

# MANUAL DEL MÓDULO DE CONTROL DE NIVEL Mod. PCN – INDU/009



[www.inducontrol.com.pe](http://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. Elementos de Medición y Transmisión.....	4
2.2. Medición de Nivel.....	4
2.3. Tipos de medición de nivel.....	5
2.3.1. Medidores continuos.....	5
2.3.2. Interruptores de nivel.....	7
3. Operación del módulo de Nivel.....	9
3.1. Esquema general del lazo de control.....	10
3.2. Operación en modo manual.....	11
3.2.1. Condiciones previas a la operación.....	11
3.2.2. Operación.....	11
3.3. Operación en modo automático.....	12
3.3.1. Condiciones para la operación.....	12
3.3.2. Operación.....	12
3.4. Mantenimiento después de la operación.....	12
3.5. Supervisión y control por supervisor-controlador/HMI.....	13
3.6. Supervisión y control por Software SCADA sobre PC.....	14
3.6.1. Pantalla del registrador..	14
4. Apéndice.....	17
4.1. Apéndice A1: Requerimientos de instalación de los módulos.....	17
4.2. Apéndice A2: Características técnicas del módulo de Nivel.....	18
4.3. Apéndice A3: Especificación de instrumentación.....	19
4.4. Apéndice B: Descripción del protocolo de comunicaciones.....	30
4.5. Apéndice C: Descripción del Algoritmo PID del PLC.....	31

## 1. INTRODUCCIÓN

El nivel de fluidos y sólidos es una de las variables de operación que más a menudo se presentan en la industria química, farmacéutica, petroquímica, etc. y que están sujetas al control automático para un control más óptimo del proceso.

El nivel puede cuantificarse por método directo, midiendo la cantidad de materia que posee determinado recipiente (tanques, silos, etc.); como también por vía indirecta, a través de fenómenos relacionados con el nivel del material como la medición de su altura.

En aplicaciones de medición de nivel en las que no existe contacto entre el instrumento con el líquido del proceso, una buena opción son los dispositivos de sonido o ultrasonido. Estos instrumentos miden la distancia entre un punto en el recipiente (usualmente un punto de referencia) y la interfaz de nivel del fluido. En general, los principios de operación de los dispositivos sónicos y ultrasónicos son similares: La vibración de un dispositivo causa que los objetos cercanos también vibren y esta transferencia de vibración o movimiento a través de un medio es sonido, que viaja en un medio dado en forma de onda con una frecuencia y velocidad características. Una medida de nivel ultrasónica aprovecha estas propiedades.

El equipo está compuesto básicamente por un tanque, red de tuberías y accesorios en acero inoxidable AISI 316; una bomba tipo centrífuga, un transmisor electrónico de Nivel, una válvula proporcional motorizada, válvulas de posición tipo bola, un controlador **PAC** y un supervisor **HMI**. La variable de proceso controlada en este equipo es el Nivel 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 el ítem **(2)**, 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 así como tablas, fórmulas a emplear en las prácticas, las hojas técnicas y especificaciones de los accesorios y equipos que conforman el sistema.

## 2. FUNDAMENTO TEÓRICO

### 2.1. 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.

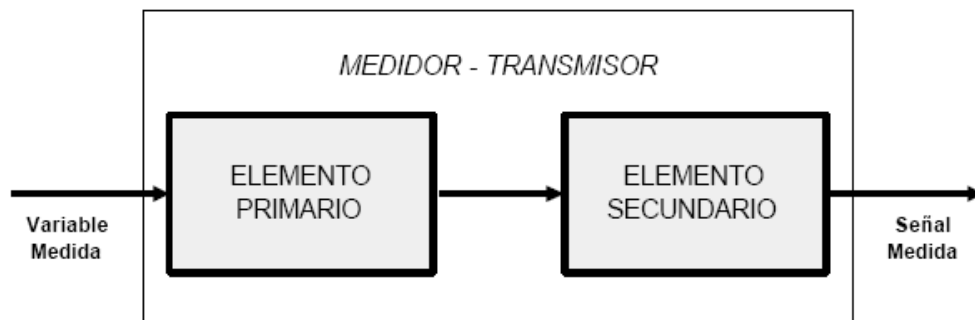
#### Elementos de medición y transmisión

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 separadas 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:



### 2.2. Medición de Nivel.

El nivel es una variable muy importante en los procesos ya que está vinculada a la operación del equipo, al inventario, la logística y los costos. Lo más común es designar con nivel a la posición de la interfase líquido-gas o sólido-gas.

Pero también se suele medir y controlar la interfase líquido-líquido y líquido-sólido.

No existe algo así como "*un medidor universal*" que sea aplicable a todos (o la mayoría) de los casos. Cada situación debe ser cuidadosamente analizada, ya que existe un sinnúmero de

condiciones a tener en cuenta como tipo de sólidos o fluidos, agresividad física o química, existencia de espuma, ángulos de talud en sólidos, etc.

En la actualidad existe una gama enorme de tecnologías de medición de nivel. Se comentan algunas de las tecnologías más comunes para la medición de nivel.

### 2.3. Tipos de medición de nivel

La medición de nivel podemos clasificarla de dos tipos continua y límites de nivel.

#### 2.3.1. Medidores Continuos

Consiste en monitorear en tiempo real el nivel del tanque de almacenamiento.

##### Tecnologías de medición

##### RADIOMÉTRICO:

Se utiliza tanto para medición continua o discreta. El transmisor no entra en contacto con el material ni con el recipiente, tanto fuera o dentro de él. Se utiliza en contenedores de materiales o líquidos inflamables, venenosos o agresivos. Este dispositivo puede ser encontrado en tanques de ácido, hervidores, silos de cemento, ciclones, hornos rotativos, agitadores y mezcladores. Debido a que la fuente sola emite rayos gamma, el material y el tanque pueden ser contaminados radiactivamente.

##### Principio de funcionamiento:

La fuente de rayos gamma, tanto de componentes de cesio o cobalto, emite radiación que es atenuada a medida que pasa a través de los materiales. Un detector, montado en el lado opuesto del recipiente, convierte esta radiación en una señal eléctrica. La amplitud de la señal es determinada por la distancia entre la fuente gamma y el detector y también por el ancho y la densidad del material. El ancho y las paredes del recipiente, cuya atenuación de la radiación es constante, se tienen en cuenta en el cálculo de la señal. La determinación del nivel, se basa en la absorción de radiación por el producto que contiene el tanque.



Transmisor de Nivel Radiométrico

##### ULTRASÓNICO:

Se usan para la medición continua de nivel, suelen montársela través de la parte superior del recipiente o tanque.

**Principio de funcionamiento:** Consiste en emitir un pulso de energía que viaja a la velocidad del sonido en el espacio de vapor que se encuentra por encima del líquido o polvo. La señal es reflejada por la superficie del líquido o polvo y va de vuelta al receptor. Se mide el tiempo entre la señal emitida y la señal recibida. A partir de esa medición de tiempo y con la velocidad del sonido en el vapor se calcula la distancia desde el receptor a la superficie del líquido o polvo. En los últimos años, los medidores -sónicos de nivel han mejorado en exactitud cuando se los aplica en forma adecuada.



Transmisor de Nivel Ultrasónico

**HIDROSTÁTICO:**

Es utilizado para medición continua de nivel en tanques que contengan líquidos o barros, en la industria química, farmacéutica y alimenticia, como también en tratamiento de agua y aguas residuales. La sonda, formando un sensor de presión se encuentra de distintos diseños de construcción para diversas aplicaciones, por ejemplo: para ser montadas a un costado del tanque, o arriba, para materiales corrosivos, etc.

**Principio de funcionamiento:**

El peso de una columna de líquido genera una presión hidrostática. A densidad constante, la presión hidrostática es solamente función de la altura de la columna de líquido:

$$P_{hidrostática} = \rho \cdot g \cdot h$$

Se usan para la medición continua de nivel, suelen montársela través de la parte superior del recipiente o tanque.

**MAGNETOSTRICTIVOS:**

El medidor de nivel NMT de Kobold es un sensor contador controlado por flotador muy exacto para niveles de sensado continuo. El instrumento comprende dos partes:

- Sensor magnetostrictivo en el tubo de medición.
- Transmisor de cuatro hilos en la caja de conexión.

**Principio de Funcionamiento**

El principio de medición se basa en la medida del tiempo de eco. Un alambre magnetostrictivo está tensado en el tubo de medición. Los pulsos de corriente se transmiten a través del alambre, generando así un campo magnético anular alrededor del alambre. El alambre también es magnetizado axialmente por imanes acondicionados en el flotador. Debido a la superposición de ambos campos magnéticos, un impulso torsional se genera en la vecindad del imán del flotador, que se propaga con velocidad ultrasónica en ambas direcciones. La distancia del imán de flotador a un punto cero definido se mide con una medida del tiempo de eco. Los sistemas electrónicos integrados transforman la señal a una señal analógica estandarizada.



Transmisor de Nivel  
Magnetostrictivos

**RADAR:**

Los medidores radar a dos hilos ofrecen las ventajas de no tener partes móviles y no haber contacto con el líquido que se mide. La medición no se ve afectada por la temperatura, presión y densidad del producto. Para una planta de proceso, las cualidades adicionales de Radar disponibles en el transmisor permiten conseguir una mayor productividad, reducir el coste de la propiedad y aumentar la disponibilidad del proceso. Se reducen los gastos de ingeniería e instalación así como los gastos de explotación y mantenimiento.



Transmisor de Nivel  
Radar

### 2.3.2. Interruptores de Nivel.

Nos permiten saber el estado del nivel como mínimo y máximo.

#### Tecnologías de medición

##### PALETA ROTATIVA:

Los monitores de nivel de paleta rotativa sirven como interruptores límite para los materiales macizos, polvorientos, y granulados. Son convenientes para uso con pesos de materiales macizos desde 0,3 a 2,5 t/m y tamaños de partícula hasta 50 milímetros. Diversas posiciones de instalación (horizontal, vertical, inclinada) así como un amplio rango de modelos permiten el uso de los monitores de nivel de paleta de KOBOLD para casi todas las aplicaciones.

