

# CAPITULO I: INTRODUCCION A LA AUTOMATIZACION

## 1.1.- REFERENCIA HISTORICA DE LA AUTOMATIZACIÓN

Para hablar de Automatización, es necesario revisar algunos comentarios y las primeras definiciones que sobre el tema se han realizado:

- a) “En la Ford hemos definido la *Automatización* como <<el manejo automático de partes entre procesos progresivos de la producción>>,. Es nada mas el resultado de una mejor planeación, herramientas mejoradas , y la aplicación de métodos de producción mas eficientes que aprovechan penamente los progresos alcanzados por los fabricantes de máquinas-herramientas y equipos”. *D.J. Davis, Vicepresidente de Fabricación, FORD MOTOR COMPANY.*
  
- b) “Creo que quizás esto sea el significado básico de automatización <<estamos iniciando a considerar nuestros procesos industriales como procesos completos e integrados, desde la introducción de la materia prima hasta la terminación del producto final... una forma de definir la automatización , es decir que es un medio de organizar o controlar los procesos de producción para lograr el uso óptimo de todos los recursos de la producción; mecánicos, materiales y humanos.” *John Diebold, Presidente John Diebold & Associates, Inc.*

De las dos de definiciones planteadas, la de la letra (b) parece mas cercana y exacta, dado que se refiere directamente en la implicancia de expectativas hacia la producción como un sistema completo e integrado. También reseña la idea de maximizar el valor creado, y optimizar los procesos.

Paralelamente a lo anterior, resulta clarificador dar un vistazo a la automatización desde el punto de vista de su génesis, es decir, las variables que controla, y los tipos de sistemas que pueden ser controlados por un mecanismo de automático. Así se pueden diferenciar variables tipo flujo, conocidas como variables Tipo T, y variables tipo diferencia, conocidas como variables Tipo A. En el siguiente cuadro se pueden ver los dos tipos de variables para distintos sistemas físicos.:

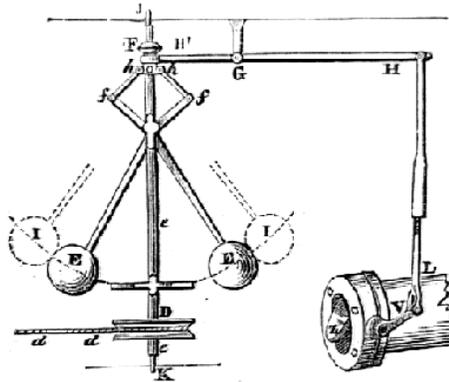
TIPO DE SISTEMA	VARIABLE TIPO T	VARIABLE TIPO A
Electrónico	Corriente	Voltaje
Hidráulico	Caudal	Presión
Térmico	Flujo de Calor	Temperatura
Neumático	Flujo de Vacío	Presión
Mecánico	Fuerza	Velocidad

La categorización vista, sobre los tipos de sistemas y los tipos de variables posibles de controlar, permite a las matemáticas modelarlos mediante grafos, con lo cual se pueden representar mediante elementos, nodos y aristas, para así hacer mas sencillo su estudio. La teoría de grafos es ampliamente usada en el diseño de sistemas automáticos, dado que permite representar modelos complejos, mediante modelos matemáticos, y luego continuar con la etapa de construcción de un sistema análogo electrónico para su simulación, o la construcción del sistema de software para su simulación virtual. En los capítulos siguientes, se profundizará sobre este tema, y otros asociados.

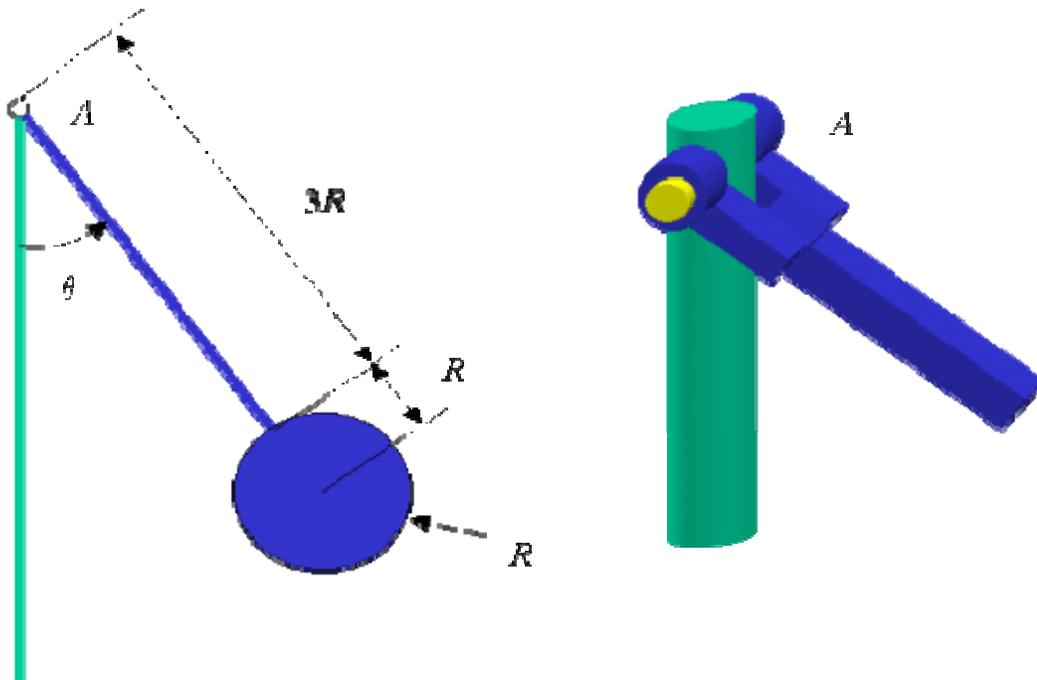
### 1.1.1.- Regulador de Watt

## M<sub>e</sub>cFunN<sub>e</sub>t

El regulador de Watt es un mecanismo cuya misión principal es adoptar una posición que dependa de la velocidad de giro de un eje y que dicha posición controle la mayor o menor acción motora sobre la carga del sistema. Se procede a estudiarlo como un problema académico.



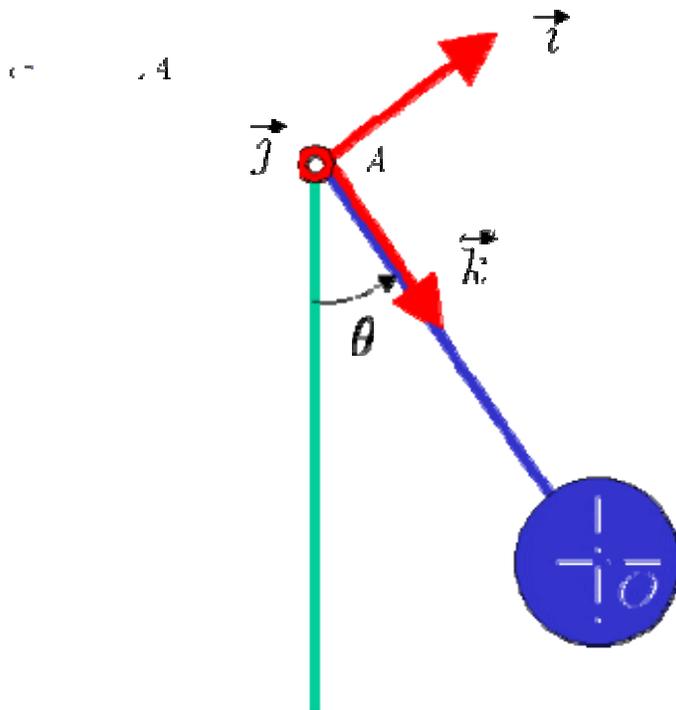
Se dispone de un sistema formado por los siguientes elementos:



- Un sólido rígido pesado  $s$  (azul) formado por una esfera maciza de radio  $R$  y masa  $m$  con una varilla de masa despreciable de longitud  $3R$  normal a la superficie esférica, como muestra la figura.
- Un eje vertical  $d$  (verde claro) que gira con velocidad angular  $\omega$ , articulado a la varilla por un pasador o bulón en  $A$ .

Se supone que la velocidad angular  $\omega(t)$  es conocida. Se tomará un sistema de referencia

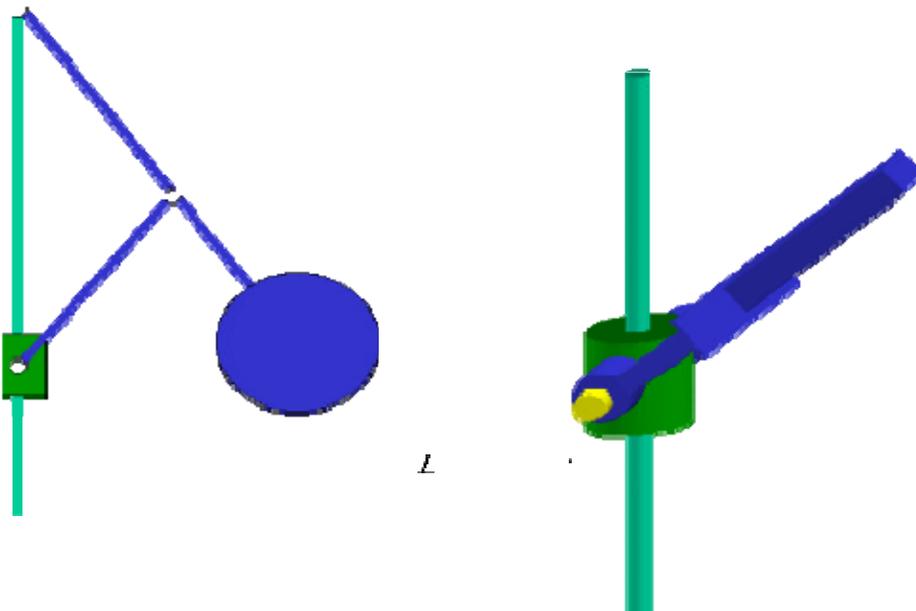
con origen en A, tercer eje dirigido de A al centro O de la esfera, primer eje en el plano de la varilla y el eje según la figura y segundo eje el necesario para completar una terna ortonormal y a derechas.

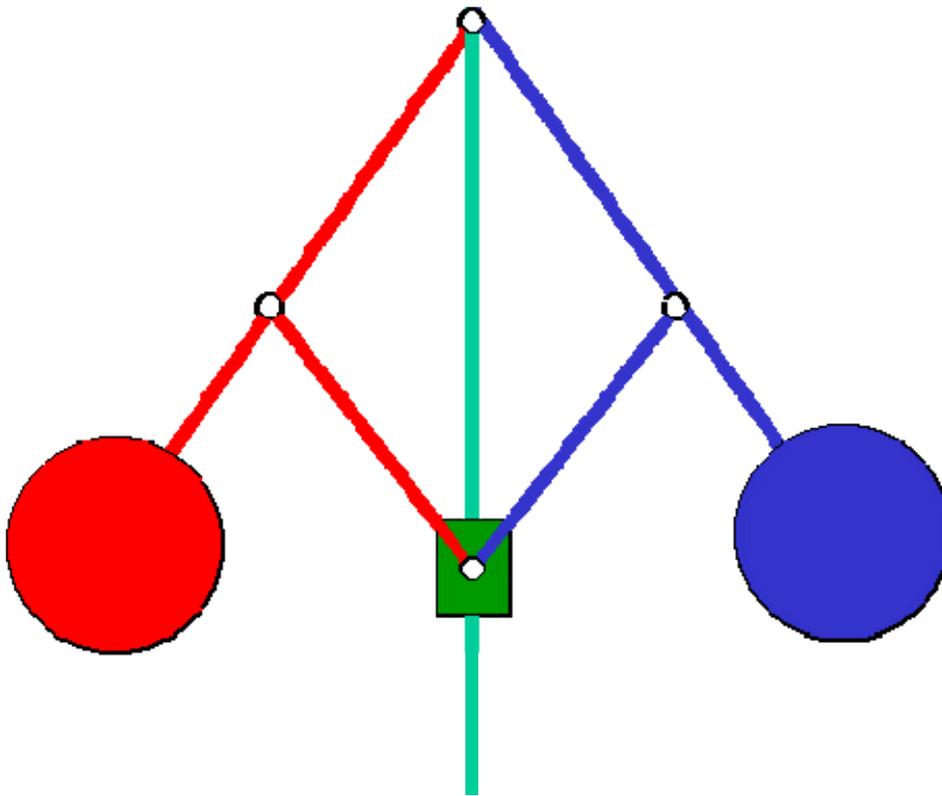


I.- Se estudian en primer lugar el movimiento del sólido y la acción de las fuerzas de ligadura en A.

Expresar en función de  $R, m, \Omega(t), \theta(t)$ , la velocidad angular del sólido  $\sigma$  en la base definida.

II.- Se añaden al sistema anterior una segunda varilla de masa despreciable CD articulada en los puntos C,D y un deslizador o corredera D de masa igualmente despreciable. Existe una fuerza resistente de tipo viscoso entre el eje  $\delta$  y la corredera D directamente proporcional a la velocidad y de coeficiente de proporcionalidad  $\gamma$ .





El **regulador de Watt** se ha utilizado ampliamente en la regulación del régimen de giro de las máquinas de vapor. En efecto, la posición del regulador refleja la velocidad de giro del eje que está acoplado a la máquina. La posición del deslizador marca la admisión de la válvula de vapor, de modo que si la máquina gira muy deprisa la admisión se reduce y si la máquina gira despacio la admisión se abre.

## **1.1.2.- Evolución del Control Automático (CA) y el Control de Procesos (CP) en el siglo XX.**

### **1.1.2.1.- Historia del Autómata. De Grecia a la Ilustración**

Un autómata es una máquina que puede realizar y duplicar en cierta forma ciertas acciones de seres vivientes. Los mitos Griegos discuten la existencia de un robot guardián hecho por Dédalo para el Rey Minos de Creta, que podía caminar alrededor de la isla días enteros para espantar a los intrusos. En el primer y segundo siglo antes de Cristo, Héro de Alejandría, inventor griego nacido el año 20, construyó autómatas, y en su libro Epivitalia él describe varios aparatos que parecían ser autómatas animales.

El filósofo medieval inglés Roger Bacon escribió sobre la automatización.

En 1354 el famoso reloj de Estrasburgo ( Suiza) fue construido ; era reloj en forma de ave hecho de metal que no sólo podía abrir el pico, sacar la lengua y cantar, sino que además podía extender sus plumas y mover sus alas.

El término autómata primero apareció en inglés en el año 1625 y fue relacionado a la idea de Inteligencia Artificial. En épocas del Renacimiento en Europa, los trabajos de Héros fueron redescubiertos y sus ideas y apuntes de sus experimentos inspiraron a los inventores y creadores del autómata.

Como resultado de la evolución de la Ciencia y del pensamiento durante los siglos XVI y XVII, se formó en el siglo XVIII todo un movimiento ideológico, fundamentalmente racionalista y crítico, llamado Ilustración.

Este siglo fue denominado el "Siglo de la Razón" o "Siglo de las Luces" ya que los filósofos pretendían iluminar con la razón todos los misterios del mundo y del hombre, a la vez que terminar con la oscuridad de la ignorancia y de la superstición que en esos tiempos era algo muy común entre las personas. Como conclusión, lo que se quería era enfrentar la ignorancia y la superstición, proclamando una fe ciega en la razón y el progreso, buscando así la felicidad. Todo esto sucedió gracias a grandes pensadores como Voltaire, Montesquieu y Rousseau, que tuvieron como antecesor de este racionalismo a Descartes.

Con este objetivo adquirieron especial estimación las ciencias experimentales, únicas consideradas "ciencias útiles", y la técnica.

## **La Revolución Industrial**

La economía mundial experimentó cambios fundamentales desde el último tercio del siglo XVIII. La producción de bienes entró en un proceso de desarrollo continuado, nunca conocido hasta entonces.

Paralelamente se introdujeron importantes cambios sociales y todo ello hizo que se entrara en una etapa histórica radicalmente distinta, una etapa con caracteres de revolución.

La Revolución Industrial se produjo cuando unas determinadas circunstancias sucedieron paralelamente en Inglaterra a fines del siglo XVIII.

En Inglaterra se había formado una poderosa burguesía que, desde el siglo XVII, había logrado imponerse en los mercados mundiales y, además, supo aplicar sus inversiones a los ramos de producción en masa, como por ejemplo a la industria textil. Pero la profunda transformación industrial sólo fue posible al producirse otras revoluciones, como la agrícola, la demográfica y la de los transportes, complementarias entre sí y que, en conjunto, constituyeron una auténtica revolución económica.

Con estas circunstancias favorables, la industria se transformó gracias a dos cambios decisivos: la mecanización del trabajo y la aplicación del vapor a las nuevas máquinas. Los inventos mecánicos surgieron de la experiencia de los artesanos, que aportaron soluciones prácticas capaces de aumentar la producción y abaratar los costes de manera increíble permitiendo así un mayor consumo de bienes de una misma calidad que los anteriormente producidos pero a un mucho menor costo.

Tras sucedido el inicio de este evento hasta ahora no ha parado esta revolución y continúa activa y aun perdura. Y como último desarrollo hasta ahora obtenido y logrado gracias a esta revolución se ha logrado la automatización industrial.

### **1.1.2.2.- DESARROLLO DE LA AUTOMATIZACIÓN EN EL SIGLO XX**

En el siglo XX el Control Automático y el Control de Procesos han tenido el verdadero salto que ha impactado de manera significativa en la sociedad y en el desarrollo económico del mundo.

Así, los países productores de las tecnologías de CA y CP, han llevado la vanguardia en el aumento de la riqueza y el descubrimiento de nuevos conocimientos.

Inicialmente el control mecanizado realizado mediante sistemas mecánicos, no tenían la rapidez ni la exactitud de los sistemas electrónicos actuales, por lo tanto ello llevó a que cada vez se fuera dando una migración desde los sistemas mecanizados a los sistemas electromecánicos, a los eléctricos y a los sistemas electrónicos que existen actualmente.

Los relés fueron en los años 30 y hasta los 40 la mejor forma de realizar control. Posteriormente con la aparición de los tubos de vacío se dio un salto gigantesco hacia los sistemas eléctricos, pues ello posibilitaba nuevas formas de resolver problemas de automatización y llevarlos a los procesos productivos.

Sin embargo todo lo anterior resultó comparativamente insignificante, con la aparición de Transistor, pues este dispositivo consume sólo el 5 ‰ (cinco por mil) de energía respecto del tubo de vacío, y es varios miles de veces más rápido en el tiempo de respuesta, y por último infinitamente más compacto. Esto ocurre durante la década de los años 60.

