



Explicación de elementos utilizados en el modelo de planta de control de nivel

Trabajo Práctico N°2

En el Trabajo Práctico N°2 se trabajará sobre el modelo de planta de control de nivel situado en el Laboratorio de Instrumentación y Control Automático. El modelo de la planta consiste en dos tanques alimentados por dos bombas centrífugas. Cada bomba extraerá agua de un tanque y lo enviará al otro. En uno de ellos, el tanque controlado, se medirá el nivel mediante un DP cell. Sobre la cañería de llenado del tanque controlado, se colocará la válvula electroneumática y la placa orificio (junto con su correspondiente DP cell)1. Por ende, puede controlarse con precisión el caudal de agua de llenado del tanque controlado (de ahí su nombre). En el segundo tanque, el tanque de reserva no se medirá el nivel, sino que será estimado indirectamente mediante el nivel del tanque controlado. En la cañería de vaciado del tanque controlado se colocará una válvula manual, que permitirá modificar el caudal de vaciado.

Para poder recrear fenómenos que afectan los procesos industriales se agregarán los siguientes elementos a la planta:

- 20 metros de cañería adicional, que sirven como tiempo muerto. Se agregarán en paralelo de la cañería de llenado del tanque controlado. Se podrá habilitar el tiempo muerto mediante una válvula manual.
- Se realizará la conexión, mediante una válvula manual, de la salida de cada bomba con su entrada. Mediante esta conexión se podrá modificar el rendimiento de las bombas para lograr el balance de masa en la planta, como así también simular perturbaciones en el circuito hidráulico.

Diagrama: Piping and Instrumentation Diagram (P&ID)

Un diagrama de cañerías e instrumentación es un esquema de la planta en donde pueden observarse todos los elementos que componen el proceso. Los símbolos utilizados en el diagrama están regidos por la norma Standard S5.1 Instrumentation Symbol Specification. El diagrama se denomina corrientemente Piping and Instrumentation Diagram (P&ID) y en él encontramos graficados los diferentes elementos como círculos o símbolos representativos, cada uno de ellos acompañado de una denominación que utiliza la siguiente codificación:

Primer letra: designa la variable medida:

- Presión
- Nivel
- Caudal
- Temperatura

Letras siguientes: designan la función del componente, o modifica el sentido de la primer letra:

- Indicador
- Almacenaje de datos
- Controlador
- Transmisor
- Alarma

Así mismo, estos círculos pueden estar intersectados por una línea, la cual indica su ubicación:

- Sin línea: en el campo.
- Línea Continua: en la sala de control.
- Línea de Trazos: fuera del alcance del operario.

También se diferencian en el diagrama la naturaleza de cada señal:

- Tubería: línea continua.
- Señal hidráulica: línea continua intersectada con líneas perpendiculares en forma de L.
- Señal neumática: línea continua intersectada por pequeñas líneas paralelas.
- Señal eléctrica: línea de trazos.

