

MANUAL DEL MÓDULO DE TEMPERATURA

Mod. PCT-INDU/09



www.inducontrol.com.pe

Tel: (51-1) 440-5225

Fax: (51-1) 221-6787

Copyright Febrero 2010

Índice General

Ítem	Página
1. Introducción.....	3
2. Fundamento Teórico.....	4
2.1. Principios básicos de transferencia de calor.....	4
2.2. Transmisión de calor por convección.....	5
2.3. Elementos de medición y trasmisión.....	8
2.4. Dispositivos industriales de medición de temperatura.....	9
3. Operación del módulo de temperatura.....	10
3.1. Esquema general del lazo de control.....	11
3.2. Operación en por HMI.....	12
3.2.1. Condiciones previas para la operación.....	12
3.2.2. Operación.....	12
3.3. Operación en modo PC.....	13
3.3.1. Condiciones para la operación.....	13
3.3.2. Operación.....	14
3.4. Mantenimiento después de la operación.....	14
3.5. Supervisión y control por supervisor-controlador / HMI.....	14
3.6. Supervisión y control por Software SCADA sobre la PC.....	15
3.6.1. Pantalla mímico del sistema.....	15
4. Apéndice.....	17
4.1. Apéndice A1 Requerimientos de instalación del módulo de temperatura.....	18
4.2. Apéndice A2 Características técnicas del módulo de temperatura.....	19
4.3. Apéndice A3 Especificación de instrumentación.....	20
4.4. Apéndice B Ecuaciones de diseño (SI)	33
4.5. Apéndice C Descripción del protocolo de comunicaciones.....	34
4.6. Apéndice D Descripción del algoritmo PID del PLC.....	35
4.7. Apéndice E Hojas Técnicas.....	44

1. INTRODUCCIÓN

La temperatura es una variable de suma importancia, pues en la industria existen procesos físicos y químicos que solo se producen en un rango determinado de temperatura, por esta razón es importante el control apropiado de esta variable.

El módulo de control automático de temperatura ha sido diseñado con el objetivo de proporcionarle al estudiante, la posibilidad de conocer todas las variables y operaciones necesarias para realizar un proceso de control automático, de la variable Temperatura.

El equipo está compuesto básicamente por dos tanques uno inferior y otro superior, red de tuberías y accesorios en acero inoxidable AISI 316; una bomba tipo centrífuga, una resistencia, sensores Pt100 / transmisores de temperatura, válvulas de posición tipo bola, un PAC, y un supervisor - controlador HMI.

La variable de proceso controlada en este equipo es la temperatura y presenta como componentes del sistema instrumentos que usualmente se utilizan en la industria.

El propósito de este manual es el de brindar la información necesaria para la instalación, puesta en marcha, mantenimiento del sistema y guías de prácticas para el profesor y/o estudiante que permitan sacar el máximo provecho a este módulo educativo.

Una introducción de cómo funciona el módulo así como de sus características técnicas se dan en la parte (3), con el propósito de dar una idea general del funcionamiento del sistema. En esta parte también se dan detalles del funcionamiento, las condiciones estándar de operación y las indicaciones para la operación en modo manual y automático.

Además se dan las indicaciones para el mantenimiento del módulo antes, durante y después de su funcionamiento. En los apéndices del manual están los requisitos para la instalación del módulo, diagramas del sistema, las hojas técnicas y especificaciones de los accesorios y equipos que conforman el sistema.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 Principios básicos de transferencia de calor

La Ingeniería Térmica trata de los procesos de transferencia de calor y la metodología para calcular la velocidad temporal con que éstos se producen y así poder diseñar los componentes y sistemas en los que son de aplicación. La transferencia de calor abarca una amplia gama de fenómenos físicos que hay que comprender antes de proceder a desarrollar la metodología que conduzca al diseño térmico de los sistemas correspondientes.

Algunos ejemplos de diseño pueden ser:

- a) Los que requieren disminuir las cantidades de calor transferido mediante un aislante térmico, o amplificarlas mediante aletas u otros sistemas.
- b) Los que implican procesos de transferencia de calor de un fluido a otro mediante Intercambiadores de calor.
- c) Los que controlan térmicamente un proceso, manteniendo las temperaturas de funcionamiento de los elementos sensibles al calor dentro de unos márgenes predeterminados, etc.

Siempre que existe una diferencia de temperatura, la energía se transfiere de la región de mayor temperatura a la de temperatura más baja; de acuerdo con los conceptos termodinámicos la energía que se transfiere como resultado de una diferencia de temperatura, es el calor. Sin embargo, aunque las leyes de la termodinámica tratan de la transferencia de energía, sólo se aplican a sistemas que están en equilibrio; pueden utilizarse para predecir la cantidad de energía requerida para modificar un sistema de un estado de equilibrio a otro, pero no sirven para predecir la rapidez (tiempo) con que puedan producirse estos cambios; la fenomenología que estudia la transmisión del calor complementa los Principios termodinámicos, proporcionando unos métodos de análisis que permiten predecir esta velocidad de transferencia térmica.

Para ilustrar los diferentes tipos de información que se pueden obtener desde ambos puntos de vista, (termodinámico y transferencia de calor) consideraremos, a título de ejemplo, el calentamiento de una barra de acero inmersa en agua caliente. Los principios termodinámicos se pueden utilizar para predecir las temperaturas finales, una vez que los dos sistemas hayan alcanzado el equilibrio, y la cantidad de energía transferida entre los estados de equilibrio inicial y final; pero nada nos dicen respecto a la velocidad de la transferencia térmica, o la temperatura de la barra al cabo de un cierto tiempo, o del tiempo que hay que esperar para obtener una temperatura determinada en una cierta posición de la barra. Un análisis de la transmisión del calor permite predecir la velocidad de la transferencia térmica del agua a la barra y de esta información se puede calcular la temperatura de la barra, así como la temperatura del agua en función del tiempo.

Para proceder a realizar un análisis completo de la transferencia del calor es necesario considerar tres mecanismos diferentes, conducción, convección y radiación. El diseño y proyecto de los sistemas de intercambio de calor y conversión energética requieren de cierta familiaridad con cada uno de estos mecanismos, así como de sus interacciones; en primer lugar consideraremos los principios básicos de la transmisión del calor y algunas aplicaciones simples, que serán de utilidad en capítulos posteriores, en los que serán tratados con más detalle.

2.2. Transmisión De Calor Por Convección

Cuando un fluido a T_F se pone en contacto con un sólido cuya superficie de contacto está a una temperatura distinta T_{pF} el proceso de intercambio de energía térmica se denomina **convección**. En este manual no desarrollamos procedimientos analíticos, sino una visión general del fenómeno, planteando las ecuaciones básicas que se utilizan en los cálculos.

Existen dos tipos de convección:

- Convección libre o natural
- Convección forzada

En la **convección natural**, la fuerza motriz procede de la variación de densidad en el fluido como consecuencia del contacto con una superficie a diferente temperatura, lo que da lugar a unas fuerzas ascensionales; el fluido próximo a la superficie adquiere una velocidad debida únicamente a esta diferencia de densidades, sin ninguna influencia de fuerza motriz exterior; ejemplos típicos son la transmisión de calor al exterior desde la pared o el tejado de una casa en un día soleado sin viento, la convección en un tanque que contiene un líquido en reposo en el que se encuentra sumergida una bobina de calefacción (serpentin de calefacción), el calor transferido desde la superficie de un colector solar en un día en calma, etc.

La **convección forzada** tiene lugar cuando una fuerza motriz exterior mueve un fluido con una velocidad u_F sobre una superficie que se encuentra a una temperatura T_{pF} , mayor o menor que la del fluido T_F . Como la velocidad del fluido en la convección forzada u_F es mayor que en la convección natural, se transfiere, por lo tanto, una mayor cantidad de calor para una determinada temperatura. Independientemente de que la convección sea natural o forzada, la cantidad de calor transmitida Q_c , se puede escribir (Ley de Newton):

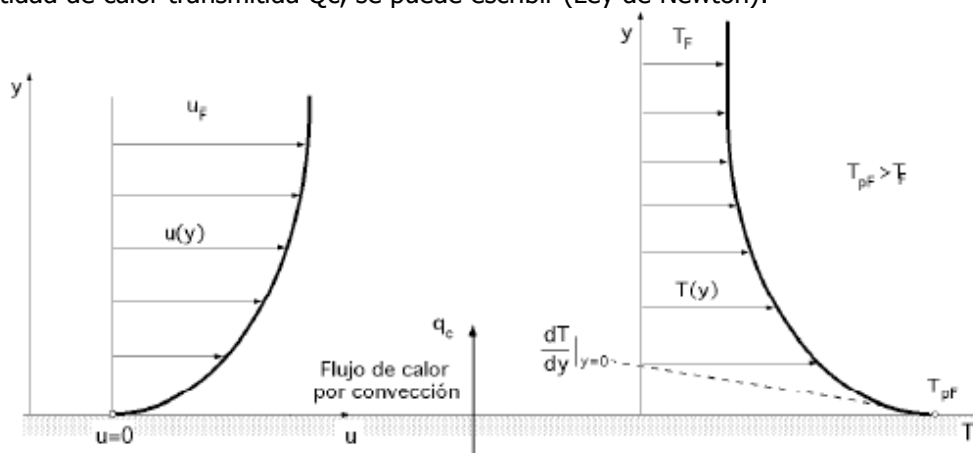


Fig. 1 : Distribución de la temperatura y la velocidad sobre una placa plana en convección forzada

$Q_c = hcF A (T_{pF} - T_F)$ en la que:

hcF es la conductancia convectiva térmica unitaria o coeficiente de transmisión del calor por convección en la interfase líquido-sólido, en $W/m^2\text{°K}$

A es el área superficial en contacto con el fluido, en m^2

T_{pF} es la temperatura de la superficie

T_F es la temperatura del fluido no perturbado

La ecuación anterior sirve como definición del coeficiente de convección hcF , su valor numérico se tiene que determinar analítica o experimentalmente.

En la **Tabla 1** se relacionan algunos valores aproximados de los coeficientes de transmisión de calor por convección, incluyendo la vaporización (ebullición) y la condensación, consideradas usualmente como una parte del área de la convección.

La relación entre el calor transmitido a un fluido por convección y el flujo del fluido, se puede obtener a partir de la Fig 1, que muestra una placa plana caliente que se enfría mediante una corriente de aire que fluye sobre aquélla, (convección forzada), y las distribuciones de la velocidad y temperatura.

Tipo de convección de fluido	Hc (W/m ² °K)
Convección natural , aire	5-25
Convección natural , agua	20-100
Convección forzada, aire	10-200
Convección forzada agua	50-10 000
Agua en ebullición	3000 – 100 000
Vapor de agua en condensación	5000 – 100 000

Tabla 1.- Valores aproximados de coeficientes de transmisión de calor por convección

Se observa que la velocidad $u = u(y)$ decrece en la dirección y hacia la superficie como resultado de la fuerza de rozamiento (viscosidad). Como la velocidad de la capa de fluido adyacente a la pared es $u = 0$, la transmisión de calor por unidad de área entre la superficie y esta capa de fluido se puede considerar debida exclusivamente a la conducción:

$$Q_c / A = -k F(\delta T / \delta y)_{y=0} = hC (T_{pF} - T_F)$$

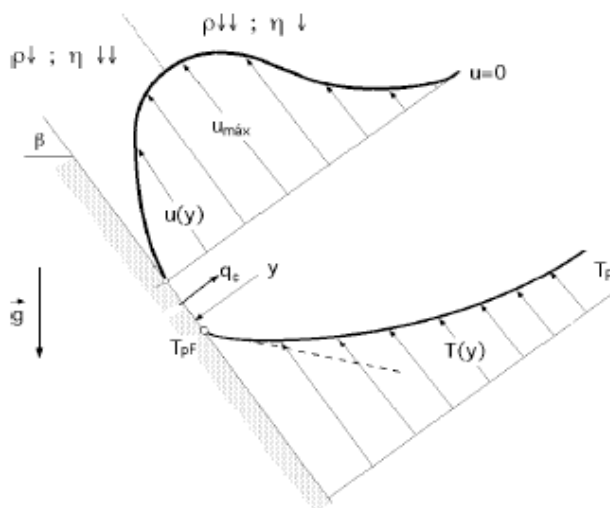


Fig. 2.- Distribución de la temperatura y la velocidad en convección natural sobre una placa plana inclinada

Este punto de vista sugiere que el proceso pudiera ser eminentemente conductivo, pero como el gradiente de temperaturas en la superficie viene determinado por la velocidad con que el fluido situado lejos de la pared puede transportar la energía a la corriente principal, (el gradiente de temperaturas sobre la pared depende del campo de velocidades del fluido), resulta que a mayor velocidad se produce un mayor gradiente de temperaturas y una transferencia de calor superior, por lo que el proceso es prácticamente convectivo, sin despreciar la conductividad térmica que tiene igualmente un papel importante. La situación es muy similar en la convección natural, **Fig. 2**; la diferencia principal consiste en que en la convección forzada la velocidad lejos de la superficie se aproxima al valor de la corriente libre impuesta por una fuerza externa, mientras que en la convección natural la velocidad depende de las propiedades del fluido, que se indican a continuación:

- **En los gases, un aumento de la temperatura implica que la densidad disminuya y la viscosidad aumente.**
- **En los líquidos, un aumento de la temperatura implica que la densidad disminuya y la viscosidad disminuyan.**

En la convección natural, si el fluido es un líquido, la velocidad crece al principio con la distancia a la placa, debido a que la viscosidad disminuye más rápidamente que la densidad, que lo hace más lentamente, fenómeno que se invierte desde la zona de velocidad máxima hasta el resto del fluido; la fuerza ascensional decrece a medida que la densidad del fluido se aproxima a la del fluido de los alrededores, por lo que la velocidad alcanza, en primer lugar, un máximo y, posteriormente, se aproxima a cero lejos de la superficie caliente.

