

TEMA 4. SISTEMAS DE CONTROL

INDICE

4.1	Controladores.....	2
4.1.1	Introducción	2
4.1.2	Controladores	3
4.1.3	Algoritmo PID	3
4.1.4	Acción del controlador	6
4.1.5	Evolución de los controladores	7
4.2	Sistemas de control.....	8
4.2.1	Antecedentes a los sistemas actuales	8
4.2.1.1	Sistemas de control con panel centralizado	8
4.2.1.2	Sistemas de control con supervisión digital o por computador.....	8
4.2.1.3	Control Digital Directo	9
4.2.1.4	Sistemas a base de relés	9
4.2.2	Sistemas para pequeñas instalaciones	9
4.2.2.1	Control directo por PC.....	9
4.2.2.2	Controladores independientes multilazo.....	9
4.2.3	Sistemas de control actuales	10
4.2.3.1	Introducción	10
4.2.3.2	Características generales de los PLCs y DCS.....	11
4.2.3.3	Arquitectura	12
4.2.3.4	Componentes	13
4.3	Sistemas basados en PLCs: componentes.....	14
4.3.1	Estaciones de control y adquisición de datos	14
4.3.2	Interfase hombre máquina	16
4.3.3	Software	17
4.3.4	Estaciones auxiliares	18
4.4	Sistema de control distribuido: componentes.....	19
4.4.1	Estaciones de control y adquisición de datos	19
4.4.2	Interfase hombre máquina	20
4.4.3	Software	20
4.4.4	Estaciones auxiliares	22
4.5	Comunicaciones	22
4.5.1	Introducción	22
4.5.2	Comunicación híbrida (analógica + digital).....	24
4.5.3	Digital	24
4.6	Tendencias	28

4.1 Controladores

4.1.1 Introducción

Tal y como se comentó en el tema de introducción el control básico se basa en el lazo o bucle de control realimentado. Éste, en el caso de una sola variable, está compuesto por i) un sensor que mide el valor de una variable, la variable controlada o relacionada con ella, ii) por un controlador, que recibe el valor de dicha variable y en función de un valor de referencia y mediante un algoritmo manda una señal, y por iii) un elemento final, normalmente una válvula, que recibe la señal del controlador y realiza una acción sobre el proceso.

El lazo de control realimentado (o "feedback") es el sistema de control en lazo cerrado más sencillo, mediante el que el controlador recibe información sobre la medida de la variable controlada, pudiendo comprobar si la actuación ordenada sobre la variable manipulada ha tenido o no el efecto adecuado, permitiendo su corrección en caso necesario.

El funcionamiento de un lazo en realimentación es independiente de la causa del posible error, tanto se deba a un cambio de consigna como al efecto de una perturbación, el controlador puede maniobrar el proceso adecuadamente.

Dentro de este lazo básico, y de cualquier otra estructura de control, un componente fundamental es el controlador, ya que el buen funcionamiento del sistema está directamente relacionado con una buena definición del controlador.

En el presente capítulo se van a describir a continuación los controladores, los sistemas de control y sus componentes. Tras esta exposición se comentará el último elemento del lazo de control que no ha sido cubierto hasta ahora. Se trata de la transmisión de las señales, la comunicación entre los diferentes nodos que conforman el sistema de control. Se hará un repaso por la evolución de los sistemas de comunicación, desde la comunicación analógica hasta los protocolos actuales de transmisión digital.

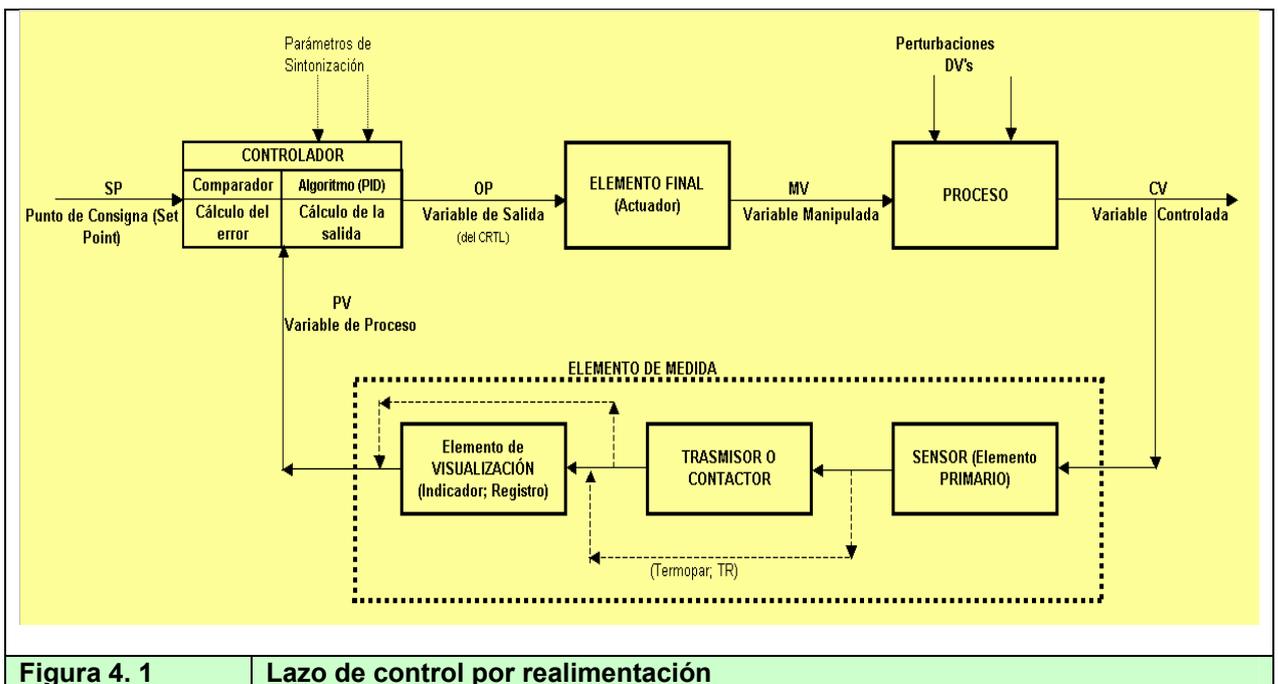


Figura 4. 1 Lazo de control por realimentación

4.1.2 Controladores

Los controladores son procesadores, con sus elementos hardware y software, que calculan la acción de control a aplicar a un proceso mediante algún tipo de algoritmo y utilizando información del proceso a controlar: la variable medida.

Por tanto y dentro de la definición anterior los componentes principales de un controlador son:

Componentes Software:

- Algoritmos de control
- Programas de aplicación

Componentes Hardware:

- Puertos analógicos y digitales de entrada y salida.
- Interfases a las redes (de datos) de control y campo.

La siguiente figura muestra un controlador de la empresa Emerson, concretamente el controlador DeltaV



Figura 4. 2 Controlador DeltaV de Emerson

4.1.3 Algoritmo PID

El Algoritmo de control es la expresión matemática que establece la relación entre la variable de entrada y la de salida de un controlador. Se corresponde con la evaluación de la modificación requerida en la variable manipulada para anular el error detectado sobre la variable controlada.

La forma más sencilla de funcionamiento de un controlador es el control con dos posiciones, o control ON/OFF. En este caso el elemento final se abre o se cierra en función de si se está por encima o por debajo del punto de consigna, también denominado punto de referencia o set point (SP).

Pero el algoritmo más empleado en la industria desde su aparición en la década de los 40 es el denominado PID: Proporcional, Integral y Derivativo, dando un buen resultado en el 95% de las ocasiones.. Es un algoritmo que se aplica a lazo de control de una única variable (SISO, según las siglas de las iniciales inglesas -single input, single output-). Pese a que en su forma más completa realiza las tres acciones, muchas veces no es necesario y se tienen controladores que emplean sólo “una parte” del algoritmo, son controladores Proporcionales (P) y controladores Proporcionales Integrales (PI). A continuación se describe brevemente el efecto de cada una de las acciones del algoritmo.

Acción proporcional.

Realiza una acción de control proporcional al error entre el punto de consigna y la variable controlada.. Puede alcanzar condiciones estables manteniendo una desviación o error permanente (offset).

$$e = SP - VC$$

$$VM = bias + K_c \cdot e$$

Siendo:

- e: error
- SP: punto de consigna
- VC: variable medida, que normalmente coincide con la variable controlada
- VM: salida del controlador, que se corresponde con la variable manipulada
- Kc: ganancia del controlador y
- bias: el valor de salida del controlador cuando el error es cero o el controlador está en manual

La constante de proporcionalidad se denomina ganancia, que es el parámetro fundamental del controlador. Se define como el incremento que sufre la variable controlada ante un incremento de la variable manipulada; su efecto se muestra en las siguientes figuras. Según va aumentando la ganancia la respuesta es más rápida pero también se va haciendo más oscilatoria, hasta que llega un momento en que se hace inestable.

Además, una característica importante del control proporcional es que no llega a alcanzar el punto de consigna especificado. La diferencia entre el valor final que alcanza y el valor del punto de consigna se denomina error permanente u offset. El control proporcional está caracterizado por tener un offset distinto de cero lo cual hace que no sea aplicable en el control de muchas variables.

La razón de la existencia del offset es que la corrección se hace de forma proporcional al error de modo que en cuanto el error sea constante la señal de acción de control será constante, no pudiendo disminuir más el error.

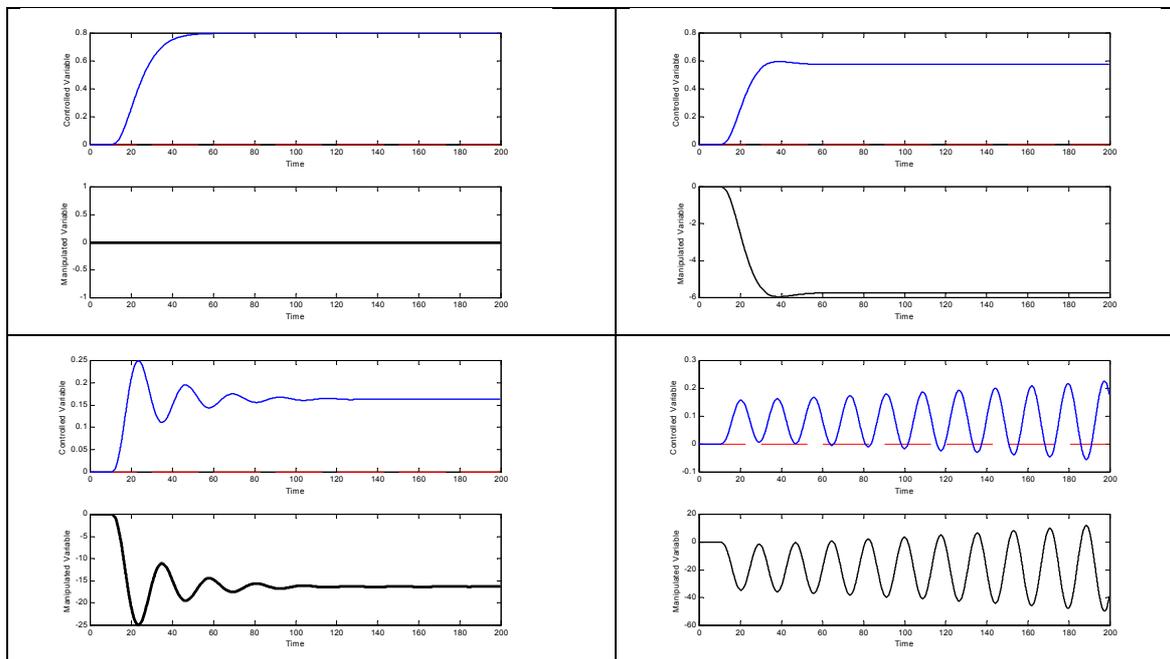


Figura 4.3 Efecto de la ganancia del controlador

Acción Integral.