En la década de los años 70 y en adelante comienza la carrera por miniaturización y la integración de los transistores, contruyéndose unidades cada vez más rápidas, más confiables, y con una mayor capacidad de realizar operaciones, lo que significó el desarrollo de la robótica, a niveles casi insospechados. Esto se puede ver en la industria automotriz en Japón, donde todos los procesos se realizan mediante operadores artificiales. La industria de la madera en Canadá, donde existen máquinas automáticas, tanto para las labores de podado de los árboles, como para las tareas de cosecha y aserrado, donde la intervención de los operadores humanos es sólo como espectadores, pues ya no sólo se reemplaza la fuerza motriz de los seres humanos, sino también los niveles de decisión, y aún no terminan ahí los niveles de automatización de los procesos, pues también a nivel administrativo la automatización es una realidad.

La misma industria electrónica, la construcción de calculadores, relojes de cuarzo, computadoras digitales, y la construcción de controladores electrónicos con la más inimaginable gama de aplicaciones, y todos los periféricos de computadoras, hoy se realiza en forma automática, donde los operadores humanos se ven cada vez más desplazados, y con ello el impacto va desde la exigencia de subir los niveles de conocimientos y tecnificación, hasta la pérdida de empleos de las personas menos capacitadas.

El control de procesos, ha ido desde el monitoreo de una planta de manufactura, con la medición de todo tipo de variables, hasta la televigilancia e identificación de objetos en movimiento en tres dimensiones, pasando por el control de tareas del WORK FLOW (flujo de trabajo), y sistemas de reconocimiento de voz, y telecontrol. A ello se suma el desarrollo de la DOMOTICA (automatización domiciliaria), y la nanorrobótica.

El siglo XX, dejó el Control Automático y el Control de Procesos a un nivel tan elevado, que la mente humana, sólo le queda pensar en la ficción, como el límite donde se llegará, con la unión de la Inteligencia Artificial (IA) y la Robótica en todas sus aplicaciones (industrial en manufactura y administración, domiciliaria y la nanorrobótica).

### **1.1.3.- Desarrollo de modelos de control**

El Control Automático ha desarrollado una función vital en el avance de la ingeniería y la ciencia. Además de su extrema importancia en los sistemas de vehículos espaciales, de guiado de misiles, robóticos y similares, el control automático se ha vuelto una parte importante e integral de los procesos modernos industriales y de manufactura. Por ejemplo, el control automático es esencial en el control numérico de las máquinas-herramienta de las industrias de manufactura, en el diseño de pilotos automáticos en la industria aeroespacial, y en el diseño de automóviles y camiones en la industria automotriz.

También es esencial en la en las operaciones industriales como; el control de presión, temperatura, humedad, viscosidad, y flujo en las industrias de proceso.

Debido a que los avances en la teoría y la práctica del control automático aportan los medios para obtener un desempeño óptimo de los sistemas dinámicos, mejorar la productividad, aligerar la carga de muchas operaciones manuales repetitivas y rutinarias, así como de otras actividades, casi todos los ingenieros y científicos deben tener un buen conocimiento de este campo.

El primer trabajo significativo en control automático fue el regulador de velocidad centrífuga de James Watt para el control de la velocidad de una máquina de vapor, en el siglo XVIII. En 1922, Minorsky trabajó en los controladores automáticos para dirigir embarcaciones, y mostró que la estabilidad puede determinarse a partir de las ecuaciones diferenciales que describen el sistema. En 1932, Nyquist diseñó un procedimiento relativamente simple para determinar la estabilidad en lazo cerrado, con base en la respuesta en lazo abierto en estado estable cuando la entrada aplicada es una senoidal. En 1934, Hazen, quien introdujo el término servomecanismo para los sistemas de control de posición, analizó el diseño de los servomecanismos con relevadores, capaces de seguir con precisión una entrada cambiante.

Durante la década de los cuarenta, los métodos de la respuesta en frecuencia hicieron posible que los ingenieros diseñaran sistemas de control lineales en lazo cerrado que cumplieran con los requerimiento de desempeño. Al final de la década y principio de los cincuenta, se desarrolló por completo el método del lugar geométrico de las raíces propuesto por Evans.

Los métodos de respuesta en frecuencia y de lugar geométrico de las raíces, que forman el núcleo de la teoría de control clásica, conducen a sistemas estables que satisfacen un conjunto mas o menos arbitrario de requerimientos de desempeño. En general, estos sistemas son aceptables pero no óptimos en forma significativa. Desde el final de la década de los cincuenta, el énfasis en los problemas de diseño de control se ha movido del diseño de uno de muchos sistemas que trabajen apropiadamente al diseño de un sistema óptimo de algún modo significativo.

Conforme las plantas modernas con muchas entradas y salidas se vuelven más y más complejas, la descripción de un sistema de control moderno requiere de una gran cantidad de ecuaciones para su modelamiento matemático. La teoría de control clásica que trata de los sistemas con una entrada y una salida, pierde su solidez ante un sistema con entradas y salidas múltiples. Desde aproximadamente 1960, dado que la disponibilidad de las computadoras digitales hizo posible el análisis en el dominio del tiempo de sistemas complejos, la teoría de control moderna, basada en el análisis de en el dominio del tiempo y la síntesis a partir de variables de estados, se ha desarrollado para enfrentar la creciente complejidad de las plantas modernas y los requerimientos limitativos respecto de la precisión, el peso y el costo en aplicaciones militares, espaciales e industriales.

Durante los años comprendidos entre 1960 y 1980, se investigaron a fondo el control óptimo tanto de sistemas determinísticos como estocásticos, y el control adaptable, mediante el aprendizaje de sistemas complejos. De 1980 a la fecha, los descubrimientos en la teoría de control moderna se centraron en el control robusto, el control de  $H_\infty$  y temas asociados.

Ahora que las computadoras digitales se han vuelto más baratas y más compactas, se usan como parte integral de los sistemas de control. Las aplicaciones recientes de la teoría de control moderna incluyen sistemas ajenos a la ingeniería, como los biológicos, biomédicos, económicos y socioeconómicos.

#### **1.1.4.- Utilización de controladores electrónicos**

El propósito del control de procesos es el de mantener dentro de un valor preestablecido una determinada variable en un proceso industrial. Los sistemas de control deben tener la habilidad de arrancar, regular y parar un proceso en respuesta a la medición de variables monitoreadas dentro de él, con el objeto de obtener la salida deseada. El sistema de control ideal es aquel en donde los procesos responden instantáneamente a los cambios en los requerimientos de entrada. Dentro de los Controladores Electrónicos existen, los controladores ANÁLOGOS y los controladores DIGITALES. Actualmente, los que verdaderamente se están usando, corresponden a los controladores digitales, debido a su similitud a las computadoras actuales, las ventajas de eliminación de ruidos, y las mayores velocidades de transmisión de los datos.

#### **CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES:**

Los medios de control establecidos, incluyendo relés, circuitos lógicos y sistemas de computadores, suministran control a los procesos industriales. Sin embargo, cada uno de los anteriores medios tiene sus limitaciones o desventajas y las soluciones que han resultado efectivas han sobrevivido y evolucionado, proveyendo a los usuarios de hoy con un rango de escogencias para conveniencia de las necesidades de control de procesos. En este último rango se ubican los Controladores Lógicos Programables o PLC's.

Un PLC se define como un sistema electrónico digital diseñado para trabajar en ambientes industriales, que usa memorias programables para el almacenamiento de instrucciones, con las que implanta funciones específicas, (lógicas, secuenciales, temporizadas, de conteo y aritméticas) para controlar diversos tipos de procesos, a través de módulos de entrada/salida análogos o digitales.

Los PLC se desarrollaron a comienzos de los 70's y se usaron principalmente en la industria automotriz para reemplazar grandes bastidores de relés que suministraban el control. El incremento en la utilización de PLC en procesos industriales ha animado a sus fabricantes a desarrollar familias completas de sistemas basados en microprocesadores con diferentes niveles de desempeño.

Las ventajas de los PLC se describen a continuación:

- Reemplazan grandes bastidores de relés.
- Requieren mucho menos espacio que otros dispositivos.
- Tienen mayor confiabilidad en el desempeño en largos periodos de tiempo.
- Presenta flexibilidad para cambiar secuencias de control sin cambiar cables.

## CONTROLADORES LOGICOS SENCILLOS NO PROGRAMABLES:

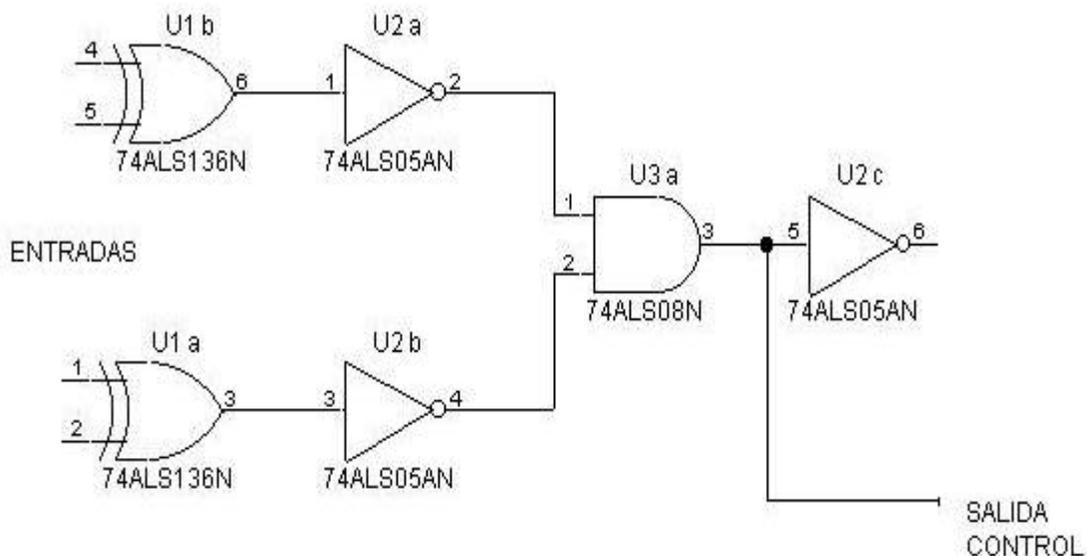
Pero así mismo, pueden existir controladores lógicos no programables por computador, que puede tomar decisiones mediante la observación de variables binarias.

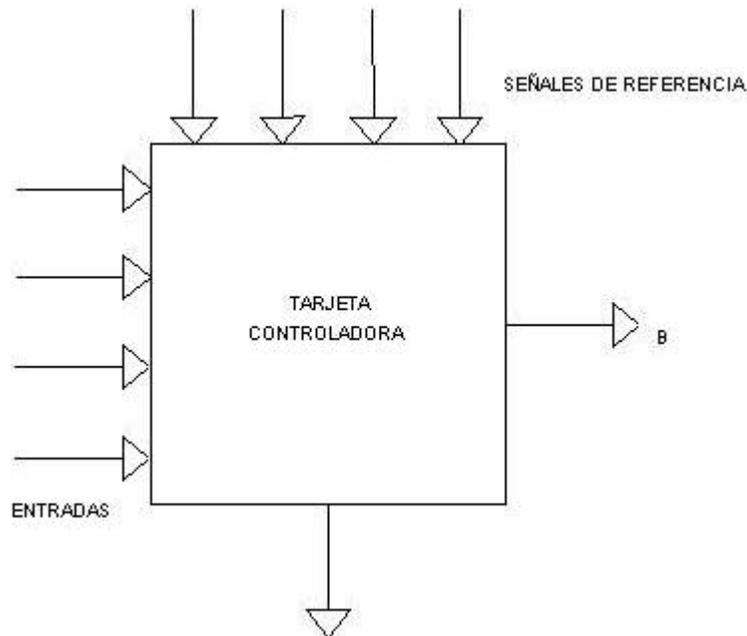
Sabemos que el control continuo o análogo usa directamente señales tomadas de sensores y maneja salidas asociadas (actuadores) tales como válvulas, bombas, calefactores, etc. Estos actuadores pueden ser de variación continua o pueden ser simplemente elementos de Encendido/Apagado en tiempo proporcional. El procesamiento realizado por este tipo de control sobre la señal de entrada, depende del proceso involucrado, pero típicamente utiliza amplificación y alguna forma de funciones matemáticas, tales como integración, para desear el cambio deseado sobre los elementos de salida. Los controladores continuos pueden incluir sistemas electrónicos analógicos, computadores y microprocesadores.

El control discontinuo (on/off) es muy común en la mayoría de las industrias, puesto que muchas máquinas y procesos están constituidos con unidades que sólo pueden estar en una de dos condiciones, controladas por un gran número de operaciones simples y pasos de una secuencia. Los controladores binarios pueden estar constituidos por relés, sistemas electromecánicos, sistemas lógicos neumáticos o hidráulicos, computadores o controladores programables. Estos métodos no pueden compararse, pero sí pueden integrarse, pues cada uno tiene su campo de aplicación y es más eficiente en su propia área.

En todas las instalaciones industriales es necesario automatizar un proceso actuando sobre una o más salidas binarias. El sistema que realiza esta función se denomina controlador lógico, porque toma decisiones mediante la observación de variables binarias.

El tipo de tarjetas controladoras no programables se pueden diseñar utilizando arreglos de compuertas lógicas, tal como se muestra a continuación:



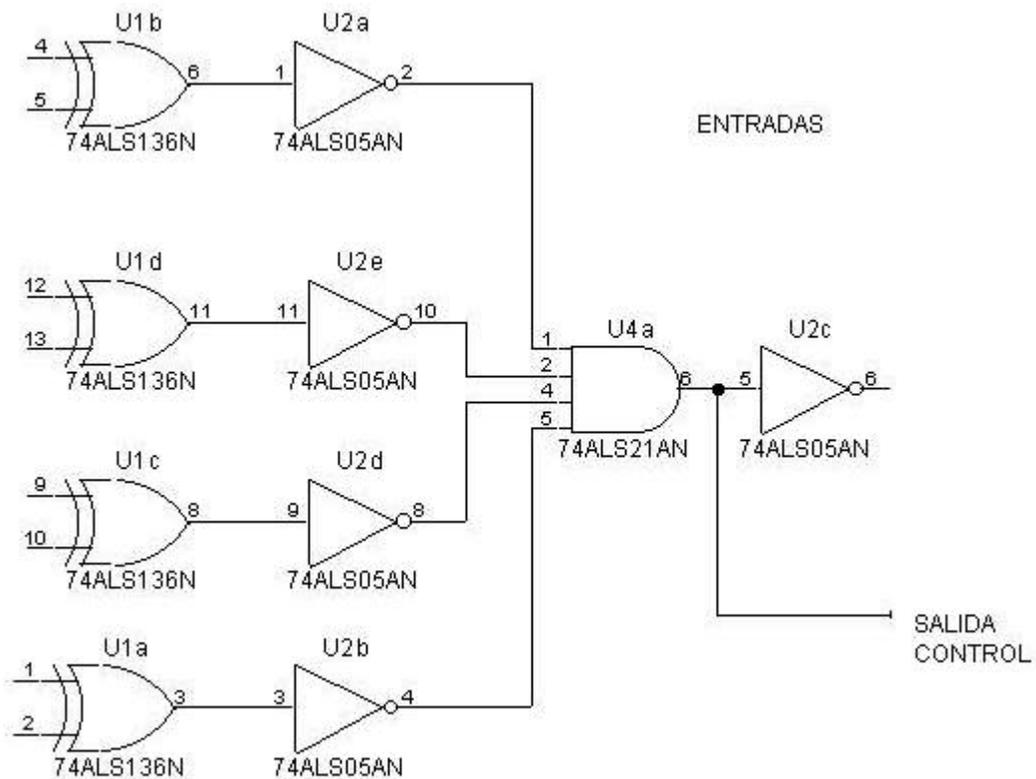


Las compuertas lógicas son circuitos electrónicos que operan con una o más señales de entrada para generar una señal de salida. Señales eléctricas, como voltajes y corrientes, se encuentran en los sistemas digitales en una de dos formas reconocibles. Los circuitos operados por voltaje responden a dos gamas de voltaje independientes que representan variables binarias iguales a 1 lógico y 0 lógico. Las terminales de entrada de las compuertas lógicas aceptan señales binarias de las gamas permisibles y responden en las terminales de salida con señales binarias de las gamas especificadas. Las regiones intermedias entre los intervalos permitidos se cruzan sólo durante los cambios de 1 a 0 y de 0 a 1. Estos cambios se llaman transiciones.

Las compuertas son circuitos electrónicos que producen señales equivalentes a 1 lógico y 0 lógico, de acuerdo con las tablas de la verdad respectivas. La tabla de la verdad del circuito descrito anteriormente, el cual se encuentra desarrollado con compuertas NOR exclusivo o XNOR, compuertas AND y NOT es:

1	2	4	5	6 N O T	SALIDA
0	0	0	0	1	0
1	0	0	0	0	1
1	1	0	0	1	0
1	1	1	0	0	1
1	1	1	1	1	0

Mediante el arreglo de compuertas lógicas descrito, se puede comparar varias señales lógicas de entrada con señales previamente establecidas (setpoints). Si las señales de entrada coinciden con los Setpoints, se generará una señal de salida 1 lógico. Este montaje se puede repetir n cantidad de veces, dependiendo del número de señales que desee comparar, tal como se muestra a continuación, en un arreglo para 4 entradas:



### 1.1.5.- Utilización de la computadora en el entorno Control Automático y Control de Procesos.

La computadora en el control automático ha sido central, en el sentido de poner a disposición de los controladores electrónicos, una cantidad suficientemente grande de memoria RAM y aún una cantidad mayor de memoria en disco duro, además de una capacidad infinita de posibilidades de hacer procesos de cálculo, sólo limitada por la capacidad de invención de los ingenieros y programadores para inventar y construir programas.

Como ya se ha señalado en apartados anteriores, la computadora digital ha impulsado y posibilitado la automatización de plantas de procesos de manufactura, y en si a permitido construir computadoras a menor precio, y todo tipo de controladores electrónicos a menores precios y mas precisos en cuando a la realización de cálculos, y mas seguros en la confiabilidad y seguridad.

### 1.1.6.- Estado actual de la automatización industrial

Actualmente en la automatización se están estableciendo conceptos más claros y definidos que están permitiendo sacar a la automatización del estado en el que se encontraba, lográndose con esto, alcanzar los objetivos primordiales de flexibilidad, universalidad e integración.

Los avances realizados en la automatización industrial han tocado diferentes aspectos dentro de la industria, no solo en el campo de la automatización de procesos, sino también en el campo administrativo y gerencial.

**Conceptos como:** Control basado en la PC Comunicación industrial Seguridad de datos Tecnología WEB Windows CE JAVA para la automatización están siendo empleados hoy en día en la automatización moderna, lográndose resultados sorprendentes con respecto al aumento de la producción y al mercadeo del producto.

La integración se ha convertido en el aspecto más importante de los sistemas modernos automáticos.