La distribución de temperaturas en la convección natural y en la forzada tiene una forma similar; en ambos casos, el mecanismo de la transmisión del calor en la interfase (fluido / sólido) corresponde a la conducción.

El coeficiente de transmisión de calor por convección forzada depende, en general, de la densidad, de la viscosidad y de la velocidad del fluido, así como de sus propiedades térmicas (conductividad térmica y calor específico), es decir:

$$hcF = f(\rho, \eta, \mu F, K, Cp)$$

En la convección forzada la velocidad viene impuesta al sistema por una bomba, ventilador, etc, y se puede medir directamente, $uF = Q/\Omega$

En la convección natural, la velocidad es de la forma: $uF = f(\Delta T, \beta, g)$, es decir, depende de:

- La diferencia de temperaturas ΔT entre la superficie y el fluido.
- Del coeficiente de dilatación térmica del fluido β que determina el cambio de densidad por unidad de diferencia de temperatura.
- Del campo de fuerzas exteriores que, en general, es la gravedad.

El número adimensional que caracteriza la convección natural es el número de Grashoff, que es el cociente entre las fuerzas de flotación y las fuerzas de viscosidad, de la forma:

$$Gr = \frac{g \beta \Delta T L^3}{\nu^2}$$

Para la convección natural en régimen laminar el N° de Rayleigh vale: $Ra = Gr Pr < 10^7$

Para la convección natural en régimen turbulento el N° de Rayleigh vale: $Ra = Gr Pr > 10^9$

2.3. Elementos de medición y transmisión

Variables de Proceso

Las variables tradicionales que se miden y controlan en los procesos son cuatro: Presión, Temperatura, nivel de interfase y caudal. Estas variables están vinculadas a las condiciones operativas de los procesos.

También interesa en la industria de procesos ciertas características físicas (densidad, viscosidad, etc.) y químicas (composición, conductividad, pH, etc.) que también se miden y controlan, pero en mucha menor escala.

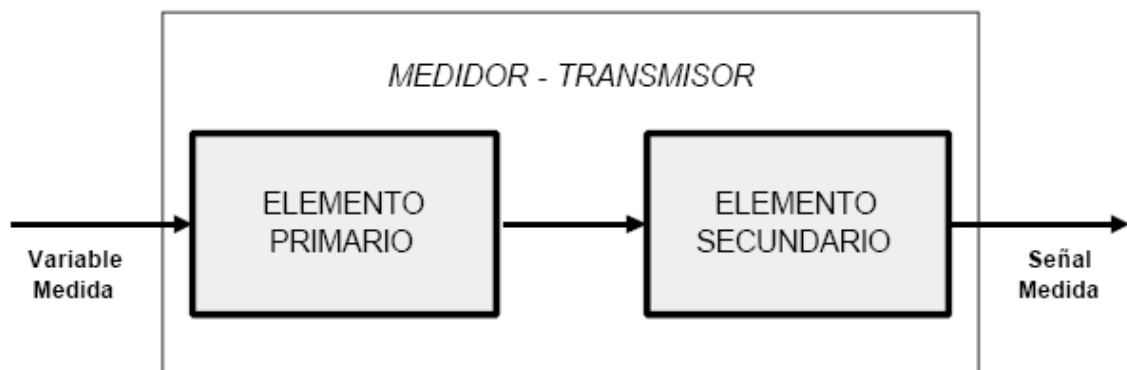
Elementos de medición y transmisión

Son los dispositivos que se encargan de transformar la variable de ingeniería (temperatura, por ejemplo) en una señal mecánica, eléctrica, etc. Que puede ser usada por otros instrumentos (indicadores, controladores, registradores, etc.). Estos dispositivos tienen dos partes:

- *Elemento primario:* es el que capta la variable a medir y produce cambios en propiedades físicas que luego puede transformarse en una señal.
- *Elemento secundario:* capta la señal elaborada por el elemento primario y la transforma en una salida (indicación por ejemplo) o genera una señal estandarizada que puede ser captada por otro instrumento en forma local o remota.

Estas dos partes pueden estar claramente separados como en el caso de un tubo Venturi (elemento primario) con transmisor de presión diferencial (elemento secundario) o bien ambos elementos están confundidos en un mismo dispositivo (medidor de presión tipo Bourdon con indicación de aguja).

Analizando las relaciones causa efecto, se puede representar a un medidor-transmisor como dos sistemas en serie:



2.4. Dispositivos industriales de medición de temperatura

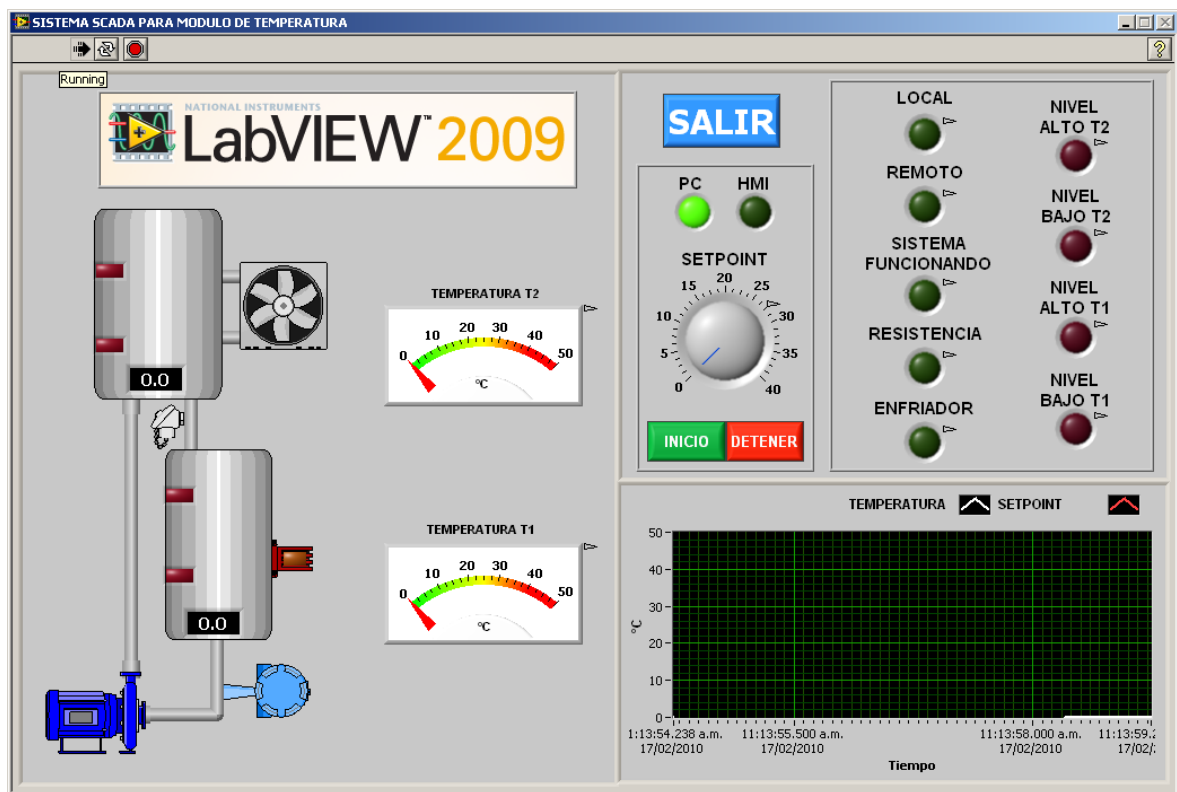
Existen muchos dispositivos que sirven para medir temperatura, pero solo algunos han sido adaptados para su uso en ambientes industriales. En la tabla siguiente están los principales.

PRINCIPIO GENERAL	TIPO	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	ALCANCE (°C)
ELECTRICOS	Termocupla	La f.e.m. inducida en los alambres de distintos metales o aleaciones depende en forma directa de la diferencia de temperaturas entre los dos extremos soldados (juntas).	-200 a 2000
	Termoresistencias	Se infiere la temperatura a partir de la variación en la resistencia eléctrica de un metal, generalmente platino, cobre o níquel.	-200 a 700
	Termistores	Similar al anterior, pero de un semiconductor. La resistencia tiene relación inversa con la temperatura.	< 300
EXPANSIÓN TÉRMICA	Sistemas de dilatación	Son elementos que aprovechan la capacidad de los fluidos (líquidos y gases) de dilatarse con la temperatura. Generalmente se asocian a transmisores neumáticos.	-195 a 760
	Termómetros de vidrio	Similares a los anteriores pero para indicación sobre una escala.	-200 a 350
	Bimetálicos	Consisten en dos piezas de aleaciones de distinto coeficiente de dilatación térmica que producen cambios de forma por efecto de la temperatura.	-50 a 500
RADIACIÓN TÉRMICA	Pirómetros óptico, de radiación total y de relación	Sistema que mide la temperatura basándose en la radiación que emite la superficie cuya temperatura es censada. El elemento sensible no está en contacto con el cuerpo sobre el que se practica la medición.	-40 a 4000
VISUALES	Indicadores de color	Se trata de compuestos químicos que tienen la propiedad de cambiar su color con la temperatura. Solo sirven de indicación	-50 a 1000