##### Método de Operación

Un motor síncrono que gira alrededor de cierto ángulo en una extensión de eje está sujetado a un tope extremo mediante un resorte. El motor maneja una paleta rotativa que sale a un recipiente por medio de un eje. Tan pronto el llenado alcanza las paletas, su rotación se obstaculiza y se detiene.

El torque de reacción gira el motor y hace operar un microcontacto (contacto N/A). El motor se apaga con un segundo interruptor. Si el nivel baja, la paleta rotativa se libera y el motor retorna a su posición original mediante el resorte. Esto enciende el motor de nuevo y el contacto se conmuta a su posición anterior.



##### MEMBRANA:

Los monitores de nivel de la membrana permiten control económico del nivel de productos macizos en recipientes de almacenaje. Pueden ser utilizados para indicar estados llenos y vacíos y demanda de la carga para productos macizos, polvorientos y granulados. Son convenientes para el uso con materiales macizos (0,3 a 2,5 t/m) y tamaños de partícula de hasta 30 mm. Los dispositivos funcionarán sin fallas con la condición de que los materiales macizos fluyan fácilmente a un ángulo no demasiado pequeño. Solamente tales materiales ejercen la presión suficiente de operación en el detector acondicionado en la pared del silo.

##### Método de Operación

La cubierta hecha de fundición de aluminio o de plástico reforzado con fibra de vidrio lleva la membrana retendida por un anillo de atornillamiento. Con su propio peso, el material macizo hace presión contra la membrana, la que es pre-tensionada con un resorte a través del soporte.

Un émbolo fijado a la membrana transfiere la presión directamente a un microcontacto con contacto changeover. Si se desploma el material macizo, se releva la membrana y el contacto se conmuta a donde estaba. La sensibilidad se puede ajustar con un resorte. El monitor se puede optimizar así para el tipo de relleno y las condiciones de instalación.

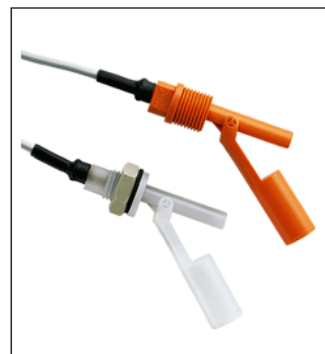


**MAGNÉTICO:**

Los interruptores de nivel magnéticos se utilizan para monitorear y controlar niveles de líquidos en recipientes. Los interruptores de nivel magnéticos se fabrican a la especificación del cliente. Una descripción de los tipos disponibles con longitudes mínimas de tubos de medición se precisa en las páginas siguientes. Refiérase por favor a esta descripción al poner su orden. Además cualquier límite se puede especificar dentro de los límites especificados en el folleto.

**Método de Operación**

Los interruptores de flotador magnéticos están equipados con un contacto herméticamente sellado que se sitúa en el tubo. El flotador que se desliza, en el tubo contiene un imán de anillo cuyo campo magnético conmuta el contacto sellado de una manera no contactante. Los contactos sellados están disponibles como N/A, N/C o contacto changeover. El flotador que se desliza hacia arriba y hacia abajo en el líquido es la única pieza móvil en los interruptores de flotador magnéticos.



Interruptor de Nivel- Magnético

**FLOTADORES:**

Los niveles de líquidos se pueden monitorear fácilmente con los siguientes tipos de interruptores de flotador. Los esquemas de control de nivel se pueden implementar con por lo menos dos flotadores, donde uno funciona como contactor mínimo, y el otro como contactor máximo. Los interruptores se adecuan para aplicaciones donde los interruptores de nivel magnético son inadecuados debido al peligro de atoramiento de flotador con partículas o depósitos de suciedad. Dependiendo de la forma y el material usado, También se pueden monitorear con interruptores de flotador los medios extremadamente agresivos, calientes, sucios, pastosos.

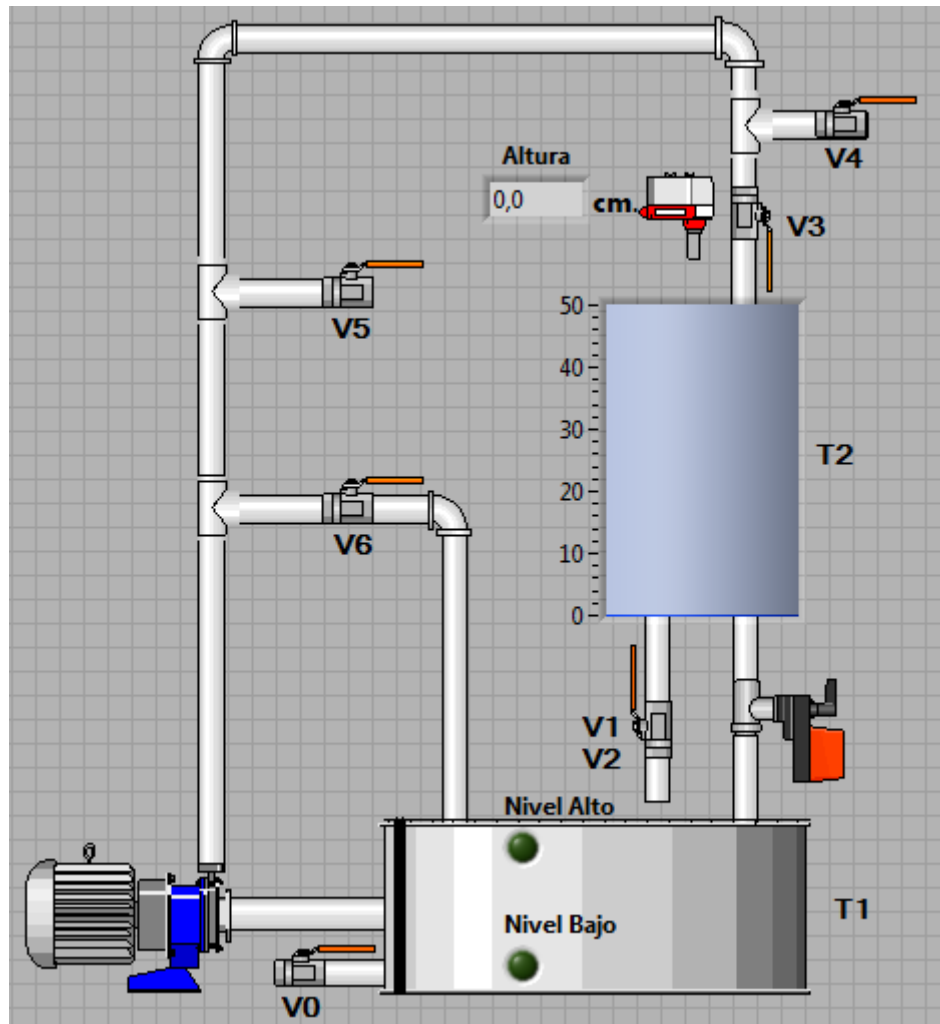
**Descripción**

El flotador contiene un cilindro hueco o una bola con un interruptor de mercurio integrado o microcontacto. El contacto se provee como contacto changeover; puede ser conectado como un contacto N/A o contacto N/C como opción. El contacto cambia cuando el líquido pasa sobre o bajo la posición de flotador horizontal. El punto de interrupción es fijado por la instalación lateral del interruptor en la posición deseada o sujetando el cable con abrazaderas. El punto de interrupción se fija usando pesas cuando está instalado en la parte superior.





### 3. OPERACIÓN DEL MÓDULO DE NIVEL



Este Módulo de Control de Nivel permitirá que el estudiante aprenda y experimente con un sistema de control automático y autónomo de nivel mediante el uso del controlador PAC y un sistema de supervisión por computadora de tipo SCADA.

Tenemos dos modos de operación, uno con control de carga en forma automática y el otro modo de carga manual.

#### **MODO DE CARGA AUTOMÁTICA:**

En este modo, el sistema inicia ubicando la válvula proporcional motorizada en la posición totalmente cerrada, durante este tiempo de cierre de la válvula se desactiva el control del sistema por un tiempo de 95 segundos. Acto seguido se debe indicar el porcentaje de apertura de la válvula, los parámetros de control PID están fijados para un 50% de apertura de la válvula proporcional motorizada. Al darle la orden de inicio, el sistema empieza a bombear el líquido al tanque a una velocidad controlada. Una vez que se ha alcanzado el nivel del líquido predeterminado (punto de consigna o setpoint leído con el sensor de nivel ultrasónico), se trata de conservar el setpoint pese a perturbaciones que el usuario pueda realizar con la válvula proporcional automática o con la llave manual que se encuentra en la parte inferior de tanque de la base.

