Ejemplo: Fluidos ($t_r = 0.1$ a 2 mseg)
Lentas / Grandes	Tiempo de reacción del orden de segundos Ejemplo: Presión ($t_r = 0.5$ a 10 seg)
Muy lentas / Muy grandes	Tiempo de reacción del orden de varios segundos Ejemplo: Temperatura ($t_r = 5$ a 100 seg)

La correcta clasificación y caracterización de las señales existentes en un proceso permite además la correcta selección de los sensores transductores de señal. Estos elementos dan señales de salida proporcional a la variable medida, y cuya salida generalmente es de corriente o voltaje, otros brindan a su salida una señal neumática para aplicaciones específicas.

Los diferentes tipos de salidas que dan los dispositivos transductores están debidamente normalizados y constituyen regla obligatoria de estricto cumplimiento internacional por todas las firmas fabricantes de equipos e instrumentación industrial. En la figura 3.10 se muestran los rangos de salida normalizados para los transductores.

De esta manera la transmisión eléctrica puede ser analógica, caracterizada por señales de voltaje y corriente, o digital, caracterizada por trenes de pulsos en dependencia del protocolo utilizado.

Figura 3.10. Rangos normalizados de salida para los sensores-transductores industriales.



El procedimiento para efectuar la lectura de las variables analógicas se realiza de dos formas:

- Secuencialmente. Las señales asociadas a un selector de canal son leídas una tras otra de forma secuencial generalmente comenzando por el primer canal.
- Aleatoriamente. Cada señal se capta de forma independiente en el momento que se determine.

Para el primer caso es más sencilla la atención pero se pierde en flexibilidad. En el segundo, se captan las variables según la necesidad, ya sea por tiempo o solicitud de cualquier tarea, necesita un software un poco más complejo. Muchas tarjetas tienen la posibilidad de realizar las lecturas de todas sus señales de forma automática por hardware.

Medios Técnicos de Automatización

Una gran variedad de medios técnicos existen para el desarrollo de un sistema automatizado desde medios convencionales hasta inteligentes, medios de cómputos de propósitos específicos, modulares, etc. Asimismo el software se ha desarrollado grandemente existiendo diferentes sistemas operativos, software para el desarrollo de aplicaciones, software específicos desarrollados por diferentes firmas de automatización, etc. En esta sección se dará una visión general de las posibilidades de estos dispositivos que existen hoy día, especificando en los relacionados con el control.

Es evidente que un sistema automatizado por computadora tiene bien definidos varios elementos que lo conforman:

- Hardware o aseguramiento técnico.
- Software o aseguramiento matemático.
- Aseguramiento informativo.
- Aseguramiento organizativo.
- Personal de operación.

Los medios técnicos en sentido general lo incluyen todo el hardware necesario, desde los sensores hasta los medios técnicos de cómputo, sin los cuales sería imposible cumplir con las funciones que se persiguen en un sistema automatizado. Por supuesto sobre buena parte de este hardware se ejecutan los diferentes tipos de programas.

El aseguramiento matemático o software está constituido por los modelos matemáticos, métodos utilizados, algoritmos, programas necesarios para la adecuada explotación y funcionamiento del sistema.

Los documentos que describen la información requerida por el sistema automatizado: normas, las bases de datos, ajustes de los controladores, etc. constituyen el aseguramiento informativo, de gran importancia sobre todo en sistemas grandes.

Por otra parte, el aseguramiento organizativo está formado por el conjunto de instrucciones y reglamentos para el personal de operación, incluye:

- Organización laboral de los puestos de trabajo, turnos, etc.
- Normas de operación de cada puesto de trabajo.
- Especificaciones de calidad.
- Procedimientos a ejecutar en caso de avería.
- Instrucciones de seguridad.

A su vez, el personal de operación comúnmente se asocia en dos grupos, los cuales están compuestos por:

- Tecnólogos, que tienen a su cargo la dirección del proceso.
- Personal de explotación, que garantiza el correcto funcionamiento del sistema automatizado.

Para el desarrollo de una aplicación industrial es importante tener presentes todas las componentes, pues todas son importantes para lograr una buena operación con eficiencia en todos los sentidos. Debe tenerse en cuenta que en una industria se manejan una gran cantidad de variables (medidas analógicas, medidas discretas, calculadas, entradas por teclado, etc.)

Existen, actualmente, un gran número de medios técnicos disponibles para el desarrollo de un sistema automatizado. Estos se pueden clasificar en los grupos siguientes:

- Unidades inteligentes. Sistemas pequeños basados en microcontroladores para realizar funciones específicas de medición y control, ejemplo de ello lo constituyen captadores-transmisores “inteligentes” SMART.
- Sistemas Modulares, como por ejemplo: los controladores lógicos programables, sistemas de procesamiento, módulos de adquisición de datos.
- Sistemas basados en PC, la adquisición y procesamiento se puede realizar con microcomputadoras, tanto industriales o no.

En un sistema automatizado es común utilizar varios de los medios disponibles, en la actualidad se busca que los medios tengan gran conectividad entre sí.

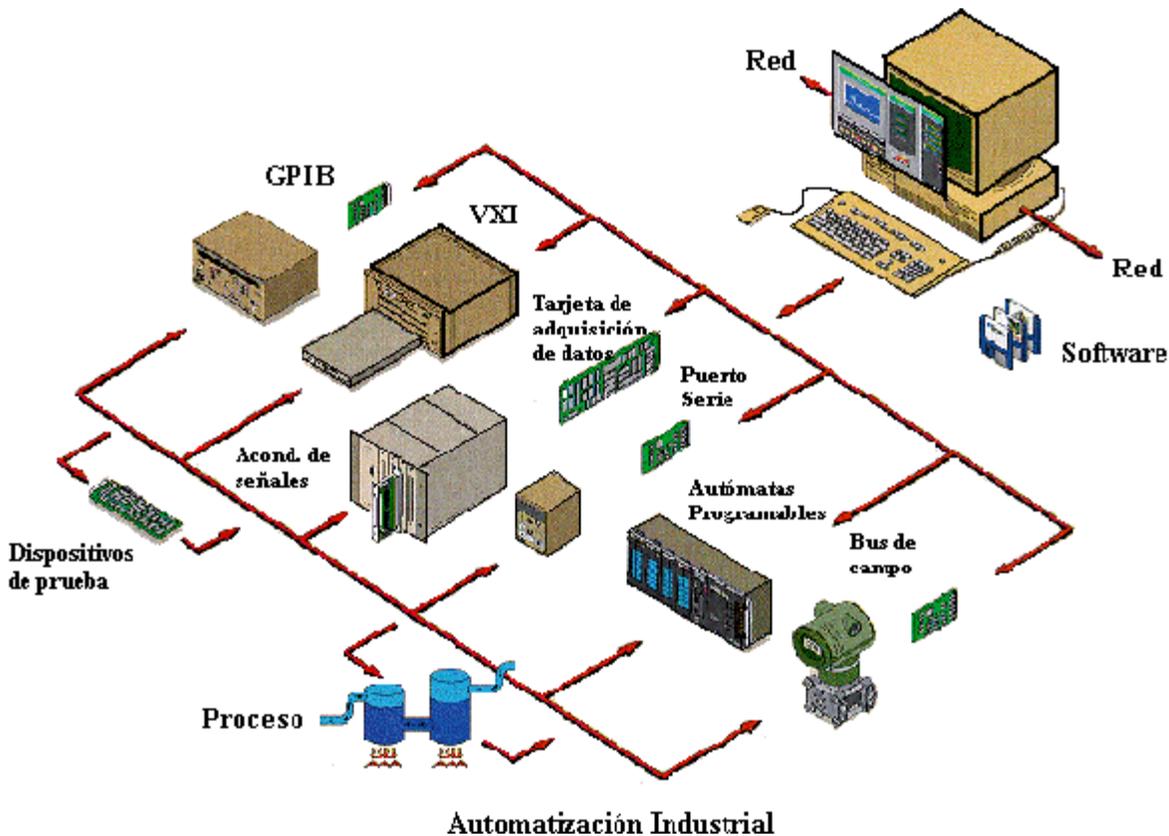
La potencialidad de los sistemas depende de las necesidades del usuario ya que los medios técnicos de los cuales se puede disponer en el mercado prácticamente no establecen limitaciones.

En la figura 3.11 se muestran diferentes posibilidades de conexión de microcontroladores, entre ellas tenemos las siguientes:

- Instrumentos con norma GPIB, a través de interfase GPIB insertable en la PC.
- Interfaces para adquisición, acondicionamiento de señales, tanto locales como remotas.
- Tarjetas de adquisición de datos insertables y módulos externos.
- Instrumentos serie a través de interfaces serie estándar.
- Interfase para bus de campo para la atención de dispositivos en el campo.
- Automatas programables.
- Procesadores con sistemas empotrados.

- Reguladores digitales.

Figura 3.11. Medios técnicos en función de la adquisición y procesamiento de la información.



Instrumentación digital e inteligente

El microprocesador ha sido el motor tecnológico de nuestra era. Ese diminuto componente electrónico es el cerebro de computadoras, instrumentación electrónica, modernos sensores e infinidad de accesorios denominados “inteligentes” presentes en la automatización de un gran número de aplicaciones industriales y de los servicios.

El primer microprocesador fue el Intel 4004, producido en 1971. Se desarrolló originalmente para una calculadora, y resultaba revolucionario para su época. Contenía 2.300 transistores en un microprocesador de 4 bits que sólo podía realizar 60.000 operaciones por segundo.

En junio de 1978 este mismo fabricante lanzó al mercado el primer microprocesador de 16 bits: el 8086, y un año más tarde apareció el 8088 que introducía la ventaja de un bus de datos de 8 bits respecto a su antecesor. Fue la propia Intel el primer fabricante que desarrolló software y hardware para estos chips, siendo actualmente uno de los principales diseñadores, fabricantes y vendedores de estos circuitos integrados.

A partir de la década de los ochenta, el panorama de la electrónica aplicada cambió radicalmente al hacer su incursión en la industria el microprocesador. Ello introdujo un concepto novedoso que en la actualidad se conserva y refuerza cada vez más, el de la lógica programada, que muy pronto se implementó en controladores, instrumentos y demás dispositivos industriales, siendo los automáatas programables su mejor y más generalizado exponente. Antes de los microprocesadores, los circuitos electrónicos para la industria se diseñaban para una función específica, eran muy difíciles de modificar, a menos que se posibilitara cambiar físicamente las conexiones y/o componentes, es decir, el número y la cantidad de los diferentes elementos que los formaban. A estos dispositivos se les llamó dispositivos de lógica cableada y eran bastante rígidos en este sentido.

Consolidadas entonces las técnicas digitales ya desde los años sesenta, se crearon las condiciones y necesidad de profundizar en el estudio y desarrollo de las aplicaciones para los microprocesadores y la programación en lenguaje de máquina o ensamblador. Fue la época de oro de los microprocesadores 8080, 8086, Z-80, 6809, 6502, y 68000 entre otros, quienes fueron utilizados en los circuitos principales de dispositivos aplicados al control.

En 1980, aproximadamente, los fabricantes de integrados iniciaron la difusión de un nuevo circuito con aplicaciones para control, medición e instrumentación, al que llamaron microcontrolador que no es más que un "microcomputador en un solo chip".

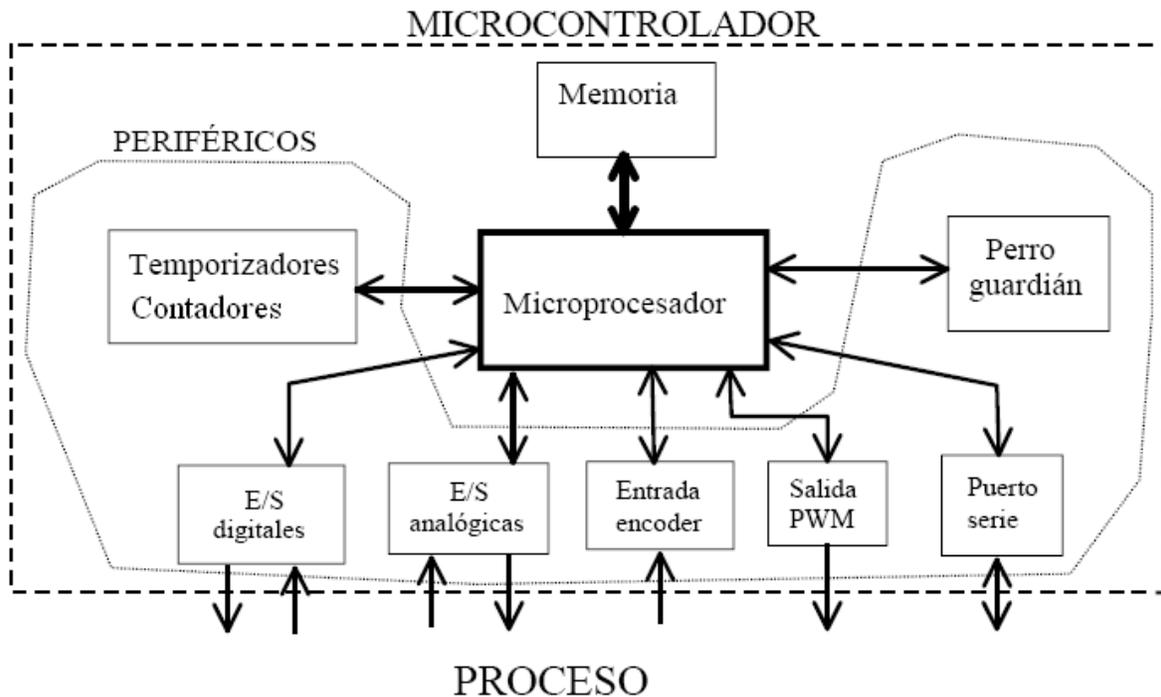


Figura 3.12. Diagrama de bloques de un sistema basado en microprocesador

El empleo de los microcontroladores aplicados en los medios de automatización industriales produjo un salto cualitativo notable en la instrumentación, pues no solo se realizaba el procesamiento de la información de manera digital, sino que también fue posible el almacenamiento de los datos y demás parámetros del proceso, a lo cual se sumaba incrementos de la potencialidad en la comunicación a niveles nunca antes vistos.

Los instrumentos digitales, al carecer de partes mecánicas, son muy resistentes a vibraciones, no sufren desgaste, demandan bajo consumo de potencia y disminuyen su tamaño respecto a sus antecesores. Proporcionan las indicaciones más fiables y precisas aun en las más duras condiciones. Disponen de capacidad de almacenamiento que permite guardar históricos de variables y eventos, y además pueden programarse a las necesidades de la aplicación sin tener necesariamente conocimientos especiales en materia de regulación de procesos.

De esta manera se dotaron a los dispositivos de automatización de mayores prestaciones y funcionalidades muy a tono con las exigencias del entorno industrial. En una primera etapa aparecieron los instrumentos de indicación digital que sustituyeron a los analógicos, luego se diseñaron basados en microprocesadores con gran número de funciones incorporadas, donde un instrumento programable era capaz de: sensar la variable, realizar el acondicionamiento de la misma, la conversión análogo-digital, efectuar acciones de control, visualizar datos sobre el estado del equipo, funcionamiento, parámetros, valores de las variables, etc y garantizar la transmisión de la información. A esta nueva generación se les denominó instrumentos inteligentes.

Un ejemplo de ello lo constituye el controlador digital avanzado de temperatura E5AK de la firma OMRON mostrado en la figura 3.13; entre otras características presenta programación PID avanzada, lógica de control difusa incluida, autoajuste y comunicación serie. Trabaja con una razón de muestreo de 100 ms y brinda indicación digital de los parámetros del proceso y la programación desde el panel frontal.



Figura 3.13. Controlador avanzado multifunción para procesos modelo E5AK-OMRON

Otro ejemplo lo constituye el sensor inteligente de la Nacional Instruments cuyo diagrama de bloques se muestra en la figura 3.14, basado en un microcontrolador dispone de una hoja de datos integrada en EPROM, que tiene como función almacenar datos tanto analógicos como digitales provenientes de sensores industriales. El mismo puede ser programado por el operador a través de un teclado y display, o a través de un computador con interfase RS-232.

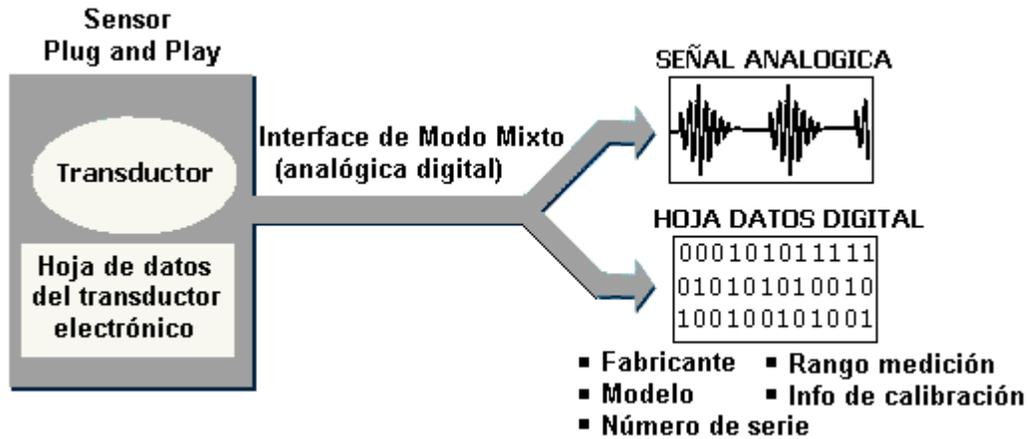


Figura 3.14. Sensor inteligente con hoja de datos integrada

Reguladores PID digitales

La invención de la función de regulación PID se le atribuye al científico ruso A. Minorski, quien lo patentó en 1922, como regulador automático PID (Proporcional-Integral-Derivativo) y desde entonces no ha dejado de afianzarse en el terreno de las aplicaciones de control automático de procesos.

Una breve historia del desarrollo de los reguladores PID nos muestra cronológicamente los sucesos principales siguientes:

1934-1935: Foxboro introduce el regulador Model 40, primer controlador con acción PI.

1940: Taylor introduce el Fulscope 100, primer controlador PID neumático.

1942: Los científicos Taylor's John G. Ziegler y Nathaniel B. Nichols publican las famosas reglas de ajustes para controladores conocidas como reglas de Ziegler-Nichols.

1951: La Company Swartwout introduce el primer controlador electrónico basado en tubos al vacío.

1959: Bailey Meter (actualmente parte de la ABB) introduce el primer controlador electrónico totalmente fabricado con electrónica de estado sólido.

1964: Taylor Instruments muestra su primer controlador digital para lazos simples.

1975: Se introduce por MICON Systems el controlador P-200, primer regulador PID basado en microprocesador.

1980s hasta el presente: Gran variedad de técnicas de control avanzado se comienzan a implementar en los PID, tales como lógica difusa, inteligencia artificial, control adaptivo, control predictivo, etc.

El PID lejos de disminuir su hegemonía, ha ido ganando cada vez más adeptos y se ha ido introduciendo en diversas ramas que abarcan la industria aeronáutica, espacial, mecánica, control de procesos, robótica y otras. Este auge se atribuye a su simplicidad y su excelente comportamiento en un espectro muy amplio de aplicaciones. En general se pone de manifiesto su gran robustez, cuando se compara con otros reguladores más sofisticados.

En Japón, según encuesta realizada en 1991, el regulador PID abarcaba el 95 % o más de las aplicaciones industriales y anualmente se comercializan en el mundo cientos de miles de unidades de controladores que tienen implementada ésta importante función de regulación. Actualmente más del 90 % de los lazos de control en todas las industrias del planeta son gobernados por controladores PID y sus variantes.

El regulador PID electrónico a base de operacionales se fue paulatinamente transformando en los años ochenta, a los basados en microcontroladores, incorporándose nuevas capacidades que antes no tenía. Con el desarrollo de los microprocesadores y la computación en general, la tecnología digital se ha impuesto en este imprescindible medio técnico de automatización; esto le confiere una serie de ventajas constructivas y de implementación algorítmica, así como mayor rapidez, exactitud, almacenamiento de variables, parametrización, comunicación, etc., sin que ello implique un costo de adquisición muy superior a sus antecesores.

Ya se pueden aplicar con mayor seguridad los reguladores digitales a procesos con atmósferas peligrosas, con riesgos de explosión e incendios, pues para este caso se puede adquirir equipamiento electrónico que, entre otras cualidades, está protegido contra cortocircuitos. En estos casos el dispositivo lógicamente resulta más caro, pero está garantizado que la probabilidad de riesgo sea mínima.

El regulador PID digital se puede encontrar en la versión de un simple regulador, destinado para controlar una sola variable (temperatura, como el ejemplo del controlador de la ABB mostrado en la figura 3.13), o como regulador integral con varios canales para entradas analógicas y/o digitales, donde generalmente la variable de entrada analógica debe estar debidamente acondicionada a los requerimientos de los canales, digamos 4-20 mA. Disponen además de la capacidad de comunicarse y con ello ser parte integrante de una determinada red de comunicación industrial.

El controlador C501 de la figura 3.15 está diseñado para variadas aplicaciones en el campo del control de procesos. Presenta 2 entradas analógicas y 2 digitales, autoajuste, indicación triple de hasta 4 dígitos, una salida analógica y dos digitales a base de reles, software para la programación y módulos opcionales para ampliar el número de E/S y para la comunicación Modbus mediante puerto RS-485. Su costo puede alcanzar los 600 dólares.



Figura 3.15. Panel frontal del controlador digital C501 de la ABB

Los reguladores PID digitales pueden integrarse a un determinado software de propósito especial para control en tiempo real, el cual puede ser implementado en una PC. Esta última versión compite ahora con los PLC, dada la alta fiabilidad alcanzada por las PC y la flexibilidad que ello proporciona para implementar algoritmos de control avanzado, en combinación con un nivel básico de regulación basado en controladores PID digitales.

El PID digital al igual que su antecesor analógico puede convertirse en un regulador P si se eliminan los términos integral y derivativo, (para lo cual se hace infinita la constante de tiempo integral y cero el término derivativo). Un PD se obtiene si solamente eliminamos el término integral y un PI si el término eliminado corresponde al derivativo. Otros parámetros no menos importantes son configurables como el efecto “antiwindow”, filtrado de la señal, ajuste del periodo de muestreo, salidas de alarmas, autosintonía, etc.

Algunos de estos dispositivos pueden ampliar la funcionalidad de la unidad básica por medio de módulos que se adicionan para añadir nuevas prestaciones como por ejemplo módulos convertidores de señal, módulos específicos para entradas de Pt-100 y termopares, salida para comunicación serie, o módulos para un determinado bus de campo.