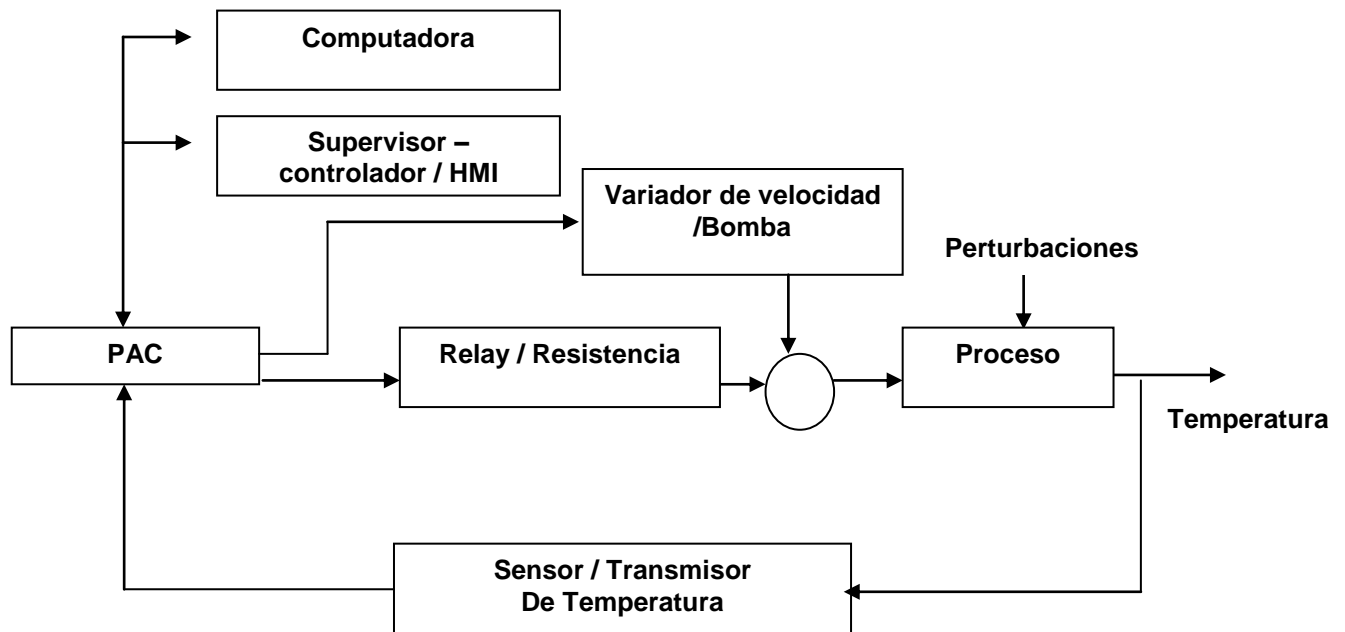
3. OPERACIÓN DEL MÓDULO DE TEMPERATURA

Este módulo de control de Temperatura permitirá que el estudiante aprenda y experimente con un sistema de control automático autónomo (PAC) y un sistema de supervisión y control por computadora (SCADA). Para esto, el fluido (agua) una vez almacenado en el tanque inferior, será bombeado con una electrobomba tipo centrífuga, a través del tanque superior, recirculando el agua constantemente. La temperatura será variada por una resistencia calefactora en el tanque inferior, cuyo ciclo de encendido está modulado por el PAC, además la perturbación podrá ser dada por el manejo de las válvulas en forma manual. El enfriamiento se llevará a cabo en el tanque superior, en cuyo interior se encuentra un serpentín, cuyo calentamiento de paredes exteriores servirá para efectuar la transferencia de calor al líquido que se encontrará en el interior del mismo tanque fuera del serpentín, dicho líquido tenderá a ascender por la parte superior demostrándose así el principio de convección térmica.

El estudiante fijará un valor de temperatura como "valor de consigna", el transmisor de temperatura enviará señales a un PAC, cuando en el sistema se produzca una variación de temperatura que esté fuera del valor deseado, el PAC enviará una señal de control que pasará por un relay de estado sólido, variando de esta forma la potencia entregada al proceso, para que aumente o disminuya la temperatura.



3.1. Esquema general del lazo de control



El módulo de temperatura consta de los siguientes equipos para llevar a cabo el control:

- 1 Bomba tipo centrífuga
- 1 Sistema enfriador.
- 1 Relay de estado sólido
- 1 Variador de velocidad
- 2 Sensores PT100/ Transmisores de Temperatura
- 1 PAC
- 1 Supervisor – Controlador /HMI
- Válvulas manuales de posición tipo bola
- 1 Tablero eléctrico
- Sistema de tuberías y accesorios

El sistema de control ha sido concebido de tal forma que el **PAC**, empleando un algoritmo ON/OFF, se encargue de controlar y mantener el **valor de consigna** de la variable del proceso (temperatura).

Los bloques de **Computadora** y **Supervisor – Controlador /HMI** están relacionados con supervisar y modificar el setpoint.

El **PAC** dentro del bloque general hace de controlador, es decir, es el encargado de decidir un determinado grado de acción correctiva sobre el relay y este a su vez sobre la resistencia.

El bloque **Relay / Resistencia** representa el mando de potencia y actuador.

El **Proceso** lo constituye el cambio de temperatura en el tanque. Las **Perturbaciones** al **Proceso** van a ser generadas por las válvulas de posición tipo bola.

El **PAC** y el **HMI** están enlazados con una comunicación Ethernet a través de un switch de red. El **HMI** y **Computador** pueden realizar la tarea de supervisar y modificar parámetros del **PAC** (Para que el computador pueda modificar los parámetros de control se le debe poner como controlador, esto se hace desde el HMI).

3.2. Operación por HMI

3.2.1. Condiciones previas para la operación

- **ADVERTENCIA:** Antes de manipular el módulo debe haber leído el manual completamente y haber entendido el funcionamiento.
- Verificar que el sistema se encuentre sin energía.
- Asegurarse que la válvula **V3** esté completamente cerrada.
- Para poder llenar el tanque **T1**, verificar que las válvulas **V1** esté 50% abierta y **V2** esté completamente abierta.
- Conectar la entrada de la válvula **V1** a una toma de agua y dejar fluir el líquido, hasta conseguir llenar aproximadamente los $\frac{3}{4}$ del tanque **T1**.
- Cerrar la válvula **V2**.
- Una vez cerrada la válvula **V2**, se procederá al llenado del tanque superior **T2**.
- Verificar que el nivel en tanque T2 sea más o menos constante. Es importante verificar que el nivel en T2 cubra el serpentín en su interior, para que los efectos de transferencia térmica, se cumplan.

3.2.2. Operación

- Conectar la alimentación del módulo a la línea trifásica de 220 VAC.
- Abrir el tablero de control y subir las llaves Trifásica, Termomagnetica, el interruptor diferencial y el guardamotor a **ON** para energizar el sistema (Verificar esto con la Lámpara de **SISTEMA ENERGIZADO** en el Tablero).
- Cerrar el tablero y verificar en el HMI Local si el valor del parámetro de control (SetPoint) con el que arrancará el sistema cuando entre en el **Modo HMI** es el que se desea. (Para conocer la operación del HMI vea la Sección 2.5)
- Fijar el selector en **REMOTO**. Estas acciones fijan las condiciones necesarias para controlar la temperatura desde el HMI en el tablero.
- Presionar el botón de **INICIAR** situado en el HMI para arrancar el sistema.
- Realice el control modulando la velocidad del variador. Llevar el sistema al nivel de Temperatura deseado dentro del rango de trabajo (15 – 50 °C) de forma manual ingresando diferentes valores de SetPoint. Puede ver el valor de la temperatura en el HMI.
- Cuando haya terminado detenga el sistema usando el botón **DETENER** y finalmente vuelva el Selector **S1** a la posición 0.
- Finalmente si ya no va a seguir usando el Módulo baje las llaves termomagnéticas, trifásica, interruptor diferencial y guardamotor a **OFF** para dejar sin energía el sistema y desconecte la toma de alimentación trifásica.

** Es importante que el programa este en modo RUN en la PC, ya que esta me permite el enlace del HMI al PAC.

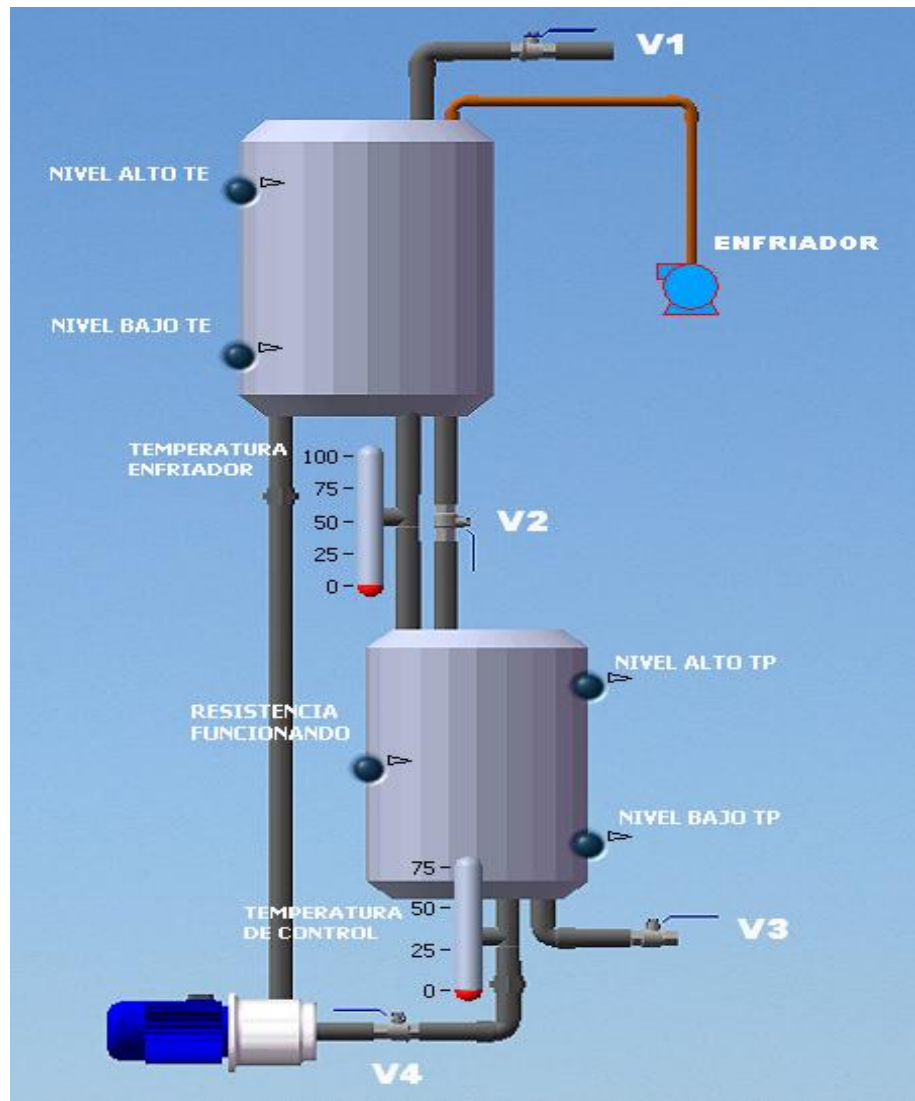
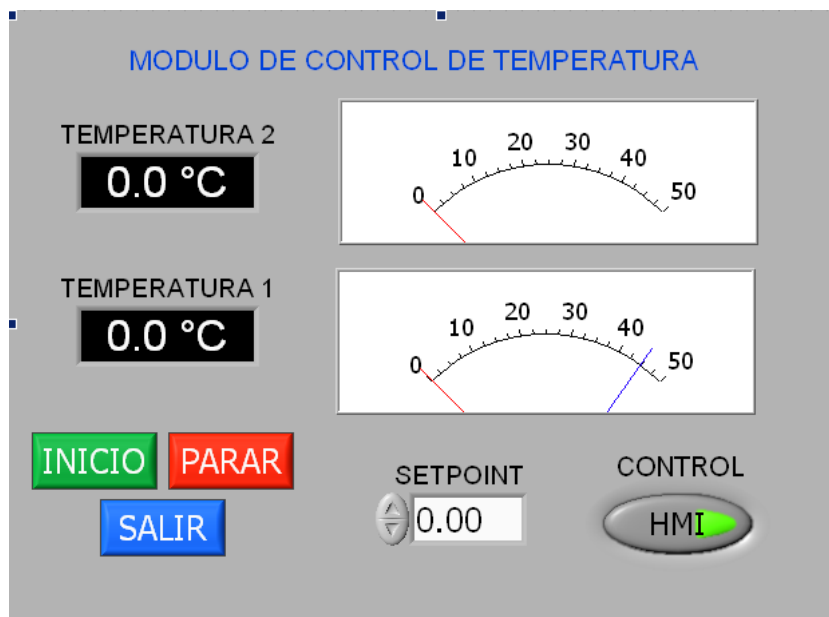


Diagrama de instrumentación



Panel HMI

3.3. Operación desde la PC

3.3.1. Condiciones para la operación

- Verificar que el sistema se encuentre sin energía.
- Asegurarse que las válvulas **V1, V2, V3** estén completamente cerradas.
- Para poder llenar el tanque **T1**, abrir la válvula **V2**, conectar la salida de la válvula **V1** a una toma de agua y abrir dicha válvula.
- Una vez llenado el tanque hasta un nivel evitando habilitar el límite superior del tanque, cerrar la válvula **V2**.
- Una vez cerrada la válvula **V2**, se procederá al llenado del tanque superior **T2** hasta un nivel evitando habilitar el límite superior del tanque), cerrar la válvula **V1**.