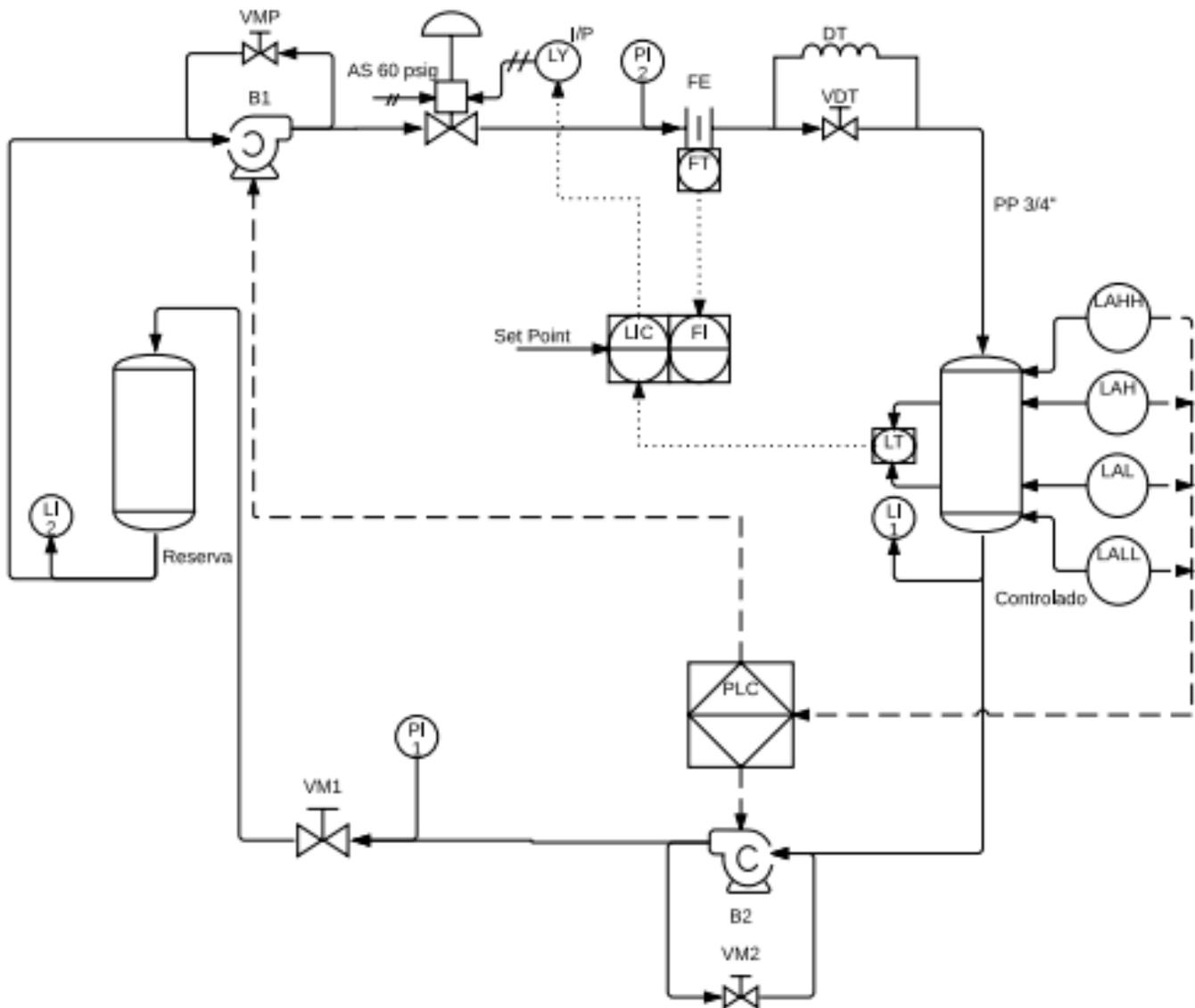


Fig. 2.1. Diagrama P&ID del proyecto

Diagrama P&ID del Proyecto

Explicación de las partes del diagrama:

Líneas:

- Línea de trazos: 24 V.
- Línea de puntos: 4 - 20 mA.
- Línea continua: tubo de polipropileno de 3/4 pulgada

Elementos:

En la tabla se presentan los símbolos de los elementos que forman parte del diagrama P&ID, como así también se detalla el significado de las siglas

<p>Tanque e indicador de nivel en tanque LI: Level Indicator</p>	
<p>Bomba centrífuga</p>	
<p>Válvula neumática</p>	
<p>Placa orificio y DP Cell. FT: Flow Transmitter</p>	
<p>Tiempo muerto DT: Dead Time</p>	
<p>Controlador LIC: Level Indicator and Controller FI: Flow Indicator</p>	
<p>Transmisor e indicador de nivel LI: Level Indicator LT: Level Transmitter</p>	
<p>Válvula e indicador de presión PI: Pressure Indicator</p>	

Tab. 2.1. Elementos del diagrama P&ID



Alarmas

La gestión de alarmas se realiza a través del sensor de nivel presente en la planta, tomando la información del mismo para detener el sistema en caso de pasar los límites normales de trabajo.

