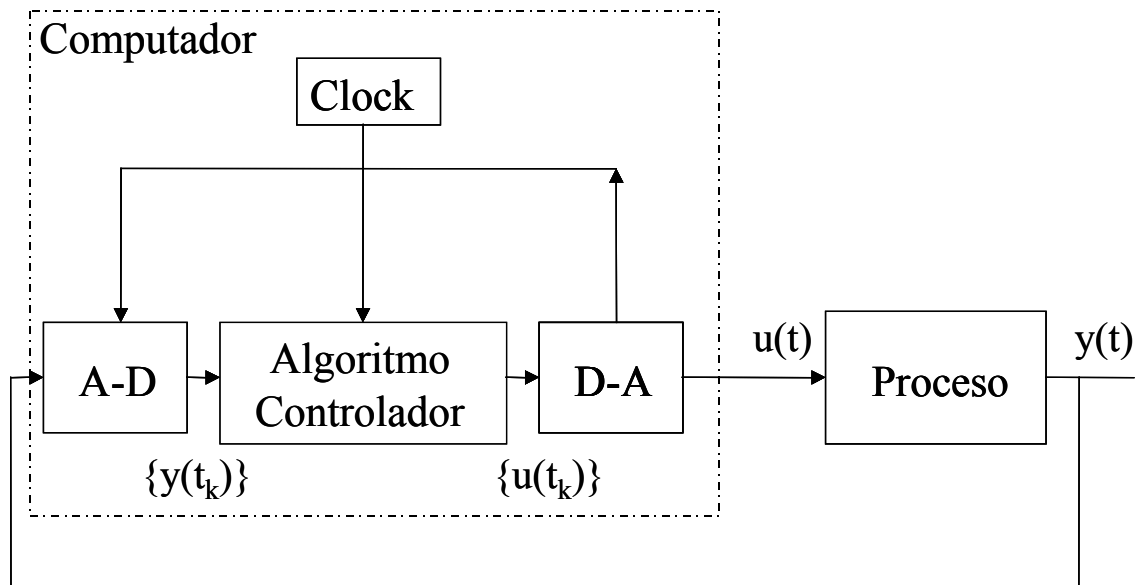


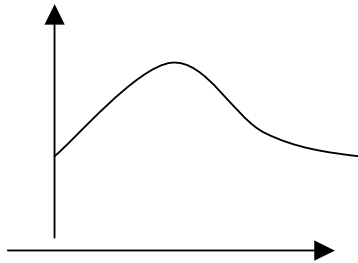
## ASPECTOS PRÁCTICOS DE IMPLEMENTACIÓN EN TIEMPO REAL

La tendencia actual es utilizar más control digital que controladores analógicos, debido a la disponibilidad de computadores a bajo costo.

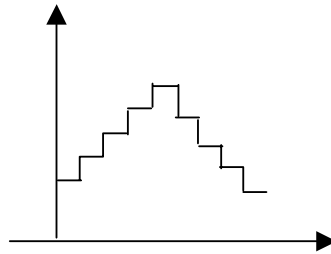


La señal de salida del proceso  $y(t)$  es continua. Esta señal es convertida a una señal digital a través del conversor análogo-digital A-D. La conversión se realiza a un tiempo de muestreo  $t_k$ . El computador interpreta la señal  $\{y(t_k)\}$  como una secuencia, procesando las mediciones a través de un algoritmo de control y entregando una nueva secuencia  $\{u(t_k)\}$ . Esta secuencia es convertida a una señal analógica por el conversor digital-análogo D-A. El reloj permite sincronizar el funcionamiento del sistema.

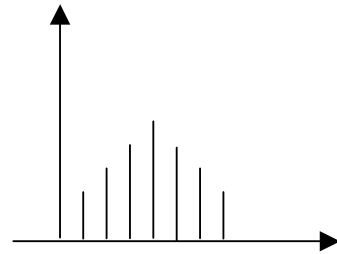
Tipos a señales:



Señal análogo  
o continua



Señal cuantificada  
continua



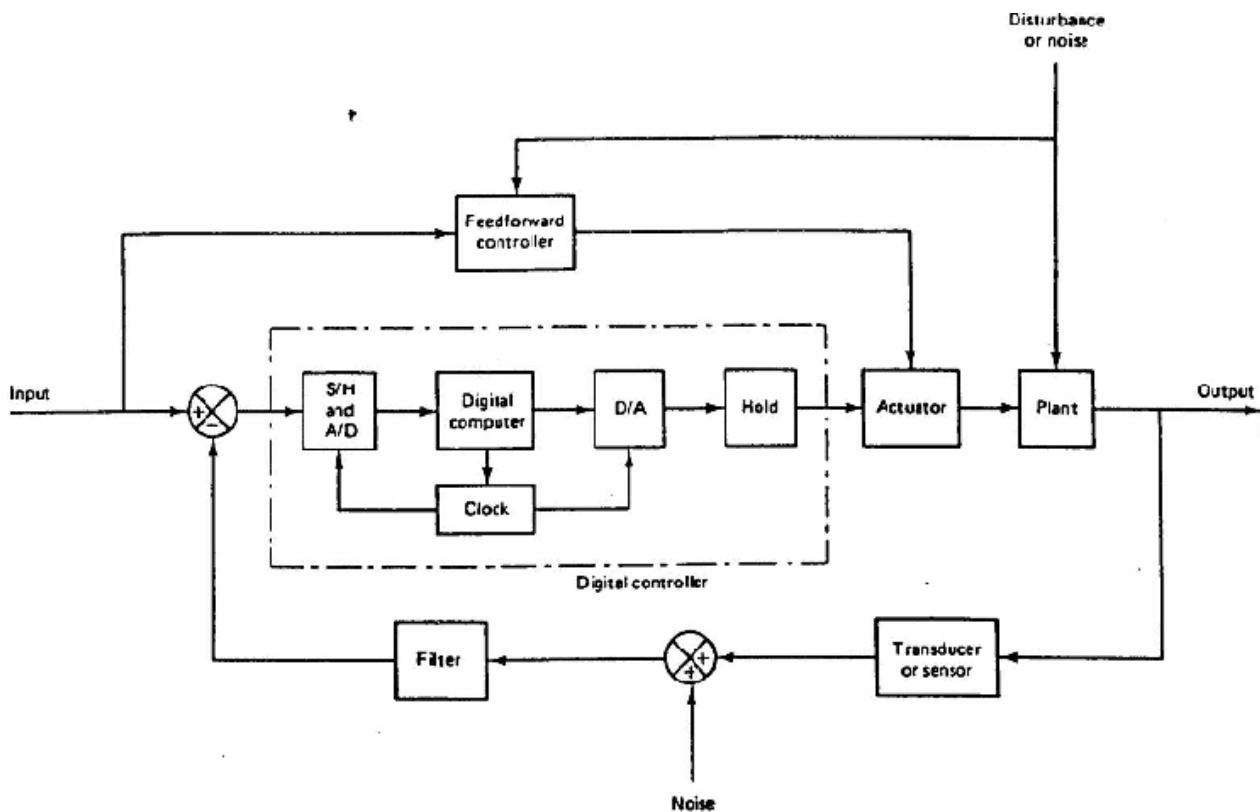
Señal muestreada

### Muestreo de procesos o discretización

El muestreo de una señal continua reemplaza la señal original por una secuencia de valores en puntos discretos.

El proceso de muestreo es generalmente seguido por un proceso de cuantificación. En el proceso de cuantificación la señal muestreada es reemplazada por una amplitud digital (representada por un número binario).

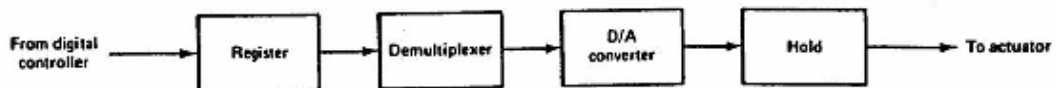
La señal digital alimenta al computador. La salida del computador es digital y alimenta a un retenedor. La salida del retenedor es una señal continua que alimenta al actuador.



**Figure 1-2** Block diagram of a digital control system.



(a)



(b)

**Figure 1-5** (a) Block diagram of a data-acquisition system; (b) block diagram of a data-distribution system.

## ELEMENTOS BÁSICOS DEL SISTEMA DE CONTROL DIGITAL

Muestreador retenedor: Circuito que recibe una señal analógica y mantiene esta señal constante por un periodo de tiempo específico.

Convertor análogo/digital (A/D): Aparato que convierte una señal analógica en una señal digital (numero binario).

El muestreador-retenedor es usualmente parte de convertor A/D.

Convertor digital/análogo (D/A): aparato que convierte la señal digital (serial codificada binaria) a una señal analógica.

Transductor: Convierte una señal de entrada en una señal de salida de otra forma. Por ejemplo, convierte una señal de presión (atm) a una señal de voltaje (volts).

Existen transductores continuos y discretos.

## TIPOS DE MUESTREO

Muestreo periódico:  $t_k = kT$  ( $k = 0, 1, 2, 3, \dots$ )

Los instantes de muestreo son equidistantes.

Muestreo con múltiple periodo:

Diferentes lazos en un sistema de control pueden tener distintas constantes de tiempo. Por lo tanto, se puede requerir distintos periodos de muestreo.

## MUESTREO DE SEÑALES CONTINUAS

### Teorema de Shanon

Una señal continua con transformada de Fourier que es cero fuera del intervalo  $(-\omega_0, \omega_0)$  está dada únicamente por sus valores en puntos equidistantes si la frecuencia es mayor que  $2\omega_0$ .