3.3.2. Operación

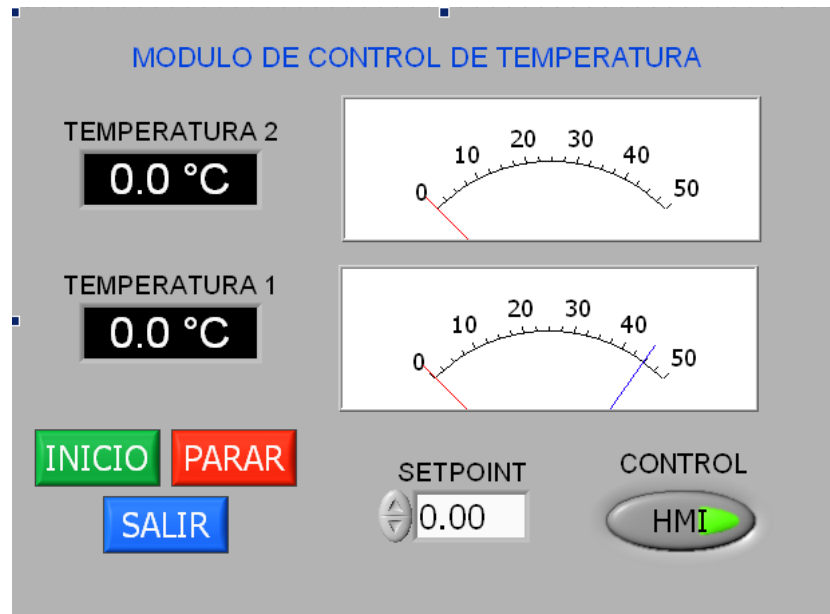
- Conectar la alimentación del módulo a la línea trifásica de 220AC.
- Abrir el tablero de control y subir las llaves Trifásica, Termomagnética, el interruptor diferencial y el guardamotor a **ON** para energizar el sistema (Verificar esto con la Lámpara de **SISTEMA ENERGIZADO** en el Tablero).
- Cerrar el tablero y verificar en la PC Local si el valor del parámetro de control (SetPoint) con el que arrancará el sistema cuando entre en el **Modo PC** son los que se desea. (Para conocer la operación del HMI vea la Sección 2.5)
- Fijar el selector **S1** en **REMOTO** y en el **HMI** apagar el icono de **CONTROL** esto habilitará el sistema para el control desde la PC.
- Presionar el botón de **INICIAR** situado en la PC para arrancar el sistema. Inmediatamente el PAC tomará el control del sistema de acuerdo con los parámetros que se hayan ingresado.
- Ud. puede cambiar los parámetros de control y variar la apertura de la válvula **V2** y ver como responde el sistema a las perturbaciones.
- Para salir del modo simplemente retorne el **Selector S1** a cero o pulse **DETENER**.
- Finalmente si ya no va a seguir usando el Módulo de Temperatura baje las llaves termomagnéticas trifásica, interruptor diferencial y guardamotor a **OFF** para desenergizar el sistema y desconecte la toma de alimentación trifásica.

3.4. Mantenimiento después de la operación

- Desconectar la alimentación trifásica general de 220 VAC
- Vaciar el agua del tanque **T1 y T2** abriendo las válvulas **V2 y V3**.
- Limpiar el interior del tanque con un paño.
- Limpiar las cañerías y estructuras del módulo.

3.5. Supervisión y control por supervisor- controlador HMI

El HMI local es el medio que nos permite ejecutar control y supervisión de la planta de manera inmediata y siempre se encuentra activo. Este HMI tiene una pantalla en entorno LabView, la cual exhibe un programa SCADA que presenta funciones de supervisión solamente así como también nos permite realizar modificaciones de control de mando en el.



Esta pantalla nos permite visualizar la temperatura de cada tanque, además nos permite escoger una de las opciones de control (desde HMI o PC). Si control esta en la opción HMI la variable SETPOINT puede ser manipulada y el valor se verifica al moverse la aguja azul correspondiente al tanque 1.

También desde esta pantalla podemos iniciar el proceso de control con el botón de INICIO y luego detenerlo con el botón PARAR. El botón SALIR es para cerrar el programa.

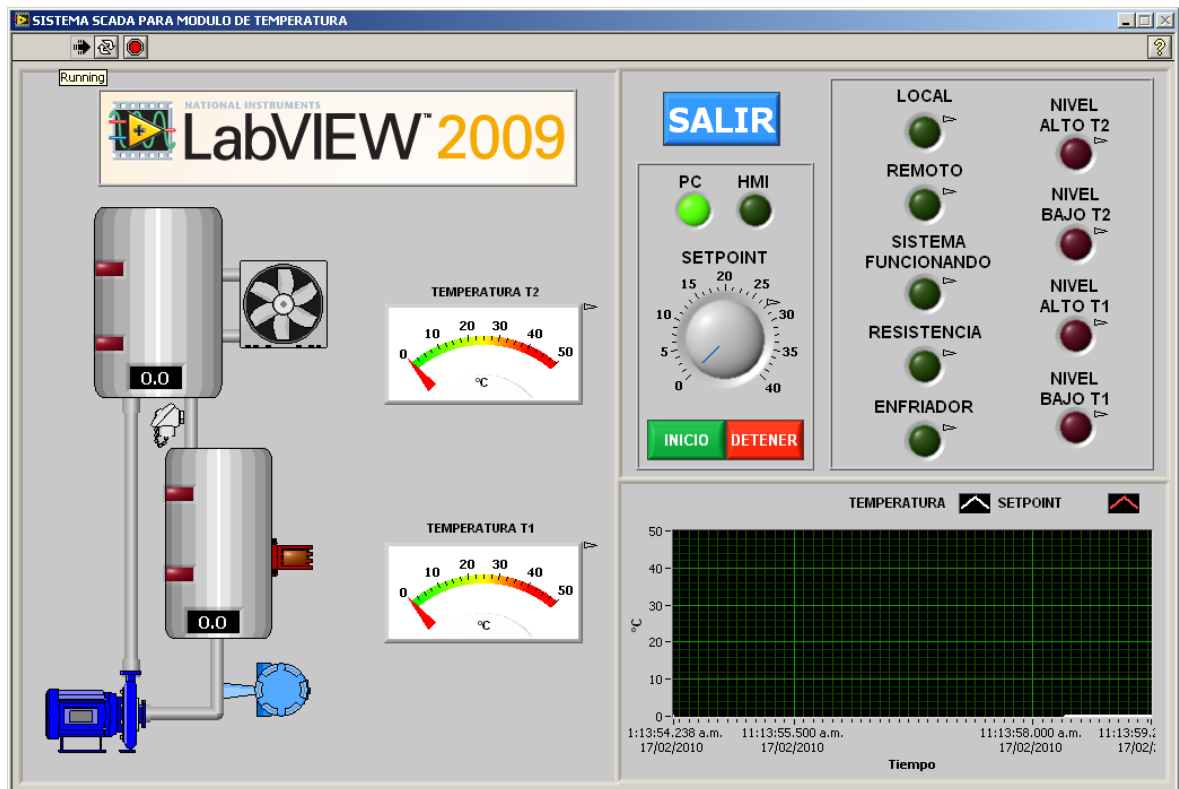
3.6. Supervisión y control por Software SCADA sobre la PC:

A continuación se describirá la operación del programa de supervisión y control desarrollado para el módulo de Temperatura PCT-INDU/009, este software cuenta con una pantalla destinada a supervisión solamente.

IMPORTANTE: Para que la PC pueda modificar los parámetros de control del proceso debe aparecer como controlador. (Ver Sección 3.5)

3.6.1. Pantalla de Mímico del Sistema:

Esta pantalla nos permite visualizar las alarmas y el estado general del Módulo de Temperatura desde aquí se puede iniciar la supervisión. En esta pantalla también se puede hacer cambios del valor de Setpoint.



LED INDICADORES: Nos permite visualizar el estado de cada variable de la planta, sensores de nivel, mando de la planta, estado del sistema enfriador y de la resistencia de calentamiento, así como también visualiza quien tiene el control (PC o HMI).

INDICADORES ANALOGICOS: Nos permite visualizar las variables de temperatura de cada sensor incorporado en la parte inferior de cada tanque.

INICIAR/DETENER: Haciendo clic sobre este botón iniciamos el control, es decir nos conectamos al PAC y recogemos información acerca del estado y variables del sistema. Cuando pulsamos DETENER nos permite apagar el sistema de manera segura.

SALIR: Haciendo clic sobre este botón saldremos del programa de supervisión y monitoreo. Es recomendable parar la supervisión de la planta antes de salir del programa.

4. APÉNDICE

4.1. APENDICE A1:

4.1.1. Requerimientos de instalación de los módulos:

Consumo Eléctrico del Módulo de Temperatura	
Generalidades:	
Alimentación trifásica General	220 VAC
Frecuencia	60 Hz
Potencia total (vatios)	3732.75
DESCRIPCION	CONSUMO (vatios)
PLC	30
Fuente de Alimentación	18
Contactador	110
Variador de velocidad (Trifásico)	750
Resistencia Calefactora	220
Bomba Hidráulica	560
HMI	5
Luces	20
PK2600	10
Tx de Temperatura	0.8
Módulo de Entradas Analógicas	1.45
Módulo de Salidas Analógicas	2.5
Total :	3732.75
Requerimientos para la Computadora	
Procesador	P-IV 2.4 Ghz
Memoria :	256 Mbytes.
Disco Duro :	40 Gbytes
Tarjeta de Video :	16 Mbytes
Bus PCI :	2 Unidades
Lectora de CD :	1 Unidad
Filopy Disck	1.44 Mb
Puertos USB	4
Tarjeta de Red Integrada	10/100Mb.
Monitor	15"
Teclado y Mouse	01

4.2. APENDICE A2:**4.2.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MÓDULO DE TEMPERATURA**

- Dimensiones : 50 x 173 x 145 cm
- Estructura sobre ruedas en hierro cromado.
- Sistema de tuberías de ¾ " en acero inoxidable AISI 316.
- Líneas de conexión y válvulas de cierre en acero inoxidable AISI 316.
- 1 tanque de recogida de agua en acero inoxidable AISI 316, capacidad : 125 litros
- 1 tanque de enfriamiento en acero inoxidable AISI 316, capacidad : 125 litros
- 1 bomba centrífuga monoblock con todas sus partes húmedas en acero inoxidable AISI 316, Potencia máx. 2.2 KW , frecuencia 50Hz.
- 2 Transmisor de temperatura rango : señal de salida 4 - 20 mA.
- 4 interruptores de nivel en polipropileno, presión máxima : 10 bar
- 1 tablero electrónico que incluye pulsadores de arranque y parada, botones indicadores de funcionamiento, seleccionador de operación manual - automático.
- 1 PLC con módulos de entrada y salida analógica.
- 1 terminal de operador hombre - maquina
- 1 llave de alimentación principal, 1 contactor, 1 fuente de alimentación 24 DVC, 1 bornera de conexiones y 1 portafusibles.
- Rango de operación: (15-50°C (Optimo))

4.3. APÉNDICE A3

ESPECIFICACIÓN DE INSTRUMENTACION

1. BOMBA ELECTRICA

TIPO: CENTRIFUGA
FABRICANTE: PENTAX

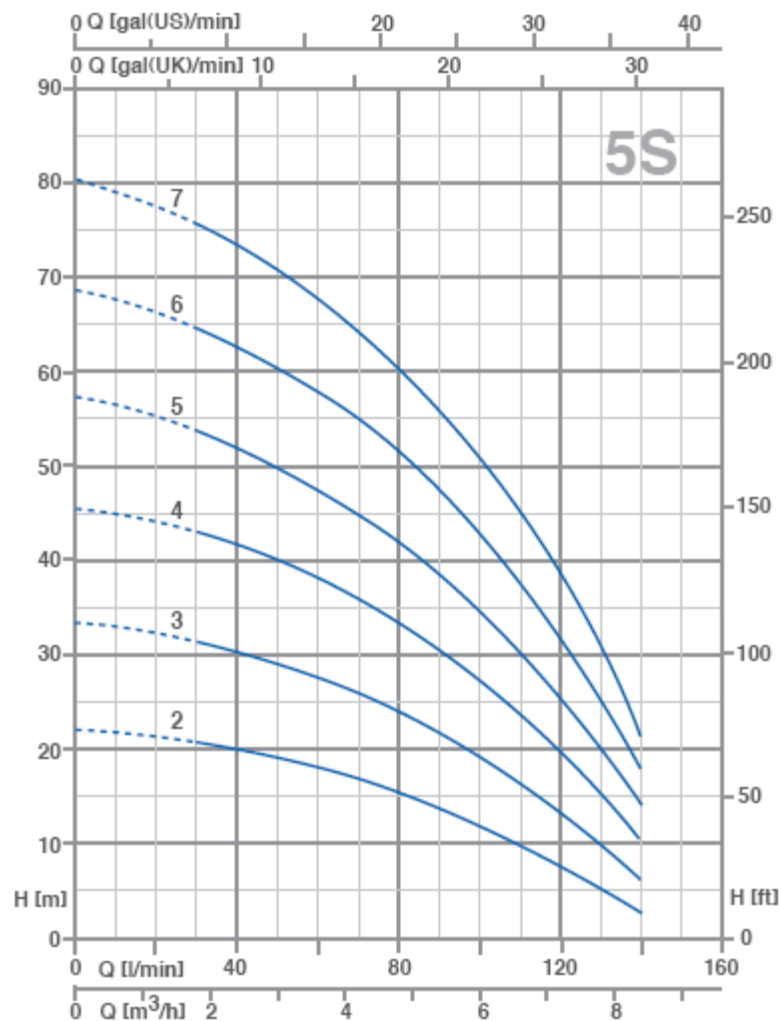
DESCRIPCIÓN

El accionamiento de la bomba centrífuga consiste en un impulsor que gira dentro de una caja circular; el fluido entra a la bomba cerca del centro del impulsor rotatorio (rodete) y es llevado hacia arriba por acción centrífuga. La energía cinética del fluido aumenta desde el centro del impulsor hasta los extremos de las aletas impulsoras.