En estos momentos las variaciones de precios entre los diferentes reguladores es muy pequeña y los controladores PID digitales son los medios técnicos de control que más se comercializan hoy día. Los reguladores basados en microprocesadores poseen un software de regulación, que brinda ventajas a la

hora de implementar el control en función del tipo de regulación necesaria de acuerdo al proceso. Los mismos no sólo ofrecen una mayor precisión y más fácil parametrización, sino también excelentes posibilidades de integración a nivel del control y la visualización de parámetros del proceso gracias a sus interfaces y buses.

El controlador digital para válvulas de control final mostrado en la figura 3.16 constituye un instrumento neumático accionado por corriente que opera a base de un microprocesador, posee software de configuración y capacidades de autodiagnóstico. El controlador emplea retroalimentación de la posición del vástago de la válvula para complementar su acción reguladora y realiza diagnóstico no sólo del instrumento, sino también de la válvula y del actuador. Para establecer la comunicación utiliza el protocolo de comunicación HART que facilita el acceso a datos críticos para la operación del proceso. También posee comunicación a través de un computador personal o de una consola de sistema de control digital en la sala de control.



Figura 3.16. Controlador digital para válvula FIELDVUE con actuador rotatorio

También existen controladores modulares como el mostrado en la figura 3.17, éste consiste en un módulo CPU, módulo de fuente de potencia, módulos de comunicación, y demás accesorios. Se le pueden colocar varios tipos de módulos CPU que mejoran la velocidad de procesamiento y capacidad de memoria. Cada módulo CPU posee dos puertos de comunicación Ethernet, y es posible insertar en un slot, tarjetas compactas de memoria flash para almacenar datos y programas.

Los controladores modulares presentan alto nivel de conectividad y expansión, lo cual resulta práctico para la realización de tareas de control y su empleo en sistemas supervisorios. Permiten la conexión con otros dispositivos inteligentes, y gracias a su diseño modular disponen de capacidad de adaptación a cambios en el proceso y/o posibles expansiones muy frecuentes y comunes en instalaciones tecnológicas industriales. Estos cambios generalmente implican mayores exigencias del hardware, que a su vez generan necesarios cambios en los requerimientos, los cuales son fácilmente satisfechos de manera rápida y eficiente por estos dispositivos.



Figura 3.17. Controlador modular AC 800M con prestaciones comparables a las de un PLC

Autómatas Programables

Aunque en un PLC se puede implementar el algoritmo de regulación PID antes mencionado. Los mismos poseen además capacidades adicionales inigualables y muy importantes para desempeñar mejor que ningún otro medio técnico moderno las funciones de control automático industrial, cada vez más exigentes en instalaciones tecnológicas modernas. En sus inicios fueron muy empleados para control secuencial de procesos, añadiéndosele posteriormente mayor capacidad de procesamiento y prestaciones.

Desde el punto de vista de su estructura externa los PLC básicamente muestran dos configuraciones fundamentales:

- Estructura Compacta.
- Estructura Modular.

Ambas configuraciones no están determinadas por condiciones específicas, sino que dependen de varios aspectos, por ejemplo: costo, tipo de fabricante, prestaciones, dimensiones y peso, área de aplicación, etc.

Autómatas de Estructura Compacta.

Se distinguen por presentar en una sola unidad todos sus elementos integrantes, es decir, la fuente de alimentación, CPU, memorias, salida para red de comunicación y un conjunto de entradas y salidas que generalmente suelen ser digitales y no pasan de 20 en su totalidad. Un conector puerto serie permite enchufar el terminal de programación, o en su defecto una PC que se usa para realizar la programación y descargar el programa de aplicación a la memoria de programa del autómatas. Debido a sus pequeñas dimensiones y peso, el montaje mediante carril DIN o tornillos suele ser muy sencillo y rápido.

Actualmente se ha generalizado mucho su empleo sobre todo porque algunos pueden incorporar una o dos E/S analógicas lo cual aumenta sus prestaciones, pudiéndosele adicionar expansiones para incrementar la cantidad de E/S, cuando no resultan suficientes las que dispone el bloque principal. La figura 3.18 nos ilustra dos ejemplos de PLC compactos.



Figura 3.18. Autómatas compactos con capacidad fija de E/S

Autómatas de Estructura Modular.

Como su nombre lo indica su estructura (figura 3.19) está compuesta por módulos que realizan funciones específicas. Entre ellos podemos mencionar los módulos de CPU's con memorias de usuario o de programa, módulo fuente de alimentación, módulos de E/S digitales y/o analógicas, módulos PID, módulos para la comunicación (Ethernet por ejemplo). La unidad de programación se une al módulo CPU mediante cable y conector.

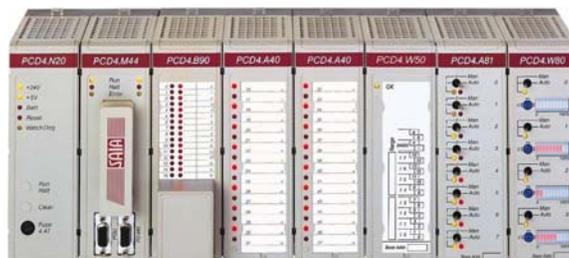


Figura 3.18. Los autómatas modulares se configuran con módulos de diversas funciones

Los módulos de entrada/salida van alojados en racks donde cada uno ocupa un determinado slot, siendo la cantidad, características y tipo de módulo dependientes de la aplicación. Ello garantiza la realización de configuraciones acorde a las prestaciones exigidas por el proceso.

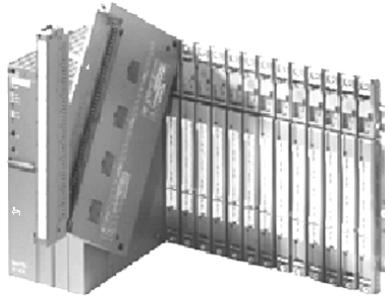


Figura 3.19. Rack de PLC modular con slots para insertar los diferentes tipos de módulos

Dentro del rack, la conexión a la CPU se realiza mediante un bus al que quedan conectados los módulos una vez insertados en su slot. La CPU identifica el tipo módulo y le asigna el área de memoria que requiere y su correspondiente direccionado de acuerdo a la cantidad de E/S que disponga dicho módulo.

La fijación de los mismos se hace bien sobre carril DIN, placa perforada, u otro medio estándar de sujeción.

Los módulos para PLC se comercializan en una amplia gama y diversidad de opciones, principalmente las ofertas varían respecto a características, función, cantidad y tipo de E/S. Los módulos analógicos más comunes poseen desde 2 hasta 8 canales para entradas que cubren fundamentalmente los rangos desde 0 a 10 volts, 4-20 mA, 0-20 mA, así como los destinados a funciones específicas como por ejemplo para la conexión directa de Pt-100, termopares, encoders, etc.

Por su parte los módulos digitales de suelen encontrarse ocupando una amplia gama que cubre desde 8 hasta 32 canales de E/S generalmente de 24 volts DC. Los canales de salida digitales pueden ser a relés o con transistores en configuración colector abierto (open collector).

La programación de los primeros autómatas se realizaba por medio de los denominados terminales de programación, eran conectados al módulo CPU y de esta manera se transferían los códigos de programa que se editaban con teclas disponibles en el propio terminal. Posteriormente fueron apareciendo a ritmo acelerado los paquetes de software que se instalaban sobre ordenadores y posibilitaban de una manera más cómoda la edición, simulación y almacenamiento de los automatismos y variables del programa en ficheros, todo ello sumado a interfaces amigables que brindaban entre otras bondades, ayuda on-line, chequeo de errores, inserción de comentarios y demás. El programa depurado y libre de errores se podía entonces descargar en el PLC a través del puerto serie de la PC en una arquitectura como la mostrada en la figura 3.20.

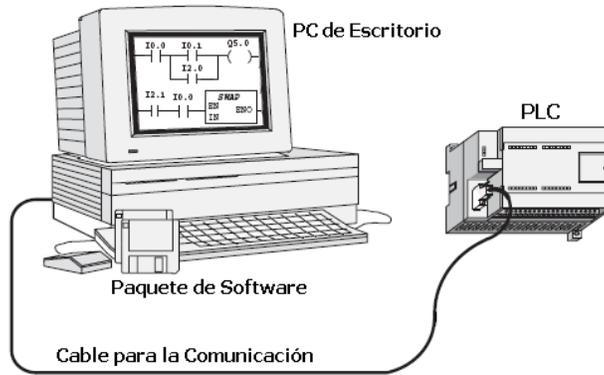


Figura 3.20. Conexión del PLC al ordenador para la descarga y edición de programas

Otro de los aspectos que distinguen y dan potencialidad adicional a los PLC, lo constituye su capacidad de comunicación, la cual también avanzó a pasos agigantados. En una primera etapa la comunicación se efectuaba básicamente entre dispositivos de hardware del propio fabricante, según un determinado y específico protocolo. Luego se amplió notablemente el empleo de redes de PLC donde participaban estaciones de varios fabricantes siempre y cuando se respetara la normativa establecida para dicha comunicación.

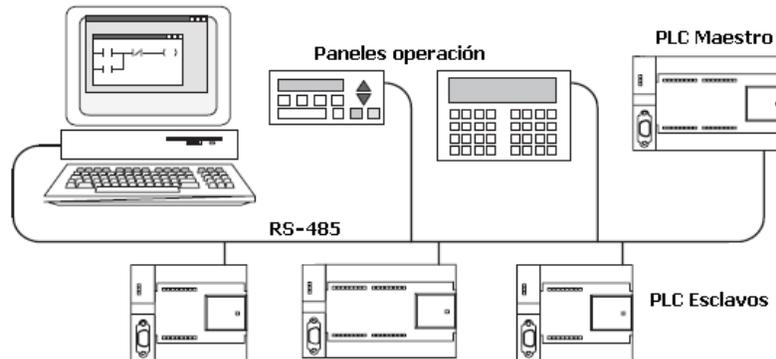


Figura 3.21. Red de PLC donde aparece el computador como elemento integrante

PC Industriales

La tecnología moderna demanda un comportamiento muy exigente de los sistemas computacionales que intervienen en la automatización, ello ha hecho posible la aparición de las denominadas computadoras industriales, las cuales constituyen un hardware diseñado y especialmente construido para operar en las condiciones ambientales más diversas que el entorno industrial impone, satisfaciendo además la potencia de cálculo, comunicación y almacenamiento de información que exige el control de máquinas y procesos.

Actualmente es posible seleccionar el sistema basado en computadoras industriales más adecuado a cada aplicación, pues existe un gran surtido de dicho hardware disponible en el mercado a un costo aceptable, gozando de gran robustez y alta funcionalidad.

Las computadoras industriales son unidades de control que van a servir para gobernar procesos, recibir los datos de los sensores, graficar estadísticas, y tomar acciones de control. Estas computadoras difieren de una común de oficina, dado que su naturaleza debe ser más robusta e inmune en concordancia con el ambiente industrial caracterizado por ruidos electromagnéticos, variaciones de temperatura, vibraciones mecánicas, etc. Están destinadas para trabajar en entornos difíciles, su diseño debe garantizar que las operaciones sean realizadas con total fiabilidad.



Figura 3.22. Diferentes tipos de computadoras industriales

Sistemas Empotrados

Un sistema empotrado también conocido como *embebido*, *integrado*, *incrustado*, o "Embedded System" en inglés, es un sistema informático de uso específico construido dentro de un dispositivo mayor. Los primeros equipos integrados que se desarrollaron fueron elaborados por IBM en los años de la década de los ochenta.

El sistema embebido consiste en un sistema electrónico que realiza una tarea específica bajo el control de un microprocesador y un programa computacional específicamente diseñado de acuerdo al tipo de aplicación concreta, el cual está almacenado permanentemente en memoria. Los programas de sistemas integrados se enfrentan normalmente a exigencias de tiempo real.

Los sistemas integrados se utilizan para funciones muy diferentes de las que se definen para un ordenador personal. En un sistema integrado la mayoría de los componentes se encuentran incluidos en la placa base (*motherboard*) o tarjeta electrónica principal. Se pueden fabricar en gran número de unidades, siendo uno de los principales objetivos reducir los costos. Los mismos suelen usar procesadores no muy complejos, con relativamente poca memoria (interna o externa), microarquitecturas específicas según los requisitos, y unos pocos periféricos de E/S. La principal desventaja es que un fallo en un elemento de hardware implica la necesidad de reparar la placa íntegra.

Los sistemas empotrados emplean a menudo periféricos controlados por interfaces sincrónicas en serie, que son mucho más lentas que los periféricos de una computadora personal. La comunicación adquiere gran importancia, lo normal es que el sistema pueda comunicarse mediante interfaces estándar de cable o inalámbricas, normalmente incorporando puertos de comunicaciones del tipo RS-232, RS-485, CAN,

USB y otros. El subsistema de presentación típico suele ser una pantalla gráfica, táctil, LCD, alfanumérico, etc.

En la automatización de plantas los sistemas empotrados interactúan continuamente con el entorno para vigilar o controlar algún proceso mediante una serie de sensores. Su hardware se diseña normalmente a nivel de chips, o de interconexión de PCBs, buscando la mínima circuitería y el menor tamaño para una aplicación particular. Otra alternativa consiste en el diseño a nivel de PCBs consistente en el ensamblado de placas con microprocesadores comerciales que responden normalmente a un estándar como el PC-104, que consiste en placas de tamaño concreto que se interconectan entre sí “apilándolas” unas sobre otras, cada una de ellas con una funcionalidad específica dentro del objetivo global que tenga el sistema empotrado. El incremento de la funcionalidad de un sistema PC-104 se realiza integrando varios multi-chips o macrocomponentes insertándolos en la placa base justo a la medida de acuerdo a la aplicación específica.

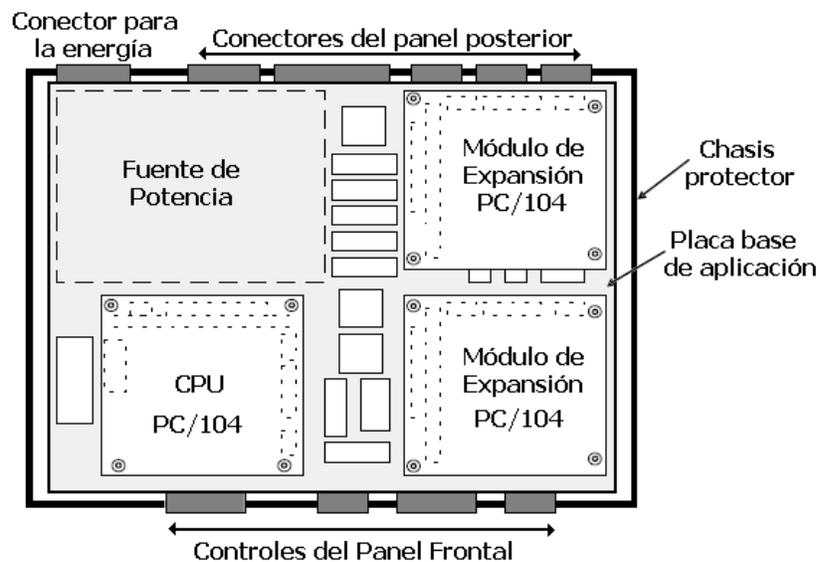


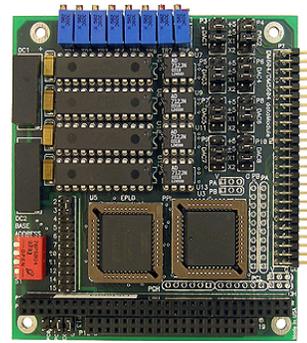
Figura 3.23. Esquema de los macrocomponentes de un sistema PC-104 sobre su placa base

Una placa base típica puede contener la fuente de potencia, las interfaces especializadas, los circuitos para el acondicionamiento de las señales, conectores de E/S con el mundo exterior, etc.

Un sistema basado en PC-104 presenta mayor vida útil que uno basado en los tradicionales diseños a base de circuitos monolíticos, a ello se suma que debido a sus características modulares puede ser mejorado con CPU's y demás interfaces de mejor performance, evitando correr el riesgo de que al paso del tiempo el sistema se vuelva obsoleto.



73SD3



DM6604HR

Figura 3.24. Diferentes módulos de sistemas empotrados del tipo PC-104

El empleo del sistema PC-104 constituye una solución que acelera el tiempo de diseño pero no optimiza ni el tamaño del sistema, ni el número de componentes utilizados, ni el costo unitario.

El término embebido o empotrado hace referencia al hecho de que el microcomputador está encerrado o instalado dentro de un sistema mayor y su existencia como microcomputador puede no ser aparente. Un usuario no técnico de un sistema embebido puede no ser consciente de que está usando un sistema computador. En algunos hogares las personas, que no tienen por qué ser usuarios de un ordenador personal estándar (PC), utilizan del orden de diez o más sistemas embebidos cada día. Los microcomputadores embebidos en estos sistemas controlan electrodomésticos tales como: televisores, videos, lavadoras, alarmas, teléfonos inalámbricos, etc. Incluso una PC tiene microcomputadores embebidos en el monitor, impresora, y periféricos en general, adicionales a la CPU de la propia PC. Un automóvil puede tener hasta un centenar de microprocesadores y microcontroladores que controlan subsistemas como el de ignición, transmisión, dirección asistida, frenos antibloqueo (ABS), control de la tracción, etc.

Los lugares donde se pueden encontrar los sistemas embebidos son numerosos y de varias naturalezas. A continuación se describen varios ejemplos concretos para ilustrar las posibilidades de los mismos:

- En una fábrica, para controlar un proceso de montaje o producción. Una máquina que se encargue de una determinada tarea hoy día contiene numerosos circuitos electrónicos y eléctricos para el control de motores, hornos, etc. que deben ser gobernados por un procesador, el cual ofrece un interfaz hombre-máquina para ser dirigido por un operario e informarle al mismo del estado del proceso.
- Puntos de servicio o venta (Point of Service -POS-). Las cajas donde se paga la compra en un supermercado son cada vez más completas, integrando teclados numéricos, lectores de códigos de barras mediante láser, lectores de tarjetas bancarias de banda magnética o chip, pantalla alfanumérica de cristal líquido, etc. El sistema embebido en este caso requiere numerosos conectores de entrada y salida y unas características robustas para la operación continuada.
- Puntos de información al ciudadano. En oficinas de turismo, grandes almacenes, bibliotecas, etc., existen equipos con una pantalla táctil donde se puede pulsar sobre la misma y elegir la consulta a realizar, obteniendo una respuesta personalizada en un entorno gráfico amigable.

- Decodificadores y *set-top boxes* para la recepción de televisión. Cada vez existe un mayor número de operadores de televisión que aprovechando las tecnologías vía satélite y de red de cable ofrecen un servicio de televisión de pago diferenciado del convencional. En primer lugar envían la señal en formato digital MPEG-2 con lo que es necesario un procesado para decodificarla y enviarla al televisor. Además viaja cifrada para evitar que no sea recibida por usuarios sin contrato, lo que requiere descifrarla en casa del abonado. También ofrecen un servicio de televisión interactiva o web-TV que necesita de un software específico para mostrar páginas web y con ello un sistema basado en procesador con salida de señal de televisión.
- Sistemas radar de aviones. El procesado de la señal recibida o reflejada del sistema radar embarcado en un avión requiere alta potencia de cálculo además de ocupar poco espacio, pesar poco y soportar condiciones extremas de funcionamiento (variaciones de temperatura, presión atmosférica, vibraciones, etc.).

La tabla No. 2 resume en concreto varios ejemplos de sistemas empotrados de acuerdo al área o ámbito de aplicación.

Tabla 2. Algunos ejemplos de aplicaciones de sistemas empotrados

Esfera tecnológica	Ejemplos de Aplicación
Electrónica de Consumo	Videos y TV Lavadoras. Refrigeradores.
Automóviles	Control velocidad. Climatización. Sistema frenos ABS. Inyección. Combustible.
Telecomunicaciones	Telefonía móvil. Telemática.
Aviones y espacial	Computadoras de vuelo. Satélites. Equipos GPS. Controladores aéreos.
Sector Industrial	Robots autónomos. Células flexibles de fabricación. Sistemas control en tiempo real Visión artificial.
Otros	Equipos médicos en hospitales Máquinas automáticas de revelar fotos. Cajeros automáticos. Pasarelas (<i>Gateways</i>)

Los sistemas embebidos se caracterizan normalmente por la necesidad de dispositivos de E/S especiales. Cuando se opta por diseñar el sistema embebido partiendo de una placa con microcomputador también es necesario comprar o diseñar placas de E/S adicionales para cumplir con los requisitos de la aplicación concreta.

Muchos sistemas embebidos son sistemas de tiempo real. Un sistema de tiempo real debe responder, dentro de un intervalo restringido de tiempo, a eventos externos mediante la ejecución de la tarea asociada con cada evento. Los sistemas de tiempo real se pueden caracterizar como “suaves” o “duros”. Si un sistema de tiempo real suave no cumple con sus restricciones de tiempo, simplemente se degrada el rendimiento del sistema, pero si el sistema es de tiempo real duro y no cumple con sus restricciones de tiempo, el sistema fallará. Este fallo puede tener posiblemente consecuencias catastróficas.

Un sistema embebido complejo puede utilizar un sistema operativo como apoyo para la ejecución de sus programas, sobre todo cuando se requiere la ejecución simultánea de los mismos. Cuando se utiliza un sistema operativo lo más probable es que se tenga que tratar de un sistema operativo en tiempo real (*Real Time Operating System -RTOS-*), que es un sistema operativo diseñado y optimizado para manejar fuertes restricciones de tiempo asociadas con eventos en aplicaciones de tiempo real. En una aplicación de tiempo real compleja la utilización de un RTOS multitarea puede simplificar el desarrollo del software.

Hoy día existen en el mercado fabricantes que integran un microprocesador y los elementos controladores de los dispositivos fundamentales de entrada y salida en un mismo chip, pensando en las necesidades de los sistemas embebidos (bajo coste, pequeño tamaño, entradas y salidas específicas, etc). Su capacidad de proceso suele ser inferior a los procesadores de propósito general pero cumplen con su cometido ya que los sistemas donde se ubican no requieren tanta potencia. Los principales fabricantes son ST Microelectronics (familia de chips STPC), National (familia Geode), Motorola (familia ColdFire) e Intel.

Respecto a los sistemas operativos necesarios para que un sistema basado en microprocesador pueda funcionar y ejecutar programas suelen ser específicos para los sistemas embebidos. Así nos encontramos con sistemas operativos de bajos requisitos de memoria, posibilidad de ejecución de aplicaciones de tiempo real, modulares (inclusión sólo de los elementos necesarios del sistema operativo para el sistema embebido concreto), etc. Los más conocidos en la actualidad son Windows CE, QNX y VxWorks de WindRiver.