La señal continua se puede reproducir por la señal muestreada a través de la siguiente expresión:

$$f(t) = \sum f(kh) \frac{\sin(\omega_s (t - kh) / 2)}{\omega_s (t - kh) / 2}$$

donde  $\omega_s$  es la frecuencia de muestreo.

Por lo tanto, el tiempo de muestreo debe cumplir

$$2\omega_s < \omega_0$$

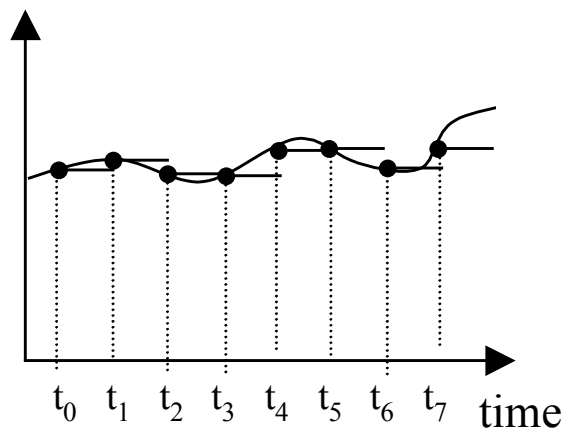
con  $\omega_0$  la frecuencia más alta incluida en la señal medida

## Reconstrucción de una señal continua

La inversión de la operación de muestreo es la conversión de la señal  $f(t_k)$  a una función continua  $f(t)$ .

Mantenedor de orden cero

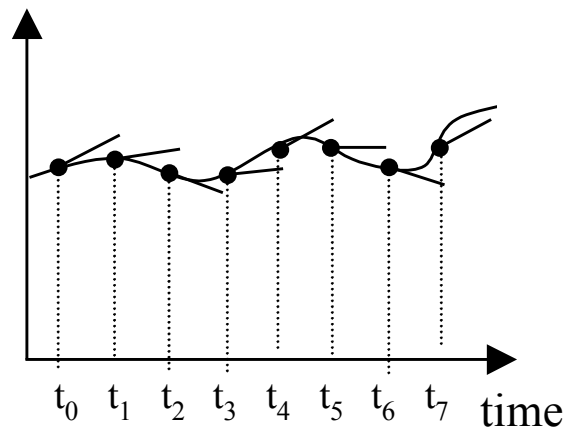
$$f(t) = f(t_k) \quad t_k \leq t \leq t_{k+1}$$



Mantenedores de ordenes mayores

Para funciones suaves, es posible obtener errores de reconstrucción menores a través de la extrapolación con polinomios de mayor orden. Una extrapolación de primer orden esta dada por:

$$f(t) = f(t_k) + \frac{t - t_k}{t_k - t_{k-1}} (f(t_k) - f(t_{k-1})) \quad t_k \leq t \leq t_{k+1}$$



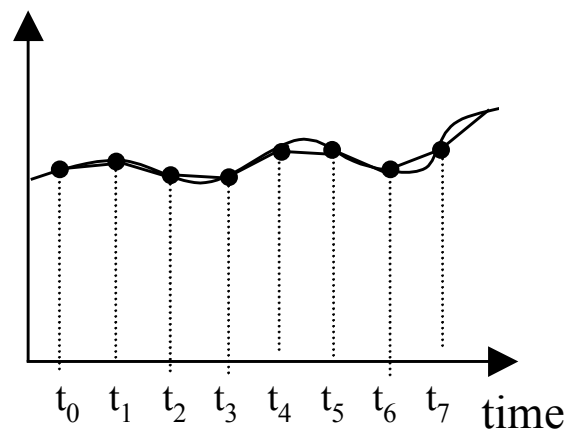
De esta manera, la reconstrucción se realiza dibujando una línea entre las muestras más recientes.

Mantenedor predictivo de primer orden

Para evitar las discontinuidades obtenidos por los mantenedores anteriores, se plantea el mantenedor predictivo.

Se obtiene una interpolación de los datos muestreados a través de la siguiente expresión:

$$f(t) = f(t_k) + \frac{t - t_k}{t_{k+1} - t_k} (f(t_{k+1}) - f(t_k)) \quad t_k \leq t \leq t_{k+1}$$



## Instrumentación y automatización industrial

Beneficios económicos por la inclusión del control automático al proceso industrializado:

- Mejoramiento calidad del producto.
- Disminución consumo de insumos.
- Mejoramiento de supervisión y administración del proceso.

## Definición de sistema de automatización

Conjunto de herramientas de software, hardware y comunica que interactúan con el proceso y que permiten alcanzar los objetivos de la exploración tales como los niveles de operación o transferencias adecuada entre estados a pesar de influencias externas que afectan su comportamientos.

## Objetivos de sistema de automatización

- Beneficio económico.
- Calidad del producto: Menor varianza, mayor pureza, menos rechazos.
- Seguridad del personal y medio ambiente: menos accidentes, menor contaminación.
- Eficacia: persecución de objetivo específico. Ej. Defensa.