La integración horizontal en la cadena de producción -desde el ingreso de materia prima pasando por el proceso de producción, hasta el empaquetado, almacenaje y envío - junto con la integración vertical son los pilares para la realización técnica en una automatización moderna. Por otro lado se tienen las exigencias del usuario por sistemas abiertos fáciles de manejar, para poder conectar sistemas de diferentes compañías y de esta forma, poder emplear rápidamente los avances técnicos, como por ejemplo, la PC industrial (IPC) o la tecnología Internet. Es decir, se debe lograr un consenso entre integración, flexibilidad, continuidad e innovación para alcanzar una gran disminución del Life-cycle Cost de los productos y poder ser competitivos en el mercado globalizado.

Mediante la automatización total se logra tener el control completo de la empresa a través del procesamiento continuo de los datos generados por las diferentes áreas de producción y administración.

### **Control basado en la PC**

Después de muchos años de discusión, el tema sobre "Automatización Basada en la PC" ha logrado imponerse, pues la confianza de emplear la PC como plataforma de control y automatización de procesos ha aumentado considerablemente.

Los sistemas basados en la PC han abierto un campo muy grande de aplicaciones interesantes, aumentando enormemente las posibilidades en la automatización. Los nuevos sistemas y/o componentes empleados en la automatización se caracterizarán por ser 100% compatibles a un determinado estándar industrial, de manera que las herramientas empleadas minimizarán los costos de inversión y de energía. El estándar se está estableciendo a través de una plataforma abierta como es la que ofrece la PC mediante el empleo de Windows 2000, Active X, COM/DCOM y OPC (OLE for Process Control).

Los costos en integración e ingeniería también se reducen mediante el empleo de plataformas para el control, visualización, supervisión, protocolo, parametrización, etc., gracias a la integración óptima de los componentes del sistema. La introducción de nueva tecnología y productos innovativos como el Slot-PLC y el Soft-PLC, los cuales se caracterizan por poseer un tiempo de reacción determinístico, permiten una integración total en la automatización industrial.

### **Comunicación Industrial**

Los nuevos conceptos en la automatización requieren de soluciones en la comunicación que posean una gran fiabilidad y estabilidad, para poder permitir un networking entre las compañías.

Ethernet ha sido la red LAN (Local Area Network) más exitosa de los últimos años. Basándose en esta red se ha diseñado la "Industrial Ethernet" (Ethernet industrial) para ejecutar labores de alta velocidad y con características tales que pueda ser empleada en las labores del control y automatización de procesos. Pues Ethernet ya ha sido implementada y probada en muchas aplicaciones, la cual conjuntamente con módulos ópticos provee un aumento de performance de hasta 100 Mbit/s. A la vez el sistema automático de reconocimiento de data por medio de una tecnología de autosensado, permite al usuario la integración de sistemas Ethernet existentes.

A través de esta red se enviarán los datos para el monitoreo, parametrización y diagnóstico, incluso en redes basadas en la WEB. La técnica del cableado posibilita una rápida instalación gracias a conectores apropiados y reduce considerablemente el empleo de cable.

En una etapa de transición se tendrán diferentes redes de comunicación integradas a través de gateways, las cuales según los requerimientos podrán tenerse una combinación entre los buses de campo Profibus, ASI, CAN Bus, Interbus, Safety Bus, LON, etc.

### **Seguridad de Datos**

La Internet e Intranet están aumentando en importancia en la comunicación industrial. La automatización industrial, las redes y las computadoras son recursos indispensables y por lo tanto poseen un elevado riesgo en el aspecto de la seguridad.

Desgraciadamente es un hecho indiscutible que una parte vulnerable de la transmisión de datos a distancia es la seguridad y confiabilidad de la transmisión. La cual se debe proteger, por ejemplo, contra las emisiones electromagnéticas, el espionaje industrial, sabotaje, etc.

El primer paso a realizarse debe ser la identificación de los riesgos potenciales en la seguridad para poder remediarlos en las primeras etapas de la implementación del sistema. Pues solo tomando en consideración la topología de la red que es típica en los ambientes industriales es posible conseguir la mejor solución para la implementación de un sistema de seguridad eficiente.

Mecanismos como el Firewall, sistemas de encriptamiento en tiempo real y el empleo de redes privadas virtuales (VPN) contribuyen al aumento de la seguridad

### **Tecnología WEB**

Hoy en día el mundo de la información está dividido en tres áreas (Automation, Management Execution Systems - MES y Enterprise Resource Planning - ERP), entre las cuales se puede lograr un flujo de información mediante un costo elevado y a través de adaptaciones específicas. Debido a la demanda constante de reducción de costos, aumento de productividad y competencia globalizada, estas tres áreas deben estar integradas en una sola.

Gracias al rápido desarrollo de la Internet, se considera que ésta será la encargada de la integración. Para esto Microsoft resume este desarrollo con las iniciales DNA (Distributed interNet Architecture), la cual cubre 5 tecnologías básicas (Web Browser, Dynamic HTML, Active X Controls, OLE for Process Control - OPC y Extended Markup Language - XML).

Hoy en día, el Web Browser es el instrumento en donde corre la mayoría de las aplicaciones SCADA usando el Dynamic HTML, en donde se presenta al usuario la información bajo diferentes medios gráficos, de animación con audio y video.

Los controles ActiveX ya son usados frecuentemente en aplicaciones de Internet y se han establecidos como estándar. OPC y XML representan dos estándares abiertos, que son por un lado altamente adaptables (XML) y por el otro, proveen un intercambio transparente de datos entre cualquier número de aplicaciones.

En la automatización los sistemas SCADA como el WEBfactory, sirven como concentradores de datos y puertos de comunicación entre los niveles del proceso productivo, de manera que el usuario podrá realizar las diversas tareas de supervisión, control y adquisición de datos desde cualquier lugar del mundo, mediante los Browsers que vienen en los diferentes sistemas operativos, ya sea Windows, Linux, Unix, Vx-Works, etc.

## **Windows CE**

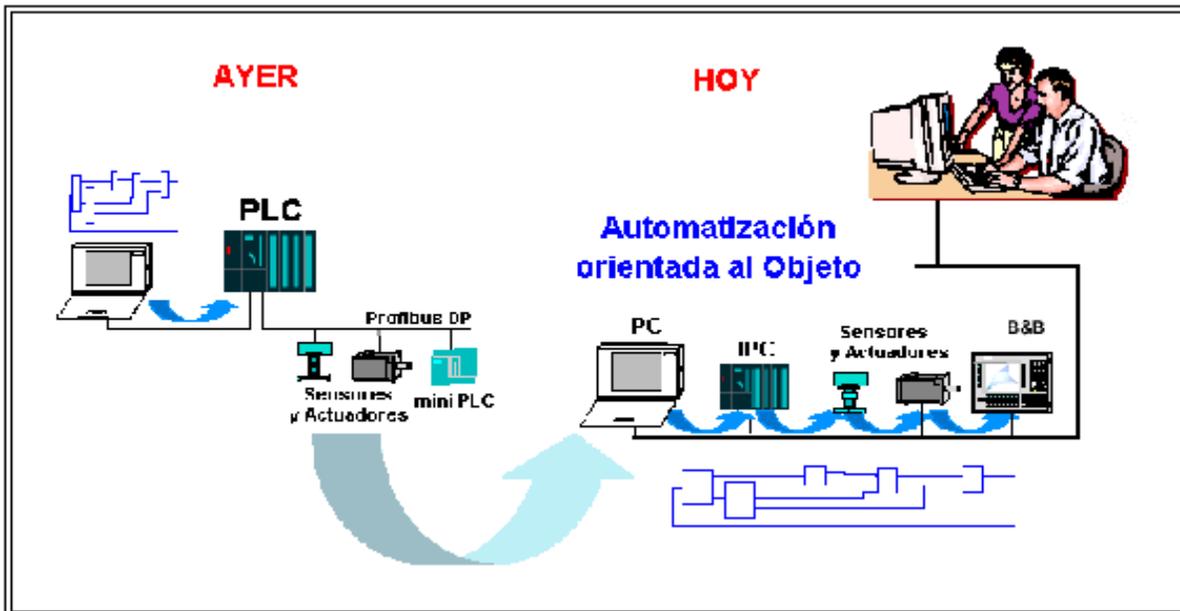
Se esta destacando como el sistema operativo empleado para el control y monitoreo de sistemas automáticos. Este sistema operativo, el cual es una migración del sistema operativo Windows, se distingue por su capacidad de poder modularizar sus componentes y poder integrarlos en dependencia a la aplicación a implementarse. Las funciones básicas de amigabilidad, flexibilidad y comunicación conocidos por Windows (NT, 95, 98) se mantienen.

## **Java para la Automatización**

En comparación con otros lenguajes de programación, el lenguaje de programación Java posee varias ventajas que han hecho que vaya ganando más y más la aceptación en el mundo de la tecnología de la información. Mas sin embargo, Java tiene algunas características que no le permiten ser el lenguaje apropiado para la automatización.

Por un lado debido a que no posee un comportamiento en tiempo real (real-time) y por el otro, por no poder anexar directamente los puertos de entrada/salida (I/O). Pero gracias a la implementación de ciertos módulos (drivers) se ha abierto la posibilidad de poder usar Java en la automatización a través del uso del JFPC (Java For Process Control).

Mediante la implementación de estas tecnologías en la automatización se podrá lograr el objetivo de competitividad global; es indispensable que la empresa peruana empiece a hacer uso de estas tecnologías para poder ser competitivas ante un mundo cada vez más exigente.



## 1.2.- IMPACTO DEL Control Automático y Control de Procesos SOBRE la sociedad:

### 1.2.1.- Introducción

Nos encontramos al del siglo XX, y como debería ser, el constante desarrollo de la ciencia ha traído consigo varios aportes en muchos aspectos al descubrimiento de los varios misterios que existen en el mundo a lo largo de la historia . Desde 1890 una autentica " Revolución Científica " se inició y entre los años 1890 y 1914 las teorías del hombre empezaron a fluir en todos los campos del conocimiento. Desde entonces, la ciencia de nuestro siglo nos ha ido trayendo nuevas sorpresas producto de grandes descubrimientos. No sólo resolviendo misterios del Universo y su estructura, sino que también descifrando el origen de la vida. En el siglo XX, otra "Revolución Científica " se está llevando a cabo. Grandes avances en los campos de la Física, Química, Biología, Medicina, Sociología, Psicología y Tecnología se están realizando diariamente. La ciencia y la tecnología, juegan un papel muy importante en el mundo. La tecnología moderna, en conjunto con las investigaciones científicas han logrado ofrecernos las resoluciones de casi todos los problemas de nuestros días. También le han permitido al hombre obtener el control de la naturaleza y asimismo de las máquinas creadas por el hombre para hacer de sus labores sean más sencillas. Gracias a esto es que el hombre de nuestros tiempos esta empezando a percibir una real amenaza para su futuro. Esto debido a que el mismo hombre esta utilizando estos nuevos descubrimientos para su propio bien sin importarle el resto, entre los cuales se encuentran los demás seres humanos. Por lo cual, podemos afirmar que la tecnología puede brindar grandes ventajas, así como grandes desventajas. Un caso es el desempleo de varios seres humanos pertenecientes al resto, producto de la utilización de máquinas como reemplazo a la mano del hombre, hecho denominado Automatización.

### 1.2.2.- La Automatización. Definición

El término automatización se refiere a una amplia variedad de sistemas y procesos que operan con mínima o sin intervención del ser humano.

En los más modernos sistemas de automatización, el control de las máquinas es realizado por ellas mismas gracias a sensores de control que le permiten percibir cambios en sus alrededores de ciertas condiciones tales como temperatura, volumen y fluidez de la corriente eléctrica y otros, sensores los cuales le permiten a la máquina realizar los ajustes necesarios para poder compensar estos cambios. Y una gran mayoría de las operaciones industriales de hoy son realizadas por enormes máquinas de este tipo.

### **1.2.3.- Los Principios de los Sistemas Automatizados**

Un sistema automatizado ajusta sus operaciones en respuesta a cambios en las condiciones externas en tres etapas : medición, evaluación y control.

#### **a. Medición**

Para que un sistema automatizado reaccione ante los cambios en su alrededor debe estar apto para medir aquellos cambios físicos.

Por ejemplo, si la fluidez de la corriente eléctrica de una maquina cambia, una medición debe ser llevada a cabo para determinar cuál ha sido este cambio. Estas medidas realizadas suministran al sistema de ingreso de corriente eléctrica de la máquina la información necesaria para poder realizar un control. Este sistema es denominado Retroalimentación ( FEEDBACK), ya que la información obtenida de las medidas es retroalimentada al sistema de ingresos del sistema de la máquina para después realizar el respectivo control.

#### **b. Evaluación**

La información obtenida gracias a la medición es evaluada para así poder determinar si una acción debe ser llevada a cabo o no. Por ejemplo, si una nave espacial su posición y encuentra que está fuera de curso, una corrección del curso debe llevarse a cabo; la función de evaluación también determina qué tan lejos y en que dirección debe ser lanzado un cohete para que la nave espacial tome el curso de vuelo correcto.

#### **c. Control**

El último paso de la automatización es la acción resultante de las operaciones de medición y evaluación. Continuando el ejemplo de la operación anterior, una vez que se sabe qué tan lejos y en qué dirección debe ser lanzado el cohete, el cohete es lanzado y devuelve al curso de vuelo a la nave espacial gracias a la reacción causada por el paso del cohete junto a la nave espacial.

En muchos sistemas de automatización, estas operaciones debe ser muy difíciles de identificar. Un sistema puede involucrar la interacción de más de un vuelta de control (CONTROL LOOP), que es la manera en la que se le llama al proceso de obtener la información desde el sistema de salida de una máquina y llevarla al sistema de ingreso de la misma. Pero como conclusión, todos los sistemas automatizados incluyen estos tres pasos u operaciones.

### **El Desempleo**

El desempleo ocurre en todos los grupos sociales y ocupacionales, especialmente en jóvenes, mujeres y aquellas personas que residen áreas urbanas declinables. Pero las causas y tipos del desempleo son varias.

Algunos desempleos son por ciclos; varían según las condiciones económicas de la empresa. Cuando la empresa se encuentra mal económicamente, los trabajadores son despedidos, y cuando vuelve a surgir la empresa son vueltos a contratar. También existe el desempleo por temporadas que ocurre normalmente en áreas tales como la agricultura, construcción, y otras compañías que durante el año suelen tener épocas de mayor trabajo y épocas en las que el trabajo necesario es mínimo por lo cual no se necesita demasiados empleados. Un ejemplo claro son los obreros, personas las cuales no trabajan con una empresa en particular, y están siempre en busca de una construcción a realizar por empresas constructoras para luego ser contratados como trabajadores independientes, por lo cual no reciben un sueldo fijo y cuentan con un trabajo estable y pasan la mayor parte de su tiempo desempleados.

También existe un tercer tipo de desempleo el cual es denominado como friccional. Sucede como un ciclo, cuando nuevos, normalmente jóvenes, trabajadores entran a un mercado en busca de empleo mientras algunos trabajadores de aquel mercado abandonan su puesto en busca de otro en otra empresa con la esperanza de una mejor paga. Pero la razón más resaltante de desempleo hasta hace algunos años atrás era el desempleo producto de una imperfecto en los ajustes del mercado laboral.

Cuando los trabajadores de regiones en donde existe materia prima para extraer y procesar, se desempeñan por largas temporadas, normalmente años, en empresas las cuales se establecen en aquellas regiones por largo tiempo. Pero una vez acabados los recursos de aquella región la empresa se retira de la misma despidiendo a aquellos trabajadores. Aquellos trabajadores despedidos, pierden sus empleo y además no son empleados por otras empresas debido a que su especialidad, adquirida durante su desempeño en la empresa desaparecida, no le permitía desempeñar las labores pedidas por otras empresas de otros rubros.

Pero hoy en día se ha desarrollado un nuevo tipo de desempleo, el cual apareció como consecuencia del increíble desarrollo tecnológico sucedido en los últimos años en el mundo. El desempleo como causa de la automatización en las empresas.

### **El Desempleo como causa de la Automatización**

En La Actualidad La automatización, producto del gran desarrollo industrial ocurrido desde la Revolución, ha traído consigo aspectos sociales devastadores así como grandes aportes científicos y económicos.

El desarrollo de la automatización libera al hombre de los trabajos más rutinarios y le permiten dedicar mayor tiempo al ocio. La automatización genera paro ; y el posible mal uso de la informática como parte de la automatización puede convertirse en una amenaza para la libertad del hombre.

La falta del desarrollo de nuevas formas de empleo es preocupante. Cada día se esta diseñando una nueva máquina que reemplazará al hombre en una más de sus funciones.

Una vez que las máquinas reemplacen todas las funciones del hombre, qué pasará con él.

### **Conclusiones**

- Si la automatización no es utilizada en la búsqueda de nuevas formas de trabajo para el hombre la situación económica de una gran mayoría de la población mundial estará en crisis.

- Los seres humanos se preocupan más en el desarrollo de nuevas máquinas más no en el desarrollo del ser humano.
- Una gran parte de los seres humanos deben ser capacitados para poder tener acceso a uso de tecnología, sino no tendrán oportunidad de desarrollarse como personas.
  
- Si se tuviera que señalar en pocas palabras los efectos del Control Automático y el Control de Procesos sobre: Productividad, Calidad, Costo, La Sociedad, y el medio ambiente, se puede decir que:
  - Productividad: Esta ha mejorado, ha aumentado y se ha diversificado
  - Calidad: La calidad ha mejorado, llegando a niveles de error poco significativos.
  - Costo: los costos de producción han disminuido, producto de la producción en línea y las economías de escala.
  - La Sociedad: A nivel social, se han generado nuevos empleos, y se han generados nuevos desempleados. A permitido la acumulación de la riqueza en los países desarrollados, y en grupos económicos reducidos.
  - El medio ambiente: Se ha beneficiado, en cuanto a posibilitar procesos de producción limpia, y la creación de procesos de reciclaje de residuos, y el tratamiento de los residuos para depositar sólo materias inertes.

# CAPITULO II: TIPO DE PROCESOS INDUSTRIALES

## 2.1.- Definición de Automatización

En el campo de la industria, los primeros sistemas de control estuvieron basados casi exclusivamente en componentes mecánicos y electromecánicos ( palancas, engranajes, relés pequeños motores, etc), y se desarrollaron, a fines del siglo XIX y principios del XX, para satisfacer necesidades del nuevo esquema productivo surgido como consecuencia de la revolución industrial. en la segunda mitad del siglo XX, debido a los progresos revolucionarios de la electrónica.

Los desarrollos en este campo han producido grandes cambios en el quehacer humano, desde facilitar el funcionamiento de artefactos corrientes de la vida cotidiana, hasta la automatización de los sistemas de producción industriales, o la colaboración en los explosivos desarrollos que han tenido lugar en la segunda mitad del siglo XX; serían impensables los viajes al exterior, si no se contara con los sistemas de control que permiten y/o garantizan el correcto funcionamiento de los dispositivos implicados en estas empresas.

