

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

### **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA EN EL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
ELECTRÓNICA Y CONTROL**

**DAVID FERNANDO AGUIRRE ROBALINO**  
**dnmeh@yahoo.com.mx**  
**CARLOS ALBERTO ERAZO GALARZA**  
**caegcarlos@hotmail.com**

**DIRECTOR: Ing. ANA RODAS BENALCÁZAR**  
**a.rodas@epn.edu.ec**

**Quito, Septiembre 2009**

## DECLARACIÓN

Nosotros, David Fernando Aguirre Robalino, Carlos Alberto Erazo Galarza, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

David Aguirre

---

Carlos Erazo

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por David Aguirre y Carlos Erazo, bajo mi supervisión.

---

**Ing. Ana Rodas Benalcázar**  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

## AGRADECIMIENTO

Al Padre Eterno, Sin Nombre, Sin Fin, por permitirme seguir día a día en pie, luchando para poder llegar a volar alto, como el Cóndor en su majestuoso vuelo.

A mis padres, por haber sido quienes me dieron la oportunidad de llevar a cabo mis estudios universitarios y por siempre brindarme la libertad que quiero, para hacer todo lo que me propongo.

A mi hermano, por ser mi amigo incondicional y quien me ha apoyado en todo lo que me he propuesto.

A mi compañero de tesis, Carlos Erazo por aportar con todo su entusiasmo y conocimiento al desarrollo de éste proyecto.

A la Ing. Ana Rodas por brindarnos su ayuda para lograr la consecución del proyecto.

Al Ing. Guillermo Escobar, por brindarme los primeros conocimientos científicos en mi carrera, por brindarme su ayuda y apoyo, y por enseñarme que se puede ser cada día mejor.

A los panas, que siempre están jodiendo, apoyando y brindando alegría a la vida.

David

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios que me ha brindado sabiduría y entendimiento para empezar, desarrollar y culminar lo que me proponga.

A mis padres y hermanos, que son mi soporte y alegría, con su sacrificio y tolerancia me han guiado y aconsejado a lo largo de mi vida. Durante mi paso por esta facultad he aprendido mucho de mí, y de las personas que han estado a mí alrededor, por ello les agradezco, especialmente a mis amigos que me han soportado con todos mis defectos y virtudes.

Carlos

## DEDICATORIA

*Éste trabajo está dedicado a todos los que quiero, y que de una u otra manera supieron brindarme su ayuda durante el camino que he recorrido hasta ahora.*

*David*

## **DEDICATORIA**

*A mis padres por su gran apoyo, dedicación y sacrificio.*

*Carlos*

## CONTENIDO

<b>CONTENIDO</b> .....	VIII
<b>RESUMEN</b> .....	XIII
<b>PRESENTACIÓN</b> .....	XV
<b>CAPITULO 1</b> .....	1
<b>ESTUDIO Y SELECCIÓN DE LA ARQUITECTURA DEL SISTEMA SCADA</b> .....	1
1.1. SISTEMAS SCADA.....	2
1.1.1. FUNCIONES DE UN SISTEMA SCADA .....	3
1.1.2. APLICACIONES DE LOS SISTEMAS SCADA.....	4
1.1.3. NECESIDAD DE UN SISTEMA SCADA.....	8
1.1.4. COMPONENTES DE UN SISTEMA SCADA .....	10
1.1.4.1. Hardware.....	10
1.1.4.2. Software .....	16
1.2. ACTIVIDADES A REALIZARSE PARA LA CONSECUCIÓN DEL PROYECTO.....	23
<b>CAPITULO 2</b> .....	26
<b>READECUACIÓN DE LOS MÓDULOS DE TEMPERATURA, CAUDAL Y NIVEL</b> .....	26
2.1. MÓDULO DE CAUDAL.....	27
2.1.1. SITUACIÓN EN LA CUAL SE ENCONTRÓ EL MÓDULO .....	28
2.1.1.1. Arquitectura del módulo .....	28

2.1.1.2. Sensores y elementos de control .....	32
2.1.2. SITUACIÓN ACTUAL DEL MÓDULO .....	38
2.2. MÓDULO DIDÁCTICO DE CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDOS.....	39
2.2.1. SITUACIÓN EN LA CUAL SE ENCONTRÓ EL MÓDULO .....	39
2.2.1.1. Arquitectura del módulo .....	39
2.2.1.2. Elementos para control .....	40
2.2.2. SITUACIÓN ACTUAL DEL MÓDULO .....	47
2.3. MÓDULO DE TEMPERATURA .....	49
2.3.1. SITUACIÓN ANTERIOR DEL MÓDULO .....	50
2.3.2. SITUACIÓN ACTUAL DEL MÓDULO .....	53
2.3.2.1. Estructura.....	53
2.3.2.2. Tanques de calentamiento y enfriamiento .....	54
2.3.2.3. Sensores y elementos de control .....	57
CAPÍTULO 3 .....	67
DESARROLLO DEL SOFTWARE.....	67
3.1. TWIDOSOFT V3.5 .....	68
3.1.1. Configuraciones en TwidoSoft.....	68
3.2. DESCRIPCIÓN DE LOS PROGRAMAS DE CONTROL IMPLEMENTADOS EN LOS PLC.....	72
3.2.1. MÓDULO DIDÁCTICO DE CONTROL DE CAUDAL .....	72

3.2.2.	MÓDULO DIDÁCTICO DE CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDOS....	75
3.2.3.	MÓDULO DIDÁCTICO DE CONTROL DE TEMPERATURA.....	77
3.3.	WONDERWARE INTOUCH.....	80
3.3.1.	COMPONENTES DE INTOUCH .....	80
3.3.1.1.	Administrador de aplicaciones .....	80
3.3.1.2.	WindowMaker .....	81
3.3.1.3.	WindowViewer .....	83
3.4.	HMI DESARROLLADO EN INTOUCH.....	84
3.4.1.	PANTALLA DE PRESENTACIÓN .....	84
3.3.2.	PANTALLA DE MENÚ PRINCIPAL.....	85
3.3.3.	PANTALLA DE DEFINICIÓN DE USUARIO .....	86
3.3.4.	PANTALLA INFORMATIVA DEL MÓDULO DE CAUDAL.....	87
3.3.5.	PANTALLA INFORMATIVA DEL MÓDULO DE NIVEL.....	87
3.3.6.	PANTALLA INFORMATIVA DEL MÓDULO DE TEMPERATURA ...	88
3.3.7.	HMI PARA EL MÓDULO DE CONTROL DE CAUDAL .....	89
3.3.8.	HMI PARA EL MÓDULO DE CONTROL DE NIVEL.....	90
3.3.9.	HMI PARA EL MÓDULO DE CONTROL DE TEMPERATURA .....	91
3.3.10.	PANTALLA DE HISTÓRICOS.....	92
3.3.11.	PANTALLA DE GESTIÓN DE ALARMAS.....	93

3.3.12.	PANTALLA DE ALARMA .....	94
3.3.13.	PANTALLA DEFINICIÓN DE PUNTOS DE ALARMA.....	94
3.4.	CONFIGURACIÓN DE COMUNICACIONES A TRAVÉS DEL I/O SERVER.....	95
3.4.1.	I/O SERVER .....	95
3.4.2.	DEFINICIÓN DE ACCESS NAMES, TOPIC NAMES Y TAGNAMES PARA TRABAJO EN LA RED ETHERNET .....	97
CAPITULO 4	.....	101
PRUEBAS Y RESULTADOS.....		101
4.1.	PRUEBA DE SENSORES Y ACTUADORES DEL MÓDULO DE CAUDAL .....	102
4.2.	PRUEBAS DE SENSORES Y ACTUADORES DEL MÓDULO DE NIVEL 107	
4.3.	PRUEBA DE SENSORES Y ACTUADORES DEL MÓDULO DE TEMPERATURA.....	109
4.4.	PRUEBAS DE CONECTIVIDAD EN LA RED .....	112
4.5.	PRUEBAS DE LAS HMI.....	116
4.5.1.	PRUEBAS DEL MÓDULO DE CAUDAL .....	120
4.5.2.	PRUEBAS DEL MÓDULO DE NIVEL.....	122
4.5.3.	PRUEBAS DEL MÓDULO DE TEMPERATURA.....	127
4.5.4.	ALARMAS .....	128

CAPITULO 5 .....	131
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	131
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	135
DIRECCIONES ELECTRÓNICAS.....	135
ANEXOS .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## RESUMEN

En el Laboratorio de Instrumentación se encuentran tres módulos: uno de nivel, otro de caudal y un tercero de temperatura. El primero es controlado con un PLC TWIDO y tiene un sensor de nivel y una válvula, el segundo tiene el mismo tipo de PLC, sensores y actuadores y el módulo de temperatura tiene únicamente los sensores y un intercambiador, lo que quiere decir que no está controlado.

El propósito del proyecto es verificar la operación de los módulos, arreglarlos de tal manera que queden operativos a nivel individual y diseñar e implementar una red Ethernet para enlazarlos.

Para esto se prueban los sensores, se verifican y ponen en funcionamiento las válvulas, se construye el cableado, se adquieren y configuran módulos que son necesarios para la comunicación de los PLC's y para el enlace entre ellos y con el computador.

Se realiza el estudio de los sistemas SCADA y se selecciona una arquitectura que permita implementar un sistema a pequeña escala en el Laboratorio de Instrumentación.

Se diseña una HMI en un computador para realizar el control y monitoreo de los módulos, así como para guardar datos históricos. Además se desarrolla un sistema de generación de alarmas de fallas de cada módulo y también se configuran de manera remota los puntos de consigna de las variables de cada PLC, siempre y cuando el usuario tenga el nivel de acceso adecuado para el mismo. Se procura conseguir con dicha HMI un nivel de seguridad óptimo tanto para las personas que trabajan cerca de los módulos, como para mantener todos los procesos en un funcionamiento correcto.

Finalmente, luego de realizar las pruebas correspondientes, tanto de la red, como del SCADA y del control en cada módulo, se llega a una serie de conclusiones

que corroboran el cumplimiento de los objetivos planteados para el presente proyecto.

## PRESENTACIÓN

En la actualidad el desarrollo de la tecnología y comunicaciones ha hecho posible el monitoreo y control de procesos a distancia, facilitando su manejo, optimizando tiempo y dinero, y dando lugar al apareamiento de los sistemas SCADA. Este proyecto busca realizar el enlace de tres módulos didácticos pertenecientes al Laboratorio de Instrumentación de la Escuela Politécnica Nacional.

El primer Capítulo, presenta en su inicio una serie de conceptos básicos que ayudarán a entender las variables que se controlan. Además, este capítulo presenta un estudio breve de los sistemas SCADA.

El segundo Capítulo, hace referencia a la arquitectura de cada módulo didáctico, presentando la situación en la que se encontraron y la situación actual, haciendo énfasis en el módulo de temperatura.

El tercer Capítulo, presenta una explicación del algoritmo de control que se diseñó para cada PLC de los módulos didácticos y las configuraciones necesarias. Además, se exhiben las pantallas del HMI para cada proceso, con sus funciones y restricciones de acuerdo al grado de privilegios del usuario.

El cuarto Capítulo, exhibe gráficas y tabulaciones obtenidas al realizar pruebas tanto de los módulos didácticos como del sistema SCADA.

El quinto Capítulo, presenta las conclusiones y recomendaciones a las cuales se llegó después de haber finalizado el presente proyecto.

**CAPITULO 1**

**ESTUDIO Y SELECCIÓN DE LA ARQUITECTURA DEL**

**SISTEMA SCADA**

## **1.1. SISTEMAS SCADA**

Son las siglas para Supervisory Control And Data Acquisition (Control Supervisor y Adquisición de Datos), es decir, un sistema capaz de comunicarse con dispositivos de campo para recopilar información del proceso y de esa manera, poder supervisar su funcionamiento y, de ser necesario, realizar una determinada acción de control sobre alguna parte del mismo. En un sistema supervisor, siempre se requerirá la intervención del ser humano en algún instante, quien será el que tome decisiones definitivas en casos críticos.

Un SCADA no es una tecnología específica, más bien es una aplicación que puede comprender el uso de varios tipos de tecnología. Por ello el sistema debe ser bastante flexible (de arquitectura abierta), para que pueda adaptarse fácilmente a las cambiantes necesidades de una industria.

El sistema SCADA posee una estructura de tipo centralizada, ya que la información obtenida de cada dispositivo de campo se concentra y administra desde una Unidad Terminal Principal o MTU, generalmente una PC, que contiene uno o varios HMI's de cada parte del proceso. La información que recoge la MTU, la recibe generalmente de una o varias Unidades Terminales Remotas o RTU's, o de algún PLC, que son los aparatos que interactúan directamente con los dispositivos de campo.

Además, debido a que el sistema SCADA está desarrollado sobre sistemas eléctricos y electrónicos, se suele hablar de un control en Tiempo Real. Ese término depende del proceso que se está monitoreando ya que en cualquier sistema computarizado existen retardos en la transferencia de información, por ello si se hablara de un sistema que trabaja estrictamente en tiempo real, eso implicaría una respuesta totalmente inmediata de todos los aparatos, tanto sensores como actuadores. Por ello el término "en tiempo real" se debe manejar con cierto "tino".

Cabe aclarar que, si bien en la unidad maestra se puede implementar algún algoritmo de control que se encargue de alguna parte del proceso, esto no es lo más recomendable ya que si éste llega a fallar, el control dejaría también de funcionar. Por ello se debe procurar siempre que toda la lógica de control esté implementada en las RTU's o PLC's.

La implementación de un sistema SCADA presenta algunos beneficios tales como:

Detección y corrección de fallas en el proceso.

Posibilidad de control de procesos grandes con un personal reducido.

Obtención de información histórica de desenvolvimiento del proceso.

Detección de ineficiencias en el proceso.

### **1.1.1. FUNCIONES DE UN SISTEMA SCADA**

El sistema SCADA debe cumplir con cinco funciones principales:

1. Adquisición de datos: Como su nombre lo indica, el sistema debe tomar la información del funcionamiento del proceso a ser supervisado.
2. Transmisión de datos: La información recopilada debe ser enviada al lugar necesario para su tratamiento.
3. Presentación de datos: Se debe poder visualizar no solo al proceso, sino también su comportamiento histórico, su eficiencia, sus fallas, etc. para poder realizar análisis de gestión de alto nivel.
4. Control: El sistema debe garantizar el correcto funcionamiento del proceso, por ello debe ser capaz de emitir acciones de control que mantengan dicho funcionamiento.

5. Gestión de alarmas: Generar alarmas para que el operador realice las acciones de control necesarias para corregir las situaciones anómalas que se presenten.

### **1.1.2. APLICACIONES DE LOS SISTEMAS SCADA**

Un sistema SCADA es capaz de manejar cualquier proceso. Comúnmente se utiliza para automatizar complejos procesos industriales, donde el control humano quizá es poco práctico, o cuando se tiene muchos factores a controlar.

Alrededor del mundo, los sistemas SCADA se utilizan en:

**Sistemas de aguas y drenaje:** A nivel estatal y municipal, se monitorea y regula flujos de agua, nivel de agua en reservorios, presión en las tuberías, además de otras variables asociadas.

**Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica:** En estos casos el sistema SCADA permite detectar corrientes y voltajes en las líneas, monitorear la operación de las protecciones y aislar o incorporar secciones de la red de potencia.

**Edificios y bodegas:** Se facilita la administración y control de sistemas HVAC (Heating Ventilation and Air Conditioning), unidades de refrigeración, iluminación y control de acceso.

**Manufactura:** El sistema SCADA administra los inventarios, regula la automatización industrial, monitoreando procesos y realizando control de calidad.

**Tránsito masivo:** Las autoridades de tránsito utilizan SCADA's para distribuir la electricidad hacia trenes subterráneos y trolebuses, para automatizar señales de tránsito en sistemas de rieles, para ubicar buses o trenes, y para controlar las compuertas en cruces de trenes.

En el desarrollo de este proyecto se pretende que el sistema SCADA integre tres procesos: control de caudal, control de nivel de líquidos y control de temperatura.

Cada uno de estos procesos está asociado al monitoreo de un Módulo Didáctico para cada variable.

- El módulo didáctico de caudal trata de reproducir las condiciones de una presa, donde se busca controlar el caudal de la línea principal que sale de un depósito ante los cambios de nivel. La importancia de la medición del caudal está relacionada con la necesidad de conocer la cantidad de agua disponible, y en consecuencia saber cuánta se puede gastar para riego y consumo

Para tener claro la variable a controlar, se considera prudente definirla.

- El caudal es la cantidad de fluido que pasa por determinado punto en la unidad de tiempo. Si se refiere a tuberías, conviene definirla como la velocidad con la que se desplaza un fluido a través de un área de sección transversal; normalmente se habla de caudal volumétrico o volumen de fluido que pasa por unidad de área en la unidad de tiempo, y menos común de un caudal o flujo másico o masa que pasa por unidad de área en la unidad de tiempo.<sup>1</sup>

$$Q = v \times A$$

Ecuación 1.1

En este módulo la medición del caudal del líquido que sale del reservorio principal se la realiza de una forma indirecta, primero midiendo el nivel de agua del mismo mediante un sensor de presión diferencial ubicado en su parte inferior, por lo cual se define la variable presión.

---

<sup>1</sup> <http://www.sapiens.itgo.com/documents/doc15.htm>

- La presión es una magnitud física y se define como la fuerza por unidad de área o superficie, es común que se mida en atmósferas (atm), en el Sistema internacional (SI), se mide en Pascales (Pa).<sup>2</sup>

$$P = \frac{F}{A}$$

Ecuación 1.2

Finalmente, el caudal de salida del depósito principal se estima en base al nivel de agua, tomando como referencia las pruebas realizadas por los desarrolladores de la tesis “Diseño y construcción de un sistema SCADA sobre wi-fi para controlar el caudal de agua que sale desde un tanque”.

- El módulo didáctico de control de nivel de líquidos fue construido con la finalidad de dotar al laboratorio de Instrumentación de un equipo que permita la realización de prácticas de laboratorio, cubriendo así la temática referente a medición y control de nivel de líquidos.

- Se define como nivel, a la altura a la que se encuentra la superficie de un líquido.

La medición y control de nivel como parte de procesos industriales se hace necesario cuando se pretende tener una producción continua, cuando se desea mantener una presión hidrostática, cuando un proceso requiere de control y medición de volúmenes de líquidos ó; en el caso más simple, para evitar que un líquido se derrame. La medición de nivel de líquidos, dentro de un recipiente parece sencilla, pero puede convertirse en un problema, sobre todo cuando el

---

<sup>2</sup> <http://www.geocities.com/CollegePark/Pool/1549/instru1/d01.html>

material es corrosivo ó abrasivo, cuando se mantiene a altas presiones, cuando es radioactivo ó cuando se encuentra en un recipiente sellado en el que no conviene tener partes móviles ó cuando es prácticamente imposible mantenerlas.

La medición del nivel del líquido se la realiza de forma indirecta, mediante un sensor de presión diferencial.

- El módulo de temperatura pretende controlar la temperatura del agua, proveniente de un tanque de calentamiento, a través de un serpentín para su enfriamiento ubicado en un segundo tanque donde se realiza el proceso de intercambio de calor.

- La temperatura es una medida del calor o energía térmica de las partículas en una sustancia. Como lo que se mide es su movimiento medio, la temperatura no depende del número de partículas en un objeto y por lo tanto no depende de su tamaño. Por ejemplo, la temperatura del agua hirviendo de un recipiente pequeño es la misma que la de un recipiente mayor aunque tenga millones y millones de moléculas de agua más.
- El calor es la energía total del movimiento molecular en una sustancia, mientras la temperatura es una medida de la energía molecular media. El calor depende de la velocidad de las partículas, su número, su tamaño y su tipo. La temperatura no depende del tamaño, del número o del tipo. Por ejemplo, la temperatura de un vaso pequeño de agua puede ser la misma que la temperatura de un cubo de agua, pero el cubo tiene más calor porque tiene más agua y por lo tanto más energía térmica total.<sup>3</sup>

Ya que este módulo basa su funcionamiento en un intercambiador de calor, es necesario especificarlo.

---

<sup>3</sup> [http://www.spitzer.caltech.edu/espanol/edu/thermal/differ\\_sp\\_06sep01.html](http://www.spitzer.caltech.edu/espanol/edu/thermal/differ_sp_06sep01.html)

- Un intercambiador de calor se puede describir de un modo muy elemental como un equipo en el que dos corrientes a distintas temperaturas fluyen sin mezclarse con el objeto de enfriar una de ellas o calentar la otra o ambas a la vez. Un esquema de un intercambiador de calor puede ser el siguiente.

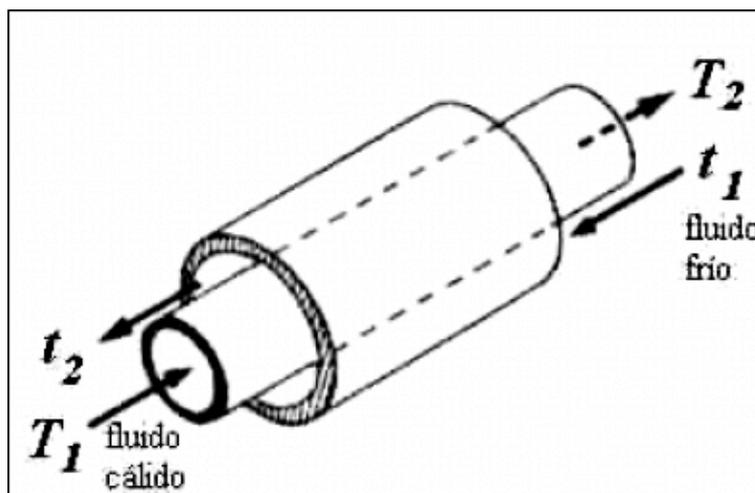


Figura 1.1. Intercambiador de calor

$t_1$  y  $t_2$  = Temperaturas de entrada y salida de fluido frío

$T_1$  y  $T_2$  = Temperaturas de entrada y salida de fluido caliente

En un intercambiador se pueden dar tres casos; contracorriente, cuando los fluidos circulan en sentidos opuestos; corriente paralela o equicorriente, los fluidos circulan en el mismo sentido; y corrientes cruzadas, cuando los fluidos se cruzan en un ángulo recto.<sup>4</sup>

### 1.1.3. NECESIDAD DE UN SISTEMA SCADA

Para saber si, en un determinado proceso, se requiere o necesita disponer de un sistema de control supervisor (SCADA), se deben tener en cuenta varios criterios y consideraciones; entre las más importantes se puede citar:

<sup>4</sup> <http://mipagina.cantv.net/ulacoa/clase24.pdf>

En la vida industrial, siempre el mayor peso en cualquier decisión lo tiene el aspecto económico, es decir, se debe evaluar la relación costo-beneficio, esto es, asegurar que los beneficios que se obtendrán de la implementación del SCADA en el proceso, ya sea en aspectos de seguridad, optimización de recursos, eficiencia, etc., justifiquen una inversión de este tipo.