Ventajas del sistema embebido sobre las soluciones industriales tradicionales

Los equipos industriales de medición y control tradicionales están basados en un microprocesador con un sistema operativo propietario o específico para la aplicación correspondiente. Dicha aplicación se programa en ensamblador para el microprocesador dado o en lenguaje C, realizando llamadas a las funciones básicas de ese sistema operativo que en ciertos casos ni siquiera llega a existir. Con los modernos sistemas PC embebidos, basados en microprocesadores se llega a integrar el mundo de la PC compatible con las aplicaciones industriales. Ello implica numerosas ventajas:

1. Reducción en el precio de los componentes hardware y software debido a la gran cantidad de PCs en el mundo.
2. Posibilidad de utilización de sistemas operativos potentes que ya realizan numerosas tareas, a saber, comunicaciones por redes de datos, soporte gráfico, concurrencia con lanzamiento de

“threads”, etc. Estos sistemas operativos pueden ser los mismos que para PCs compatibles (Linux, Windows, Unix) con fuertes exigencias en hardware o bien ser una versión reducida de los mismos con características orientadas a las PCs embebidos.

Al utilizar dichos sistemas operativos se pueden encontrar fácilmente herramientas potentes para el desarrollo de software, así como numerosos programadores que las dominan, dada la extensión mundial de las aplicaciones para PCs compatibles.

Sistemas de Tiempo Real. Definiciones

¿Qué es el tiempo? Si no lo sabes, pregúntame, yo conozco qué es el tiempo. Pero si desearía explicarte qué cosa es el tiempo, realmente no sé. (Est. Augustin)

El termino “tiempo” siempre ha sido para el hombre un a interrogante compleja, y lograr una correcta interpretación a la pregunta ¿Qué es el tiempo? ha sido tan polémico como la propia historia de la humanidad y se remonta desde los tiempos antiguos donde filósofos, matemáticos, físicos y religiosos debatían cuál era el concepto más apropiado para una palabra tan sencilla y que todos conocemos.

Para esclarecer algunos aspectos en relación con el tiempo, debemos partir de establecer algunas propiedades que lo caracterizan. El tiempo siempre es lineal, transitivo, continuo, irreversible, y denso, no tiene principio, ni tampoco fin. Estas propiedades se representan matemáticamente como:

- *Linealidad* : $\forall x, y, z : x < y \text{ y } y < z \Rightarrow x < z$
- *Transitividad*: $\forall x, y : x < y \text{ ó } y < x \text{ ó } x = y$
- *Irreversibilidad*: $\forall x : \text{nunca } x < x$
- *Densidad*: $\forall x, y : x < y \Rightarrow \exists z : (x < z < y)$

Los profesionales de la ciencia no han escapado a las polémicas relativas a los Sistemas de Tiempo Real y existen diferentes definiciones a la hora de definir este concepto, el cual está muy ligado al tipo de aplicación. Entre las definiciones de STR podemos encontrar:

- *Sistema en el cual el tiempo donde la salida es producida es significativo.*
- *Sistemas que deben producir una respuesta correcta dentro de un tiempo definido.*
- *Sistema donde cualquier información o actividad tiene que responder a los estímulos generados externamente dentro de un específico y finito periodo de tiempo.*
- *Sistema que reacciona a los estímulos externos (incluyendo el paso del tiempo) dentro de intervalos de tiempo dictado por el entorno.*
- *Conjunto de programas que se ejecutan concurrentemente en uno o más procesadores (hardware) que interactúan entre ellos mismos y con el entorno.*
- *Sistema que lee entradas y envía señales de control (resultados) en tiempos determinados por consideraciones operacionales del proceso (no limitado por las capacidades de la máquina).*

Se tomará la última afirmación por ajustarse más a los sistemas de medición y control por computadora. Es necesario destacar que el tiempo de procesamiento de la información en los medios de cómputo está determinado por las necesidades del proceso, esto es, si el proceso necesita respuesta a un evento en 1 mseg, hay que diseñar el sistema para que se logre tal objetivo y seleccionar los medios técnicos adecuados. Dicho de otra forma, el sistema de cómputo en tiempo real necesita “coordinar” su ejecución con el tiempo del entorno.

El STR se espera que satisfaga determinados requerimientos en tiempo real, como por ejemplo actualización periódica de las salidas, determinado tiempo de respuesta a las entradas provenientes del entorno, etc. De aquí se deduce que analizar la exactitud de un STR es típicamente más complejo que en los sistemas que no son en tiempo real, debido a que todas estas características mencionadas anteriormente dependen de varios factores, por ejemplo: tiempo de ejecución, política de planificación, asignación de programas al procesador, tipo de medio de cómputo, etc. Estos factores provocan interferencias entre los programas concurrentes y efectos sobre los datos que están compartidos, sincronización, etc.

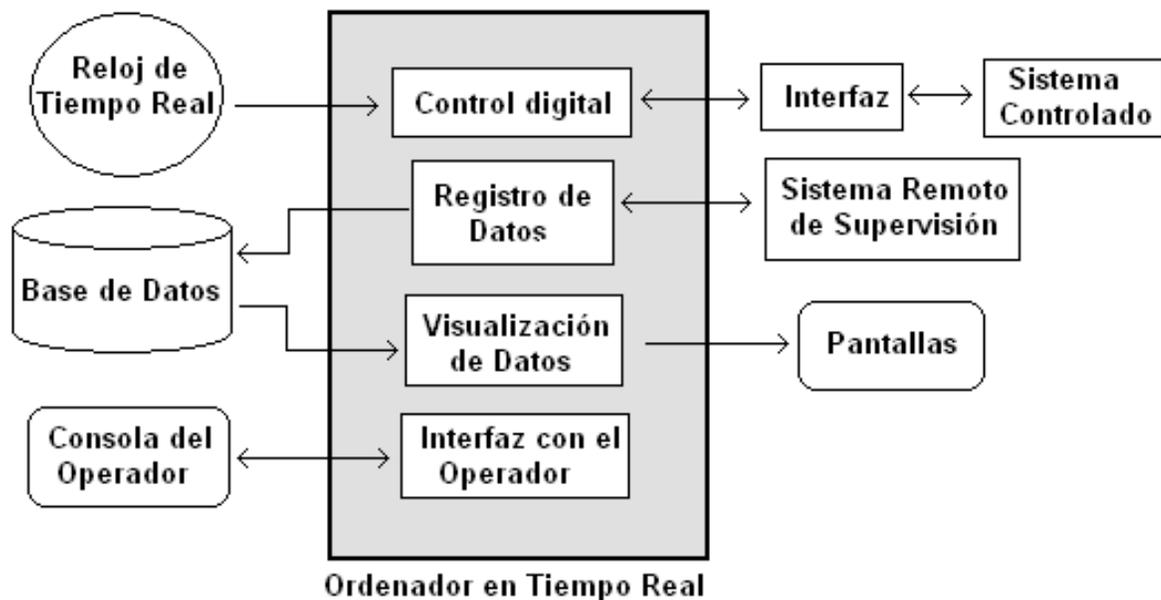


Figura 4.1
Estructura de un Sistema de Tiempo Real

Los sistemas de tiempo real son sistemas informáticos que interaccionan repetidamente con su entorno físico, realizando funciones de supervisión o control sobre el mismo. Para ello ejecutan determinadas actividades o tareas dentro de intervalos de tiempo bien definidos. Las tareas se ejecutan repetidamente de forma concurrente, para adaptar el funcionamiento del sistema a la simultaneidad de acciones que ocurren en el mundo físico. Los intervalos de tiempo en que se ejecutan las tareas se definen por un esquema de activación y por un plazo de ejecución. El esquema de activación puede ser periódico (a intervalos regulares), o aperiódico (en respuesta a sucesos externos que ocurren de forma irregular).

Como consecuencia de lo anterior, no basta que un sistema de tiempo real sea correcto desde un punto de vista funcional, ya que hay que asegurar también que la ejecución de las acciones del sistema y respuestas, se realice dentro de los intervalos de tiempo especificados. La presencia de requisitos temporales hace que la construcción de los sistemas de tiempo real sea mucho más difícil y complicada que la de otros tipos de sistemas informáticos.

Las aplicaciones de los STR son muy variadas, y continuamente aparecen nuevos campos de utilización para los mismos. Algunos de los más comunes se encuentran en sectores como las telecomunicaciones, los sistemas multimedia, el control industrial, la robótica, los sistemas de aviónica y espaciales, los ferrocarriles, automóviles y electrodomésticos.

Algunos sistemas de tiempo real tienen requisitos de seguridad críticos, lo que dificulta aún más su diseño e implementación. Además, en algunos casos los requisitos temporales son críticos, es decir no se puede permitir que ninguna tarea se ejecute fuera del intervalo especificado ni una sola vez. La mayoría de los sistemas, sin embargo, tienen únicamente requisitos temporales no críticos, que se pueden incumplir ocasionalmente sin que se produzcan efectos peores que una degradación en el funcionamiento del sistema.

Características principales:

Un sistema de tiempo real posee características muy especiales, ya sean inherentes al propio sistema o impuestas al mismo. Todo lenguaje de propósito general o sistema operativo que va a ser empleado para realizar una aplicación de tiempo real debe tener propiedades que permitan facilitar estas características. Entre ellas tenemos:

1. Relativamente grandes y complejos.
 - Algunos STR tienen millones de códigos de programa.
 - La variedad de funciones incrementa la complejidad incluso en sistemas pequeños.
2. Manipulación de números reales.
 - Capacidad para manipular números con coma flotante y reales (cálculos de alta precisión)
3. Altamente confiables y seguros.
 - Sistemas críticos: Fallos con consecuencias graves (pérdidas humanas, económicas, daños medioambientales)
4. Control concurrente de todos los componentes del sistema por separado.
 - Los dispositivos físicos controlados funcionan simultáneamente.
 - Los componentes de software que los controlan se ejecutan concurrentemente.
5. Facilidades en tiempo real.
 - Especificaciones de tiempo en el cual se deben realizar las acciones.
 - Especificaciones de tiempo en el cual se deben completar las acciones.
 - Responder a situaciones donde todos los requisitos de tiempo no pueden ser medidos.
 - Responder a situaciones donde los requisitos de tiempo cambian dinámicamente.

6. Interacción con las interfaces de hardware.

7. Eficiente implementación.

Clasificación de los Sistemas de Tiempo Real

Bennett plantea los sistemas siguientes:

- Tareas (o sistemas) basadas en reloj (periódicas, cíclicas).

Los sistemas deben poseer señales de reloj (frecuencia constante) con las que el sistema realiza los cálculos de la hora y fecha. Las tareas periódicas deben ejecutarse rigurosamente en cada periodo dado.

Tiempo entre ciclos i e $i-1$:

$$tc(i) = ts \pm a \quad (4.1)$$

ts : periodo de muestreo, puede ser grande en procesos químicos, del orden de minutos o pequeños en servocontroles (mseg), esto puede determinar el uso de uno u otro medio de cómputo.

a : pequeña tolerancia de tiempo, menor que el periodo de muestreo.

- Tareas basadas en eventos (aperiódicas).

En las tareas basadas en eventos éstas se ejecutan cuando se produce un evento (acción) y el tiempo de respuesta debe ser menor que un tiempo dado.

Tiempo de respuesta para la ocurrencia i del evento e :

$$te(i) < te \quad (4.2)$$

te : máximo tiempo permitido para el evento.

Ejemplo de eventos: cambio de estado de las señales on-off, nivel máximo en un tanque, nivel mínimo de la temperatura del petróleo, etc.

Los eventos pueden ser originados por hardware o software.

- Interactivos.

Muy ampliamente usados.

Se caracterizan porque la respuesta promedio a eventos sea menor que un valor dado t_a

$$1/n \sum_{i=1}^n t_e(i) \leq t_a \quad (4.3)$$

Ejemplo, la respuesta promedio a las gestiones de un banco debe ser menor de 20 seg.

Tareas en Sistemas de Tiempo-Real

Desde el punto de vista de la planificación, el sistema operativo considera a las tareas como procesos que consumen una cierta cantidad de tiempo de procesador, y a las que hay que asignarles esa cantidad cada cierto tiempo. Tanto los datos que necesita cada tarea, como el código que ejecutan y los resultados que producen son totalmente irrelevantes para el planificador.

Supondremos que existen tres tipos de tareas en función de las restricciones temporales:

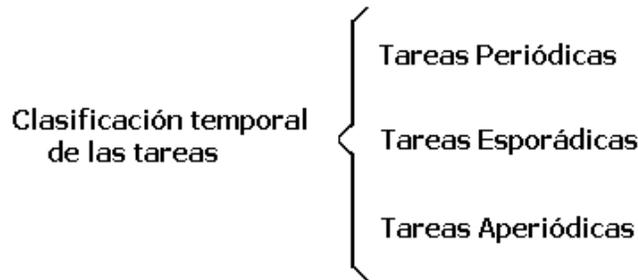


Figura 4.2.
Clasificación de las tareas en STR

Tareas Periódicas:

- C_i : Tiempo de cómputo en el peor de los casos. (Para obtener este valor se ha de analizar el código de la tarea).
- P_i : Periodo de repetición. Cada T_i unidades de tiempo se ha de activar la tarea.
- D_i : Plazo máximo de finalización (*Deadline*). Tiempo máximo que puede transcurrir entre la activación de la tarea y la finalización u obtención de los resultados.

Tareas esporádicas:

- C_i : Tiempo de cómputo en el peor de los casos. (Para obtener este valor se ha de analizar el código de la tarea).
- P_i : Periodo mínimo entre dos peticiones consecutivas.
- D_i : Plazo máximo de finalización (*Deadline*). Tiempo máximo que puede transcurrir entre la activación de la tarea y la finalización de la ejecución de ésta.

Tareas Aperiódicas:

- C_i : Tiempo de ejecución en el peor de los casos. (Para obtener este valor se ha de analizar el código de la tarea).
- D_i : Plazo de finalización (*Deadline*). Tiempo máximo que puede transcurrir entre la activación de la tarea y la finalización de la ejecución de ésta. Este atributo es opcional: las tareas aperiódicas críticas sí tienen plazo de finalización, mientras que las tareas aperiódicas no críticas no tienen plazo de ejecución.

Si atendemos a las características semánticas de las tareas, podemos dividir las en dos grupos:

Críticas: El fallo de una de estas tareas puede ser catastrófico.

No críticas: Se pueden utilizar para refinar el resultado dado por una tarea crítica, o para monitorizar el estado del sistema, etc.

Los estudios de planificación suponen que todas las tareas críticas son periódicas o esporádicas; y las tareas opcionales se tratan como aperiódicas, bien con plazo o sin plazo de finalización asignado. Como más adelante veremos, los test de planificabilidad sólo son capaces de analizar *a priori* la correcta ejecución de las tareas periódicas o esporádicas.

Todas estas tareas desde el punto de vista práctico se clasifican de acuerdo a las funciones que ejecutan dentro del sistema automatizado, las mismas pueden ser ejecutadas en diferentes medios técnicos. Entre las tareas más típicas se encuentran:

1- Adquisición y procesamiento primario de la información.

Estas tareas para la adquisición, validación, filtraje, escalado, etc., típicamente son periódicas, pueden existir varias con diferentes periodos de muestreo. Es usual tomar un periodo de muestreo básico, la menor, las demás múltiplos de estas. Ejemplo 1, 2, 5, 10 seg. Si tenemos por la teoría, por la experiencia o porque se determinó un período de muestreo para una señal que no esté en esos valores se toma el próximo inferior. Ejemplo si tenemos que una variable debe ser muestreada cada 8,5 segundos, entonces la muestreamos cada 5 seg.

Estas tareas son las más cercanas al proceso, ejecutadas en muchos casos en dispositivos específicos. Son de la más alta prioridad, pues son la base para muchas tareas (regulación, presentación, transmisión, etc.).

En este grupo determinadas tareas pueden estar activas o desactivadas. Las mismas por lo general pueden brindar, entre otros aspectos: el resultado de la medición, si es válida la medición, si la variable entró en alarma, si está inhabilitada, etc.

2. -Atención a alarmas, arranque, paradas, condiciones anormales, etc.

Estas tareas se ejecutan normalmente a solicitud de otras (ejemplo por violación de límites) o por eventos (ejemplo solicitud del operador, señal ON-OFF proveniente del proceso de violación de límite). Su ejecución es aperiódica con alta prioridad.

3.- Regulación.

Estas tareas pueden estar en un primer o segundo nivel de automatización. Prioridad alta, pero más baja que la de medición.

Pueden existir varias tareas en este grupo con diferentes periodos de muestreo. Generalmente pueden tomar la información de las tareas de medición. Los lazos de regulación deben tener las opciones de automático y manual, y tener presente el paso de manual a automático sin saltos.

4.-Cálculos.

Pueden existir tareas periódicas para el cálculo de variables que no se midan directamente, como por ejemplo integraciones, cálculos de eficiencia, etc. Muchas son consideradas como variables calculadas y poseen todos los parámetros de la base de datos, digamos los límites de alarmas. Normalmente los periodos son más altos que los de medición, ejemplo 5 minutos para los cálculos de integración. Muchas de las variables calculadas sirven de base para los reportes periódicos.

Además, existen tareas aperiódicas a solicitud del operador o por ocurrencia de algún evento, ejemplo cálculos de resúmenes, análisis post avería, etc.

5.- Presentación de la información.

Tarea comúnmente llamada de refrescamiento de pantalla. Consiste en tomar la información a presentar de las tareas de medición, cálculos, reportes, etc. Las pantallas de interfaces hombre-máquina poseen su propio periodo de refrescamiento determinado por la carga de la máquina, pues suelen tener tiempos de ejecución relativamente altos, además, el hombre no distingue rápidamente cambios de información. Periodo típico 1 seg.

Desde una pantalla activa, se puede llamar y presentar a otras, ejemplo una representación general y de ahí la posibilidad de pasar a presentaciones de las diferentes áreas.

Estas tareas generalmente presentan baja prioridad.

6.- Atención al operador.

Tarea que atiende teclado, mouse, lápiz óptico, etc. Es deseado que estas tareas se activen por interrupción. Pasa la información a las tareas o manda a ejecutar otras como puede ser reportes o análisis parciales.

Constituyen tareas de más baja prioridad, para que la lentitud del operador no afecte la ejecución del sistema.

7.-Reportes.

Los reportes son tareas generalmente calendarizadas coincidiendo con cambios de turnos, meses, etc. Pueden existir reportes a solicitud del operador en el momento que estime conveniente. Pueden existir reportes de incidencias, alarmas, análisis técnico-económicos, etc. Los reportes de alarmas suelen visualizarse o imprimirse según van apareciendo y realizar resúmenes en periodos de tiempo determinado. Los reportes se pueden realizar en pantalla, impresora o grabar en disco. Presentan baja prioridad.

8.-Controles lógicos secuenciales.

Tareas aperiódicas que pueden activarse por solicitud externa o del operador. Se caracterizan por acciones lógicas, abrir, cerrar, bloquear, etc. Suelen ejecutarse independientemente de las de medición y regulación. Ejemplo: establecer la secuencia lógica y set-point para el arranque de una caldera.

9.- Comunicación.

Estas tareas se encargan de la transmisión de información a los diferentes niveles de automatización en tiempo real. Pueden ser tareas periódicas, por ejemplo la transmisión de señales medidas a un nivel jerárquico superior, también puede ser a solicitud de los diferentes niveles de automatización. En otros casos estas tareas se activan con la ocurrencia de algún evento, ejemplo cambio de algún valor discreto, que se debe informar.

Pueden tener alta prioridad, depende de la importancia que tengan y de las características y tipo de comunicación existente. Suelen utilizarse buffers de entrada y de salida, de manera tal que todas las tareas que necesiten enviar información la depositen en los buffers.

10.- Optimización, despacho, análisis técnico-económicos, etc.

Estas tareas se ejecutan en los niveles superiores de automatización, tienen como objetivo establecer los ajustes, valores deseados y parámetros más convenientes para la gestión de la producción. Pueden ser periódicas con períodos relativamente grandes o aperiódicas por solicitud del operador u otras tareas. Son de baja prioridad.

Como ejemplo de diseño del conjunto de tareas, proponemos el sistema de control de la densidad de la pulpa en una fábrica de papel, un esquema simplificado es mostrado en la figura 4.3. Se regula la entrada de la pulpa según un nivel deseado, la densidad es regulada con la entrada de agua. Se quiere establecer las variables a medir y su objetivo, además establecer las tareas para un sistema de medición, control, supervisión por computadora.

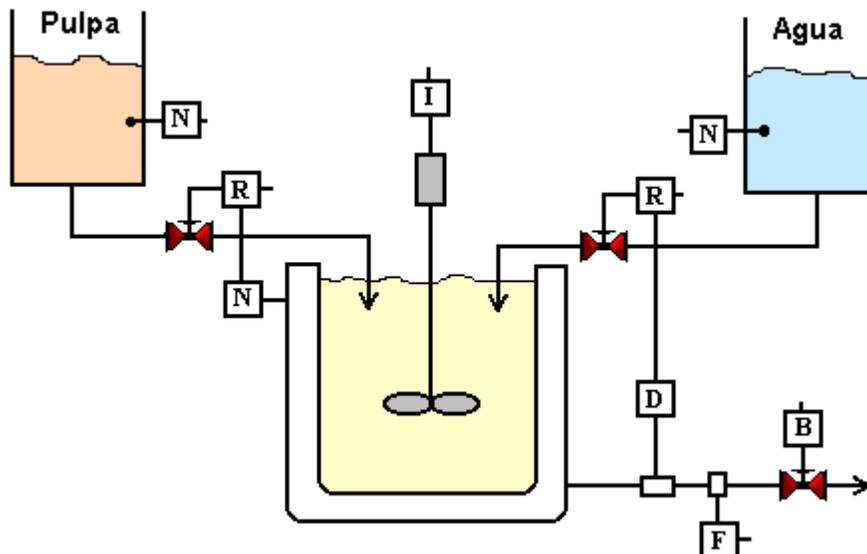


Figura 4.3
Control de la Densidad de la Pulpa en la producción de papel

Como tareas básicas asociadas a esta sección podemos definir:

- 1) Adquisición y procesamiento de las variables analógicas.
Estas tareas serán periódicas en dependencia de los periodos de muestreo, con alta prioridad.
- 2) Adquisición y procesamiento de las variables discretas.
Periódica, con bajo periodo de muestreo, o por interrupción en dependencia del hardware. Máxima prioridad.
- 3) Regulación.
Periódica en dependencia de los periodos de muestreo de las señales realimentadas o de los algoritmos de control.
- 4) Procesamiento de las variables calculadas.
Periódicas, con periodos de muestreo relativamente altos, o a solicitud del operador por teclado (o mouse)
- 5) Presentación de la información.
Refrescamiento cada 1 seg.
Pantallas de:
 - Selección general y estado del sistema. Es la que se presenta en el inicio.
 - Mímico. Representación mímica de la sección y la indicación de variables y estados de alarmas.
 - Registros. Pantalla para visualizar a selección las variables a registrar.
 - Alarmas. Pantalla donde se refleja la información de las alarmas ocurridas y su estado presente.
 - Reportes. Pantalla que refleja la información resumen de una jornada de trabajo, puede ser solicitada en cualquier momento por el operador.
 - Densidad media.
 - Pulpa producida.
- 6) Comunicación con el nivel superior.
Almacenaje en fichero compatible con bases de datos de los parámetros del sistema, así como los estados y resultados actualizados.