## **SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

### **Esquemas de control**

- a) Control digital directo (DDC): Se reemplazan los controladores análogos de planta por un sistema de control centralizado usando algoritmos de control digital
- b) Sistema de control distribuido (DCS Distributed Control System). Se define como una red de computadores integrados de controladores microprocesadores y equipos de comunicaciones para el control de procesos y supervisión.
- c) Sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition). Se define como un sistema de control supervisor y adquisición de datos que usa un red de computadores para control y comunicarse, remotamente, con sistemas de producción autónomos.

## Arquitecturas DCS

- a) Arquitectura centralizada. En este caso, una sola unidad de computación, que puede ser remota para mantener el proceso bajo control. Esta unidad realiza las tareas a alto nivel como adquisición de datos en tiempo real y monitoreo, análisis de información y administración de la información.

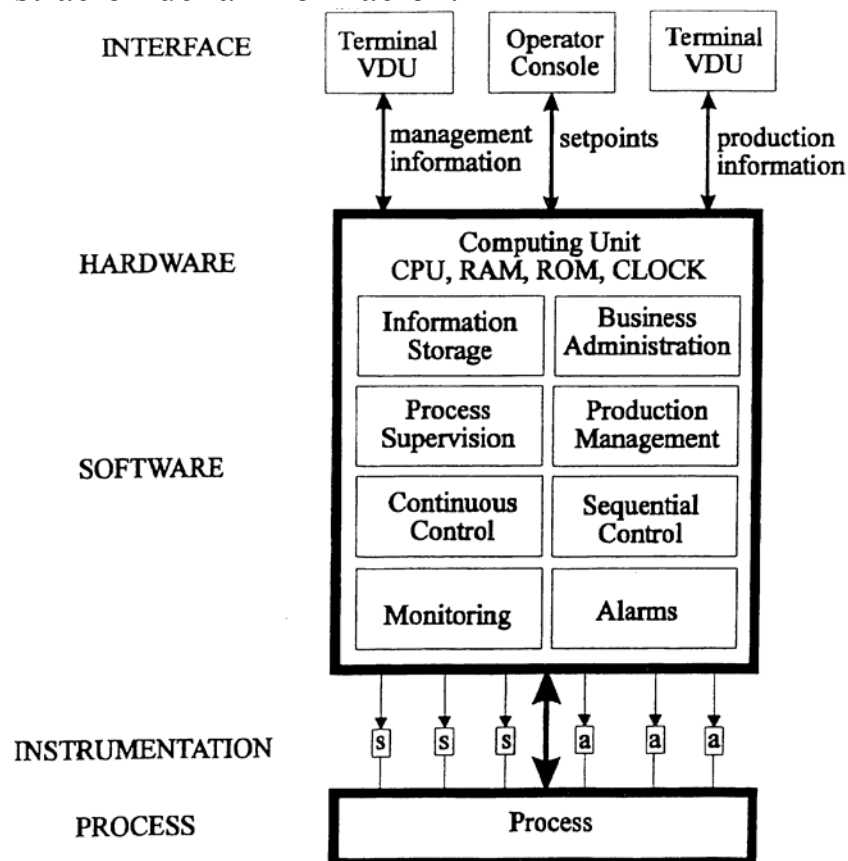


Figura 1. Arquitectura de control centralizada.

- b) Arquitectura distribuida. La tecnología descentralizada o distribuida reparte las tareas de control entre computadores comunicadas eficientemente entre si.

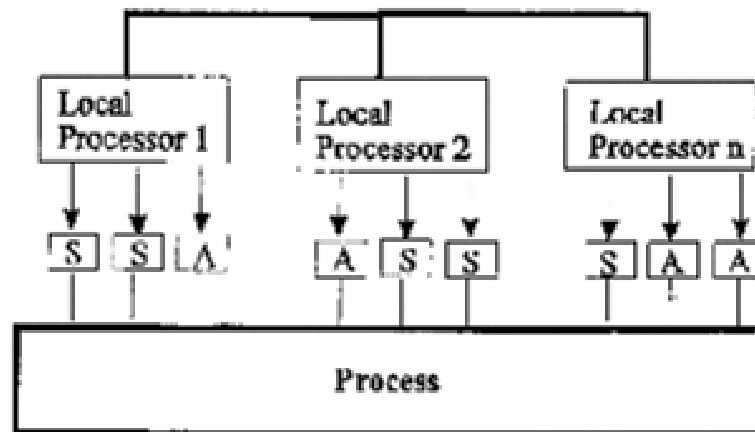


Fig. 2.2 Horizontally distributed system architecture

## Sistema de DCS de la Central Temoelétrica Nueva Renca



## Tecnología de sistema de control distribuidos

Los DCS son comúnmente aplicados a un sistema de control de planta amplio de procesadores distribuidos, periféricos operacionales, microcomputadores junto con un sistema de comunicación en red en tiempo real.