LAHH: Level Alarm High High	
LAH: Level Alarm High	
LALL: Level Alarm Low Low	
LAL: Level Alarm Low	
PLC: Simbolo de la sección del programador encargado de la gestión de alarmas	

Tab. 2.2. Alarmas en el P&ID

Tiempo Muerto:

Se colocó en la planta un circuito de tiempo muerto, que consta de 20 metros de manguera negra de 1/2 pulgada. El tiempo muerto se coloca en paralelo de la cañería de llenado (ver P&ID). Mediante la válvula manual VDT puede habilitarse el tiempo muerto. El objetivo del tiempo muerto es alejar la acción de control del tanque controlado. El sensor de nivel tardará un tiempo adicional t_d en observar los cambios que se producen en la válvula electroneumática.

Bombas:

Se utilizaron en el proyecto dos bombas centrífugas (B1 y B2 en el P&ID), cuya función es mantener en movimiento el agua en el sistema. No se realiza ninguna acción de control sobre las mismas, por lo que funcionarán de manera continua durante la operación de la planta.

Válvulas manuales:

- Válvula de Desagote de los tanques: para poder vaciarlos, se colocaron válvulas esféricas plásticas debajo de cada tanque.
- Válvula de Ecuilización de la planta VM1 y VM2: se colocó una válvula en serie con la cañería de retorno (ver Fig.2.3a). Se trata de una válvula manual, tipo exclusiva. Además,

otra válvula manual de tipo exclusiva se coloca entre la tubería de aspiración y la tubería de impulsión de la bomba B2 formando un by-pass(ver Fig.2.3b). Al abrir la válvula, el rendimiento de la bomba decrece. Ambas válvulas permiten modificar el balance de masa y equalizar la planta.



(a) Control de caudal de vaciado.



(b) By-pass en bomba.

Fig. 2.3. Válvulas manuales.

- Válvula de Tiempo muerto VDT: esta válvula esférica plástica permite activar la cañería de tiempo muerto. Notar en el P&ID que la válvula está sobre la cañería de llenado. Al cerrar la válvula, se fuerza el uso del tiempo muerto. Al abrirla, nada impide que el fluido circule por las dos cañerías al mismo tiempo. No obstante, la pérdida de carga del tiempo muerto es significativamente mayor que el de la cañería de llenado. Por ello, se considera que al abrir la válvula el fluido sólo circula por la cañería de llenado.
- Válvula de Perturbación VMP: colocada de la misma manera que VM2, pero sobre la bomba B1. La válvula VMP permitirá simular perturbaciones en la planta, modificando el rendimiento de la bomba.

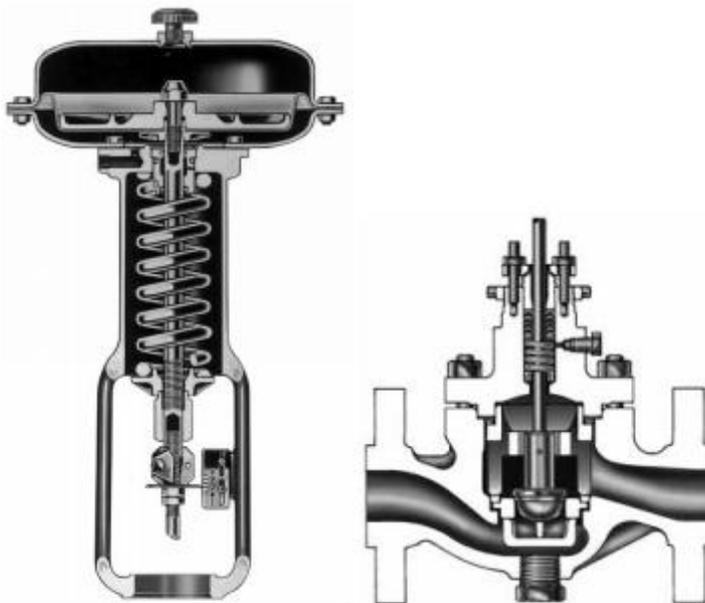
Válvula Electroneumática:

Es un elemento central en nuestra planta, ya que es la encargada de efectuar las acciones de control.

a) Principio de funcionamiento

Una válvula permite variar el caudal en una cañería, dependiendo de la consigna que se le envíe. En las válvulas neumáticas, la consigna es un valor de presión de aire. En la Fig. 2.4 se muestra un ejemplo de válvula de control tipo globo, con actuador a diafragma inverso (aire para abrir). La

válvula está compuesta de dos elementos principales: el actuador (Fig. 2.4a) y el cuerpo de la válvula (Fig. 2.4b).