La clasificación de las variables se muestra en las tablas 4.1 y 4.2.

Tabla 4.1. Variables medidas del proceso de control de pulpa

Variables medidas	Tipo	Objetivos
Nivel mínimo de la pulpa	Digital	Alarma, bloqueo
Nivel máximo de la pulpa	Digital	Alarma, bloqueo entrada de pulpa
Nivel mínimo del agua	Digital	Alarma, bloqueo
Nivel máximo del agua	Digital	Alarma, bloqueo entrada de agua

Agitador funcionando	Digital	Alarma, bloqueo
Corriente máxima del agitador	Digital	Alarma, bloqueo
Nivel	Analógica	Regulación, indicación, registro, alarma.
Densidad	Analógica	Regulación, indicación, registro, reporte
Flujo de salida	Analógica	Indicación, reporte

Tabla 4.2. Variables calculadas del proceso de control de pulpa

Variables calculadas	Tipo	Objetivos
Densidad media de la pulpa de salida	Analógica	Indicación, reporte
Cantidad de pulpa producida	Analógica	Indicación, reporte

Clasificación de las Políticas de Planificación

Las políticas de planificación son estrategias que permiten establecer un orden de ejecución o prioridades para todo el conjunto de tareas de un STR, de manera que sea posible ejecutar las mismas en un sistema monoprocesador, cumpliéndose las restricciones temporales. Entonces podemos decir que un planificador es un método para asignar recursos (tiempo del procesador).

Diremos que un conjunto de tareas es factible o planificable si existe algún planificador que sea capaz de cumplir las restricciones de todas las tareas (en nuestro caso las restricciones temporales: los plazos de ejecución).

El problema será encontrar, para un sistema de tiempo real dado, una asignación de tiempo de procesador a cada proceso que sea consistente con las especificaciones temporales y con las restricciones de sincronización. Tal asignación se denominará *planificación admisible* (ya que pueden existir varias) y en caso de existir, el sistema será *ejecutable en tiempo real*. Cualquier algoritmo que permita obtener una planificación admisible para un sistema de tiempo real se denominará *planificador de tiempo real*.

Se define como *planificador óptimo* al que es capaz de obtener para cualquier conjunto de tareas una planificación correcta y factible de implementar.

Los objetivos que persigue toda política de planificación de tiempo real son:

- Garantizar la correcta ejecución de todas las tareas críticas.
- Ofrecer un buen tiempo de respuesta a las tareas aperiódicas sin plazo.
- Administrar el uso de recursos compartidos.
- Posibilidad de recuperación ante fallos software o hardware.

- Soportar cambios de modo, cambiar en tiempo de ejecución el conjunto de tareas.

Por ejemplo: un cohete espacial tiene que realizar acciones muy distintas durante el lanzamiento, estancia en órbita y regreso; en cada fase, el conjunto de tareas que se tengan que ejecutar ha de ser distinto.

Debido a las dificultades que genera la solución del problema general de la planificación del tiempo de múltiples procesos en un sistema monoprocesador, es necesario restringir el planteamiento del mismo, adoptando una serie de hipótesis que faciliten la obtención de planificaciones admisibles. Inicialmente supondremos las simplificaciones siguientes:

- Las tareas son independientes.
- No comparten recursos, ni se comunican entre ellas.
- Todas las tareas son periódicas.
- Los tiempos de cambio de contexto son despreciables.

Conforme estudiemos con más detalle los algoritmos de planificación, iremos eliminando estas restricciones:

Los primeros planificadores se diseñaban "a mano", esto es, se construía durante la fase de diseño del sistema un plan con todas las acciones que tenía que llevar a cabo el planificador durante la ejecución.

Durante la ejecución, el planificador tan sólo tenía que consultar la tabla (plan). Las órdenes de planificación que estaban en la tabla se repetían constantemente. A estos planificadores se les llama *Cíclicos*. El principal problema que presentan es la poca flexibilidad a la hora de modificar alguno de los parámetros de las tareas, pues ello conlleva la re-elaboración de todo el plan, aunque hoy este tipo de planificación se utiliza en la industria.

El otro gran grupo de planificadores son los basados en prioridades. Estos a su vez se dividen en prioridades estáticas y prioridades dinámicas. Nuestro estudio se centrará principalmente en los planificadores estáticos. En los planificadores estáticos, durante la fase de diseño a cada tarea se le asigna una prioridad. Después, durante la ejecución, el algoritmo de planificación simplemente tiene que ordenar la ejecución de las tareas en función de la prioridad asignada.

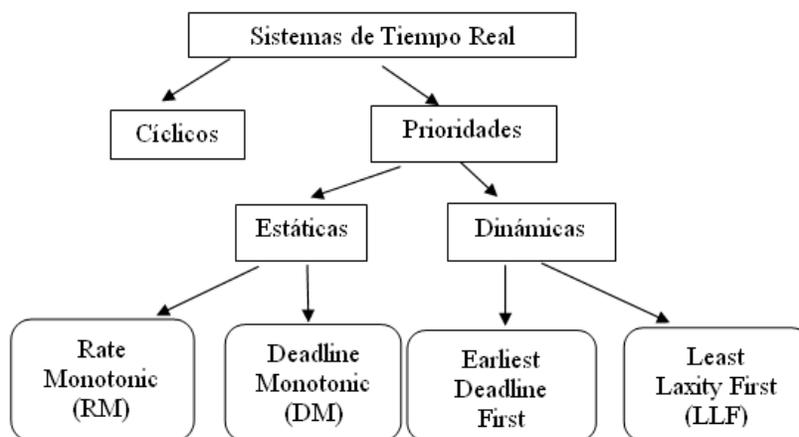


Figura 4.4. Clasificación de las Políticas de Planificación para STR

$$T2 = (5, 20, 5, 0)$$

En caso de que la tarea T1 empiece primero a ejecutarse y no puede expulsar a T2, se obtiene una gráfica como la mostrada en la figura 4.6, que indica la secuencia temporal de uso de la CPU por ambas tareas, sin necesidad de expulsión.

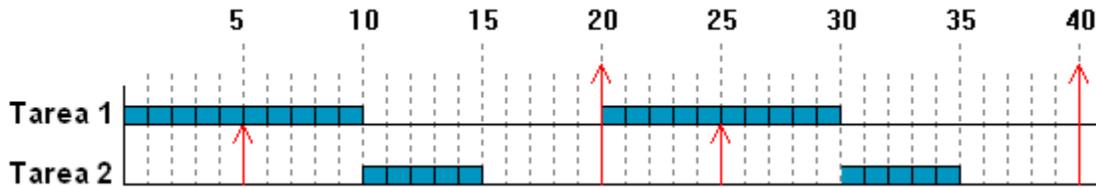


Figura 4.6. Cronograma mostrando una Planificación no Expulsiva

Sin embargo el cronograma de la figura 4.7 corresponde a estas mismas tareas pero considerando una planificación donde la tarea 2 expulsa a la tarea 1.

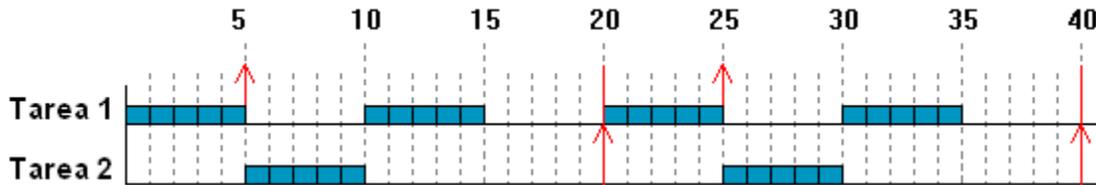


Figura 4.7. Cronograma mostrando una Planificación Expulsiva

Note que ambos cronogramas muestran planificabilidad del sistema.

Planificación Estática basada en el RMA

Cuando las prioridades de todos los procesos permanecen constantes a lo largo del tiempo, se dice que la asignación de prioridades es *estática*. Lo usual consiste en realizar la asignación de prioridades de acuerdo con la importancia que se atribuye a cada tarea. Este método de asignación de prioridades, sin embargo, no es óptimo y puede conducir a fallos en el tiempo de respuesta de algún proceso, incluso en el caso en que el procesador esté poco utilizado.

El tipo de planificación denominada Asignación Monotónica en Frecuencia (*Rate Monotonic Analysis*) es óptima para prioridades estáticas, es decir, si un sistema con prioridades estáticas tiene alguna planificación admisible, el test del RMA encontrará una planificación admisible.

El Análisis Monotónico en Frecuencia como también se le conoce, le asigna a cada una proceso prioridad inversamente proporcional al periodo. Durante la fase de ejecución, el planificador selecciona aquella activación con mayor prioridad. La planificación es expulsiva.

Factor de Utilización

Definimos el factor de utilización para una tarea *i-esima* como el cociente entre el tiempo de cómputo (C_i) y el periodo (P_i) asignado a esa tarea (expresión 4.4). El mismo representa el por ciento que ocupa a la CPU la ejecución de dicha tarea.

$$\text{Factor de Utilización} = C_i/P_i \quad (4.4)$$

El factor de utilización del procesador en un sistema monoprocesador, debe ser $< 100\%$ y para un conjunto de n tareas se calcula como:

$$U = \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i}{P_i} \right) = \frac{C_1}{P_1} + \frac{C_2}{P_2} + \dots + \frac{C_i}{P_i} + \dots + \frac{C_n}{P_n} \quad (4.5)$$

Un conjunto de n tareas será planificable bajo el Rate-Monotonic si se cumple la desigualdad (4.6)

$$U = \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i}{P_i} \right) \leq n \left(2^{\frac{1}{n}} - 1 \right) \quad (4.6)$$

El termino de la derecha en la desigualdad (4.6) tiene asintóticamente a 0,693 cuando el número de tareas tiende a infinito, ello se observa en la tabla 4.3

n	Valores $U(n)$
1	1.0
2	0.828
3	0.779
4	0.756
5	0.743
∞	0.693

Tabla 4.3. Valores de $U(n)$ en función del número de tareas

La expresión (4.6) también puede escribirse como

$$\frac{C_1}{P_1} + \frac{C_2}{P_2} + \dots + \frac{C_i}{P_i} + \dots + \frac{C_n}{P_n} = U \leq U(n) = n \left(2^{\frac{1}{n}} - 1 \right) \quad (4.7)$$

Ejemplo 2: Compruebe si el conjunto siguiente de tareas es planificable según el RMA.

$$T_1 = (4,18,18); T_2 = (0.8,80,80); T_3 = (12,100,100); T_4 = (0.25,1000,1000)$$

Tenemos que el factor de utilización del sistema se expresa como:

$$U = \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i}{P_i} \right) = \frac{C_1}{P_1} + \frac{C_2}{P_2} + \frac{C_3}{P_3} + \frac{C_4}{P_4} = \frac{4}{18} + \frac{0.80}{80} + \frac{12}{100} + \frac{0.25}{1000} = 0.3525 \quad (4.8)$$

$$\text{Luego: } U \leq U(n) = n \left(2^{\frac{1}{n}} - 1 \right) \Rightarrow 0.3525 \leq U_{(4)} = 0.7568 \quad (4.9)$$

Como $0.3525 < 0.7568$ podemos asegurar que este conjunto de tareas es planificable según lo establecido por el RMA, o sea asignar la prioridad en función del periodo de la tarea (menor periodo con mayor prioridad).

La asignación de mayor prioridad a las tareas de menor periodo, es óptima para el modelo de tareas simples (tareas periódicas, independientes, con plazos iguales que los periodos)

Ejemplo 3: Considere el sistema formado por 3 procesos cuyos parámetros temporales son:

Tarea 1 = (2, 10, 15)

Tarea 2 = (3, 15, 20)

Tarea 3 = (10, 30, 40)

En este ejemplo el factor de utilización total brinda un valor de 0,733 que resulta menor que el término $n \left(2^{1/n} - 1 \right)$ cuyo resultado es 0,78, por lo tanto el sistema resulta planificable. Obsérvese que la tarea 1 expulsa al resto de los procesos, debido que goza de la más alta prioridad, dada por su menor periodo.

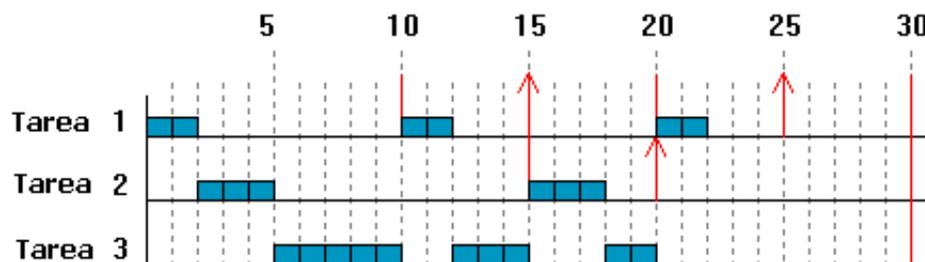


Figura 4.8. Cronograma del ejemplo 3 con asignación de prioridades en función del periodo

Introducción

Desde inicio de los años sesenta, las redes industriales de comunicación implementadas en sistemas de control han ocupado grandemente el interés de los ingenieros en control, especialistas en computación y por supuesto de los especialistas en comunicación.

La transmisión de información desde el más bajo nivel en la pirámide de control hasta el nivel de empresa ha sido objeto de constante preocupación e innovación a lo largo de todos estos años y continúa en desarrollo a ritmos acelerados.

La comunicación de datos entre sistemas automatizados (comunicación horizontal) ha constituido también un punto central en líneas de desarrollo e investigación en aras de encontrar el mejor tipo de red para una aplicación dada, protocolo más óptimo, configuración más efectiva y de menor costo, mejor y mayor transferencia de datos, seguridad y fiabilidad en la comunicación, etc.

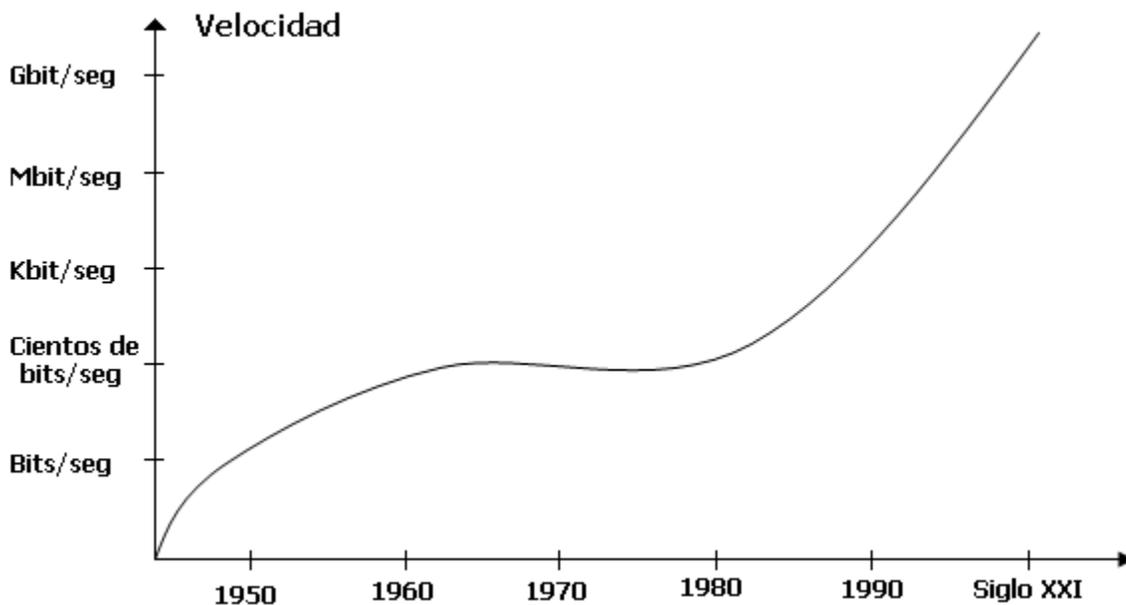


Figura 5.1. Evolución en la Transferencia de Información

En la figura 5.1 se muestra la evolución experimentada en la comunicación industrial en los últimos años en relación con la velocidad de transferencia de la información, pudiéndose observar el crecimiento exponencial que caracteriza la misma para los años venideros.

Actualmente existe un desarrollo apreciable no solo en los protocolos y normativas para la comunicación industrial, sino también en los medios técnicos disponibles para llevar a cabo la comunicación de forma integral entre todos los elementos que forman parte del sistema automatizado industrial. Hoy día un gran número de dispositivos de campo, instrumentación y otros medios técnicos de automatización tienen concebida de una forma u otra la posibilidad de comunicación. Los fabricantes se ocupan cada vez más de mejorar y perfeccionar las capacidades de comunicación de sus productos, motivado fundamentalmente porque las necesidades de comunicación en la industria moderna están creciendo exponencialmente.

En la década de los ochenta la General Motors determinó que el 50 % del costo de un sistema moderno de automatización radica en la comunicación y en el software requerido para implementar la automatización.

Las comunicaciones en el entorno industrial constituyen uno de los puntos de mayor importancia a tener en cuenta en un sistema moderno de producción. Las exigencias actuales imponen que sea necesario garantizar niveles adecuados de comunicación desde el más elemental sensor hasta el más sofisticado nivel informativo, permitiendo la automatización global de la fábrica o empresa.

En una instalación fabril existen una gran variedad de equipos y dispositivos dedicados al control; el desarrollo de las redes industriales ha establecido la forma adecuada de unir todos estos elementos, aumentando el rendimiento y proporcionando nuevas posibilidades en la comunicación.

Las ventajas que trae consigo el empleo de las redes industriales se pueden resumir en las siguientes:

- Intercambio fiable de información entre el proceso e instancias superiores de control y gestión.
- Adquisición de datos de la planta de forma rápida y segura.
- Visualización y supervisión de todo el proceso productivo, pudiéndose detectar fallas y problemas de procesos remotos desde una estación central de control.
- Mejora en el rendimiento, explotación y funcionamiento global del sistema.
- Posibilita la programación remota y el control a distancia.
- Mayor fiabilidad, productividad y disminución del costo.
- Permiten el trabajo coordinado de varios dispositivos a la vez de forma paralela, reduciendo el tiempo de operación.
- Procesamiento de gran cantidad de información, acceso a datos a altas velocidades.
- Integración rápida y simple de los diversos subsistemas en una planta.
- Facilidad en la expansión del sistema, pudiéndose aumentar nuevos terminales y nuevos procesos.

Niveles Jerárquicos

En una red industrial existen un gran número de elementos que intervienen en el proceso de comunicación, los mismos suelen agruparse jerárquicamente estableciéndose las conexiones y topologías más adecuadas a cada área y según el tipo de aplicación. Atendiendo a la ya estudiada pirámide de control que establece una jerarquía de 4 niveles, aplicaremos esta misma descripción para enunciar las características principales dentro de una red de comunicación industrial atendiendo a los 4 niveles básicos.

1. Nivel Campo:

Constituido por los sensores y actuadores, interruptores y otros elementos de campo. La comunicación permite garantizar el correcto automatismo y supervisión a nivel de máquina o lazo.

Características.

- Comunicación rápida.
- Pocas E/S.
- Distancias cortas.
- Interconexión de sensores.

2. Nivel de proceso:

En este nivel se emplean los buses de campo.

En el nivel más alto de estas redes se suelen encontrar uno o varios PLC modulares actuando como maestros de la red o maestro flotante.

Características.

- Comunicación entre autómatas programables y ordenadores.
- Controladores pequeños y medianos, módulos de E/S, transmisores, controladores. digitales, etc.
- Interconexión de varias máquinas.
- Distancias medias.
- Integración de pequeños automatismos dentro de las subredes o islas.

3. Nivel de planta:

Comunicación dirigida a garantizar el control total de una planta.

Características.

- Enlace de autómatas de gama alta y ordenadores dedicados al diseño, control, calidad, programación, etc.
- Muchas E/S.
- Programación remota.
- Se suelen emplear redes tipo LAN.
- Enlace y transmisión de datos entre distintas zonas o áreas de trabajo.

4. Nivel de fabrica:

Es el nivel más elevado, la comunicación persigue el objetivo de integrar los niveles en una estructura de fábrica, incluso de múltiples fábricas. Existe un puente entre el proceso productivo y el área de gestión de producción.

Características.

- Interrelación del sistema informático con industriales.
- Sistemas abiertos.
- Se emplean redes LAN o WAN.

La figura 5.2 muestra cómo se comportan los parámetros de comunicación: volumen de información y tiempo de respuesta en la estructura jerárquica de la pirámide de automatización. Es válido aclarar que dicha jerarquía no es rígida, pueden existir casos en que se consideren un mayor o menor número de niveles, dependiendo del tamaño del proceso y tipo de industria.

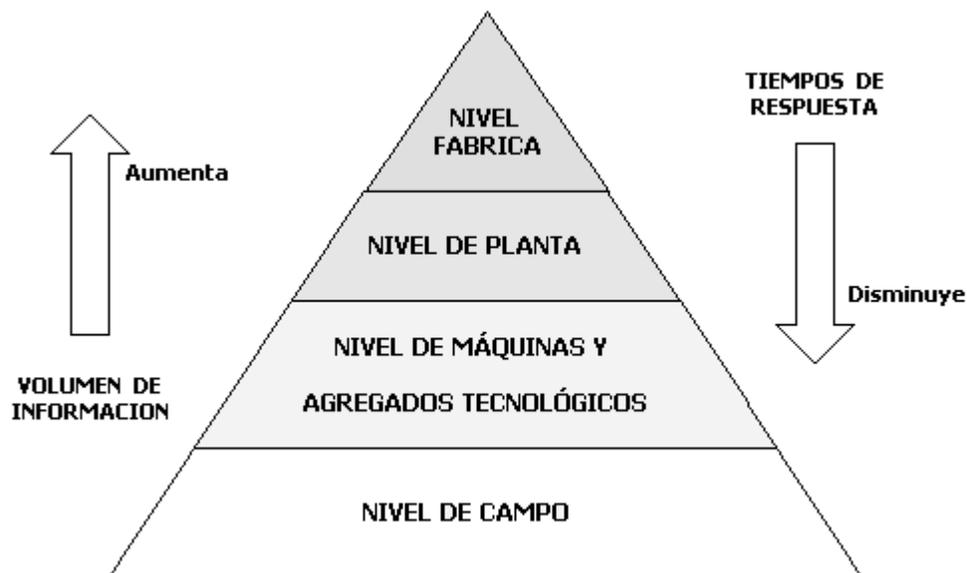


Figura 5.2
Niveles de Comunicación Industrial

Cada nivel requiere de determinadas prestaciones de comunicación particulares y elementos de hardware distintos, según las funciones y requerimientos a tener en consideración, por ejemplo el método de acceso “*token passing*” es ampliamente usado en redes industriales destinadas al control de procesos, debido a que se puede calcular el tiempo de actualización de los datos en los equipos de la red (basado en el tiempo real que demora la circulación del token por la red), lo cual resulta muy importante en aplicaciones de tiempo real.