En la figura se muestra una estructura típica de DCS.

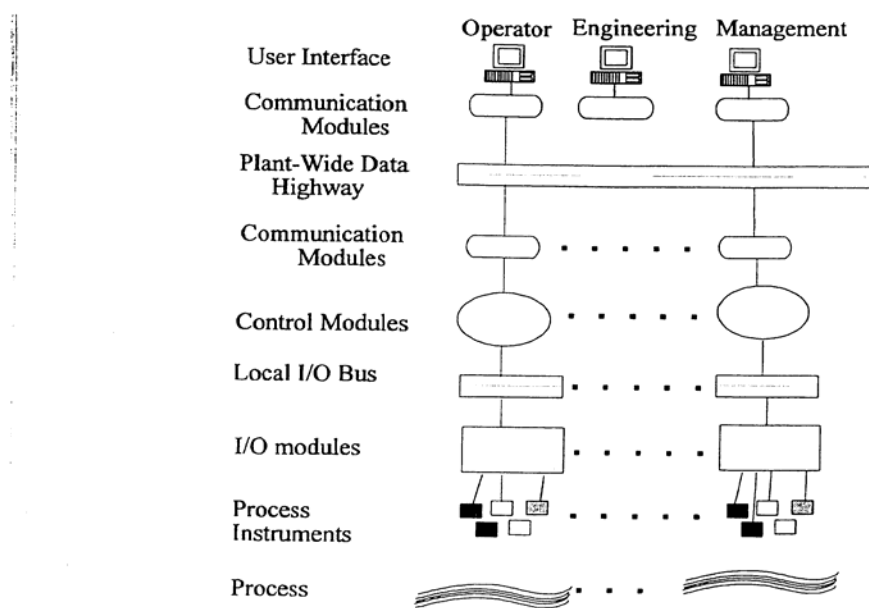


Fig. 2.4 A typical DCS configuration based on functional decomposition

Las funciones básicas se pueden clasificar en los siguientes grupos:

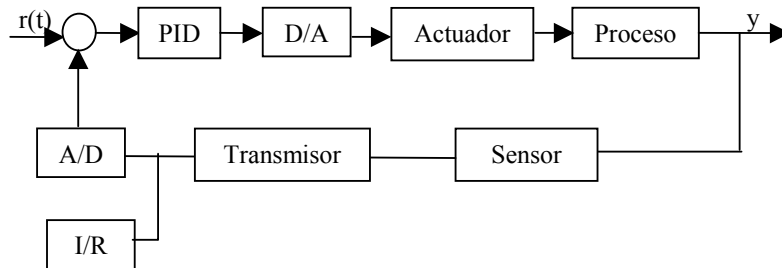
**Funciones de control primarias:** Estas están relacionadas con el control directo de subprocesos en un nivel local. Estas funciones incluyen control realimentado, control prealimentado, control inferencial, control en cascada, etc.

Funciones de control secundarias. Estas están relacionadas con niveles altos de jerarquía. Estas funciones consideran las tareas de supervisión, monitorización, administración, manutención y optimización. Ejemplos: Status indicador, alarma, registro, rutinas de optimización, partida y detención.

### Módulos funcionales genéricos

Módulos entrada/salida, Bus entrada/salida, Módulos de control, Módulos de comunicación, Data highway, Módulos de interfaz de usuario, Software DCS.

## ELEMENTOS DE UN LAZO CONTROL



Elementos sensores. Ejemplos: sensor de nivel, temperatura, etc.

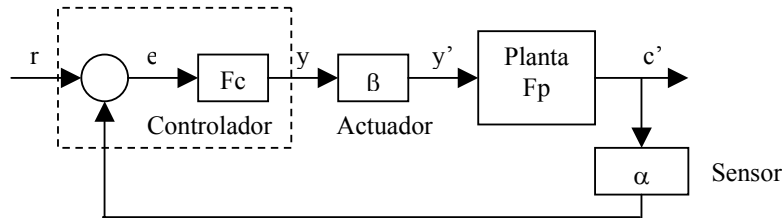
Elementos actuadores. Ejemplos válvulas, motores, etc.

Elementos de comunicación. Ejemplos: cañerías neumáticas, cables eléctricos, etc.

Conversores y adaptadores. Ejemplos conversores A/D, adaptadores P/I, etc.

Controladores. Ejemplo: controlador PID digital.