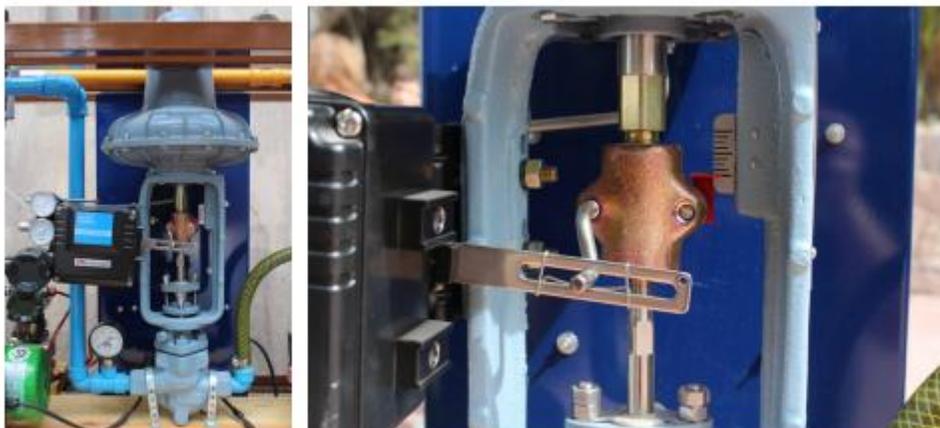
(a) Actuador neumático inverso. (b) Cuerpo de una válvula globo.

Fig. 2.4. Elementos constitutivos de una válvula neumática.

El obturador en el cuerpo de la válvula (Fig. 2.4b) apoya sobre un asiento. La variación del caudal se produce gracias al orificio de paso variable que forman al variar su posición relativa el conjunto asiento-obturador. Sobre el vástago, encargado de modificar la posición del obturador, actúan las fuerzas del actuador. Como se observa en la Fig. 2.4a, el actuador en una válvula neumática es el conjunto diafragma-muelle.

El caudal depende de la presión de aire en el diafragma. Generalmente, la presión oscila entre 3 a 15 psi. Esta presión de aire generalmente se obtiene mediante un convertidor corriente-presión (I/P). El convertidor toma en entrada una señal de corriente proveniente del controlador (4 - 20 mA) y lo transforma en un valor de presión para alimentar el diafragma [5].

b)Válvula utilizada:



(a) Vista general de la válvula. (b) Varilla de feedback e indicador de posición del vástago.

Fig. 2.6. Válvula utilizada en el proyecto.

Electroposicionador:

La presión de aire en el diafragma varía entre 3 psi (válvula cerrada) y 15 psi (válvula abierta). No obstante, en un convertidor I/P no hay comparación entre la posición real del vástago y la señal de corriente. Ciertos fenómenos como la fricción en el vástago, perturbaciones del fluido, fuerzas dinámicas, etc. pueden modificar la apertura de la válvula.

Para paliar estos problemas, la válvula incluye un electroposicionador PowerGenex. Se trata de un controlador proporcional que compara la posición actual del vástago con la consigna de corriente. En caso de detectar errores, ejerce la acción de control correctiva para asegurar la posición del vástago.

En la Fig. 2.7 se muestra el esquema de funcionamiento del electroposicionador. La entrada de 4-20 mA del controlador provoca una rotación en sentido antihorario del motor de torque. Lleva consigo al flapper, liberando presión por la boquilla (nozzle) y moviendo la válvula hacia la izquierda. Se provoca un incremento de presión en OUT1 moviendo el diafragma del actuador.