Con referencia a la automatización de los sistemas de producción industriales, los primeros sistemas de control industriales estaban compuestos de relés y otros elementos interconectados entre sí. Más tarde con la aparición de circuitos integrados se fueron abandonando los esquemas basados en relés. Estos sistemas funcionan en base a una lógica cableada que dependen de los componentes que lo integran y de la forma en que están interconectados, la única manera de cambiar la función de control es modificando sus componentes o la forma de interconectarlos. Pero con la llegada de los microprocesadores, sumada a la demanda de la industria en cuanto a sistemas de control económico, robustos flexibles, fácilmente modificables, con posibilidad de manejar tensiones y corrientes fuertes, apareció como alternativa a la lógica cableada, una lógica programada y como consecuencia los sistemas programables generalmente llamados PCL (controladores lógicos programables). Estos sistemas pueden realizar distintas funciones de control sin altera su configuración física, con sólo cambiar el programa.

### - Automática

Definición. Ciencia que trata de los métodos y procedimientos cuya finalidad es la sustitución del operador humano por un operador artificial en la ejecución de una tarea física o mental previamente programada. La «automatización» se puede considerar como la aplicación de aquella a los procesos industriales, administrativos, etc. Este mismo significado se debe dar al vocablo «automación», que deriva del anglosajón *automation* que, a su vez, es una contracción de *automation*, aunque algunos opinan que su origen debe buscarse en otras dos palabras, *automatics* y *production*.

Principios básicos. *Mecanización* y *automatización* son conceptos distintos. La primera se refiere a la sustitución de la energía física del hombre por la de una máquina; el trabajo del hombre no se halla totalmente eliminado del proceso de producción, pero su intervención queda reducida a dirigir los materiales y a regular las máquinas, que ejecutan sin flexibilidad alguna, ciegamente, el programa que previamente se ha fijado. La automatización difiere esencialmente de aquella en que el operador humano se sustituye por un *sistema de realimentación*.

En estos sistemas, la diferencia entre el valor real de la variable que se está regulando (salida del sistema) y el valor deseado de la misma, es decir, el error, se utiliza para regular el propio sistema.

Esta diferencia se mide en un *órgano detector de error* y, una vez amplificada, actúa sobre los mecanismos de gobierno. Esquemáticamente un sistema sencillo de *control automático* (o *regulación automática*, como también se denomina) en el que se utiliza este proceso de realimentación. En el detector de error se obtiene automáticamente la diferencia,  $e = a - b$ , entre la señal de entrada o de referencia,  $a$ , y la variable que se está regulando,  $b$ . Si  $a > b$ , error positivo, ha de entenderse que la salida es menor que la deseada y entonces el órgano de control tiene que actuar sobre el proceso que se está controlando, de forma que aumente el valor de la variable regulada. En caso contrario,  $a < b$ , error negativo, los elementos de control actúan disminuyendo la variable regulada. No siempre ésta se compara directamente con la señal de entrada. En general, las variables que se comparan son señales elaboradas a partir de las variables reales de entrada y salida. En algunos casos, incluso, las magnitudes físicas que llegan al detector de error son de distinta clase de las que constituyen la entrada y salida del sistema. Así, p. ej., se pueden utilizar magnitudes eléctricas para representar magnitudes mecánicas. Un esquema de control más completo, teniendo presentes estas circunstancias. Así, la entrada real se transforma en la entrada de referencia que representa a aquélla y, análogamente, la salida se elabora mediante los elementos de realimentación que la convierten en la que llega al detector de error. Es decir, que en éste se comparan las variables elaboradas con las de entrada y salida. Por este procedimiento, cualquier perturbación que se produzca en el proceso que se está regulando, debida a causas exteriores, o a variaciones imprevistas en su funcionamiento, se compensa automáticamente mediante el sistema de realimentación. De esta forma se logran sistemas complejos que regulan su propio comportamiento, realizando el proceso deseado (de fabricación o de otro tipo) sin intervención humana.

La automatización no es, pues, un perfeccionamiento de la mecanización, sino que se basa en un principio distinto, en el que se trata de eliminar el «eslabón» hombre en el proceso de producción.

Antecedentes y evolución. Sin embargo, este principio de realimentación no es un concepto nuevo, sino que se conocía y aplicaba hace ya muchos años. Basta recordar el regulador de fuerza centrífuga inventado por Watt en 1788. Ahora bien, el desarrollo tecnológico durante la II Guerra mundial, con la revolución de la Electrónica, impulsó las investigaciones, edificándose una ciencia coherente basada en el fenómeno de la realimentación, que ya se había utilizado en la regulación de motores, en reguladores de tensión, en amplificadores electrónicos, etcétera, pero los estudios en cada uno de estos campos se habían realizado independientemente, ignorando los principios comunes a todos ellos. El conocimiento de esta base común permitió su estudio e investigación matemática de forma general. Los primeros trabajos que inician el estudio analítico de estos sistemas (concretamente de los servomecanismos, que podemos considerar como sistemas de realimentación donde la variable regulada es una posición mecánica) fueron publicados por Hazen e Ivanoff en 1934. Durante la II Guerra mundial, estos estudios se desarrollaron extraordinariamente, publicándose en la posguerra la información obtenida, en forma de libros y artículos de revistas.

Sistemas en bucle abierto. Es interesante observar que el proceso de realimentación se cumple también, en cierto modo, en los sistemas de regulación en bucle abierto (*open loop*), que, por su principio de funcionamiento, no son sistemas de realimentación desde el punto de vista automático.

En efecto, en ellos el bucle de realimentación se cierra a través del operador humano, el cual observa las desviaciones del comportamiento real del sistema respecto del deseado y aplica las correcciones convenientes; es decir, el hombre actúa de detector de error y órgano regulador. Ahora bien, se ha puesto de manifiesto que en procesos complejos, el operador humano se adapta mal a esta función reguladora y es preciso sustituir el eslabón humano en el bucle de realimentación por aparatos sensibles que cumplen mejor su tarea. Esto muestra las dos vertientes de la automatización. Por un lado lleva consigo la liberación del operador humano de los trabajos rutinarios (aspecto muy importante desde el punto de vista social), pero, por otro, las máquinas también quedan liberadas de las restricciones impuestas por la limitación de las facultades del hombre.

Incidentalmente hay que hacer notar que el fenómeno de la realimentación, así como las posibles oscilaciones que le acompañan, tienen lugar en campos muy diversos y alejados de los problemas de la regulación automática que estamos tratando. Así, se presenta en los sistemas económicos: las fluctuaciones periódicas de la actividad económica, con épocas de prosperidad y depresión, estudiadas hace pocos años por Keynes, son un ejemplo de oscilaciones producidas en un sistema de realimentación.

Se podrían citar otros ejemplos, pero acaso el más interesante es el que se refiere al hombre ya los animales, analizado por Wiener. La coordinación de los movimientos en el hombre es debida a un fenómeno de realimentación. El hecho simple de mover la mano para coger un objeto que está en la mesa se realiza por un procedimiento de realimentación visual, observando la posición de la mano y corrigiéndola continuamente hasta alcanzar su objetivo. Los ojos envían la información al cerebro, indicando la forma como se está realizando la operación y el cerebro, de acuerdo con esta información, transmite las instrucciones precisas para modificar convenientemente la acción de los músculos hasta que la mano logra coger el objeto. Wiener analiza algunas enfermedades, como la *ataxia locomotriz*, en la que las sensaciones que experimentan las piernas del paciente no se transmiten al cerebro, es decir, se ha roto este circuito de realimentación. En estas condiciones, el enfermo debe mirar siempre a las piernas cuando anda, con objeto de vigilar sus movimientos, lo cual no es necesario en las personas normales.

Las máquinas calculadoras. *Las calculadoras electrónicas* (u *ordenadores electrónicos*) constituyen los cerebros de los sistemas de control. Su función puede tener distintos grados de complejidad. La forma más sencilla consiste en operar, partiendo de un programa perfectamente definido en la entrada. La información obtenida en la salida de la calculadora constituye el programa seguido por el sistema de realimentación. Pero puede también ejercer funciones más flexibles, como ocurre, p. ej., si se trata de obtener un producto de calidad determinada. Para ello se introducen en la calculadora los resultados del análisis del producto inicial y las condiciones de funcionamiento del proceso de producción; entonces la información de la salida indica las variaciones necesarias en el comportamiento del sistema para lograr el producto deseado. Una de las aplicaciones más interesantes de los ordenadores se halla en los llamados *sistemas de optimización*. Se trata de lograr las condiciones óptimas de funcionamiento de un proceso de producción, desde un punto de vista determinado, p. ej., el que se refiere a la utilización del material, precio de coste, productividad, etc. Lo que caracteriza a estos sistemas de automatización es que la propia calculadora, partiendo del criterio de optimización que se desea, elabora el programa que debe seguir el sistema.

Según los resultados obtenidos en el proceso, se modifican las variables de entrada, observándose nuevamente el comportamiento del proceso y así sucesivamente. Es decir, que no existe programa impuesto por el hombre, sino que la calculadora lo va elaborando durante el proceso de producción. La automatización se desarrolla principalmente en las industrias donde la producción es continua, como, p. ej., la industria química, la del petróleo, la de producción de energía, la siderúrgica, etc. Las industrias que producen en serie también son susceptibles de ser automatizadas, como p. ej., la del automóvil, la de fabricación de material eléctrico, etc. Existen, sin embargo, procesos industriales que por su índole no exigen la presencia de máquinas calculadoras. Así ocurre en los procesos de fabricación simples, que siguen un programa fijo, donde el ciclo operativo es siempre el mismo; en ellos basta con asegurarse de que las diversas operaciones se verifican en el orden y con la duración previamente establecidos. Son procesos en bucle abierto, en los cuales no existe realimentación y se usan, por ejemplo, en la industria de la alimentación, en embalajes, etc.

El objetivo de la automatización es cada vez más ambicioso y amplía sus límites a la organización completa de las empresas. Según estas perspectivas, el proceso de la producción estaría gobernado por un sistema de realimentación, que, a su vez, formaría parte de un sistema más complejo, constituido por varios bucles de realimentación. El correspondiente al proceso de producción tendría, por variables de entrada, órdenes de la dirección, de las investigaciones sobre mercados, del departamento de ingeniería, etc., que indicarían la cantidad de productos a fabricar.

Consecuencias sociológicas de la automatización. El desarrollo de la automatización da lugar a una liberación de mano de obra, pero al propio tiempo promueve la creación de nuevos empleos; aparecen nuevas industrias que absorben la mano de obra liberada. Esto es lo que ha ocurrido en EE. UU. y otros países adelantados en Europa. Los pronósticos pesimistas sobre el posible paro obrero que podría provocar la automatización, no se han cumplido, felizmente, debido en parte a que su desarrollo se está produciendo (incluso en EE. UU.) más lentamente de lo que algunas opiniones sostenían. Existen factores, muchos de ellos económicos, que, en la mayoría de los países, aconsejan la implantación gradual de la automatización. Sin embargo, es de esperar que en el futuro este desarrollo se hará a ritmo más acelerado y superará incluso los vaticinios más optimistas de la primera época.

Un aspecto muy importante de la automatización es la sustitución del obrero en los trabajos rutinarios. Desligado de esta servidumbre el hombre podrá dedicar sus actividades a una labor creadora y que exija iniciativa. Se necesitará, de todas maneras en las fábricas, incluso completamente automatizadas, personal, pero su trabajo será de otro tipo: de supervisión y mantenimiento por un lado y de programación de la labor a realizar, por otro.

El mayor número de horas libres es de esperar que produzca un mayor nivel educativo de las gentes, mayor cultura, así como también aumentará el tiempo dedicado a deportes, viajes, espectáculos, etc. Las nuevas técnicas se aplicarán a la traducción de lenguas, enseñanza, recuperación de la información, diagnósticos médicos, control de tráfico, investigación criminal, etc.

- Operador Humano

Este concepto está directamente referido a las acciones y operaciones que realiza una persona. Un ejemplo de operador humano, es cuando una persona conduce un vehículo, o cualquier tipo de vehículo.

Además de los vehículos o móviles en general, los operadores humanos están en todo tipo de operaciones de manufactura y administrativas, pues aún los operadores artificiales son pocos los que se han introducido en todos los medios.

En el área administrativa, un secretaria, un contador, o un administrador, es un operador humano. Por su parte en una planta de proceso; un operador humano es aquel que manipula una máquina, y realiza acciones donde su fuerza es la energía para realizar su tarea. En una pesquera, las personas que limpian los peces. En la industria forestal, todos aquellos que manipulan una máquina, sea motorizada o no, etc.

- Operador Artificial

El operador artificial, es todo tipo de accionamiento de sistemas por medio de instrumentos y en general donde no interviene un ser humano para su realización.

Un ejemplo de operador artificial, lo constituye un piloto automático, sea por cualquier tipo de navegación; aérea, aeroespacial, terrestre, o por medios acuáticos.

Los operadores artificiales se están incorporando progresivamente en los procesos de producción, así en países desarrollados las plantas de manufactura de productos están prácticamente en su totalidad accionadas por operadores artificiales, y en países en vías de desarrollo como Chile, comienzan a hacerse cada vez más frecuentes las posibilidades de incorporar los operadores artificiales en diversos tipos de procesos, y todo está tendiendo a la incorporación creciente de la robótica en los procesos de producción.

## 2.2.- Formas de realizar el Control

- Control en Lazo Abierto

**Los sistemas de control de lazo abierto** son aquellos en los que la única señal que ejerce una acción de control sobre el sistema es la que entra al sistema (**señal de referencia** o **consigna**), en estos casos la salida no actúa sobre la entrada, la salida no influye en la acción de control.

El dispositivo que determina la **señal de referencia** es el llamado **selector de referencia** o **controlador**, el que actúa en función de una señal que llamamos **señal de mando**.

Como ejemplos de selectores de referencia o controladores, podemos mencionar la llave de control, de un calefactor, de una cocina eléctrica, de un lavarropa automático, de una canilla, etc. En estos casos la señal de mando es la acción de la mano del hombre.

Ejemplos de artefactos con sistemas de control de lazo abierto son: la cocina de gas, el horno de microondas, etc. En el horno de microondas las llaves o botones de control fijan las señales de entrada, siendo la elevación de la temperatura de la comida o la cocción la salida.

Si por cualquier razón la temperatura alcanzada, o el tiempo de aplicación del microondas ha sido insuficiente, y como consecuencia la comida no ha alcanzado las condiciones deseadas, esto no altera el ciclo de funcionamiento; es decir que la salida no ejerce influencia sobre la entrada.

Otro ejemplo es la máquina de lavar ropas automática, en las que acciones de prelavado, lavado, centrifugado, etc. se cumplen siguiendo en secuencia preestablecida, independientemente de la salida, es decir de que la ropa saga más o menos limpia; la máquina no mide la señal de salida, es decir, la limpieza de la ropa. En estos casos se habla de control d programa. El buen funcionamiento del sistema depende de una correcta fijación de las secuencias. Este es un ejemplo de control automático.

- Control en Lazo Cerrado

**Los sistemas de control de lazo cerrado** son aquellos en los que la acción de control depende tanto de la entrada como de referencia como del valor de la salida. en estos casos la salida del sistema actúa sobre la entrada para mantener su valor dentro de los límites fijados. Cuando la salida ejerce influencia sobre la entrada se puede decir que hay realimentación, los sistemas de control de lazo cerrado son sistemas realimentados. Mediante la realimentación se corrigen las variaciones existentes entre el valor real de la salida y el valor deseado.

**Existe dos tipos de realimentación positiva y negativa.**

La realimentación positiva es la que se produce cuando la salida del sistema le envía información a la entrada para que el sistema aumente con mayor rapidez los efectos que él produce.

La realimentación negativa es algún tipo de información que la salida da un sistema le envía a la entrada para que éste equilibre su funcionamiento. Por esto se dice que la realimentación negativa produce estabilidad de los sistemas

### **2.3.- Tipo de procesos industriales**

Los procesos industriales, en función de su evolución con el tiempo, pueden clasificarse en algunos de los grupos siguientes:

- Procesos continuos
- Procesos discontinuos o por lotes
- Procesos discretos

Tradicionalmente, el concepto de automatización industrial se ha ligado se ha ligado al estudio y aplicación de los sistemas de control empleados en los procesos discontinuos y los procesos discretos, dejando los procesos continuos a disciplinas como regulación o servomecanismos.

Este criterio es el que se ha seguido en el presente manual donde todos los problemas están basados en procesos discontinuos o discretos, controlados por un controlador secuencial síncrono como es el autómata programable.

No obstante haremos a continuación una breve descripción sobre los diferentes tipos de procesos y los sistemas de control que pueden emplearse en ellos.

### **2.3.1.- Procesos continuos**

Un proceso continuo se caracteriza porque las materias primas están constantemente entrando por un extremo del sistema, mientras que en el otro extremo se obtiene de forma continua un producto terminado.

Un ejemplo típico de proceso continuo puede ser un sistema de calefacción para mantener una temperatura constante en una determinada instalación industrial. La materia prima de entrada es la temperatura que se quiere alcanzar en la instalación; la salida será la temperatura que realmente existe. El sistema de control consta de un comparador que proporciona una señal de error igual a la diferencia entre la temperatura deseada y la temperatura que realmente existe; la señal de control se aplica al regulador que adaptará y amplificará la señal que ha de controlar la electroválvula que permite el paso de gas hacia el quemador de la caldera.

El regulador en función de la señal de error y de las pérdidas de calor existentes en la instalación mantendrá la temperatura deseada en la instalación, controlando la cantidad de gas que pasa por la electroválvula. El actuador esta constituido por la electroválvula; se utilizan dos sensores: la temperatura real existente en la sala y la temperatura programada por el operario.

A la vista de la instalación se comprueba dos características propias de los sistemas continuos:

- El proceso se realiza durante un tiempo relativamente largo
- Las variables empleadas en el proceso y sistema de control son de tipo analógico; dentro de unos límites determinados las variables pueden tomar infinitos valores.

El estudio y aplicación de los sistemas continuos es objeto de disciplinas como REGULACIÓN Y SERVOMECANISMOS.

### **2.3.2.- Procesos discretos**

El producto de salida se obtiene a través de una serie de operaciones , muchas de ellas con gran similitud entre si. La materia prima sobre la que se trabaja es habitualmente un elemento discreto que trabaja de forma individual.

Un ejemplo de un proceso discreto es la fabricación de una pieza metálica rectangular con dos taladros. El proceso para obtener la pieza terminada puede descomponerse en una serie de estados que han de realizarse secuencialmente, de forma que para realizar un estado determinado es necesario que se hayan realizado correctamente los anteriores.

Cada uno de estos estados supone una serie de activaciones y desactivaciones de los actuadores (motores y cilindros neumáticos) que se producirán en función de:

- Los sensores (sensores de posición situados sobre la cámara de los cilindros y contactos auxiliares situados en los contactos que activan los motores eléctricos)
- Variable que indica que se ha realizado el estado anterior.