La integración de las islas automatizadas debe hacerse dividiendo las tareas entre grupos de procesadores jerárquicamente anidados. Ello da lugar a una estructura más generalizada para la red industrial, donde se pueden distinguir claramente tres niveles (figura 5.3), ellos son:

1. Nivel de bus de campo. Es el nivel de red más próximo al proceso y se encarga de la integración de pequeños automatismos (autómatas compactos, multiplexores de E/S, controladores simples, etc.) en las llamadas islas, que controlarán distintas partes del proceso. Generalmente, en un nivel más alto de estas redes se deben encontrar uno o varios autómatas modulares de gama alta, que pueden actuar como maestro de la red o en estructuras de maestro flotante.
2. Nivel de LAN. Este nivel se ubica jerárquicamente por encima del anterior, se encarga normalmente de enlazar los distintos subsistemas de fabricación en grupos más grandes. Se emplean autómatas de gama alta y ordenadores de procesos dedicados a las tareas de diseño, control de la calidad, etc.
3. Nivel LAN/WAN. Dicho nivel es el más próximo al área de gestión y se encarga de integrar los niveles anteriores en una estructura de fábrica o incluso en múltiples factorías con emplazamientos dispersos. Las máquinas que forman parte de este nivel deben ser miniordenadores o redes de ordenadores compartiendo recursos e incorporando bases de datos que permiten centralizar los servicios de compra, control de “stocks”, ventas, gestión de la producción, análisis de costos, etc.

Globalmente y para cualquier nivel, se está todavía lejos de disponer de un estándar universalmente aceptado que cubra todos los aspectos de la comunicación: nivel físico, protocolos de enlace, software de aplicación (de acuerdo a las características tecnológicas), que permita aplicar un sistema de comunicación de manera transparente, y con facilidad de implementar el mismo a través de un software comprensible incluso para los no expertos.

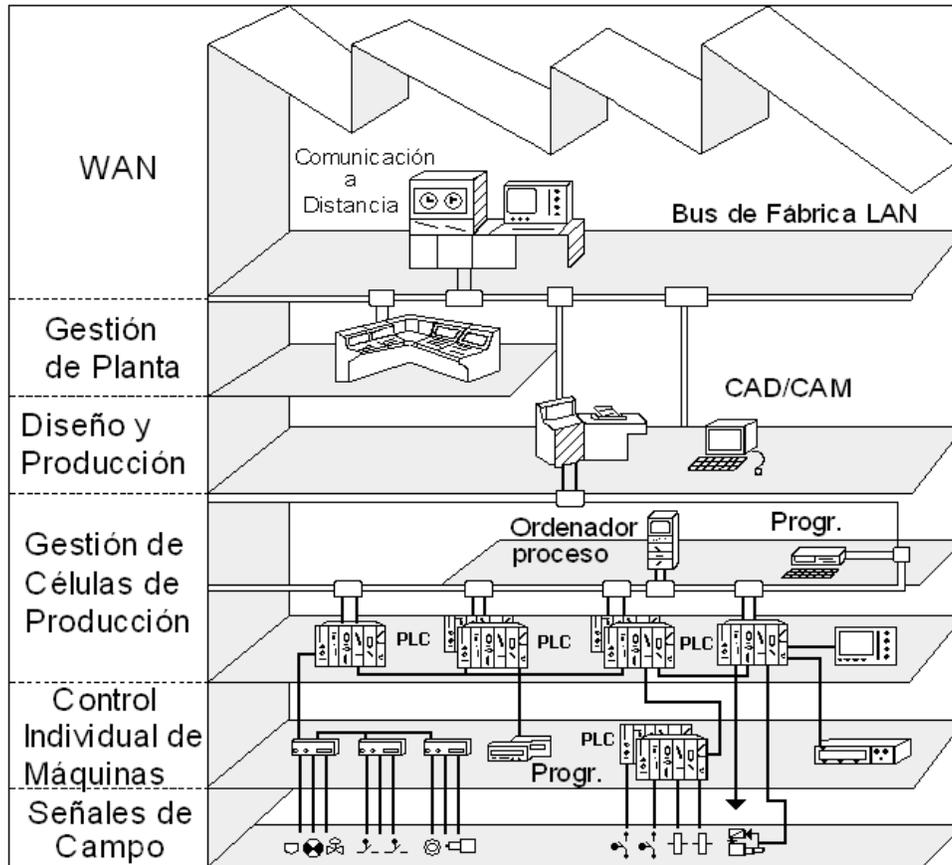


Figura 5.3. Estructura de una red industrial en tres niveles básicos

Clasificación de los Sistemas de Comunicación Industrial

La comunicación industrial se puede clasificar en dependencia de diversos parámetros, fundamentalmente encontramos las acepciones siguientes:

Según la topología:

- Sistemas en Bus.
- Sistemas en Anillo.
- Sistemas en Estrella.
- Sistemas en Árbol.

Según el tipo de red:

- Redes Locales (LAN).
- Redes Proceso (MAP).
- Buses de campo.
- Redes WAN.

Según la jerarquía:

- Maestro-esclavo.
- Maestro flotante.

- Híbridos.

Según el medio físico:

- Par de hilos (comunic. serie RS-232, RS-422 /485)
- Fibra óptica.
- Coaxial.
- Radio-ondas.

Según especificaciones:

- Sistemas abiertos.
- Sistemas cerrados.

Según los niveles:

- Nivel de Sensores
- Nivel de Proceso.
- Nivel de Planta.
- Nivel de Empresa.

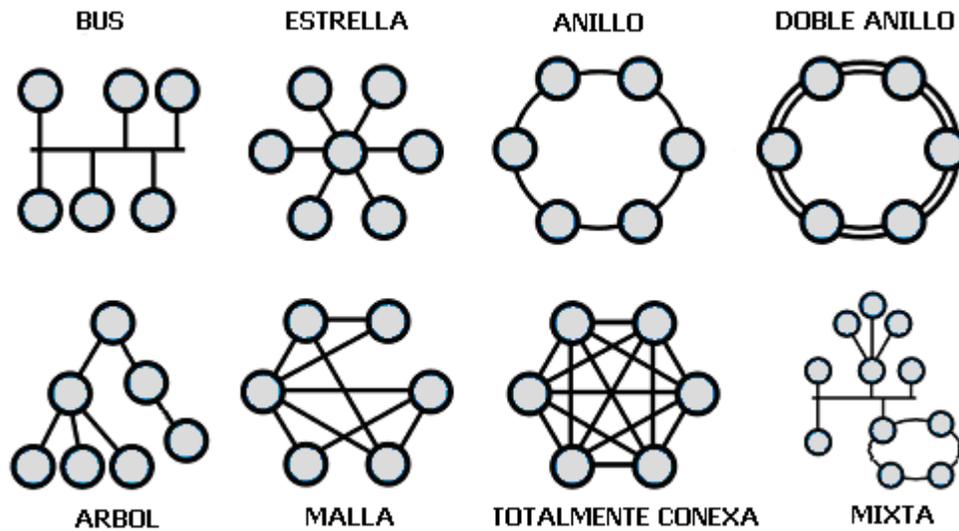


Figura 5.4. Diferentes tipos de topologías de redes

La elección de la topología tiene una fuerte influencia sobre las prestaciones de la red y condiciona muchas veces sus posibilidades de ampliación, de cambio y de compartición de recursos. Las topologías básicas en redes locales son tres: estrella, anillo y bus, aunque en la figura 5.4 aparecen otras variantes.

La tabla 5.1 muestra un cuadro comparativo de las prestaciones básicas de los tres tipos más comunes de topologías.

Tabla 5.1. Cuadro comparativo de prestaciones de las principales topologías

Topología	Estrella	Anillo	Bus
Coste de Conexión	Alto	Medio	Bajo
Ampliación	Fácil	Difícil	Fácil
Fiabilidad	Baja	Media	Alta
Retardos	Medio	Alto	Bajo
Rendimiento Global	Bajo	Medio	Alto

Desde el punto de vista del tráfico de datos se puede afirmar que coexisten dos tipos básicos de comunicación, la comunicación horizontal y la vertical.

Comunicación horizontal.

Es la comunicación que fluye horizontalmente dentro de un mismo nivel, generalmente está asociada con la adquisición de datos y variables del proceso, comunicación e información entre los lazos y/o sistemas que forman parte de un mismo nivel, se incluyen por ejemplo las acciones de control, cambios en los set points, parametrización de controladores, regulación y mando de válvulas, motores, etc.

La información debe ser precisa, fiable y rápida de forma tal que las acciones de control y medición puedan ejecutarse en el tiempo exigido, que puede llegar a ser del orden de los milisegundos.

Los requerimientos para la comunicación horizontal son más exigentes que para la comunicación vertical, si la primera falla, carece de sentido hablar de la segunda.

Comunicación vertical.

La comunicación vertical surge derivada de los resultados obtenidos de adquirir y manipular datos horizontalmente.

La comunicación vertical garantiza en términos generales la comunicación entre el sistema de control y el hombre abarcando desde el nivel más bajo hasta el nivel superior. De esta manera la información que se envía desde el nivel inferior la podemos clasificar como “datos”, mientras que la información que se recibe desde los niveles superiores la clasificaríamos como “decisiones”.

En este tipo de comunicación se pueden tolerar varios segundos o más de retardo en la comunicación, se manejan mayores volúmenes de información pero a exigencias de velocidades más lentas.

A continuación se muestran en la Tabla 5.2 valores de la frecuencia y tiempo de respuesta así como tipo de mensaje y longitud del mismo, respecto a diferentes funciones que pueden ser asociadas a un sistema de comunicación industrial dado.

Tabla 5.2. Características del tráfico de la comunicación

Función	Frecuencia y Tiempo Rpta	Tipo mensaje y longitud
Planificación de la estrategia de la Empresa.	Meses y años. (2–6 seg)	Mensajes muy largos. Transferencias de ficheros
Planificación táctica	Semanas a meses (2–6 seg)	
Aseguramiento técnico	Días a meses (2–6 seg)	
Planificación producción		Mensajes largos. Transferencias de ficheros
Control de la producción	Horas a semanas (2–6 seg)	
Determinación de mejores cond. de operación del sist.	Minutos a días (2–6 seg)	
Aseguramiento de la calidad.	Minutos a horas (2–4 seg)	Mensajes de longitud media. Almacenamiento de datos.
Condiciones de operación cambiantes	Segundos a horas. (0.5–2 seg)	Mensajes de longitud media. Almacenamiento de ficheros.
Mantener condiciones de operación deseadas.	Segundos a minutos (0.001–1seg)	Mensajes cortos. Almacenamiento de datos imprescindibles.
Medición y mando.	Milisegundos a minutos (0.001–0.1 seg)	Mensajes periódicos cortos. Almacenamiento de datos imprescindibles
Protección humana y del sistema.	Condiciones de emergencia. (0.001 – 0.01 seg)	Mensajes muy cortos rápidos Datos alarma almacenados.

Características de la Comunicación Industrial

Aunque las peculiaridades de los Sistemas de Comunicación Industrial. (SCI) dependen en gran medida del tipo de industria, prestaciones y requerimientos del sistema, consideramos es importante conocer cuáles son los elementos comunes que deben caracterizar a todo SCI y tenerlos en cuenta a la hora de implementar o concebir un SCI. A continuación vamos a incursionar en cada uno de ellos.

1. Alta Funcionalidad.

- Posibilidad de monitorización y programación (remota).
- Gran capacidad de generación de diagnósticos.
- Posibilidad de introducir y/o variar parámetros del sistema a través de la red.
- Empleo de SCADAS.
- Alta velocidad de transferencia de datos.

2. Flexibilidad.

- Empleo de diferentes tipos de esclavos.
- Conexión de diferentes tipos de PLC's y PC.
- Facilitar la interconexión con otros sistemas.
- Comunicación horizontal y vertical.
- Compatibilidad con otros estándares industriales de comunicación.

3. Fáciles de configurar.
 - Programación centralizada y/o remota.
 - Configuración automática.
 - Configurables según las exigencias del sistema.

4. Gran fiabilidad y seguridad.
 - Simplificación y exigencias en el diagnóstico de errores.
 - Cumplimiento de las exigencias de seguridad en la comunicación.
 - Gestión distribuida.
 - Fácil localización de averías y fiabilidad en la transmisión de datos.

5. Fáciles de explotar.
 - Instalación rápida y sencilla.
 - Protocolos sencillos.
 - No precisar de personal para explotar el sistema con elevado conocimiento técnico.

6. Bajo costo.
 - Costo en dependencia de la funcionalidad.
 - Reducción de costos en el montaje y cableado.
 - Bajo costo de mantenimiento.

7. Cumplimiento de los requerimientos.
 - Adecuado soporte físico de comunicación (acorde a las exigencias industriales).
 - Topología acorde a la cantidad, distribución y número de participantes, velocidad de transmisión, etc.
 - Gran número de aplicaciones.

Protocolos más importantes

En un mundo donde muchos propietarios de redes han producido y continúan desarrollando sus propios protocolos de redes, donde a la misma vez luchan por imponerlos en el mercado cada vez más competitivo de las comunicaciones digitales, resulta de extrema importancia lograr “poner en orden” todo lo relativo a la forma en que se debe llevar a cabo la comunicación.

Las principales organizaciones internacionales han sido las responsables de crear los estándares de comunicación y las especificaciones para las redes de comunicación, encargándose de establecer las normativas y reglamentos para la implementación y explotación de las redes de comunicación. Entre los principales organismos dedicados a ello podemos citar la International Standard Organization (ISO) responsable del modelo OSI (*Open System Interconnection*) y el *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE) el cual es responsable del estándar 802 y sus categorías para Redes de Área Local (LAN).

Tanto la ISO como la IEEE son las organizaciones más importantes que han desarrollado estándares “abiertos” para sistemas que empleen redes de comunicación digital.

Podemos generalizar que el protocolo de una red define, entre otras cosas, la forma en que debe empaquetarse y direccionarse la información, así como el formato del mensaje a transmitirse por un determinado medio físico por el cual intercambian información dos o más terminales. Dicho en otras palabras “organiza” el intercambio de información entre los elementos que conforman un sistema digital de comunicación.

Dentro de los protocolos existentes, se realiza una primera clasificación atendiendo a su estandarización:

1. Protocolos estándar: son los que de alguna manera son utilizados ampliamente por diferentes empresas que fabrican productos que son compatibles entre sí.
2. Protocolos propietarios: son aquellos desarrollados por una empresa, que es la única que produce los elementos de hardware que son capaces de comunicarse entre sí.

El protocolo de una red establece fundamentalmente:

- El requerimiento para el equipamiento de los datos.
- Formato de la información a enviar sobre la red.
- Los enlaces físicos a emplear en la transmisión y recepción.
- Los métodos de acceso y tipos de buses.
- Los medios físicos a emplear y características de los equipos y medios.
- Arquitectura y topología de la red.

Con el desarrollo de los sistemas de redes datos de datos, surgieron muchos modelos y normas para la comunicación (modelo OSI, normas IEEE, Protocolo TCP/IP, etc.). En el año 1985 la IEEE sacó a la luz una serie de normas para las redes de área local conocidas como 802.x, que constituye uno de los principales estándares actualmente vigentes. La categoría 802 (abarca desde la 802.1 hasta la 802.8) incluye los aspectos siguientes:

1. 802.1: Interfaces de Alto Nivel.
2. 802.2: Control Lógico del Enlace (LLC)
3. 802.3: CSMA/ CD (*Carrier Sense Method Access / Collision Detection*), método de acceso que emplea Ethernet.
4. 802.4: *Token Bus* (*Token passing* en topología específica de bus, trata con el control del acceso al medio y capa física).
5. 802.5: *Token Ring* (*Token passing* en topología específica de anillo, trata con el control del acceso al medio y capa física).
6. 802.6: MAP (*Metropolitan Area Networks*).

- 7. 802.7:Redes LAN de Banda Ancha.
- 8. 802.8:Redes LAN FDDI (Interfase de Datos de Fibra Distribuida)

Estos estándares están destinados a garantizar que los sistemas digitales puedan comunicarse unos con otros conforme a las especificaciones aquí establecidas. Muchos de los sistemas digitales son desarrollados por fabricantes que son a su vez propietarios de los sistemas de comunicación (entiéndase del hardware y el software) que soportan sus productos. Es por ello que muchas firmas diseñan sus sistemas digitales de comunicación conforme a las especificaciones 802 de la IEEE, por ejemplo: El método de acceso que emplea Ethernet está documentado en la especificación 802.3; el protocolo MAP hace referencia a varias de las especificaciones establecidas en el estándar 802.x

Veamos con detalle las características de dos de los protocolos de redes más importantes.

Ethernet

Fue la primera red del área local desarrollada por la corporación Xerox con el objetivo de compartir el acceso de computadoras con un medio común. Ethernet fue rápidamente adoptado por un gran número de compañías como la mejor forma de implementar redes de alta velocidad, entre ellas podemos citar Intel y la *Digital Equipment Corporation* (DEC), posteriormente se creó un consorcio de compañías que empleaban Ethernet en su equipamiento, el protocolo fue estandarizado y el estándar DIX fue referenciado como el estándar de Ethernet.

Ethernet es la tecnología más popular hoy día para Redes de Área Local, debido a que consigue un buen equilibrio entre velocidad, coste y sencillez de instalación. Estos puntos fuertes, combinados con una amplia aceptación en el mercado de los ordenadores y con la habilidad de soportar virtualmente todos los protocolos populares de red, hacen de Ethernet una tecnología de red ideal para la mayoría de usuarios industriales de hoy.

Aspectos técnicos

Ethernet define dos capas: la capa física y la capa de enlace de datos. La capa física establece 10 Mbits de transmisión para todo dispositivo que se conecte a la red, mientras que la capa de enlace de datos define el formato del paquete, direccionamiento de los nodos en la red y chequeo de errores.

El formato del paquete es como sigue:

Preámbulo	Dirección Destino	Dirección Fuente	Tipo de Campo	Campo de Datos	Secuencia de chequeo de trama
-----------	-------------------	------------------	---------------	----------------	-------------------------------

El *Tipo de Campo* especifica el formato de datos de campo, mientras que el *Campo de Datos* contiene los comandos de datos del mensaje o información a ser transmitida.

El tipo de campo y el campo de datos son las partes del paquete que se deben definir en otro nivel de red para poder comunicar entre sí bajo el protocolo de Ethernet dos sistemas digitales de datos.

La red Ethernet es un sistema de banda base (la información a enviar no está modulada) y emplea CSMA/CD (CSMA/CD = *Carrier Sense Method Access / Carrier Detection*) como método de acceso (según el estándar 802.3). Emplea arquitectura de bus, con comunicación semiduplex, siendo la longitud mínima para el campo de datos de 46 bytes.

¿Cómo funciona?

Ethernet está basado en una técnica MAC (*Media Access Control*) muy sencilla denominada como explicamos anteriormente CSMA/CD. Una estación que quiera poner una trama en el cable debe monitorizar previamente el medio de transmisión. Si el medio no está en uso, la estación transmite la trama. La cabecera de la trama contiene la dirección física de la estación de destino, de tal modo que todas las estaciones detectan la presencia de la trama pero tan solo la acepta su destinataria. Si dos o más estaciones transmiten simultáneamente se produce una colisión por lo que las estaciones deben aguardar un tiempo aleatorio antes de reintentar de nuevo la transmisión.

El protocolo requiere alguna regla más para operar correctamente:

- Existe un tiempo mínimo en el que las estaciones deben guardar silencio entre las transmisiones para permitir que la estación receptora pueda procesar una trama antes de recibir la siguiente. Este tiempo es de 9.6 microsegundos. Un tranceptor averiado puede producir *errores de alineamiento*.
- Las tramas deben ser lo suficientemente largas como para permitir que al producirse una colisión todas las estaciones la detecten. La longitud mínima requerida para una trama Ethernet es de 64 octetos. Las tramas menores de este tamaño (usualmente producidas por la detección de una colisión) se denominan: runts.
- También existe una longitud máxima para las tramas: 1518 octetos. Como resultado del comportamiento anómalo de un tranceptor, pueden generarse tramas de mayor tamaño: jabbers.

Ethernet es un medio en el que todos los ordenadores pueden acceder a cada uno de los paquetes que se envían, aunque un ordenador sólo tendrá que prestar atención a aquellos que van dirigidos a él mismo.

Es importante notar que las direcciones utilizadas por Ethernet no guardan ninguna relación con las direcciones de Internet. Así como las direcciones IP de Internet son asignadas por el usuario, las direcciones Ethernet se asignan "de fábrica". Esta es la razón por la que se utilizan 48 bit en las direcciones, ya que de esta manera se obtiene un número lo suficientemente elevado de direcciones como para asegurar que no sea necesario repetir los valores.

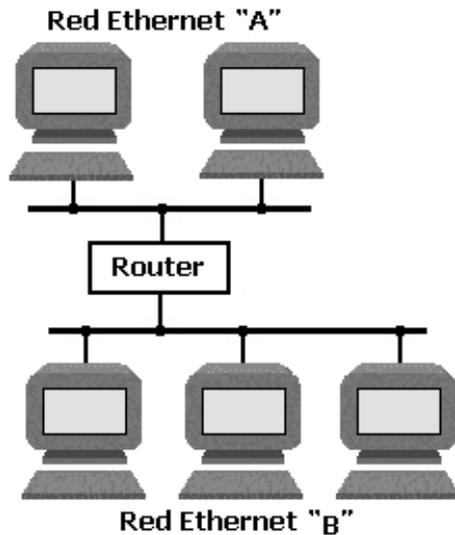


Figura 5.5. Interconexión por medio de un router de dos redes locales

Aplicaciones

Actualmente existe un gran número de sistemas digitales conectados por Ethernet en redes LAN de alta velocidad, trabajando en tiempo real y abarcando fundamentalmente los niveles 3 y 4 de la pirámide de control. Ethernet forma parte importante de los denominados Sistemas Integrados por Computador (CIM -*Computer Integrated Manufacturing*-) en funciones de administración, gerencia, control de la producción, diseño y mantenimiento, redes ofimáticas, etc.