Cuando se tiene una gran cantidad de variables dentro de un proceso, las cuales necesariamente deben ser monitoreadas, la implementación de un sistema SCADA es quizá la mejor alternativa que permita el manejo de todas esas variables desde una estación de supervisión principal.

Si se necesita agilizar la toma de decisiones tanto a nivel gerencial como operativo, en aspectos de optimización del proceso productivo.

Cuando se necesita una gran velocidad de adquisición y procesamiento de información de los diferentes sensores y actuadores para una operación “en tiempo real”.

Un aspecto que puede ser determinante más no limitante es la distribución geográfica de sensores y actuadores en una planta, es decir, en muchos procesos los dispositivos de campo están situados a lo largo de una gran área de trabajo físicamente hablando, por ello el desplazamiento de personal para la supervisión de una parte del proceso puede implicar un movimiento en distancias grandes, lo que se simplifica al implementar un sistema SCADA.

El sistema SCADA requiere de un operador para la toma de decisiones críticas o para tomar alguna decisión de control, por ello, si el proceso posee características de éste tipo, antes de optar por un sistema de control totalmente automático, se preferiría el uso de un sistema SCADA.

### 1.1.4. COMPONENTES DE UN SISTEMA SCADA

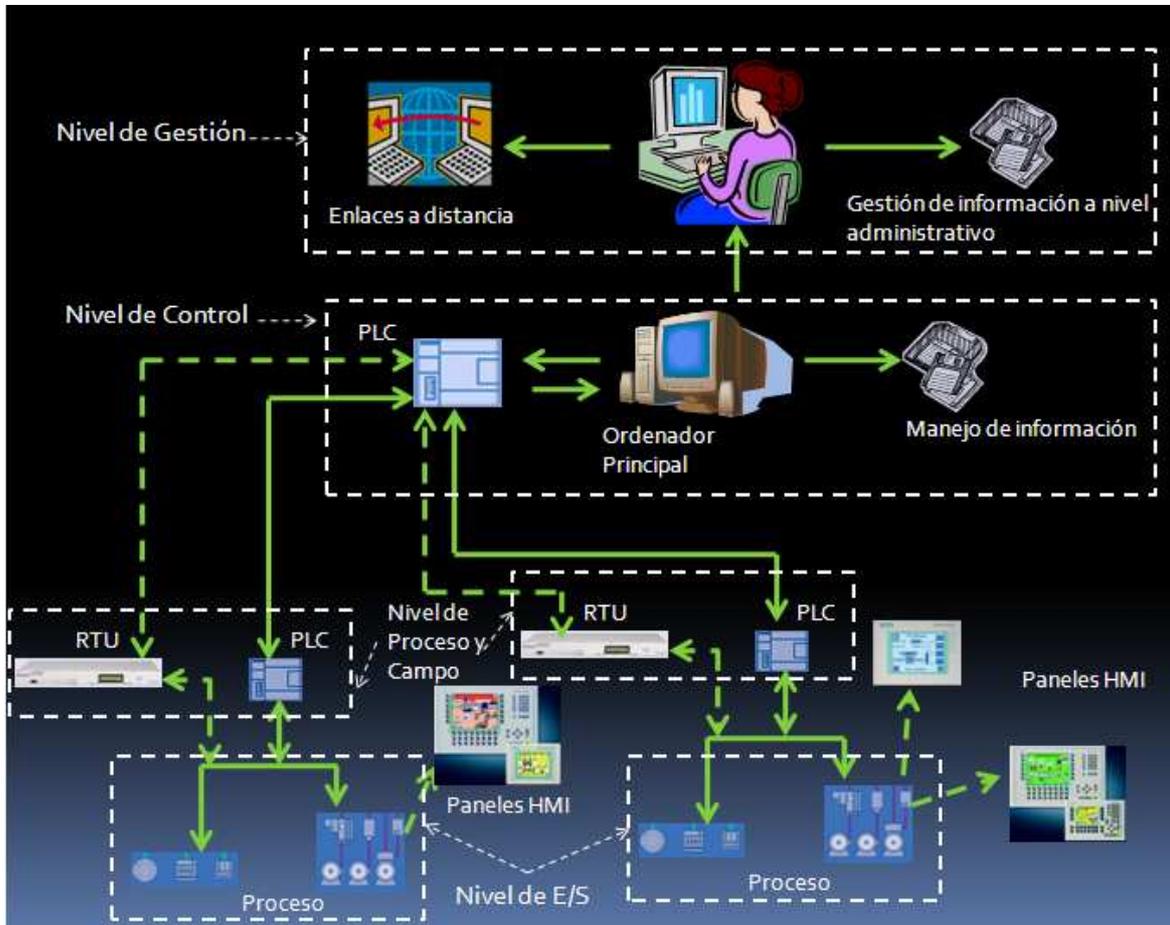


Figura 1.2. Estructura general de un sistema SCADA

Se pueden ubicar a los componentes de un sistema SCADA en dos grupos principales: Hardware y Software.

#### 1.1.4.1. Hardware

- **Sensores:** los cuales están directamente vinculados al proceso y sus variables, son los encargados de convertir la información de una variable física en una señal eléctrica.
- **Dispositivos para comunicación,** son los que permiten a un sensor o actuador formar parte de la infraestructura de una red de comunicaciones industrial. Estos dispositivos son opcionales ya que los PLC's o RTU's pueden

recibir/enviar la información directamente del/al sensor/actuador. Estos dispositivos se utilizan cuando el primer concentrador de información (RTU o PLC) debe manejar un número de dispositivos mayor al de sus entradas o salidas. En ese caso se establece una red entre los dispositivos de campo y el PLC o RTU como se muestra en la Figura 1.5 y se utilizan aparatos para cada sensor o actuador como se muestra en la figura siguiente.

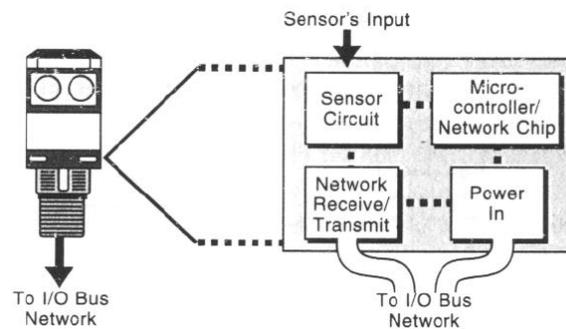


Figura 1.3. Dispositivo para comunicación de un sensor

- Paneles HMI, son opcionales pero permiten que el operador inmediato del proceso tenga una idea del estado del mismo, o pueda manipular algún punto de consigna o setpoint del mismo. Estos pueden ir de los más simples a los más completos, donde se puede tener incluso un esquemático del proceso.



Figura 1.4. Ejemplo de panel HMI

- Red industrial, la cual puede ser construida con cables o puede ser inalámbrica, haciendo uso de cualquier protocolo industrial existente en el mercado, como por ejemplo CANbus, Fieldbus, Modbus, etc.

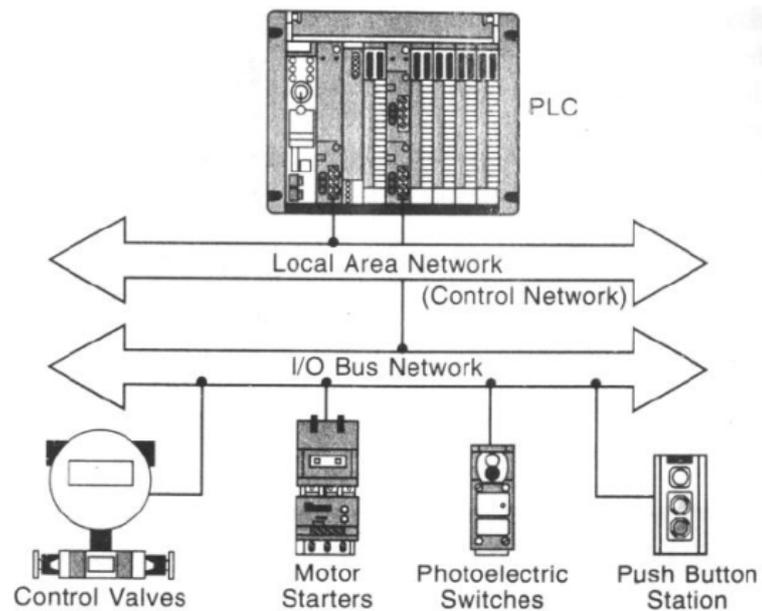


Figura 1.5. Red de campo

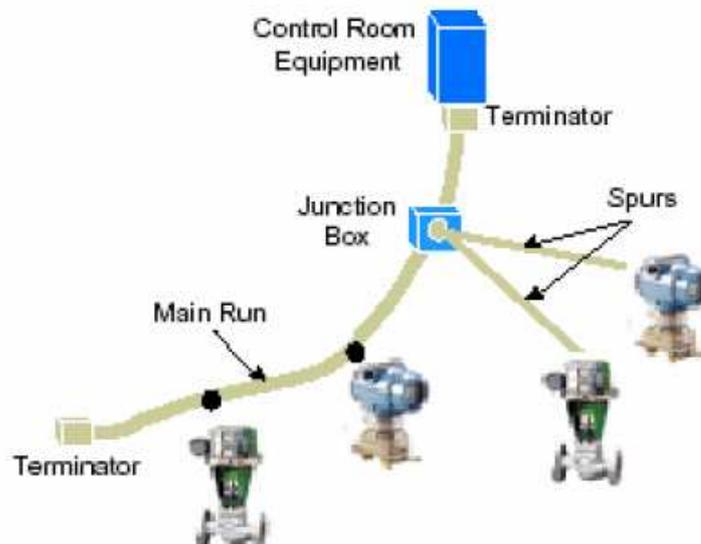


Figura 1.6. Ejemplo de red industrial alambrada



Figura 1.7. Ejemplo de conectores para red alamburada

- RTU's o PLC's, que son los primeros concentradores de información y dispositivos que realizan control y deben enviar/recibir información hacia/desde la unidad central.
  - PLC: es un Controlador Lógico Programable que, como su nombre lo indica, se encarga de realizar tareas de control en un determinado proceso industrial, con una gran flexibilidad en cuanto a su espectro de aplicación, esto es, debido a que es programable, cualquier cambio en la estructura del proceso que requiera ser controlado, se lo hace fácilmente vía software sin tener que modificar mayormente la estructura física para control ya establecida.

El PLC es un sistema microprocesado que posee un conjunto de entradas y salidas ya sean digitales o analógicas, y constituye un aparato muy robusto para ser utilizado sin problemas en un hostil ambiente industrial. De ahí su popularidad, ya que se ha constituido en la primera opción para el control de cualquier proceso industrial.

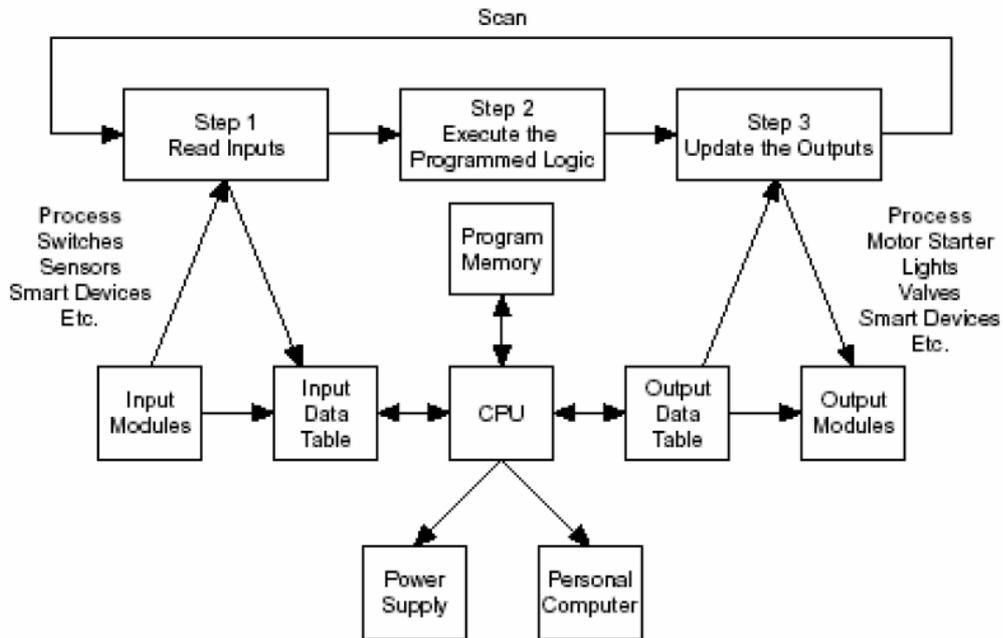


Figura 1.8. Estructura básica de un PLC

- RTU: En su estructura principal (ver Figura 1.18.) es muy parecido a un PLC.

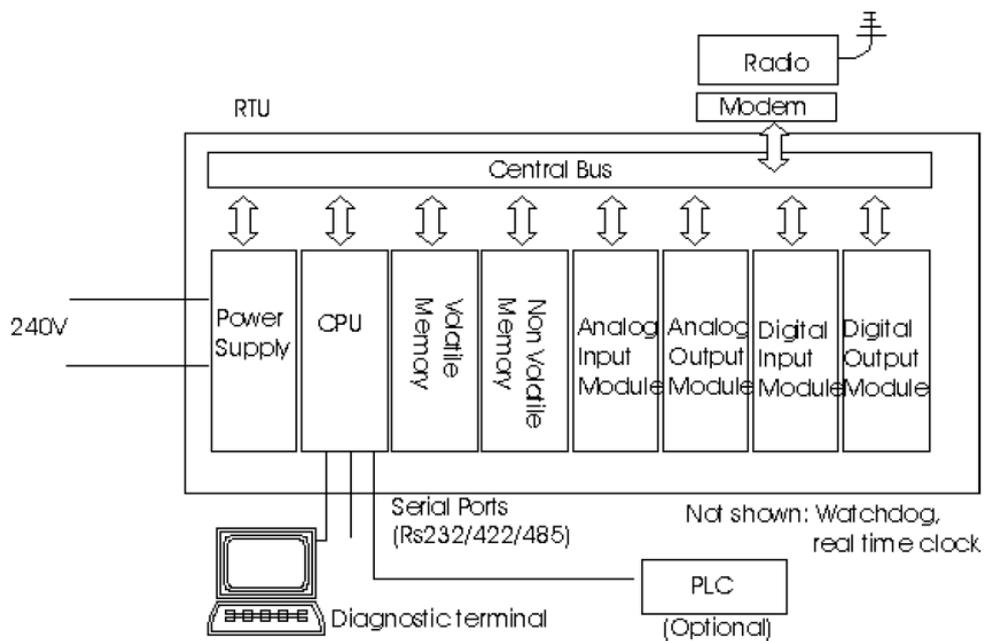


Figura 1.9. RTU típica



Figura 1.10. RTU compacta típica

La mayoría de RTU's se encargan simplemente de realizar un barrido de entradas y salidas para recolectar la información necesaria o realizar algún cambio en sus salidas. El fuerte de las RTU's sobre los PLC's es su unidad de comunicación que consta de un modem, que puede ser especializado en protocolos de comunicación desde los más simples hasta los más completos. La desventaja sobre un PLC es que no puede ser programado para cumplir las complejas tareas de control que éstos manejan.

Unidad central, la cual es opcional y constituye un PLC encargado de recopilar la información de un grupo específico de RTU's o PLC's para posteriormente disponer de dicha información en un ordenador principal.

Ordenador principal, es una PC en la cual se dispone de un HMI (Human Machine Interface) donde un operador puede supervisar o monitorear el estado de cada parte del proceso, e inclusive podría tener a su disposición datos históricos o incluso algún tipo de tratamiento estadístico, aunque lo más común es que este tipo de información se lleve a un nivel de gestión.

#### 1.1.4.2. Software

- Software para HMI's, es un programa que permite construir las HMI's, además de que debe ser capaz de restringir el acceso de las personas al sistema y generar señales de alarma en caso de fallas. Ejemplos de este tipo de programas son el INTOUCH, WINCC, LABVIEW, etc.

HMI (Human Machine Interface), es la Interfaz Humano-Máquina que puede ser una simple lámpara indicadora, o constar de un conjunto de pantallas donde se encuentra esquematizado, gráficamente, el proceso que se desea monitorear. En otras palabras, es el mecanismo que permite la interacción del ser humano con el proceso.

- Intouch es un componente del Wonderware FactorySuite, y permite el desarrollo de las HMI dentro de un sistema operativo como Microsoft Windows para una amplia gama de industrias, desde la química, alimentos, petróleo, metalurgia, etc.  
Haciendo uso de Intouch, las aplicaciones que se pueden crear van desde las más sencillas, hasta las más complejas, completas y versátiles, ya que este software permite hacer uso de todas las útiles características de Microsoft Windows tales como gráficos, OLE, controles ActiveX, trabajo en red, etc.
- LabVIEW es un entorno de desarrollo gráfico, creado por la National Instruments, con funciones integradas para realizar adquisición de datos, control de instrumentos, análisis de medida y presentaciones de datos. LabVIEW brinda la flexibilidad de un potente ambiente de programación, pero mucho más sencillo que los entornos tradicionales. A diferencia de los

lenguajes de propósito general, LabVIEW tiene funciones específicas para acelerar el desarrollo de aplicaciones de medida, control y automatización.<sup>5</sup>

- SIMATIC WinCC es un sistema de supervisión sobre PC ejecutable bajo Microsoft Windows, desarrollado por Siemens. Está concebido para la visualización y manejo de procesos, líneas de fabricación, máquinas e instalaciones. El volumen de funciones de este sistema incluye la emisión de avisos de eventos en una forma adecuada para la aplicación industrial, el archivo de valores de medida y recetas y el listado de los mismos. Con su potente acoplamiento al proceso, especialmente con SIMATIC, y su seguro archivo de datos, WinCC hace posible unas soluciones de alto nivel para la técnica de conducción de procesos.<sup>6</sup>
- Software para comunicaciones tanto entre dispositivos de campo, como entre los niveles de supervisión y los niveles gerenciales y administrativos.

A nivel de los dispositivos de campo, se utilizan protocolos como CanBus, HART, etc.

- CAN es un protocolo de comunicaciones desarrollado por la firma alemana Robert Bosch GmbH, basado en una topología bus para la transmisión de mensajes en ambientes distribuidos, además ofrece una solución a la gestión de la comunicación entre múltiples CPUs (unidades centrales de proceso). CAN es un protocolo de comunicaciones serie que soporta un control distribuido en tiempo real con un alto nivel de seguridad y multiplexación. Originalmente este protocolo fue diseñado pensando en sistemas automovilísticos; en donde, el establecimiento de una red CAN para interconectar los dispositivos electrónicos tiene la finalidad de sustituir

---

<sup>5</sup> <http://www.ni.com/labview/whatis/esa>

<sup>6</sup> <http://www.automatas.org/siemens/wincc.htm>

o eliminar el cableado. Las ECUs (Engine Control Unit), sensores, sistemas antideslizantes, etc. se conectan mediante una red CAN a velocidades de transferencia de datos de hasta 1 Mbps.<sup>7</sup>

- El Protocolo HART (Highway Addressable Remote Transducer) permite la comunicación digital bi-direccional con instrumentos inteligentes sin perturbar la señal analógica de 4-20mA. Ambas señales, la analógica 4-20mA y las señales de comunicación digital HART pueden ser transmitidas simultáneamente sobre el mismo cable. El éxito de este protocolo y la aceptación obtenida en el entorno industrial se debe a las ventajas que ofrece al usuario, y a su fácil implementación sobre los sistemas de control existentes basados en 4-20mA.<sup>8</sup>

A nivel de campo y proceso se utilizan protocolos como Fieldbus y Profibus.