**MODO DE CARGA MANUAL:**

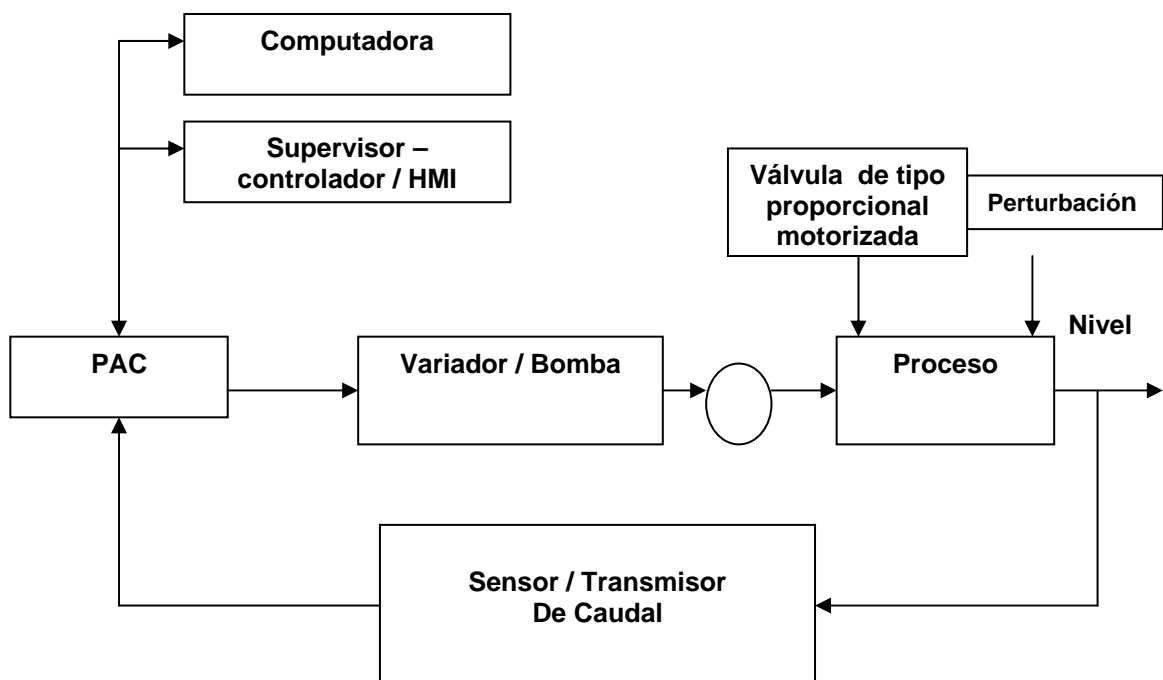
En este modo, se debe ubicar la válvula proporcional motorizada en la posición totalmente cerrada, pero se le permite al usuario el control total del tablero para poder realizar el llenado del tanque T2 durante este proceso. Al darle la orden de inicio, el sistema empieza a bombear el líquido, a la velocidad indicada en el potenciómetro fijada por el usuario, hacia el tanque de acrílico. Una vez que se ha alcanzado el nivel del líquido predeterminado (punto de consigna o setpoint) se trata de conservar el setpoint pese a perturbaciones que el usuario pueda realizar con la válvula manual de posición tipo bola (no se tendrá control sobre la válvula proporcional en este modo).

**3.1. Esquema general del lazo de control**

El Módulo de Control de Nivel consta de los siguientes equipos para llevar a cabo el control de dosificación:

- 01 Bomba tipo paleta centrifuga
- 01 Válvula proporcional motorizada
- 1 Sensor /Transmisor de Nivel
- 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 **PID**, se encargue de controlar y mantener el **valor de consigna** de la variable del proceso (Nivel). El diagrama de bloques que representa el lazo de control es mostrado en el diagrama siguiente:



Los bloques de **Computadora** y **Supervisor – Controlador /HMI** están relacionados con el **PAC** para supervisar y modificar los parámetros y variables del sistema, es en esta parte, que el usuario selecciona el tipo de producto a elaborar. El **PAC** dentro del bloque general hace de controlador, es decir es el encargado de decidir un determinado grado de acción correctiva

sobre el actuador. El grado de acción correctiva se calcula a partir de hacer ingresar al bloque de control el valor de **Nivel** (Obtenido a través del **Sensor /Transmisor de Nivel**).

El bloque **Variador /Bomba** representa el mando de **potencia y actuador**, que en función de la señal resultante del PID enviada desde el PAC modifican la variable manipulada (Nivel), que lleva a mantener dicho Nivel en el punto de consigna. El **Proceso** lo constituye el flujo de Nivel. La **Válvula de tipo proporcional motorizada** constituye un elemento que sirve como elemento perturbador del proceso que puede ser variado en cualquier momento para observar sus efectos. Las **Perturbaciones** al **Proceso** van a ser generadas por la válvula automática proporcional motorizada o por las válvulas de posición manuales que pueden ser manipuladas a criterio del operador.

El **PAC** y el **HMI** están enlazados con una comunicación serial. A su vez el **PAC** está enlazado con la PC bajo una comunicación ethernet (Con Protocolo Modbus TCP). El **HMI** y **Computador** pueden realizar la tarea de supervisar y modificar parámetros de control 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 de carga manual

#### 3.2.1. Condiciones previas para la operación:

**ADVERTENCIA:** Antes de manipular el módulo debe haber leído el manual completamente y entendido el funcionamiento pues una mala manipulación puede causar daños en el Equipo.

- Verificar que el sistema se encuentre desenergizado.
- Revisar, que los tanques se encuentren vacíos y totalmente libre de impurezas.
- Asegurarse que las válvulas **V0, V2, V4, V5 y V6** estén completamente cerradas.
- Abrir la válvula **V1**
- Conectar la salida de la válvula **V1** a una toma de agua y abrir para llenar el tanque de carga **T1**
- Una vez llenado el tanque a un nivel entre los dos sensores de nivel bajo y alto (Para no habilitar el límite superior del tanque), cerrar la válvula **V1**.

#### 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 termomagnéticas monofásica y trifásica, el interruptor diferencial a **ON** y poner a **START** el guardamotor para energizar el sistema (verificar esto con la lámpara de **SISTEMA ENERGIZADO** en el Tablero).
- Automáticamente se procederá a cerrar la válvula proporcional motorizada, esto tomará 95s.
- Cerrar el tablero y fijar el selector en **LOCAL**. Estas acciones fijan las condiciones necesarias para controlar el nivel controlando directamente la velocidad de la bomba desde el Potenciómetro de **VARIACIÓN MANUAL** en el tablero.
- Presionar el pulsador de **ARRANQUE MANUAL** para arrancar el sistema.
- Realice el control manualmente a través del potenciómetro **VARIACIÓN MANUAL**. Puede llevar el sistema al nivel deseado dentro del rango de trabajo (0 – 40 cm) de forma manual. Puede ver el valor del nivel en el HMI o también en el software SCADA montado sobre la PC.
- Cuando haya terminado detenga el sistema usando el pulsador **PARADA MANUAL** y finalmente vuelva el Selector a la posición **O**.
- Finalmente si ya no va a seguir usando el Módulo baje las llaves termomagnéticas monofásica y trifásicas, el interruptor diferencial a **OFF** para desenergizar el sistema, el guardamotor a **STOP** y desconecte la toma de alimentación trifásica.

### 3.3 Operación en modo automático

#### 3.3.1. Condiciones previas para la operación:

**ADVERTENCIA:** Antes de manipular el módulo debe haber leído el manual completamente y haber entendido el funcionamiento pues una mala manipulación puede causar daños en el Equipo.

- Verificar que el sistema se encuentre desenergizado.
- Revisar, que los tanques se encuentren totalmente vacíos y libre de impurezas.
- Asegurarse que las válvulas **V0, V2, V4, V5 y V6** estén completamente cerradas.
- Abrir la válvula **V1**
- Conectar la salida de la válvula **V1** a una toma de agua y abrir para llenar el tanque de carga **T1**
- Una vez llenado el tanque a un nivel entre los dos sensores de nivel bajo y alto (Para no habilitar el límite superior del tanque), cerrar la válvula **V1**.

#### 3.3.2. Operación:

- Conectar la alimentación del módulo a la línea trifásica de 220 VAC.
- Abrir el tablero de control y subir las llaves termomagnéticas monofásica y trifásica, el interruptor diferencial a **ON** y poner a **START** el guardamotor para energizar el sistema (verificar esto con la lámpara de **SISTEMA ENERGIZADO** en el tablero).
- Automáticamente se procederá a cerrar la válvula proporcional motorizada, esto tomará 95s.
- Cerrar el tablero y fijar el selector en **REMOTO**, esto arrancará el sistema inmediatamente y el PAC tomará el control del sistema de acuerdo a los parámetros que Ud. ha ingresado, estos parámetros puede modificarlos en cualquier momento incluso en funcionamiento.
- Para salir del modo simplemente retorne el Selector a **0**.
- Finalmente si ya no va a seguir usando el Módulo baje las llaves termomagnética monofásica y trifásica, el interruptor diferencia a **OFF** para desenergizar el sistema, el guardamotor a **STOP** 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 de los tanques **T1** y **T2** abriendo las válvulas **V1** y **V0** respectivamente.
- Limpiar el interior de los tanques con un paño.
- Limpiar las cañerías y estructuras del módulo.

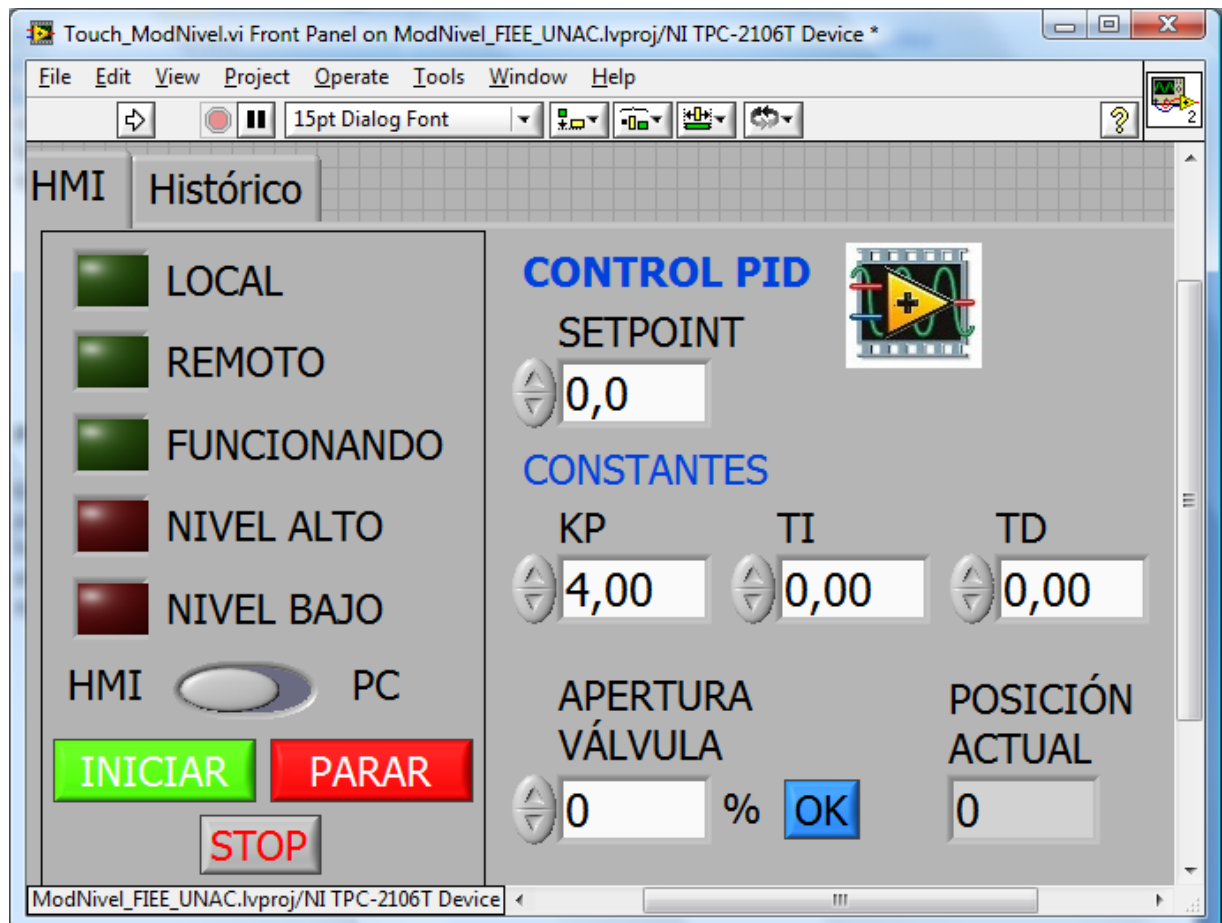
### 3.5. Supervisión y control por supervisor- controlador HMI

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 proceso y los parámetros de control del controlador PID.