Ethernet por sus características y prestaciones no está diseñada para la comunicación entre instrumentos de control, equipos de adquisición de datos, etc.

Resumen de las características principales de Ethernet:

1. Compatible con el modelo OSI en los niveles 1, 2, 3 (capa física, capa de enlace de datos y capa de red en esta última a través de puentes).
2. Emplea el método acceso CSMA/CD (según estándar IEEE 802.3).
3. Topología de bus o árbol con comunicación semiduplex.
4. Red de alta velocidad 10 Mbit/seg. (hasta 100 Mbit/seg. de Fast Ethernet)
5. Red LAN con sistema banda base.
6. Constituye uno de los protocolos más extendidos y aplicados.
7. Aplicaciones administrativas y ofimática (jerárquicamente elevadas), de tiempo real, para comunicación entre computadoras fundamentalmente.

MAP -Manufacturing Automation Protocol-

El protocolo MAP surge como resultado de los esfuerzos de la ISO y la OSI para desarrollar un protocolo de comunicación estandarizado a emplearse en redes LAN que se adecuara por sus características y prestaciones al entorno industrial.

Durante la década de los años ochenta la firma General Motors contaba con más de 2 000 robots y 20 000 autómatas programables operando en sus industrias, abarcando un total de aproximadamente 40 000 equipos inteligentes en uso, de ahí las grandes necesidades que existían de establecer un protocolo de comunicación que permitiera el intercambio de información entre tan gran cantidad de dispositivos.

A mediados de esta década (1980) ya se habían dado pasos concretos para promover, desarrollar y evaluar redes LAN que permitieran el intercambio de información a nivel industrial. Ello llevó a la aparición del protocolo MAP que junto con los esfuerzos de la *Boeing Computer Services* que empleaba esencialmente el mismo protocolo TOP (*Technical and Office Protocols*), dio lugar al grupo de usuarios de protocolos MAP/TOP, actualmente miembro de la corporación de sistemas abiertos quienes promovieron las dominadas especificaciones MAP/TOP.

El protocolo MAP constituye una implementación del modelo ISO-OSI correspondiente a la arquitectura de 7 capas, la cual establece todos los aspectos necesarios para la comunicación de una red en procesos industriales, haciendo referencia a los estándares IEEE 802.x

Aspectos técnicos y aplicaciones

El protocolo MAP establece el método de acceso *token passing* y cubre además un amplio espectro del estándar de redes e implementaciones a cumplir para cada capa. Es muy empleada en ambientes industriales y de procesos, sobre todo en los CIM, Sistemas de Manufactura Flexible y Sistemas Modernos de Producción Integrada.

MAP no cubre el nivel de bus de campo (estación y proceso). Lo considera un nivel inferior que se integra en la red mediante dispositivos inteligentes (PLC, PC, etc.). Estos dispositivos dispondrán de una conexión de enlace con MAP directamente o a través de otro dispositivo. El MAP es un protocolo pensado para redes de tipo WAN. Incluye los niveles de red, transporte, sesión y presentación lo cual permite el fraccionamiento de paquetes y encaminamiento de los mismos a través de redes públicas o privadas.

A nivel de WAN la red MAP cubre los siete niveles OSI, basada en un bus con transmisión de banda ancha multicanal, que permite interconectar los sistemas de control de planta con las aplicaciones de gestión, oficina, CAD, ordenadores de planta, canales de datos, voz, imágenes, etc., locales o remotos.

Características más destacables de la red MAP:

1. Constituye una de las implementaciones del modelo de referencia OSI que emplea las especificaciones del modelo de 7 capas de la OSI (especificaciones IEEE 802.4).
2. Establece el conjunto de protocolos para el uso de las redes LAN.
3. Número de nodos 10000 y distancia entre ellos 10 km.
4. Ancho de banda de 6 MHz.
5. Es un protocolo especialmente diseñado para el entorno industrial.
6. No actúa al nivel de bus de campo pero establece pasarelas hacia estos buses mediante terminales.
7. Permite integración en redes WAN.
8. Emplea el método acceso *Token Bus* (*token passing* en topología específica de bus).
9. Alta velocidad 10 Mb/s sobre grandes distancias.
10. Todas las señales se transmiten moduladas en frecuencia.
11. Protocolo más extendido en entornos industriales modernos, sistemas de producción integrados y sistemas que operan en tiempo real.

A continuación mostramos en la tabla 5.3 de manera conclusiva un breve resumen de las principales semejanzas y diferencias de ambos tipos de redes.

Tabla 5.3. Principales semejanzas y diferencias entre MAP y Ethernet

SEMEJANZAS	DIFERENCIAS		
	En cuanto a:	MAP	ETHERNET
Redes LAN.	Método acceso	Token Passing	CSMA/CD
Redes para operar en tiempo real.	Especificaciones	En las 7 capas del modelo ISO.	Solo en las tres primeras capas.
Alta velocidad.	Aplicaciones	Entornos industriales.	Aplicaciones administrativas y ofimáticas.
Muy extendidas y aplicadas.			

Buses de Campo

Un aspecto fundamental en la comunicación dentro de la automatización de sistemas lo constituyen sin dudas los buses de campo, los cuales han sido responsabilizados como sistemas de comunicación abiertos y de tiempo real para el intercambio de datos de procesos a dentro de la jerarquía de comunicación.

El bus de campo constituye el nivel más simple y próximo al proceso dentro de la estructura de comunicaciones industriales. Está basado en procesadores simples y utiliza un protocolo mínimo para gestionar el enlace entre los dispositivos de comunicación.

Las características generales más comunes de los buses de campo son:

- Sus estándares de comunicación cubren sólo una parte del modelo OSI, concretamente los niveles físico (1), enlace (2) y aplicación (7). El resto de niveles no son imprescindibles para una red de tipo muy local, donde los medios de conexión son de uso exclusivo y la estructura lógica es única. Sólo algunas funciones que se podrían considerar propias de los niveles red y sesión se añaden a los niveles 2 y 7 para enlazarlos entre sí.
- En general, las especificaciones de un determinado bus admiten más de un tipo de conexión física entre las que están normalizadas. Sin embargo, la más común es un bus semiduplex, comunicación en banda base, tipo RS-485. Se encuentran también opciones que trabajan con RS-422 y conexiones en bucle de corriente.
- Lo que realmente define el tipo de bus y le da el nombre es el protocolo de acceso al medio (MAC: *Medium Access Control*) y de enlace (LLC: *Logical Link Control*). Dicho protocolo suele incluir también un soporte rudimentario para la capa de aplicación, que consiste en la definición de una serie de funciones y servicios de la red mediante códigos de operación estándar.
- El nivel de aplicación, dirigido al usuario, suele ser propio de cada fabricante, apoyándose en las funciones estándar antes mencionadas para crear programas de gestión y presentación casi siempre dedicados a una gama específica de productos. A lo sumo, el software de aplicación es abierto y permite la programación en un lenguaje estándar para que cada usuario pueda configurar el nivel de presentación a su conveniencia, apoyándose en librerías estándar.
- Salvo el caso de BITBUS, todos los buses de campo suelen utilizar comunicación serie asíncrona, con velocidades relativamente lentas.
- En la mayor parte de buses de campo, el protocolo está previsto para gestionar una red con estructura lógica de tipo maestro esclavo, donde el control de red lo tiene siempre el maestro. Existen, sin embargo, algunos buses de creación más reciente que presentan estructura con posibilidad de maestro flotante.

En el campo industrial es ampliamente aceptada la jerarquía de la Producción Integrada por Computadoras (*Computer Integrated Manufacturing*), la cual consta de diferentes niveles dentro de la pirámide jerárquica, que se ha mencionado en este material.

Sobre la base de las modernas tecnologías de la información se han desarrollado diferentes conceptos acerca de la comunicación industrial, lo que permite clasificar los mismos acorde a los diferentes niveles dentro de la jerarquía: Fábrica, Dirección, Proceso y Campo, específicamente estableciendo la clasificación: Redes Locales (LAN), Redes de Procesos (MAP), Bus de Campo y Bus de Sensores/Actuadores (ver tabla 5.4).

Tabla 5.4. Clasificación de los Buses Industriales

SENSORBUS	DEVICEBUS	FIELDBUS
CAN Seriplex ASI LONWorks	CAN, Interbus S Device Net Profibus DP LONWorks FIPIO, SDS	IEC / SP50 Fieldbus Foundation Profibus PA LONWorks WorldFIP

Los buses de sensores y actuadores están en el nivel inferior, constituyendo la condición básica de la comunicación industrial en las cercanías del proceso y por ende son la base fundamental de la automatización. Del análisis de las consideraciones técnicas alrededor de los buses de campo y de Sensores/Actuadores se constata que existen numerosas normas y soluciones ofertadas por diferentes fabricantes y proveedores, pero ello no constituye objetivo de este acápite.

Mientras que en los niveles de dirección y de proceso la longitud de los mensajes es del orden de Kilobytes (con el objetivo de que los tiempos de respuesta no sobrepasen los segundos), a nivel de campo las longitudes de los datos van desde un byte hasta cientos de bytes. En los Buses de Sensores/Actuadores los datos pueden ser tan pequeños como un bit o unos pocos bytes, dado que los tiempos de respuesta no deben ser superiores de 1ms.

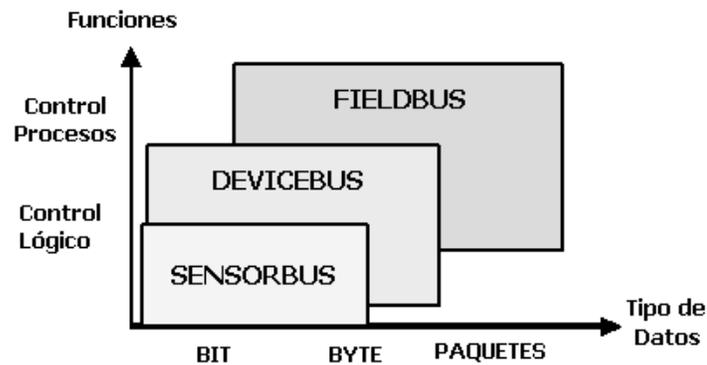


Figura 5.6. Buses y ámbito de aplicación

Sensorbuses: Buses de Alta Velocidad y Baja Funcionalidad

Ejemplos:

- CAN: Diseñado originalmente para su aplicación en vehículos.
 - SDS: Bus para la integración de sensores y actuadores, basado en CAN.
 - AS-I: bus serie para la integración de sensores y actuadores.

Devicebuses: Buses de Alta Velocidad y Funcionalidad Media

Ejemplos:

- DeviceNet: Desarrollado por Allen-Bradley, utiliza como base el bus CAN.
- LonWorks: Red desarrollada por Echelon.
- BitBus: Red desarrollada por INTEL
- DIN MessBus: Estandart alemán de bus de instrumentación, basado en RS-232.
- InterBus-S: Bus de campo alemán de uso común en aplicaciones medias.

Fieldbuses: Buses de Altas Prestaciones

Ejemplos:

- Fieldbus Foundation (IEC 61158)
- Profibus FMS
- LonWorks
- WorldFIP

Mucho se ha escrito acerca del uso correcto de un bus de campo o bus de Sensores/Actuadores en particular para una determinada aplicación, sin embargo antes de tomar una decisión es necesario buscar criterios, que nos permitan llevar a cabo una correcta selección.

El objetivo fundamental del empleo de los buses está en la simple reducción de gastos en cables, así como la facilidad de cambios y conexión de los componentes del sistema.

Para ello se deben satisfacer las condiciones siguientes:

- Reducción de los costos en el montaje y cableado.
- Incremento de la fiabilidad, dado de que son menos los puntos de conexión.
- Simplificación y eficiencia en el diagnóstico de errores, pues al estar todos los elementos en una red, es posible probarlos en cualquier lugar y momento.
- Mejoras en la flexibilidad de la instalación.
- Posibilidad de configurar los elementos a través de la red.
- Buena velocidad de comunicación de los parámetros críticos de la red.
- Adecuados medios de transmisión.
- Topología, acorde a la cantidad y distancia entre participantes.
- Fiabilidad de la red.

Sin embargo estas exigencias sobre un bus divergen grandemente de acuerdo a las áreas de aplicación: construcción de maquinaria, industria de automóviles, construcción de edificaciones, manufactura, procesos, etc.

Las divergencias radican principalmente en cuanto a tiempos, facilidades de comunicación, distancias, cantidad de participantes en la red y costo de la conexión. Sobre esta base queda claro que un bus universal en las cercanías del proceso es una esperanza para los próximos años, dada la cantidad de buses diferentes que existen para satisfacer esas demandas.

Hasta el momento han sido varios los intentos de crear un estándar para el nivel bus de campo. En todos los casos se pretende básicamente conseguir un enlace multipunto, para elementos cuya CPU está básicamente dedicada a las tareas de control. Dichas CPU tienen una capacidad de comunicación limitada y no permiten implementar un protocolo al estilo de las grandes redes sin que ello suponga una pérdida importante de su velocidad y un incremento de precio y complejidad injustificable. No obstante, se desarrollan diferentes investigaciones acerca de los buses más adecuados para la automatización en la esfera de construcción de maquinarias y agregados, sin llegar aún a un estándar único.

Criterios de selección

A continuación procedemos a enunciar los principales elementos a considerar para la evaluación o selección correcta de un Bus de Sensores/Actuadores:

1. Velocidad del Bus

- Tiempo de respuesta de los participantes
- Tiempo de respuesta de las señales binarias de E/S.
- Tiempo de respuesta para la conversión de señales analógicas.
- Tiempo de ciclo del sistema.

Conceptualmente el tiempo de respuesta se considera el peor tiempo entre el cambio de estado de una señal del proceso y la disponibilidad de esa información en el amo.

Mientras que tiempo de ciclo del sistema es el tiempo transcurrido entre una encuesta del amo y la siguiente después de haber intercambiado con todos los participantes, considerando un sistema cíclico de encuesta.

2. Facilidades de comunicación del Bus.

- Parametricidad de los Sensores/Actuadores.
- Funciones de Diagnóstico.
- Almacenamiento descentralizado de los datos.

3. Medio de transmisión.

- Longitud de las líneas.
- Apantallamiento.

- Carga de los cables.
- Posibilidad de transmisión de la energía eléctrica.

4. Participantes.

- Relación de información Binaria/Analógica en la salida de los sensores y entrada de los actuadores.
- Conjunto de módulos de E/S.
- Facilidades de intercambio de los módulos en el bus.

5. Costo y magnitud de cada nodo.

- Costo de la conexión para cada Sensor/Actuador.
- Costo de la instalación (medios técnicos, conectores, etc).
- Minimización de las conexiones.

6. Robustez del sistema contra la influencia nociva del medio.

- Temperatura.
- Humedad.
- Interferencias electromagnéticas y otras.

De todos los elementos anteriores debe prestarse especial interés por parte de los usuarios al aspecto de la velocidad del bus.

En la velocidad del bus influyen los tiempos de acceso y la duración del mensaje, los cuales están contenidos en el tiempo de ciclo (T_c).

$$T_c = \sum \frac{L}{R} + T_o \quad (5.1)$$

donde:

- L: longitud del mensaje
- R: razón de bauds.
- T_o : tiempo de organización.

El tiempo de organización es el tiempo que media desde que se procede a comenzar la comunicación hasta que realmente se inicia la misma. Aquí se chequean los parámetros de la comunicación, codificación, etc.

La longitud del mensaje es función de la longitud neta de los datos, del encabezamiento y de la codificación empleada.

Cada usuario debe hacer un análisis a partir de sus necesidades, tomando en consideración los elementos antes señalados, para encontrar las características del Bus de Campo o de

Sensores/Actuadores más adecuado. A partir de ellas debe evaluar las diferentes ofertas de los productores para poder seleccionar los mismos y no dejarse llevar por criterios de mercado o administrativos.

Principales requisitos para un Sistema de Bus de Campo

Los principales requisitos exigidos para un Sistema de Bus de Campo según se establece en la norma del IEC son:

- *Nivel físico:* bus serie controlado por un maestro, comunicación semidúplex trabajando en banda base.
- *Maestro flotante:* posibilidad de maestro flotante entre diversos nodos.
- *Implementación de protocolo:* los circuitos integrados que implementen el protocolo deben estar disponibles comercialmente y ser de dominio público (no protegidos por patentes de exclusividad).
- *Control de acceso al bus:* centralizado o descentralizado.
- *Topología:* bus físico con posibilidad de derivaciones hacia los nodos.
- *Medio de transmisión:* par de cables trenzados (con o sin apantallamiento), cable coaxial, fibra óptica.
- *Tiempos de respuesta:* típico de 20 ms.
- *Tipos de participantes:* sensores, simples controladores, arrancadores de motores, etc.
- *Número de participantes:* un máximo de 30 nodos, se permiten posibles ramificaciones hasta un máximo de 60 elementos.
- *Longitudes para el bus:* 40 m para máxima velocidad y 350 m para velocidades más bajas.
- *Longitud de las ramificaciones:* longitud máxima de hasta 10 m para las derivaciones.
- *Velocidades:* 1 Mbit/seg o valores inferiores para distancias cortas y de 64 a 250 Kbit/seg para distancias largas.
- *Longitud del mensaje:* 16 bytes mínimo por mensaje.
- *Transmisión de mensajes:* posibilidad de diálogo entre dos nodos cualesquiera sin necesidad de repetidor (ello no excluye la posibilidad de que la comunicación se realice a través de un maestro o que se empleen repetidores “transparentes” para incrementar las distancias de transmisión).
- *Configuración:* preferiblemente hacerla a través de la línea.
- *Conectores:* bornes tipo industrial o conectores tipo DIN 9 o DIN 25.

- *Conexión /desconexión “on line”*: la conexión y/o desconexión de algún nodo no debe interferir el tráfico de datos.
- *Alimentación energía*: opción de suministro de energía a los elementos de campo a través de los conductores del bus (50 mW por equipo) o por conductores por separado.
- *Aislamiento*: 500 V CA permanentes entre elementos de campo y bus.
- *Tensión de prueba*: 1500 V CA durante 1 minuto.
- *Seguridad intrínseca*: opción a conectar dispositivos de campo con tensiones reducidas para aplicaciones en ambientes con peligro de explosión.
- *Facilidades*: libre disponibilidad de acople y desacople de los participantes.

Como puede apreciarse las especificaciones del IEC enunciadas anteriormente cubren bastantes detalles cuando se trata del nivel físico, pero dejan muy abiertas las especificaciones relacionadas con los niveles de enlace y aplicación. De aquí que haya varios posibles candidatos a bus de campo estándar, trayendo consigo como resultado la falta de compatibilidad entre productos a ese nivel. Por lo tanto debemos asegurarnos que todos los componentes de una red sigan un mismo bus de campo, para garantizar que no existan problemas en la comunicación o haya que realizar pasarelas entre buses.

Generalidades del Diseño

El propósito general de los sistemas de control es mantener la operación de la planta o proceso bajo los requisitos de comportamiento deseados, con máxima disponibilidad, dentro de los márgenes de seguridad, confiabilidad y eficiencia (recomendados por códigos, normas, procedimientos y prácticas de operación) para cualquier condición operativa, considerando los factores económicos y de protección, tanto del personal como del equipamiento tecnológico, así como proporcionar al personal de la planta suficiente información del estado del proceso.

Para lograrlo, se debe establecer integración funcional de todos los componentes integrantes del sistema. El control y gestión de la producción, la adquisición, procesamiento y almacenamiento de datos, la protección del sistema ante fallos y averías, el adecuado diseño de las estructuras de medición de las señales y lazos control, protocolos fiables y seguros para el intercambio de información, la adecuada presentación de la información a operadores y personal de mantenimiento, constituyen tan solo algunos ejemplos de los aspectos que hay que tener en cuenta para lograr este objetivo.

De esta manera un sistema de automatización provee todos los elementos funcionales necesarios para garantizar que la planta trabaje bajo un régimen operativo y de supervisión dado, de acuerdo a las especificaciones exigidas. Entre otros aspectos fundamentalmente contempla la instrumentación de campo, todo el hardware de adquisición, interfases entre el hombre y el proceso, y red de comunicación.

El tipo de instalación a controlar junto con las especificaciones de operación definen las características del sistema de automatización a implementar. La automatización debe ser considerada como una herramienta para todo el personal de planta, incluyendo a los operarios, ya que busca hacer más eficiente el trabajo y explotación del proceso; se debe tener en cuenta que son los operarios quienes más conocen el proceso, dicho personal especializado en la explotación del proceso, será quien dicte las pautas de comportamiento y acción al sistema de automatización. Por otro lado el personal que diseña e instala el sistema automatizado es responsable de garantizar las facilidades técnicas necesarias para poder producir más y mejor.

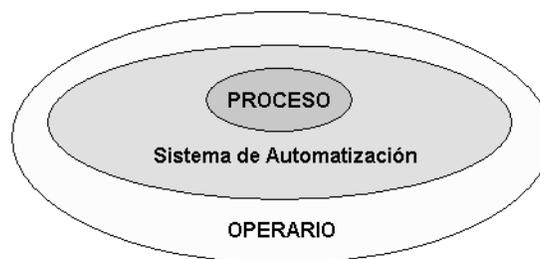


Figura 6.1. Relación entre el operador-proceso a través de la automatización

Es común que dentro de los propósitos del diseño se considere la posibilidad del mando automático y manual. El modo automático aplica la operación de cada conjunto funcional, que ejecuta una función específica y que puede operar independiente de otros, como por ejemplo el sistema de control de relación de aire y combustible del quemador de una caldera. En el modo manual, el operador podrá efectuar el arranque o paro de determinados accionamientos y control de motores, asistido por el sistema en la verificación de permisos y guía dinámica de las operaciones. En cualquier modo de operación, la lógica de protección permanecerá y será imperativa y no podrá ser modificada o cancelada por el operador. Se establece como base para el diseño, el control dedicado (una unidad de procesamiento y control por cada sistema de proceso); funcionalmente distribuido (las funciones de control y supervisión se distribuyen entre diversos controladores); y geográficamente centralizado (todos los componentes electrónicos del control instalados en la sala de control).

Se considera que la Fase de Proyecto condiciona enteramente las prestaciones futuras del sistema y es donde primero quedan plasmadas todos los aspectos relacionadas con la futura implementación, puesta en marcha y funcionamiento integral del mismo. De lo anteriormente planteado se resume que la definición de los requerimientos relacionados con la automatización de un sistema constituye una fase muy importante dentro del Proyecto de Automatización.