- La tecnología fieldbus (bus de campo) es un protocolo de comunicaciones digital de alta velocidad que está creada para reemplazar la clásica señal de 4-20 mA que aún se utiliza en muchos de los sistemas DCS (Sistema de Control Distribuido) y PLC (Controladores Lógicos Programables), instrumentos de medida y transmisión y válvulas de control. La arquitectura fieldbus conecta estos instrumentos con computadores que se usan en diferentes niveles de coordinación y dirección de la planta.<sup>9</sup>
- Profibus especifica las características técnicas y funcionales de un sistema basado en un bus de campo serie en el que controladores digitales descentralizados pueden ser conectados entre sí desde el nivel de campo al nivel de control. Se distinguen dos tipos de dispositivos, dispositivos

---

<sup>7</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Bus\\_CAN](http://es.wikipedia.org/wiki/Bus_CAN)

<sup>8</sup> [http://www.cea-ifac.es/actividades/jornadas/XXII/documentos/A\\_03\\_IC.pdf](http://www.cea-ifac.es/actividades/jornadas/XXII/documentos/A_03_IC.pdf)

<sup>9</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Red\\_industrial](http://es.wikipedia.org/wiki/Red_industrial)

maestros, que determinan la comunicación de datos sobre el bus. Un maestro puede enviar mensajes sin una petición externa cuando posee el control de acceso al bus (el testigo). Los maestros también se denominan estaciones activas en el protocolo Profibus. Como segundo tipo están los dispositivos esclavos, que son dispositivos periféricos. Los esclavos son normalmente dispositivos de E/S, válvulas, actuadores y transmisores de señal. No tienen el control de acceso al bus y sólo pueden recibir mensajes o enviar mensajes al maestro cuando son autorizados para ello. Los esclavos también son denominados estaciones pasivas, por lo que sólo necesitan una parte del protocolo del bus. También es posible trabajar en profibus en modo multimaestro en el cual todos los dispositivos pueden actuar, cuando les llega el testigo, como maestros del bus. Existen tres variantes de este protocolo: Profibus DP (Periferia Distribuida; Decentralized Peripherals), desarrollada en 1993, es la más extendida. Está orientada a control a nivel sensor/actuador; Profibus FMS, diseñada para control a nivel de célula. Si bien fue la primera versión de Profibus, es una versión prácticamente obsoleta; Profibus PA, es la solución integrada para control a nivel de proceso.<sup>10</sup>

En el nivel de Control se suele usar el protocolo Ethernet Industrial, dentro de estructuras de redes LAN.

En el nivel de Gestión se utiliza el protocolo Ethernet en estructuras de redes LAN o incluso WAN.

- Ethernet es un estándar para redes de área local de computadoras, desarrollado en los años 70 por las compañías Digital, Intel y Xerox.

En 1985, la IEEE estandariza la tecnología Ethernet y se crea el estándar IEEE802.3.

---

<sup>10</sup> [http://gpds.uv.es/sid/SID\\_introProfibus.pdf](http://gpds.uv.es/sid/SID_introProfibus.pdf)

Ethernet provee simplicidad en su implementación, así como compatibilidad, direccionamiento flexible, equidad, etc., por ello es un estándar muy popular en la actualidad.

Para poder regular el acceso al medio compartido, se utiliza el protocolo CSMA/CD (Carrier Sense, Media Access and Collision Detection). Cuando un equipo desea transmitir, primero “escucha” si alguien más está utilizando la red. Si nadie está transmitiendo puede empezar a enviar su información. Pero se puede dar el caso en el que dos equipos escuchen simultáneamente y detecten la red como desocupada, con lo que empezarían a transmitir simultáneamente, produciéndose así una colisión. Cuando se detecta una colisión, cada equipo espera un tiempo aleatorio diferente para reanudar la transmisión.

La trama de datos que se utiliza en Ethernet es la siguiente:

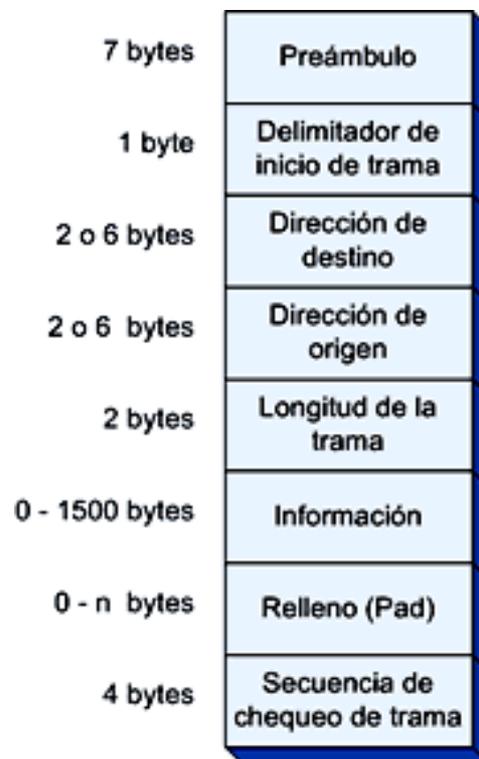


Figura 1.11. Trama Ethernet

Adicionalmente, Ethernet trabaja con los protocolos TCP/IP a nivel de las capas 4 y 3 del modelo OSI.<sup>11</sup>

Tipos:

Básicamente se consideran cuatro tipos principales de Ethernet que operan a 10Mbps, a saber:

- 10 Base-5: A nivel físico, se utilizaba cable coaxial grueso y se tenía una topología de bus mediante el uso de transceptores y terminales. En la actualidad no se construyen redes de este tipo.
- 10 Base-2: Thin Ethernet, la cual utiliza un cable coaxial delgado. Tiene una topología de bus, con la ayuda de conectores BNC.

Esta clase se sigue utilizando ocasionalmente como BackBone para interconectar concentradores (HUB, switch).

- 10 Base-T: Con este tipo de red, se aumenta la movilidad y fiabilidad de los dispositivos ya que se tiene una topología en estrella. Cada elemento de la red se conecta hacia un concentrador común.

Se utiliza cable de tipo Par Trenzado, ya sea UTP, STP o FTP. Los conectores utilizados son los RJ-45, y la conexión de los hilos en los dispositivos es regulada por la especificación EIA/TIA T568A y T568B.

---

<sup>11</sup> [http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/conocernos\\_mejor/paginas/ethernet.htm](http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/conocernos_mejor/paginas/ethernet.htm)

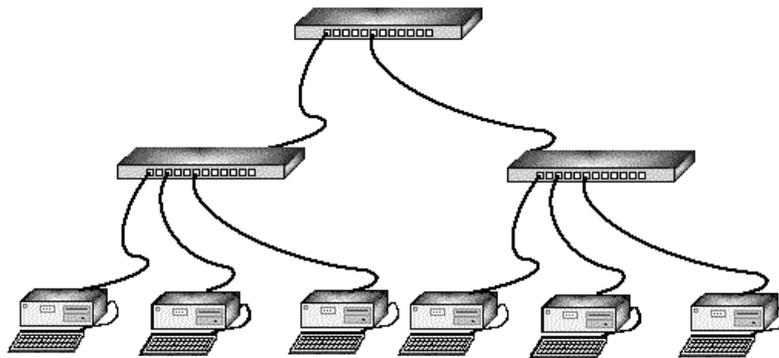


Figura 1.12. Ethernet 10 Base-T

Entre cada estación y su concentrador, la distancia máxima de la corrida es de 90m.

- 10 Base-F: Es una red Ethernet sobre fibra óptica, y aprovecha las ventajas de reducción de interferencia que provee la fibra. Con la ayuda de los repetidores adecuados, se puede alcanzar una distancia de hasta 2Km.
- Software para tratamiento de datos, el cual se maneja en mayor medida en un nivel administrativo y de gestión, ya que permite crear bases de datos donde se almacenan los datos históricos del proceso e incluso puede permitir un tratamiento estadístico de los mismos. Un ejemplo de este tipo de software es el INSQL junto con el Active Factory de la Wonderware.
- InSQL (Industrial Structured Query Language) es el lenguaje estándar SQL, el cual sirve para comunicarse con diferentes bases de datos, cuando se utiliza a nivel industrial, con programas como el Intouch, se le denomina InSQL.

INSQL permite obtener y registrar en una base de datos históricos, la información en tiempo real de cualquier variable que esté involucrada en el proceso de producción de una planta industrial.

Gracias al InSQL, se puede tener una visión completa de lo que sucede en la planta, para así poder realizar correcciones en cuanto a productividad, ya que ésta herramienta se utiliza no solo a un nivel técnico, sino a un nivel de gestión empresarial.

- ActiveFactory es un conjunto de herramientas que trabajan con el InSQL, para brindar un acceso rápido y sencillo, a los datos ya sean históricos o en tiempo real, almacenados en la base de datos.

El Active Factory consta de cuatro herramientas que facilitan el manejo de la información: Query, Report, Trend y Workbook.

## **1.2.ACTIVIDADES A REALIZARSE PARA LA CONSECUCIÓN DEL PROYECTO**

En el Laboratorio de Instrumentación se encuentran tres módulos: uno de nivel, otro de caudal y un tercero de temperatura.

El módulo de nivel posee dos tanques, es controlado con un PLC TWIDO el cual posee un módulo de expansión de entradas análogas, tiene un sensor de presión diferencial para tomar una lectura indirecta del nivel de agua del tanque principal y como actuadores una servoválvula y una bomba.

El módulo de caudal tiene dos tanques, un PLC TWIDO con un módulo de expansión de entradas análogas, un sensor de presión diferencial para la medida indirecta del nivel del tanque principal y con ésta determinar el porcentaje de apertura de la válvula de control y una bomba para la reutilización del agua que sale del tanque principal.

El módulo de temperatura posee dos tanques, uno para calentamiento del agua y otro para el enfriamiento de la misma, lo que se realiza a través de un intercambiador de calor. Para sensar la temperatura que sale del tanque

intercambiador de calor se dispone de una termocupla tipo K y como actuadores se tienen dos bombas y una resistencia de calentamiento. Este módulo no posee un controlador, ni un dispositivo para enlace a una red.

Para el enlace a una red Ethernet, los módulos de nivel y caudal disponen de un TWIDOPORT cada uno.

En los Módulos de Nivel y Caudal, de ser necesario, se probará y acondicionará los sensores, se verificará el funcionamiento de válvulas y bombas, poniéndolas operativas y, si fuese el caso, se realizará el cableado que permita rehabilitar los módulos.

Para el Módulo de Temperatura se adquirirá un controlador lógico programable TWIDO, un módulo de entradas análogas y un módulo de conexión Ethernet para el control del proceso y enlace a la red. También se realizarán las readecuaciones mecánicas necesarias para la adecuada operación de dicho módulo didáctico.

Para cada módulo se desarrollará el programa de control para el PLC.

El monitoreo y control de los módulos didácticos de control de nivel, control de caudal y módulo de temperatura se lo realizará a través de un interfaz humano máquina desarrollada en un PC, haciendo uso del software Intouch. El HMI realizará el control y monitoreo de los módulos, además podrá notificar situaciones de falla de cada módulo y también será posible establecer de manera remota los puntos de consigna de las variables de control en los módulos que lo permitan, siempre y cuando el usuario tenga el nivel de acceso adecuado.

El sistema que se va a implementar posee las siguientes características:

A nivel de hardware, debido a que dos de los módulos didácticos disponen de un módulo Ethernet acoplado a su PLC y se tiene un Access Point, se decide establecer una red de tipo Ethernet. Para la adquisición y procesamiento de los datos de las variables de proceso se hará uso de módulos de expansión de entradas análogas.

Cada PLC está ubicado en el nivel de campo/proceso, y los módulos de conexión Ethernet los convierten en una virtual Unidad Terminal Remota (RTU), ya que el conjunto PLC más Módulo de conexión Ethernet adquiere los datos del proceso, los trata y los transmite hacia un PC a través del Access Point, que cumple la función de concentrador. Cabe notar que entre el PLC y Módulo Ethernet existe una comunicación Modbus.

A nivel de control y gestión se hará uso de una PC, el cual hace la función de una Unidad Terminal Maestra (MTU). En el PC se implementará un HMI y pantallas para gestión de históricos, por ello se ha considerado a los niveles de control y de gestión como uno solo.

A nivel de software, para el desarrollo del HMI se hará uso del Wonderware Intouch, por tratarse de un paquete computacional sencillo de usar, amigable y ampliamente utilizado en la industria.

## **CAPITULO 2**

# **READECUACIÓN DE LOS MÓDULOS DE TEMPERATURA, CAUDAL Y NIVEL**

## 2.1. MÓDULO DE CAUDAL

Es un módulo didáctico que trata de reproducir las condiciones de la Presa Mulacorral, donde se busca mantener un caudal constante en la línea principal que sale de un depósito ante los cambios de nivel.

La importancia de la medición del caudal está relacionada con la necesidad de conocer la cantidad de agua disponible, y en consecuencia saber cuánta se puede gastar para riego y consumo. Igualmente es importante medir el agua porque con esta información se puede planificar el uso sostenible de este recurso y se puede elaborar una base de datos para la organización de los sistemas de almacenamiento y distribución de agua en las comunidades.



Figura 2.1. Módulo Didáctico de Caudal

## 2.1.1. SITUACIÓN EN LA CUAL SE ENCONTRÓ EL MÓDULO

### 2.1.1.1. Arquitectura del módulo

El módulo consta de dos tanques: uno principal, que es el que representa al embalse de agua, y un depósito secundario, que es a donde desemboca el agua proveniente del tanque principal, además desde aquí se realimenta al sistema para no desperdiciar agua.

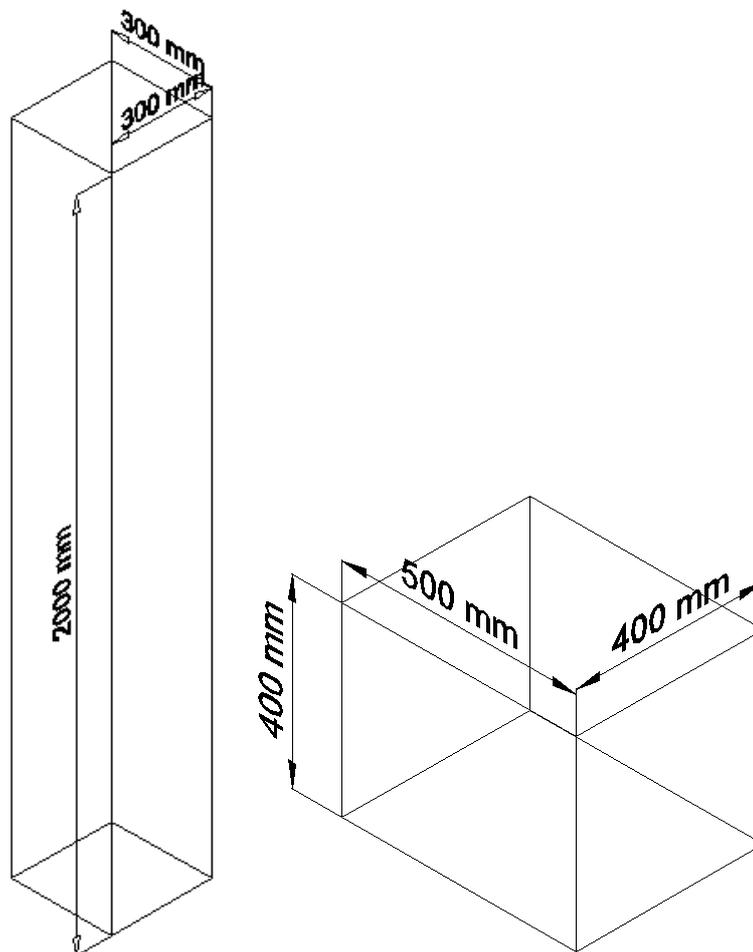


Figura 2.2. Dimensiones de los tanques principal y secundario

El tanque principal se encuentra ubicado a cierto nivel del piso ya que representa el embalse, debido a esto la estructura sobre la que está montado es de hierro y su arquitectura es muy estable para que soporte el peso del tanque cuando esté

totalmente lleno y para que las vibraciones producidas por el accionamiento de la bomba no sean transmitidos a los elementos sensibles de la planta.

El tanque secundario se encuentra ubicado a nivel del piso, ya que es aquí donde se va a descargar el agua para luego ser retroalimentada al tanque principal.

La línea de salida se encuentra conformada por los siguientes elementos:

- Sensor de presión
- Servoválvula
- Válvula manual
- Bushines o acoples
- Unión tipo universal
- Codos 45°

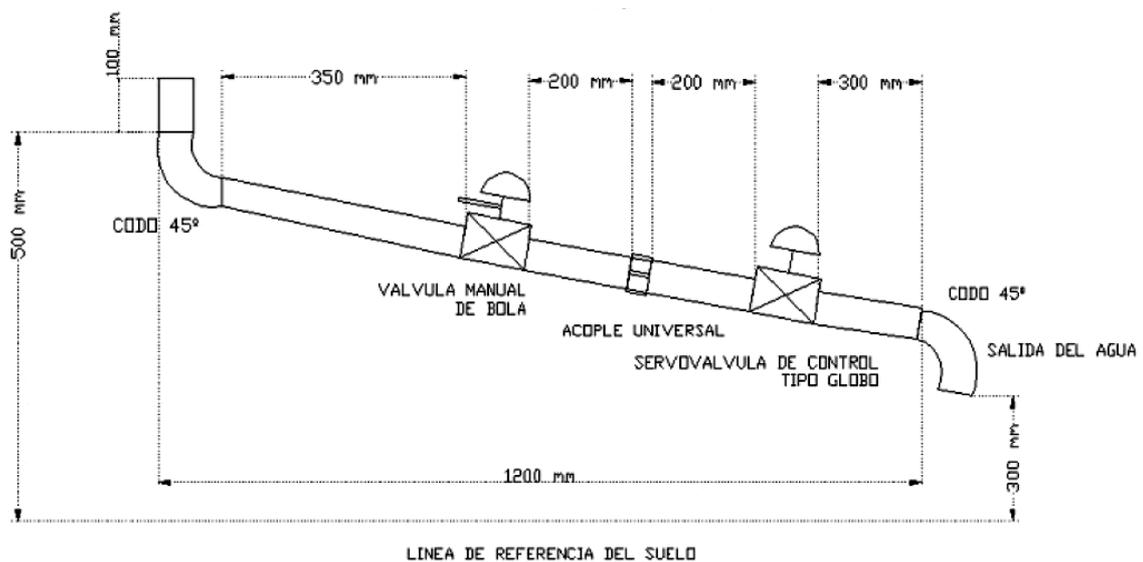


Figura 2.3. Línea de salida

La realimentación del agua se la hace por medio de una bomba, que se encuentra ubicada bajo el tanque principal con un arreglo de tuberías y una válvula anti retorno (check).

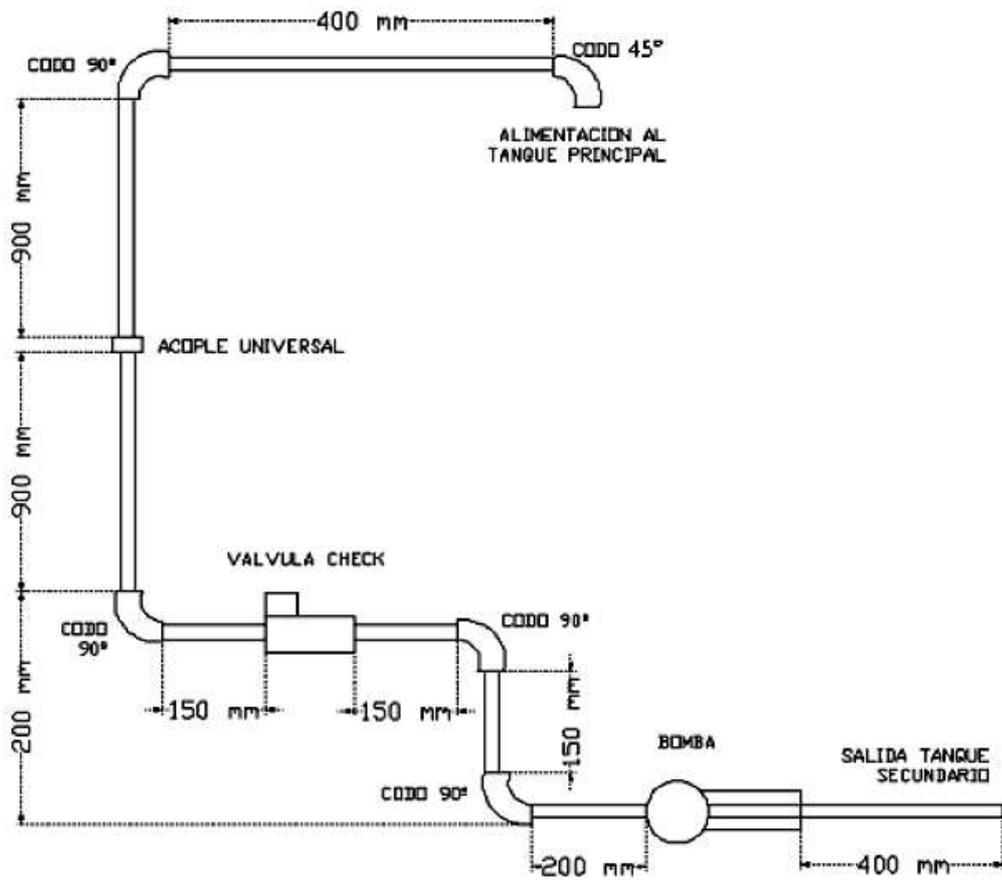


Figura 2.4. Realimentación del sistema

El gabinete de control se encuentra construido con madera y posee ventilación, la disposición de los equipos en su interior es la siguiente:

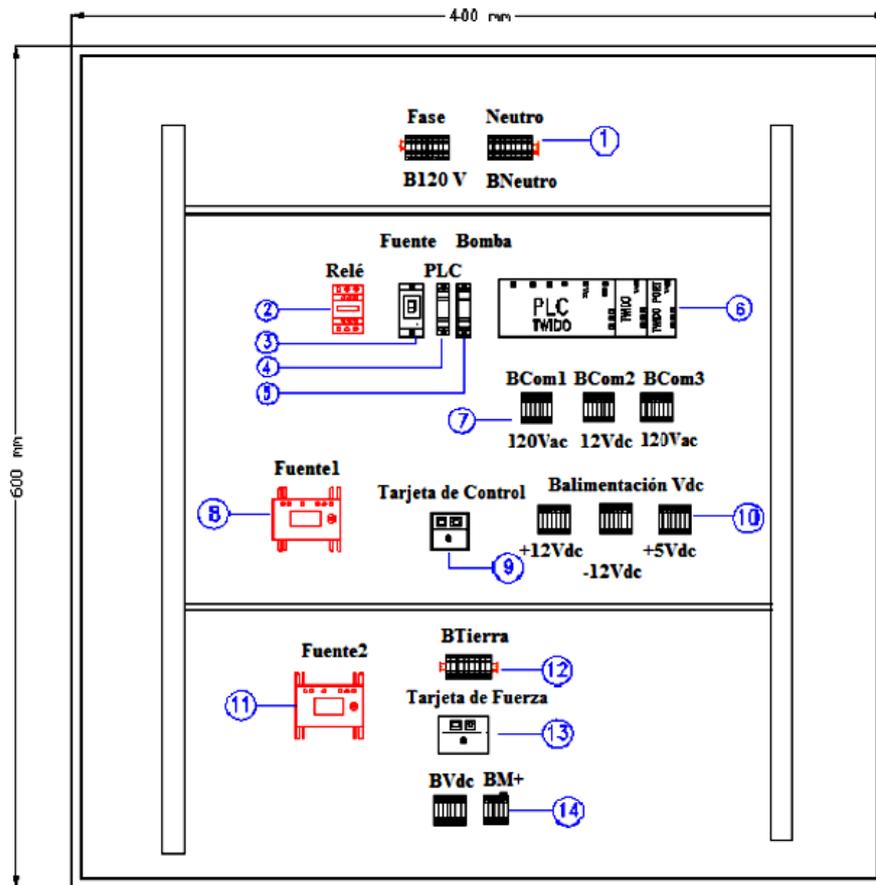


Figura 2.5. Distribución de equipos en el gabinete de control

ITEM	DESCRIPCIÓN
1	BORNERAS ALIMENTACIÓN A.C.
2	RELÉ 12VDC (PULSADOR PARO DE EMERGENCIA)
3	BREAKER ENCENDIDO GENERAL 1P 6A
4	BREAKER 1P 3A (PROTECCIÓN PLC)
5	BREAKER 1P 3A (PROTECCIÓN BOMBA)
6	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE
7	BORNERAS PLC
8	FUENTE DE ALIMENTACIÓN 1 TARJETA DE CONTROL
9	TARJETA DE CONTROL 1
10	BORNERAS DE ALIMENTACIÓN VDC
11	FUENTE DE ALIMENTACIÓN 2 TARJETA FUERZA
12	BORNERAS TIERRA
13	TARJETA ELECTRÓNICA DE FUERZA
14	BORNERAS ALIMENTACIÓN MOTOR DC

Tabla 2.1. Equipo ubicado en el gabinete de control

### 2.1.1.2. Sensores y elementos de control

- Sensor de presión

Este sensor es utilizado para medir el nivel del líquido en el tanque principal de una forma indirecta. El nivel mínimo con el que se va a trabajar es de 0.35 m., y el máximo es 1 m. de tal manera que el rango de presión con el que trabajará el sensor se determina en base a la presión hidrostática.