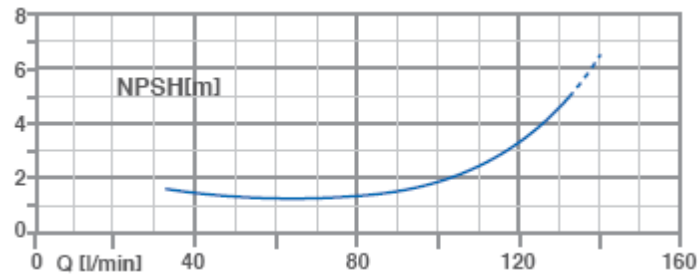
Esta carga de velocidad se convierte en carga de presión cuando el fluido sale de la bomba.

Especificaciones Bomba:

- Modelo : Ultra U5 120/3T.
- Potencia 1.2 HP.
- Frecuencia 60Hz , rpm.
- Motor : Trifásico.



Relación de graficas entra las variables



Relación de graficas entra las variables

Aplicaciones:

- Para líquidos moderadamente agresivos.
- Manejo de fluidos, agua y líquidos mecánicamente no agresivos.
- Suministro de agua.
- Irrigación.
- Circulación de agua (frío, caliente, refrigerado).

2. SENSOR DE TEMPERATURA**FABRICANTE: DANFOSS****TIPO: MBT 5252****Aplicaciones:**

- Para medir y tomar temperatura en sistemas hidráulicos y plantas de refrigeración en instalaciones marítimas o en todos aquellos lugares donde sea necesario un equipamiento fiable, robusto y preciso
- Medio gaseoso o líquido como por ejemplo: aire, gas, vapor, agua, aceite.

Características:

- Temperatura del medio hasta +200°C
- Puede utilizarse con conexiones de 2 o 3 hilos
- Conector macho y hembra dorado
- Resistencia del sensor Pt100.
- Conexión: 1/2 " NPT
- Transmisor de temperatura de 4 a 20mA

3. SENSOR DE NIVEL

INTERRUPTOR PLASTICO DE NIVEL

MODELO: NKP

FABRICANTE: KOBOLD

Descripción:

El interruptor de nivel plástico NKP está diseñado para el control económico de líquidos en recipientes. Muchas aplicaciones industriales se pueden realizar con dos versiones plásticas diferentes cada uno con tres diferentes montajes. El interruptor es notable por su diseño libre de mantenimiento, dimensiones pequeñas y contactos reed con alta capacidad de interrupción. El interruptor se monta en la cara del recipiente. Un flotador plástico con bisagras con un imán flota hacia arriba y hacia abajo a través del nivel líquido. El contacto reed encapsulado es manejado por el imán. La función de conmutación (contacto N/A, contacto N/C) es determinada por la posición de la instalación. La función es invertida simplemente rotando el interruptor 180°C.



Aplicaciones

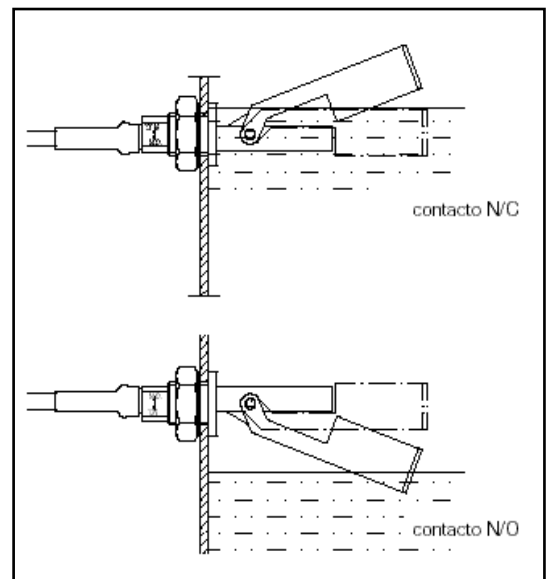
- Lavado de automóviles
- Limpieza de máquinas
- Tanques plásticos
- Refrigeración con Láser

Especificaciones

- Presión : máx. 10 bar
- Temperatura : máx. 100°C
- Conexión : G 1/2 , 1/2" , NPT , M16
- Material : Polipropileno , PVDF

Detalles Técnicos

- Cuerpo del interruptor : polipropileno
- Flotador: polipropileno
- Máx. temperatura: 80°C / 175°F
- Máx. presión: 10 bar / 145 psig
- Posición de instalación: Horizontal ($\pm 30^\circ$ desde el plano horizontal)
- Componentes de cont.: Contacto N/A/contacto N/C (dependiendo de la instalación)
- Conexión eléctrica: Cable trenzado AWG20, 2 núcleos, PVC, 1 m
- Capacidad de contacto: Máx. 250 VAC
- Máx. 50 watt/VA / máx. 1,5 A
- Resistencia de contacto: Máx. 80mOhm
- Fuerza eléctrica mínima: 400 VDC/1 s
- Densidad del medio: >0.6 g/cm.



4. VARIADOR DE VELOCIDAD

FABRICANTE: SHNEIDER ELECTRIC
MODELO: ALTIVAR 31

Funciones:

El Altivar 12 es un convertidor de frecuencia para motores asincrónicos trifásicos de jaula para 1HP.

Las principales funciones integradas en el Altivar 12 son:

- Arranque y variación de velocidad.
- Inversión del sentido de giro.
- Aceleración, desaceleración, parada.
- Protecciones del motor y variador.
- Comando 2 ó 3 hilos.
- 4 velocidades preseleccionadas.
- Guardar la configuración del variador.
- Inyección de corriente continua en la parada.
- Conmutación de rampas.



Entradas y salidas:

- 2 salidas de relé configurables.
- 1 entrada analógica configurable (0-10V, -10V/+10V, 0-20mA X-YmA).
- 1 referencia de potenciómetro (para los productos con mando local).
- 1 salida analógica configurable en tensión y en corriente; configurable como salida lógica.
- Fuentes internas disponibles protegidas contra los cortocircuitos y las sobrecargas.

Entorno:

- Conformidad con las normas: baja tensión EN50178, IEC/EN CEM emisión conducida y radiada: IEC/EN61800-3, entornos 1 y 2 EN55011 - EN55022 clase A y clase B
- Homologaciones: UL, CSA, NOM 117 y C-Tick
- Grado de protección: IP 31, IP 41 en la parte superior, IP 21 bornero; IP 55 para el producto en cofre
- Temperatura de almacenamiento: de -25°C a +70°C

- Humedad relativa: 5...95% sin condensación ni goteo según IEC60068-2-3
- Altitud máxima de utilización: 1.000 m sin desclasificación
- Posición de funcionamiento: Vertical +/- 10°

Aplicaciones

- Sistemas de manejo de material.
- Máquinas especiales (mezcladoras, lavadoras, centrífugas,...).
- Ventilación, bombeo, controles de acceso, puertas automáticas.
- Transporte horizontal (pequeños transportes, ...).

Funciones y entradas /salidas del variador:

- Comando 2 hilos en la transición,
- Entrada lógica LI1: sentido de marcha,
- Entrada lógica LI2: sentido de reversa,
- Velocidades preseleccionadas:
- Entrada lógica LI3 : velocidades preseleccionadas,
- Entrada lógica LI4 : velocidades preseleccionadas,
- Entrada analógica AI1 : referencia de velocidad 0-5 V,
- Salida lógica /analógica DO : frecuencia motor (analógica),
- Adaptación de la rampa de desaceleración,
- Inyección de corriente continua automática durante 0,5 s en la parada

Funciones del visualizador y pulsadores

- El visualizador está formado de códigos o valores programados que pueden observarse por intermedio de 3 dígitos de 7 segmentos.
- Los pulsadores permiten desfile de menú y la modificación de los valores.
- ESC: Pulsador de salida de los menús (sin acción de validación)
- ENT: Pulsador de validación para entrar a menú o validar El nuevo valor elegido.
- RUN: Comando local de marcha del motor.
- STOP: Comando local de parada Del motor.
- POTENCIOMETRO de consigna de velocidad.

Descripción de la bornera

- Cableado tipo contactor
- Tornillos imperdibles

Bornera de control Entradas:

- 4 entradas lógicas alimentadas por +15V internos o +24V externos (L1, L2, L3, L4)
- 1 entrada analógica en tensión o corriente
- 1 relé de defecto (RA/RC)
- 1 salida lógica
- 1 salida analógica
- Fuente de +5V
- Fuente de +24V
- Entradas lógicas asignables (LI1, LI2,LI3,LI4)
- Tiempo de muestreo: 20 ms
- Multiasignación de las entradas: permite combinar varias funciones en una misma entrada
- Configuración de fábrica: para control 2 hilos
- LI1 = marcha adelante
- LI2 = marcha atrás
- LI3/LI4= Velocidades preseleccionadas
- Entrada analógica configurable (AI1)
(resolución 10bits, precisión 1% y linealidad 0.3%)
Impedancia 30K Ω , 30 V máx.
Tensión de entrada de 0 a +5V ó de 0 a +10V
Intensidad de corriente 0-20 mA configurable

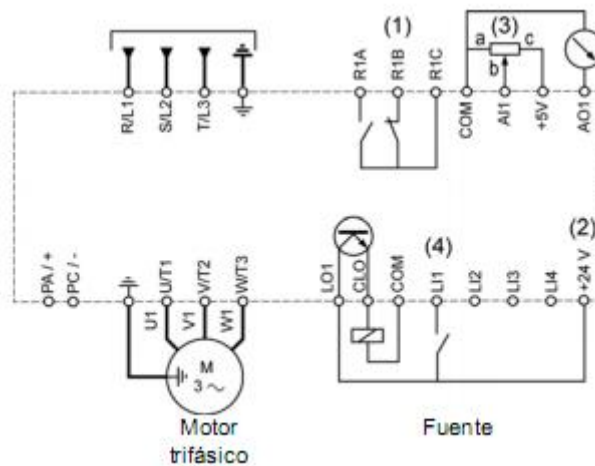
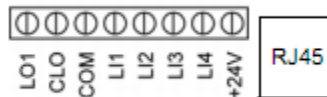
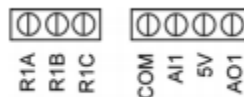
Impedancia de 250Ω