## Influencia de elementos del lazo de control en el comportamiento global del sistema realimentado



Para un régimen estático, se tiene:

$$c' = F_c \beta F_p (R - \alpha c')$$

$$\frac{c'}{R} = \frac{\beta F_c F_p}{1 + \alpha \beta F_c F_p} = T$$

Como  $E = R - c' \rightarrow 0$  en un sistema con controlador aceptable.

$$E/R \rightarrow 0 \text{ (Acción integral)}$$

Luego, la influencia de variación de un parámetro cualquiera “k” sobre la salida “c’ ” es:

$$c' = T * R$$

$$\frac{c'}{R} = T \rightarrow \Delta c' = R \frac{\partial T}{\partial k} \Delta k$$

Porcentualmente: 
$$\frac{\Delta c'}{c'} = \frac{R \partial T / \partial k \times \Delta k}{R \times T} = \frac{\partial T \times \Delta k}{\partial k \times T}$$

Por lo tanto, para una variación en la planta se tiene:

$$\frac{\Delta c'}{c'} = \frac{E \times \Delta F_p}{R \times F_p} \quad \text{Si hay un buen PI} \rightarrow \frac{E}{R} \rightarrow 0$$

Para otros elementos se tiene:

$$\frac{\Delta c'}{c'} = \frac{E \times \Delta F_c}{R \times F_c} \quad \frac{\Delta c'}{c'} = \frac{E \times \Delta \beta}{R \times \beta} \quad \frac{\Delta c'}{c'} = -\left(1 - \frac{E}{R}\right) \frac{\Delta \alpha}{\alpha}$$

Luego un error porcentual en los elementos sensor-transmisor (k) afectará en la misma proporción a la salida  $c'$ .

Por el contrario, errores porcentuales en controladores, actuadores o planta tienen poca influencia en la salida. (régimen estático).

“CONTROLARÁS CUAN BIEN PUEDAS MEDIR”

## **Controladores Lógicos Programables (PLC)**

Los controladores lógicos programables o PLC (Programmable Logic Controller), en inglés, son dispositivos electrónicos muy usados en automatización industrial.

Su historia se remonta a fines de la década de 1960, cuando la industria buscó en las nuevas tecnologías electrónicas una solución más eficiente para reemplazar los sistemas de control basados en circuitos eléctricos con relés, interruptores y otros componentes comúnmente utilizados para el control de los sistemas de lógica combinacional.

Hoy en día, los PLC's no sólo controlan la lógica de funcionamiento de máquinas, plantas y procesos industriales, sino que también pueden realizar operaciones aritméticas, manejar señales analógicas para realizar estrategias de control, tales como controladores PID (Proporcional Integral y Derivativo).

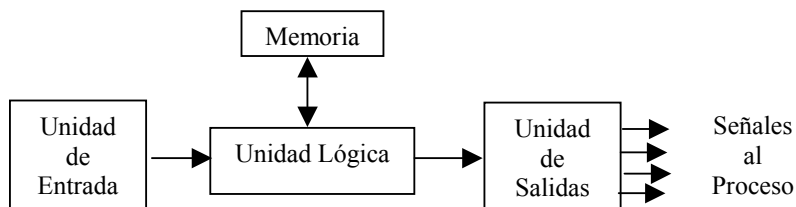
Los PLC's actuales pueden comunicarse con otros controladores y computadoras en redes de área local, y son una parte fundamental de los modernos sistemas de control distribuido.

Un PLC es un dispositivo que tiene un cierto número de entradas y salidas, analógicas y/o digitales, que le permiten comunicarse con el mundo exterior.

Tienen capacidad de tomar decisiones en base a reglas programadas, almacenar datos, generar ciclos de tiempo y ejecutar cálculos aritméticos, entre otras operaciones.

## Estructura básica de un PLC.

Un PLC se divide funcionalmente en 4 unidades.



### Unidad de entradas:

Proporciona el aislamiento eléctrico necesario y realiza el acondicionamiento de las señales de voltaje. Las señales se adecuan a los niveles lógicos de voltaje de la unidad lógica.

### Unidad de salidas:

Acepta las señales lógicas provenientes de la unidad lógicas en los rangos de voltaje que le son propios.

### Unidad Lógica:

Es el corazón del PLC basada en un microprocesador. Ejecuta las instrucciones programadas en memoria, para desarrollar los esquemas de control lógico que se especifican.

## Memoria:

Almacena el código de mensajes o instrucciones que ejecuta la unidad lógica. La memoria se divide en PROM o ROM y RAM. Por medio de ellos, se puede utilizar un PLC en diferentes procesos sin necesidad de reordenar o transformar el equipo; sólo se debe modificar el programa.

## Ejemplos

### DL05 Micro PLC Control Products



Our smallest PLC offers six I/O combinations of AC, DC, and relay I/O, and advanced programming functions such as PID and drum sequencing. The DL05 also features:

- Eight inputs and six outputs, expandable to 30 I/O total
- 2 K program memory
- 4 K data memory
- Two communication ports
- Supports networking for MODBUS RTU master/slave, a DeviceNET slave option module, and an Ethernet option module
- 129 instructions, including four PID\* loops
- Removable terminal block
- Windows-based programming software (order DirectSOFT product separately)
- One option card slot accepts discrete, analog I/O, high-speed counting/ pulse output and communication modules.