La presión hidrostática está definida como:

$$P_H = \delta \times g \times h$$

Ecuación 2.1

Para el límite mínimo:

$$P_H = 0.25 \text{ PSI} ,$$

La presión absoluta es:

$$P_{abs} = P_H + P_{ATMOSF.}$$

Ecuación 2.2

$$P_{abs} = 0.25 + 14.7 = 14.95 \text{ PSI}$$

Para el límite máximo:

$$P_H = 1.4 \text{ PSI} ,$$

La presión absoluta es:

$$P_{abs} = 1.4 + 14.7 = 16.1 \text{ PSI}$$

Por ello, la presión queda limitada desde los 14.95 psi hasta los 16.1 psi.

De acuerdo a este rango de presión el sensor que posee el módulo es el ASCX01DN, que presenta una salida estable en el rango de temperatura de 0 a 70°C.

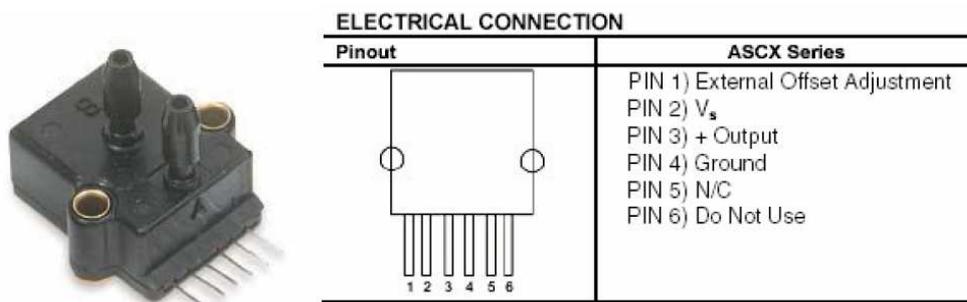


Figura 2.6. Sensor de presión ASCX01DN

Las principales características del sensor son:

- Presión de operación: 0 – 1 psi de presión relativa.
- Presión de operación: 0 – 20 psi de presión absoluta.
- Error en la escala completa: 18mV.
- Voltaje de alimentación: 5VDC – 16VDC.
- Calibrado y Compensado en temperatura
- Servoválvula

La servoválvula encontrada en el módulo fue construida de acuerdo a las necesidades del mismo, ya que una comercial presenta un costo muy elevado.

Las características de la válvula acondicionada para trabajar como servoválvula son las siguientes:

- Válvula tipo globo  $\frac{3}{4}$  de pulgada de diámetro de múltiples vueltas
- Caudal máximo de trabajo: 8.10 gpm.

- Temperatura: 200 °C
- Mínima presión diferencial en posición de cierre: 20 PSI
- Tipo de actuación: Variable, acción directa, normalmente cerrada

Se logra un caudal de 4.92 gpm con una apertura del 47% de la válvula para el nivel mínimo de trabajo (0.35m). Se toma como referencia este nivel ya que es el valor al cual el agua en el tanque secundario no se desborda.

El actuador eléctrico debe responder de manera rápida, de tal forma que el caudal de salida no presente variaciones muy altas, por lo que se usa un motor DC con un circuito adicional para el cambio de sentido de giro acoplado directamente al vástago de la válvula. Mediante poleas se acopla a un potenciómetro lineal multivuelta logrando que en 10 giros del potenciómetro la válvula se cierre totalmente.



Figura 2.7. Servoválvula construida

- Bomba eléctrica

Al tanque secundario se encuentra acoplada una bomba que permite retornar el líquido hacia el depósito principal, de manera que no se desperdicie agua.

La bomba que posee el módulo tiene las siguientes especificaciones:

Eléctricas:

- Voltaje de alimentación (V): 115/230 VAC
- Frecuencia (F): 60Hz
- Velocidad nominal ( $\omega$ ): 3400 RPM

Técnicas:

- Marca: POLO
  - Corriente Nominal (In): 2.5 A
  - Potencia Nominal (P): ½ HP (550 W)
  - Capacidad Máxima: 45 lt/min
  - Capacidad Mínima: 40 lt/min
  - Altura máxima de succión: 9 m
  - Diámetro de la bomba ("): 1"x1"
  - Peso NETO: 5.3 Kg
- 
- Controlador Lógico Programable (PLC)

El PLC disponible en el módulo es un Twido Compacto TWD LCAA 24DRF que opera a 120Vac, posee 14 entradas digitales a 24 V y 10 salidas de relé de 2 A, además posee un puerto serie RS 485 y una ranura extra para un puerto adicional RS 485 o RS 232 con protocolos Modbus Maestro/Esclavo y ASCII.

Esta base compacta de 24 E/S se puede ampliar con módulos de entradas / salidas discretas y analógicas (4 módulos como máximo).

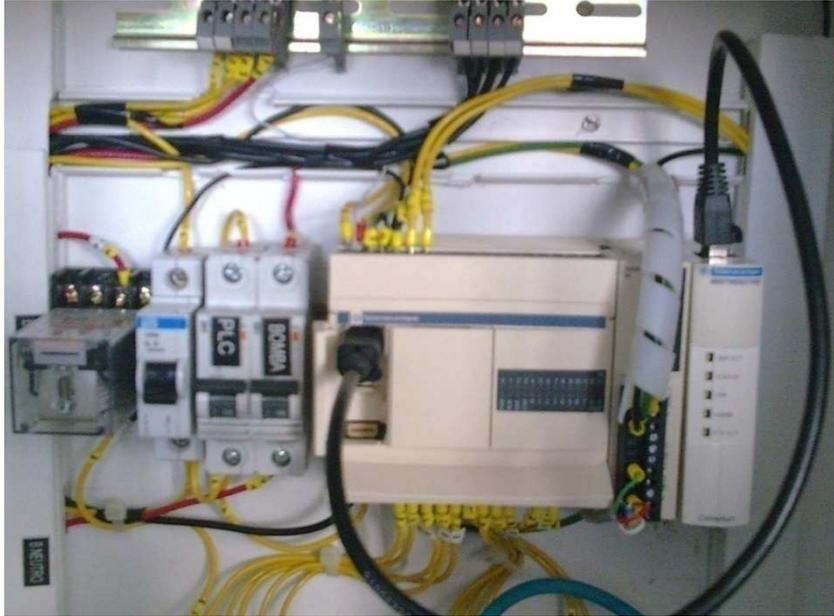


Figura 2.8. Twido Compact TWDLCAA24DRF

En este controlador se encontró agregado un módulo de expansión análogo TWDAMI2HT, el cuál posee dos entradas de 12 bits configurables de 0 a 10 Vdc o 4 a 20 mA.



Figura 2.9. Módulo de entradas análogas TWDAMI2HT

Para la comunicación con el HMI, el PLC también posee un módulo de expansión de comunicaciones 499TWD01100 (Módulo TwidoPort).

TwidoPort añade conexiones Ethernet a controladores Twido. Es una pasarela entre un solo dispositivo Modbus/RTU (RS-485) Twido y la capa física de las redes Modbus/TCP en modo esclavo. Este módulo no requiere una fuente de alimentación adicional, ya que obtiene la alimentación del controlador Twido a través de su puerto serie. Este módulo de pasarela sólo admite el modo esclavo.<sup>12</sup>

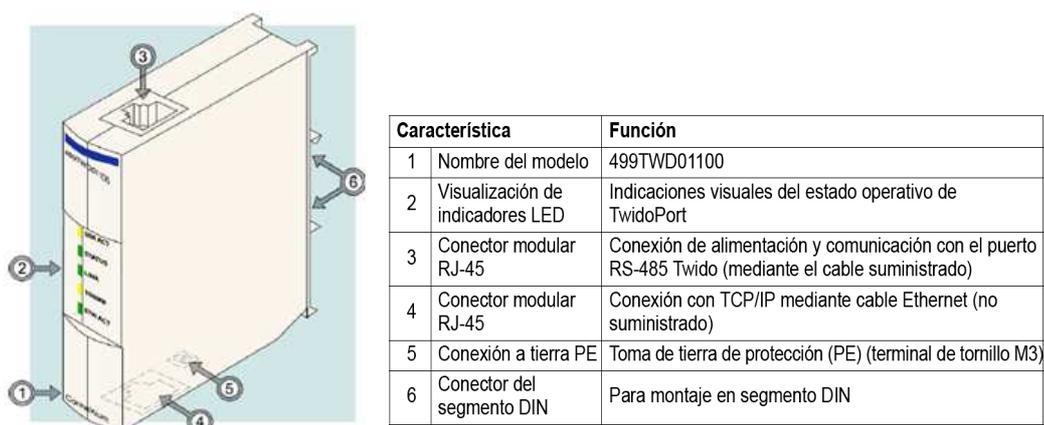


Figura 2.10. TwidoPort

El número de entradas y salidas ocupadas se detallan a continuación:

- 3 entradas digitales, las cuales fueron usadas para el paro de emergencia, fin de carrera para la válvula totalmente abierta y fin de carrera para la válvula totalmente cerrada.
- 2 entradas analógicas, usadas para el sensor de presión y para la posición de la válvula de control.
- 7 salidas digitales, empleadas para el accionamiento de la bomba eléctrica, giro horario del motor DC del actuador de la válvula de control, giro antihorario del motor DC del actuador de la válvula de control, luz indicadora de encendido general, luz indicadora de nivel máximo, luz indicadora de nivel mínimo, luz indicadora de funcionamiento de la servoválvula y luz indicadora de falla del sistema.

<sup>12</sup> Schneider Electric, "Twido Port User's Guide", Francia, 2004

### 2.1.2. SITUACIÓN ACTUAL DEL MÓDULO

Debido a que este módulo didáctico fue encontrado en buenas condiciones, no se realizaron readecuaciones a nivel de hardware, lo único que se realizó fue una serie de pruebas de sensores y actuadores para verificar su operatividad.

La medición de caudal en el módulo es indirecta, ya que en base a la presión del tanque principal se calcula el nivel de agua en el mismo, y con este valor se determina el porcentaje de apertura de la servoválvula de la línea de salida. Los constructores del módulo realizaron un conjunto de pruebas con las cuales se estableció una tabla donde se indica el nivel de agua en el tanque principal y el porcentaje de apertura necesario de la servoválvula para mantener un caudal constante de alrededor de 4.9 gpm.

<b>NIVEL</b>	<b>% APERTURA</b>	<b>CAUDAL (GPM)</b>
40	45,0	4,92
50	40,3	4,89
60	36,7	4,82
70	34,0	4,91
80	31,8	4,94
90	30,0	4,92
100	28,5	4,84
110	27,1	4,89
120	26,0	4,92
130	25,0	4,92
140	24,1	4,9
150	23,2	4,87
160	22,5	4,81
170	21,8	4,95
180	21,2	4,87

Tabla 2.2. Porcentaje de apertura de servoválvula en función del nivel de agua<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup> Diseño y construcción de un sistema SCADA sobre wi-fi para controlar el caudal de agua que sale desde un tanque

Se implementó un control proporcional sobre la apertura de la válvula en función del nivel de agua del tanque principal.

## **2.2. MÓDULO DIDÁCTICO DE CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDOS**



Figura 2.11. Módulo Didáctico de Control de Nivel de Líquidos

El módulo didáctico de control de nivel de líquidos fue construido con la finalidad de dotar al laboratorio de Instrumentación de un equipo que permita la realización de prácticas de laboratorio, cubriendo así la temática referente a medición y control de nivel de líquidos.

### **2.2.1. SITUACIÓN EN LA CUAL SE ENCONTRÓ EL MÓDULO**

#### **2.2.1.1. Arquitectura del módulo**

El módulo consta de dos tanques de vidrio:

- Principal: Este tanque tiene una capacidad de 125000 cm<sup>3</sup>, y cumple la función de tanque principal debido a que el nivel de agua del mismo, es la variable a controlar en el proceso. Por ello, los elementos de sensado están en este tanque.
- Secundario: Este tanque tiene una capacidad de 200000 cm<sup>3</sup>, y su función es la de un reservorio, el cual permite que la planta tenga un trabajo cíclico, reciclando el agua que se desfoga del tanque principal, o suministrando agua hacia el mismo.

Además, existe un panel principal en el cual se tiene:

- Luz Indicadora de encendido general del módulo.
- Luces indicadoras.
- Interruptor principal con llave.
- Pulsante de paro de emergencia.
- Dos selectores de tres posiciones.
- Display LCD.
- Teclado matricial.
- Potenciómetro.
- Conector DB9.

#### **2.2.1.2. Elementos para control**

- Sensor de presión diferencial ASCX01DN marca SENSYM, que mide la presión en el fondo del tanque principal para así determinar el nivel de agua de una manera indirecta.

Las características eléctricas del sensor son:

- Presión de operación: 0 – 1 psi de presión relativa.
- Presión de operación: 0 – 20 psi de presión absoluta.
- Error en la escala completa: 18mV.
- Voltaje de alimentación: 5VDC – 16 VDC.

- Calibrado y Compensado en temperatura



Figura 2.12. Sensor de presión diferencial

Como no se utiliza el sensor dentro de todo su rango de medida, la salida del mismo se acondiciona para ajustarla a un rango de 2cm hasta 30cm de agua en el tanque principal.

Haciendo uso de la Ecuación 2.1 la presión hidrostática es:

Para el límite mínimo:

$$P_H = 0.028 \text{ PSI} ,$$

Haciendo uso de la Ecuación 2.2 la presión absoluta es:

$$P_{abs} = 0.028 + 14.7 = 14.728 \text{ PSI}$$

Para el límite máximo:

$$P_H = 0.42 \text{ PSI} ,$$

$$P_{abs} = 0.42 + 14.7 = 15.12 \text{ PSI}$$

Por ello, la presión queda limitada desde los 14.728 psi hasta los 15.12 psi.

- Sensor potenciométrico de flotador.

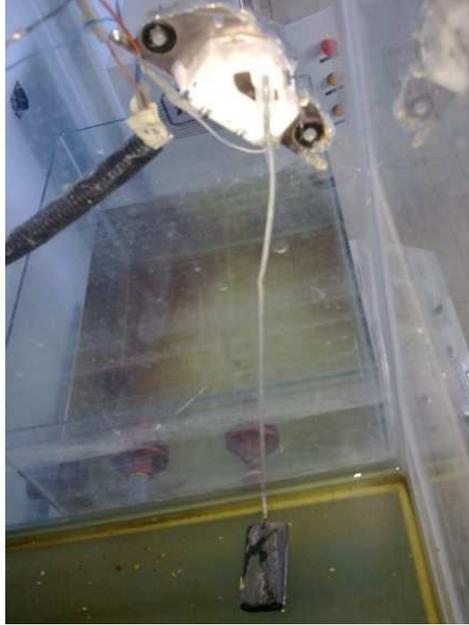


Figura 2.13. Sensor Potenciométrico de nivel

- Electrodo para los niveles máximo y mínimo del tanque principal.



Figura 2.14. Electrodo

- Acondicionamiento para sensor conductivo marca Telemecanique.



Figura 2.15. Acondicionamiento para sensor conductivo de nivel

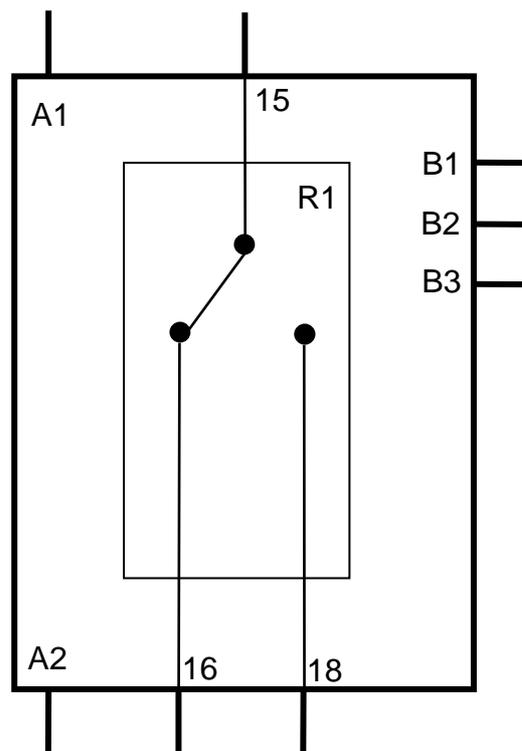


Figura 2.16. Diagrama esquemático del acondicionador

El acondicionador para sensores conductivos posee un potenciómetro que permite regular su sensibilidad, un selector para modo de operación, un contacto normalmente abierto y un normalmente cerrado con un terminal común (18, 16 y 15), dos terminales de alimentación de 120VAC (A1 y A2) y la posibilidad de conectar tres electrodos (B1, B2 y B3).



Figura 2.17. Selector de modo de trabajo

El selector de modo de operación permite especificar si la activación de los contactos será de manera normal o complementada.

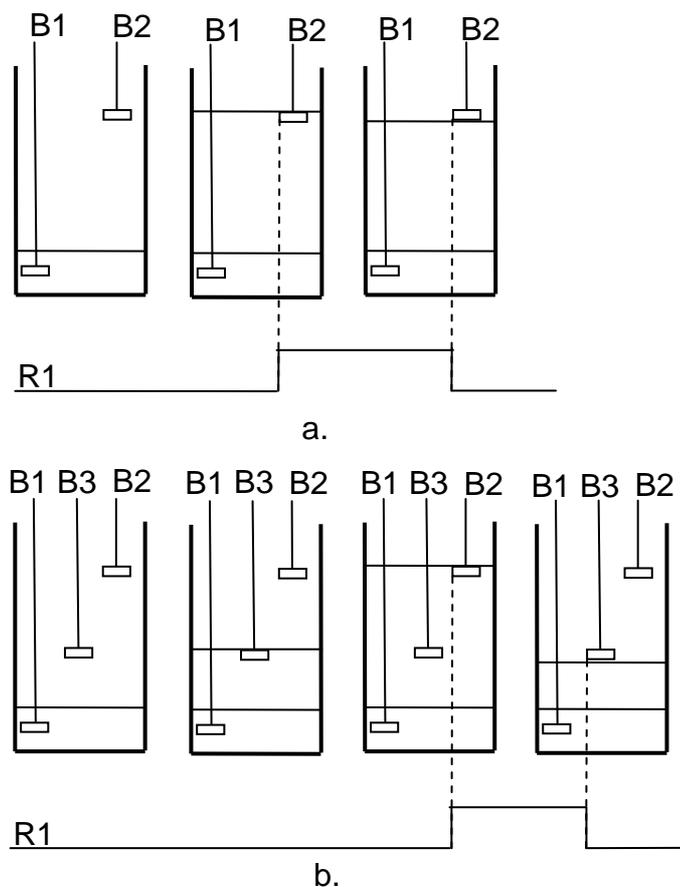


Figura 2.18. Operación en modo normal con dos (a.) y tres (b.) electrodos

- Para proteger a la bomba, debido a la eventual presencia de una sobrepresión, se dispone de un presostato.



Figura 2.19. Presostato

- Para variar el nivel de agua del tanque principal se encontró una servoválvula, la cual se encarga de disminuir dicho nivel, permitiendo el desfogue de agua desde el tanque principal hacia el tanque secundario.



Figura 2.20. Servoválvula

El servo-mecanismo fue construido acoplado una válvula de globo de  $\frac{3}{4}$ " marca CRANE, a un motor de DC de 12 voltios.

- Una bomba que permite reutilizar el agua desde el tanque secundario hacia el tanque principal.



Figura 2.21. Bomba

La bomba que se encuentra en el módulo es de marca PAOLO, de ½HP modelo PKM60-1.