### 2.3.3.- Procesos discontinuos o por lotes

Se reciben a la entrada del proceso las cantidades de las diferentes piezas discretas que se necesitan para realizar el proceso. Sobre este conjunto se realizan las operaciones necesarias para producir un producto acabado o un producto intermedio listo para un procesamiento posterior.

El concepto de proceso por lotes, también existe en la computación desde hace algún tiempo, dado que las primeras computadoras trabajaban principalmente mediante procesos batch (o por lotes), los cuales consistían en un conjunto de procesos computacionales que no interactuaban con el usuario y que se realizaban de manera sumergida de inicio a fin, hasta mostrar los resultados o emitir los listados según correspondiera.

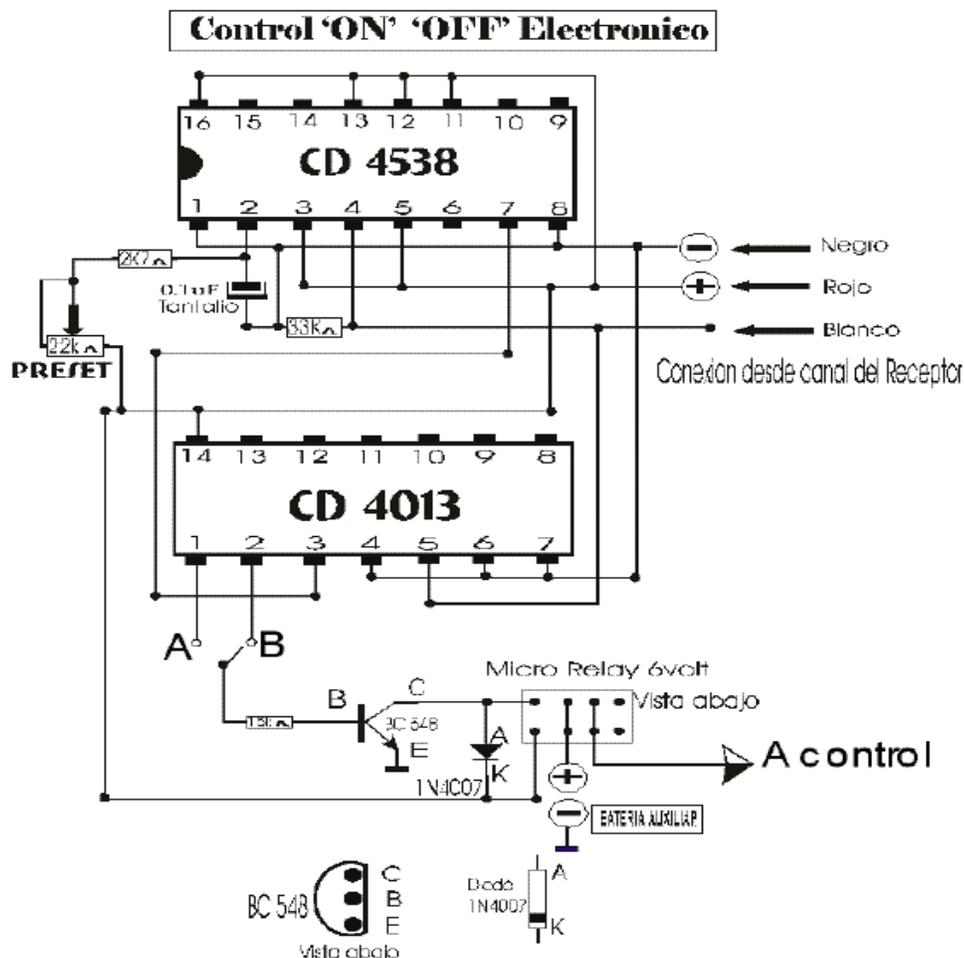
### 2.4.- Control **todo/nada** (ON/OFF)

#### Control "on" "off" Electrónico.

La aplicación de este circuito, nos permite el comando de cualquier dispositivo a bordo, comandado por la orden del receptor, desde un canal asignado en el transmisor.

Por ejemplo: Glow a bordo,...Luces de aterrizaje,...o todo aquello que queramos controlar si/no desde nuestro transmisor.

Este circuito reemplaza el sistema de microswitch a palanca controlado por un servo..



## **Descripción del circuito:**

Prestemos atención al preset, en lo posible elegir de aquellos de encapsulado plástico de montaje vertical. El valor es standard por lo que podrán conseguirlo fácilmente. Deberá quedar accesible para poder ajustar en el momento que este instalado.

Observemos que hay dos selecciones **A** y **B** en la parte inferior del integrado CD 4013. Aquí debemos poner una micro llave de tres posiciones o un Jumper, lo importante es que sea de conexión segura. Este punto nos permite invertir la orden, según como nos quede de acuerdo a la orden de nuestro canal habilitado para control

### **- Concepto de histéresis**

La histéresis es un término derivado del griego que etimológicamente significa retrasado. En física se utiliza para describir la situación en la que se encuentran algunos cuerpos una vez sometidos a una fuerza deformante. A diferencia de los cuerpos elásticos, que recuperan rápidamente su forma original, los "histerésicos" lo hacen de forma lenta, pudiendo no llegar a recuperarse totalmente. Por ejemplo, cuando arrugamos una hoja de papel con la mano, sin mucho empeño, tiende, al dejarla libre, a recuperar sólo parcialmente su forma original.

Si nos referimos al mantenimiento de la competencia profesional, podemos decir que todo profesional que deja de ejercitar los conocimientos y habilidades propios de su trabajo durante un período de tiempo definido (diferente para cada actividad y tarea) los recuperará de una forma lenta, y en algunos casos incompleta, cuando tenga que utilizarlos nuevamente.

Es inherente a la propia naturaleza de la actividad clínica en Atención Primaria que los problemas de salud aparezcan en una fase temprana ante nosotros, con manifestaciones semiológicas poco específicas, pobres en signos objetivos, algo más ricos en síntomas (subjetividad). Por otra parte, la ocurrencia de las enfermedades de mayor gravedad es mucho menor que la de aquellas de menor transcendencia vital. Finalmente, pueden aparecer entremezclados, en una misma consulta, signos o síntomas de una patología importante con otros de menor relevancia vital, pero que produzcan más incapacidad, incomodidad o dolor, generando el enmascaramiento de lo grave por lo molesto.

Así, el médico de cabecera se mueve constantemente en una dialéctica entre la sensibilidad y la especificidad. Al principio de su ejercicio, después de formarse en el medio hospitalario con alta prevalencia de enfermedades graves, tenderá a ser con respecto a ellas muy sensible pero poco específico; sospechará, patologías de mayor gravedad donde, en la mayoría de los casos, hay procesos comunes menos trascendentes. Por el contrario, a lo largo de su práctica profesional, cuando descubre que su morbilidad atendida es diferente, incrementará su especificidad, al precio de una menor sensibilidad.

Ya que el mejor aprendizaje es el ligado a la práctica, es necesario que el médico de familia asuma la atención de un número de personas y tenga acceso a las herramientas diagnósticas y terapéuticas que de acuerdo con las diferentes ocurrencias de las enfermedades, le permitan mantenerse competente.

De acuerdo con el actual programa de la especialidad, esto probablemente no es posible si al menos no se asumen (¿soportan?) poblaciones de 2500 personas y se tiene acceso a un variado elenco de pruebas y medios terapéuticos. Pero en nuestro país, por diversos factores socioculturales y organizacionales, estas cargas asistenciales originan frecuentaciones tan elevadas que reducir el tiempo de consulta por paciente a niveles prácticamente simbólicos y/o incrementan el tiempo total de consulta hasta valores próximos al suicidio (del médico se entiende). En consecuencia se produce una disminución del número de horas disponibles destinado a investigación y docencia / formación (I+D).

Se produce, pues, un círculo perverso, en el que tanto el incremento como la disminución de habitantes adscritos, mas allá de ciertos límites, pueden mermar la competencia. Estimativamente, fuera del rango 1500-2500 habitantes, el fenómeno de histéresis puede ser muy acusado; desde este punto de vista, no parece aceptable consentir cupos de menos de 500 habitantes.

Las alternativas a este círculo perverso son varias. En primer lugar incentivar y reconocer laboral y socialmente el esfuerzo que inevitablemente tiene que hacer el médico de familia, para evitar la merma de su competencia; se podría hablar de una masa crítica de morbilidad atendida por debajo de la cual se produce el deterioro.

En segundo lugar el médico de familia debe constituirse en líder de un proyecto sanitario (como ya se dijo en anteriores informes técnicos) en el que participen otros colaboradores de la consulta, en los que pueda delegar la ejecución y parte de la responsabilidad de las funciones que se le asignan.

Finalmente, no cabe restringirle el acceso a pruebas diagnósticas y terapéuticas cuando documente un uso racional de las mismas.

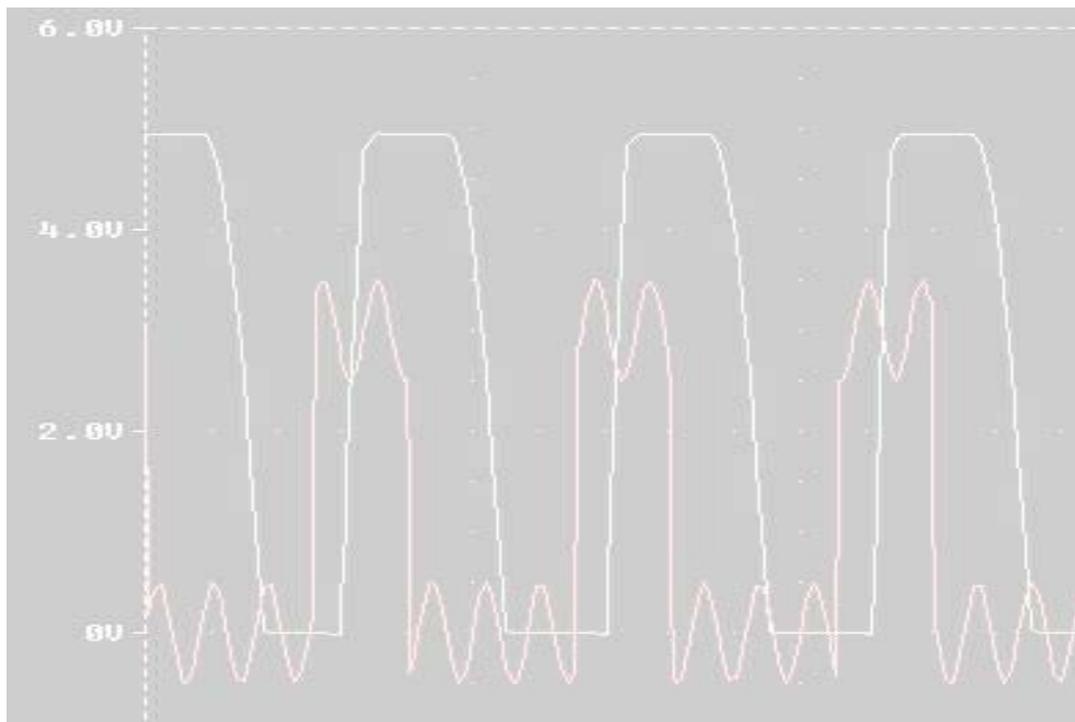
Todo apunta a una disminución de los gastos en Atención Primaria cuando la competencia profesional es alta: cuantas medidas vayan en su detrimento serán también perversas para la eficiencia del sistema sanitario.

## - **Uso de la histéresis**

La compuerta de disparo Schmitt, Características

El objetivo de una compuerta de disparo Schmitt consiste en "limpiar" el ruido proveniente de una señal digital a la entrada de algún dispositivo. Una de las ventajas de utilizar circuitos digitales (en vez de analógicos) es que la señal de entrada se puede volver a generar siempre y cuando se conozca bien su patrón de unos y ceros. Tal patrón a veces puede ser perturbado por el ruido.

La compuerta Schmitt toma una señal digital redondeada y llena de ruido y la convierte en un patrón de unos y ceros, cuadrado y bien definido. Esto se puede mostrar mejor en la siguiente figura:



La señal roja puede representar la entrada ruidosa de pulsos, redondeados y en los que la identificación de alto a bajo puede ser inconveniente. La señal verde es la salida de la compuerta limpiadora de ruido.

Para lograr tal objetivo es importante recalcar que debe existir un retraso de algunos microsegundos entre la señal de entrada y la salida del disparador. Esto es necesario, pues del dispositivo debe estar "muy seguro" de que la señal introducida es alta o baja, y no un voltaje ruidoso.

Para ello también se utiliza el concepto de histéresis. Esta es una ventana que da un intervalo de cierta magnitud al dispositivo para pasar de alto a bajo.

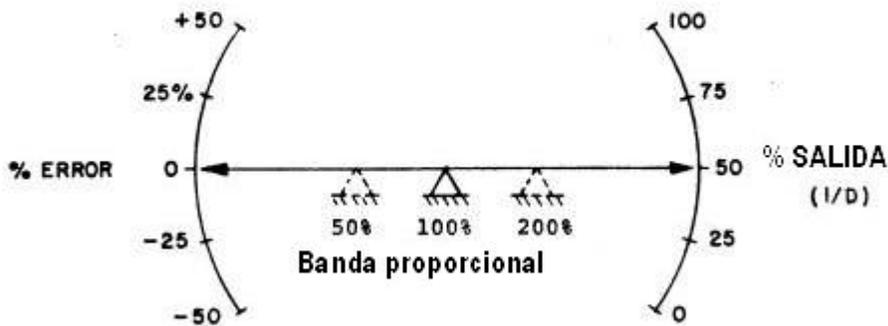
## 2.5.- Control proporcional

Acción proporcional .

La respuesta proporcional es la base de los tres modos de control, si los otros dos, acción integral (reset) y acción derivativa están presentes, éstos son sumados a la respuesta proporcional. "Proporcional" significa que el cambio presente en la salida del controlador es algún múltiplo del porcentaje de cambio en la medición .

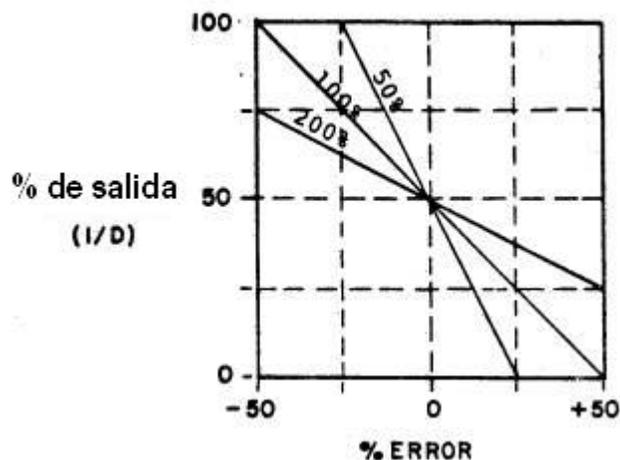
Este múltiplo es llamado "ganancia" del controlador . Para algunos controladores, la acción proporcional es ajustada por medio de tal ajuste de ganancia, mientras que para otros se usa una "banda proporcional" . Ambos tienen los mismos propósitos y efectos.

**FIGURA 7**  
**ACCION PROPORCIONAL**



La figura 7 ilustra la respuesta de un controlador proporcional por medio de un indicador de entrada/salida pivotando en una de estas posiciones . Con el pivot en el centro entre la entrada y la salida dentro del gráfico , un cambio del 100% en la medición es requerido para obtener un 100% de cambio en la salida , o un desplazamiento completo de la válvula . Un controlador ajustado para responder de ésta manera se dice que tiene una banda proporcional del 100% . Cuando el pivot es hacia la mano derecha , la medición de la entrada debería tener un cambio del 200% para poder obtener un cambio de salida completo desde el 0% al 100% , esto es una banda proporcional del 200% . Finalmente , si el pivot estuviera en la posición de la mano izquierda y si la medición se moviera sólo cerca del 50% de la escala , la salida cambiaría 100% en la escala . Esto es un valor de banda proporcional del 50% . Por lo tanto , cuanto mas chica sea la banda proporcional , menor será la cantidad que la medición debe cambiar para el mismo tamaño de cambio en la medición . O , en otras palabras , menor banda proporcional implica mayor cambio de salida para el mismo tamaño de medición . Esta misma relación está representada por la figura 8.

**Figura 8**  
**ACCION PROPORCIONAL**



Este gráfico muestra cómo la salida del controlador responderá a medida que la medición se desvía del valor de consigna .

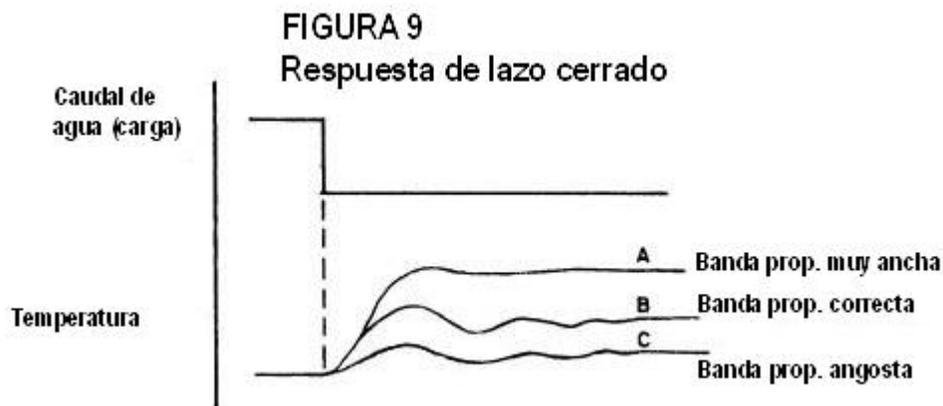
Cada línea sobre el gráfico representa un ajuste particular de la banda proporcional . Dos propiedades básicas del control proporcional pueden ser observadas a partir de éste gráfico :

Por cada valor de la banda proporcional toda vez que la medición se iguala al valor de consigna , la salida es del 50% .

Cada valor de la banda proporcional define una relación única entre la medición y la salida . Por cada valor de medición existe un valor específico de salida . Por ejemplo , usando una línea de banda proporcional del 100% , cuando la medición está 25% por encima del valor de consigna , la salida del controlador deberá ser del 25% . La salida del controlador puede ser del 25% sólo si la medición está 25% por encima del valor de consigna. De la misma manera, cuando la salida del controlador es del 25% , la medición será del 25% por encima del valor de consigna . En otras palabras , existe un valor específico de salida por cada valor de medición .