La acción integral añade un término al algoritmo que actúa en función de la integral del error. Por tanto ésta acción, al incorporar un término con la suma de los errores, sólo se hará constante cuando este término lo sea, y para ello es necesario que el error sea cero. Elimina así el error

permanente pero lleva inherente un cierto retraso en el tiempo respecto a la acción P. La expresión del algoritmo es la siguiente:

$$MV = K_C \cdot e + (K_C / \tau_I) \cdot \int e \cdot dt$$

Siendo τ_I : tiempo integral

La desventaja es que la acción integral empeora la dinámica del sistema. Según disminuye el tiempo integral, la acción es más rápida pero se hace más oscilante y puede llegar a hacer inestable el sistema. La acción PI es un algoritmo empleado en muchas aplicaciones.

Acción derivativa.

Añade un nuevo término de control proporcional a la derivada del error. El objeto es adelantarse a la evolución de la variable, estableciendo una relación lineal continua entre la velocidad de variación del error y la señal de salida. La expresión de la acción queda:

$$MV = K_C \cdot e + (K_C / \tau_I) \cdot \int e \cdot dt + K_C \cdot \tau_D \cdot (de / dt)$$

Siendo τ_D : tiempo integral

Esta acción mejora la dinámica del sistema, pero tiene como inconveniente que amplifica los ruidos por lo que su aplicación vendrá condicionada por este motivo.

Aunque puede resultar evidente, es conveniente explicitar que los valores de MV y e son ambos función del tiempo, es decir, en estricto sentido deberían haberse escrito como MV(t) y e(t) respectivamente

Los tres parámetros que deben ajustarse ó sintonizarse, según el léxico habitual en control de procesos, hasta alcanzar la estabilidad del lazo son: la ganancia K_C , la constante de tiempo integral τ_I y la diferencial τ_D .

La siguiente figura muestra la respuesta ante una perturbación aplicando los algoritmos descritos: P, PI y PID.

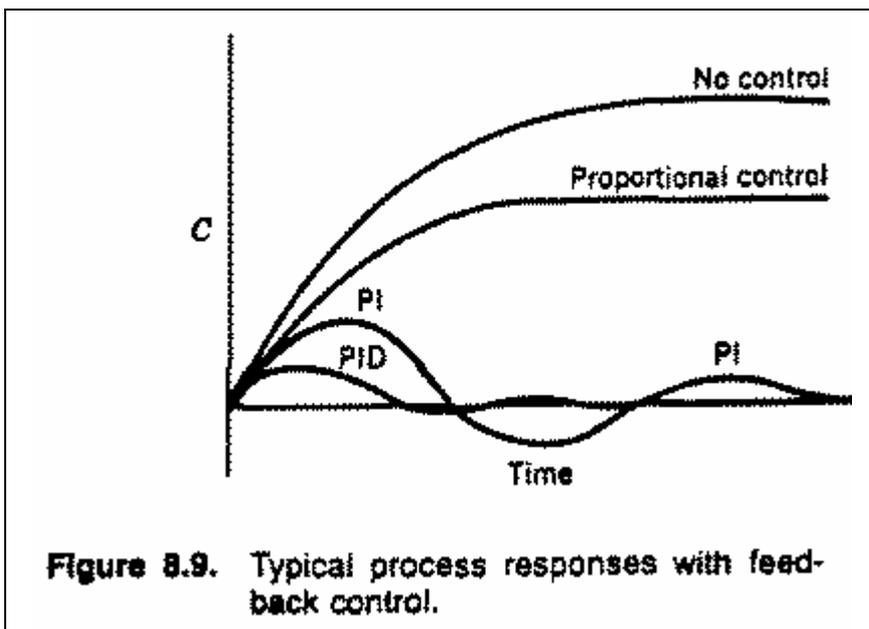


Figura 4. 4 Gráfico comparativo de las acciones P, PI y PID.

La siguiente tabla muestra el uso más típico de cada algoritmo en función del tipo de variable que se quiere controlar.

Lazos básicos	Tipo de algoritmo
Control de presión	PI
Control de nivel	P/PI
Control de caudal	PI
Control de temperatura	PID
Control de composición	PID

4.1.4 Acción del controlador

La acción del controlador puede ser directa o inversa y el funcionamiento del control depende de una correcta selección de la misma. Se dice que el controlador debe realizar una acción directa cuando ante un incremento de la señal del transmisor la señal del controlador debe también incrementarse. Por el contrario se dice que el controlador debe realizar una acción inversa cuando ante un incremento de la señal del transmisor la señal del controlador debe reducirse.

La acción del controlador vendrá determinada por dos factores: el proceso y la acción de la válvula de control ante fallo de aire.

La acción del controlador se ilustra a continuación mediante un caso sencillo. Se quiere controlar el nivel de un depósito mediante el caudal de salida del mismo. La acción de la válvula ante fallo de aire es abrir. ¿Cuál es la acción del controlador? Ante un incremento de la señal del transmisor, es decir, del nivel, la señal del controlador debe de ser aquella que provoque un incremento en la apertura de la válvula. Dado que la válvula ante una señal nula, fallo de aire, abre, tenemos que un decremento de la señal que le llega implica un incremento en su apertura. Por tanto el controlador debe de reducir la señal que manda a la válvula. La acción del controlador debe de ser inversa ya que un aumento de la transmisión ha implicado una reducción de la señal del controlador. Nótese que si la válvula ante fallo de aire en lugar de abrir cierra, la acción del controlador debería ser la opuesta, es decir, directa en este ejemplo.

La siguiente tabla resume la acción del controlador en función de lo que debe hacer la válvula y su acción ante fallo de aire. Nótese que en caso de que la señal del controlador no vaya a un elemento final, como en el control en cascada, lo único que se ha de tener en cuenta será la señal del transmisor y la señal que debe mandar el controlador ante un aumento de la primera. Si en el caso anterior hay un control en cascada como se muestra en la figura, entonces la acción del controlador siempre debe de ser directa, porque ante un aumento del nivel el controlador de nivel debe aumentar su señal de salida de modo que el set point del bucle de caudal sea mayor.

Señal transmisor	Apertura de válvula	Válvula ante fallo	Acción del controlador
Aumenta	Aumenta	Abre	Inversa
Aumenta	Aumenta	Cierra	Directa
Aumenta	Reduce	Abre	Directa
Aumenta	Reduce	Cierra	Inversa

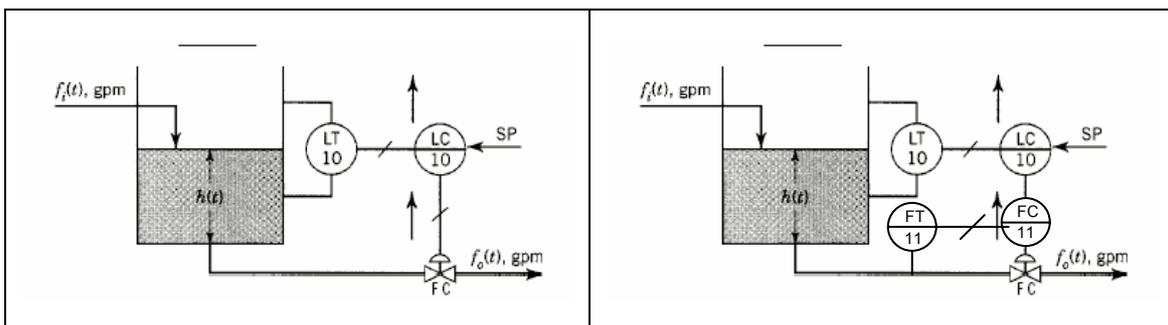


Figura 4. 5 a) y b) Acción del controlador en un lazo simple a) y en cascada b)

4.1.5 Evolución de los controladores

Los primeros controladores que aparecieron en los años 20 eran neumáticos. Se instalaban siempre en campo, cerca de las válvulas y el propio algoritmo de control (PID) se implementaba de forma neumática. A finales de 1930 los controladores se desplazaron a salas de control y se comunicaban con los elementos de campo mediante transmisión neumática. La señal neumática empleada tenía un rango de 3 -15 psig.

A finales de 1950 aparecieron los controladores analógicos electrónicos, donde se reemplazaban los tubos neumáticos por conexiones eléctricas. La acción del algoritmo se implementaba ahora mediante el uso de componentes eléctricos como resistencias, capacitancias y transistores. A finales de los años 70 ya habían desplazado completamente a los controladores neumáticos. Estos controladores electrónicos permitían implementar técnicas más avanzadas de control como el control por ratio, el control por adelanto, etc. La señal de transmisión pasó de la neumática 3 -15 psig a la eléctrica 4 - 20 mA, excepto para la actuación de las válvulas de control.

Posteriormente, con la aparición de los primeros computadores, se vio la gran aplicabilidad de los mismos al control. Sin embargo, al principio, los computadores no se emplearon directamente como controladores sino con otras funciones directamente relacionadas con el control tal y como se comenta en el siguiente punto. En la actualidad los controladores son computadores que pueden ir desde ordenadores personales en instalaciones pequeñas a rápidos microprocesadores integrados en una única plataforma.

La siguiente tabla muestra los tipos de controladores existentes en función de la aplicación o sistema de control en que se encuentren.

TIPOS DE CONTROLADORES	
Tipo	Comentario
Analógicos (neumático o electrónico)	Actualmente en desuso. Se localizaban aislados o en paneles de control, tradicionales entre 1920 y 1970.
Multilazo digital	Para pequeñas instalaciones. Control simultáneo y programable de cierto número de lazos independientes
Control distribuido (DCS)	Sistema de control digital configurable que consta de 1) Tarjetas de microprocesadores que ejecutan el algoritmo de control de un nº limitado de lazos (8, 16, 64...), 2) Tarjetas de E/S de datos A/D 3), Interfaz con el operador basada en pantalla + teclado y 4) Canal de comunicaciones. De uso en plantas con predominancia de controles de variables continuas (variables analógicas), es decir, caudales, temperaturas, presiones, etc.
Autómata programable (PLC)	Sistema de control digital programable que consta de: 1) CPU que ejecuta un ciclo de medidas - acciones de acuerdo con una secuencia programada en un tiempo del orden de ms 2) Tarjetas de E/S de datos A/D. De uso en plantas con predominancia de control de variables toda-nada (variables digitales), es decir, arranque y parada de motores, cierre y apertura de válvulas, etc.
Control por PC	Ordenadores personales con tarjetas de entrada/salida. Algoritmo de control ejecutado por el PC. Para pequeñas instalaciones con riesgos de interrupción limitados como plantas piloto

Tabla 4. 1

4.2 Sistemas de control

4.2.1 Antecedentes a los sistemas actuales

4.2.1.1 Sistemas de control con panel centralizado

La primera tendencia hacia la centralización de los sistemas de control se inicia con la instalación de paneles de control centralizados, que ubicaban, en grandes paneles longitudinales, todos los elementos individuales de indicación, registro y regulación de una planta o unidad. Los elementos de indicación fueron inicialmente diales analógicos, incorporándose indicadores digitales sólo en los últimos tiempos de utilización de paneles. Los elementos de memorización o registro son sistemas gráficos de representación sobre un papel que se mueve mecánicamente sincronizado a cierta velocidad. La impresión se efectúa mediante plumillas de trazo continuo o mediante impresión discreta punto a punto, utilizándose diferentes colores para diferenciar cada variable. Los controladores, neumáticos o con electrónica analógica, son siempre de una sola variable controlada y una sola manipulada (SISO). Las enormes dimensiones del panel, en plantas de cierta importancia, exigen la presencia de numerosos operarios, llamados panelistas, que atienden los valores mostrados por los indicadores y actúan sobre las consignas de los controladores a la vez que anotan periódicamente los distintos valores de las variables principales en hojas de marcha. El panel requiere pues una atención de personal importante, en parte impuesta por su propia distribución física, y no facilita la gestión de datos, que se ha de efectuar manualmente, prestándose a errores de anotación, y con una extensión lógicamente limitada. La operación está también limitada por las características de los controladores utilizados, con mínima flexibilidad y limitación de unas estrategias que, establecidas por hardware, no son fácilmente modificables.