Debido a restricciones de los componentes del sistema, el escalamiento de nuestras señales está limitado a un rango de 0 a 40 cm., por lo tanto si es que en algún momento el usuario ingresa valores menores o mayores a este rango, el programa automáticamente lo rectificará hacia el valor permisible más cercano.

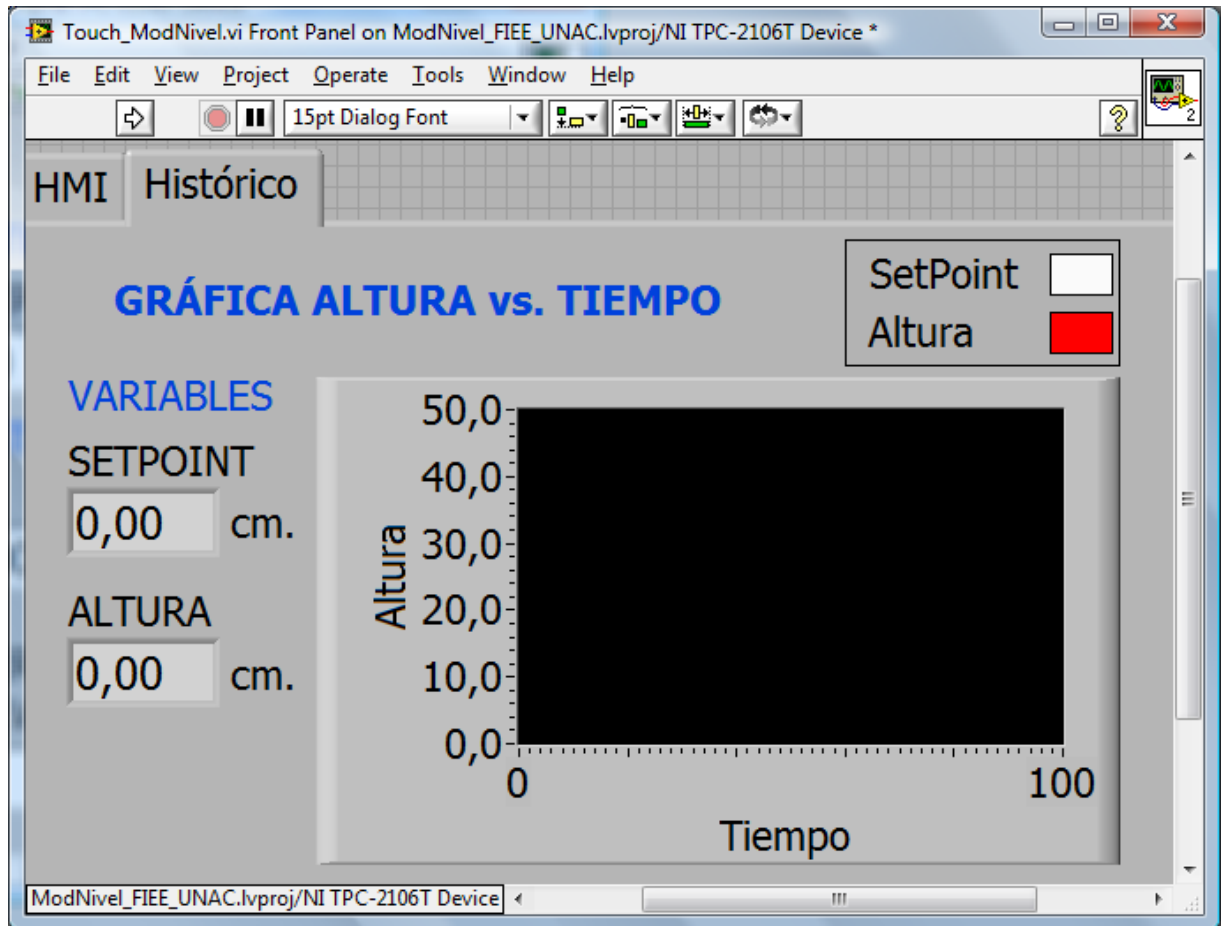
#### Pantalla HMI:

Aquí se puede observar las alarmas de nivel alto y bajo, el tipo de control (Local o Remoto) y un indicador de sistema funcionando. También se puede configurar el valor del Setpoint y de los parámetros PID, se puede controlar el accionamiento de la perturbación al seleccionar un valor entre 0-100% y luego hacer clic en OK, además en esta pantalla podemos seleccionar quien toma el control (HMI-PC), en el caso que el HMI tenga el control el botón INICIAR/DETENER determina el inicio y fin de la operación. Al activar el botón STOP se cierra la aplicación en el HMI.



### Pantalla Histórico:

Aquí se puede observar información importante sobre las condiciones actuales del sistema como lo es el nivel medido y la señal de control en una gráfica vs. Tiempo.



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

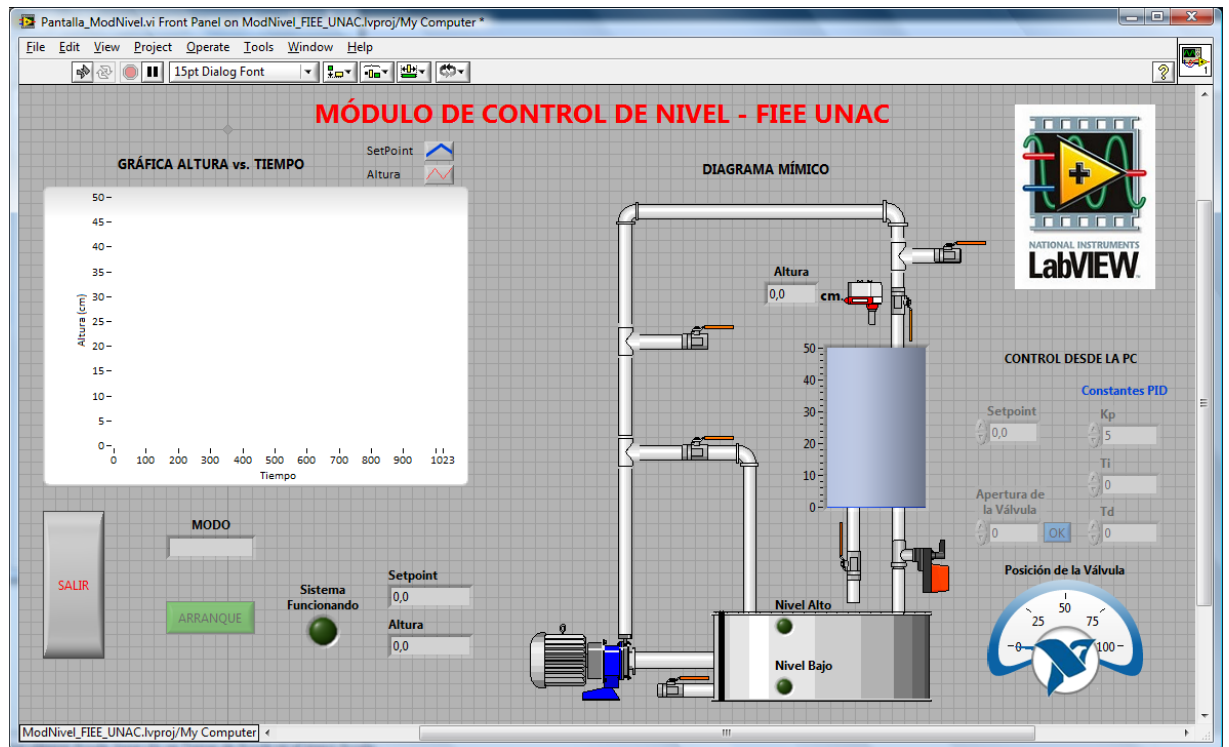
A continuación se describirá la operación del programa de supervisión y control desarrollado para el módulo de Nivel, este software cuenta con una pantalla destinada a la supervisión y control de parámetros.

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

#### 3.6.1. Pantalla del Registrador

A través de este Panel podemos observar un gráfico de tendencia de la señal de la variable controlada en este caso nivel en conjunto son el Set Point.

Asimismo nos permite ver (y modificar, si el controlador es la PC) el valor de las constantes del PID y el Setpoint, también permite ingresar perturbaciones usando la Válvula proporcional.



**GRÁFICA ALTURA vs. TIEMPO:** Nos muestra la gráfica obtenida al controlar nuestro sistema. La referencia es el valor de SetPoint y la altura es la señal controlada, de tal manera que podemos ver como varía hasta alcanzar el valor de SetPoint.

**DIAGRAMA MÍMICO:** Visualizamos el mímico del sistema. Representación de la estructura metálica donde se realiza el proceso.