- Para realizar el control del proceso, se encontró un PLC TWIDO modelo TWDLCAA24DRF.



Figura 2.22. PLC

El PLC presenta las siguientes características:

- 14 entradas digitales.
  - 10 salidas digitales tipo relé.
  - 2 puertos seriales.
  - Alimentación general: 100/240 V<sub>AC</sub>.
  - Alimentación de las entradas digitales: 24 V<sub>DC</sub>.
- 
- En este controlador también se encontró agregado un módulo de expansión análogo TWDAMI2HT, el cual posee dos entradas de 12 bits configurables de 0 a 10 Vdc o 4 a 20 mA.
  - Para la comunicación con el HMI, el PLC posee un módulo de expansión de comunicaciones 499TWD01100 (Módulo TwidoPort).

En el panel principal se encontraron los elementos descritos anteriormente, pero la mayoría no se encontraban conectados y el cableado que se encontró estaba hecho con los hilos de alambre de cable UTP y no se podía identificar hacia dónde estaba conectado.

Varias tarjetas electrónicas fueron encontradas en una funda y los elementos que todavía estaban siendo utilizados estaban fijados a la estructura del panel con silicona.

Los módulos de expansión del PLC se encontraron dispersos dentro del panel sin ningún orden, dando la impresión de no estar siendo utilizados.

### **2.2.2. SITUACIÓN ACTUAL DEL MÓDULO**

Para rehabilitar el módulo primero se quitaron todas las conexiones. Se colocó una riel DIN para fijar el PLC, sus módulos de expansión y el sensor conductivo. Se identificaron los terminales correspondientes a cada sensor y actuador, y se

realizó un nuevo cableado con alambre flexible número 18, a través de una canaleta para llevar la información del proceso hacia el PLC.



Figura 2.23. Canaleta y riel DIN

Adicionalmente se colocaron borneras en la parte posterior del módulo, en las cuales se ubicaron todos los terminales de los sensores y actuadores así como de la alimentación general, para que sean fácilmente identificables y enlazables al PLC. También se ubicaron borneras que permiten tener disponibles los terminales de las fuentes DC y del sensor de presión para una fácil interconexión.

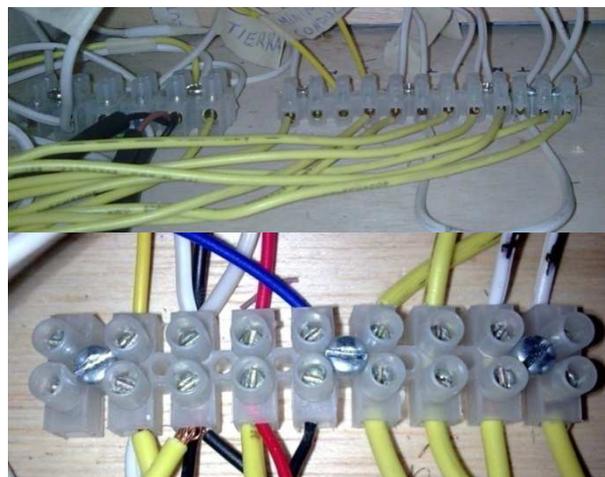


Figura 2.24. Borneras de conexión

El sensor de presión no tenía acondicionamiento, por lo cual se realizaron pruebas de su operación, y se determinó que no era imprescindible normalizar la salida del sensor hacia el módulo de entradas análogas, ya que en el PLC se puede tratar ésta señal gracias a que el rango de presiones en el cual se trabaja produce voltajes dentro del rango permitido en el módulo, los cuales son 0.3004 VDC para una altura de 2cm, y 1.827 VDC para una altura de 30cm.

Se realizaron pruebas en la servoválvula, y se observó que su apertura y cierre total tomaba poco tiempo, por lo cual el control se lo realiza sólo a la válvula totalmente abierta o cerrada mediante un motor DC controlado por un puente H, constituido por cuatro relés con bobina a 12 VDC. El voltaje que tiene el potenciómetro acoplado al eje del motor de la válvula fluctúa alrededor de 3.71 VDC cuando la válvula está totalmente abierta, y 4.2 VDC cuando la válvula está totalmente cerrada.

Se implementó un control ON-OFF sobre la servoválvula la cual se abre cuando se necesita reducir el nivel de agua del tanque principal, y también se implementó el mismo tipo de control sobre la bomba, encendiéndola cuando se requiere elevar el nivel de agua.

### **2.3. MÓDULO DE TEMPERATURA**

El módulo de temperatura busca emular un proceso de intercambio de calor. La variable que se desea controlar es la temperatura del agua que sale del tanque intercambiador de calor. La filosofía principal es disponer de un flujo de agua caliente proveniente de algún proceso anterior, y proceder a enfriarla; pero por fines didácticos, se utiliza un primer tanque para elevar la temperatura del agua para su posterior enfriamiento, el cual se efectúa en un segundo tanque que posee un serpentín en su interior.

Se debe tener en cuenta que este proceso es bastante lento en cuanto al cambio de temperatura del agua, además que la capacidad del tanque de calentamiento es pequeña, por lo cual no se dispone de suficiente agua caliente para realizar

cambios drásticos del setpoint, esto produce que se termine el agua caliente antes de alcanzar dicho valor.



Figura 2.25. Módulo de Temperatura

### 2.3.1. SITUACIÓN ANTERIOR DEL MÓDULO

El intercambiador de calor fue un proyecto presentado en instrumentación industrial, el mismo que se presume no se puso en operación debido a los problemas que presentaba y condiciones en que se lo encontró.

El módulo constaba de dos depósitos, el primero es donde se calienta el líquido (agua) y poseía un termostato; el segundo tanque (intercambiador de calor) es

donde se enfría el líquido, es decir, realiza la transferencia de calor a través de un serpentín sumergido. Esta lógica aún se conserva.



Figura 2.26. Condiciones en las que se recibió el Módulo

La estructura base ubica al depósito de agua caliente en la parte superior y al intercambiador en la parte baja, como se muestra en la figura 2.19, el problema principal de esta estructura era su poca solidez, presentaba complicaciones al momento de encender alguna de las bombas eléctricas, ya que la vibración de la estructura era demasiado evidente. Otro problema fue que la estructura no contaba con un tablero de control.

El termostato que se encontró en el tanque de calentamiento es de tipo bimetalico, un termostato bimetalico consiste en dos láminas de metal unidas, con diferente coeficiente de dilatación térmico. Cuando la temperatura cambia, la lámina cambia de forma actuando sobre unos contactos que cierran un circuito eléctrico, los cuales pueden ser normalmente abiertos o normalmente cerrados,

cambiando su estado cuando la temperatura alcanza el nivel para el que son calibrados.

En cuanto al sensado de nivel del líquido, el tanque de calentamiento poseía tres electrodos que se usaban para la detección de nivel máximo y mínimo por conductividad. Cabe aclarar que la circuitería de acondicionamiento no se encontraba implementada.

El llenado del tanque de calentamiento se lo hacía por medio de una bomba eléctrica, el agua era suministrada desde un recipiente, el problema que se halló aquí fue que la bomba estaba trabada.

Para el vaciado se usaba otra bomba eléctrica, la cual era suministrada desde una toma en la parte inferior del tanque de calentamiento, llevando el agua a través del serpentín para el intercambio de calor.

En cuanto al tanque de enfriamiento, poseía un serpentín helicoidal fabricado de bronce cuyo principal problema era las fugas que presentaba. Otro problema era el sellamiento de la tapa que no presentaba un buen ajuste ya que eran evidentes los orificios entre ésta y el tanque. Además no existía ningún dispositivo que permita determinar el nivel del líquido.

Es necesario aclarar que no se encontró ningún dispositivo que suministre el fluido o medio frío al tanque intercambiador.

Tanto el tanque de calentamiento como el de enfriamiento no poseían el orificio de purga.

En lo que se refiere a la plomería, las tomas de agua para la bombas son de 1 pulgada pero mediante reducciones y acoples universales todo se redujo a tuberías de ½ pulgada, a excepción de la toma de suministro la bomba que llena al tanque de calentamiento. El inconveniente que se encontró aquí fue la presencia de fugas de agua, especialmente en las uniones universales.

A la salida de la toma de agua se encontraba ubicada una llave tipo globo para tubería de ½ pulgada. Aquí estaba acoplada con cinta adhesiva una termocupla tipo K, es decir, el montaje no era muy confiable.

La termocupla no poseía acondicionamiento alguno, el cual es necesario para poder realizar el control de la temperatura de salida del fluido.

No se encontró ningún dispositivo o aparato, llámese este Microprocesador, Controlador o Controlador Lógico Programable (PLC), es decir, no se podía implementar ningún algoritmo o tipo de control. Como consecuencia de esto tampoco existía dispositivo alguno que permita realizar el control desde un Interfaz Humano Máquina (HMI).

Por todos estos inconvenientes se resolvió estructurar nuevamente todo el Módulo, en cuanto se refiere a partes mecánicas, plomería, instrumentación y control; haciendo uso de los dos tanques, adquiriendo o diseñando e implementando la circuitería y dispositivos necesarios para poder poner en operación dicho Módulo.

### **2.3.2. SITUACIÓN ACTUAL DEL MÓDULO**

#### **2.3.2.1. Estructura**

Se utilizó como base la estructura ya existente, pero ya que se usan bombas eléctricas para abastecer de agua a los tanques se decidió colocarlos al mismo nivel.

La estructura fue reforzada con el fin de reducir las vibraciones producidas al momento de encender las bombas eléctricas. Además por facilidad de movilización del módulo, se dotó de ruedas a la estructura.

También se acondicionó la estructura para poder colocar un panel de control que se pueda desmontar en caso de ser necesario. Debajo de la base donde se

apoyan los tanques se dispuso una pequeña plataforma donde se colocan las bombas eléctricas.



Figura 2.27. Estructura base del Módulo

### 2.3.2.2. Tanques de calentamiento y enfriamiento

Lo que primero se hizo fue retirar la cubierta del tanque de calentamiento y la tapa del tanque de enfriamiento para poder realizar una limpieza superficial.

Luego se vaciaron los tanques y se los liberó de toda basura sólida que pueda dar problemas al momento del llenado y vaciado de los mismos

Las tomas de agua de  $\frac{1}{2}$  pulgada fueron reemplazadas por tomas de 1 pulgada de diámetro. Y se taparon todas las fugas que estaban presentes en la superficie de ambos tanques.



Figura 2.28. Tomas de agua superior e inferior

También se instaló soportes en la base de los tanques para poder fijarlos a la estructura.

Se acopló además una unión en la parte superior de los tanques para poder introducir los electrodos que permiten detectar nivel, de tal forma que se puedan desmontar fácilmente en caso de daño o mantenimiento.



Figura 2.29. Acople para el sensor conductivo

Se añadieron orificios en la base de los tanques para purga en caso de limpieza.

En la parte frontal del tanque de calentamiento se instaló la vaina de un termómetro bimetalico, el cual permite conocer la temperatura a la que se encuentra el agua.



Figura 2.30. Indicador de temperatura

Además, para realizar el rápido calentamiento del agua se instaló una nueva resistencia con su termostato, ubicada en la parte superior trasera del tanque, teniendo en cuenta que no entre en contacto con la resistencia inferior o con la vaina del termómetro.



Figura 2.31. Segunda resistencia de calentamiento

En el tanque de enfriamiento se soldó un soporte plano en el filo del tanque y en la tapa de tal forma que ambos soportes se besen al momento de cerrar el tanque y permitiendo un sellado mucho mejor que el anterior.

El serpentín del tanque de enfriamiento fue reemplazado, ya que presentaba orificios. El nuevo serpentín es de bronce, y posee una forma helicoidal.

El montaje de éste se lo realizó pensando en su rápido acoplamiento y desacoplamiento en caso de que se necesite reemplazarlo, cabe aclarar que no está soldado, está acoplado mediante uniones de bronce enroscable.



Figura 2.32. Serpentín

El serpentín tiene una longitud de 7 metros en tubería de bronce con un diámetro de  $\frac{3}{4}$  de pulgada.

Por último, los tanques fueron pintados por cuestiones estéticas y para evitar su deterioro y oxidación.

### 2.3.2.3. Sensores y elementos de control

- Detectores de nivel de agua

Tanto en el tanque de calentamiento como en el de enfriamiento, se instalaron detectores de nivel de tipo conductivo utilizando electrodos.

En el tanque de calentamiento se detectan tres niveles: bajo, ubicado a 10 cm de la base del tanque; medio, ubicado 40 cm de la base, sobre la resistencia de calentamiento inferior; alto, ubicado a 7 cm de la parte superior, pero sobre la segunda resistencia de calentamiento.

A continuación se detalla su diseño y los aspectos tomados en cuenta para ello:

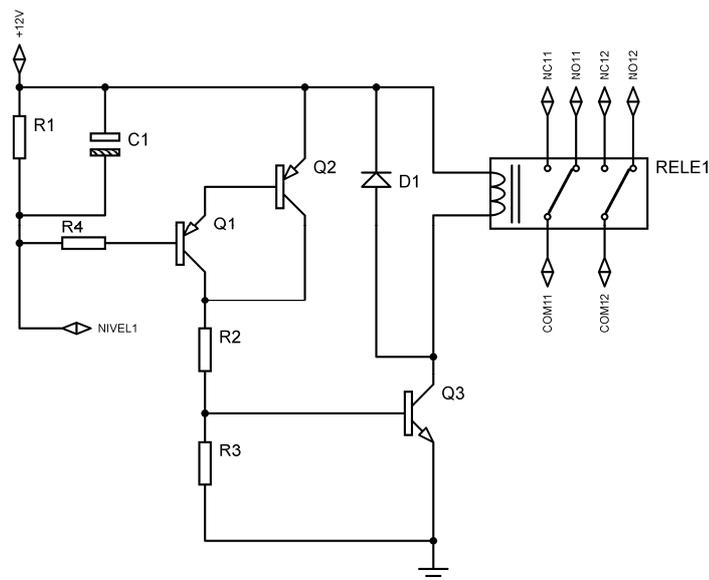


Figura 2.33. Circuito detector de agua

Se asume R1 de un valor muy alto, para contrastar con la resistencia aproximada del agua (alrededor de 15MΩ), de ahí R1=10MΩ.

Despreciando las caídas de voltaje colector emisor de los transistores PNP, considerando que la bobina del relé consume 25mA y asumiendo un β de 50:

$$I_{BQ3} = \frac{I_{CQ3}}{\beta}$$

Ecuación 2.3

$$I_{BQ3} = \frac{25mA}{50} = 0.5mA$$

Sean R2=R3, para garantizar los 0.5mA mínimos en la base 3 para que Q3 se sature cuando Q2 se sature, de donde R2=1KΩ=R3.

$$I_{CQ2} = \frac{V_{CC} - \Delta V_{CE}}{R2 + R3}$$

Ecuación 2.4

$$I_{CQ2} = \frac{12V - 0.2V}{2000\Omega} = 5.9mA$$

La corriente mínima para saturar el arreglo Darlington PNP, es:

$$I_{Bmin} = \frac{I_{CQ2}}{\beta_1 * \beta_2}$$

Ecuación 2.5

$$I_{B\min} = \frac{5.9mA}{50 * 50} = 2.36\mu A$$

asumiendo que el  $\beta$  de cada transistor de la configuración Darlington es 50.

$$V_{R1} \approx \frac{R1}{R1 + R_{agua}} * V_{CC}$$

Ecuación 2.6

$$V_{R1} \approx \frac{10M\Omega}{10M\Omega + 15M\Omega} * 12 = 4.8V$$

$$V_{B1} = V_{R1} - \Delta V_{BE}$$

Ecuación 2.7

$$V_{B1} = 4.8V - 0.7V = 4.1V$$

$$R4 = \frac{V_{B1}}{IB\min}$$

Ecuación 2.8

$$R4 = \frac{4.1V}{2.36\mu A} = 1.7M\Omega$$

Tomando en cuenta que se asumieron las peores condiciones, tanto para  $\beta$  como para la corriente, como aquella es una corriente mínima, se asume una resistencia de  $4.7K\Omega$  en la base de Q1 para garantizar su saturación, con aproximadamente  $800\mu A$ .

Para seleccionar el capacitor, se considera un tiempo aproximado estable después de rebotes del relé de 10ms, con lo que:

$$C \approx \frac{\tau}{R_{eq}}$$

Ecuación 2.9

$$C \approx \frac{10ms}{10M\Omega \parallel 15M\Omega} = 1.6nF$$

Para garantizar la estabilidad del voltaje ante rebotes, se escoge un capacitor de 47nF.

El circuito electrónico diseñado está realizado con transistores trabajando en corte y saturación con los siguientes valores:

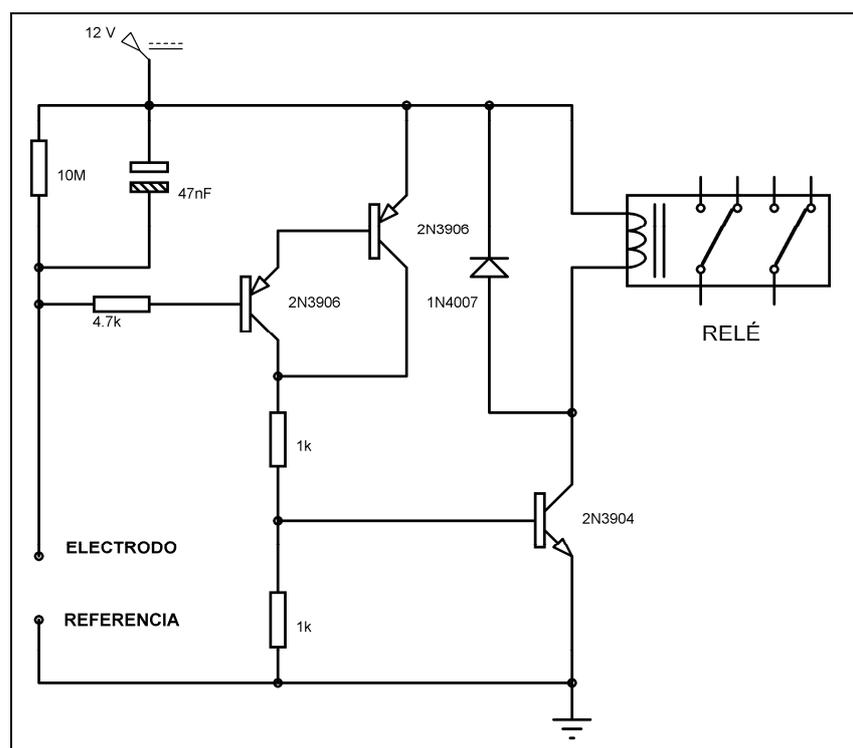


Figura 2.34. Circuito detector del nivel agua

Este circuito permite activar un dispositivo que se conecte en serie con los contactos del relé, cada vez que los electrodos sean sumergidos en líquidos tales como el agua.

Su funcionamiento está basado en la detección de una pequeña corriente por el transistor PNP superior. Dicha corriente es la que atraviesa el líquido que debe activar la alarma. Por ser tan pequeña, deben usarse dos transistores en configuración Darlington con el fin de tener un coeficiente de amplificación alto, lo suficiente como para activar la base del transistor PNP que activa al relé, con el objeto de evitar falsas alarmas y hacer que éste se active solamente cuando haya una verdadera corriente a través de las puntas de prueba.

Se implementó una circuitería en placa de cobre con tres detectores de agua iguales al que se muestra en la figura, lo cual permite detectar tres niveles de líquido, se usa en el tanque de calentamiento detectando niveles máximo, mínimo y medio.

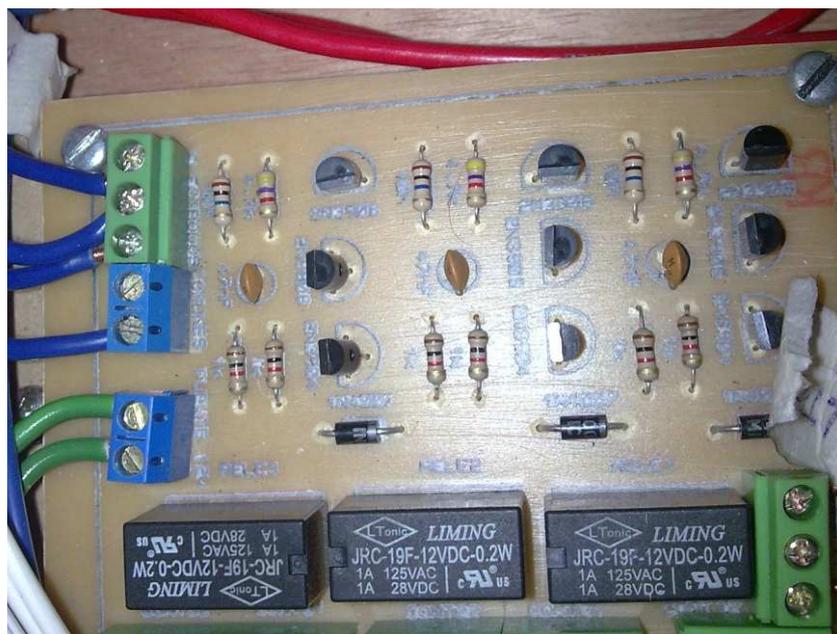


Figura 2.35. Detector de nivel de agua

Para el tanque de enfriamiento también se usa una circuitería igual, pero solo se detectan nivel máximo y mínimo, de tal forma que queda libre un relé, que podría ser usado para detectar otro nivel de líquido en caso de que en un futuro sea necesario.

- Sensor de temperatura

El sensor utilizado es una termocupla tipo K ( $40 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ), la cual posee un pequeña vaina, y está montada al final del serpentín, mediante ésta se determina la temperatura del líquido saliente.

Se diseñó un circuito acondicionador para obtener una señal de voltaje, la cual se conecta a la entrada analógica del PLC.