## DL205 modular PLC



If your application requires the flexibility of a modular control system, a DL205 PLC is the lowest cost, most versatile solution you'll find. In fact, all you need to do is pick out a CPU, plug it in the first slot of the base you choose, and then mix and match various modules into the available slots. The DL205 features:

- Four base sizes with built-in power supply, including 12/ 24 VDC, 110/ 220 VAC and 125 VDC power sources.
- AC/DC discrete in/out, up to 32 points
- 10 A relay out
- 12-bit and 16-bit analog inputs and outputs
- Temperature inputs
- Data communications, including serial and Ethernet modules
- Counter input/ pulse output
- Remote I/O master and slave, Ethernet and serial remote I/O

## Diagrama P&ID (Pipeline & Instrumentation Diagram)

Identificación del instrumento:

TRC – 2A

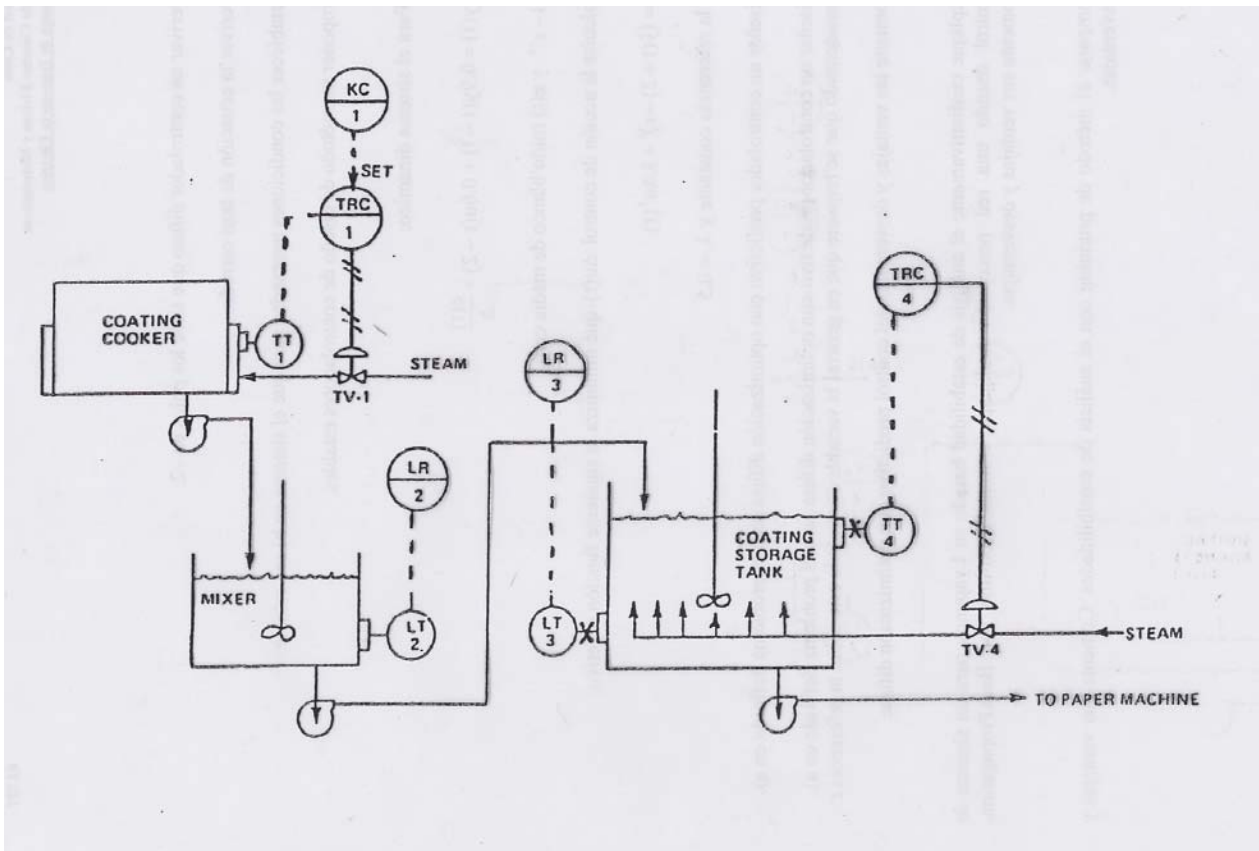
Tres primeras letras: Identificación funcional del dispositivo.

Dos últimas letras: Identificación del lugar físico o lazos.

1ª letra: Variable medida o controlada. Ejemplo: T sensor temperatura.

2ª y 3ª letras: Funciones del elemento en cuestión: Ejemplo R: Registrador y C: Controlador.

4ª y 5ª letras: Ejemplo: Lazo 2 y A indica primero de otros elementos del mismo lazo.