**ARRANQUE/PARADA:** Haciendo clic sobre este botón iniciamos la supervisión, es decir nos conectamos al PLC y recogemos información acerca del estado y variables del sistema. Cuando el sistema se encuentra adquiriendo este botón cambia a Detener supervisión lo que nos permite desconectarnos del PLC de forma segura.

**SALIR:** Nos permite cerrar el software de supervisión en cualquier momento aunque es recomendable parar la supervisión antes de salir del programa.

**MODO:** Este Indicador nos permite saber el modo en el que se encuentra el Software de Supervisión. La selección del modo se hace desde el HMI Local. Cuando aparece como:

- **HMI:** la PC actúa solo como supervisión es decir el software no nos permite modificar los parámetros de control del sistema.
- **PC:** La PC a través de este software puede realizar el control, es decir puede modificar todos los parámetros de control y observar como influyen en el proceso, en este caso podemos cambiar sin ninguna restricción todos los parámetros.

**% Apertura de Válvula:** Permite ingresar perturbaciones al sistema a través de cambios en la apertura de la válvula.

**CONSTANTES DEL PID Y SETPOINT:** Nos permite ver y/o modificar (Si está en modo PC controlador) los parámetros de control del proceso. Es decir las constantes del algoritmo PID y el valor de consigna o Set Point.

**SEÑAL DE NIVEL Y SEÑAL DE CONTROL:** En esta sección se muestra indicadores digitales de la variable controlada (nivel) instantánea y el valor de la variable de control generada por el algoritmo PID.

**INDICADOR SISTEMA FUNCIONANDO:** Nos indica que el sistema está funcionando sin importar en que modo se encuentre.



## 4. APÉNDICE

## 4.1. APÉNDICE A1:

## 4.1.1 Requerimientos de instalación de los módulos

Consumo de Eléctrico del Módulo de Control de Nivel	
<b>Generalidades:</b>	
Alimentación trifásica	220 VAC
Frecuencia	60 Hz
Potencia total (vatios)	1.724 kW
<b>DESCRIPCION</b>	<b>CONSUMO (vatios)</b>
PAC	6.1 +1.1 (energía módulo requerida)
Fuente de Alimentación TRIO PS5	18
Fuente de Alimentación FP-PS-4	15
Variador de velocidad (trifásico)	750
Bomba Hidráulica	890
HMI	20
LEDs	20
Transmisor de Nivel	0.480
Módulo de Entradas Digitales	0.185
Módulo de Salidas a Relé	1.5
Módulo de Entradas/Salidas Analógicas	0.350
Válvula de Control Proporcional Motorizada	1.5
Total :	1.724 kW (a plena carga)
<b>Requerimientos para la Computadora</b>	
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
Floppy Disk	1.44 Mb
Puertos USB	4
Tarjeta de Red Integrada	10/100Mb.
Monitor	15"
Teclado y Mause	01

## 4.2. APÉNDICE A2:

### 4.2.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MÓDULO DE NIVEL

- Dimensiones 155 x 45 x 175 cm.
- Estructura sobre ruedas en acero inoxidable AISI 316
- 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: 78 litros.
- 1 tanque de recogida control de nivel en acrílico, capacidad: 60 litros.
- 1 bomba centrífuga Q=30-120 l/min., con todas sus partes húmedas en acero inoxidable AISI 316, altura de elevación 42.2 – 19.8 m.c.a, motor de 1.2HP.
- 2 interruptores de nivel en polipropileno, presión máxima 10 bar.
- 1 sensor de nivel, rango: 24 a 400 cm., con una salida de 4 - 20 mA.
- 1 convertidor de frecuencia, voltaje: 200 - 240 VAC, potencia: 0,75 Kw (1 HP).
- 1 tablero electrónico que incluye pulsadores de arranque y parada, botones indicadores de funcionamiento, seleccionador de operación manual – automático.
- 1 PAC Cfp-2200 con 3 módulos (entradas y salidas digitales y analógicas).
- 1 HMI NI Touch Panel.
- 2 llaves de alimentación principal, 2 fuentes de alimentación 24VDC, 1 Caja de conexión con salidas a conector DB25.
- 1 bornera de conexiones.
- Rango de operación: (0 a 40) l/min. (Óptimo).

## 4.3. APÉNDICE A3:

## ESPECIFICACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN

## 1. BOMBA ELECTRICA

TIPO: CENTRIFUGA  
FABRICANTE: PENTAX

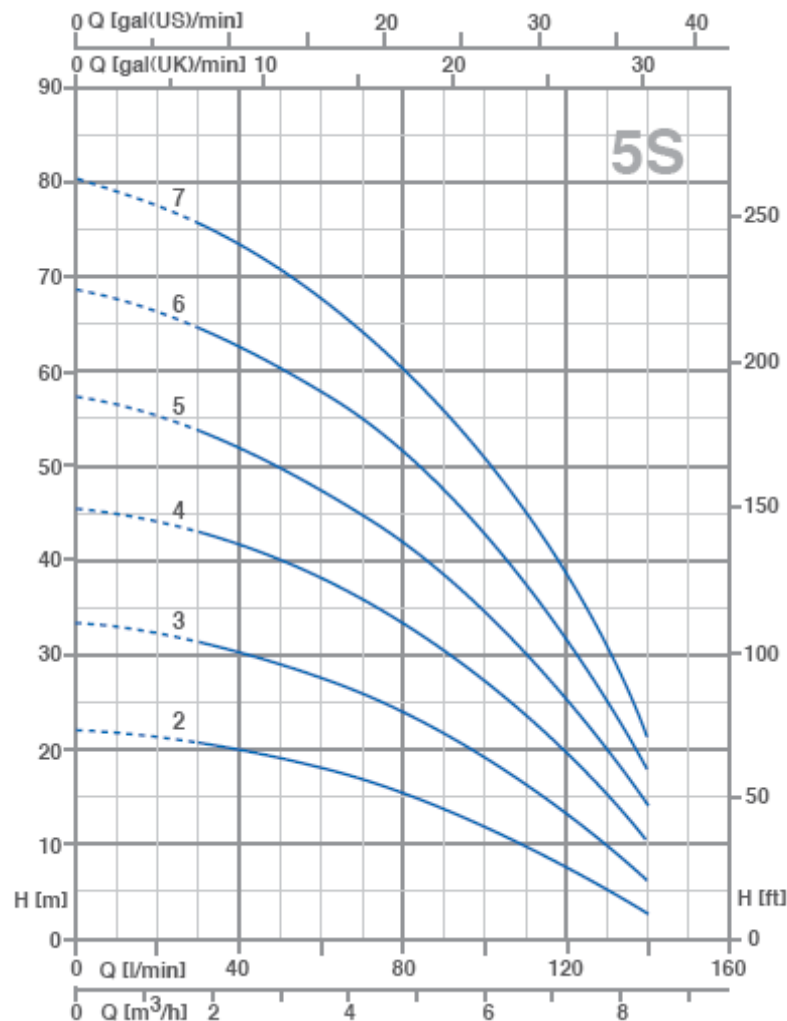
## DESCRIPCIÓN

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.

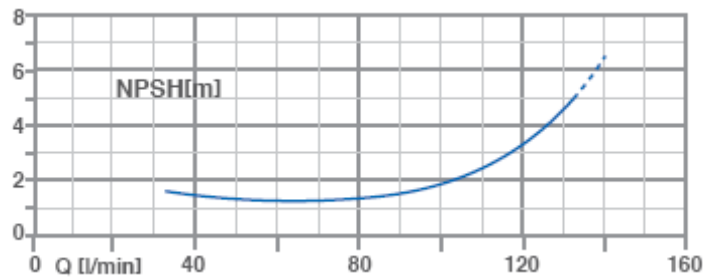
Esta carga de velocidad se convierte en carga de presión cuando el fluido sale de la bomba.

## 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. TRANSMISOR DE NIVEL ULTRASONICO****TIPO: Ultrasónico****FABRICANTE: KOBOLD****Modelo: NUS-2053****DESCRIPCIÓN**

El medidor de nivel ultrasónico KOBOLD modelo NUS se utiliza para medir, niveles continuos sin contacto. El instrumento compacto contiene un sensor de temperatura integrado para compensación del tiempo de viaje del sonido. El rango de medición es ajustable. El instrumento opera sobre el principio ultrasónico. El sensor transmite pulsos de pulsos ultrasónicos a la superficie de un líquido o material macizo. Los pulsos reflejados son recibidos por el mismo sensor. El sistema electrónico evalúa el tiempo de eco de los pulsos y determina el nivel. Una salida estándar de señal para teletransmisión y un indicador LED para indicación local están disponibles.

**ESPECIFICACIONES**

- Rangos de medida: 0.25 - 4.00 m
- Temperatura: -40 a 80°C
- Max. Presión: 3 bar abs.

**APLICACIONES**

- Líquidos o sólidos.
- En medios de granos gruesos.

**DETALLES TÉCNICOS - ELECTRÓNICA**

- Banda muerta: 0.25 m
- Frecuencia: 70 kHz
- Frecuencia del pulso: 0.5 a 3 Hz
- Haz de luz: 11°, cónico
- Precisión de medida (a 20°C): 0.25% de la máx long.
- Resolución: 3mm
- Cuerpo: Aluminio recubierto con Polamida (PA66)
- Sensor y conexión: PVDF/EPDM
- Diseño: Instrumento compacto



- Conexión eléctrica: 2 polos Quickon
- Salida analógica: 4 – 20mA
- Carga: máx 350 Ohms
- Visor: 4-dígitos, LED-display rojo, Tamaño de dígito: 7.62mm programable, punto decimal ajustable, rango de indicación: -1999...9999
- Protección: IP65
- Peso: 1.6kg aprox.

### 3. VÁLVULA AUTOMÁTICA

**TIPO: PROPORCIONAL, SERVO ACCIONADA DE DOS VÍAS.**

**FABRICANTE: BELIMO**

**Modelo: LRB24-3**

#### DESCRIPCIÓN:

Las válvulas proporcionales automáticas de dos vías BELIMO modelo LRB24-3 son usadas normalmente en unidades de manejo de aire en serpentines de calentamiento o enfriamiento. Otras aplicaciones comunes incluyen Unidades de Ventilación, serpentines de recalentamiento de caja VAV y bucles bypass. Esta válvula es apropiada para usos en sistemas con agua con flujo variable.