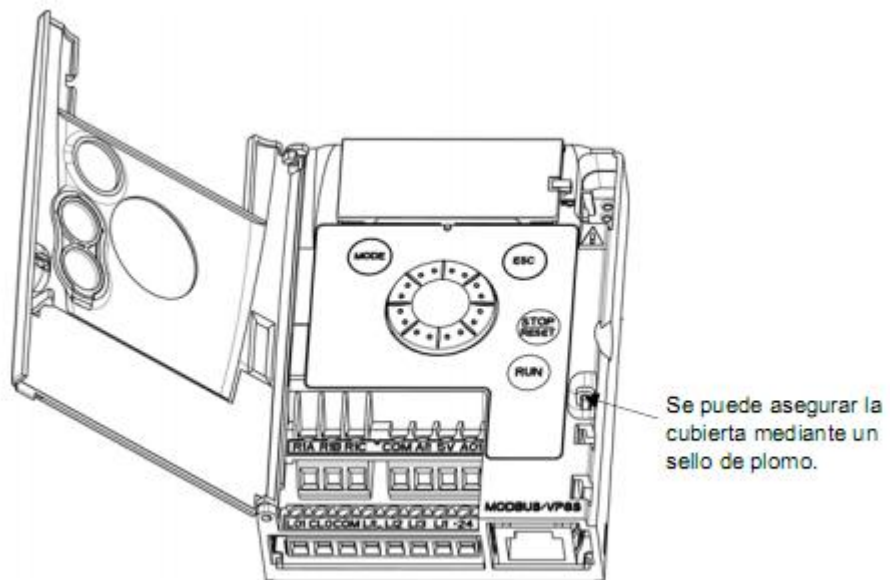
Bornera de control: Salidas

- Salida analógica
Tiempo muestreo máximo 7ms
Resolución 8 bits, precisión 1%, linealidad 0.3%
Tensión de 30V máx., impedancia salida máxima 800Ω.
- Salida lógica de colector abierto
Tensión de 30V máx., impedancia 1KΩ, 100mA máx.
Tiempo de muestreo 20ms
- Relé (RC/RA) libre de potencial Contacto abierto en caso de fallo o ausencia de alimentación
Poder de conmutación mínimo: 5mA para 24Vcc
Poder de conmutación máximo: 2A para 250Vac y para 30V con carga inductiva

Bornera de control: Alimentaciones

- 5V Alimentación para potenciómetro de consigna de 2,2 KΩ a 10 KΩ Intensidad máx. disponible: 10mA
- Protegida contra sobrecargas y cortocircuitos





5. HMI

FABRICANTE: NATIONAL INSTRUMENTS
MODELO: TPC-2106T

ESPECIFICACIONES:

- CPU: Intel XScale PXA 270, 416 MHz.
- VGA: incorporada al CPU.
- DRAM: 64 MB SDRAM incorporada.
- Almacenamiento de memoria: 64 MB NAND FLASH
- Ethernet: Controlador SMSC9115 10/100 Base-T, compatible con protocolo IEEE 802.3u



Eléctricas:

- Voltaje: 18 a 32 VDC
- Máxima corriente: 3.15 A

Mecánicas:

- Dimensiones: 188 x 141 mm.
- Profundidad de instalado: 44.4 mm.

LCD:

- Tipo: Color TFT LCD
- Tamaño: 5.6 pulg.
- Resolución Máxima: 320 x 240 (QVGA)
- Calidad Máxima de Colores: 256K
- Radio Contraste: 400

Pantalla Táctil:

- Tipo: Resistiva
- Resolución: Continua
- Controlador: DMC9000
- Software: Windows CE

Ambientales:

- Temperatura Operación: 0 a 50 °C
- Humedad: 10 a 95%
- Altitud Máxima: 2000 m.s.n.m.

Limpieza de la unidad:

Usar una escobilla suave y no metálica, asegurarse que la unidad este seca y libre de contaminantes antes de regresar al servicio.

Programación del HMI TPC 2106T:

El software de programación utilizado es Labview 8.6. con el toolkit para el Touch Panel.

6. PAC

FABRICANTE: NATIONAL INSTRUMENTS

MODELO: CFP2200

Especificaciones:

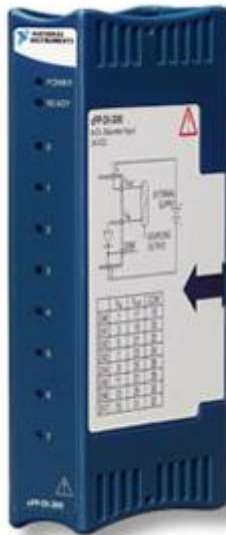
- Procesador de 400MHz, con 128MB DRAM, 128MB de almacenamiento no volátil.
- Puerto Ethernet 10/100BASE-T con servidores embebidos de web y archivos con interfaz de usuario de panel remoto.
- Puerto serial RS232 para conexión con periféricos.
- Calidad industrial 50g shock, 5g de vibración y rango de operación de -40°C a 70°C.
- LED indicadores de estado del controlador.



MODELO: CFP-DI-300

Especificaciones

- 8 entradas digitales sinking de 24VDC
- LED indicador de estado ON/OFF por canal.
- Tasa de muestreo 1kHz.
- Impedancia de entrada 5KOhm
- Voltaje de entrada máximo 30VDC
- Potencia 185mW
- Rango de operación de - 40°C a 70°C

**MODELO: CFP-RLY-423****Especificaciones**

- 8 salidas tipo relé, 120VDC ó 250VAC.
- Indicador de estado del LED por canal.
- Conecta hasta 1.5A a 35VDC ó 250VAC
- Potencia 1W
- Rango de operación de – 40°C a 60°C

**MODELO: CFP-AIO-600****Especificaciones**

- 4 canales de entrada analógica para voltaje de hasta +36V o corriente de hasta $\pm 24\text{mA}$
- Rango de actualización de 1.7kHz para cada entrada.
- Protección de entrada de corriente de 100mA y protección contra corto circuito.
- Resolución 12 bits.
- 4 canales de salida de corriente analógica para 0 a 20mA ó 4 a 20mA.
- Potencia 350mW
- Rango de operación de – 40°C a 70°C



7. GUARDAMOTOR

FABRICANTE: SHNEIDER ELECTRIC
MODELO: GV2ME10

DESCRIPCIÓN

Guardamotor termomagnético con conexión por terminales atornillables con botones pulsadores.

ESPECIFICACIONES:

- Rango de Ajuste para disparo térmico: 4 – 6.3 A
- Corriente de disparo magnético: 78 ±20% A

Eléctricas:

- Voltaje de operación: 690 V
- Corriente: 3 A

CARACTERISTICAS FISICAS:

- Profundidad: 97 mm
- Altura: 89 mm
- Peso: 0.35 kg
- Ancho: 44.5 mm

8. LLAVE DIFERENCIADORA

FABRICANTE: SHNEIDER ELECTRIC
MODELO: ID/RCCB 16234

Eléctricas:

- Voltaje de operación: 240 V
- Corriente Nominal: 0.030 - 25 A

9. LLAVES TERMOMAGNETICAS

FABRICANTE: SHNEIDER ELECTRIC
MODELO: C60N
TIPO: Tripular y Bipolar

Eléctricas:

- Voltaje de operación: 400 V
- Corriente: 32 A

FABRICANTE: SHNEIDER ELECTRIC
MODELO: C60H
TIPO: Bipolar

Eléctricas:

- Voltaje de operación: 400 V
- Corriente: 16 A

4.4. APENDICE B

ECUACIONES DE DISEÑO (SI)

TRANSFERENCIA DE CALOR

1. Cantidad de calor transmitida Q_c :

$$Q_c = hcF A (T_{pF} - T_F)$$

En la que:

hcF: Es la conductancia convectiva térmica unitaria o coeficiente de transmisión del calor por convección en la interfase líquido-sólido, en $W/m^2\text{°K}$

A: Es el área superficial en contacto con el fluido, en m^2

T_{pF}: Es la temperatura de la superficie

T_F: Es la temperatura del fluido no perturbado

Para valores de **hcF** ver **tabla 1** en el Fundamento Teórico

2. Coeficiente de transmisión de calor por convección forzada:

$$hcF = f (r, h, mF, K, Cp)$$

3. Velocidad en Conveccion forzada:

$$u_F = Q/W \quad (\text{Esta impuesta al sistema por una bomba, ventilador, etc})$$

4. Velocidad en Conveccion Natural :

$$u_F = f (DT, b, g)$$

Es decir, depende de :

DT: Diferencia de temperaturas entre la superficie y el fluido

b : Cambio de densidad por unidad de diferencia de temperatura

g : Gravedad

5. Numero Grashoff :

$$Gr = g b \frac{DT L^3}{\nu^2}$$

6. Para la convección natural en régimen laminar :

$$N^\circ \text{ de Rayleigh vale: } Ra = Gr Pr < 107$$

7. Para la convección natural en régimen turbulento :

$$N^\circ \text{ de Rayleigh vale: } Ra = Gr Pr > 109$$

4.5. APENDICE C:

DESCRIPCIÓN DEL PROTOCOLO DE COMUNICACIONES

Prestaciones de un sistemas MODBUS TCP/IP

Las prestaciones dependen básicamente de la red y el hardware. Si se usa MODBUS® TCP/IP sobre Internet, las prestaciones serán las correspondientes a tiempos de respuesta en Internet, que no siempre serán las deseables para un sistema de control. Sin embargo pueden ser suficientes para la comunicación destinada a depuración y mantenimiento, evitando así desplazamientos al lugar de la instalación.

Si disponemos de una Intranet de altas prestaciones con conmutadores Ethernet de alta velocidad, la situación es totalmente diferente.

En teoría, MODBUS® TCP/IP, transporta datos hasta $250/(250+70+70)$ o alrededor de un 60% de eficiencia cuando se transfieren registros en bloque, y puesto que 10 Base T proporciona unos 1.25 Mbps de datos, la velocidad de transferencia de información útil será: $1.25M / 2 * 60\% = 360000$ registros por Segundo

En 100BaseT la velocidad es 10 veces mayor.

Esto suponiendo que se están empleando dispositivos que pueden dar servicio en la red Ethernet aprovechando todo el ancho de banda disponible.

En los ensayos prácticos realizados por by Schneider Automation utilizando un PLC Ethernet Momentum™ con entradas/salidas Ethernet, demostró que se podían escasear hasta 4000 bloques I/O por segundo, cada uno con hasta 16 I/O analógicas de 12-bits o 32 I/O digitales (se pueden actualizar 4 bases por milisegundo). Aunque estos resultados están por debajo del límite teórico calculado anteriormente, pero debemos recordar que el dispositivo se probó con una CPU de baja velocidad (80186 a 50MHz con 3 MIPS).

Además, el abaratamiento de los ordenadores personales y el desarrollo de redes Ethernet cada vez más rápidas, permite elevar las velocidades de funcionamiento, a diferencia de otros buses que están inherentemente limitados una sola velocidad.

¿Cómo podemos comunicar dispositivos MODBUS existentes sobre MODBUS TCP/IP?

Puesto que MODBUS® TCP/IP es simplemente un protocolo MODBUS® encapsulado en TCP, es muy sencillo comunicar dispositivos MODBUS® existentes sobre MODBUS® TCP/IP. Para ello se requiere una pasarela que convierta el protocolo MODBUS a MODBUS TCP/IP.

4.6. APÉNDICE D

DESCRIPCIÓN DEL ALGORITMO PID DEL PAC

CONTROLADORES

En un lazo de control cerrado, el controlador es el dispositivo que compara el valor medido (valor actual) con el valor deseado y a continuación calcula y emite una variable manipulada. La sección anterior mostraba que los sistemas controlados pueden tener respuestas muy diferentes. Hay sistemas que responden rápidamente, sistemas que responden muy lentamente y sistemas con propiedades de almacenamiento.

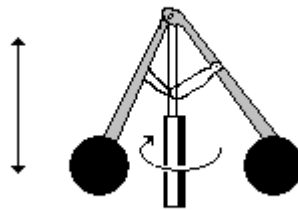
Para cada uno de estos sistemas controlados, los cambios en la variable manipulada y , deben realizarse de forma diferente. Por esta razón hay varios tipos de controladores, cada uno con su propia respuesta.

Respuesta al control

La respuesta al control es la forma en la que el controlador deduce la variable manipulada a partir de la desviación del sistema. Hay dos categorías muy amplias: controladores de acción continua y controladores de acción discontinua.

Controlador de acción Continua

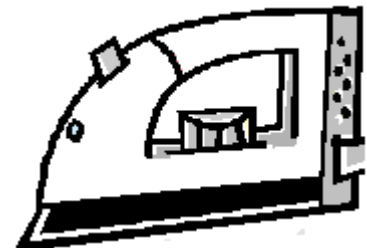
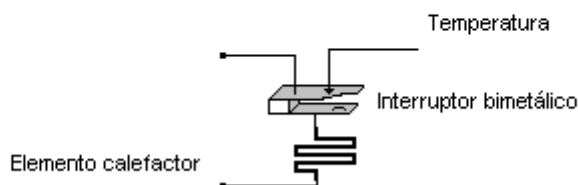
La variable manipulada de un controlador de acción discontinua, cambia continuamente según la desviación del sistema. Los controladores de este tipo dan el valor de la desviación del sistema como una señal de actuación directa para el elemento de manipulación. Uno de este tipo es el controlador centrífugo. Cambia su momento de inercia dependiendo de la velocidad y con ello, tiene una influencia directa sobre la velocidad.