4.2.1.2 Sistemas de control con supervisión digital o por computador

Desde el mas incipiente desarrollo de los ordenadores digitales (la primera aplicación de un computador digital fue en una refinería en 1959) fue manifiesta la gran potencialidad de aplicación de los mismos como complemento de las prestaciones de la instrumentación de panel en tareas de supervisión, desde aquellas mas elementales como recopilación de información, elaboración de informes, realización de balances, etc. hasta las de mayor nivel como la supervisión y control de puntos de consigna. Estos sistemas mantenían fundamentalmente las tareas de control encomendadas a la instrumentación analógica de panel, de la que se extraía información mediante una interfase analógica/digital (A/D), con objetivo de vigilancia, siendo, en general, mínimas las aplicaciones que incluían también actuación sobre puntos de consigna: objetivo de supervisión. El alto coste de los ordenadores en la época en que se comenzó a implementar estos sistemas, su relativamente baja fiabilidad y la por desgracia frecuentemente precaria preparación del personal de producción en temas informáticos contribuyeron al abandono en cierta forma prematuro de esta técnica.

La Figura 4. 6 ilustra las funciones del control

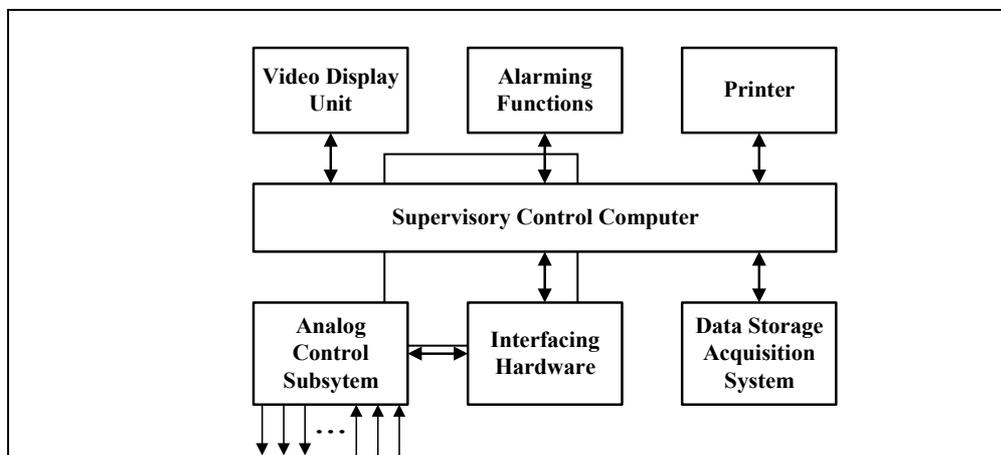


Figura 4. 6 Sistema de control con supervisión por computador

4.2.1.3 Control Digital Directo

La reducción de costes, relativa a la época, la confianza creciente y la apuesta de futuro por la utilización de ordenadores en niveles de producción desemboca en un nuevo concepto de sistemas de control: Todas las tareas lógicas se encomendarán a un único ordenador central que actuará como controlador de todos los lazos existentes, esta concepción se denominó Control Digital Directo (DDC de las siglas en inglés - Digital Direct Control-). El ordenador centraliza la recepción de todas las señales de medida, mediante los adecuados multiplexores y convertidores A/D, procesa los diversos algoritmos de cada lazo de control y reenvía a campo la señal adecuada a cada elemento final, generalmente una válvula, mediante convertidores D/A. De esta forma se elimina la multiplicación de dispositivos locales o de panel cubriendo la misma funcionalidad, permite una mejor gestión de información, con acceso a labores de supervisión similares o superiores a las descritas anteriormente y ofrece posibilidades de control de más alto nivel (algoritmos más complejos). Como contrapartida presenta una serie de inconvenientes de los que pueden destacarse el volumen, todavía muy elevado en los ordenadores de la época, su alto precio y sobre todo su escasa fiabilidad como para hacer depender de un sólo elemento todas las labores de control de un proceso, y por tanto la producción en sí. Las posibilidades de redundancia pasaban, con la arquitectura descrita, por la necesidad de duplicar el ordenador central, o simultáneamente con instrumentación analógica convencional, lo que incurría en costes inabordables o de rentabilidad difícil de justificar en la mayoría de los casos.

4.2.1.4 Sistemas a base de relés

El sistema paralelo, en procesos discretos o discontinuos, a los paneles centrales de control utilizados en procesos continuos, lo constituían los armarios de relés. En éstos se establecía, mediante cableado, la lógica de actuaciones todo-nada para la apertura-cierre de válvulas, paro-marcha de motores, etc., con la cadencia y temporización adecuadas, incorporándose además, siempre mediante cableado, los enclavamientos necesarios.

4.2.2 Sistemas para pequeñas instalaciones

Bajo esta denominación se incluyen aquellos sistemas utilizables cuando, ponderando su tamaño (reducido), complejidad y grado de criticidad, no se considera idónea la utilización de los sistemas distribuidos descritos más adelante.

4.2.2.1 Control directo por PC

La creciente capacidad de los PC's posibilita la decisión de encomendarles directamente las labores de control, es decir la ejecución directa de la lógica de control y la actuación sobre los elementos finales, mediante las interfases adecuadas. Esta utilización del PC es pues similar a la descrita como DDC entre los antecedentes de los sistemas de control modernos. El soporte físico se constituye por un PC con un software de adquisición de datos y control, denominado genéricamente SCADA (de las siglas inglesas Supervisory Control And Data Acquisition) y una adecuada interfase para las entradas y salidas (E/S) de las señales de campo, a base de multiplexadores y convertidores A/D y D/A. Los procesos que utilizan esta solución normalmente no incluyen lazos de control continuos sobre los que haya de ejecutarse un algoritmo, pero, en su caso, podría incluso ejecutarse éste, en número limitado, en el propio procesador del PC. El punto débil de este esquema radica en la debilitada fiabilidad del sistema al hacerle depender del procesador de un PC (normalmente único y no muy robusto). Por ello no resulta recomendable, ni habitualmente utilizable, para la mayoría de las plantas de proceso, con excepciones como plantas piloto o plantas con funciones de control de reducida responsabilidad. En cualquier otro caso la opción a considerar debería ser la utilización de PLC's para las labores de control y la dedicación del PC a las tareas exclusivamente de monitorización, es decir, una solución que se describe en los puntos siguientes.

4.2.2.2 Controladores independientes multilazo

Este tipo de controladores constituye la nueva generación del controlador de panel descrito como antecedente. Las posibilidades de la electrónica han posibilitado que esta generación de controladores electrónicos (digitales por supuesto) sea capaz de gobernar simultáneamente un número de lazos superior a 1, razón por la que se construyen normalmente en dicha configuración multilazo, aunque siguen construyéndose los tradicionales controladores para un lazo único. Hoy en día la utilización habitual de estos dispositivos se reduce a pequeñas aplicaciones, no integrales, en las que el número de señales es suficientemente reducido como para no justificar sistemas más complejos. La visualización de las variables medidas y los parámetros de control se puede realizar mediante una pequeña pantalla o visor localizada sobre el propio controlador, frecuentemente instalado en campo. La mayoría de las plantas químicas o afines exige un número de señales superior a las que justificarían la selección de un sistema de las características mencionadas por lo que su empleo no resulta demasiado frecuente en esos ámbitos, salvo aplicaciones aisladas.



Figura 4.7 Controladores independientes multilazo

4.2.3 Sistemas de control actuales.

4.2.3.1 Introducción

Como herederos de los sistemas descritos como antecedentes surgen en los años 70, coincidiendo con el poderoso desarrollo de los procesadores basados en semiconductores, los Sistema de Control Distribuido, orientados al control de procesos continuos y los Automatas Lógicos Programables orientados al control de operaciones todo-nada, tanto en plantas de procesos discretos como continuos. Ambos resuelven satisfactoriamente la mayoría de los inconvenientes destacados de los sistemas primitivos. Los sistemas DCS tienden esencialmente al control global de un proceso mientras que los PLC's se conciben, al menos inicialmente, desde una óptica mas limitada para atender pequeños sistemas locales englobados o no jerárquicamente en otros mas complejos (por ejemplo sistemas con varios PLC's o PLC's encuadrados en un DCS). La clasificación DCS / PLC, definida en función de su orientación, estuvo claramente diferenciada en los orígenes de ambos sistemas, en los términos anteriormente definidos. En su evolución posterior los fabricantes de DCS incorporaron progresivamente elementos para la actuación todo-nada, en realidad mediante la combinación del DCS con PLC's dentro de una misma arquitectura de control. Por otro lado los fabricantes de PLC's incorporaron a sus equipos mas avanzados funciones de control de lazos analógicos, dotándoles de prestaciones crecientemente equiparables a las del DCS, contribuyendo a una cierta confusión en los límites de separación entre ambos sistemas. Por estas razones en el planteamiento posterior se ha tratado de definir, hasta donde ha sido posible, todos los elementos comunes a ambos sistemas, haciendo abstracción del elemento base de control que pudiera diferenciarlos. Las aplicaciones de PLC's a tareas "menores", como las específicas de secuenciación de operaciones todo-nada, posicionamiento, conteo o dosificación, etc., pero no sujetas a monitorización ni integradas en sistemas de control globales de plantas de proceso, quedan fuera del ámbito principal del presente texto y se mencionan sólo colateralmente, aunque no deje de resaltarse su importancia en número y trascendencia. Antes de continuar convendría aclarar el significado del atributo "distribuido", en realidad aplicable en el contexto del presente texto tanto a los sistemas de DCS como a aquellos basados en PLC's. Dicho atributo surge de la idea clave que caracteriza a ambos sistemas: Distribuir una aplicación de control de gran tamaño, gran panel, gran ordenador central, en

diversos subsistemas cada uno de los cuales ejecuta una parte de la aplicación, con capacidad de comunicarse entre sí, lo que permite una central de supervisión única con acceso a información de los diversos subsistemas. En la práctica esta "distribución" se manifiesta en una doble realidad: Una distribución funcional frente al control centralizado (DDC), concretada en la utilización de múltiples microprocesadores cada uno de los cuales atiende digitalmente el control de un número limitado de acciones; y una distribución geográfica caracterizada por la localización de armarios que contienen conjuntos de elementos de control y adquisición de datos más próximos a la ubicación del proceso controlado, con la consecuente reducción del cableado entre campo y dichos armarios. La concepción "distribuida" no impide por otra parte que los distintos armarios de control se comuniquen con una única sala de control "centralizada". Esta distribución geográfica frecuentemente presenta como inconveniente la localización de elementos electrónicos en áreas de proceso, no dotadas de los adecuados sistemas de climatización (control de temperatura, humedad, polvo) lo que puede incrementar los problemas de mantenimiento. Esta contradicción hace que cuando los sistemas no están suficientemente adaptados para ambiente industrial, esta distribución geográfica no se lleve a cabo.