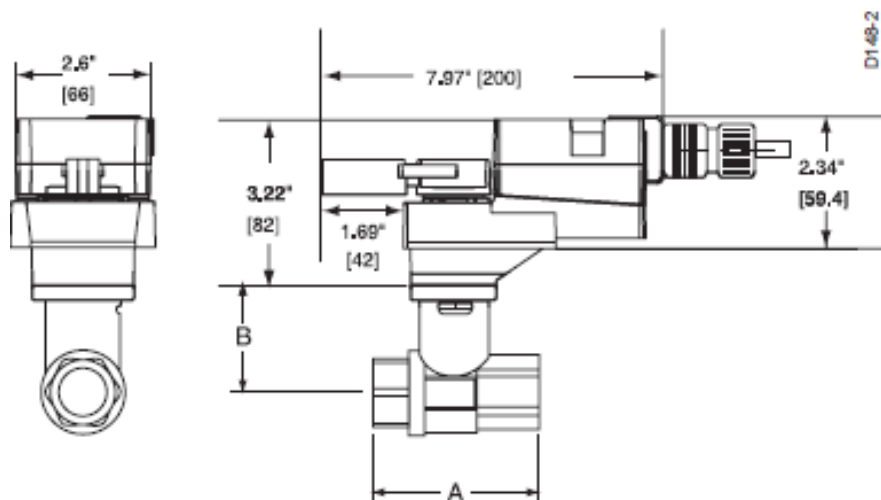


#### VÁLVULA

##### Características:

- Para agua, aceite y líquidos neutros similares
- Para la regulación progresiva del caudal en plantas industriales.
- Tiempo de operación: 95 segundos
- Humedad: 5 a 95% RH, no condensado
- Temperatura ambiente: -30 °C a 50 °C
- Temperatura almacenamiento: -40 °C a 80 °C
- Nivel de ruido: menos que 35 dB
- Estándar de calidad: ISO 9001

##### Dimensiones:



##### Datos técnicos de la válvula:

- Suministro de energía: 24 VAC  $\pm$ 20% 50/60 Hz

- Consumo de energía: 1.5 W funcionando, 0.2 W detenido
- Impedancia de entrada: 600  $\Omega$
- Angulo de rotación: 90°, ajustable con parada mecánica
- Dirección de rotación: reversible con switch protegido
- Tipo cuerpo de la válvula: NEMA 2/IP54
- Material cuerpo de la válvula: UL94-5VA

#### 4. 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

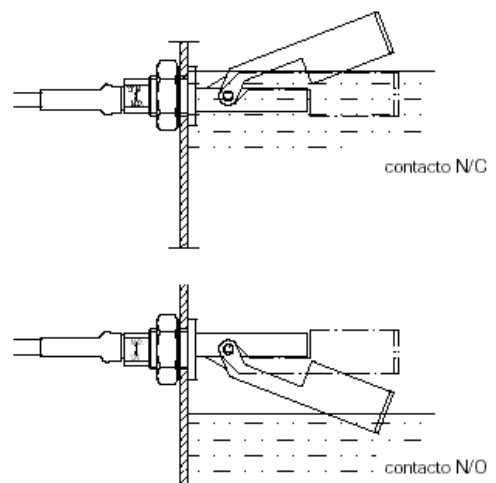
- Lavado de automóviles
- Limpieza de máquinas
- Tanques plásticos
- Refrigeración con Láser

##### ESPECIFICACIONES

- Presión: max. 10 bar
- Temperatura : max 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. 80 mOhm
- Fuerza eléctrica mínima: 400 VDC/1 s
- Densidad del medio:  $>0.6 \text{ g/cm}^3$



## 5. VARIADOR DE VELOCIDAD

**FABRICANTE: SHNEIDER ELECTRIC**

**MODELO: ALTIVAR 12**

### Funciones:

El Altivar 12 es un convertidor de frecuencia para motores asíncronos trifásicos de jaula para potencias comprendidas entre 0,18 kW y 0.75 kW.

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 hilos/3 hilos.
- 4 velocidades preseleccionadas.
- Guardar la configuración del variador.
- Inyección de corriente continua en la parada.
- Conmutación de rampas.



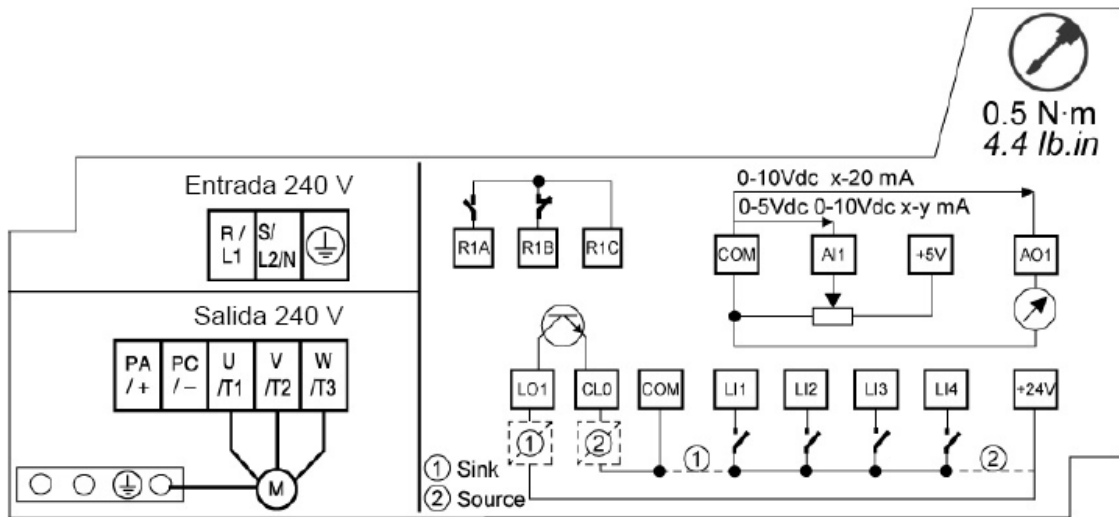
### Aplicaciones

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

### Características de los bornes de potencia

Terminal	Función	Para ATV12
≡	Borna de tierra	Todos los calibres
R/L1 - S/L2/N	Alimentación eléctrica	Monofásica 100...120 V
R/L1 - S/L2/N		Monofásica 200...240 V
R/L1 - S/L2 - T/L3		Trifásica 200...240 V
PA/+	Salida + (CC) hacia el bus CC del módulo de frenado (parte divisible de la rejilla del cableado)	Todos los calibres
PC/-	Salida - (CC) hacia el bus CC del módulo de frenado (parte divisible de la rejilla del cableado)	Todos los calibres
PO	No utilizado	
U/T1 - V/T2 - W/T3	Salidas hacia el motor	Todos los calibres

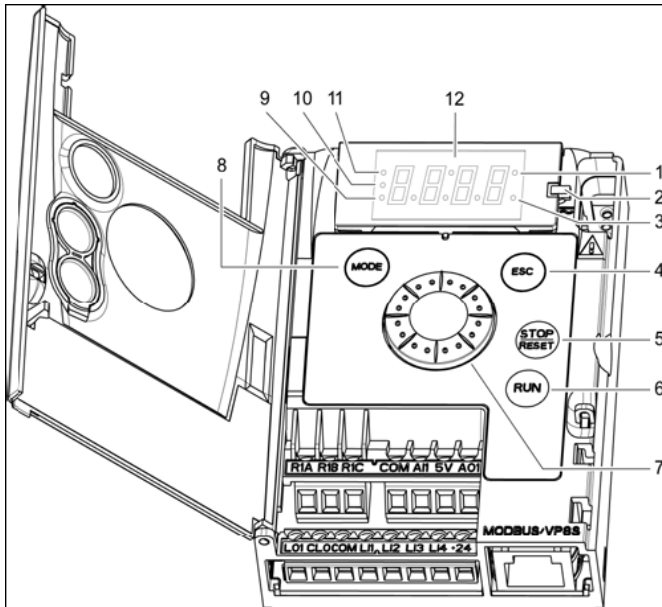
## Borneras de control



R1A	Contacto normalmente abierto (NA) del relé
R1B	Contacto normalmente cerrado (NC) del relé
R1C	Común del relé
COM	Común de las E/S analógicas y lógicas
AI1	Entrada analógica
5 V	Alimentación de +5 V proporcionada por el variador
AO1	Salida analógica
LO1	Salida lógica (colector)
CLO	Común de la salida lógica (emisor)
COM	Común de las E/S analógicas y lógicas
LI1	Entrada lógica
LI2	Entrada lógica
LI3	Entrada lógica
LI4	Entrada lógica
+24V	Alimentación de +24 V proporcionada por el variador
RJ45	Conexión para software SoMove, red Modbus o terminal remoto.