Como ejemplo de especificación podemos establecer el siguiente: “Todo el equipamiento electrónico se ha de localizar en la sala de control, con el fin de mantenerlos debidamente protegidos, en condiciones apropiadas de humedad, temperatura y polvo con excepción de las cajas de terminales y las unidades de adquisición de las variables”. La especificación enunciada garantiza la debida protección del hardware contra las condiciones adversas del entorno industrial y por ende el aumento de su vida útil y disminución de averías.

En el uso de una nueva tecnología ya sea en la esfera de la producción o servicios, el alto nivel de la parte técnica tiene gran implicación y tiende a complicar su uso, motivado por la incorporación de cientos de funciones, posibilidades de programación, alto número de parámetros, etc. En el caso de sistemas automatizados orientados a servicios o sistemas orientados a usuarios finales (instalaciones hoteleras, edificios inteligentes, sector turístico, etc.), esta tendencia agrava la situación porque el usuario se encuentra ante un sistema que técnicamente puede ser muy aceptable pero que en la práctica, ante cualquier evento, pudiera producir confusión, desconcierto y finalmente rechazo. Es por ello que ante la elección de un sistema de automatización en sentido general, se deben considerar básicamente dos tipos de criterios:

1. Criterios de Usuario.
2. Criterios Técnicos.

Ejemplos de Criterios de Usuario.

1. Posibilidad de realizar la preinstalación del sistema en la fase de construcción.
2. Facilidad de ampliación e incorporación de nuevas funciones.
3. Simplicidad de explotación.
4. Alto grado de estandarización y aplicación del sistema.
5. Variedad de elementos de control y funcionalidades disponibles.

6. Tipo de servicio posventa.

Ejemplos de Criterios Técnicos:

1. Arquitectura del sistema.
2. Topología de la red de comunicación.
3. Velocidad de transmisión del bus de campo.
4. Hardware de acondicionamiento de señales.
5. Tipo de Instrumentos de campo.
6. Fabricación de elementos por terceras partes.

En un proceso productivo no se justifica la implantación de un determinado sistema de automatización, si realmente dejan de considerarse aspectos importantes que justifican y determinan la implementación del mismo. Como indicadores principales podemos mencionar los siguientes:

1. Requerimientos relacionados con el incremento de la producción.
2. Requerimientos de mejora en la calidad de la producción.
3. Necesidad de disminuir costos de producción.
4. Ahorro de portadores energéticos.
5. Consideraciones económicas (por ejemplo, encarecimiento de materias primas vs precios de la producción en los mercados).
6. Necesidad de protección ambiental.
7. Necesidad de seguridad de las instalaciones y del personal.
8. Factibilidad de implementación de nuevas tecnologías.

La automatización solo es viable si al evaluar los beneficios económicos y sociales de las mejoras que se podrían obtener, se concluye que son mayores a los costos de operación, mantenimiento, superación del personal, etc y que existe la garantía de una amortización relativamente rápida de la inversión.

El control automático respecto a la operación manual, brinda amplias ventajas económicas, sociales y tecnológicas, resaltándose:

- Mejoras en la calidad y condiciones de trabajo de operadores y el desempeño del proceso, esto dependerá de la eficacia del sistema implementado.
- Disminución de los costos de producción, puesto que se racionaliza el trabajo, se optimizan índices de funcionamiento, se reduce el tiempo y recursos dedicados al mantenimiento, etc.
- Reducción en los tiempos de procesamiento de la información.
- Facilidad para incorporar nuevos equipos y sistemas de información, flexibilidad en la fabricación.

- Conocimiento más detallado del sistema, mediante la recopilación de información histórica y datos estadísticos del mismo.
- Mejor funcionamiento, rendimiento, operación y performance del equipamiento y máquinas que intervienen en la producción.
- Factibilidad de implementar funciones tales como análisis y diagnóstico, optimización de parámetros, programación remota, manejo de base de datos, etc.
- Disminución de la contaminación y otros posibles daños ambientales.
- Racionalización personal, disminución de gastos indirectos de la producción, uso eficiente de la energía y materias primas.
- Aumento en la seguridad de las instalaciones y la protección a trabajadores.

Existen otros requisitos que revisten gran importancia, y en caso de no cumplirse deterioran las ventajas antes mencionadas, afectando los beneficios esperados. Estos requisitos particulares son:

Compatibilidad electromagnética: Debe existir la capacidad de operar en un ambiente con ruido electromagnético. Para solucionar este problema generalmente se hace uso de un correcto aterramiento para los instrumentos, estabilizadores ferro-resonantes para las líneas de potencia, separación física de los conductores de adquisición de datos de las líneas de potencia, y para equipos ubicados a distancias de más de 40 m de los pupitres, se puede hacer uso de conductores apantallados, si así se requiere.

Expansibilidad y escalabilidad: característica del sistema que le permite crecer para asumir ampliaciones futuras de la planta, o para atender las operaciones no tomadas en cuenta al inicio de la automatización. Se analiza bajo el criterio de costo-beneficio, típicamente suele dejarse una reserva en capacidad ociosa instalada de hardware de alrededor del 10 % al 25 %.

Mantenimiento: Se refiere a tener disponible por parte del proveedor, el personal técnico debidamente capacitado, que brinde el soporte técnico adecuado cuando se necesite este servicio de manera rápida y confiable. Además implica que el proveedor cuente con los repuestos en caso de ser necesarios.

Sistema abierto: Los sistemas deben cumplir los estándares y especificaciones internacionales. Esto garantiza la inter-conectividad y compatibilidad de los equipos a través de interfaces y protocolos, también facilita la inter-operabilidad de las aplicaciones y el traslado de un lugar a otro de funciones básicas.

Requisitos

A un sistema automatizado no se le asocian requisitos de lazo como los comúnmente conocidos: tiempo de asentamiento, máximo sobreimpulso, error en estado estable, etc., sino que se caracteriza por poseer requisitos de carácter mucho más general, debido a que el sistema se analiza de manera integral. Ahora el lazo cerrado de control propiamente dicho, adquiere otra significación cuando analizamos la planta a nivel global.

Los objetivos de la automatización y requisitos que se establecen dependen de la aplicación en particular. Se pueden plantear como principales requisitos generales, los siguientes:

1. Calidad de la producción.
2. Coordinación de los diferentes niveles de control y entre las diferentes partes del proceso.
3. Exigencias de productividad, eficiencia, costo.
4. Flexibilidad en la automatización (adaptación a cambios tecnológicos).
5. Requisitos de fiabilidad y seguridad.
6. Condiciones de seguridad y cuidado ambientales.
7. Funcionamiento seguro y sin interrupciones del proceso.
8. Adquisición de las entradas, estabilización de las salidas y ajuste de parámetros.

El colectivo de especialistas en control automático, responsables del diseño del sistema automatizado, deben en primer lugar conocer el proceso y características de la instalación tecnológica objeto a controlar, y a su vez trabajar en conjunto con tecnólogos, ingenieros mecánicos, químicos y demás especialistas que intervienen en la producción.

Consideraciones para el Diseño

Resulta de gran importancia en la definición del problema de objeto de la automatización exponer con claridad las funciones que el mismo realizará, detallándose éstas en la mayor medida posible.

Sin embargo, podemos preguntarnos: ¿Qué factores determinan estas funciones en el diseño de un sistema automatizado? Necesariamente, estos factores son dependientes del proceso tecnológico en particular y de los requisitos de la explotación de la planta de manera general.

Pudiéramos resumir que el análisis a llevar a cabo a la hora de concebir un sistema de automatización es necesario abordarlo desde tres ángulos esenciales:

a) Análisis de las señales a medir.

Aquí se tienen en cuenta la naturaleza, cantidad y tipo de variables que caracterizan la planta, señales analógicas y digitales, sus niveles y el posible efecto del ruido sobre estas.

b) Análisis estructural.

Considera el tipo de estructura a utilizar en función de la cantidad y disposición espacial del equipamiento en el proceso, tipo de unidades de cómputo a utilizar, dispositivos periféricos, presentación de la información y visualización de los parámetros tecnológicos, entre otros aspectos.

c) Análisis de la información.

Comprende el sistema de comunicación a utilizar, los algoritmos para el procesamiento de datos, de los cuales se derivan los programas de aplicación y de supervisión del sistema; así como los programas de prueba y diagnóstico.

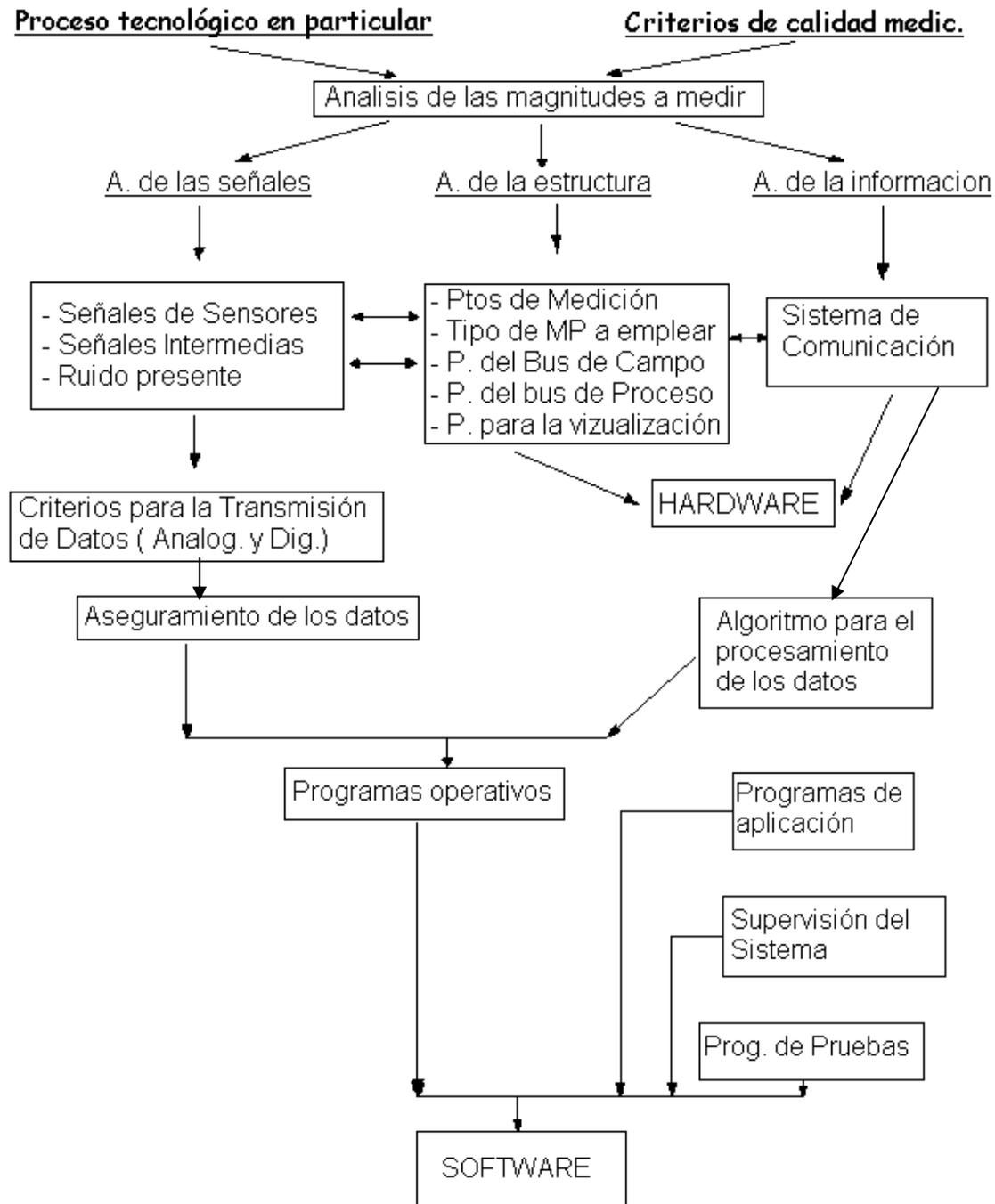


Figura 6.2. Interrelación entre los elementos de análisis

En la figura 6.2 se muestra la interrelación existente entre estos elementos. Las señales intermedias (su generación y tratamiento), determinan el tipo de CPU en las unidades inteligentes y demás hardware a utilizar. Igualmente para definir el tipo de comunicación se requieren las particularidades de la CPU y periféricos.

Por su parte en la figura 6.3 se sintetiza la relación entre el análisis del problema y la solución que se obtiene (elementos) del sistema. Puede observarse que jamás existirá solución única a un problema; la tarea del diseñador es lograr encontrar la mejor de las posibles soluciones aplicando un criterio de evaluación técnico-económico que no es siempre absoluto. Del análisis de las características estáticas y dinámicas de las señales objeto de la medición depende el diseño del sistema de adquisición de datos, existiendo también diferentes alternativas de solución para el mismo.

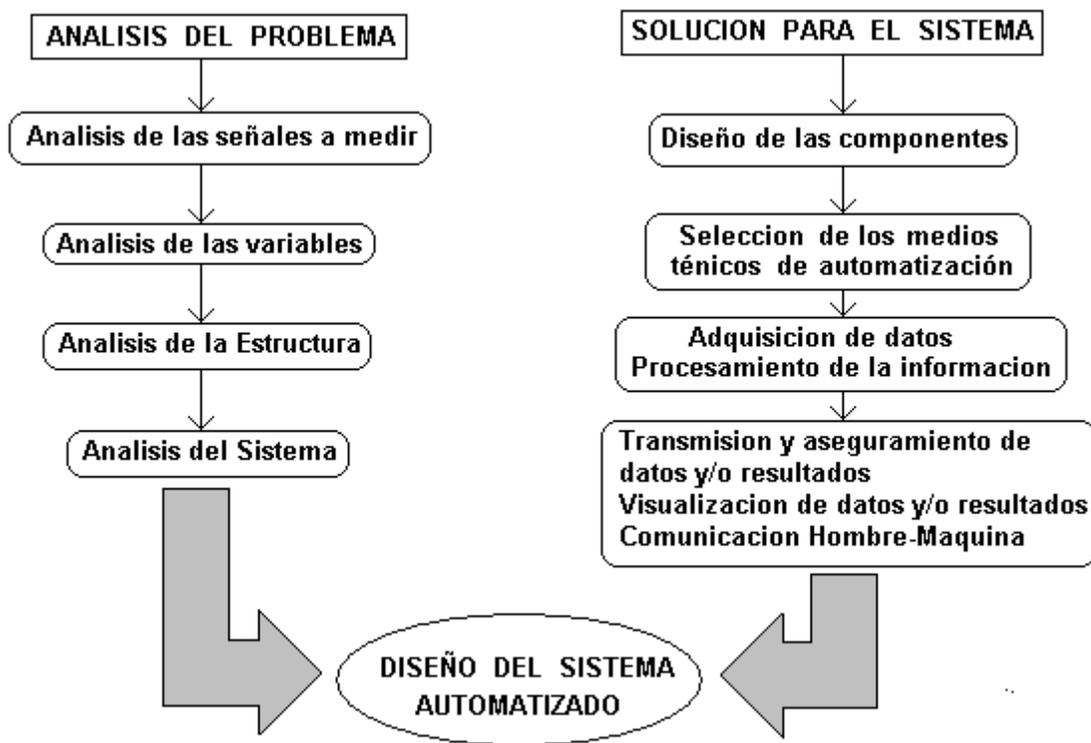


Figura 6.3. Elementos para el diseño del Sistema de Automatización

Lo que finalmente es más práctico y menos costoso depende de un gran número de factores. Los mismos deben ser considerados individualmente para cada proyecto de automatización. Lo más importante es saber encontrar la solución más eficaz, económica y útil para cada aplicación. En eso radica la responsabilidad de los proyectistas y grupo de ingenieros en general.

Veamos una problemática, que consiste en regular el flujo de agua que pasa por una tubería. Para el control de flujo, se ha decidido emplear un moderno caudalímetro digital con funciones PID asociadas, éste realizará la medición local del flujo y la regulación del mismo. Se estima que el caudalímetro digital puede costar alrededor de 1200 dólares. Si el objetivo principal es regular el flujo, pues la alternativa del esquema mostrado en la figura 6.4 puede ser una mejor solución. En este caso se emplea un Variador de Velocidad voltaje-frecuencia para controlar el motor de la bomba de agua, además de un simple sensor de presión diferencial con salida 4-20 mA para captar el flujo por la tubería.

Con un costo total de alrededor de 580 dólares (variador de velocidad 460 dólares y sensor transductor de presión diferencial 120 dólares), se cumple el objetivo del lazo, lográndose un ahorro adicional de más de \$ 600 respecto a la primera solución con la variante del caudalímetro.

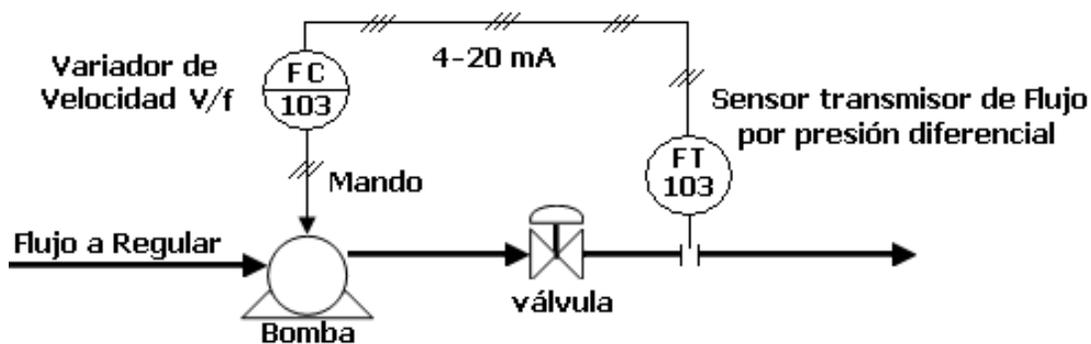


Figura 6.4. Esquema de Regulación de Flujo

Este simple ejemplo de regulación y medición de flujo muestra cómo una solución relativamente sencilla puede disminuir el costo de implementación de un lazo para el cual se había pensado inicialmente en una solución que demostró no ser la mejor opción al menos desde el punto de vista económico.

Etapas en el Proyecto de Automatización

Para llevar a cabo un Proyecto de Automatización es necesario seguir un conjunto de etapas o pasos que son imprescindibles. Las mismas son mostradas en la figura 6.5 y se definen como:

1. Definición de los Requerimientos del Sistema.
2. Especificaciones para el Sistema
3. Selección del Sistema Digital.
4. Configuración.
5. Instalación y Puesta en Marcha.

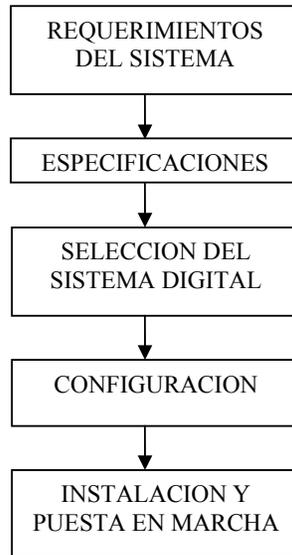


Figura 6.5. Secuencia de etapas en la ejecución de un Proyecto de Automatización.

A continuación vamos a referirnos brevemente a cada una de ellas.

Definición de los Requerimientos del Sistema.

Esta es la fase más importante del proyecto y la que más tiempo consume, es considerada la etapa ingenieril del proyecto de Automatización. Aquí debe participar activamente todo el personal involucrado en el mismo, con el ánimo de desarrollar o definir criterios acerca de cuál sistema digital deberá ser implementado.

En esta etapa se definen las diferentes tareas o actividades:

1. Definición de los requisitos (características reguladoras, documentación, hardware, carta de flujo tecnológico, etc).
2. Elaboración del diagrama de bloques que representa el sistema digital ideado.
3. Cuantificar y definir todas las E/S para el sistema.
4. Establecer los criterios relacionados con las interfaces hombre-máquina.
5. Definir los requerimientos para el tratamiento de las alarmas.
6. Establecer los requerimientos para recolección de datos históricos y almacenamiento de los mismos.
7. Definir los requerimientos para los reportes.
8. Necesidades de redundancia de HW y/o SW.
9. Distribución del equipamiento local y remoto.
10. Requerimientos para la comunicación.
11. Establecer los criterios para el equipamiento de potencia.
12. Necesidades de mantenimiento.

13. Necesidades de entrenamiento y capacitación personal.

Especificaciones para el Sistema

Las actividades en esta etapa vienen dadas en forma de grupos de especificaciones que permiten definir de manera precisa las especificaciones de hardware (HW) y la configuración del sistema.

En esta etapa se incluyen las actividades:

1. Desarrollo de las especificaciones de HW para el sistema digital.
2. Desarrollo de las especificaciones para la configuración del sistema digital.
3. Realización de un resumen completo del diseño.

A modo de ejemplo mostramos un grupo de especificaciones que pudieran ser definidas para un sistema dado:

1. Todos los transmisores deben soportar comunicación SMART desde las consolas de operación.
2. Las señales de salidas analógicas que no soportan la interfase SMART deberán ser entonces standard 4-20 mA a dos hilos.
3. Todas las salidas analógicas serán 4-20 mA.
4. Todas las mediciones de temperatura se realizarán con termopares del tipo J y K.
5. Las salidas digitales serán de 120 v AC, aisladas, con capacidad de 2 A para carga inductiva.
6. Las entradas digitales serán de 120 v AC, no aisladas.
7. Los instrumentos de campo tendrán asociados contactos secos.
8. La comunicación digital con otros sistemas (esclavos) deberá realizarse con Modbus mediante enlace RS-232.
9. Todos los instrumentos deben ser “seguros contra fallos” ante situaciones adversas del proceso y fallos en el suministro de energía.
10. La fuente de energía para todas las E/S de 4-20 mA deben ser suministradas por el sistema digital y serán de 24 v DC.

Selección del Sistema Digital

Luego de haber desarrollado todas las especificaciones, se busca en esta etapa realizar la definición del sistema digital a emplear, mediante la selección del candidato más apropiado a implementar de acuerdo a las características y requisitos exigidos por el sistema automático.

En esta etapa se establecen las tareas:

1. Agrupar las especificaciones por categorías.
2. Evaluar las posibles ofertas y seleccionar los proveedores.
3. Adquisición (compra) del sistema digital y paquetes de configuración.
4. Adquisición del HW del sistema digital.