Para cualquier lazo de control de proceso sólo un valor de la banda proporcional es el mejor . A medida que la banda proporcional es reducida , la respuesta del controlador a cualquier cambio en la medición se hace mayor y mayor . En algún punto dependiendo de la característica de cada proceso particular , la respuesta en el controlador será lo suficientemente grande como para controlar que la variable medida retorne nuevamente en dirección opuesta a tal punto de causar un ciclo constante de la medición . Este valor de banda proporcional , conocido como la última banda proporcional , es un límite en el ajuste del controlador para dicho lazo . Por otro lado , si se usa una banda proporcional muy ancha , la respuesta del controlador a cualquier cambio en la medición será muy pequeña y la medición no será controlada en la forma suficientemente ajustada . La determinación del valor correcto de banda proporcional para cualquier aplicación es parte del procedimiento de ajuste (tuning procedure ) para dicho lazo .

El ajuste correcto de la banda proporcional puede ser observado en la respuesta de la medición a una alteración



La figura 9 muestra varios ejemplos de bandas proporcionales variadas para el intercambiador de calor .

Idealmente , la banda proporcional correcta producirá una amortiguación de amplitud de cuarto de ciclo en cada ciclo , en el cual cada medio ciclo es  $\frac{1}{2}$  de la amplitud de del medio ciclo previo . La banda proporcional que causará una amortiguación de onda de un cuarto de ciclo será menor , y por lo tanto alcanzará un control mas ajustado sobre la variable medida , a medida que el tiempo muerto en el proceso decrece y la capacidad se incrementa .

Una consecuencia de la aplicación del control proporcional al lazo básico de control es el offset. Offset significa que el controlador mantendrá la medida a un valor diferente del valor de consigna . Esto es mas fácilmente visto al observar la figura 3 . Note que si la válvula de carga es abierta , el caudal se incrementará a través de la válvula y el nivel comenzará a caer , de manera de mantener el nivel , la válvula de suministro debería abrirse , pero teniendo en cuenta la acción proporcional del lazo el incremento en la posición de apertura puede sólo ser alcanzado a un nivel menor . En otras palabras , para restaurar el balance entre el caudal de entrada y el de salida , el nivel se debe estabilizar a un valor debajo del valor de consigna ( o setpoint ) . Esta diferencia , que será mantenida por el lazo de control , es llamada offset , y es característica de la aplicación del control proporcional único en los lazos de realimentación . La aceptabilidad de los controles sólo-proporcionales dependen de si este valor de offset será o no tolerado , ya que el error necesario para producir cualquier salida disminuye con la banda proporcional , cuanto menor sea la banda proporcional , menor será el offset . Para grandes capacidades , aplicaciones de tiempo muerto pequeñas que acepten una banda proporcional muy estrecha , el control sólo -proporcional sera probablemente satisfactorio dado que la medición se mantendrá a una banda de un pequeño porcentaje alrededor del valor de consigna .

Si es esencial que no haya una diferencia de estado estable entre la medición y el valor de consigna bajo todas las condiciones de carga , una función adicional deberá ser agregada al controlador .

## 2.6.- Control PID

El uso de técnicas de control clásico como es el **control PID** de ganancia fija, en algunos casos resulta ser una buena alternativa para controlar sistemas dinámicos; ya que proporcionan tiempos de respuesta rápidos, sin embargo entre mayor es la precisión requerida en el sistema el ajuste de este tipo de control es más difícil ya que son bastante sensibles a las señales de ruido y en ocasiones introducen oscilaciones cuando se presentan retardos en el sistema.

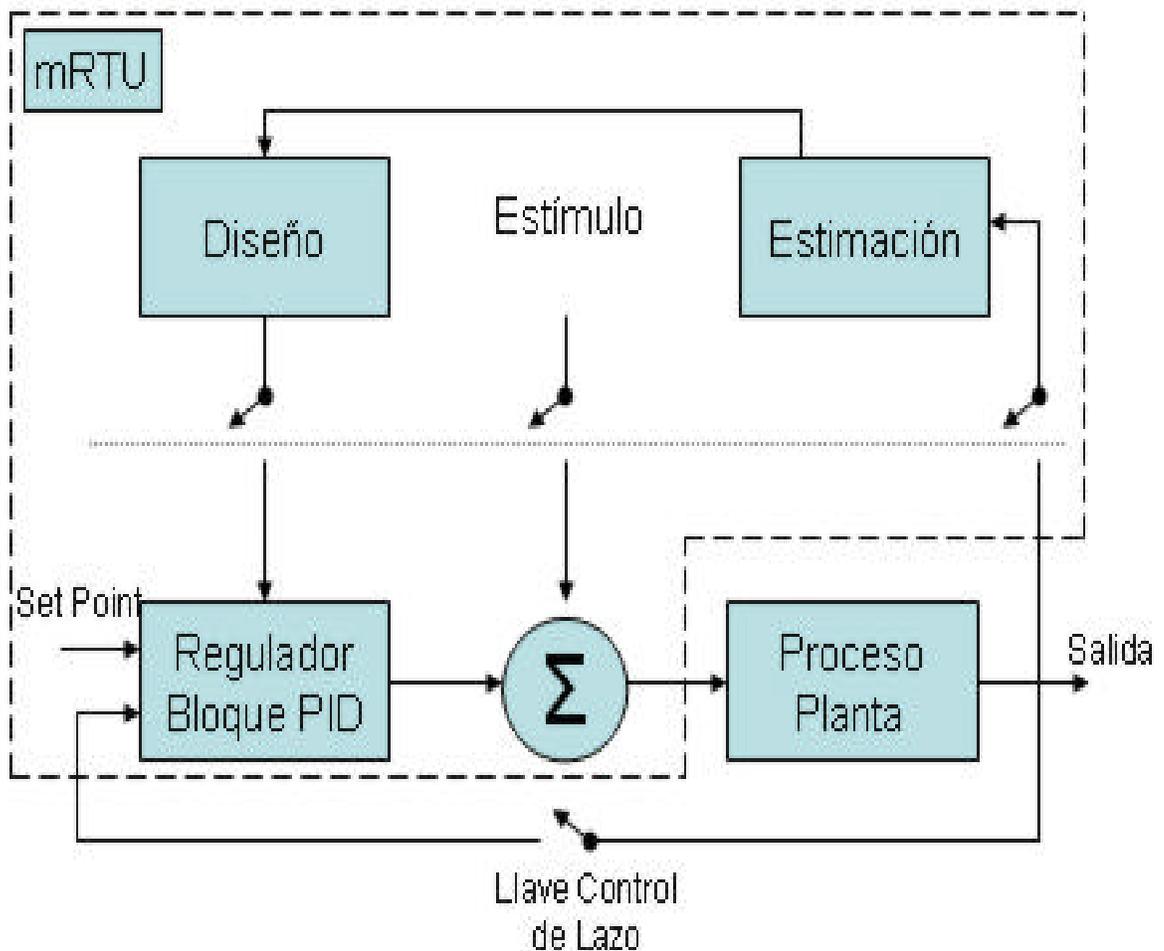
Cuando la dinámica de los sistemas o procesos a controlar es no lineal, el control tiene que tener la capacidad de compensar esta no-linealidad y aunque el **control PID** asume relaciones lineales, este no tiene la capacidad para responder a esto. Esta no-linealidad difícilmente puede ser caracterizada por una ecuación por lo que en la mayoría de los casos es tratada de manera subjetiva por el operador del proceso. Esta subjetividad tiene implicaciones profundas para poder modelar este tipo de sistemas a través de la lógica difusa.

La implementación de controladores PID en hardware basados en lógica difusa es motivada por su habilidad para capturar estrategias cualitativas de control y su capacidad de implementar un comportamiento de control altamente flexible. Con estos podemos lograr que nuestros sistemas puedan ajustarse a condiciones cambiantes que son muchas veces imposibles de predecir, tales como los cambios ambientales o las condiciones de desgaste en sus componentes físicos

- Componentes

Un bloque de control PID es un sistema de control utilizado en la industria, en general en aquellos procesos en donde con un control ON-OFF no se alcanzan a satisfacer las necesidades de control, y en aquellos sistema que no requieran un sistema de control mas sofisticado. Dicho bloque de control será implementado en una UNIDAD TERMINAL REMOTA (RTU) basada en un microcontrolador 8051.

Diagrama en bloques



- Expresión de salida

CONTROLADOR PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO (PID)

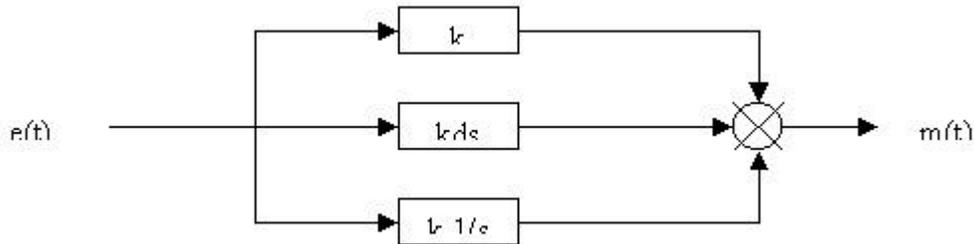
La acción del control proporcional integral derivativo (PID) genera una señal resultado de la combinación de la acción proporcional, integral y derivativa conjuntamente.

$$M(t) = ke(t) + ke(t)\frac{d}{dt} + k\int e(t)dt = k[1 + T_a e(t)\frac{d}{dt} + \frac{1}{T_i}\int e(t)dt]$$

La función de transferencia:

$$\frac{TL}{CI} = 0; M(s) = k\left(1 + \frac{1}{T_{is}}\right)E(s) \Rightarrow \frac{M(s)}{E(s)} = k\left(1 + T_{ds} + \frac{1}{T_{is}}\right)$$

La estructura en diagrama a bloques se muestra en la siguiente figura:



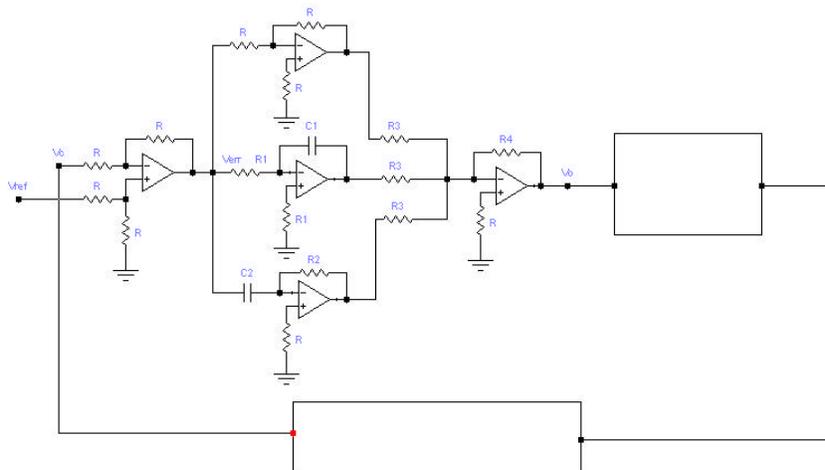
La acción de control (PID) permite eliminar el error en estado estacionario, logrando una buena estabilidad relativa en el sistema de control. Esta estabilidad implica una respuesta transitoria con tiempo de adquisición y un valor de tiempo sobre impulso pequeño.

El diseño de un control PID se realiza, primero, diseñando el control proporcional derivativo para cumplir las condiciones de respuesta transitoria y, se añade el control proporcional integrativo obteniendo como se ha visto anteriormente, de manera, que su incorporación al sistema no afecte la respuesta transitoria del sistema pero si elimina el error estacionario.

La función de transferencia del control PID, a partir del siguiente circuito, vendrá dada por la siguiente expresión:

$$\frac{V_m(s)}{V_{err}(s)} = \frac{R_4}{R_3} * \left(1 + \frac{1}{R_1 C_1 s} + R_2 C_2 s\right) = k\left(1 + \frac{1}{T_{is}} + T_{ds}\right)$$

Diagrama del controlador PID:



De este circuito observamos que en la primera etapa se encuentra un sumador restador, al cual se le aplica una señal de referencia, la cual determinara el parámetro de error en el sistema.

En la segunda etapa se tienen los tres circuitos principales proporcional, integral y derivativo, a los cuales a su salida se encuentra un sumador proporcional, donde la resistencia R4 determinará la ganancia final para el circuito. Una vez sumadas las señales del controlador la señal a la salida Vm podría usarse, por ejemplo, a la entrada de una planta (elemento a controlar) la cual retroalimentaría hacia un elemento de medición y retroalimentar la entrada Vc de el circuito PID.

- Tiempo muerto

El concepto de tiempo corresponde al retardo en la respuesta de los dispositivos. Así si se tiene un sistema complejo, existirán una sucesión de retardos, que implicará un retardo total mayor a la suma de los retardos parciales, debido a que cada dispositivo tiene un tiempo asociado para recibir los datos y para emitir las respuestas.

Una modificación a la metodología de bucles realimentados, consistente en "compensar" los retardos fue propuesta por Smith. Este método de control se conoce como **predictor de Smith** o **compensador de tiempos muertos**.

Suponiendo que todos los retardos son debidos al proceso y que su magnitud es conocida, la función de transferencia del proceso puede ser escrita como un primer orden puro y su retardo:

$$G_P(s) = G(s) \exp(-\theta s)$$

Y con sensor y actuador ideales, la respuesta de bucle abierto a una excitación escalón de la referencia será:

$$\bar{y}(s) = G_C(s) [G(s) \exp(-\theta s)] \bar{y}_{REF}(s)$$

es decir, la **respuesta** se ve ahora **retardada** en, precisamente, el retardo originalmente considerado.

Para eliminar los efectos del retardo, se requeriría información presente y no la retardada, en una expresión sin retardo, como sería:

$$\bar{y}^*(s) = G_C(s) G(s) \bar{y}_{REF}(s)$$

que **se podría obtener** si a la respuesta  $y(s)$  (**en realidad, a la respuesta medida,  $y_M(s)$ , pero que la hemos supuesto ideal**) se le pudiese agregar la expresión:

$$\bar{y}'(s) = [1 - \exp(-\theta s)] * [G_C(s)G(s)\bar{y}_{REF}(s)]$$

ya que en ese caso se tendría:

$$\bar{y}'(s) + \bar{y}(s) = \bar{y}^*(s)$$

que es la solución al problema del retardo

## - **Control en cascada**

En la enseñanza del control automático se ha venido aplicando, en escala cada vez mayor, la simulación de sistemas en computadoras personales, por lo que en la ESIME algunos docentes nos hemos dado a la tarea de dotar al alumnado de estas herramientas auxiliares en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

El programa CASC cae dentro de los programas de simulación de procesos continuos y su objetivo primordial es permitir la simulación de sistemas de **control en cascada**, es decir, de sistemas en los cuales se tienen dos lazos de control: uno de los cuales es el lazo primario (o externo) y el otro es el secundario (o interno). La señal de salida del controlador primario es la entrada de referencia del controlador secundario.

Las ventajas del **control en cascada** son varias:

- 1.- Las perturbaciones en el lazo interno o secundario son corregidas por el controlador secundario, antes de que ellas puedan afectar a la variable primaria.
- 2.- Cualquier variación en la ganancia estática de la parte secundaria del proceso es compensada por su propio lazo.
- 3.- Las constantes de tiempo asociadas al proceso secundario son reducidas drásticamente por el lazo secundario.
- 4.- El controlador primario recibe ayuda del controlador secundario para lograr una gran reducción en la variación de la variable primaria. En la figura 1 se muestra el esquema de **control en cascada**.

El **control en cascada** se usa comúnmente en los siguientes procesos:

- a) Cuando se instala un posicionador para manejar una válvula y el interés primordial es controlar el gasto en una tubería. En este caso la válvula es el proceso secundario y la fricción del vástago es la principal perturbación del lazo interno.
- b) Cuando el lazo secundario es el control de flujo, cuyo punto de operación está fijado por el controlador primario ( de temperatura, por ejemplo). En este caso el problema mayor lo representa la no linealidad de la medición de flujo y la no linealidad de la válvula.
- c) Cuando el lazo secundario es el control de temperatura y el punto de operación lo fija un controlador primario (también de temperatura o de composición química), como en el caso de intercambiadores de calor o reactores químicos.
- d) Cuando existen varias unidades en paralelo que alimentan a un proceso, y sucede que la carga se reparte más o menos igualmente entre dichas unidades y se desea que el operador pueda variar manualmente alguna de ellas o inclusive sacarla de operación; se desea que el controlador secundario redistribuya la carga entre las

demás unidades, de tal suerte que la variable de interés se mantenga regulada. Debido a que el lazo secundario existe como un elemento del lazo primario, el controlador secundario debe ajustarse apropiadamente antes que el controlador primario, colocando a éste en manual. El ajuste para el controlador secundario debe hacerse para cambios en la referencia o para cambios en la perturbación si se espera que existan cambios severos en esta última.

## 2.7.- Controladores y reguladores

### - Hidráulicos

Excepto para los controladores neumáticos de baja presión, rara vez se ha usado el aire comprimido para el control continuo del movimiento de dispositivo que tienen masas significativas sujetas a fuerzas de carga externas. Para estos casos por lo general se prefieren los controladores hidráulicos.

El uso de la circuitería hidráulica en las máquinas – herramientas, los sistemas de control de aeronaves y operaciones similares se ha extendido debido a factores tales como su positividad, precisión, flexibilidad, una razón de peso-potencia, sus rápidos arranque, paro y reversa, que realiza con suavidad y precisión, así como la simplicidad de sus operaciones.

La presión de operación en los sistemas hidráulicos está en algún punto entre 145 y 5000lb<sub>f</sub>/plg<sup>2</sup>. En algunas aplicaciones especiales, la presión de operación puede subir hasta 10000lb<sub>f</sub>/plg<sup>2</sup>. Por el mismo requerimiento de potencia, el peso y el tamaño de la unidad hidráulica se reducen a fin de aumentar la presión del suministro.

Los sistemas hidráulicos de alta presión, proporcionan una fuerza muy grande. Permiten un posicionamiento preciso de acción rápida de cargas pesadas. Es común una combinación de sistemas electrónicos e hidráulicos debido a que así se combinan las ventajas del control electrónico y la potencia hidráulica.

### - Neumáticos

Debido a que son un medio mas versátil para transmitir señales de potencia, los fluidos, ya sean líquidos o gases tienen un amplio uso en la industria. Los líquidos y los gases se diferencian entre sí, básicamente por su falta de compresibilidad relativa y por el hecho de que un líquido puede tener una superficie libre, en tanto que un gas se expande para llenar su recipiente. En el campo de la ingeniería, el término neumática describe los sistemas de fluidos que usan aire o gases e hidráulica describe los sistemas que usan aceite.

Los sistemas neumáticos se usan mucho en la automatización de la maquinaria de producción y en el campo de los controladores automáticos. Por ejemplo, tienen un alto uso los circuitos neumáticos que convierten la energía del aire comprimido en energía mecánica, y se encuentran diversos tipos de controladores neumáticos en la industria de manufacturas.