## Funciones del visualizador y pulsadores

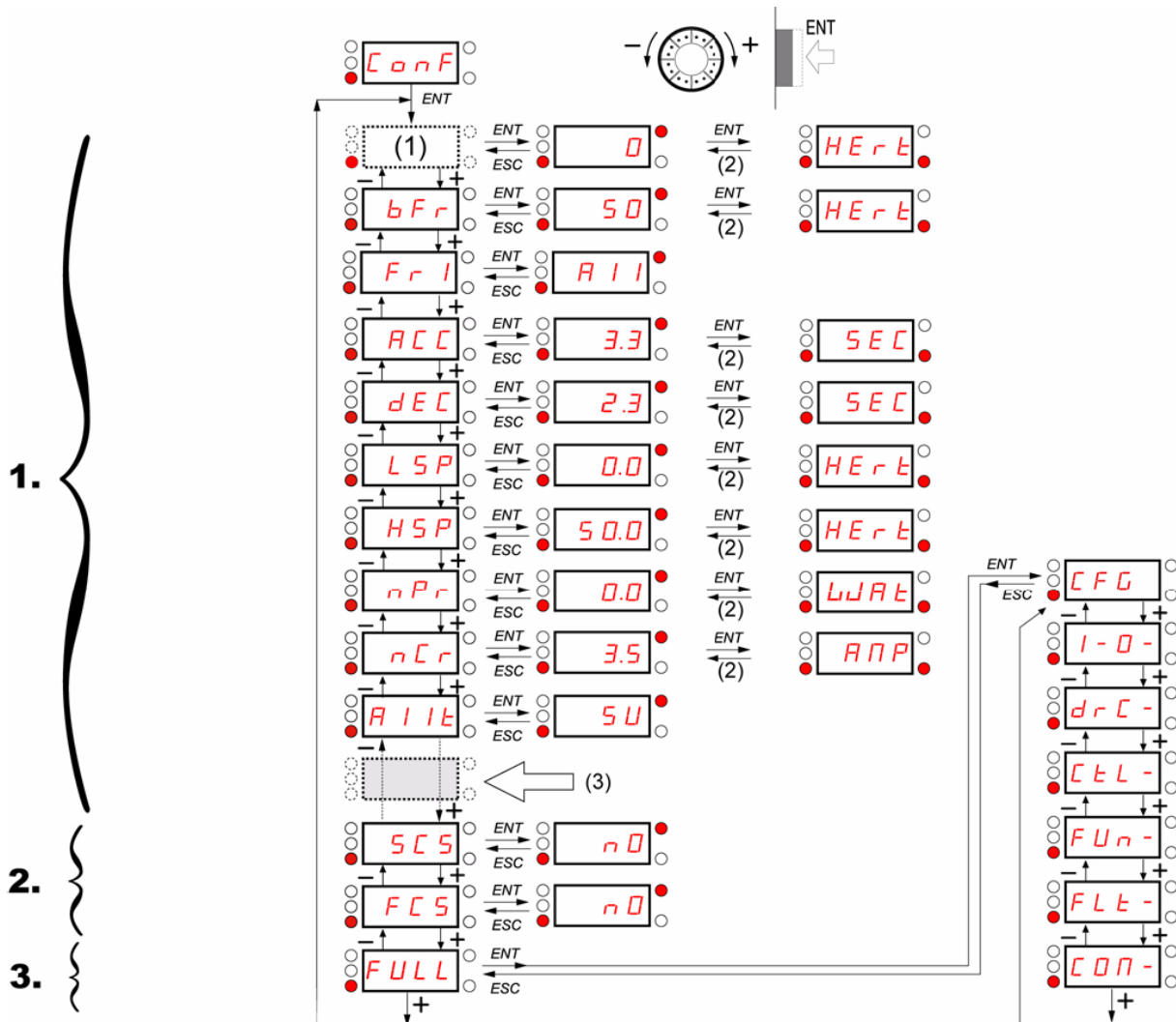


1. LED de valor (a) (b).
2. LED de carga
3. LED de unidad (c)
4. Botón ESC: sale de un menú o parámetro, o cancela el valor mostrado para volver al valor previo de la memoria.
5. Botón STOP/RESET: detiene el motor (puede estar escondido tras una cubierta si la función está desactivada). **Importante: Consulte las instrucciones sobre la retirada de la cubierta de los botones "RUN/STOP"**. Se utiliza para rearmar tras un fallo detectado.
6. Botón RUN: pone el dispositivo en funcionamiento si la función está configurada (puede estar escondido tras una cubierta si la función está desactivada).
7. Selector giratorio:
  - Actúa como potenciómetro en modo local.
  - Navegación por las distintas opciones al girarlo hacia la derecha y hacia la izquierda.
  - Selección/validación al pulsarlo. Esta acción se representa mediante este símbolo:
8. Botón MODE: Alternar entre los modos de control y programación. Sólo se puede acceder al botón MODE con la puerta del HMI abierta.
9. LED de modo CONFIGURACIÓN (b)
10. LED de modo SUPERVISIÓN
11. LED de modo REFERENCIA
12. 4 visualizadores de "7 segmentos"

## Modo Configuración ConF

El modo Configuración consta de tres partes:

1. Mymenu incluye 11 parámetros de ajuste de fábrica (9 de ellos son visibles de forma predeterminada). Hay un máximo de 25 parámetros disponibles que permiten la personalización mediante el software SoMove.
2. Guardar/cargar conjunto de parámetros: estas dos funciones permiten guardar y cargar ajustes de cliente.
3. FULL: Este menú permite acceder a todos los demás parámetros. Incluye seis submenús:



## 6. 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.

**7. PAC****FABRICANTE: NATIONAL INSTRUMENTS****MODELO: COMPACT FIELDPOINT****PAC****Modelo: cFP-2200**

- Controlador embebido que ejecuta LabVIEW Real-Time para registro de datos, análisis y control de procesos en tiempo real, autónomos y embebidos o interfaz Ethernet para E/S distribuida basada en PC
- Procesador: 400 MHz, 128 MB DRAM
- Memoria: 128 MB no-volátil
- Interfase de red: 10BASE-T y 100BASE-TX Ethernet
- Puerto Serial: 1 puerto serial RS232
- Puerto USB:
  - Tasa max. de transferencia de data: 12 Mb/s
  - Corriente max: 500mA
- Rango de Energía; 11 a 30 VCD
- Temperatura de Operación: -40 a 70 °C
- Temp. de Almacenamiento: -55 a 85 °C
- Humedad de Operación: 10 a 90% RH, no condensado
- Humedad de Almacenamiento: 5 a 95% RH, no condensado
- Altitud Máxima: 2000 m
- Calidad industrial: 50 g shock, 5 g vibración

**MÓDULO DE ENTRADA DIGITAL****Modelo: cFP-DI-300****01 Unidad**

- ocho entradas digitales tipo sinking de 24 VDC
- Operación HotPnP (plug-and-play)

- Rango de operación de -40 a 70 C
- LED indicador de estado on/off por canal

### **MÓDULO DE RELE**

Modelo: **CFP-RLY-423**

01 unidad

- 4 relés electromecánicos, 120 VDC o 250 VAC
- Relés (SPDT) Forma C de un solo polo y doble tiro
- Intercambiable en vivo
- Conecta hasta 1.5 A a 35 VDC o 250 VAC
- Operación HotPnP (plug-and-play)
- Rango de operación de -40 a 60 C
- LED indicador de estado on/off por canal

### **BLOQUE CONECTOR**

Modelo: **CFP-CB-1**

04 unidades

- se monta al plano trasero de los módulos de E/S
- Facilidad de cableado con las terminales con codificación en colores para conexión de voltaje y conexiones comunes.
- Liberación de tensión y ranuras integradas para ataduras de cables
- Se requiere un cFP-CB-1 para cada módulo de E/S Compact FieldPoint

### **MÓDULO DE ENTRADA Y SALIDA ANALOGICA**

Modelo: **cFP-AIO-600**

01 unidad

- 4 canales de entrada analógica para voltaje de hasta  $\pm 36$  V o corriente de hasta  $\pm 24$  mA
- Rango de actualización de 1.7 kHz
- Protección de entrada de corriente de 100 mA y protección contra corto circuito
- 4 canales de salida de corriente analógica para 0 a 20 o 4 a 20mA
- Resolución de 12 bits
- Rango de operación de -40 a 70 °C



## 8. 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



## 9. LLAVE DIFERENCIADORA

**FABRICANTE: SHNEIDER ELECTRIC**  
**MODELO: ID/RCCB 16234**

### Eléctricas:

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

## 10. LLAVES TERMOMAGNETICA MONOFASICA

**FABRICANTE: SHNEIDER ELECTRIC**  
**MODELO: C60H**  
**TIPO: Tripular y Bipolar**  
**REFERENCIA: 24987**

### Eléctricas:

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

## 11. LLAVES TERMOMAGNETICA TRIFASICA

**FABRICANTE: SHNEIDER ELECTRIC**  
**MODELO: C60H**  
**TIPO: Tripular y Bipolar**  
**REFERENCIA: 25000**

### Eléctricas:

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

#### 4.4. APÉNDICE B:

### DESCRIPCIÓN DEL PROTOCOLO DE COMUNICACIONES

#### Prestaciones de un sistema 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.

## 4.5. APÉNDICE C:

## DESCRIPCIÓN DEL ALGORITMO PID DEL PLC

## 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.

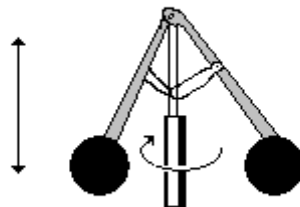
Para cada uno de estos sistemas controlados, los cambios en la variable manipulada  $y$ , deben realizarse de forma diferente. Por esta razón hay varios tipos de controladores, cada uno con su propia respuesta.

**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**

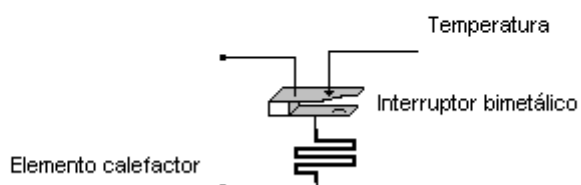
La variable manipulada de un controlador de acción discontinua, cambia continuamente según la desviación del sistema. Los controladores de este tipo dan el valor de la desviación del sistema como una señal de actuación directa para el elemento de manipulación. Uno de este tipo es el controlador centrífugo. 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)

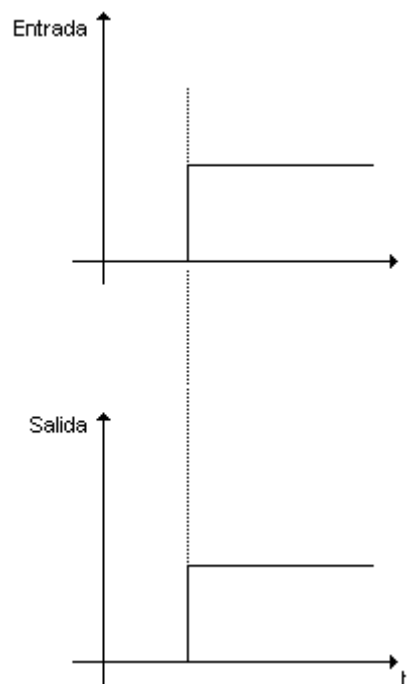
Componente diferencial (componente D)

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.