Configuración

Se considera que esta es la etapa de “construcción” del proyecto de automatización. Al arribar a la misma, ya se han definido los requerimientos para el sistema, se ha adquirido el sistema digital más adecuado, se dispone del equipamiento necesario e inclusive de algún personal entrenado en la explotación del sistema. Es por lo tanto muy importante realizar la configuración total del sistema, como paso determinante antes de proceder con las instalaciones finales de menor importancia y puesta en marcha.

En esta etapa se consideran los aspectos:

1. Configuración del equipamiento.
2. Construcción de las bases de Datos.
3. Generación de gráficos y su aprobación.
4. Configuración del proceso de recolección de datos históricos y tratamiento de las alarmas.
5. Desarrollo de los reportes, gráficos, registros, loggins, etc.
6. Definición de las etapas de pruebas y entrenamientos.
7. Desarrollo de la documentación.

Instalación y Puesta en Marcha

Al llegar a esta etapa tenemos prácticamente completo todo el sistema digital. Estamos ahora en la fase final donde se realizan los últimos ajustes para el correcto funcionamiento de todo el equipamiento que forma parte del sistema. Si todos los pasos anteriores han sido desarrollados adecuadamente, durante la puesta en marcha debemos ser testigos presenciales del correcto funcionamiento del sistema automatizado.

Se incluyen como tareas esenciales en la misma las siguientes:

1. Preparación de locales.
2. Instalación física de todo el equipamiento.
3. Iniciación de las pruebas por niveles de automatización.
4. Ajuste del sistema.
5. Actividades de aseguramiento y entrenamiento hasta tanto los usuarios del sistema se familiaricen con el funcionamiento del mismo.
6. Mantenimiento regular.
7. Prueba de motores y accionamientos en general.

Llevar a cabo el desarrollo de un Proyecto de Automatización trae consigo una gran responsabilidad por parte del colectivo técnico de la entidad que acomete dicha tarea. Comúnmente se suele presentar al contratista la documentación del Proyecto conocida como “Oferta Técnica” para llevar a cabo la licitación.

En la misma se deben detallar bien todas las variantes técnicas propuestas, con una amplia información respecto a las soluciones que el sistema automatizado brinda para dar respuesta a los

requisitos inicialmente propuestos. Se debe indicar además el monto total estimado de la propuesta, de manera que el inversionista pueda valorar económicamente la misma.

La Seguridad y las Modernas Tecnologías

Antes de la Revolución Industrial la mayoría de los accidentes eran resultado de causas naturales, o bien estaban involucrados con pocos y sencillos dispositivos tecnológicos. Los avances de la tecnología han creado muchos beneficios pero también nuevos y mayores peligros.

Ahora nos enfrentamos a microbios y virus más resistentes, estamos expuestos a una mayor cantidad de productos químicos, inclusive hasta en nuestros alimentos estamos en contacto con un alto número de radiaciones de todo tipo, vivimos más cerca de los peligros, por ejemplo los asociados a la desintegración del átomo.

Muchas de las técnicas para controlar el riesgo en tecnologías que resultan más sencillas no ayudan nada al control de los riesgos en las tecnologías más complejas y actuales. Por ejemplo, el principio de la redundancia, que protege contra los accidentes causados por la falla de un componente individual, es inefectivo contra los peligros que surgen de las interacciones de la gran cantidad de componentes que existen en los sistemas complejos de hoy. De hecho la redundancia puede aumentar la complejidad al punto que ella misma contribuye a los accidentes.

En la sociedad industrializada moderna, sin dudas, han aumentado los factores de riesgo, ejemplo de ello es el hecho de que los accidentes tecnológicos más graves del siglo han ocurrido en los últimos años:

- En 1979 el reactor nuclear de la planta *Three Mile Island* en Pensilvania sufrió una seria avería en su núcleo. No hubo daños personales por la radiación, pero constituyó un serio desastre económico. Se estiman que 2,5 millones de curies¹ de gas radiactivo fueron lanzados a la atmósfera.
- El escape de metil-isocianuro de una planta química de la Union Carbide en Bhopal, India en 1984, produjo 3 500 muertes y 150 000 personas tuvieron que recibir tratamiento médico.
- El peor de los accidentes en la historia de aceleradores médicos ocurrió cuando seis personas murieron de sobredosis de radiación entre 1985 y 1987.
- En 1986 ocurrió la explosión del cuarto reactor de la planta de Chernobyl en Ucrania. La contaminación radiactiva se desplazó por regiones europeas como una gran nube, con efectos variables.
- En 1986, tres meses antes de Chernobyl, el trasbordador Challenger explotó en pleno vuelo con toda su tripulación. Fue la tragedia más grande de la historia de la NASA.

(1) Unidad utilizada antiguamente, igual a 3.7×10^{10} becquerels empleada actualmente.

Un análisis acerca del aumento de los accidentes industriales, nos lleva a pensar: ¿Está convirtiendo la tecnología nuestro mundo en uno más arriesgado?

El riesgo no es un problema nuevo, siempre ha existido, pero hoy día la industrialización está reemplazando los peligros que antes eran producto de las fuerzas de la naturaleza por nuevos peligros producto del propio desarrollo tecnológico.

Todas las actividades humanas en general pueden involucrar riesgos. El progreso demanda arriesgarse. Pero ahora, es imprescindible que se conozcan y controlen los riesgos lo máximo posible. La complejidad de la sociedad tecnológica moderna ha hecho que la responsabilidad de los riesgos se haya transferido de los particulares al estado, el cual debe exigir a las industrias y empresarios que cumplan con las normas de seguridad establecidas de acuerdo al tipo de tecnología.

A la vez, los accidentes como Bhopal han creado nuevas exigencias en la población; ahora la gente quiere conocer los riesgos que se asocian a las tecnologías peligrosas, los escenarios del riesgo, los peligros de contaminación, las medidas a seguir, etc.

La reducción de los riesgos puede ser costosa, de manera que resulta necesario examinar los factores que contribuyen al mismo, identificando los problemas que debemos confrontar, y de esta manera determinar las medidas necesarias para evitarlos. En este sentido es importante conocer y estudiar los riesgos que puede traer el empleo de una determinada tecnología novedosa, aun cuando no la hayamos puesto en explotación.

Los Nuevos Riesgos

El riesgo lo definiremos como: *El grado de probabilidad de que se produzca un acontecimiento no deseado y la gravedad de las consecuencias derivadas de la ocurrencia del mismo, dentro de cierto período de tiempo o en determinadas circunstancias.*

El riesgo aumentará si la posibilidad de ocurrencia o la magnitud de sus daños aumentan. Factores distintos afectan los dos componentes de maneras distintas.

El riesgo puede ser expresado tanto como una frecuencia (el número de hechos específicos en la unidad de tiempo) o como una probabilidad (la probabilidad de que un hecho específico suceda a un hecho precedente), de acuerdo con las circunstancias.

Los sistemas automáticos modernos están formados por muchos subsistemas y componentes tanto de hardware como de software que interactúan mutuamente de manera conjunta y acoplada, logrando así la funcionalidad del sistema. De ello se derivan un conjunto de factores que tributan al aumento del riesgo, entre ellos tenemos:

Peligros nuevos

- Peligros nuevos están relacionados con la mayor complejidad que caracteriza a los sistemas modernos. La complejidad también dificulta la identificación de las causas de los accidentes.
- Muchas de las condiciones que generan peligros surgen en las interfaces entre los subsistemas, y los problemas se propagan de un componente a otro. Plantas químicas modernas, por ejemplo, combinan varios procesos distintos en una producción continua sin el almacenamiento intermedio que podría desacoplar los subsistemas.
- Los accidentes industriales suelen ser mayores debido a las secuencias complejas de eventos en su funcionamiento y de interacciones que resultan entre sus componentes. Algunos sistemas solo pueden ser operados por unos pocos expertos.
- Una condición paradójica es que existe la tendencia de invertir dinero en lograr una mayor complejidad, pero no en propiciar la sencillez de los sistemas. Por ejemplo, un vertimiento ocurrido en una planta química británica ocurrió porque en su diseño se empleaba una sola tubería para usos múltiples, controlada por un ordenador. El computador cambió las válvulas para una transferencia entre tanques, pero no podía apagar una bomba que fue usada manualmente durante la previa descarga de un producto químico efectuada desde un camión. Un diseño más sencillo de varias tuberías independientes para cada función fueron instaladas después del vertido, lo cual disminuyó la probabilidad de errores, resultando ser más barato a largo plazo.
- Los computadores frecuentemente permiten construir dispositivos más interactivos, más acoplados, y más susceptibles a los errores, y pueden introducir complejidad innecesaria y peligrosa.

Más tiempo de exposición

- No sólo la tecnología es más compleja, también lo es la sociedad. Las consecuencias de un accidente dependen no sólo del peligro en sí mismo, sino también del tiempo de exposición al peligro. Por ejemplo, el uso de la aviación está creciendo, y los sitios con peligrosidad están a menudo cerca de aglomerados poblacionales cada vez más grandes.

Mayor energía

- El uso de fuentes de gran energía, tales como sistemas de alta presión, procesos de fisión atómica, etc. ha aumentado la magnitud de las pérdidas potenciales.
- Otros sistemas usan energía convencional pero en cantidades mayores.

Riesgos en la Automatización

Aunque puede parecer que la automatización disminuye el riesgo de errores del operador, la verdad es que no elimina al hombre, sino que lo dirige a la realización de otras tareas más determinantes sobre la planta, como resulta ser el control supervisorio a niveles más altos. Los efectos de las decisiones erróneas de un humano pueden ser muy graves, y a la vez, la complejidad del sistema dificulta el proceso de toma de decisiones.

La automatización elimina al operador del control inmediato de las fuentes de energía a los sistemas. Puede ser difícil influir en el flujo de energía, por ejemplo, en el comportamiento de un robot.

Los operadores de los sistemas automatizados están a menudo en salas de control central, donde procesan información indirecta sobre el estado del sistema. Esta información puede ser errónea, como en el apagón de Nueva York en 1977, donde la falla de un relé ocultó la falla de una segunda línea que parecía normal.

Un lazo de control enmascara la ocurrencia y el desarrollo de un funcionamiento defectuoso porque el regulador trata de corregir los efectos y disturbios inmediatos generados por el problema, por lo menos por algún tiempo. El piloto automático de un Boeing 747 de China Airlines en 1985 compensó una pérdida gradual de potencia en una turbina hasta que alcanzó su límite. El avión perdió 9500 metros de altitud antes de que la tripulación pudiera darse cuenta del problema y solucionarlo.

Los sistemas para ahorrar energía en plantas y procesos es otro ejemplo. La complejidad extra del sistema dificulta el análisis de los problemas y enmascara los posibles síntomas de una falla. El lugar de la planta donde aparecen los problemas no es necesariamente donde ocurrieron.

Gracias a la automatización ha sido posible la centralización de procesos industriales de plantas muy grandes, una decisión errónea producirá un mayor nivel de efecto, sobre todo del sistema en general.

El tiempo promedio para desarrollar un descubrimiento básico en un producto ha disminuido de 30 años al inicio del siglo pasado a cinco años hoy en día. El número de productos y procesos nuevos está creciendo de manera exponencial. Debido a ello hay menos posibilidades de aprender de la experiencia, porque el paso de cambio es demasiado rápido y las consecuencias de fallas son demasiado graves. Los diseños y procedimientos de operación tienen que ser correctos la primera vez.

Como resultado se reemplazan las reglas de diseño empíricas por dependencia de la identificación de peligros y del control. No es conocido cuánta protección ofrecen estos métodos por contraste con los métodos antiguos estándares y basados en la experiencia.

Automatización y la Seguridad

La fiabilidad consiste en la probabilidad de que el sistema presente un buen funcionamiento durante un determinado tiempo, bajo condiciones normales de operación.

Si queremos garantizar que una planta funcione con un nivel aceptable de fiabilidad y seguridad de acuerdo a la tecnología, no queda otra opción que buscar estas opciones dentro de la propia concepción

de diseño de la planta. Dada la existencia del riesgo hay que decidir qué sistemas se deben construir, qué tecnología se les debe introducir y qué sistemas automatizados serán los responsables de la seguridad de la planta. En tal sentido habrá concesiones mutuas entre la seguridad, el rendimiento y otras funcionalidades de la planta.

Por otro lado, los sistemas automatizados permiten a los operadores trabajar más lejos de las áreas peligrosas. Con la eliminación de operadores se eliminan los errores humanos, los posibles errores de los operadores se reemplazan con errores de diseño y mantenimiento, por lo que hay que evitar que los diseñadores produzcan los mismos tipos de errores de los operadores. También, cuando el sistema automatizado elimina el contacto directo del operador con el sistema, se presenta la desventaja que el hombre pierde la información necesaria para generar decisiones.

El operador humano y el personal de automática, representan el elemento central de los más avanzados sistemas de automatización industrial actuales. Estos operadores están sometidos a un aumento de carga física y emocional por el mayor volumen de información y mando que permiten procesar los actuales sistemas de control automático, y por consiguiente están sometidos a fuertes tensiones operacionales ante estrés visual y auditivo en una amplia gama de frecuencias, secuencias de tiempo y permanentes señalizaciones. En los Sistemas de Control Distribuido y los SCADA resulta muy fácil configurar gran cantidad de alarmas. Esto provoca que algunos sistemas generen cantidades de hasta 2 000 alarmas en 24 h durante el funcionamiento normal e incluso más cuando hay anomalías en los procesos. No es de esperar que un humano pueda responder a tal cantidad de alarmas.

El accidente de la planta nuclear de *Three Mile Island* fue objeto de interés para los estudiosos del factor humano como ejemplo de cómo el personal reacciona y se toman decisiones bajo estados de tensión. Quedó demostrado que el accidente fue agravado por las decisiones incorrectas tomadas por los operadores abrumados con la información, mucha de ella inaplicable e inútil, o sea no hubo problemas de diseño de la planta, sino fallas en el mantenimiento y operación de la misma. Como resultado de este accidente, se cambió el entrenamiento de operadores de reactores nucleares. Antes, el entrenamiento se centraba en diagnosticar el problema subyacente. Después, el entrenamiento se dirigió a la reacción ante la emergencia pasando a través de una lista de comprobación estandarizada para asegurarse de que la información brindada por los instrumentos era correcta.

En la mayoría de los sistemas automatizados sean seguros o no, el ordenador se emplea como uno de los medios técnicos por excelencia. Actualmente hay pocos sistemas que no usen computadores para realizar el control o apoyar el diseño. Cada vez más aumenta su introducción en los sistemas peligrosos. Los ordenadores ahora controlan la seguridad de muchos dispositivos críticos, y frecuentemente reemplazan al hardware de seguridad cuando el mismo se bloquea (o si no los reemplazan, los controlan).

En los lazos críticos de control que implican seguridad en su funcionamiento se pueden usar computadoras en diversas funciones:

1. Proveer información a un operador humano a petición.
2. Interpretar los datos y mostrarlos al operador, quien toma las decisiones de control.
3. Emitir los comandos directamente con el monitoreo humano.
4. Eliminar el factor humano completamente.

Es obvio que también hay riesgos cuando las PC's tienen control directo sobre procesos peligrosos, donde otros peligros no tan obvios son:

- Se usan datos generados por software para generar las decisiones críticas de seguridad (por ejemplo, en el control del tráfico aéreo).
- Se usan software en el análisis de diseño (por ejemplo, en CAD/CAM).
- Se guardan datos críticos a la seguridad (por ejemplo, datos del funcionamiento de un reactor) en una base de datos.

El costo de computadores es menos que el de dispositivos analógicos o electromecánicos y proveen más confiabilidad que los dispositivos que reemplazan, disminuyendo el riesgo con respecto a los sistemas mecánicos.

El hardware de las PC es barato. Pero el costo de escribir y certificar software confiable y seguro, más el costo de mantenimiento del mismo sin poner en peligro la confiabilidad y la seguridad, puede ser enorme. Por ejemplo, el software del trasbordador espacial (400 000 palabras) cuesta más de 10 000 000 dólares anuales en mantenimiento.

La seguridad no es una propiedad del software, sino es una combinación del diseño del software y del ambiente en que es usado. Por ejemplo el software para cazas F-16 causó accidentes cuando fue usado en Israel en aviones volados sobre el Mar Muerto, donde la altitud es menor que el nivel del mar; también el software de control del tráfico aéreo usado por muchos años en EE.UU. no se pudo reutilizar en Gran Bretaña. Los desarrolladores norteamericanos habían ignorado el problema de cero grados de longitud.

Frecuentemente se usa el argumento de que el software que genera datos pero que no genera decisiones no es crítico a la seguridad. Puede ser, pero a menudo se confía más en los datos de un computador que en los datos conflictivos provenientes de la observación directa. Más frecuentemente el operador tiene que confiar en datos para los cuales no tiene ninguna manera de chequearlos independientemente.

Las PC tienen todo el potencial necesario para automatizar procesos peligrosos, existiendo muchos argumentos indiscutibles para su empleo. Las mismas permiten un control más preciso ya que pueden revisar parámetros más frecuentemente, efectuar operaciones en tiempo real, y tomar decisiones rápidamente.

Los computadores pueden proveer mejor información a los operadores que cualquier otro medio técnico. Básicamente deben diseñarse para que provean la información adecuada y de una forma más útil que la instrumentación tradicional.

Seguridad y tolerancia fallos

Para mantener una instalación en las debidas condiciones de seguridad, dentro de los límites de su diseño, se deberá establecer un sistema de automatización apropiado, referido a los elementos siguientes:

- Control manual de las operaciones.
- Control automático de las operaciones.
- Sistemas de parada automática y bloqueo.
- Sistemas de seguridad.
- Sistemas de alarma.

A partir de esos elementos, los directivos de la fábrica deberán formular principios de seguridad operativa para toda la instalación industrial de riesgo mayor. Con arreglo a esos principios, la instalación o las operaciones deberían mantenerse siempre en las debidas condiciones de seguridad durante la sucesión de las operaciones siguientes:

- a) Vigilancia de las variables relacionadas con la operación de la planta con el objetivo de localizar las condiciones anormales que requieran un control manual o no de las mismas (sistema de vigilancia); y tras ello
- b) Iniciación de un control automático de las operaciones cuando se rebase un valor límite (sistema de control); y tras ello
- c) Actuación automática para evitar una situación de peligro (sistema de protección).

Las variables que hayan de vigilarse y controlarse dependen del tipo de sistema en cuestión, aunque generalmente suelen ser la temperatura, presión, flujo, proporción de mezcla de sustancias químicas y la variación en la presión o en la temperatura (razón de cambio).

El hardware de medición debe garantizar la calidad y validez del dato medido, y el control automático debe garantizar el funcionamiento fiable de la planta.

Especial atención habría que dedicar a las diferentes fases del funcionamiento del sistema, como la puesta en marcha o la parada.

Referencias Bibliográficas

1. Antonio Creus: *Instrumentacion Industrial*, tomos I y II, 5ta Edición, Mc Graw and Hill, 2004.
2. Anstrong, Hagglund, *PID Controller Theory Design and Tuning*, 2nd Edition, Instrument Society of America, 1995.
3. A. Porras y A. P. Montanero Molina: *Autómtatas Programables. Fundamentos, manejo, instalación y prácticas*, Ed. McGraw Hill, 2000.
4. Audsley, N and A. Burns: “Real-Time System Scheduling.” Department of Computer Science, University of York, January 1990.
5. Bennett, S.: “ Real-Time Computer Control, An Introduction”, Second Edition, Prentice Hall, 1994.
6. C.M. Krishna and K.G. Shin: *Real-Time Systems*, McGraw-Hill, 2007.
7. Crespo, A. y otros: “Curso de Sistemas de Tiempo Real”. DISCA, Universidad Politécnica de Valencia, España.
8. Curtis D. Jonson: *Process Control Instrumentation Technology*, Prentice Hall Editor, 5ta Edición, 638 pp.
9. Doebelin, Ernest O.: *Measurement Systems. Application and Design*, McGraw-Hill International Editions, Fourth Edition, 2000.
10. Douglas M. Considine: “Process, Industrial Instruments and Controls Handbook”. Quinta Edición. Editorial Mc Graw Hill, 2001.
11. G. K. McMillan and D. M. Cosidine: *Process Industrial Instrument and Controls Handbook*, Fifth Edition, Mc Graw-Hill.
12. Herrera F.; F. Rodríguez y P. Neumann: *Proyectos de Automatización*, Editorial Pueblo y Educación, 1990.

13. Hugh, Jack: Dynamic System Modeling and Control (Draft Version 2.4, November 26, 2003) © Copyright 1993-2003 Hugh Jack.
14. Hugh, Jack: “Automating Manufacturing Systems with PLCs” Draft Version 4.5, April 16, 2004. Copyright 1995-2004 Hugh Jack.
15. John W. Web and Ronald A. Reis: *Programmable Logic Controllers. Principles and Applications*, Fifth Edition. Editorial Prentice Hall, 2002.
16. Klein, Mark H. *et al.*: *A Practitioner’s Handbook for Real-Time Analysis*, Kluwer Academic Publishers, 1994.
17. Lawrence T. Amy: *Automation Systems for Control and Data Acquisition*, Editorial Instruments Society of America.
18. Lómov B. y V. Venda: *La interrelación Hombre-Máquina en los Sistemas de Medición*, Editorial Progreso, 1983.
19. Manual del producto PF62.1:DVC5000 (E). “Controladores digitales FIELDVUE para protocolos de comunicaciones para buses de campo Hart o Foundation”. Mayo/2000.
20. Mani, V.S.V. *et al.*: *Instrumentation Devices & Systems*, McGraw-Hill Publishing Company Limited, Second Edition.
21. Marlin, T. E.: *Process control. Designing processes and control systems for dynamic performance*, 2nd Edition, McGraw Hill.
22. Mendiburu Díaz y A. Henry: *Automatización Medioambiental*, Primera Edición, Lima, Perú, 319 pp. 2003.
23. Nancy G. Leveson: *Safeware: System Safety and Computers*. Addison-Wesley, 1995.

24. Phillip Laplante: *Real-Time Systems Design and Analysis: An Engineer's Handbook*, Second Edition, IEEE. CS Press, 2006.
25. Prevención de accidentes industriales mayores. Oficina Internacional del Trabajo. Ginebra. Copyright © Organización Internacional del Trabajo 1991. Primera edición 1991.
26. Sha, Lui. *et al.* "Generalized Rate-Monotonic Scheduling Theory: A framework for Developing Real-Time Systems." *Proceedings of the IEEE*, 82(1):68-82, January 1994.
27. Simatic Report International, "PC and PLC: The Right Answer" Mayo de 1998 Siemens Automation and Drives Group.
28. Thomas o Butcher: "Computer Automation in Manufacturing An introduction", Editorial Chapman and Hall, 1996.
29. Vance J. Van Doren: "PID Still the one". *Control Engineering Journal*, Oct/2003.