4.2.3.2 Características generales de los PLCs y DCS

Junto a la característica de la distribución, los sistemas de control modernos basan su hegemonía en las siguientes características que demostraron su supremacía frente a otras alternativas:

Funcionamiento digital: Frente a los sistemas de relés y a los controladores analógicos neumáticos o electrónicos el DCS o los PLC's (igual que anteriormente el DDC) presentan un funcionamiento digital con todas las ventajas inherentes al tratamiento e intercambio de información. Sin embargo introduce una preocupación no presente con los controladores analógicos tradicionales: el tiempo de ciclo, exploración o muestreo. La señal analógica de proceso, intrínsecamente continua, se ha de discontinuar en sucesivas lecturas puntuales, lo suficientemente próximas como para inferir su valor, por interpolación, entre dos lecturas sucesivas. El tiempo de exploración, tiempo entre lecturas consecutivas de la misma variable, dará indicación de la calidad del seguimiento de la misma, que puede llegar a ser fundamental en algunos valores críticos de procesos continuos.

Características configurables: La utilización de microprocesadores permite el diseño de sistemas basados en tarjetas universales, cuyas características: algoritmo de control, topología del lazo, sintonización, definición de entradas y salidas, se definen en cada caso mediante programación. Esta programación puede efectuarse mediante código, lo más habitual en los PLC's o en base a seleccionar las opciones deseadas de una biblioteca de posibilidades incluida en el propio sistema por el fabricante; esta última forma de programación elemental, habitual en los DCS, se denominada **configuración** y facilita enormemente las labores de mantenimiento, modificación o actualización de la aplicación en función de nuevas necesidades o características o del progresivo mejor conocimiento de las peculiaridades de cada unidad.

Fiabilidad: La distribución de las tareas de control entre diversos elementos o subsistemas disminuye el riesgo de caída global del sistema completo. El mismo concepto de distribución permite seleccionar el grado de redundancia adecuado en función de la criticidad de la actividad controlada o automatizada.

Facilidad de ampliación: Por su propia concepción dividida en subsistemas se permite una fácil ampliación de la aplicación, al ser fundamentalmente modular. En efecto, la incorporación de una nueva unidad puede hacerse sobre el mismo sistema añadiendo sobre el mismo bastidor las tarjetas adicionales necesarias. Así se permite su fácil escalabilidad o adecuación a las crecientes o variables necesidades del proceso.

Compatibilidad: Corrigiendo errores cometidos en sus comienzos, cada vez resulta más garantizada la real compatibilidad de unos equipos con otros, bien nuevas generaciones dentro de una misma marca comercial bien equipos de distintos fabricantes que han optado por configuraciones "abiertas". Dentro de este capítulo se presta especial atención a la capacidad de transferir gráficos, texto y datos entre distintos sistemas o aplicaciones.

Integración: Que se manifiesta en una doble vertiente. 1. Integración vertical: incorporación en una sola estructura de los diversos niveles jerárquicos de control, nivel básico o regulatorio, nivel de

proceso, nivel de planta y nivel de negocio corporativo. Dentro de la integración de nivel básico se atiende a la incorporación de elementos convencionales, HART y de bus de campo. 2. Integración horizontal: incorporación en una sola estructura de control de los aspectos de control regulatorio, eléctricos, de mantenimiento y de proceso, como cálculos, balances, optimización), etc.

Ciclo de vida: Los sistemas de control modernos contienen prestaciones que atienden al ciclo de vida completo de las plantas, desde su concepción y planificación hasta la ingeniería, comisionado, entrenamiento de personal, operación y mantenimiento.

Seguridad: Los elementos con seguridad intrínseca deben incorporarse sin especiales restricciones al esquema de control general.

Simplicidad: La sencillez de operación se debe combinar con la de configuración. A este respecto resulta relevante la existencia de bibliotecas de símbolos, bloques y formatos de pantalla.

Conectividad: Es importante la capacidad y viabilidad de conexión con distintas aplicaciones de Tecnología de la Información que vinculan el mundo de la gestión con el de la operación tales como aplicaciones de "Management Information System" (MIS), "Enterprise Resource Systems" (ERS), "Manufacturing Execution Systems" (MES), SAP, o, en general, con cualquier aplicación informática avanzada.

4.2.3.3 Arquitectura

La definición de la arquitectura de los sistemas de control se debatió durante mucho tiempo entre las opciones de propietario y los sistemas abiertos. Un sistema de control se denomina abierto cuando está formado por elementos estándar: interfase con el operador mediante ordenador personal o estación de trabajo, sistemas operativos estándar y protocolo de comunicaciones normalizado (por ejemplo Windows y Ethernet TCP/IP, respectivamente). Hoy en día la mayoría de los fabricantes han optado por los sistemas abiertos dada la clara preferencia de los usuarios hacia éstos. Los sistemas abiertos permiten (o persiguen) la compatibilidad de equipos y la compatibilidad de aplicaciones. Los fabricantes de sistemas de control optan por integrar en sus arquitecturas elementos estándar desarrollados por otros, con lo que el esfuerzo de su actualización, que consume importantes recursos en investigación, recae en esos otros (fabricantes de ordenadores, desarrolladores de software) y es, además, compartido. Más en concreto los sistemas abiertos permiten:

- Facilidad de expansión, sustitución e integración sin problemas de equipos y software de diversos fabricantes.
- Actualización de sistemas operativos y del software estándar soporte de las aplicaciones de control.
- Transferencia de datos en base a estándares.
- Comunicación de datos entre diversos sistemas operativos



Figura 4. 8 Sala de control. Diseño del fabricante Yokowaga

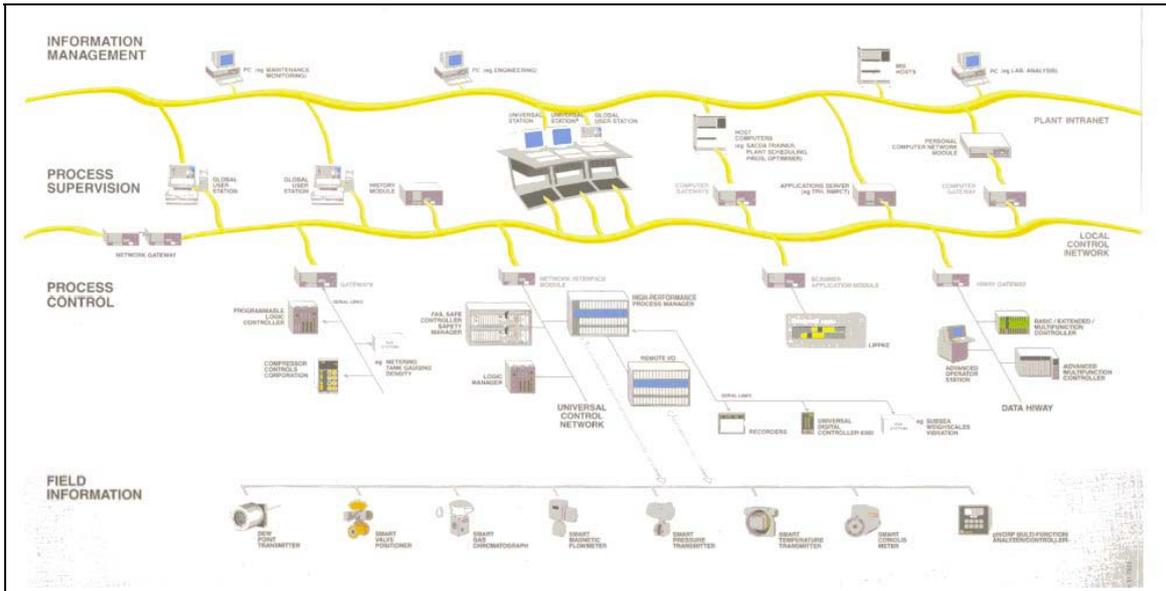


Figura 4.9 Arquitectura de control distribuido "Total Plant" de Honeywell

4.2.3.4 Componentes

Conceptualmente los componentes básicos tanto de un DCS como de un sistema basado en PLC's coinciden en los siguientes cuatro elementos:

A. Estaciones de control y adquisición de datos: Constituido esencialmente por un bastidor en el que se incorporan las tarjetas de control (circuitos basados en microprocesadores), tarjetas de entradas/salidas (I/O), tarjetas auxiliares y fuente/s de alimentación.

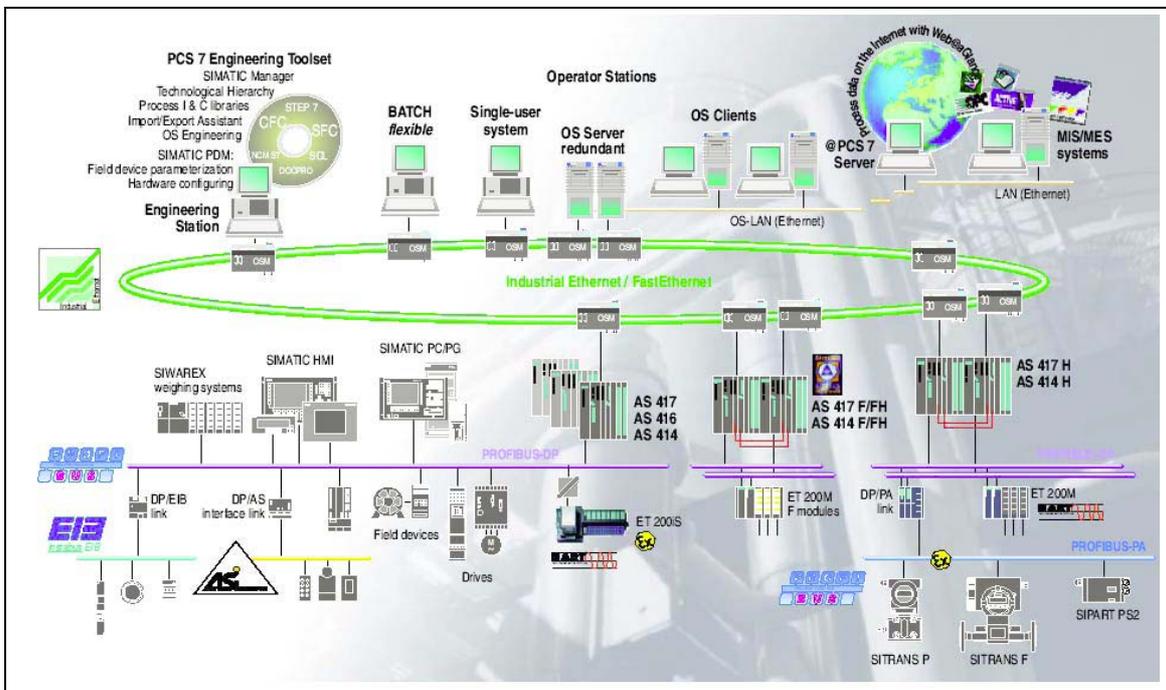


Figura 4.10 Arquitectura de control basada en PLCs de Siemens

B. Interfase/s hombre/máquina (MMI - de las siglas inglesas Man Machine Interfase): Constituida esencialmente por monitores y teclados que permiten, respectivamente, la recepción de información del proceso por el operador y el envío de consignas de éste al proceso.

C. Software de configuración/programación del sistema: Definición de las I/O, estrategias y/o secuencias de control, selección de algoritmos y representación en el MMI.

En los sistemas de control modernos prácticamente toda la definición de características del sistema se efectúa mediante software. Este software podrá correr sobre máquinas que formen parte del sistema de control o sobre ordenadores ajenos al mismo utilizados temporalmente. Dado el gran número de características a definir, el software involucrado es numeroso y complejo. Esta tendencia se manifiesta especialmente en los PLC's, cuya amplia gama de fabricación - aplicación con muy diferentes capacidades y prestaciones, exige una adecuación del software a éstas.