En las últimas décadas los sistemas neumáticos han visto un gran desarrollo, especialmente de baja presión para sistemas de control industrial, que en la actualidad se usan ampliamente en los procesos industriales, y especialmente en los procesos de manufactura. Entre las razones para que estos controladores resulten atractivos, están que son a prueba de explosiones, son sencillos y es fácil darles mantenimiento.

Por ejemplo en el mercado se encuentran los Controladores Neumáticos Air-Tech™, LC Series (Level Controllers)

Los accesorios LC fueron diseñados para la operación encendido/apagado sin supervisión de bombas Wilden®. El LC arrancará la bomba cuando el nivel de fluido en un punto predeterminado active el LC y parará la bomba cuando otro nivel predeterminado lo desactive.

Este controlador puede ser usado en aplicaciones con succión inundada, con succión negativa o bomba sumergida.

Este sistema no emplea ningún tipo de controles eléctricos, ha sido diseñado específicamente para usarse con bombas operadas por aire Wilden®.

Los controladores LV funcionan efectivamente en ambientes turbulentos o espumosos, con lodos o con sólidos en suspensión. Los principios de operación de los LC son neumáticos por lo que también puede ser usado en áreas peligrosas o ambientes explosivos.

### Series TGC (Tank Controllers)

El controlador TGC está diseñado como una válvula de cierre por nivel alto cuando se utiliza una bomba Wilden® para llenar un tanque de aceite usado.

La unidad incorpora un tubo sensor integral o remoto que se encuentra montado en un tapón de 2" NPT en la parte superior del tanque de aceite sucio.

Cuando el nivel en el tanque llega a un nivel *casi lleno* un indicador visible alerta al operador que el nivel de aceite es alto y se está a punto de tener el tanque lleno a su máxima capacidad y entonces se deberá llamar al recolector de aceite sucio para asegurar la continuidad de la operación.

Cuando el tanque se llena aproximadamente a su capacidad total el TGC interrumpe el suministro de aire a la bomba y una alarma sonora alerta al operador que el tanque está lleno. La unidad se restablece cuando el nivel baja.

- Electrónicos; análogos y digitales. Controladores Programables.

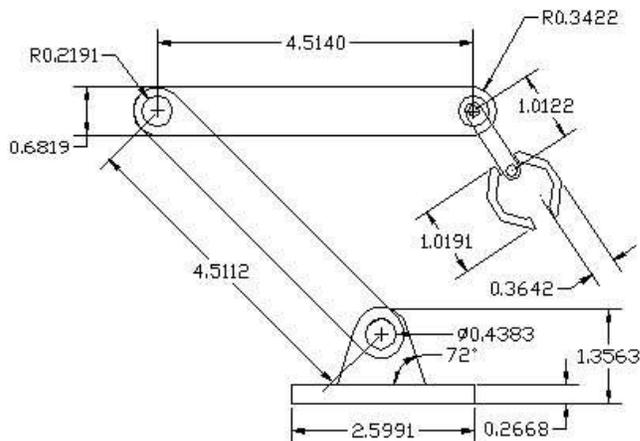


Figura 1. Robot Manipulador.

La Automatización Industrial es la tecnología o conjunto de procesos o procedimientos que se llevan a cabo en una fábrica o industria determinada sin la intervención humana, únicamente con la acción directa de dispositivos eléctricos, neumáticos, mecánicos e hidráulicos. Esto se implementa utilizando un programa de instrucciones combinado con un sistema de control que ejecuta las instrucciones y un sistema de monitoreo que permanentemente le hace seguimiento a los procesos involucrados.

Del Harder acuñó el término “Automatización” alrededor de 1946 para referirse a la gran cantidad de dispositivos automáticos que la Ford Motor Company había desarrollado en sus líneas de producción. La primera computadora electrónica digital fue desarrollada en la Universidad de Pensilvania en 1946. La primera máquina de control numérico computarizado fue desarrollada y probada en 1952 en el Instituto Tecnológico de Massachussets, basados en los conceptos presentados por Jhon Parsons y Frank Stulen. Más tarde en los años 60s y 70s, computadoras digitales empezaron a ser conectadas a máquinas herramientas. En 1954, el primer robot industrial fue desarrollado y patentado por George Devol.

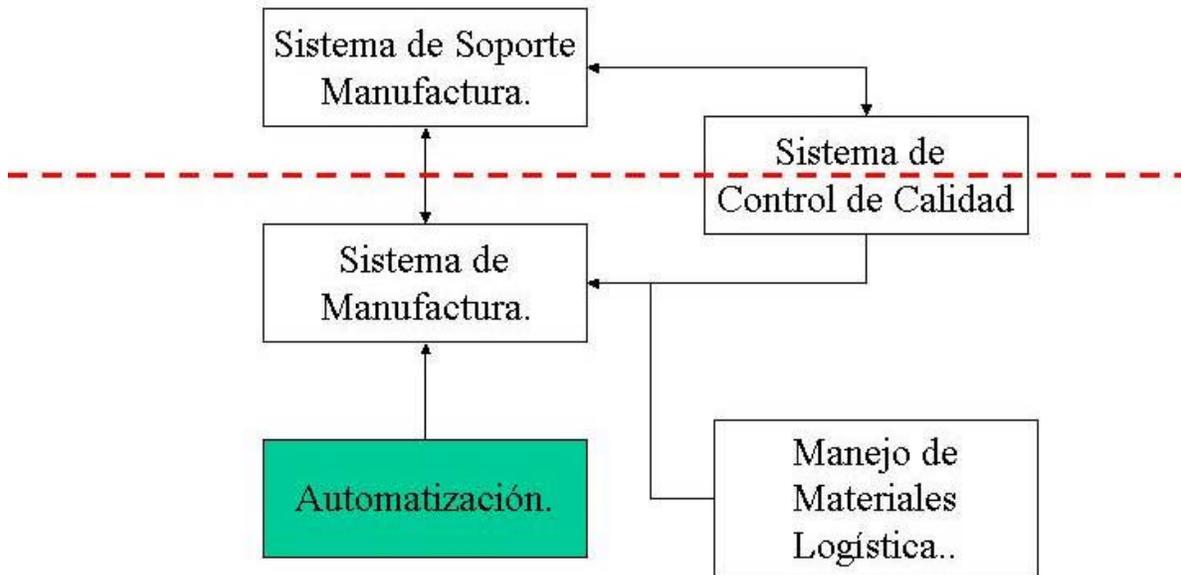
El primer robot comercial fue instalado para descargar partes en un proceso industrial de amoldamiento en 1961. En los 60s el primer sistema flexible de manufactura en Estados Unidos fue instalado por Ingersoll Rand Company para ejecutar operaciones de mecanizado en una gran variedad de piezas mecánicas. Cerca del año 1969 el primer controlador lógico programable fue introducido. En 1978, el primer computador personal comercial fue introducido por Apple Computer, sin embargo, un producto similar ya había sido introducido en forma de kit en 1975.

El desarrollo de la tecnología del computador fue posible por los avances en electrónica, incluyendo el transistor (1948), el disco duro para la memoria del computador (1956), los circuitos integrados (1960), el microprocesador en 1971, las memorias RAM en 1984, chips de memoria en megas (1990), y los microprocesadores Pentium en 1993.

El desarrollo del software con respecto a la automatización industrial ha sido también muy importante, incluyendo el desarrollo del lenguaje de programación FORTRAN (1955), el lenguaje para programación de máquinas herramientas con control numérico computarizado APT (1961), el sistema operativo UNÍS (1969), el lenguaje para programación de robots VAL (1979), Microsoft Windows (1985), y el lenguaje de programación JAVA (1995). Los avances y desarrollos en esta tecnología aún continúan.

La posición de la automatización y las tecnologías de control en un sistema de producción manufacturera se muestra en la siguiente gráfica – Figura 2:

### Nivel de la Empresa.



### Nivel de la Fábrica y Planta.

#### COMPONENTES DE LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL:

Los elementos básicos de un sistema automatizado son:

- Potencia para ejecutar los procesos y operar el sistema.
- Un programa de instrucciones para dirigir los procesos.
- Un sistema de control para activar las instrucciones.

Pero una mejor descripción de los elementos que componen la automatización de procesos industriales se puede describir en la siguiente gráfica:

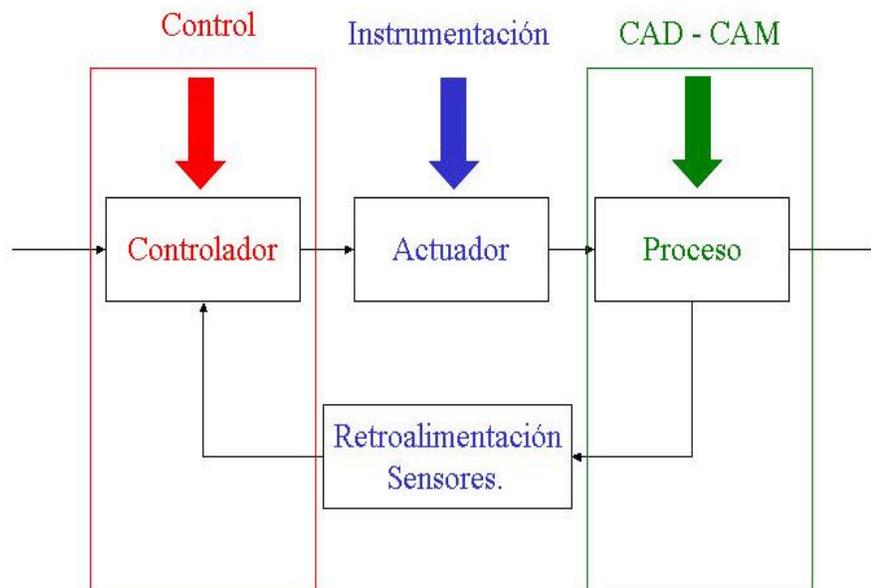


Figura 3. Componentes de la Automatización Industrial

## CONTROL DE PROCESOS:

Los niveles de aplicación de la automatización en una industria determinada se muestran en la siguiente gráfica:

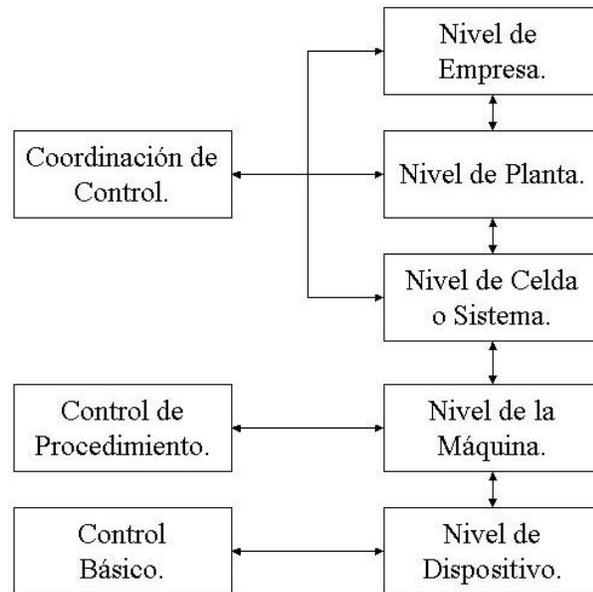


Figura 4. Niveles de aplicación de la automatización industrial y el control de procesos

El propósito del control de procesos es el de mantener dentro de un valor preestablecido una determinada variable en un proceso industrial. Los sistemas de control deben tener la habilidad de arrancar, regular y parar un proceso en respuesta a la medición de variables monitoreadas dentro de él, con el objeto de obtener la salida deseada. El sistema de control ideal es aquel en donde los procesos responden instantáneamente a los cambios en los requerimientos de entrada.

El uso de computadores digitales para el control de procesos industriales tuvo sus orígenes en los años 50. Pero controladores análogos eran aún muy utilizados para implementar control continuo y tableros de relés eran instalados para realizar actividades de control discreto.

Sabemos que el control continuo o análogo usa directamente señales tomadas de sensores y maneja salidas asociadas (actuadores) tales como válvulas, bombas, calefactores, etc. Estos actuadores pueden ser de variación continua o pueden ser simplemente elementos de Encendido/Apagado en tiempo proporcional. El procesamiento realizado por este tipo de control sobre la señal de entrada, depende del proceso involucrado, pero típicamente utiliza amplificación y alguna forma de funciones matemáticas, tales como integración, para desear el cambio deseado sobre los elementos de salida. Los controladores continuos pueden incluir sistemas electrónicos analógicos, computadores y microprocesadores.

El control discontinuo (on/off) es muy común en la mayoría de las industrias, puesto que muchas máquinas y procesos están constituidos con unidades que sólo pueden

estar en una de dos condiciones, controladas por un gran número de operaciones simples y pasos de una secuencia. Los controladores binarios pueden estar constituidos por relés, sistemas electromecánicos, sistemas lógicos neumáticos o hidráulicos, computadores o controladores programables. Estos métodos no pueden compararse, pero sí pueden integrarse, pues cada uno tiene su campo de aplicación y es más eficiente en su propia área.

En todas las instalaciones industriales es necesario automatizar un proceso actuando sobre una o más salidas binarias. El sistema que realiza esta función se denomina controlador lógico, porque toma decisiones mediante la observación de variables binarias.

Los medios de control establecidos, incluyendo relés, circuitos lógicos y sistemas de computadores, suministran control a los procesos industriales. Sin embargo, cada uno de los anteriores medios tiene sus limitaciones o desventajas y las soluciones que han resultado efectivas han sobrevivido y evolucionado, proveyendo a los usuarios de hoy con un rango de escogencias para conveniencia de las necesidades de control de procesos. En este último rango se ubican los Controladores Lógicos Programables o PLC's.

Un PLC se define como un sistema electrónico digital diseñado para trabajar en ambientes industriales, que usa memorias programables para el almacenamiento de instrucciones, con las que implanta funciones específicas, (lógicas, secuenciales, temporizadas, de conteo y aritméticas) para controlar diversos tipos de procesos, a través de módulos de entrada/salida análogos o digitales.

Los PLC se desarrollaron a comienzos de los 70's y se usaron principalmente en la industria automotriz para reemplazar grandes bastidores de relés que suministraban el control. El incremento en la utilización de PLC en procesos industriales ha animado a sus fabricantes a desarrollar familias completas de sistemas basados en microprocesadores con diferentes niveles de desempeño.

Las ventajas de los PLC se describen a continuación:

- - Reemplazan grandes bastidores de relés.
- - Requieren mucho menos espacio que otros dispositivos.
- - Tienen mayor confiabilidad en el desempeño en largos periodos de tiempo.
- - Presenta flexibilidad para cambiar secuencias de control sin cambiar cables.

# CAPITULO III: ELEMENTOS DE CONTROL DE PROCESOS

## 3.1.- VARIABLES FÍSICAS

### 3.1.1.- Temperatura

#### A) Diferencia de temperaturas como motivo de transferencia de calor

El calor es muy importante para la vida; de tal forma que los animales regulan las pérdidas o ganancias de calor para mantener estable la temperatura de sus cuerpos, ya que una alteración dañaría sus funciones orgánicas.

El viento, la evaporación del agua y la lluvia son algunos fenómenos meteorológicos producidos por el calor proveniente del Sol.

En las centrales termoeléctricas, la energía interna de los combustibles se transforma en energía eléctrica y en los automóviles, en energía de movimiento, mediante pérdidas y ganancias de energía en forma de calor.

Para que exista transferencia espontánea de energía en forma de calor debe haber cuerpos o sistemas a diferente temperatura. El calor se transfiere de los cuerpos calientes a los fríos. Si dos cuerpos con diferente temperatura se ponen en contacto, el cuerpo caliente se enfría y el frío se calienta hasta que ambos alcanzan la misma temperatura. Se dice entonces que se encuentran en equilibrio térmico. Estas consideraciones permiten comprender muchos fenómenos relacionados con el calor.

Existen tres procesos mediante los cuales se transfiere calor: conducción, convección y radiación. La propagación se efectúa de los cuerpos o sistemas de mayor temperatura hacia los de menor temperatura.

#### **Conducción**

Cuando aumenta la temperatura del extremo de un alambre que está en contacto con el fuego, la energía cinética de las moléculas aumenta, transfiriendo energía a las moléculas más alejadas de la flama. De este modo, la energía pasa de una molécula a otra sin que éstas cambien su posición en el interior del cuerpo; el proceso continuará mientras existan puntos con diferente temperatura a lo largo del alambre.

Existen sustancias cuyas moléculas presentan resistencia a entrar en vibración. Por consiguiente, no transfieren la energía en forma de calor. Estas materias se denominan aislantes térmicos y se utilizan para impedir que el calor se propague de una región caliente a una fría.

Los metales son buenos conductores del calor, ya que algunos electrones de los átomos metálicos se mueven libremente y transfieren energía entre los átomos del metal; en cambio, materiales no metálicos, como vidrio, unicel, plástico, lana, papel, corcho y madera, son malos conductores del calor.

En circunstancias normales no existe el conductor o el aislante perfecto. Sin embargo, las conductividades térmicas de los materiales se aprovechan para aplicaciones prácticas.

## **Convección**

Es la transferencia simultánea de calor y de materia fluida (líquido o gas). Cuando se calienta una parte de líquido o gas, éste se dilata haciéndose menos denso que el fluido más frío tendiendo a subir y su lugar es ocupado por una parte de fluido frío, formándose una corriente de convección. Las corrientes marinas y los vientos se producen debido a la diferencia de temperatura que hay en las diversas regiones de la atmósfera y del agua de los mares.

## **Radiación**

La radiación es la forma en que el calor se propaga, sin que exista materia. Esto se efectúa por medio de ondas electromagnéticas (parecidas a la luz) que emite un cuerpo en virtud de su temperatura; por ejemplo: la energía radiante del Sol se propaga por el espacio (vacío), atraviesa la atmósfera terrestre (fluido), puede pasar el vidrio de una ventana (sólido) y ser absorbida o reflejada por una superficie.

Los cuerpos de color negro absorben la radiación térmica mucho mejor que los plateados y brillantes; por ello, la ropa negra absorbe más calor del Sol que la de color claro.