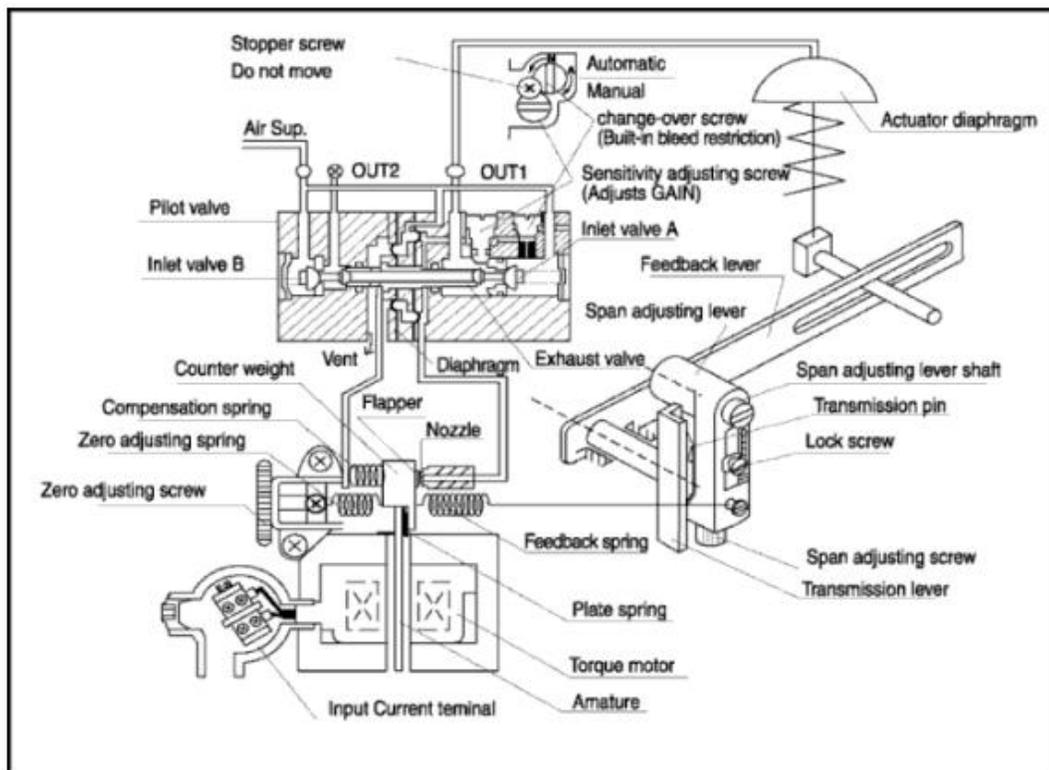


Fig. 2.7. Esquema de funcionamiento, posicionador electroneumático.

La varilla de feedback (feedbacklever, Fig. 2.6b) releva la posición del vástago y la transmite mediante el resorte de feedback, que está vinculado con el flapper. Se verifica que la posición del vástago de la válvula permanece constante cuando el resorte de feedback iguala el par de rotación del motor de torque. Otros elementos (compensationspring, zeroadjustingscrew) se agregan para poder mejorar la estabilidad del bucle de control, como así también poder calibrarlo³.

Instrumentos de Medición

Para conocer el estado de la planta, es necesario tener conocimiento de varias variables de la planta, para lo que se colocan elementos de instrumentación para medir y controlar las siguientes variables: nivel de los tanques, caudal en las tuberías y presión en las tuberías.

a) Manómetros: se utilizan para conocer los valores de presión en ambas cañerías (referirse al P&ID), se utilizan manómetros comunes, de tipo Bourdon. Un ejemplo de estos manómetros se muestra en la Fig. 2.10. Se observa que un incremento de la presión produce una deformación del tubo de Bourdon, reflejado en la aguja indicadora. El manómetro de Bourdon permite obtener una medición visual de la presión relativa, del punto donde se encuentra instalado.

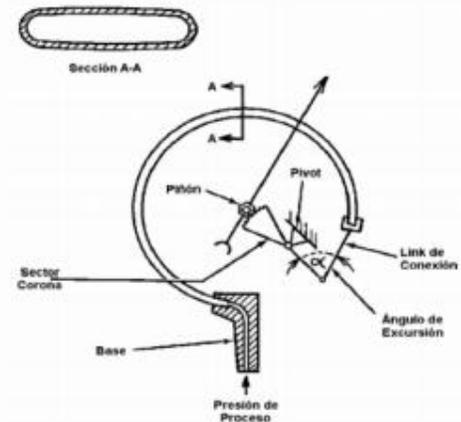


Fig. 2.10. Manómetro de Bourdon, extraído de [8]



(a) Cañería de llenado, PI 1.