En líneas generales la programación de los PLC's se lleva a cabo en lenguajes de mas bajo nivel, con mayor flexibilidad para efectuar un trabajo a medida, pero a la vez con mayor dificultad lo que implica mayor tiempo de desarrollo de la aplicación. En los DCS la tónica general es la de disponer de un software programable en lenguaje de alto nivel, mediante la selección de opciones de una lista predefinida (fill-in-the-blanks), es decir, lo que se ha dado en llamar configuración según ya se ha comentado en párrafos anteriores. De esta forma, la definición de la aplicación resulta mucho más rápida pero se ha de ceñir a las opciones dispuestas por el fabricante. Por estas razones se van a discriminar las características y funcionalidad del software orientado a PLC's de aquél destinado a DCS.

D. Estaciones auxiliares: Bajo esta denominación se ha pretendido agrupar aquellas estaciones destinadas a funciones complementarias como gestión de comunicaciones o funciones de ingeniería, que, dependiendo de la marca comercial, forman o no parte del sistema de control y son optativamente seleccionadas por el usuario.

Entre los criterios de selección entre las distintas ofertas del mercado ha de atenderse al tamaño máximo necesario para el sistema, es decir el número de estaciones de control y adquisición de datos, número de estaciones de monitorización (MMI) y la velocidad de transmisión de datos requerida.

4.3 Sistemas basados en PLCs: componentes

4.3.1 Estaciones de control y adquisición de datos

En su concepto más clásico, como ya se ha dicho, el PLC está orientado a la automatización de procesos con predominio de señales todo - nada. Se conciben como elementos **muy robustos**, casi siempre para soportar ambiente industrial, fiables, capaces de aplicarse en operaciones críticas incluso de alto riesgo, y **autónomos**, mantienen el control de la operación con independencia de potenciales fallos en el resto de los elementos del sistema como red de planta, visualización, etc.

Dentro de la enorme diversidad de modelos de PLC's pueden abstraerse como características comunes la utilización de un bastidor que aloja una fuente de alimentación y una serie de tarjetas con diversas funcionalidades, entre las que siempre ha de figurar, al menos, una tarjeta básica, dotada con la unidad central de proceso (CPU) que proporciona la capacidad de programar el sistema. Los modelos más elementales pueden englobar los elementos citados en un paquete compacto, es decir, fijo y no ampliable.

En el terreno de la automatización de procesos discretos ("manufacturing") el PLC no tiene competencia y su utilización es universal. En el mundo de la industria química y afín destaca su aplicación en aquellos procesos, típicamente por cargas o mixtos, en los que en el conjunto de acciones de control, el número y, sobre todo, complejidad de tratamiento de las señales continuas (analógicas) no resultan excesivos, si bien, como se ha indicado anteriormente, las diferencias son cada vez más ambiguas. Como ejemplos de utilización típica de sistemas de control basados en

PLC's pueden citarse las Fábricas de Pulpa y Papel, Acerías, Polímeros (PE,PP,PS), Gases, Alimentación y bebidas, Azucareras, Química fina y Farmacia.

Las funciones encomendadas al PLC, recepción y envío de señales a campo, cálculos, disparo de alarmas, etc., se programan, mediante una maleta auxiliar de programación, en realidad un ordenador, que se conecta temporalmente al sistema.

El tiempo requerido por el PLC para ejecutar secuencialmente el conjunto de órdenes programadas se denomina ciclo. El tiempo de ciclo máximo aceptable dependerá de la criticidad de las medidas o comprobaciones exigidas. En un proceso continuo, en el que las variables pueden cambiar rápidamente y pueden originar situaciones peligrosas, los tiempos de ciclo máximos recomendables debería situarse en el entorno de los 300 - 500 ms, similares a los de exploración de un sistema de control distribuido, que se describe mas adelante. Para control o supervisión de operaciones que involucren sistemas rápidos, movimientos de máquinas, por ejemplo, los tiempos han de ser mucho mas cortos, para lo que se han de utilizar tarjetas especiales que se comentan a continuación. El tiempo de ciclo depende tanto de la complejidad como del número de instrucciones programadas. El número máximo de señales de entrada/salida digitales y/o analógicas oscila desde 8 en los modelos compactos hasta 5000 en los más potentes.

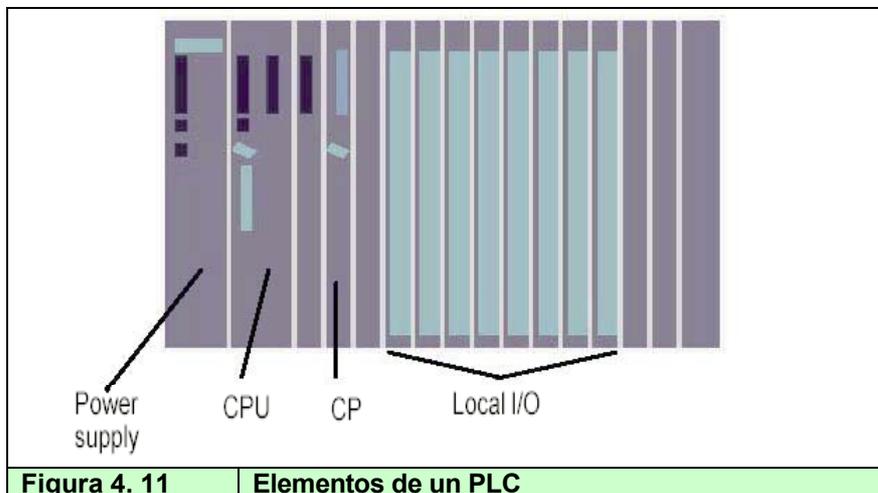


Figura 4. 11 Elementos de un PLC

Con objeto de establecer una referencia que sirva de comparación entre los distintos modelos o fabricantes se suele hablar de tiempo de ejecución por cada 1 Kb de instrucciones binarias, que puede oscilar desde 0,5 a 100 ms. Para adecuar dicho tiempo de ciclo al requerido se deberá conjugar adecuadamente la selección de la potencia y velocidad del modelo de CPU.

Tarjeta central o CPU.- Integrantes típicos de esta tarjeta son: El microprocesador (en los modelos mas avanzados de 32 bits), módulos de memoria EPROM y RAM (desde 8 Kb hasta algunos Mb), reloj calendario con batería y conectores de conexión con periféricos.

Tarjetas de entradas (E) y salidas (S).- Se encargan de la comunicación con campo mediante la recepción y/o envío de señales. Cada tarjeta puede ser sólo de E, sólo de S o E/S pudiendo ser, en cualquiera de los tres casos, señales analógicas (termopar, termorresistencia, 4 - 20 mA, 0 - 10 V, etc) o digitales (24 ó 48 V dc, 24 -230 V ac, etc). Suelen diferenciarse dos tipos de señales, las normales y las de interrupción. Estas últimas interrumpen la ejecución del ciclo para su procesamiento inmediato, disparando una rutina preestablecida, por lo que resultan de gran interés en acciones relacionadas con la seguridad. Dado que la operación interna del PLC es siempre digital, las entradas o salidas analógicas han de pasar por una conversión A/D o D/A, respectivamente, normalmente a través de un multiplexador.

Tarjeta de comunicaciones.- Las comunicaciones entre PLC's pueden efectuarse punto a punto o por medio de una red local. El primer caso afectará a aquellas aplicaciones más sencillas en las que la necesidad de intercambio de información resulte limitada.

Tarjetas inteligentes.- Bajo este epígrafe genérico se agrupan aquellas que van dotadas de un microprocesador auxiliar que efectúa un preprocesamiento de las señales, reduciendo la carga del

microprocesador de la tarjeta básica. Esta arquitectura permite además independizar el tiempo de exploración de estas tarjetas del tiempo de ciclo del conjunto del sistema, permitiendo su adaptación a las necesidades del proceso. Dentro de este grupo figuran típicamente las siguientes:

Tarjetas de regulación: Para lazos de control con, por ejemplo, PID, control todo-nada de 2 ó 3 puntos; con entrada de termopares, termorresistencias, 4-20 mA, etc. y salidas digitales o analógicas, según la aplicación. El número de lazos atendidos por cada tarjeta varía según el suministrador pero suele ser limitado (1 - 4). Como alternativa a la utilización de este tipo de tarjetas, para un número limitado de lazos, puede programarse el algoritmo de control dentro de la CPU, ejecutándose con la frecuencia deseada mediante interrupciones del ciclo. El tiempo de ejecución del algoritmo es mínimo, por lo que estas interrupciones no son especialmente gravosas para el tiempo de ciclo total.

Tarjetas de posicionamiento rápido: Orientadas al control de recorrido y coordenadas de un elemento móvil dotado de algún dispositivo de lectura de posición, por ejemplo, captadores de posición ("encoders") absolutos o relativos.

Tarjetas para dosificación: Dentro de las diversas posibilidades de este tipo de tarjeta puede describirse la típica de dosificación, que permite sucesivamente un control basto y otro fino, accionando las válvulas o motores adecuados. Se monitorizan así mismo cierto número de señales de advertencia sobre anomalías, disponibilidad, cumplimentación de objetivos, etc.

Otras tarjetas: Tarjetas de conteo de pulsos, de control analógico de velocidad, de preprocesamiento de E/S (Para el procesamiento rápido de señales de E/S con independencia de la CPU), etc.

4.3.2 Interfase hombre máquina

La importancia de esta faceta del sistema de control radica en la necesidad de acceder en tiempo real a gran cantidad de información, para su visualización y control. La eficacia de un determinado sistema se condiciona a la calidad de esta interfase que canaliza el flujo de información desde el proceso al usuario y permite a éste gobernar el proceso enviando consignas al mismo. Una concepción moderna del MMI debe orientarse al concepto de ventana única, concepto que radica en la posibilidad de acceso a la información requerida por cada usuario a través de un sistema único de monitorización, si bien cada usuario recibe sólo la información que necesita y está autorizado a obtener y la obtiene en el formato mas adecuado para su utilización. La ventana única permitirá, por ejemplo, al operador el acceso a datos en tiempo real e históricos, al ingeniero le dará la posibilidad de configurar las bases de datos, construir gráficos o preparar programas, mientras que el técnico de mantenimiento podrá evaluar prestaciones de cada equipo o acceder al diagnóstico de fallos. El permiso para acceder a cada nivel podrá estar establecido mediante un mecanismo de llave o mediante una clave o "password". La interfase con el operador puede establecerse únicamente a nivel de planta, teniendo el operador acceso desde su consola a la totalidad de las unidades o secciones de la planta en cuestión o fraccionarse estableciéndose un eslabón intermedio en la cadena de control normalmente denominado estación local. En cuanto al soporte físico en el que se materializa la interfase la tendencia es hacia la utilización de terminales estándar tipo estación de trabajo u ordenador personal, frente a las estaciones de operación de propietario antes usadas. La visualización se establece mediante un monitor color de alta resolución.



Figura 4.12 | **Interfase hombre máquina**

Como características principales a tener en cuenta al seleccionar una interfase de operación podrían resaltarse los siguientes:

- Gráfica dinámica interactiva (visualización gráfica en tiempo real: por ejemplo el nivel de cada recipiente se percibe gráficamente de acuerdo con su valor real), calidad de alta resolución (pantallas de selección 3D), facilidad de generación/modificación de gráficos y visualización orientada a objetos (la selección de un objeto en pantalla permite el acceso a sus atributos) .
- La posibilidad de importación de diagramas generados con sistemas de CAD estándar (Autocad por ejemplo)
- Facilidad de utilización: rápido aprendizaje
- Capacidad de jerarquización de la información para asignar prioridades en función de la criticidad.
- Discriminación de información y/o alarmas críticas, es decir, filtrado de alarmas o información críticas.
- Capacidad de visualización múltiple (multiventana) en tiempo real (multiproceso)
- Todas las ventanas permanecen simultáneamente activas.
- Capacidad de definición de las características (tamaño, posición, etc) de cada ventana.
- Gestión de aplicaciones auxiliares: Generación de informes, estudio paralelo de históricos/tiempo real con selección de escalas independientes, control estadístico de proceso o SPC (de las siglas en inglés Statistical Process Control), gestión de laboratorio, registro de eventos, etc.
- Integración de sistemas de autodiagnóstico tanto del proceso como del sistema (para mantenimiento por personal de producción), preferiblemente a nivel de componente (discriminación de problemas en E/S, comunicaciones, secuencias eléctricas, etc.)
- Base de datos del proceso en SQL
- Integración con hoja electrónica
- Pantalla sensible o posicionamiento mediante ratón.