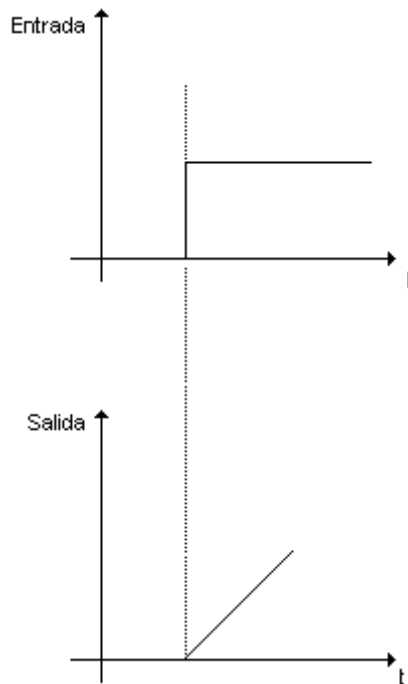


*Controlador de acción integral*



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 continua 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	0 ....10V	-10.....+10V
Por corriente	0.....20 mA	4 .....20 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.

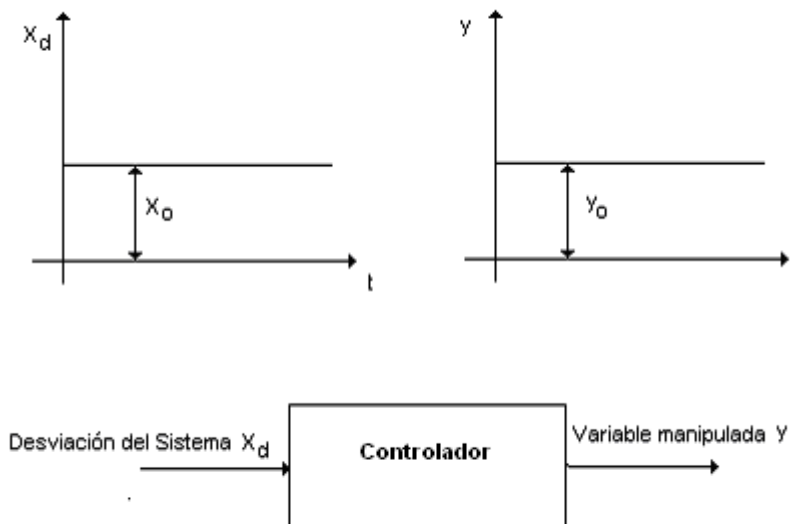
Aunque teóricamente estos dos tipos de procesamiento tienen que tratarse de forma muy diferente, en la práctica no hay diferencia con los controladores clásicos.

## 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:

$$K_p = y_0/x_0$$

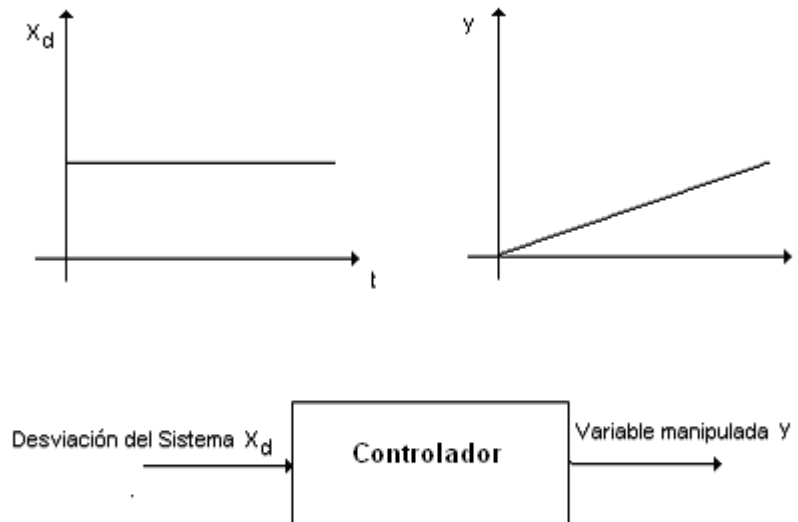
Si la ganancia proporcional es demasiado elevada, el controlador provocará grandes cambios en el elemento manipulador ante ligeras desviaciones de la variable controlada. Si la ganancia proporcional es demasiado pequeña, la respuesta del controlador será demasiado débil lo cual producirá un control no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

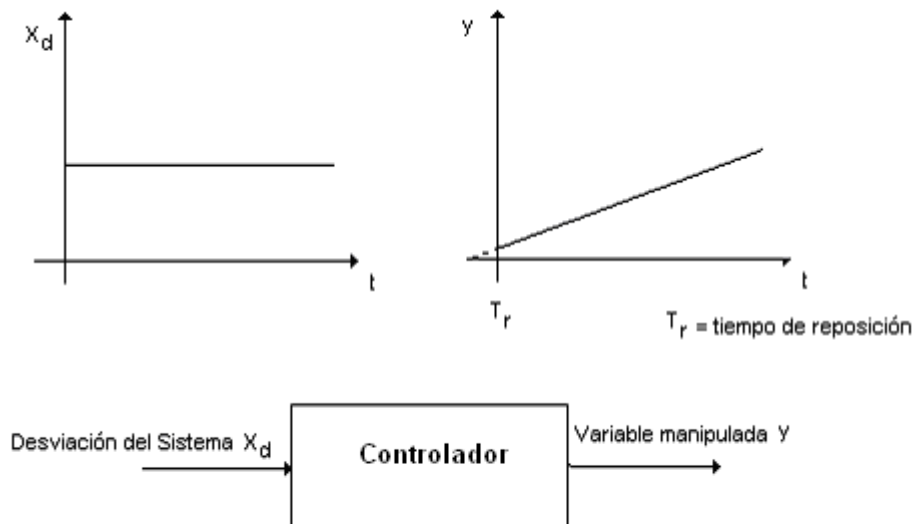
### El controlador PI

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.

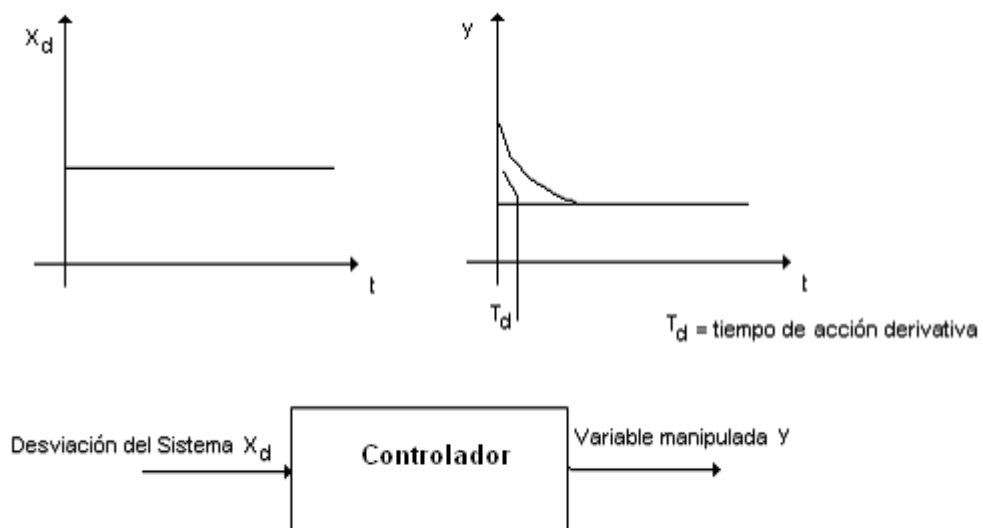
## El controlador PD

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*

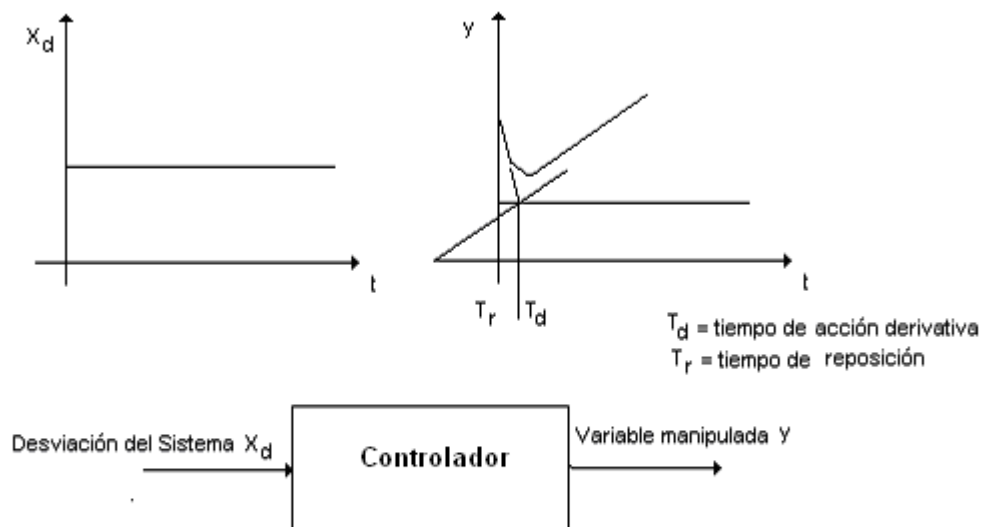
En el controlador PD, raramente se utiliza, hay dos desventajas. Primeramente, no puede compensar completamente las desviaciones remanentes del sistema. En segundo lugar, un componente D ligeramente excesivo, lleva rápidamente a la inestabilidad del lazo de control. Entonces el sistema controlado tiende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

$1/T_i$ : Termino de reinicio (Reset term) ; donde  $T_i$  :termino integrativo

$T_D$ : Termino 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 práctico 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 término 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-ésimo

$K_c$ : 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:

$$M_n = MP_n + \frac{MI_n}{T} + MD_n$$

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 término proporcional de salida del lazo en el muestreo n-esimo

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

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