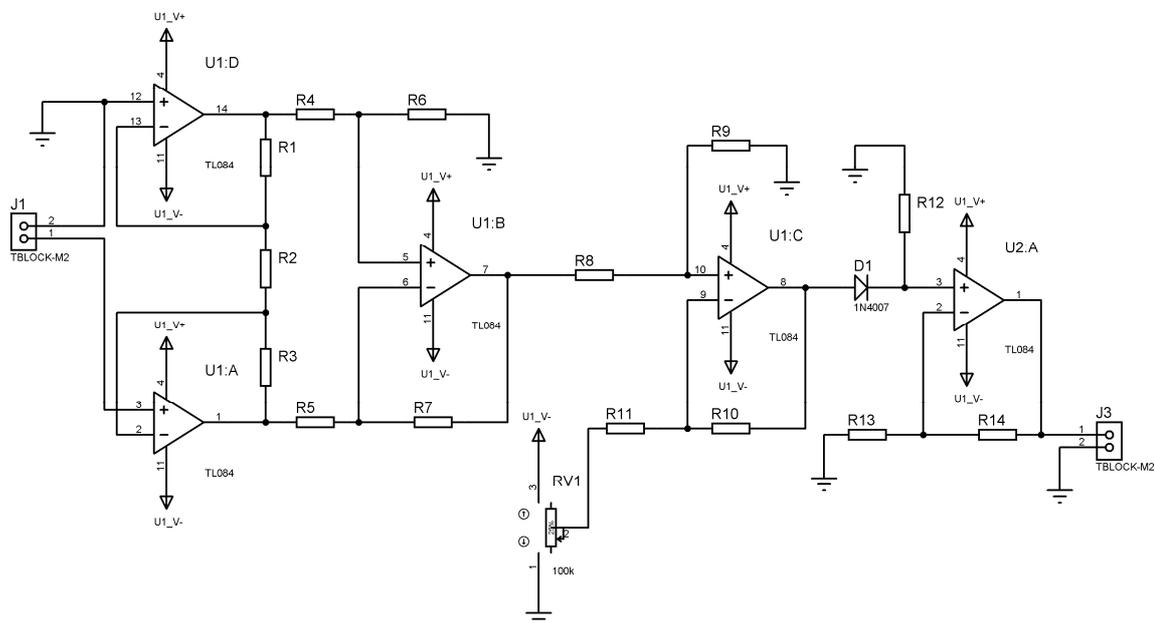


Figura 2.36. Acondicionamiento para termocupla

La primera etapa de amplificación, se la realiza con un amplificador de instrumentación con tres amplificadores operacionales, para obtener una ganancia teórica de 500.

$$A_v = \left( \frac{R6}{R4} \right) * \left( 1 + \frac{2R1}{R2} \right)$$

Ecuación 2.10

Se asume la ganancia de  $R6/R4=2$  y la de  $1+2R1/R2=250$ . De ésta forma, asumiendo  $R2=1K\Omega$  se tiene  $R1=100K\Omega$ . Como se consideraron valores estándar, la ganancia de  $R6/R4$  se debe calcular nuevamente, con lo que  $\frac{R6}{R4} = \frac{500}{201} = 2.487$ .

Se asume  $R4=10K\Omega$ , con lo que se obtiene  $R6 \approx 24K\Omega$ . Se toma el valor estándar de  $22K\Omega$ , obteniéndose una ganancia total de 442.2.

Se necesita una etapa adicional de amplificación, pero para garantizar y poder regular el voltaje de manera que nunca se obtengan valores negativos que afecten a la entrada análoga del PLC, se agrega una etapa adicional, con un amplificador restador, el cual se comporta como un sumador debido a que el voltaje en la entrada negada es negativo; esto se hace para compensar el voltaje forward del diodo que asegura la no presencia de voltajes negativos a la salida de esta etapa.

Para tomar una lectura directa de dicha compensación, la ganancia de esta etapa es unitaria. Por ello se asumen  $R8=R9=R10=R11=12K\Omega$ .

La última etapa es un amplificador no inversor, cuya ganancia debe ser tal que la termocupla no pase de 5VDC cuando se sense  $100^{\circ}\text{C}$ .

A  $100^{\circ}\text{C}$  la termocupla entrega aproximadamente 4mV, por ello a dicha temperatura se busca tener 5V. De allí la ganancia de la última etapa es de aproximadamente  $A_{v2} = \frac{5V}{4mV * 442.2} = 2.8$ . Se asume  $R13=10K\Omega$ , con lo que

$R14 = R13 * (2.8 - 1) = 18K\Omega$ . Como el módulo de entradas análogas acepta voltajes de 0 a 10 voltios, no existe problema en incrementar la ganancia para tener una mejor resolución trabajando con temperaturas un poco menores a los  $100^{\circ}\text{C}$ , por lo que se escoge  $R14=12K\Omega$ , obteniendo una ganancia parcial de 3.2.

El circuito implementado es el siguiente:

Figura

2.37.

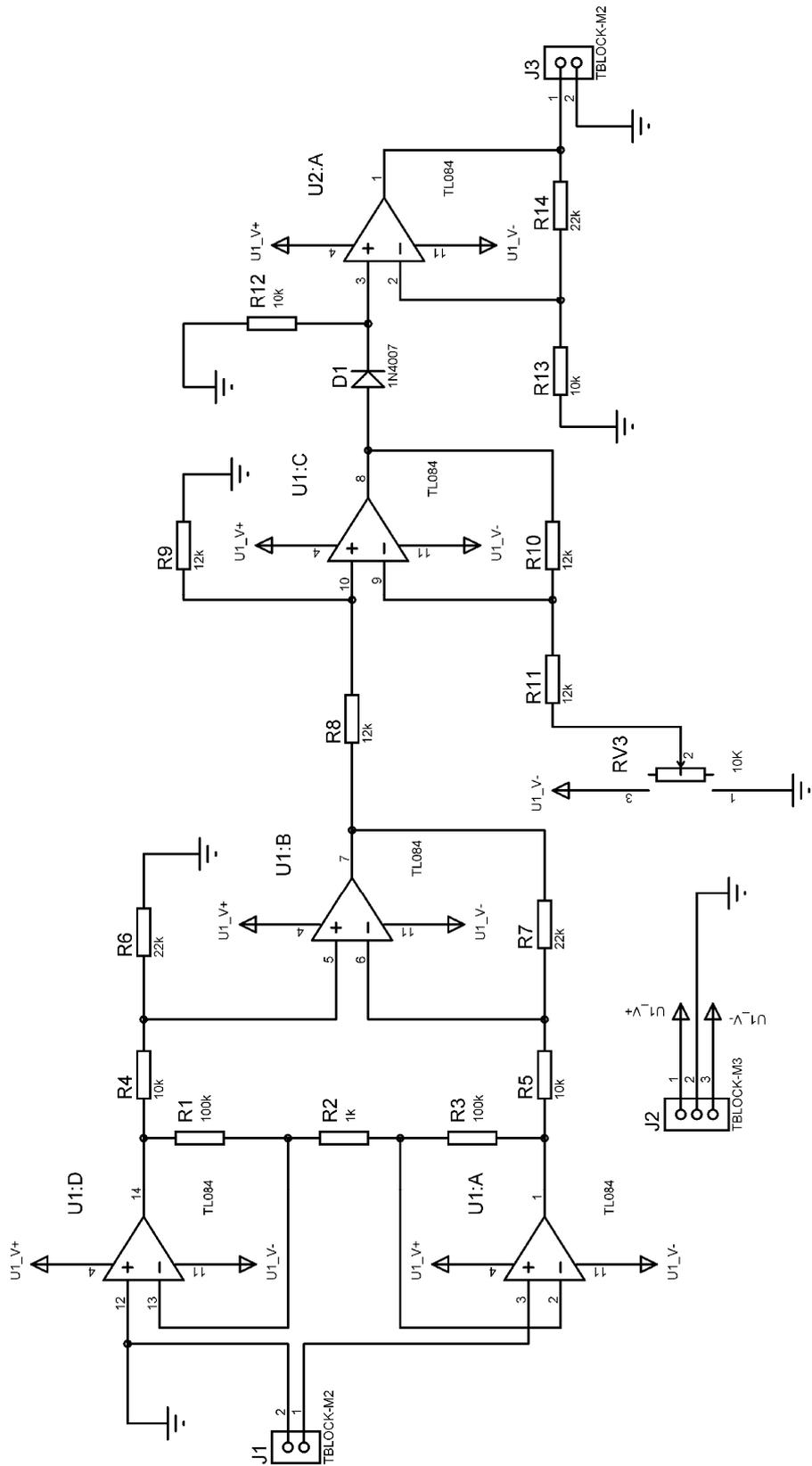


Diagrama esquemático del acondicionamiento para termocupla

No se procuró normalizar la salida del acondicionamiento dentro del rango de trabajo, debido a que mediante el software del PLC se puede conseguir escalar y normalizar en cualquier rango.

- Electroválvulas



Figura 2.38. Electroválvulas de solenoide

Se encuentran instaladas tres electroválvulas; una que permite la entrada de agua a tanque de calentamiento; la segunda se usa para hacer un recirculamiento del agua en el tanque de calentamiento, esto se hace para la temperatura de agua sea lo más uniforme y la tercera es para permitir el paso del agua caliente hacia el serpentín para dar lugar a su enfriamiento.

- Bombas eléctricas

Una de las dos bombas que posee el módulo, es utilizada para cumplir dos funciones: Recircular el agua del tanque de calentamiento o sacar el agua de dicho tanque.

La segunda bomba se utiliza para introducir agua al intercambiador de calor, para disminuir (de ser necesario) la temperatura del agua que sale del tanque de calentamiento.

Una tercera bomba fue adquirida, la cual saca el agua del tanque intercambiador de calor, esto para poder hacer más rápido el ciclo de enfriamiento.



Figura 2.39. Bombas eléctricas

- PLC TWIDO COMPACTO TWDLCAA24DRF

Es el mismo PLC que tienen los módulos de caudal y nivel, el cual posee:

- 14 entradas digitales.
- 10 salidas digitales tipo relé.
- 1 puertos seriales.
- Alimentación general: 100/240 V<sub>AC</sub>.
- Alimentación de las entradas digitales: 24 V<sub>DC</sub>.

El PLC fue adquirido junto con un módulo de dos entradas análogas TWDAMI2HT y el Twido Port.



Figura 2.40. PLC del Módulo de Temperatura

## **CAPÍTULO 3**

### **DESARROLLO DEL SOFTWARE**

En este capítulo se describe el software desarrollado para los PLC's y las HMI desarrolladas para el sistema SCADA.

Los PLC de marca TWIDO se programan con el software TwidoSoft y las diferentes pantallas para supervisión se desarrollan en Intouch.

### **3.1. TWIDOSOFT V3.5**

TwidoSoft es un entorno de programación gráfico, el cual permite generar aplicaciones para autómatas programables Twido.

Las funciones principales del TwidoSoft son:

- Programación y configuración del autómata Twido.
- Control y comunicaciones del autómata.

Esta versión del TwidoSoft trabaja en los sistemas operativos Windows 98 segunda edición, Windows 2000 Professional o Windows XP.

Como en la mayoría de PLC, Twido funciona de manera cíclica, leyendo entradas, realizando la lógica del programa de control, y escribiendo salidas.

Desarrollar un programa consiste en escribir una serie de instrucciones en uno de los lenguajes de que dispone el TwidoSoft, ya sea en lista de instrucciones, Ladder Logic o Grafcet.

#### **3.1.1. CONFIGURACIONES EN TWIDOSOFT**

Para desarrollar una aplicación, lo primero que se debe hacer es seleccionar el tipo de autómata con el cual se va a trabajar. Para ello simplemente en el árbol del proyecto, se da clic derecho sobre el nombre del PLC y aparecerá una lista con varias opciones, de las cuales se escoge el PLC a ser utilizado.



Figura 3.1. Configuración de tipo de PLC



Figura 3.2. Ventana para selección del autómata

Para añadir módulos de expansión, igualmente se lo puede hacer dando clic derecho sobre la opción “Bus de ampliación” del árbol del proyecto.

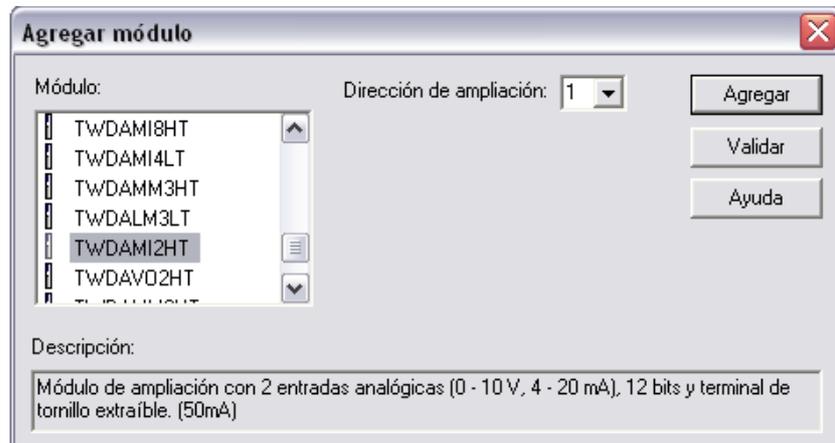


Figura 3.3. Selección de módulo de ampliación

Previo a la selección del Twido Port, se deben configurar las comunicaciones del controlador. Para los tres módulos se configura una comunicación de tipo Modbus.



Figura 3.4 Configuración de comunicaciones

Para poder agregar el Twido Port, se debe dar clic derecho sobre la opción hardware en la parte inferior del nombre del controlador y seleccionar agregar opción. Se escoge entonces el Twido Port y se procede a configurarlo.

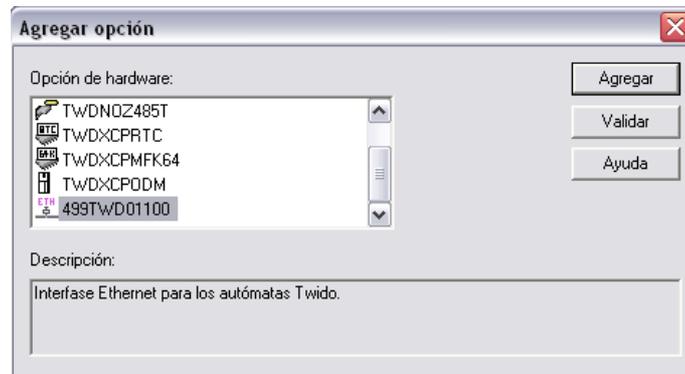


Figura 3.5. Selección del Twido Port

La configuración del Twido Port es como la de un dispositivo que trabajará en una red Ethernet, esto es, se debe asignar la dirección IP del puerto, la máscara de la subred y la dirección IP de la pasarela o puerta de enlace (dirección del concentrador a utilizarse).

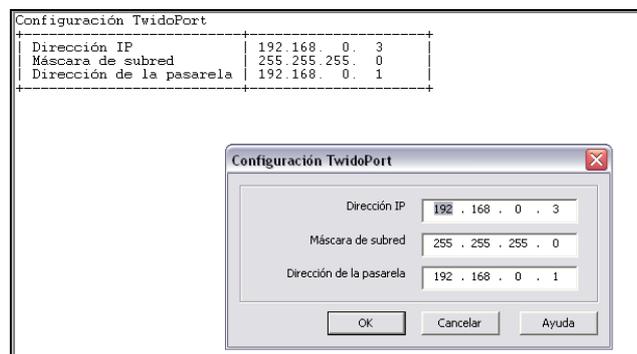


Figura 3.6. Configuración del Twido Port

En los tres módulos se utilizó un PLC Twido TWDLCA24DRF e igualmente, todos poseen un módulo de expansión de dos entradas análogas TWDAMI2HT y también un módulo para comunicación Ethernet Twido Port.

Las direcciones IP asignadas a cada módulo son:

- 192.168.0.3 para el módulo de caudal.
- 192.168.0.4 para el módulo de nivel.
- 192.168.0.5 para el módulo de temperatura.

El Access Point inalámbrico perteneciente al módulo de caudal es el concentrador para la red, por ello posee la dirección de la pasarela (puerta de acceso o gateway) 192.168.0.1.

## **3.2. DESCRIPCIÓN DE LOS PROGRAMAS DE CONTROL IMPLEMENTADOS EN LOS PLC**

### **3.2.1. MÓDULO DIDÁCTICO DE CONTROL DE CAUDAL**

La filosofía original del módulo, es poder mantener un caudal de agua constante saliendo del tanque principal, por ello el programa de control implementado mueve la servoválvula a una posición tal que garantice el caudal de 14.7gpm, dependiendo del nivel de agua del tanque principal.

Se tienen dos modos de operación:

**Manual:** Aquí se pueden manipular los actuadores de manera individual, esto es, se puede encender/apagar la bomba y mover la servoválvula hasta cualquier posición. Esta seguridad en la servoválvula se consigue a través de software, considerando que el voltaje que entrega el potenciómetro acoplado a su eje presenta una palabra digital en el PLC igual a 2128 para la posición de apertura mínima, y 0 para la apertura máxima.

Ya sea en modo manual o automático, cuando la palabra digital del potenciómetro de la servoválvula es mayor a 2126, el actuador de la misma se desactiva, al igual que en el caso de tener una palabra digital menor a 2, mientras se abre.

**Automático:** Se tiene un funcionamiento cíclico. Cuando el agua está a un nivel de 100cm, la válvula se abre a la posición que garantiza el caudal con ese nivel de agua. Mientras disminuye el nivel de agua del tanque la válvula se va abriendo cada vez más hasta que se llega a los 35cm. Entonces se enciende la bomba, se cierra totalmente la válvula y se llena de nuevo el tanque principal hasta los 100cm y el ciclo empieza de nuevo.

El porcentaje de apertura de la válvula se establece en base a la tabla del algoritmo de control que utilizaron los constructores del módulo.

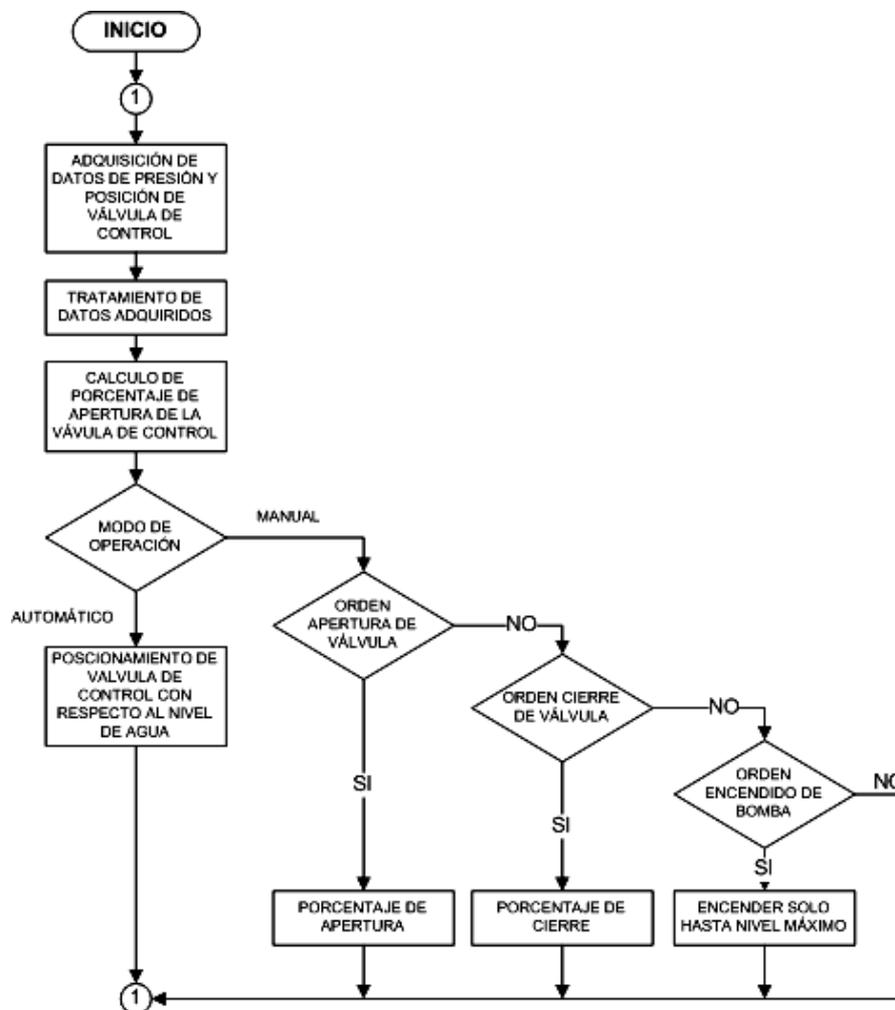


Figura 3.7. Diagrama de flujo del programa de control para módulo de caudal

Se realizaron pruebas iniciales para observar el comportamiento del sensor de presión ante los cambios de nivel de agua del tanque principal, obteniéndose una ecuación lineal de nivel en función de la palabra digital que proporciona el sensor de presión.

$$NIVEL DE AGUA = \frac{(VALOR DIGITAL - 2476)}{0.582}$$

Con esta ecuación, se escaló en el PLC la palabra digital obtenida para un determinado nivel de agua, de tal forma que en un registro se obtiene la lectura directa del nivel de agua en centímetros.