4.3.3 Software

Los distintos tipos de Software empleados pueden englobarse en los siguientes grupos:

Software para la programación de lógica.- Sistema de programación con instrucciones lógico-aritméticas, orientado a la definición de los esquemas de contactos y funciones, lista de instrucciones y en general secuenciación de acciones de control (motores, válvulas todo-nada...).

Para ello se manejan selectores, temporizadores, comparadores, contadores, integradores, puntos de disparo. Resulta de importancia la facilidad de indicación de fallos, ejecución condicionada de programas, selección del tiempo de ciclo para subprogramas, etc. Por último deben facilitar el manejo de números enteros o reales y álgebra booleana. Paralelamente al sistema de programación se requiere un sistema de representación gráfica que permita la impresión de los diagramas lógicos y un sistema que facilite la generación de documentación de operación y puesta en marcha de los sistemas.

Software de parametrización.- Bajo este nombre se hace mención a los paquetes que facilitan la adecuada programación de las tarjetas de comunicaciones, los sistemas de redundancia y las tarjetas de periféricos (posicionamiento, regulación, pesaje, etc.)

Software de comunicaciones.- Tanto entre dispositivos del sistema como interfaces con otros sistemas de programación

Software de visualización.- Para atender las labores de vigilancia y supervisión se requiere una visualización correcta del proceso. Esto se lleva a cabo mediante SCADA's de similares características a los de los DCS's.

4.3.4 Estaciones auxiliares

Aunque siempre como optativas y con grandes variantes entre los distintos sistemas que coexisten en el mercado, resulta frecuente la existencia de estaciones complementarias de las básicas de control ya definidas. Entre éstas se pueden destacar las siguientes:

Estación de comunicaciones.-

El establecimiento de comunicaciones en tiempo real entre los distintos niveles de proceso, planta y corporativo puede establecerse en base a un hardware específico de fabricante (gateways, bridges) o, dentro de la filosofía de sistemas abiertos, mediante la disposición de un servidor (ordenador PC o Estación de trabajo) destinado únicamente a esta tarea, que puede resumirse en la obligación de facilitar la información requerida en el momento deseado y en la forma adecuada.

En los sistemas de aquellos fabricantes que no contemplan la dedicación exclusiva de estaciones de comunicaciones, parte de las anteriores atribuciones pueden incorporarse a las de la plataforma de interfase de operador y/o a la propia estación de control y adquisición de datos.

Estación de ingeniería.-

Un interesante complemento a los sistemas de control lo constituyen la interconexión de estaciones (PC's o estaciones de trabajo) destinadas a correr aplicaciones de desarrollo de ingeniería y/o mantenimiento, que al encuadrarse en los sistemas de control permiten la utilización de una única base de datos y su acceso en tiempo real. En este ámbito se encuadran las utilidades soporte de actividades de ingeniería eléctrica, de instrumentación y de control, que mejoran la consistencia de las distintas actuaciones, proporcionando mayor eficiencia y economía. Entre las tareas de mayor utilidad, tanto durante el comisionado como para mantenimiento, pueden destacarse las siguientes:

Gestión conjunta de planos de proceso, de control y eléctricos (frecuentemente con disposición de biblioteca de símbolos de equipos, instrumentos, sistemas E/S y elementos dinámicos). Lo que permite la edición actualizada de cualquier diagrama, de cualquier tipo, en cualquier momento.

Gestión de documentación (acceso y capacidad de actualización de descripciones funcionales, manuales de operación y puesta en marcha, etc.)

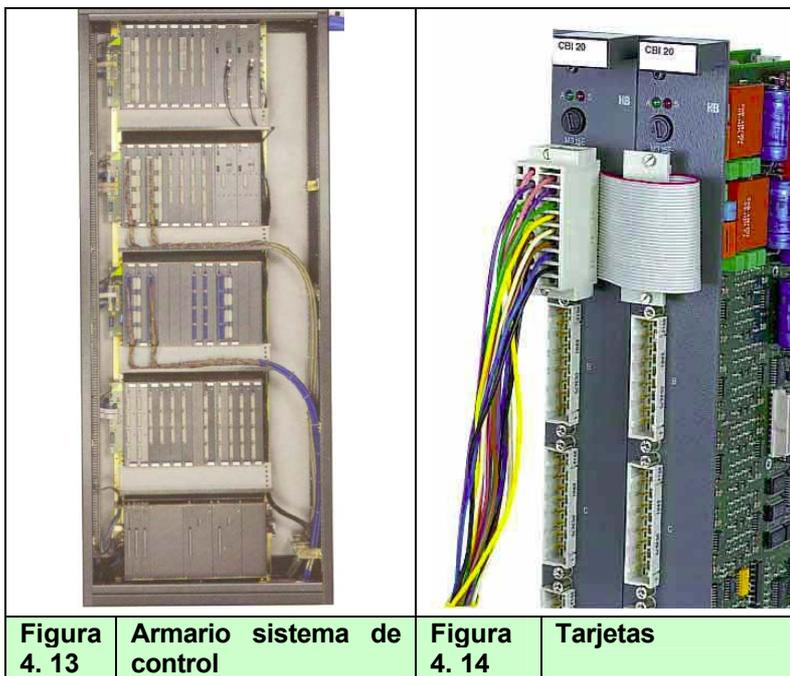
Utilidades para la programación de lógica.

En todas estas aplicaciones resulta especialmente interesante la posibilidad de efectuar la programación en forma orientada a objetos, característica a apreciar entre las distintas alternativas.

4.4 Sistema de control distribuido: componentes

4.4.1 Estaciones de control y adquisición de datos

Las estaciones de control y adquisición de datos de un DCS están constituidas por un bastidor que aloja la fuente alimentación y una serie de tarjetas. En el caso más sencillo las tarjetas son únicamente de dos tipos: tarjetas de control y tarjetas de E/S.



Tarjetas de control.- En su concepto mas amplio se trata de una tarjeta universal con capacidad para programar funciones tanto regulatorias, de lógica, de secuenciación, posicionamiento y específicas (programas de usuario de cálculos, optimización...). Cada tarjeta incorpora junto a una CPU con, normalmente, algunos Mb, las necesarias interfaces de conexión con la red de comunicaciones y con las tarjetas E/S. La vocación en origen del DCS hacia el control de

procesos con gran número de lazos regulatorios se materializa en una cada vez más amplia oferta de algoritmos y funciones. La posibilidad de establecer estrategias de control mas sofisticadas y de aumentar las prestaciones del DCS se relaciona directamente con la variedad de algoritmos y funciones disponibles "de oficio".

Tarjetas de E/S.- Canalizan las entradas y salidas de los diferentes tipos posibles de señales analógicas y digitales: analógicas 4-20 mA, de secuencia, de pulsos, HART (transmisores smart), fieldbus, etc. Todas ellas se someten a un tratamiento previo que incluye la contrastación de límites de rango superior e inferior, velocidad de cambio, posibilidad de filtrados, evacuación de alarmas, etc.

La redundancia en el caso de un DCS se establece en base a la duplicación de un número limitado de tarjetas de control y de E/S, lo que disminuye el riesgo de "caída" global del sistema y posibilita una fácil redundancia sin, obligatoriamente, duplicar el sistema completo. Así podría establecerse una tarjeta de reserva por cada cierto número de tarjetas operativas (una por cada tres, por ejemplo), sobre las que automáticamente se efectúa la copia (back up) de la funcionalidad de la tarjeta en fallo. La progresiva reducción del coste del hardware, junto con un creciente preocupación por la seguridad, ha hecho que la redundancia sea últimamente de 1:1 para los sistemas no críticos y de 2:1 ó 3:1, en las denominadas doble o triple redundancia, para los sistemas críticos (normalmente aquellos que atienden a la seguridad). El sistema de tarjetas de reserva se complementa habitualmente con un sistema de diagnóstico y vigilancia del estado de cada tarjeta.

Como sistemas diferenciados, tanto para los sistemas basados en PLC's como para los basados en DCS, parecen mantenerse los específicamente destinadas a procesos por cargas o discontinuos, cuyas peculiaridades aconsejan su discriminación. En estos últimos los sistemas se configuran específicamente para atender al control de recetas de fabricación, planificación de la producción, gestión de las materias primas, control de inventarios, seguimiento de cada carga: tamaño, características, volumen producido, materiales usados, seguimiento de la ruta de producción, etc

Desde un punto de vista de mantenimiento resultan importantes las siguientes consideraciones: 1. Asegurar la capacidad de sustitución de tarjetas sin problemas de interrupción del sistema 2. Existencia de indicadores de estado 3. Disponibilidad de sistema de diagnóstico inteligente o de ayuda al diagnóstico de averías, tanto para las fuentes como para las E/S y tarjetas de control.

Los sistemas de almacenamiento de datos históricos frecuentemente se encuentran fuera de la estación de control y adquisición, constituyendo un módulo independiente basado en soporte magnético (disco duro y disquetes o cartuchos extraíbles), soporte óptico (CD ROM), cinta digital (DAT), etc., conectado a través de la red de comunicaciones con el resto de componentes del sistema.

4.4.2 Interfase hombre máquina

Las interfases presentes en los DCS participan de lo ya comentado en el apartado dedicado a los PLCs.

4.4.3 Software

Igualmente para el software de PLC's se pueden establecer ciertas clasificaciones:

Software de configuración.-Para la definición de los lazos de control y del algoritmo a aplicar en cada uno resulta de utilidad la disponibilidad de las siguientes utilidades (que se citan sin ánimo de exclusividad):

Definición de los puntos de entrada y sus respectivas interfaces de entrada: Termopar, Termorresistencia, señal de I, señal de V, trenes de impulsos...

Capacidad de tratamiento de la señal de entrada: Filtrado, Linearización, Escalado, Comprobación de límites, Selección individual del tiempo de exploración, Funciones de verificación, calibración y simulación, Congelación de la señal por fallo de transmisor, Conversión a unidades de ingeniería,...

Capacidad de tratamiento adecuado de alarmas: Visualización en pantalla e impresora, discriminación del tipo de alarma, capacidad de jerarquización y priorización, facilidad de soportar aplicaciones de ayuda a la toma de decisiones o de diagnóstico inteligente, etc.

Selección de algoritmos, atributos y funciones de control:

En procesos continuos:

Algoritmos de control:

PID, PID con cascada, PID con control en adelanto (FF), Control de relación, etc.

Atributos asignados:

Modos (Manual, Auto, Cascada, Ordenador), Inicialización, Seguimiento (ó "tracking"), Saturación integral, Bumpless, Parada urgente, S.P. en rampa

Funciones de cálculo:

Compensación de caudal, Totalizador, Sumador, Selectores, Funciones dinámicas: Tiempo muerto (DT, del inglés Dead Time) ó Lead-Lag (L/L), Módulo/s abierto/s

En operaciones discretas, disfrutan de una serie de atributos para definir la lógica de las relaciones entre variables.