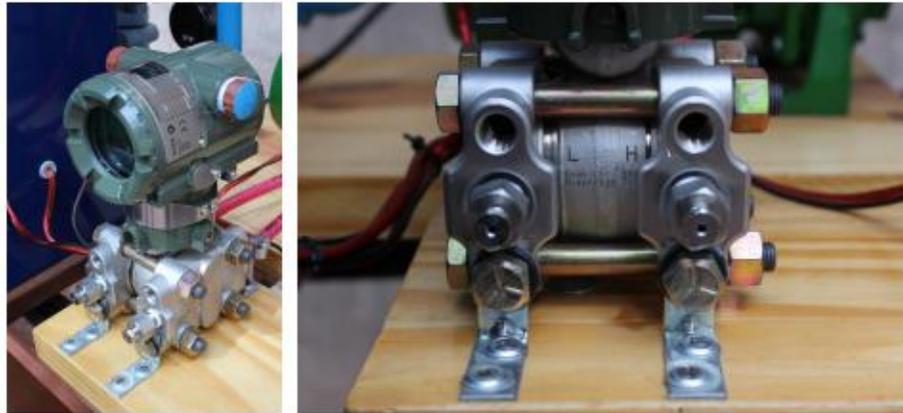
(b) Cañe

Fig. 2.11. Manómetros.

b) DP Cell(o celda de presión diferencial), es un sensor que mide la diferencia de presión entre dos puntos. En nuestro caso, la celda entrega una corriente proporcional a la diferencia de presión medida, en el rango de 4 – 20 mA. Este valor de corriente será leído por el controlador de la planta.

Dos celdas serán utilizadas:

- Medición del nivel del tanque: la entrada de alta presión de la celda se conecta al nivel más bajo del tanque y la de baja se deja desconectada (presión atmosférica). La celda mide la presión debida al peso de la columna de agua en el tanque. El valor entregado por la celda es proporcional al nivel de agua en el tanque.
- Medición del caudal en la tubería de llenado del tanque controlado: Se utilizará una placa orificio para generar una caída de presión debida al caudal. Las entradas de la celda se conectan aguas arriba y aguas abajo de la placa orificio. Se mide de esta manera la diferencia de presión entre ambos puntos, que será traducido en un valor de caudal en el controlador



(a) Vista general.

(b) Detalle tomas de baja y alta presión.

Fig. 2.12. DP Cell.

c) Placa Orificio: se utiliza para medir el caudal en la tubería de llenado. La placa orificio provoca una disminución del diámetro de la cañería, con la consiguiente aceleración del fluido.

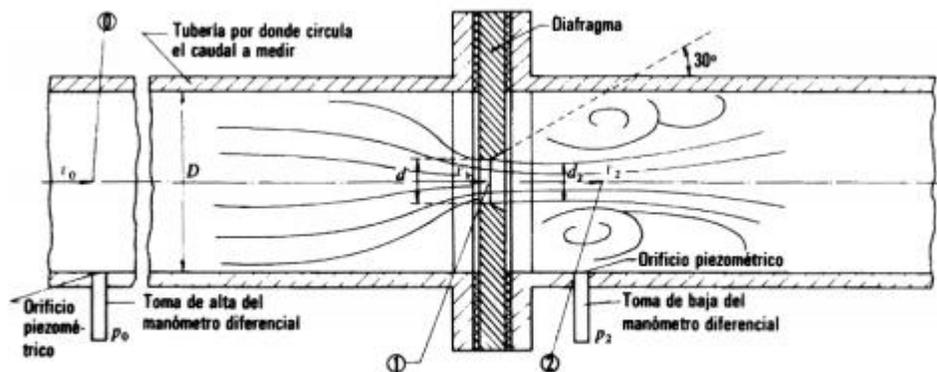


Fig. 2.13. Corte longitudinal de una placa orificio montada en una tubería [2].

Partiendo de la ecuación de Bernoulli, es posible demostrar que el caudal Q es proporcional a la raíz cuadrada de la diferencia de alturas que puede ser encontrada utilizando un DP cell.