Controlador por acción discontinua

La variable manipulada en un controlador de acción discontinua sólo puede modificarse en pasos establecidos. El más conocido de los controladores de acción discontinua es el controlador de dos puntos, que sólo puede asumir las condiciones "encendido" o "apagado".

Un ejemplo es el termostato de una plancha. Deja circular o interrumpe la corriente eléctrica para el elemento de calentamiento, según sea la temperatura.



Esta sección trata solamente con los controladores de acción continua ya que estos se utilizan más frecuentemente en la tecnología de la automatización. Además, los fundamentos de la tecnología de control en lazo cerrado pueden explicarse mejor utilizando el controlador de acción continua como ejemplo.

Respuesta temporal de un controlador

Cada sistema controlado tiene su propio tiempo de respuesta. Este tiempo de respuesta depende del diseño de la máquina o sistema y no puede ser influido por el ingeniero de control. La respuesta temporal del sistema controlador debe establecerse experimentalmente o por análisis teóricos. El controlador es también un sistema y tiene su propio tiempo de respuesta. Para alcanzar unas buenas prestaciones del control, el ingeniero de control debe especificar esta respuesta temporal.

La respuesta temporal de un controlador de acción continua es determinada por tres componentes:

Componente proporcional (componente P)

Componente integral (componente I)

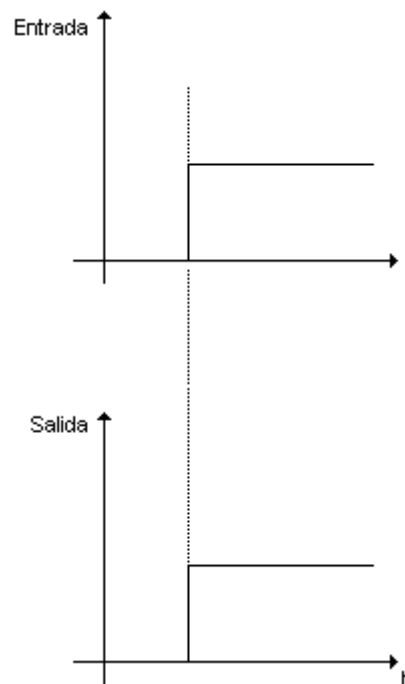
Componente diferencial (componente D)

Las designaciones citadas indican como se calcula la variable manipulada a partir de la desviación del sistema.

Controlador Proporcional

En el controlador proporcional, la salida de la variable manipulada es proporcional a la desviación del sistema.

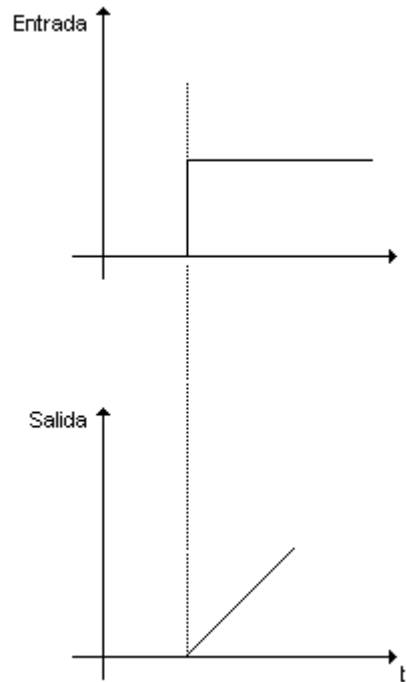
Si la desviación del sistema es grande, el valor de la variable manipulada es grande. Si la desviación del sistema es pequeña, el valor de la variable manipulada es pequeño. Ya que la variable manipulada es proporcional a la desviación del sistema, la variable manipulada sólo está presente si hay una desviación en el sistema. Por esta razón, un controlador proporcional sólo, no puede alcanzar una desviación del sistema de cero. En este caso no estará presente la variable manipulada y por lo tanto no habría control.



Controlador de acción integral

Un controlador de acción integral añade la desviación del sistema respecto al tiempo, es decir, está integrando.

Por ejemplo, si en un sistema hay una desviación constante, el valor de la variable manipulada sigue incrementándose, ya que depende de la suma respecto al tiempo. Sin embargo, a medida que el valor de la variable manipulada sigue creciendo, la desviación del sistema decrece. Este proceso continúa hasta que la desviación del sistema es cero. Por ello, para evitar desviaciones permanentes del sistema se utilizan controladores de acción integral o componentes integrales en los controladores.



Controlador de acción Derivativa

El componente diferencial evalúa la velocidad con que se produce la desviación del sistema. A esto se le llama también diferenciación de la desviación del sistema. Si la desviación del sistema cambia rápidamente, la variable manipulada es grande. Si la desviación del sistema cambia lentamente, el valor de la variable manipulada, es pequeño. Un controlador con sólo un componente D no tendría sentido, ya que la variable manipulada solamente estaría presente durante un cambio en la desviación del sistema.

Un controlador puede consistir en un solo componente, por ejemplo, un controlador P o un controlador I . Un controlador también puede ser una combinación de varios componentes la forma más común de un controlador de acción continua es un controlador PID.

DETALLES TÉCNICOS DE LOS CONTROLADORES

En la tecnología de automatización, los controladores son casi exclusivamente eléctricos o electrónicos. Aunque en algunos libros de texto se muestran controladores mecánicos y neumáticos, raramente se hallan en los sistemas industriales modernos.

Los controladores eléctricos y electrónicos trabajan con señales de entrada y salida eléctricas. Los transductores son sensores que convierten las variables físicas en tensión o corriente. Los elementos de manipulación y elementos motrices funcionan por salidas de corriente o de tensión. Teóricamente no hay límite en el margen de estas señales. En la práctica, sin embargo se han establecido márgenes estándar para las señales de los controladores.

Por tensión

010V

-10.....+10V

Por corriente

0.....20 mA

420 mA

El procesamiento interno de las señales en el controlador es o bien analógico con circuitos amplificadores operacionales o digital con sistemas de microprocesadores.

En los circuitos con amplificadores operacionales, las tensiones y corrientes se procesan directamente en los módulos apropiados.

En el procesamiento digital, las señales analógicas son primero convertidas en señales digitales. Después del cálculo de la variable manipulada en el microprocesador, el valor digital es de nuevo convertido en un valor analógico.

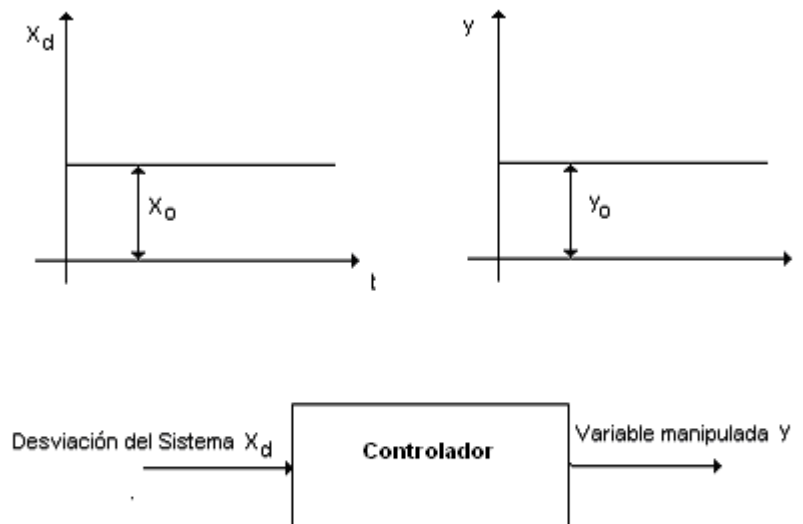
Aunque teóricamente estos dos tipos de procesamiento tienen que tratarse de forma muy diferente, en la práctica no hay diferencia con los controladores clásicos.

MODO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CONTROLADOR

Esta sección explica la respuesta al control de varios tipos de controlador y el significado de sus parámetros. Como en la explicación de los sistemas controlados, para esta descripción se utiliza la respuesta a un escalón. La variable de entrada al controlador es la desviación del sistema es decir la diferencia entre el valor deseado y el valor real de la variable controlada.

El controlador Proporcional

En el caso del controlador proporcional, la señal de accionamiento es proporcional a la desviación del sistema. Si la desviación del sistema es grande, el valor de la variable manipulada es grande. Si la desviación del sistema es pequeña, el valor de la variable manipulada es pequeño. La respuesta temporal del controlador P en estado ideal, es exactamente la misma que la variable de entrada.



Respuesta temporal de un controlador P

La relación entre la variable manipulada y la desviación del sistema es el coeficiente proporcional o la ganancia proporcional. Estas se designan por x_p , k_p o similares. Estos valores pueden establecerse en un controlador P. Determinan cómo se calcula la variable manipulada a partir de la desviación del sistema. La ganancia proporcional se calcula como:

$$K_p = y_0/x_0$$

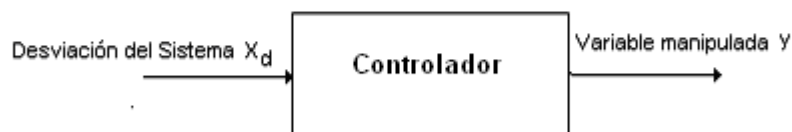
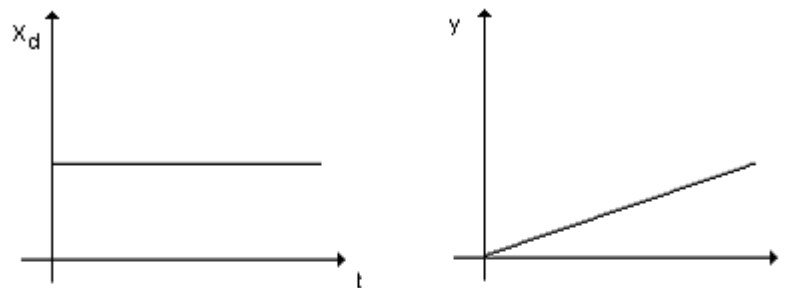
Si la ganancia proporcional es demasiado elevada, el controlador provocará grandes cambios en el elemento manipulador ante ligeras desviaciones de la variable controlada. Si la ganancia proporcional es demasiado pequeña, la respuesta del controlador será demasiado débil lo cual producirá un control no satisfactorio.

Un escalón en la desviación del sistema provocará también un escalón en la variable de salida. El tamaño de este escalón depende de la ganancia proporcional. En la práctica, los controladores a menudo tienen un tiempo de respuesta, es decir, el cambio en la variable manipulada no se realiza hasta transcurrido un cierto tiempo después del cambio en la desviación del sistema. En controladores eléctricos, este retardo del tiempo normalmente puede ajustarse.

Una propiedad importante del controlador P es que como resultado de la rígida relación entre la desviación del sistema y la variable manipulada, siempre queda alguna desviación del sistema. El controlador P no puede compensar esta desviación remanente del sistema.

El controlador I

El controlador integral añade a la desviación del sistema respecto al tiempo. Integra la desviación del sistema. Como resultado, la velocidad de cambio (y no su valor) de la variable manipulada es proporcional a la desviación del sistema. Esto se demuestra por la respuesta a un escalón del controlador I : si la desviación del sistema aumenta repentinamente, la variable manipulada aumenta continuamente. Cuanto mayor sea la desviación del sistema, tanto mayor es el incremento en la variable manipulada.



Respuesta temporal de un controlador I

Por esta razón, el controlador I no es adecuado para una compensación total de la desviación remanente del sistema. Si la desviación del sistema es grande, la variable manipulada cambia rápidamente. Como resultado, la desviación del sistema se vuelve más pequeña y la variable manipulada cambia más lentamente hasta alcanzar el equilibrio.

No obstante, un puro controlador I es inadecuado para muchos sistemas controlados, ya que, o bien causa oscilaciones del lazo cerrado o responde con demasiada lentitud a las desviaciones del sistema, en aquellos sistemas con tiempo de respuesta largos. En la práctica raramente se utilizan controladores I puros.