En el PLC se implementó una ecuación que permita tener el porcentaje de apertura de la válvula de 0% cuando está totalmente cerrada hasta 100% cuando está totalmente abierta. En base a pruebas iniciales de la palabra digital entregada por el potenciómetro se calcula y escala la apertura de la válvula en función de dicha palabra, obteniendo así la ecuación:

$$\%APERTURADEVÁLVULADECONTROL = -0.047 * VALORDIGITAL + 100$$

Ecuación 3.2

Como ya se explicó, se tomaron como referencia los resultados obtenidos en la tesis original, ya que presenta una tabla de porcentaje de apertura con respecto al nivel de agua en el tanque principal, la tabla es la siguiente:

<b>NIVEL</b>	<b>% APERTURA SERVO</b>
40	45,0
50	40,3
60	36,7
70	34,0
80	31,8
90	30,0
100	28,5
110	27,1
120	26,0
130	25,0
140	24,1
150	23,2
160	22,5
170	21,8
180	21,2

Tabla 3.1. Porcentaje de apertura de la válvula de control para cada nivel de agua del tanque principal

En base a estos datos, se calcula el porcentaje de apertura que debe poseer la válvula cuando se tiene un determinado nivel de agua.

$$\%APERTURADEVÁLVULADECONTROLCALCULADO = -0.210 * NIVELDEAGUA + 50.3$$

Ecuación 3.3

La lógica de control es de tipo proporcional, ya que cuando la apertura medida es menor a la calculada, la válvula se posiciona hasta dos unidades porcentuales después de la posición calculada; y cuando deba cerrarse, se posiciona hasta dos unidades porcentuales antes de la apertura calculada.

Debido a la inercia del motor de la válvula, se implementó el control con histéresis de dos unidades porcentuales, ya que la válvula actúa abriéndose y cerrándose varias veces hasta encontrarse dentro de la histéresis.

### 3.2.2. MÓDULO DIDÁCTICO DE CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDOS

En éste módulo, se debe garantizar el nivel de agua del tanque principal. Igualmente se desarrolló un programa que tiene dos modos de operación:

**Manual:** Se pueden manipular individualmente los actuadores, esto es, encender/apagar la bomba, abrir totalmente o cerrar totalmente la válvula.

**Automático:** Se envía un setpoint de nivel desde el Intouch, y si es menor que el valor alto de la histéresis de nivel, se abre totalmente la válvula hasta llegar al nivel deseado. En caso de ser menor al valor bajo de la histéresis, se enciende la bomba hasta llegar al nivel alto de histéresis.

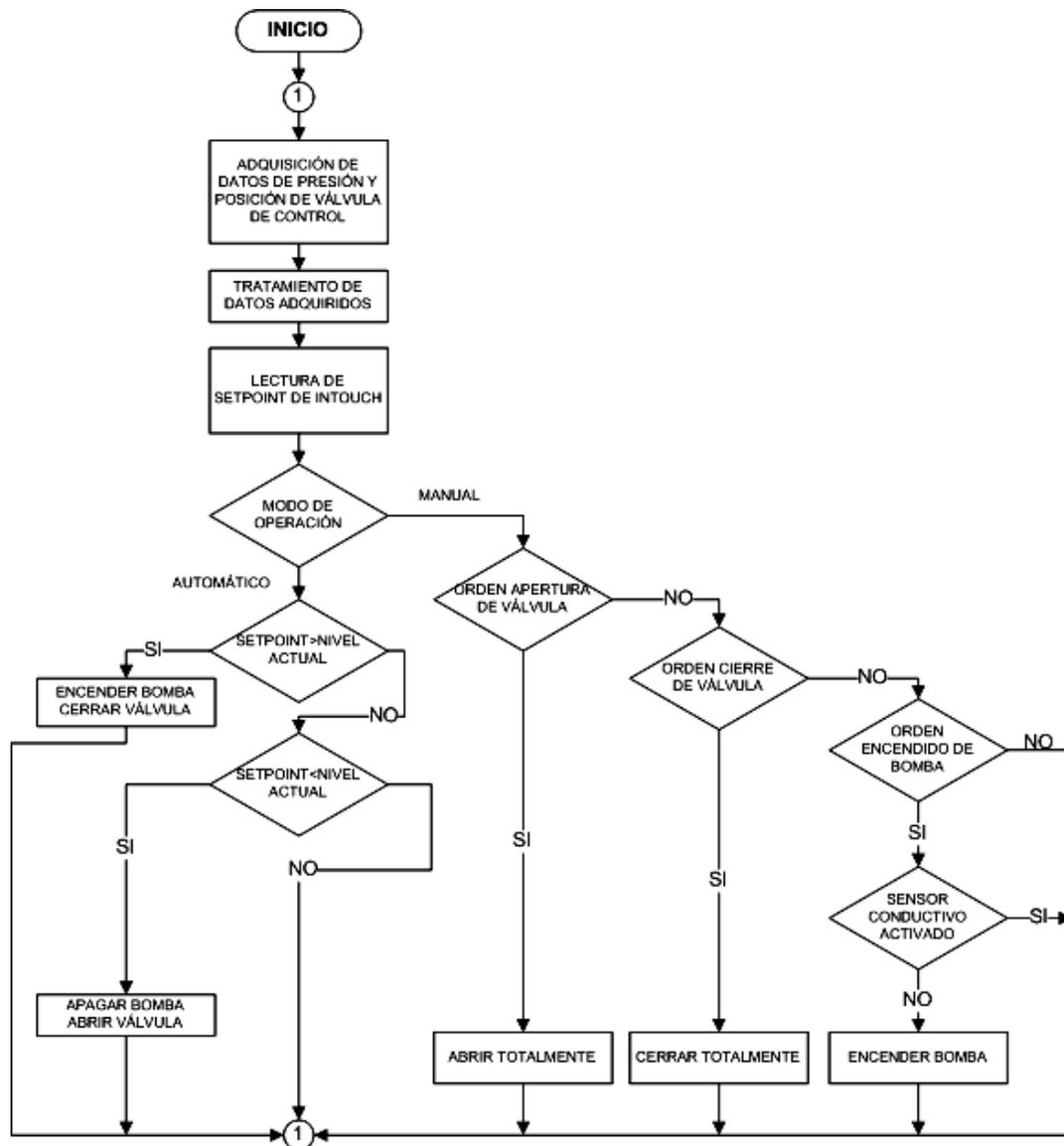


Figura 3.8. Diagrama de flujo del programa de control para el módulo de nivel

Igual que en el caso del módulo de caudal, se realizaron pruebas iniciales para observar el comportamiento del sensor de presión y obtener así mismo una ecuación lineal que permita escalar el valor del nivel en función de la palabra digital entregada por el sensor.

$$NIVEL DE AGUA = \frac{(4 * VALOR DIGITAL - 400)}{9}$$

Debido a que se trata de un control de nivel, se busca una mayor precisión para dicha variable, por ello el escalamiento en este caso proporciona un valor de nivel de 10 a 300, haciendo corresponder 10 a 1cm y 300 a 30cm para poder observar decimales.

Como se explicó antes, no se hace un control proporcional sobre la válvula debido a la rapidez con la que se abre y cierra. Se estableció una seguridad por software para que se abra y cierre totalmente, de tal forma que mecánicamente no se traben ni eléctricamente se sobrecargue a la fuente. Esto se consigue observando la palabra digital cuando la válvula está totalmente abierta y cuando está totalmente cerrada. La palabra es 1520 cuando está abierta, por ello se puede seguir abriendo hasta llegar a ese valor; y la palabra es 1720 cuando está cerrada, por ello se puede seguir cerrando únicamente hasta llegar a ese valor.

El sensor conductivo evita que el agua se desborde del tanque principal, tanto en nivel manual como automático. Cuando se alcanza el nivel máximo en el tanque principal, el sensor se activa e inhibe el funcionamiento de la bomba para evitar que ésta siga introduciendo agua.

### **3.2.3. MÓDULO DIDÁCTICO DE CONTROL DE TEMPERATURA**

La variable a controlar en este módulo es la temperatura del agua que sale del tanque de calentamiento. Igualmente se tienen dos modos de control:

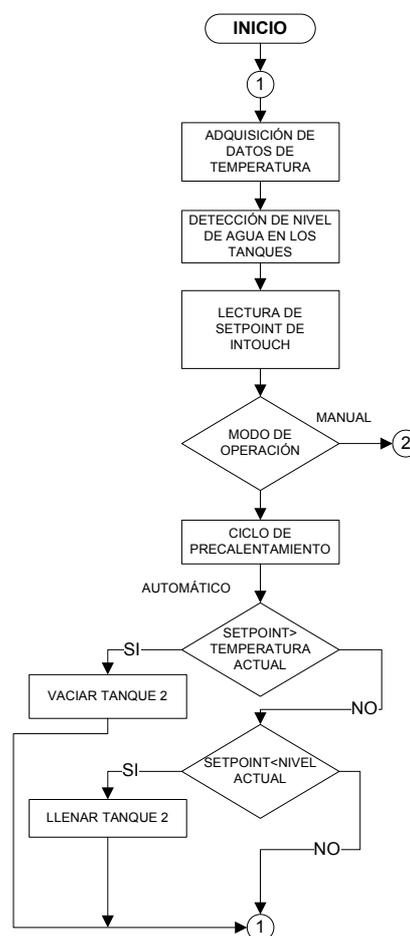
**Manual:** Se puede abrir o cerrar la válvula de entrada de agua, dar la orden de recirculación, dar la orden de salida de agua, llenar o vaciar el tanque de intercambio de calor o activar el ciclo de calentamiento.

En el ciclo de recirculación intervienen la primera bomba y una electroválvula que permite mantener el agua del tanque de calentamiento, circulando dentro de sí mismo. La misma bomba con una electroválvula más, permite sacar el agua del tanque de calentamiento, pero previo a salir del proceso, pasa por el tanque de intercambio de calor.

El ciclo de calentamiento consiste en encender la resistencia de calentamiento durante cuatro minutos, luego desactivar todo durante 30 segundos, recircular durante un minuto y desactivar todo nuevamente durante 70 segundos para iniciar nuevamente el ciclo.

**Automático:** La idea en este módulo es enfriar el agua que viene de algún proceso previo.

Se envía un setpoint de temperatura desde el Intouch, y, si es mayor a la temperatura actual del agua, se vacía el tanque de intercambio de calor para enfriar lo menos posible el agua que llega; caso contrario, si el setpoint es menor que la temperatura actual, se llena de agua fría el tanque intercambiador para poder reducir la temperatura del agua que llega del tanque de calentamiento, hasta alcanzar la temperatura deseada.



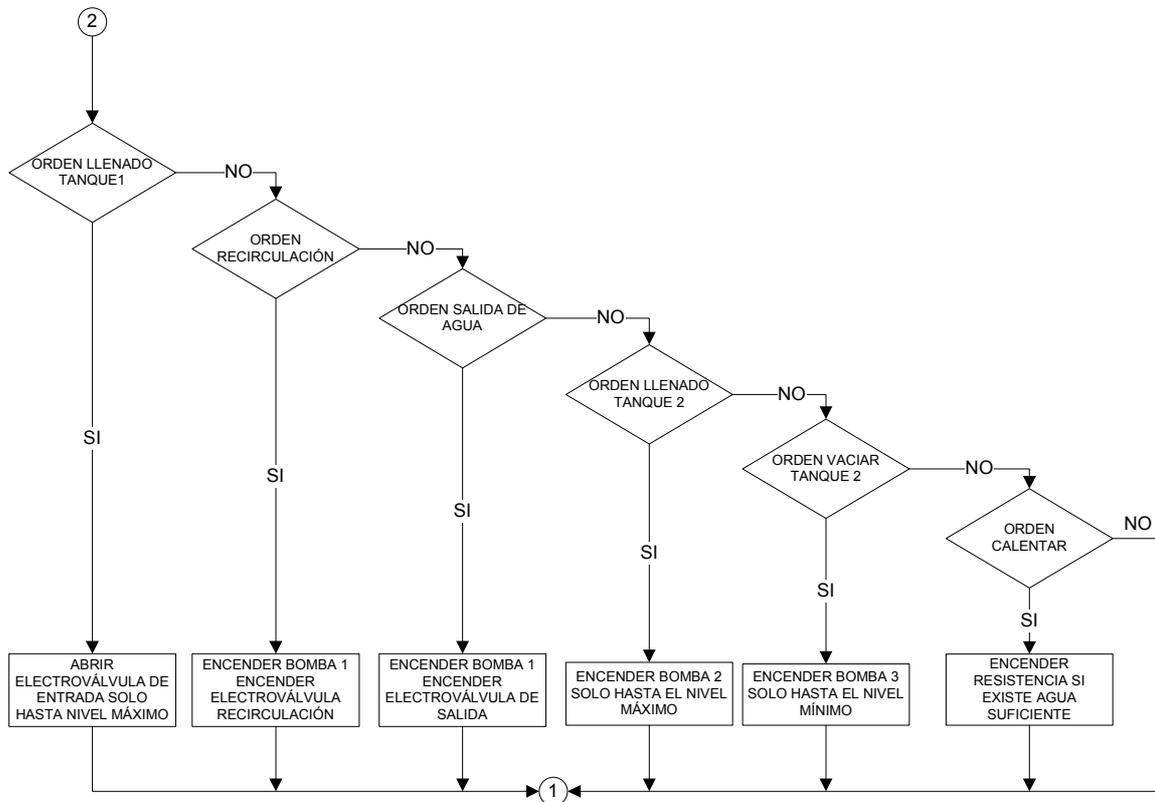


Figura 3.9. Diagrama de flujo del programa de control del módulo de temperatura

Debido a que la termocupla está ubicada a la salida del tanque intercambiador, únicamente cuando se da la orden de salida de agua se realiza el control, ya que entonces se puede obtener una lectura de la temperatura a la cual está saliendo el agua.

Se debe tener en cuenta que este proceso es bastante lento en cuanto al cambio de temperatura del agua, además que la capacidad del tanque de calentamiento es pequeña, a causa de esto no se dispone de suficiente agua caliente para realizar cambios drásticos del setpoint, ya que se termina el agua caliente antes de alcanzar dicho valor.

### **3.3. WONDERWARE INTOUCH**

Intouch es uno de los más poderosos y sencillos software para el desarrollo de HMI's utilizados en el medio industrial, para el control y monitoreo de uno o varios procesos.

Intouch es un componente del Wonderware FactorySuite, y permite el desarrollo de las HMI dentro de un sistema operativo como Microsoft Windows para una amplia gama de industrias, desde la química, alimentos, petróleo, metalurgia, etc.

Haciendo uso de Intouch, las aplicaciones que se pueden crear van desde las más sencillas, hasta las más complejas, completas y versátiles, ya que éste software permite hacer uso de todas las útiles características de Microsoft Windows tales como gráficos, OLE, controles ActiveX, trabajo en red, etc.<sup>14</sup>

#### **3.3.1. COMPONENTES DE INTOUCH**

Intouch consta de tres sub-programas principales:

##### **3.3.1.1. Administrador de aplicaciones**

Este programa permite crear nuevas aplicaciones, así como borrar aplicaciones existentes, abrir aplicaciones tanto en WindowMaker como en WindowViewer, buscar aplicaciones existentes en un determinado directorio, además de poder correr los programas para el Diccionario de Tagnames: DBDump y DBLoad. Estos programas (DBDump y DBLoad) sirven para extraer/cargar un diccionario de Tagnames desde/hacia una determinada aplicación.

---

<sup>14</sup> Invensys Systems.Inc, Wonderware FactorySuite Intouch User's Guide, 2005

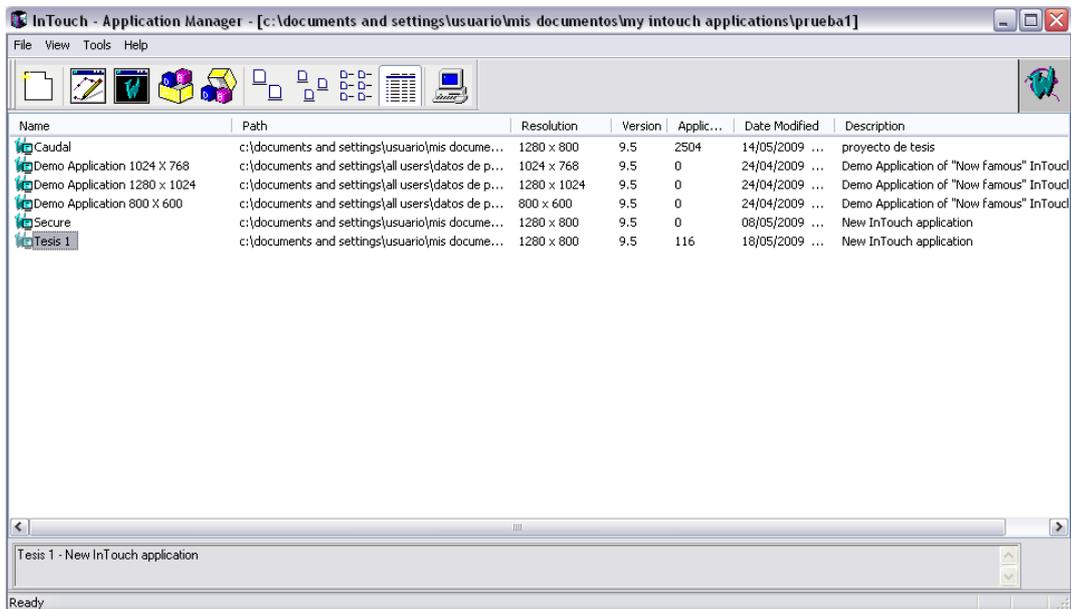


Figura 3.10. Administrador de Aplicaciones de Intouch

Para crear una nueva aplicación, se dispone de un Wizard muy sencillo de seguir.

### 3.3.1.2. WindowMaker

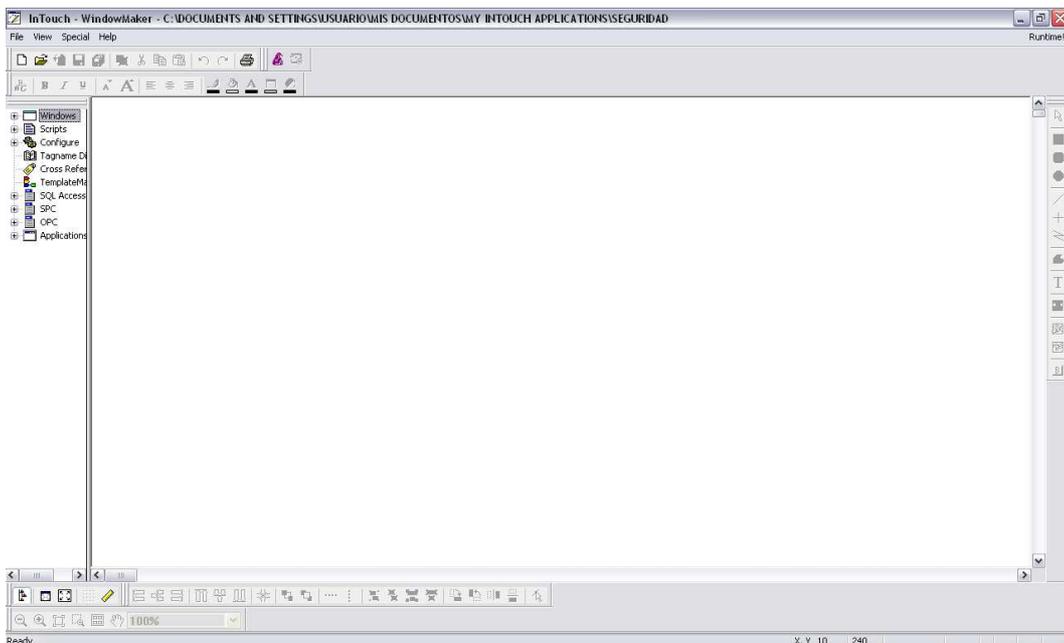


Figura 3.11. WindowMaker

Cuando se crea la aplicación por primera vez, el ambiente del WindowMaker se presenta como en la Figura 3.11. Las aplicaciones que se crean en Intouch se basan en el desarrollo de diferentes ventanas.

Por ello, se procede a crear cada ventana que será necesaria para la aplicación.

Para desarrollar las ventanas se dispone de muchas herramientas para dibujar cualquier clase de control o indicador.

Se pueden crear varias formas, botones, insertar gráficos, insertar texto, etc.

Pero crear controles o formas complejas requiere de mucho trabajo, para lo cual el WindowMaker dispone de herramientas adicionales tipo Wizard  que facilita formas más complejas y herramientas adicionales para la aplicación.

La opción más útil para dibujar procesos es el Symbol Factory.

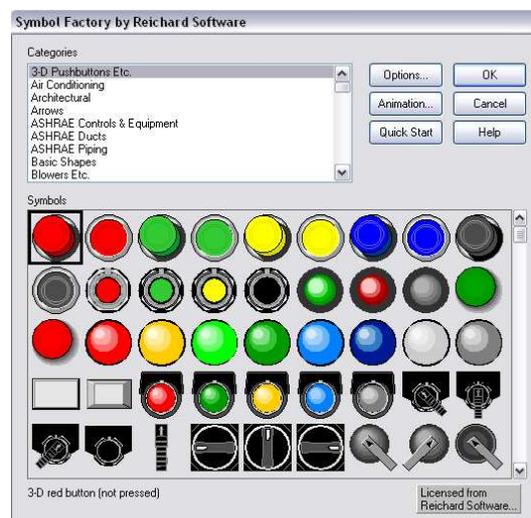


Figura 3.12. Symbol Factory

En el Symbol Factory se dispone de una muy amplia gama de figuras y formas para dibujar el HMI del casi cualquier proceso de manera que sea lo más parecida posible a la planta real.

Cualquier objeto que se dibuje o cree puede ser animado, asignándole un tipo de trabajo de acuerdo a una variable o Tagname específico. Se le puede asignar un cambio de dimensiones, parpadeo, orientación, desplegar valores, ingresar valores, etc.

Además, si las animaciones disponibles no son suficientes se pueden crear Scripts, los cuales son mini-programas desarrollados en lenguaje C, que permiten realizar animaciones más complejas o no disponibles por defecto en el programa.



Figura 3.13. Diccionario de Tagnames

Cada variable que se necesita para desarrollar la aplicación, es conocida como Tag. El número de tags disponibles es limitado, y depende del software adquirido, siendo más caro un Intouch con muchos Tags disponibles que uno con pocos. Cada Tag o variable puede ser de algunos tipos ya sean de memoria interna (entero, real, análogo, discreto) o para comunicación externa I/O (entero, real, análogo, discreto).