Vista de la Planta ensamblada:

Se presenta la planta ensamblada en la Fig. 2.14, vista desde el lado de la válvula. Pueden observarse claramente la estructura, la distribución de los elementos, las cañerías de llenado y vaciado, las mangueras de conexión, el tiempo muerto y los tanques.

Se puede apreciar también que se pintaron los caños mediante un código de colores.

- Celeste: llenado del tanque controlado.
- Amarillo: vaciado del tanque controlado.



Figura 2.14: Planta ensamblada

Tablero eléctrico:

En la Fig. 3.3 se muestran fotografías del tablero finalizado. Pueden observarse tres niveles diferenciados:

- En el nivel superior se encuentra el interruptor termomagnético de corte general. Este interruptor debe ser accionado para encender la planta.
- En el nivel medio se encuentran los relés, contactores y relevos térmicos para accionar los motores de las bombas.
 - Relés: Los relés reciben una señal de activación de 24 V, de parte del PLC. Al activarse, el relé entrega en el borne 11 (7) una señal de 220 V de corriente alterna. Esta señal alimentará la bobina de los los contactores de los motores, previo paso por el relevo térmico.
 - Relevo Térmico: Tiene como objetivo evitar la sobrecorriente en los motores. Se configuró el relevo térmico con una corriente de 1,6 A. En caso de superar este valor, interrumpe tensión en la bobina del contactor y se detienen los motores.
 - Contactores: Encienden los motores, a partir de una señal de activación de 220 V de corriente alterna.
- En el nivel inferior está el PLC, con su módulo de E/S analógicas, y la fuente de alimentación de 24 Vcc.

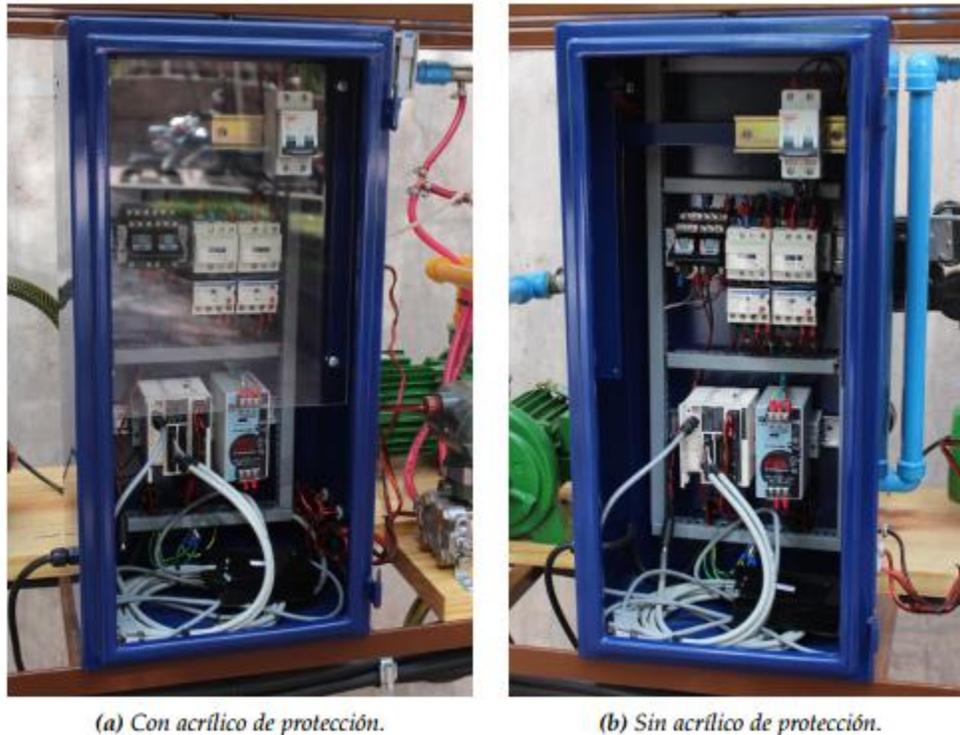


Fig. 3.3. Fotografía del tablero finalizado.

Controlador PID:

El algoritmo utilizado en la planta de control de nivel, implantado en el PLC, es de tipo proporcional-integral-derivativo (PID). En un controlador PID la acción correctiva es la suma de tres valores, a saber:

- ✓ Proporcional al error.
- ✓ Proporcional a la integral del error respecto del tiempo.
- ✓ Proporcional a la derivada del error respecto del tiempo.