Descripción de enclavamientos
Definición de lógica (lenguaje ladder u otros)
Control de accionamientos

En procesos por cargas tienen sus propios mecanismos de definición, que se apoyan en utilidades para definir

Temporizadores y acceso a tiempo real
Secuenciación de operaciones

El tiempo de exploración debe ser configurable de forma que se pueda adaptar a la criticidad de cada lazo regulatorio o de cada instrucción lógica. Cada tarjeta de control tiene capacidad para el tratamiento de un número muy elevado de lazos y/o instrucciones, combinándose de forma que el tiempo de exploración global del conjunto de acciones de control atendidos por cada tarjeta sea del orden de 0,1 - 1 s (aún para un número muy elevado de E/S).

Software de representación o visualización.- Paquete de ayuda a la representación gráfica del sinóptico de operación, presentación en pantalla de la información requerida mediante zonas interactivas, configuración de grupos de variables y de tendencias, pantallas de detalle, de alarmas, de mensajes, gestión de informes, y en general todo lo necesario para personalizar las estaciones de operación y adquisición de datos.

Con los sistemas anteriores se cubren las necesidades básicas de programación/configuración del DCS. La mayoría de los fabricantes incorpora no obstante en sus ofertas recientes el acceso a lo que en el epígrafe de este punto se ha denominado software auxiliar. Bajo este concepto se engloban diversos paquetes destinados a facilitar o mejorar las tareas de control, puesta en funcionamiento y mantenimiento. Entre otros pueden mencionarse los siguientes:

Software de sintonización.- Para la rápida de sintonización de lazos de control en la puesta en marcha.

Software de ayuda a la configuración.- Se refiere a ciertas utilidades de programación sobre PC de la configuración del DCS con posibilidad de transferencia directa del fichero desde el PC al DCS.

Software de programación de aplicaciones avanzadas.- Para la inclusión de cálculos dentro de las tareas de control, por ejemplo, control inferido, compensación de presión - temperatura, control de variables no medibles (carga térmica, entalpía, reflujo interno,...). La disponibilidad del sistema de un lenguaje de programación adecuado para estas funciones puede eliminar la necesidad de acudir a un ordenador de proceso en la mayoría de los casos, lo que significa una mayor sencillez y economía.

Software de operación.- Aunque sin entrar en detalle, merece la pena mencionar la utilidad de paquetes de Control Estadístico de proceso, de utilidad para optimización, de Control Multivariable o de Sistemas Expertos de ayuda a la toma de decisiones o al diagnóstico inteligente, aunque estas últimas aplicaciones tradicionalmente corren sobre un ordenador de procesos conectado al DCS mediante una interfase adecuada.

Desde el punto de vista del usuario resulta de gran importancia la potencialidad de acceso a las fuentes de los módulos estándar proporcionados por los fabricantes. Esto permite, además de un mejor conocimiento de la funcionalidad de cada uno y de sus posibilidades, la personalización de las prestaciones (aunque esta decisión pueda resultar en conflicto con el también deseado acceso

a nuevas versiones sin requerir modificaciones en la aplicación). Lamentablemente en contadas ocasiones el suministrador permite el comentado acceso a las fuentes, obligando en ocasiones a caros desarrollos externos para adecuar el software estándar a los requerimientos específicos.

4.4.4 Estaciones auxiliares

Las estaciones auxiliares presentes en los DCS participan de lo ya comentado en el apartado dedicado a los PLCs.

4.5 Comunicaciones

Las comunicaciones entre los distintos elementos que componen el sistema distribuido constituyen el auténtico punto neurálgico de todo el sistema, por lo que habitualmente se redundan por motivos de seguridad. La red de comunicaciones sirve también de nexo entre estamentos jerárquicamente superiores o inferiores.

4.5.1 Introducción

El sistema de transmisión neumático fue históricamente el primero en utilizarse y alcanzaba a todos los elementos del bucle. Actualmente sólo los elementos finales de control (válvulas automáticas) mantienen elementos de naturaleza neumática, siendo el resto de comunicaciones entre el resto de elementos del bucle de naturaleza eléctrica. Esto implica la necesidad de dotar la entrada a las válvulas de convertidores eléctrico - neumáticos denominados convertidores I/P. La coexistencia de elementos del lazo digitales (hoy en día todos los controladores y transmisores) con una comunicación eléctrica analógica obliga a su vez a dotar de convertidores analógico-digitales (A/D)

En cualquier caso la transmisión está normalizada, siendo la neumática de $3 \div 15$ psi y la eléctrica analógica de $4 \div 20$ mA. La no utilización del valor cero psi o mA como rango inferior obedece al interés en diferenciar una señal de 0% del rango definido, de la rotura del cable o tubo de transmisión de presión, que daría valor nulo.

La propia concepción de la distribución, tanto geográfica como funcional, de los sistemas de control hace necesaria, y de capital importancia, la comunicación entre los distintos elementos de los mismos como medio acceder a la información necesaria para cada dispositivo.

Niveles.- La comunicación se establece tradicionalmente en cuatro niveles: Nivel de campo, de proceso, de planta y corporativo.

Comunicación a nivel de campo (nivel 0): Los diversos elementos de campo: transmisores, motores, válvulas, etc. necesitan enviar o recibir información de los sistemas lógicos o de control. Las señales continuas en este ambiente se han regido tradicionalmente, desde la aceptación universal de la norma ISA S50.1 (en los 70), por la comunicación analógica, punto a punto, de 4-20 mA. Tras la aparición, y éxito, de los transmisores inteligentes (smart), se impuso la utilización de sistemas híbridos tipo HART. Por último la reciente y creciente disponibilidad de dispositivos basados en bus de campo ha hecho que este protocolo esté ya presente en la mayoría de las nuevas instalaciones de control para plantas de proceso.

Comunicación a nivel de proceso (nivel 1): Además de la comunicación entre dispositivos de campo y elementos lógicos o de control se requiere hacer accesible la información intercambiada a los elementos de interfase hombre – máquina, acceso a las estaciones de operación, y dejarla accesible a los niveles de supervisión jerárquicamente superiores.

Durante mucho tiempo este nivel de información estuvo reservado a los sistemas de propietario, es decir, protocolos no abiertos, con interfases específicas ("gateways" o "bridges") de comunicación entre este nivel y los superiores (nivel de planta) o inferiores. Actualmente la mayoría de suministradores se ha decantado por ofrecer sistemas abiertos también en este nivel,

incorporando redes de protocolo estándar. Especial mención ha de hacerse de los sistemas digitales basados en bus de campo.

Comunicación a nivel de planta (nivel 2) y nivel corporativo (nivel 3): La práctica totalidad de los suministradores han optado por una plataforma estándar para estos niveles, siendo la red Ethernet según estándar IEEE 802.3 la especificación más utilizada, con diferencia.

El tercer nivel, denominado frecuentemente por las siglas MIS (de la denominación en inglés: Management Information System), requiere frecuentemente la transmisión a grandes distancias, por lo que resulta frecuente la utilización de comunicaciones por satélite, microondas, fibra óptica o red telefónica.

Características a tener en cuenta.

Velocidad de transmisión.- La capacidad de la red de comunicaciones para transmitir adecuadamente el numeroso caudal de información entre los distintos elementos que componen el sistema debe ser cuidadosamente evaluado al seleccionar las características de la red. En esta selección intervienen tanto el número de variables a transmitir como la capacidad de la red para vehicular éstas sin saturaciones. A este respecto conviene evaluar no sólo la velocidad de la red en sí (que puede estar en el orden de 10 Mbaudios) sino un punto frecuentemente cuello de botella en estas transmisiones: los "gateways" o "bridges" entre los distintos niveles de red y la capacidad del software.

Seguridad.- La seguridad y fiabilidad de los datos transmitidos a través de la red se fundamenta en los siguientes conceptos:

Redundancia: El camino físico de conexión entre los distintos dispositivos se encuentra duplicado, con cambio automático al cable en reserva en caso de fallo del sistema activo, como medida de precaución ante potenciales roturas del elemento material de comunicación.

Control de fiabilidad en la recepción de la señal: el sistema comprueba los datos recibidos y devuelve un mensaje al originador, si detecta errores, demandando una nueva emisión, alternativamente corrige los errores si por sus características dicha corrección es susceptible de efectuarse automáticamente. También puede descartar el envío, situación que sería detectada por el emisor, que reiniciaría la transmisión.

Control "watchdog" de aseguramiento del funcionamiento: Periódicamente se emite una señal de demanda de status de cada dispositivo de la red. Si alguno de ellos no responde a la demanda se interpreta como una desconexión o fallo y se procede en consecuencia según lo establecido.

Soporte físico.- El medio a través del cual se propagan las señales puede ser:

Cable de pares trenzados: De uso frecuente en campo
Cable coaxial: El más utilizado en nivel de planta y proceso
Fibra óptica: Más apropiada para grandes distancias
Inalámbrico: De utilización entre estaciones remotas por Radiofrecuencia (Microondas, Comunicación por satélite,...)

La selección depende de las distancias necesarias, los niveles de seguridad requeridos (tanto frente a interferencias como en cuanto a fiabilidad en la comunicación) y, por supuesto, coste asumible.

Topología.- Actualmente la topología en bus o en anillo constituyen las opciones más habituales.

Estandarización.- En cualesquiera de los niveles de comunicaciones descritos la tendencia parece ser hacia la progresiva adopción de normas o protocolos universales para algunos de los 7 niveles de la torre OSI (Open System Interconexión), a saber, niveles Físico, de Enlace, Red, Transporte

de datos, Sesión, Presentación y Aplicación. Por ahora sólo en los niveles inferiores existe un estándar suficientemente reconocido, así para los dos primeros el comentado Ethernet con norma IEEE 802.3 y el TCP/IP para el transporte de datos. El próximo paso podría ser la unificación de los protocolos de bus de campo, aunque esta posibilidad parece prácticamente imposible dada la definitiva independencia y amplia implantación de los dos sistemas finalmente competidores: Profibus y Fieldbus Foundation. Por el momento la solución está siendo la fabricación de elementos de hardware compatibles con ambos protocolos.

4.5.2 Comunicación híbrida (analógica + digital)

as el sistema analógico apareció un nuevo protocolo denominado HART (Highway Addressable Remote Transducer). Este protocolo, precursor de los protocolos digitales, sobrepone una señal digital a la señal analógica clásica. Esto permite el uso de los dispositivos de medida existentes y además sacar partido de las ventajas de la comunicación digital. Aunque todavía es un protocolo muy empleado en la industria, previsiblemente acabará siendo desplazado por los protocolos digitales en nuevas plantas, o en grandes "revamping" de plantas existentes.

En este protocolo la señal digital habilita una comunicación en ambos sentidos. Con la comunicación analógica el controlador mandaba una señal unidireccional a la válvula, mientras que en este caso la señal digital permite que la válvula mande un mensaje de vuelta al controlador con su estado actual. Además, la comunicación digital permite mandar más información, no sólo el valor de la variable sino otros parámetros como pueden ser: el estado del dispositivo, diagnósticos y alertas, parámetros de configuración,...

4.5.3 Comunicación Digital

La mayoría de los elementos y dispositivos que constituyen los sistemas de control modernos son de características digitales. Los transmisores, controladores, detectores, indicadores, etc. son digitales siendo excepción los elementos finales de control que, en su mayoría, siguen siendo válvulas automáticas de actuador neumático.

Comunicación analógica frente a digital

- Cada señal con protocolo analógico requiere un medio de transmisión independiente, lo que significa que cada dispositivo de campo (transmisor) necesita un cable de dos hilos que lo conecte (directamente o vía estaciones remotas) con el resto del sistema de control, normalmente centralizado, lo que puede significar cientos de metros de distancia. Esta distancia, multiplicada por los numerosos transmisores (cientos) existentes en una planta de proceso, hace que el coste del cableado (en material, tiempo y mantenimiento) sea siempre notable pudiendo llegar a ser muy importante. Los protocolos digitales permiten la interconexión de varios dispositivos de campo a un mismo bus.