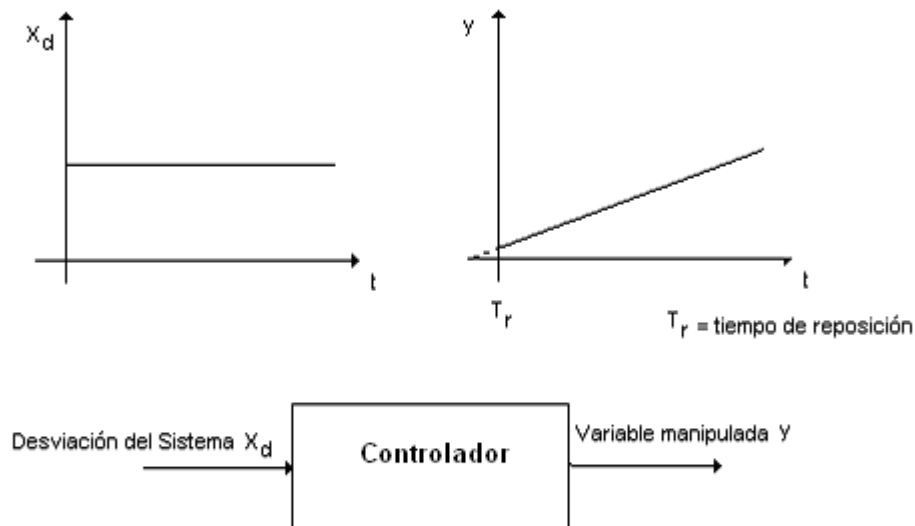
El controlador PI

El controlador PI es una combinación del comportamiento del controlador P y del controlador I. Esto permite combinar las ventajas de ambos tipos de controlador: rápida reacción y compensación de la desviación remanente del sistema. Por esta razón, el controlador PI puede utilizarse para un gran número de sistemas. Además de la ganancia proporcional, el controlador PI tiene un valor característico adicional que indica el comportamiento del componente I: el tiempo de reposición (tiempo de acción integral).

Tiempo de reposición

El tiempo de reposición es una medida de la rapidez con la que el controlador repone la variable manipulada (además de la variable manipulada generada por el componente P)

Para compensar una desviación remanente del sistema. En otras palabras: el tiempo de reposición es el periodo por el cual el controlador PI es más rápido que el puro controlador I. El comportamiento se muestra por la curva del tiempo de respuesta del controlador PI.



Respuesta temporal del Controlador PI

El tiempo de reposición es función de la ganancia proporcional k_p ya que la velocidad de cambio de la variable manipulada es más rápida para una mayor ganancia. En el caso de un tiempo de reposición largo, el efecto de la componente integral es pequeño, ya que la suma de la desviación del sistema es lenta. El efecto del componente integral es grande si el tiempo de reposición es corto.

La efectividad del controlador PI aumenta con el aumento de la ganancia k_p y aumenta en el componente I (es decir, disminuye en tiempo de reposición). Sin embargo si estos dos valores son demasiado extremos, la intervención del controlador es demasiado brusca y todo el lazo de control empieza a oscilar. Entonces la respuesta no es estable. El punto en que la oscilación empieza es diferente para cada sistema controlado y debe ser determinado durante la puesta a punto.

El controlador PD

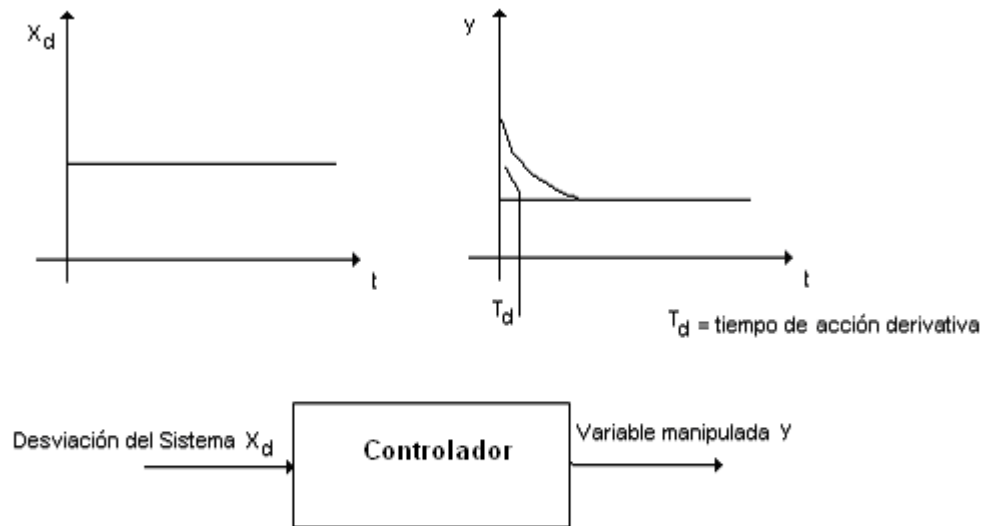
El controlador PD consiste en una combinación de acción proporcional y acción diferencial. La acción diferencial describe la velocidad de cambio de la desviación del sistema.

Cuanto mayor sea esta velocidad de cambio es decir, la amplitud de la desviación del sistema en un determinado periodo de tiempo, mayor será el componente diferencial. Además de la respuesta

del controlador al puro control P, las grandes desviaciones del sistema se encuentran con respuestas muy cortas, pero grande. Esto se expresa con el tiempo de acción derivativa (rate time).

Tiempo de acción derivativa

El tiempo de acción derivativa T_d es una medida de que tan rápido compensa un controlador PD un cambio en la variable controlada, en relación con un controlador P puro. Un salto en la variable manipulada compensa una gran parte de la desviación del sistema antes de que un puro controlador P hubiera alcanzado este valor. Por lo tanto, el componente P aparece para responder más pronto por un periodo igual al tiempo de acción derivativa.



Respuesta temporal del Controlador PD

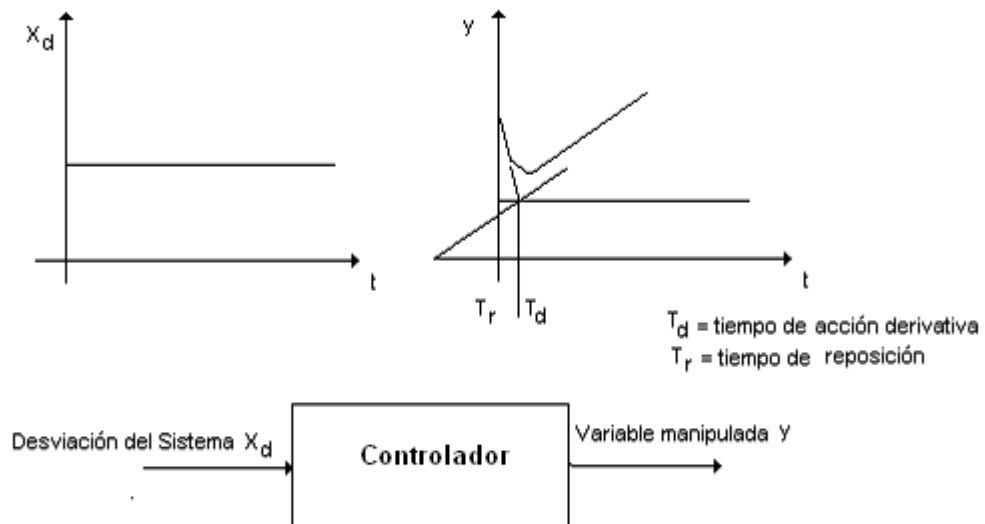
En el controlador PD, raramente se utiliza, hay dos desventajas. Primeramente, no puede compensar completamente las desviaciones remanentes del sistema. En segundo lugar, un componente D ligeramente excesivo, lleva rápidamente a la inestabilidad del lazo de control. Entonces el sistema controlado tiende a oscilar.

El Controlador PID

Además de las propiedades del controlador PI, el controlador PID se complementa con el componente D. Esto tiene en cuenta la velocidad de cambio en la desviación del sistema.

Si la desviación del sistema es grande, el componente D asegura un cambio momentáneo extremadamente elevado en la variable manipulada. Mientras la influencia de la componente D cae inmediatamente, la influencia de la componente I aumenta lentamente. Si el cambio en la desviación del sistema es ligero, el comportamiento del componente D es despreciable.

Este comportamiento tiene la ventaja de una respuesta más rápida y una inmediata compensación de la desviación del sistema en el caso de cambio o variables perturbadoras. La desventaja es que el lazo de control es mucho más propenso a oscilar y que por lo tanto los ajustes son más difíciles de realizar.



Respuesta temporal del Controlador PID

Tiempo de acción Derivativa

Como resultado del componente D, este tipo de controlador es más rápido que un controlador P o un controlador PI. Esto se manifiesta en el tiempo de acción derivativa T_d . El tiempo de acción derivativa es el periodo en el cual un controlador PID es más rápido que un controlador PI.

ALGORITMO PID

En estado estacionario, un regulador PID varía el valor de su salida para llevar a cero el error de regulación (E). EL error es la diferencia entre el valor de consigna (SP) (el punto de trabajo deseado) y la variable de proceso (PV) (el punto de trabajo real). El principio de una regulación PID se basa en la ecuación que se indica a continuación y que expresa la salida $M(t)$ como una función de un término proporcional, uno integral y uno diferencial:

$$M(t) = K_c [(E) + 1/T_i \int f(E) dt + T_D \cdot d(PV)/dt + \text{bias}]$$

Donde :

K_c : Ganancia del controlador

$1/T_i$: Término de reinicio (Reset term) ; donde T_i : término integrativo

T_D : Término de tasa (Rate term)

Para poder implementar esta función de regulación en un sistema digital, la función continua deberá cuantificarse mediante muestreos periódicos del valor del error, calculándose seguidamente el valor de la salida. La ecuación que constituye la base de la solución en un sistema digital es:

$$M_n = K_c * e_n + K_I * \int e_n dt + M_{\text{inicial}} + K_D * (e_n - e_{n-1})$$

Salida	Término Proporcional	Término integral	Término Diferencial
--------	-------------------------	------------------	------------------------

Donde :

M_n : es el valor de salida del lazo calculado en el muestreo n-esimo

K_c : es la ganancia del lazo

E_n : es el valor del error de regulación en el muestreo n-esimo

E_{n-1} : es el valor previo del error de regulación (en el muestreo (n-1)-esimo)

K_I : es la constante proporcional del termino integral

$M_{inicial}$: es el valor inicial de la salida de lazo

K_D : es la constante proporcional del termino diferencial

Para esta ecuación , el termino integral se muestra en función de todos los términos del error , desde el primer muestreo actual. El termino diferencial es una función del muestreo actual y del muestreo previo ; mientras que el muestreo proporcional solo es función del muestreo actual. En un sistema digital no es practico almacenar todos los muestreos del error , además de no ser necesario.

Como un sistema digital debe calcular el valor de salida cada vez que se muestre el error, comenzando por el primer muestreo, solo es necesario almacenar el valor previo del error y el valor previo del termino integral. Debido a la naturaleza repetitiva de la solución basada en un sistema digital es posible simplificar la ecuación a resolver en cada muestreo. La ecuación simplificada es:

$$M_n = K_c * e_n + K_I * e_n + MX + K_D * (e_n - e_{n-1})$$

Salida
Término Proporcional
Término integral
Término diferencial

Donde :

M_n : es el valor de salida del lazo calculado en el muestreo n-esimo

K_c : Es la ganancia del lazo

E_n : Es el valor de error de regulación en el muestreo n-esimo

E_{n-1} : Es el valor previo de regulación en el muestreo (n-1)-esimo

K_i : Es la constante proporcional del termino integral

MX : Es el valor previo del termino integral (en el muestreo (n-1)esimo)

K_D : Es la constante proporcional del termino diferencial

Para calcular el valor de salida del lazo , la CPU utiliza una forma modificada de la ecuación simplificada anterior. Esta ecuación modificada es comp. La siguiente:

$$M_n = MP_n + MI_n + MD_n$$

Salida
Término Proporcional
Término integral
Término Diferencial

Donde :

M_n : es el valor de salida del lazo calculado en el muestreo n-esimo

MP_n : es el valor del termino proporcional de salida del lazo en el muestreo n-esimo

MI_n : es el valor del termino integral de salida del lazo en el muestreo n-esimo

MD_n : es el valor del termino diferencial de salida del lazo en el muestreo n-esimo

4.7. APÉNDICE E
HOJAS TECNICAS