La constante de proporcionalidad para cada caso se conocen como ganancias del controlador (K_p , T_i y T_d).

Cada bloque PID tiene dos modos de trabajo.

- ✓ Modo automático: conociendo los valores de las ganancias, el Set Point y la variable controlada, realiza el algoritmo de PID y entrega un valor de la variable manipulada en salida. En nuestro caso, la variable manipulada es la apertura de la válvula. La variable controlada y el Set Point corresponden a los valores de nivel presente en el tanque y deseado, respectivamente.
- ✓ Modo manual: permite anular el controlador, enviando un valor manual a la variable controlada. Podemos así controlar la apertura a la válvula cuando se trabaja en modo manual desde el SCADA.

SCADA

Aunque un PLC realiza automáticamente un control pre-programado sobre un proceso, no tiene una manera amigable de presentar la información al operador. Además, suelen estar distribuidos a lo largo de toda la planta, haciendo difícil recoger los datos de manera manual.

Un sistema SCADA recopila constantemente información de la planta en tiempo real. Luego mediante una base de datos se almacenan y evalúan los datos, generándose alarmas en los casos correspondientes. Finalmente, mediante la HMI se brinda la información al operario y este a su vez puede enviar instrucciones a los PLC en la planta. También se pueden incluir datos de diagnóstico y manejo de la información así como un cronograma de procedimientos de mantenimiento, información logística, esquemas detallados para un sensor o máquina en particular o incluso sistemas expertos con guía de resolución de problemas.

Es interesante nombrar que para el diseño y desarrollo del sistema SCADA se utilizó el software PCIM 7.70 SP4 para Windows de AFCON.

Para la implementación de la capa de comunicación, es decir, lograr la comunicación del SCADA con el PLC que controla la planta, se utiliza como bus de comunicación el protocolo de comunicaciones Modbus.

La pantalla que se aprecia en la figura 5.6 es la interfaz gráfica del sistema SCADA que permite operar el sistema. La misma fue diseñada para permitir visualizar y controlar los distintos parámetros de la planta a través de los siguientes elementos: Botones de parada de emergencia y rehabilitación del sistema, Botones de encendido y parada del controlador de la planta, Visualización del estado de la planta: niveles, caudal, bombas encendidas, etc., Control Manual y Control Automático. A partir de esta interfaz, es posible manejar la planta.

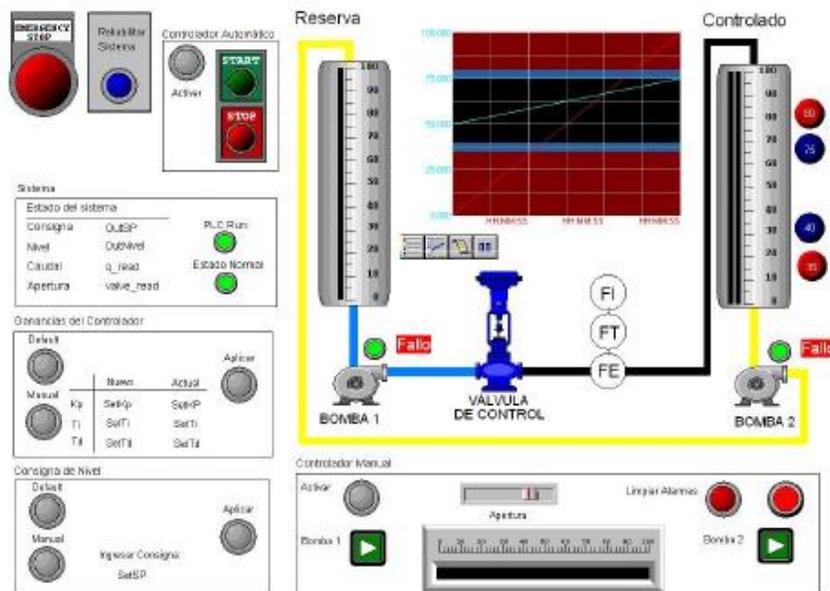


Fig. 5.6. Interfaz Gráfica del SCADA