- Las entradas y salidas de cada elemento o dispositivo digital requieren convertidores analógicos / digitales o viceversa, lo que significa cientos de estos convertidores

- La capacidad de transmitir información analógica por cada cable se limita a una sola señal. Con información digitalizada esta capacidad se multiplica ya que un sólo cable puede transmitir la información proveniente de múltiples transmisores y/o, y esto es muy importante, transmitir junto con la señal que proporciona la magnitud de la variable en cuestión, otras informaciones complementarias que además pueden ser bidireccionales, es decir, la información puede fluir desde campo hacia sala de control y viceversa, siendo además posible la comunicación entre distintos dispositivos de campo. Esta última capacidad resulta fundamental para permitir la localización en campo de ciertas funciones de control, por ejemplo la ejecución del algoritmo de control (PID u otros) que pueden ahora ubicarse en la propia válvula o en el transmisor, creando bucles "locales" que alivian el trasiego de datos y órdenes entre campo y sala de control.

- Los dispositivos digitales permiten codificar y almacenar su configuración de forma que se facilitan las funciones de arranque (se pueden configurar en taller como “plug and play” eliminando errores de conexión) y diagnóstico (para mantenimiento y eliminación de averías), permitiendo funciones inteligentes inaccesibles a los sistemas analógicos.

En resumen las ventajas de los buses de campo frente a la comunicación analógica convencional pueden sintetizarse en los siguientes tres aspectos:

- Reducción de cableado
- Nuevas prestaciones para operación y mantenimiento: Auto-diagnóstico, calibración y monitorización remota, gestión de recursos, etc.
- Redistribución de “inteligencia”, sobre todo para control, diagnóstico y cálculo, entre campo y sala de control
- Mejora en el control debido a los beneficios de mover funciones de control a los dispositivos de campo.

El primero de estos factores resulta teóricamente el más evidente aunque en la práctica su incidencia se reduce bastante debido a la limitación del número de dispositivos que pueden colgar de cada segmento del bus de campo debido al consumo de potencia máximo admisible por cada par de cables. Esta limitación es del orden de 10-12 dispositivos por bus (máximo 16), que se reduce a 4 si se requiere seguridad intrínseca.

Al tratarse de protocolos abiertos, estándar, pueden interconectarse elementos de distintos fabricantes lo que contribuye a reducir a medio plazo los precios al aumentar la competencia, aunque este criterio queda debilitado al no existir un único estándar como ya se ha comentado y sobre lo que se incidirá mas adelante.

Los defensores del sistema suelen aducir que en conjunto se reduce el coste global del sistema de control a lo largo del ciclo de vida completo de la planta, ya que las ventajas del bus de campo inciden desde la fase de diseño, instalación, operación y mantenimiento hasta la de renovación del sistema. En el campo de las plantas de proceso, las ventajas objetivas son, hoy por hoy, menos evidentes. A las teóricas, indiscutibles, ventajas mencionadas ha de sumársele una mayor complejidad en la configuración del sistema, una todavía tímida introducción de las grandes marcas para acometer grandes proyectos, menor experiencia y fiabilidad de los desarrollos presentes y el extra-coste de algunos de los elementos de que consta el sistema en su conjunto. En cualquier caso, sea hoy en día más económico o no, lo que parece indudable es que se trata del sistema del futuro

Comparación entre comunicación analógica y digital

	Cableado	Flujo de información	Cantidad de información	Tipo de información	Funcionalidad de control	Localización del Mantenimiento	Tipo de mantenimiento
Convencional 4-20 mA	Punto a punto	Unidireccional	Dato único	Valores numéricos de medida	Centrada en un sistema de control	Principalmente en campo	Correctivo
Bus de campo	Multipunto	Bidireccional	Datos múltiples	Varios tipos	Óptimamente asignada al sistema de control o a dispositivos de campo	Desde posición remota	Predictivo

Tabla 4. 2 Comparación entre características de sistemas de comunicación

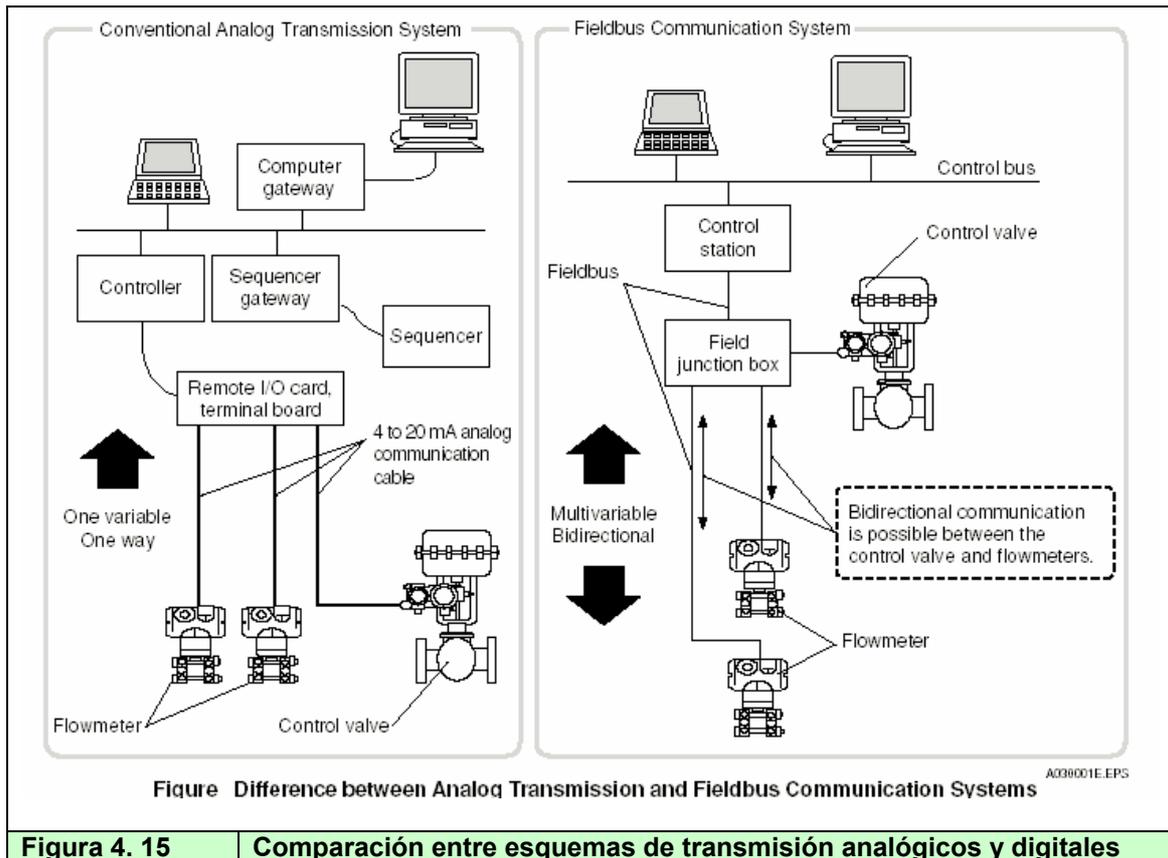


Figura 4. 15 Comparación entre esquemas de transmisión analógicos y digitales

A continuación se comentan los protocolos en cada nivel de la pirámide de control definida anteriormente.

Nivel 0. Buses de campo.

En este nivel la comunicación digital la llevan a cabo los denominados “fieldbuses” o buses de campo. Estos son redes de comunicación bidireccionales y entre múltiples dispositivos.

Dentro de estos buses de campo existe una clasificación en tres categorías dependiendo del tipo de dispositivo sobre el que actúan y el tipo de aplicación para el que son diseñados:

- Sensor bus. Estos son usados con interruptores de proximidad, botones, accionadores de motores, etc. Su aplicación es con dispositivos sencillos que únicamente necesitan transmitir unos pocos de bits de información. Controlan normalmente estados de marcha/parada (on/off) y no suelen ser intrínsecamente seguros. Aunque diseñados esencialmente para plantas de fabricación discontinuas pueden encontrarse en plantas de proceso. Algunos ejemplos de estos buses de campo son los protocolo: As-I, Seriplex.
- Device bus. Diseñados para dispositivos más complejos (como pueden ser líneas de procesado, empaquetamiento, etc.) Pueden manejar más información que los buses de sensor. Tampoco son intrínsecamente seguros. Algunos ejemplos de estos buses son los protocolos: Profibus DP, LonWorks, Interbus, World FIP.
- Field bus. Es el más apropiado y empleado en plantas de proceso. Se emplea tanto en el control como en el diagnóstico, permitiendo la comunicación entre dispositivos “inteligentes” (digitales). Suelen tener una velocidad de transmisión menor que los otros buses mencionados. Son intrínsecamente seguros. Algunos ejemplos de protocolos empleados son: Foundation Fieldbus, Profibus PA, Device Net.

El empleo de ethernet en este nivel todavía no es posible debido a diferentes problemas pero existen muchas iniciativas que intentan solventar estas dificultades (protocolo no determinista, no lleva alimentación-eléctricidad- en el mismo cable, no es intrínsecamente seguro, etc) y que en un futuro podrá ser aplicado directamente en el nivel de campo.

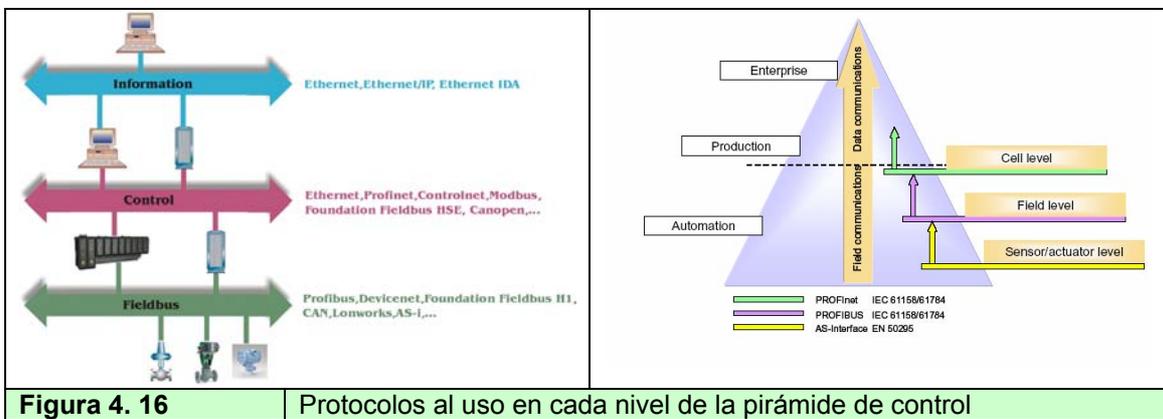
Nivel 1. Red de comunicaciones de control (control network)

En este nivel existen diferentes protocolos disponibles, todos basados en ethernet (ethernet de alta velocidad). Los más empleados son: ControlNet, Profinet, Foundation Fieldbus HSE (High Speed Ethernet). Otros protocolos: Modbus, CAN, etc

Nivel 2 y 3.

Este nivel de comunicaciones es casi universalmente ethernet con protocolo TCP/IP, dado que este protocolo fue diseñado para el intercambio de datos de este tipo y en aplicaciones de gestión. Existe alguna iniciativa como el Industrial Ethernet que intenta ser un protocolo que se aplique tanto en este nivel como en el nivel anterior (nivel 1).

La siguiente figura ilustra los protocolos empleados en cada nivel de control.



La Figura 4. 17 muestra los requisitos de los diferentes protocolos en función del nivel en que son aplicados.