$\frac{KC}{1}$  : Controlador de tiempo asociado al lazo de control número 1 (set-point).

$\frac{TRC}{1}$  : Registrador y controlador de temperatura asociado al lazo de control 1.

$\frac{TT}{1}$  : Transmisor de temperatura asociado al lazo 1.

$\frac{LR}{2}$  : Registrador de nivel del estanque asociado al lazo de control 2.

$\frac{LT}{2}$  : Transmisor del nivel de estanque asociado al lazo 2.

$\frac{LR}{3}$  : Registrador de nivel asociado al lazo 3.

$\frac{LT}{3}$  : Transmisor de nivel asociado al lazo 3.

$\frac{TRC}{4}$  : Registrador y controlador de temperatura asociado al lazo 4.

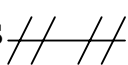
$\frac{TT}{4}$  : Transmisor de temperatura asociado al lazo 4.

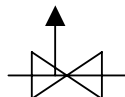
Los círculos que llevan una raya horizontal al medio  $\ominus$  indican que el instrumento esta montado en el panel. Sino, quiere decir que el instrumento se haya en el lugar mismo en que se hace la medición.

Las líneas llenas — indican líneas del proceso.

Las líneas  Trasmisión hidráulica.

Las líneas----- indican transmisión de señales.

Las líneas  indican transmisión de señales neumáticas.

 : Válvulas.

 : Bombas.

TABLA 1.1 Letras de Identificación

| 1.ª Letra           |                            | Letras sucesivas           |                                          |                             |
|---------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------------------|-----------------------------|
| Variable medida (3) | Letra de modificación      | Función de lectura pasiva  | Función de salida                        | Letra de modificación       |
| A                   | Análisis (4)               | Alarma                     |                                          |                             |
| B                   | Llama (quemador)           | Libre (1)                  | Libre (1)                                | Libre (1)                   |
| C                   | Conductividad              |                            | Control                                  |                             |
| D                   | Densidad o peso específico | Diferencial (3)            |                                          |                             |
| E                   | Tensión (f.e.m.)           | Elemento primario          |                                          |                             |
| F                   | Caudal                     | Relación (3)               |                                          |                             |
| G                   | Calibre                    | Vidrio (8)                 |                                          |                             |
| H                   | Manual                     |                            |                                          | Alto (6) (13) (14)          |
| I                   | Corriente eléctrica        | Indicación (9) o indicador |                                          |                             |
| J                   | Potencia                   | Exploración (6)            |                                          |                             |
| K                   | Tiempo                     |                            | Estación de control                      |                             |
| L                   | Nivel                      | Luz piloto (10)            |                                          | Bajo (6) (13) (14)          |
| M                   | Humedad                    |                            |                                          | Medio o intermedio (6) (13) |
| N                   | Libre (1)                  | Libre                      | Libro                                    | Libro                       |
| O                   | Libre (1)                  | Orificio                   |                                          |                             |
| P                   | Presión o vacío            | Punto de prueba            |                                          |                             |
| Q                   | Cantidad                   | Integración (3)            |                                          |                             |
| R                   | Radiactividad              | Registro                   |                                          |                             |
| S                   | Velocidad o frecuencia     | Seguridad (7)              | Interruptor                              |                             |
| T                   | Temperatura                |                            | Transmisión o transmisor                 |                             |
| U                   | Multivariable (5)          | Multifunción (11)          | Multifunción (11)                        | Multifunción (11)           |
| V                   | Viscosidad                 |                            | Válvula                                  |                             |
| W                   | Peso o Fuerza              | Vaina                      |                                          |                             |
| X                   | Sin clasificar (2)         | Sin clasificar             | Sin clasificar                           | Sin clasificar              |
| Y                   | Libre (1)                  |                            | Relé o computador (12)                   |                             |
| Z                   | Posición                   |                            | Elemento final de control sin clasificar |                             |

(1) Para cubrir las designaciones no normalizadas que pueden emplearse repetidamente en un proyecto se han previsto letras libres. Estas letras pueden tener un significado como primera letra y otro como letra sucesiva. Por ejemplo, la letra N puede representar como primera letra el módulo de elasticidad y como sucesiva un osciloscopio.

(2) La letra sin clasificar X, puede emplearse en las designaciones no indicadas que se utilicen sólo una vez o un número limitado de veces. Se recomienda que su significado figure en el exterior del círculo de identificación del instrumento. Ejemplo: XR-3 registrador de vibración.

(3) Cualquier letra primera si se utiliza con las letras de modificación D (diferencial), F (relación) o Q (integración) o cualquier combinación de las mismas cambia su significado para representar una nueva variable medida. Por ejemplo, los instrumentos TDI y TI miden dos variables distintas: la temperatura diferencial y la temperatura, respectivamente.

(4) La letra A para análisis, abarca todos los análisis no indicados en la tabla 1.1, que no

## Lazo de Control Simple