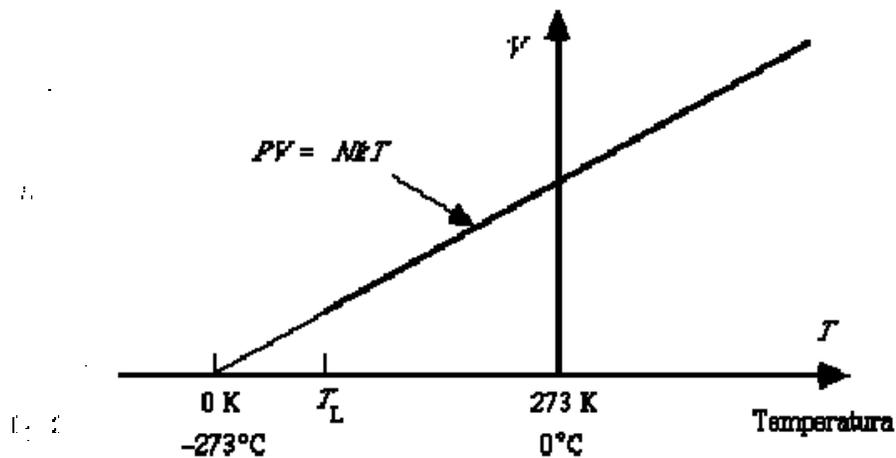
El Sol irradia calor y también lo hacen objetos como sillas o libros y el hombre; sin embargo, a temperaturas bajas la radiación es escasa por ello no se percibe. Actualmente, han sido diseñados dispositivos fotoeléctricos sensibles a las radiaciones. Cierta tipo de satélites artificiales se encuentran provistos de estos dispositivos con los cuales obtienen fotografías que permiten realizar mapas de temperatura de la superficie y el interior de la Tierra, así como imágenes de estrellas y galaxias que se encuentran a grandes distancias

b) Temperatura en gases

## **Introducción.**

Como es por todos sabido, el volumen de un gas varía con la temperatura en forma directamente proporcional. Podemos por lo tanto aumentar el volumen de un gas aumentando su temperatura, y parece no existir un límite hasta el cual podamos hacer esta expansión. De la misma forma podemos comprimir un gas disminuyendo su temperatura. Sin embargo, sabemos que no puede existir un volumen negativo de gas. Surge entonces la interrogante de si podemos encontrar alguna temperatura para la cual el volumen de aquel gas pueda ser cero. Esta es la primera forma en que se dedujo el concepto de cero absoluto. Aun cuando este experimento no se puede realizar por debajo del punto de liquefacción de un gas, se puede extrapolar el punto donde el volumen se hace cero a partir de los puntos donde sí se puede obtener información. Resulta interesante ver que para cualquier gas se llega a un mismo valor y éste se le llamó originalmente cero absoluto.

El siguiente gráfico muestra la zona donde se cumple que  $PV=nRT$  y la interpolación que lleva al cero absoluto.



¿Qué es el cero absoluto? ¿Cuál es la temperatura más baja que se ha alcanzado y cómo se logró? ¿Cuál es el lugar más frío de la Tierra, del Sistema Solar y del Universo? ¿Se puede alcanzar el cero absoluto? Estas son algunas de las interrogantes que surgen al estudiar el cero absoluto y que trataremos de responder.

### ¿Qué es el cero absoluto?

El cero absoluto es la temperatura teórica más baja posible y se caracteriza por la total ausencia de calor. Es la temperatura a la cual cesa el movimiento de las partículas. Aquí el nivel de energía es el mas bajo posible. El cero absoluto (0 K) corresponde aproximadamente a la temperatura de  $-273.16^{\circ}$  C. Nunca se ha alcanzado tal temperatura y la termodinámica asegura que es inalcanzable.

### ¿Existe el cero absoluto?

Desafortunadamente no podemos alcanzar la temperatura del cero absoluto. En la práctica es el calor que entra desde el "mundo exterior" lo que impide que en los experimentos se alcancen temperaturas más bajas. Para bajas temperaturas, todas las capacidades caloríficas  $C$  tienden a cero por lo que para cualquier cantidad de calor  $Q$ , por pequeña que sea, que entre al sistema, se tendrá una variación importante en la temperatura pues  $dT=Q/C$ . Incluso los rayos cósmicos pueden producir una entrada importante de calor.

Continuamente se están desarrollando nuevas técnicas y experimentos, pero más importante que esto es que cada acercamiento al cero absoluto lleva al desarrollo de la ciencia.

### La escala de temperatura absoluta.

La Escala Internacional de Temperatura absoluta (conocida como ITS-90) fue acordada en 1990 y se fijó el punto triple del agua (donde coexisten en equilibrio el agua sólida, líquida y gaseosa) como 273.16 K por definición. Se han fijado también varios otros

puntos para definir la escala sobre una amplia gama de temperaturas tales como el punto de congelamiento del oro en 1337.33 K o el punto triple del hidrógeno en 13.8033 K. A temperaturas más bajas se usa la presión de vapor del helio líquido.

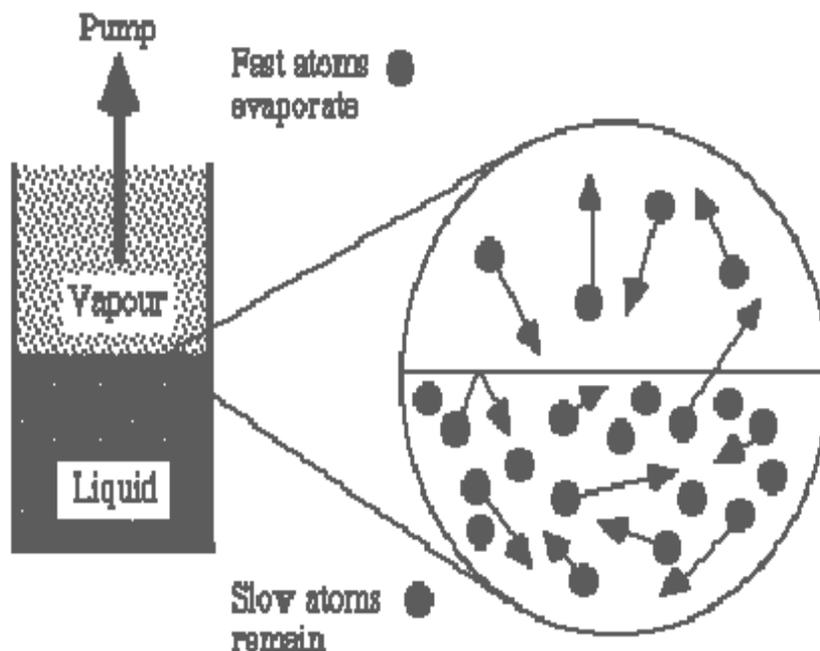
### Los lugares más fríos.

La temperatura más baja que se ha registrado en la Tierra es de  $-89^{\circ}\text{C}$  en la Antártica, que aunque parece bastante frío, no lo es tanto si la vemos como 184 K. En el Sistema Solar en cambio, el lugar más frío es Tritón (una luna de Neptuno, no la galleta :-). Esta se encuentra a 4,500 millones de kilómetros de la Tierra. Se sabía que tanto la atmósfera como la superficie de Tritón contenían nitrógeno y metano por lo que se suponía que los océanos contenían nitrógeno líquido (cuyo punto de ebullición es de 77 K) junto a "icebergs" de metano. La nave Voyager 2, que fue lanzada en el 20 de Agosto de 1977 y alcanzó a Neptuno y Tritón en 1989 mostró que la temperatura de Tritón era de 38 K. Pero en el Universo se puede llegar a temperaturas aun menores.

El satélite COBE (Cosmic Background Explorer), que fue lanzado en 1989 midió en forma muy precisa radiaciones infrarrojas del fondo del universo que muestran temperaturas de 2.73 K. Esta es la temperatura más baja que se puede encontrar en forma natural.

### Métodos para obtener bajas temperaturas.

La menor temperatura que se puede obtener fácilmente, con Helio-4 líquido es del orden de 1 K. Esto se consigue bombeando el vapor lo mas rápidamente posible a través de un tubo ancho. Con bombas especiales de gran velocidad se han alcanzado temperaturas del orden de 0.7 K. No se pueden conseguir temperaturas inferiores debido a la superfluidez del helio líquido. La siguiente figura muestra como funciona este procedimiento.



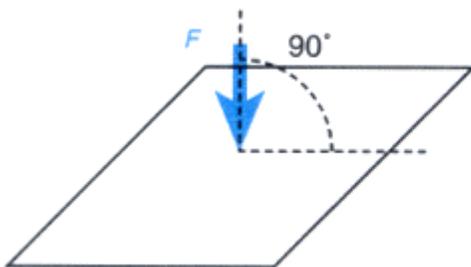
### Tercer Principio de la termodinámica.

Es una generalización de resultados experimentales, que dice: *No se puede llegar al cero absoluto mediante una serie finita de procesos.* La tercera ley posee varios enunciados equivalentes. Uno de ellos se basa en la entropía y dice: *El cambio de entropía asociado a cualquier proceso isotérmico reversible de un sistema condensado se aproxima a cero cuando la temperatura tiende a cero.* Si la entropía del sistema en el cero absoluto se denomina entropía de punto cero, hay una tercera forma de expresar el principio: *Mediante una serie finita de procesos, la entropía de un sistema no puede reducirse a su entropía en el punto cero.*

#### 3.1.2.- Presión

##### Relación entre fuerza, área y presión en los fluidos

Presión se define como la fuerza total que actúa en dirección perpendicular sobre una superficie, dividida entre el área de ésta.



$$\frac{\text{Fuerza total}}{\text{Área de la superficie}} \quad p = \frac{F}{A}$$

$$[P] = \frac{1\text{N}}{1\text{m}^2} = 1 \text{ pascal}$$

La unidad de presión debe expresarse en unidades de fuerza entre unidades de área. En el Sistema Internacional de Unidades (SI) la unidad de fuerza es el newton (N) y la de área el metro cuadrado ( $\text{m}^2$ ), por lo que la unidad de presión es  $\text{N}/\text{m}^2$ . A esta unidad de presión se le denomina pascal, en honor del científico francés Blaise Pascal.

##### Fuerza ejercida por un líquido en reposo sobre una superficie

Las partículas que forman un fluido se mueven constantemente en todas direcciones; por tanto, una superficie en contacto con ellas está sometida a gran cantidad de choques cuyo efecto total es una fuerza continua.

La fuerza ejercida por un fluido en reposo sobre cualquier superficie rígida (sin importar su dirección) es perpendicular a la misma.

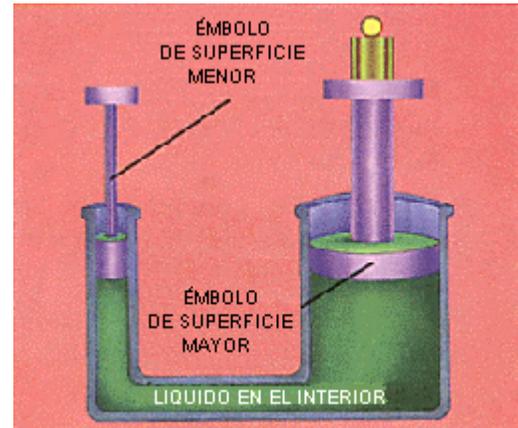
##### Prensa hidráulica

Es una aplicación del principio de Pascal. Consta de dos recipientes de diámetro diferente intercomunicados por un tubo. La prensa contiene líquido y dos émbolos. Las fuerzas que actúan sobre los émbolos ejercen presión sobre el líquido encerrado. La magnitud de  $p$  es  $F/A$ , donde  $F$  es la fuerza que actúa y  $A$  el área del émbolo.

Cuando se aplica una fuerza hacia abajo sobre el émbolo de menor área, se incrementa la presión del líquido, éste estará dado por  $f/a$ , donde  $f$  es la fuerza aplicada y  $a$  el área del émbolo.

El aumento de presión se trasmite a todos los puntos del líquido, produciendo una fuerza en el émbolo de área mayor. El incremento de presión sobre él estará dado por  $F/A$ . Como la presión en ambos émbolos es de la misma magnitud, entonces:

$$\frac{F}{A} = \frac{f}{a}$$



### Flotación y principio de Arquímedes

Cuando un recipiente flota en un líquido la porción del mismo que se encuentra sumergida desplaza hacia los lados un volumen de líquido equivalente a la parte sumergida. Así, la misma fuerza que sostenía el peso del líquido desplazado, sostiene ahora al recipiente; es decir, la fuerza de empuje hidrostático es igual al peso del líquido desplazado.

Por ejemplo: en un cuerpo sumergido en un líquido la presión será mayor en los puntos que se encuentran a más profundidad. Por tanto, existe una fuerza resultante de flotación hacia arriba llamada empuje hidrostático.

El hecho de que algunos objetos puedan flotar o que parezcan más ligeros cuando se sumergen en un líquido, se debe a la fuerza ascendente (empuje) que ejercen los fluidos sobre los cuerpos que se encuentran total o parcialmente sumergidos en ellos.

El sabio griego Arquímedes fue el primero en estudiar este fenómeno, por lo que se conoce como principio de Arquímedes, el cual establece que:

Todo cuerpo sumergido en un fluido está sometido a una fuerza dirigida hacia arriba llamada empuje. Esta fuerza es igual al peso del líquido que desplaza el cuerpo.

El principio de Arquímedes da origen a tres casos; tomando en cuenta que los cuerpos tienen peso ( $P$ ), se toma en consideración lo siguiente:

Si el peso del cuerpo es mayor que el empuje, la resultante de las fuerzas estará dirigida hacia abajo y el cuerpo se hundirá.

Si el peso del cuerpo es igual al empuje, la resultante será nula y el cuerpo se mantendrá en equilibrio dentro del líquido.

Si el peso del cuerpo es menor que el empuje, la resultante de las fuerzas estará dirigida hacia arriba y el cuerpo será impulsado hacia la superficie del líquido. Cuando el cuerpo comience a salir del agua estará desplazando menor cantidad de agua y el empuje disminuirá hasta que sea igual al peso del cuerpo. En esa posición, el empuje es igual al peso del líquido desplazado por la parte sumergida del cuerpo que se mantiene flotando en equilibrio.

## Concepto de vacío

En un recipiente que se encuentra abierto en la atmósfera las moléculas que forman el aire golpean constantemente sus paredes por fuera y por dentro.

Este constante golpeteo da como resultado fuerzas perpendiculares a las paredes debido a la presencia del fluido (aire).

Si se cierra el recipiente y mediante una bomba de vacío se extrae casi todo el aire de su interior, quedarán pocas moléculas golpeando las paredes interiores; por lo que la fuerza debida a los choques del fluido disminuirá.

La fuerza externa al recipiente, ejercida por el constante golpeteo de las moléculas del aire, es de la igual magnitud. Como consecuencia, la resultante de las fuerzas en cada punto del recipiente apunta hacia el interior del mismo y lo deforma.

El vacío perfecto no contiene materia; sin embargo, para fines prácticos se considera desde un bajo vacío (del orden de  $10^{-2}$  pascal) hasta un ultraalto vacío (inferior a  $10^{-7}$  pascal); el alto vacío es de magnitudes comprendidas entre estas dos.

### 3.1.3.- Humedad

#### Valores de Humedad relativa y la preservación de acervos

Una discusión muy actual entre los especialistas se refiere a las recomendaciones para valores de humedad relativa para la exposición y almacenaje de objetos. Todos sabemos (por la experiencia diaria) que metales no deben ser almacenados en lugares muy húmedos, debido a la corrosión. Sin embargo, los especialistas hoy se detienen a pensar sobre el problema del cual los parámetros recomendados para otros objetos como los orgánicos, colecciones etnográficas, pinturas, esculturas en madera. Hasta pocos años atrás era común la utilización, mismo en el Brasil y en otros países de Latino-América, de parámetros de H.R. recomendados para Europa. Solamente en los años más recientes es que la comunidad internacional de conservadores y científicos comienza, al fin, a reconocer la necesidad de estudios más profundos en cuanto a la estabilidad de las colecciones y la diversidad climática del globo. En la ciudad de Oro Preto, por ejemplo, vamos a encontrar esculturas en madera en muy buenas condiciones, a pesar de la media elevada de H.R. del ambiente. Los antiguos "patrones" de ( 50 o 55 +- 5 ) % para humedad relativa ya no son una recomendación confiable, dependiendo de la colección a la cual nos referimos.

En general, un objeto que se encuentre en una región con H.R. media elevada ( 75% de H.R. por ejemplo ) va llegar a un estado de equilibrio con el ambiente, o sea, el material se va adaptar a estas condiciones de elevada H.R. En el caso de que esta baje mucho ( en invierno ,por ejemplo) o que el objeto sea llevado a locales donde la H.R. sea baja lo que ciertamente va a ocurrir será la readaptación de este objeto a las nuevas condiciones, provocando por lo tanto el apareamiento de craqueles, fisuras, desprendimientos de capas pictóricas, etc. Este comportamiento de los materiales frente a las condiciones del ambiente es sumamente importante para el transporte de obras de arte y exposiciones itinerantes, una vez que regiones geográficas diferentes pueden presentar características climáticas bien diferenciadas.

## Recomendaciones

A manera de sugerencia práctica, para evitar la degradación de materiales por acción de la humedad, aconsejamos las siguientes medidas:

- Chequear constantemente el tejado de los edificios, para evitar sorpresas desagradables referente a goteras.
- Mantener en buen estado de conservación las instalaciones hidráulicas del edificio.
- Orientar al personal de limpieza sobre la sensibilidad de las colecciones hacia la humedad, evitando el uso de agua y paños mojados, que pueden provocar daños a los objetos por la influencia en la elevación de la humedad relativa ( el uso de aspiradora de polvo sería más aconsejable ).
- Verificar frecuentemente las puertas y ventanas que dan para el exterior, revisando sobre posibles infiltraciones de agua.
- Chequear los alrededores del edificio, para verificar la presencia de pozos de agua, jardines regados diariamente, pueden ser fuente de humedad para el interior del edificio.
- En caso de ambientes muy húmedos, procurar reforzar la ventilación del aire, a través de aberturas de ventanas, puertas o colocar ventiladores.
- Evitar al máximo el almacenamiento de papeles y materiales orgánicos en lugares húmedos y sin ventilación.
- Cuando se transporten obras de arte entre regiones con características climáticas diferentes observar cuál es la época del año en la cual la humedad relativa de dichas regiones es la más próxima posible ( período de lluvias, por ejemplo ), para evitar que las piezas no sufran movimientos de dilatación y contracción drásticos debidos al cambio del clima.

## Medición de la humedad (sensores)

### **Sensor de Humedad del Suelo Virrib**

Es una sonda que mide la humedad enviando ondas electromagnéticas a través del suelo.

La medición no es alterada por la estructura o granulación del suelo.

**Rango Humedad de Suelo, Virrib : 0 a 50% Vol**

### **Sensor de Humedad del Suelo Watermark**

Este sensor consiste en un conjunto de tres sensores conectados a una interfase de conexión.

El sensor indica el agotamiento de humedad del suelo, para así saber cuando regar y obtener un crecimiento máximo de la planta.

Los sensores pueden ubicarse a un mismo nivel para aumentar exactitud de las lecturas, o a tres profundidades diferentes para mostrar diferencias o drenaje del agua.

### **Sensor de Humedad del Suelo Waterwise**

Este sensor consiste en un conjunto de tres sensores de yeso conectados a una interfase de conexión.

El WaterWise es una alternativa de bajo costo en comparación al WaterMark.

Los sensores pueden ubicarse a un mismo nivel para aumentar exactitud de las lecturas, o a tres profundidades diferentes para mostrar diferencias o drenaje del agua

**Rango Humedad de Suelo, WaterWise : 30 - 1500 kPa.**