### 3.3.1.3. WindowViewer

El WindowViewer es el “runtime” de la aplicación desarrollada en el Windowmaker, es decir, es donde “corre” la misma.

En el WindowViewer se visualizan las ventanas que se crearon en el WindowMaker, y se puede hacer uso ya de las figuras animadas, o sea, se pueden manipular los botones, slides, text boxes, etc. Ya no se pueden cambiar

las dimensiones de las ventanas, la posición de los objetos, dibujar objetos, etc., todo lo que se hace en el WindowMaker.

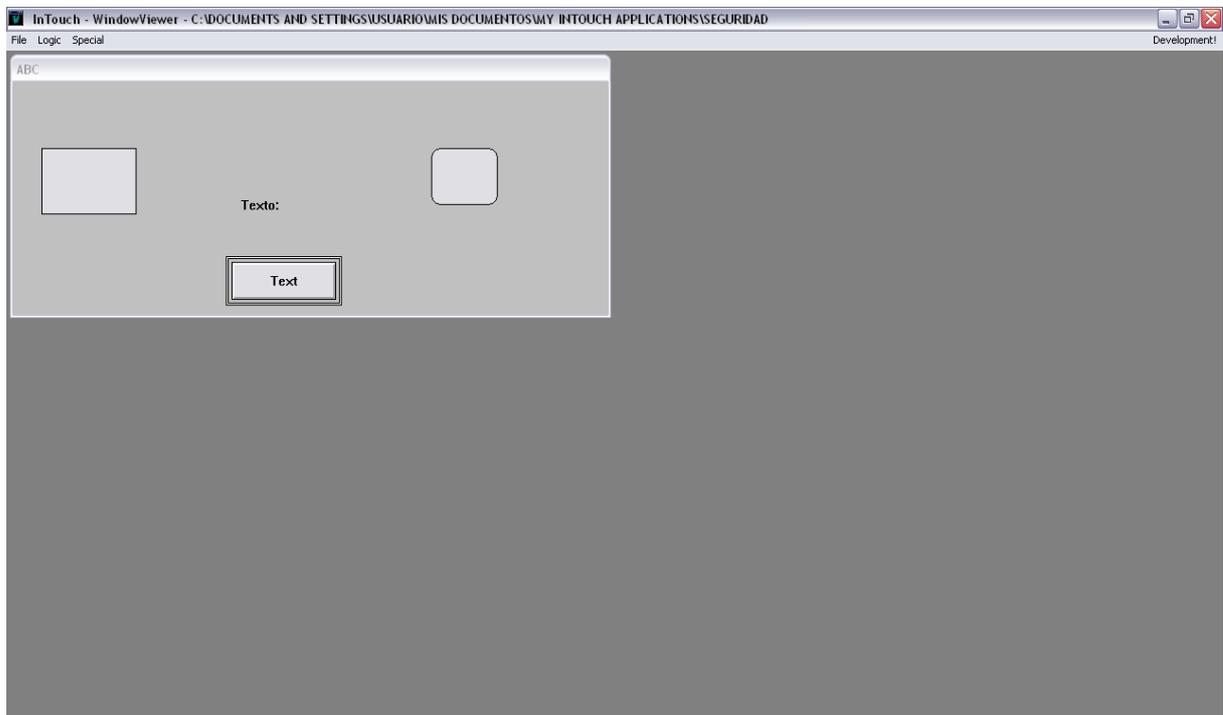


Figura 3.14. WindowViewer

## **3.4. HMI DESARROLLADO EN INTOUCH**

### **3.4.1. PANTALLA DE PRESENTACIÓN**

La pantalla de presentación es la primera que se ve cuando se inicia la aplicación, muestra el título de la tesis, los desarrolladores y la directora de la misma.

El único botón disponible de la pantalla es el que permite visualizar el menú principal, donde se tendrán las opciones para ir a las diferentes HMI de cualquiera de los tres módulos.



Figura 3.15. Pantalla de presentación en Intouch

### 3.3.2. PANTALLA DE MENÚ PRINCIPAL

La pantalla permite desplazarse hacia cualquier HMI de los módulos, y además da la opción de registro de un usuario en el sistema (log on) o salida del mismo. El botón de LOG ON... despliega la pantalla de registro de usuarios.

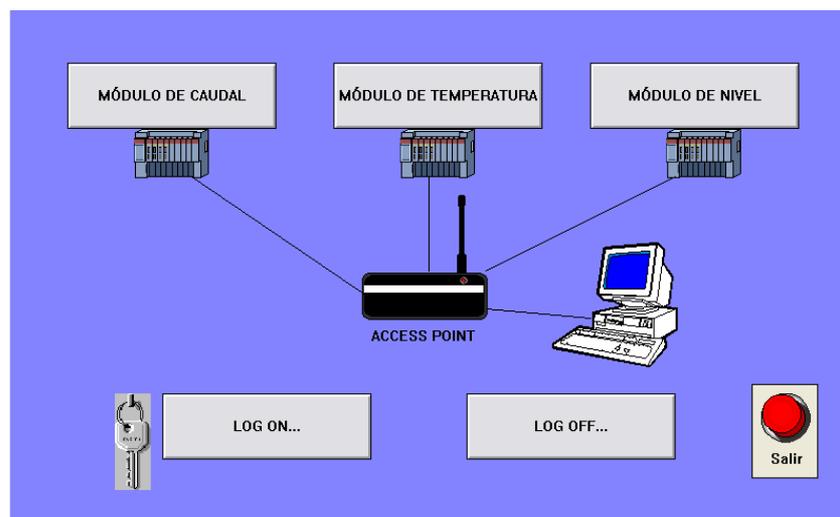


Figura 3.16 Menú Principal

### 3.3.3. PANTALLA DE DEFINICIÓN DE USUARIO



Figura 3.17. Pantalla Definición de Usuario

Es una ventana de tipo Pop Up, donde se pueden ingresar los datos del usuario, y la contraseña correspondiente para ingresar al sistema.

Se tienen definidos tres tipos de usuarios:

**Operador:** Es un usuario que no tiene mucho acceso a modificar parámetros del sistema, ni tampoco requiere obtener información de tipo históricos. Posee un nivel de acceso al sistema de 4000.

**Administrador:** Como administrador puede acceder a modificar parámetros significativos de los procesos, como por ejemplo puntos de consigna, además de poseer acceso total a la información histórica de los procesos. Posee un nivel de acceso al sistema de 8000.

**Desarrollador:** Un Administrador puede acceder a casi todos los recursos de la aplicación, pero no puede modificar ninguno de los atributos de los usuarios

(CONFIGURE USERS). Solo el usuario de tipo desarrollador puede configurar usuarios, por ello, el nivel de acceso al sistema del mismo es de 9999.

### 3.3.4. PANTALLA INFORMATIVA DEL MÓDULO DE CAUDAL

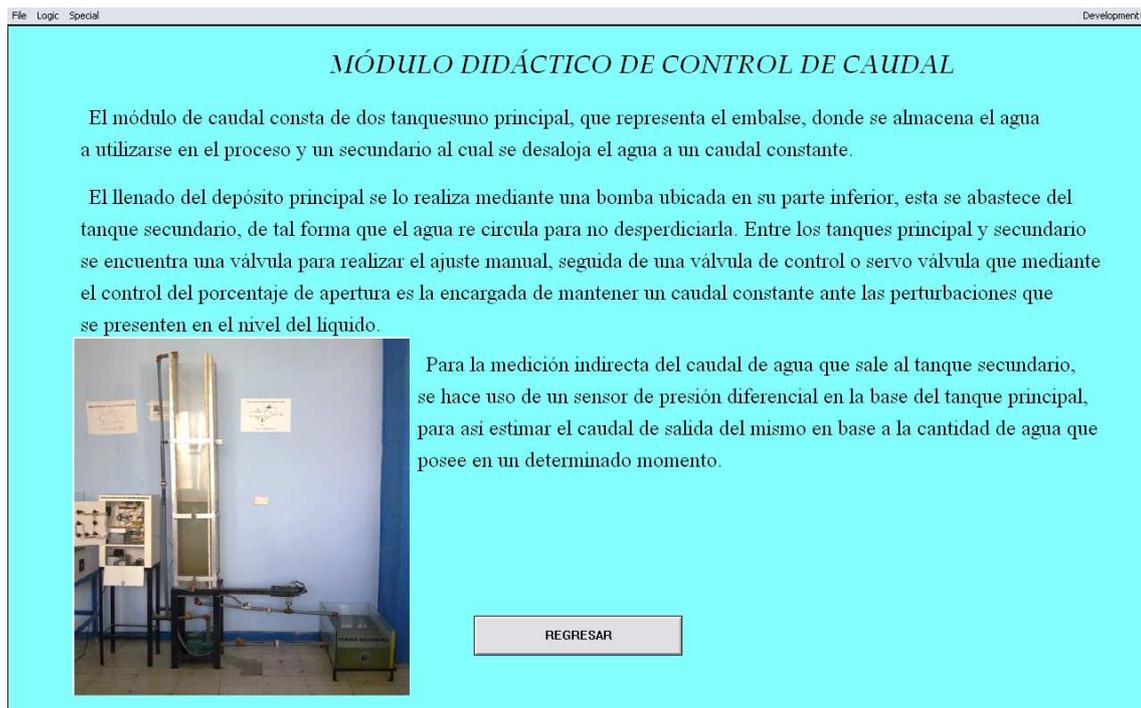


Figura 3.18. Pantalla de Información del Módulo de Caudal

Cualquier usuario puede acceder a esta ventana, ya que en ella se brinda una breve explicación del módulo, sus componentes y funcionamiento.

### 3.3.5. PANTALLA INFORMATIVA DEL MÓDULO DE NIVEL

Igual que las otras pantallas informativas, cualquier usuario puede acceder a ella ya que se brinda una información breve de la estructura y funcionamiento del módulo.

MÓDULO DIDÁCTICO DE CONTROL DE NIVEL DE AGUA

El módulo de control de nivel consta de dos tanques de vidrio:

- Principal: Éste tanque posee una capacidad de 125000cm<sup>3</sup>, y cumple la función de tanque principal debido a que el nivel de agua del mismo, es la variable a controlar en éste proceso. Por ello, los elementos de sensado están en éste tanque.
- Secundario: Éste tanque tiene una capacidad de 200000cm<sup>3</sup>, y su función es la de un reservorio, el cual permite que la planta tenga un trabajo ciclico, recibiendo el agua que se desfoga del tanque principal, o suministrando agua hacia el mismo.



Cuando se necesita que el nivel suba, se activa la bomba, la cual mueve el agua desde el tanque secundario al principal.

Para hacer que el nivel baje, se dispone de una servoválvula, y el sensado del nivel se lo realiza con un sensor de presión diferencial y un flotador acoplado a un potenciómetro.

[REGRESAR](#)

Figura 3.19. Pantalla de Información del Módulo de Nivel

### 3.3.6. PANTALLA INFORMATIVA DEL MÓDULO DE TEMPERATURA

MÓDULO DIDÁCTICO DE CONTROL DE TEMPERATURA DE AGUA

El módulo de control de temperatura, consta de dos tanques:

- Tanque de calentamiento: El agua ingresa y mediante una resistencia calefactora, se eleva su temperatura.
- Tanque intercambiador de calor: En éste tanque se baja la temperatura del agua (si es necesario). El agua a ser enfriada circula a través de un serpentín ubicado dentro de éste tanque, el mismo que contiene agua para enfriar el flujo de agua proveniente del primer tanque.

El llenado de agua del tanque de calentamiento, se lo realiza con la ayuda de una electroválvula, y el vaciado o recirculación de agua del mismo, se lo realiza con una primera bomba.



Para el llenado y vaciado del agua del intercambiador, se dispone de dos bombas.

El monitoreo de los niveles de agua en cada tanque se lo realiza con sensores conductivos.

La temperatura del agua que sale se la mide con una termocupla tipo K ubicada a la salida del tanque intercambiador de calor.

[REGRESAR](#)

Figura 3.20. Pantalla de Información del Módulo de Temperatura

Igualmente, el acceso a ésta pantalla no requiere ningún nivel de acceso, y se da una explicación breve del módulo y sus componentes.

### 3.3.7. HMI PARA EL MÓDULO DE CONTROL DE CAUDAL

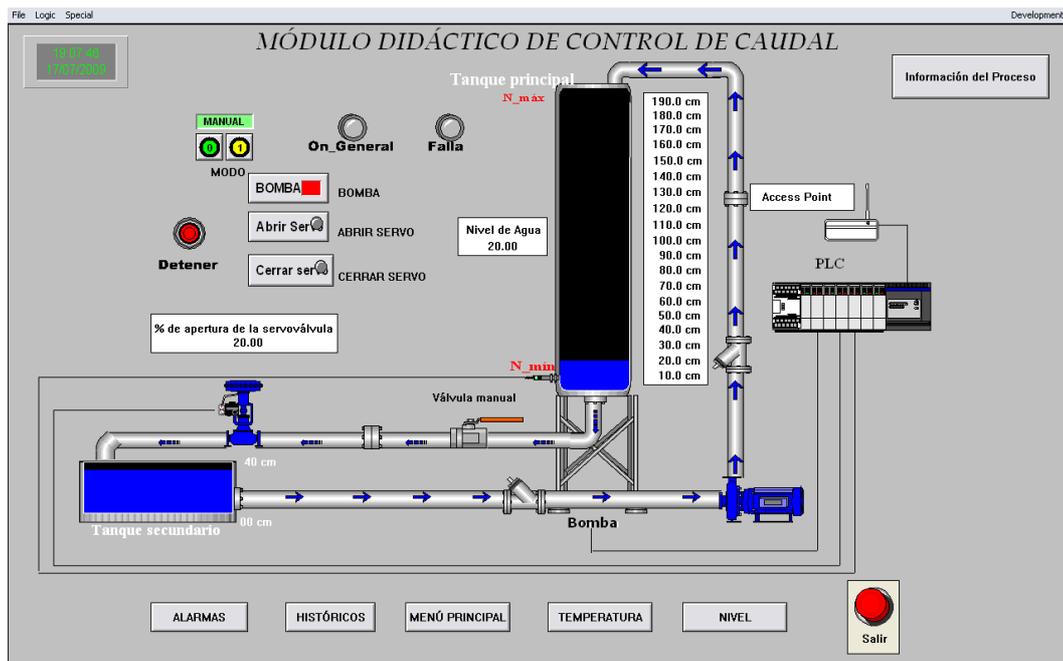


Figura 3.21. HMI Módulo de Caudal

En este módulo se puede escoger el modo de funcionamiento únicamente desde el HMI. Se dispone de un botón de paro (Detener) el cual inhibe el trabajo de todos los actuadores ya sea en modo manual o automático.

Los botones para encender/apagar la bomba, abrir o cerrar la servo trabajan solo cuando se encuentra en modo manual.

Se puede visualizar el nivel de agua del tanque principal, y el porcentaje de apertura de la servo a cualquier instante de tiempo. Además, se puede desplazar entre las pantallas de cada proceso, sin ninguna restricción.

Para cambiar el modo de operación y poder manipular los actuadores, se debe tener un nivel de acceso mayor a 4000.

Se tiene también la posibilidad de “Detener” el proceso. Cuando se activa el botón “detener”, todos los actuadores dejarán de trabajar.

### 3.3.8. HMI PARA EL MÓDULO DE CONTROL DE NIVEL

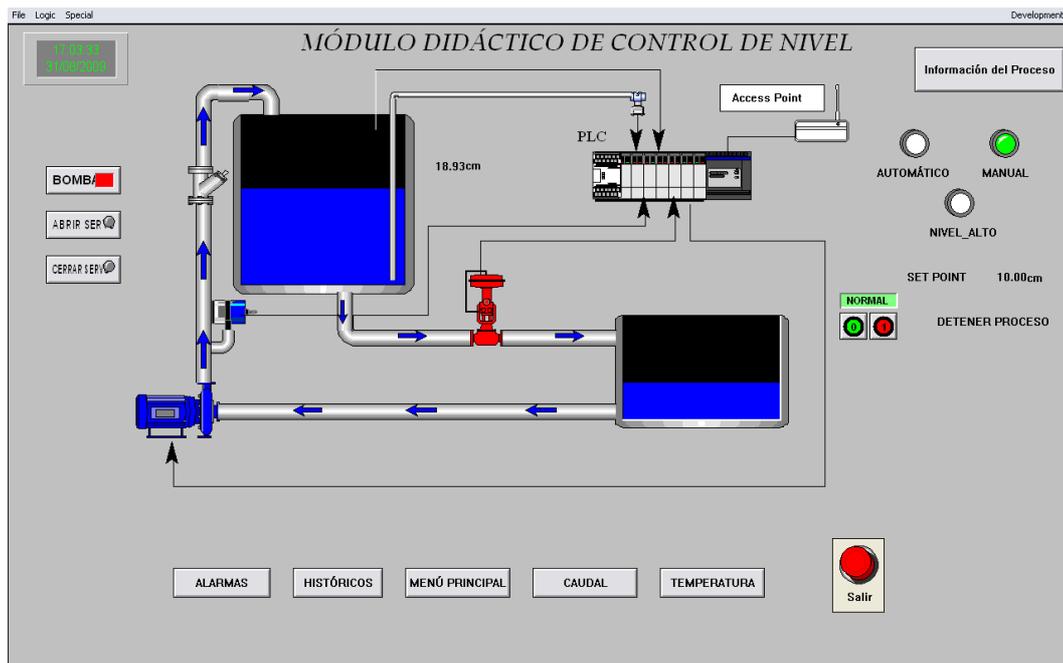


Figura 3.22. HMI Módulo de Nivel

Se tiene la posibilidad de cambiar el setpoint del nivel (en modo automático), encender la bomba o activar la válvula (en modo manual), siempre y cuando se tenga un nivel de acceso mayor a 4000.

El selector de modo normal/detenido, cumple la función de apagar la bomba, y cerrar la válvula en cualquier momento, como la acción de un paro de emergencia.

También se dispone de indicadores del modo de operación en el cual se encuentra el módulo y un indicador que se activa cuando se llega al nivel máximo de agua en el tanque.

Además, al igual que en la HMI del Módulo de Caudal, se tiene libre acceso a visualizar las pantallas de los otros procesos o la del menú principal.

### 3.3.9. HMI PARA EL MÓDULO DE CONTROL DE TEMPERATURA

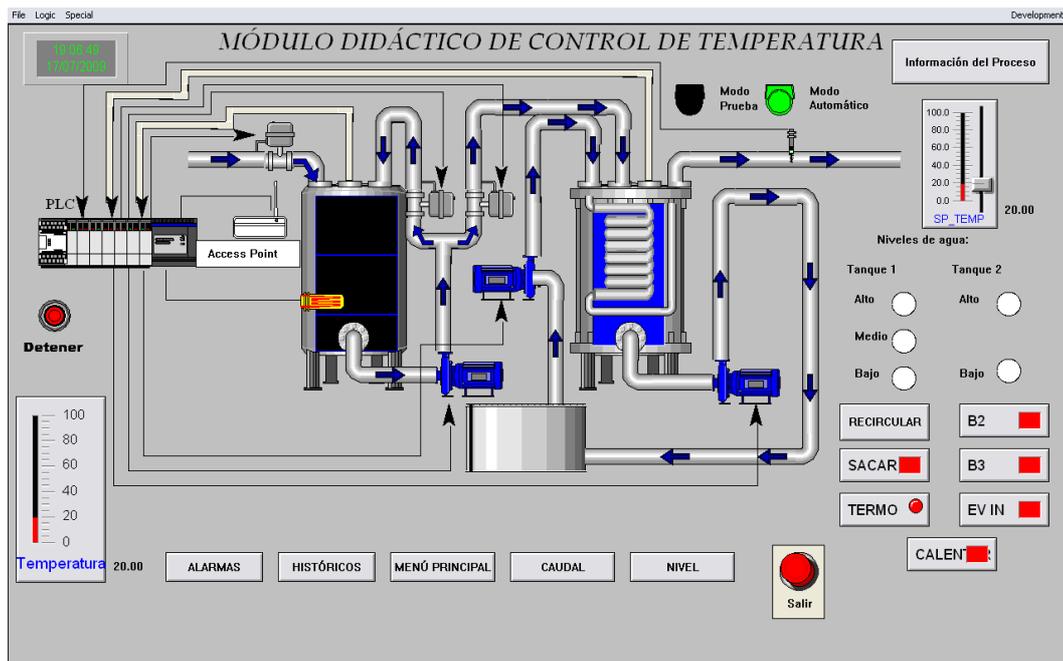


Figura 3.23. HMI Módulo de Temperatura

Igual que en las HMI anteriores, se necesita un nivel de acceso mayor a 4000 para poder manipular el setpoint de temperatura (cuando se está en modo automático), o cualquier actuador (cuando se está en modo manual).

En modo manual, los actuadores que pueden ser operados individualmente son los de la resistencia de calentamiento, la electroválvula de entrada de agua y las bombas 2 y 3. Las demás opciones son ciclos:

- Recircular: Enciende la bomba 1 y la electroválvula de recirculación.
- Sacar: Enciende la bomba 1 y la electroválvula de salida de agua.
- Calentar: Empieza un ciclo de calentamiento en el cual se enciende la resistencia de calentamiento durante un tiempo y luego se recircula el agua otro tiempo.

Adicionalmente se dispone de un indicador de la temperatura que está sensando la termocupla, indicadores de cada nivel de agua que poseen los tanques e indicadores del modo de trabajo en el que se encuentra el módulo.

### 3.3.10. PANTALLA DE HISTÓRICOS

Se lleva un registro histórico del principal parámetro que interviene en cada módulo, esto es la temperatura del proceso en el Módulo de Temperatura, el nivel de agua del tanque principal en el Módulo de Nivel, y el porcentaje de apertura de la servoválvula de control en el Módulo de Caudal.

Los datos históricos son almacenados en una carpeta del disco de datos del computador, creada específicamente para ello.

Para poder acceder a esta pantalla, es necesario que el usuario tenga un nivel de acceso mayor a 4000.

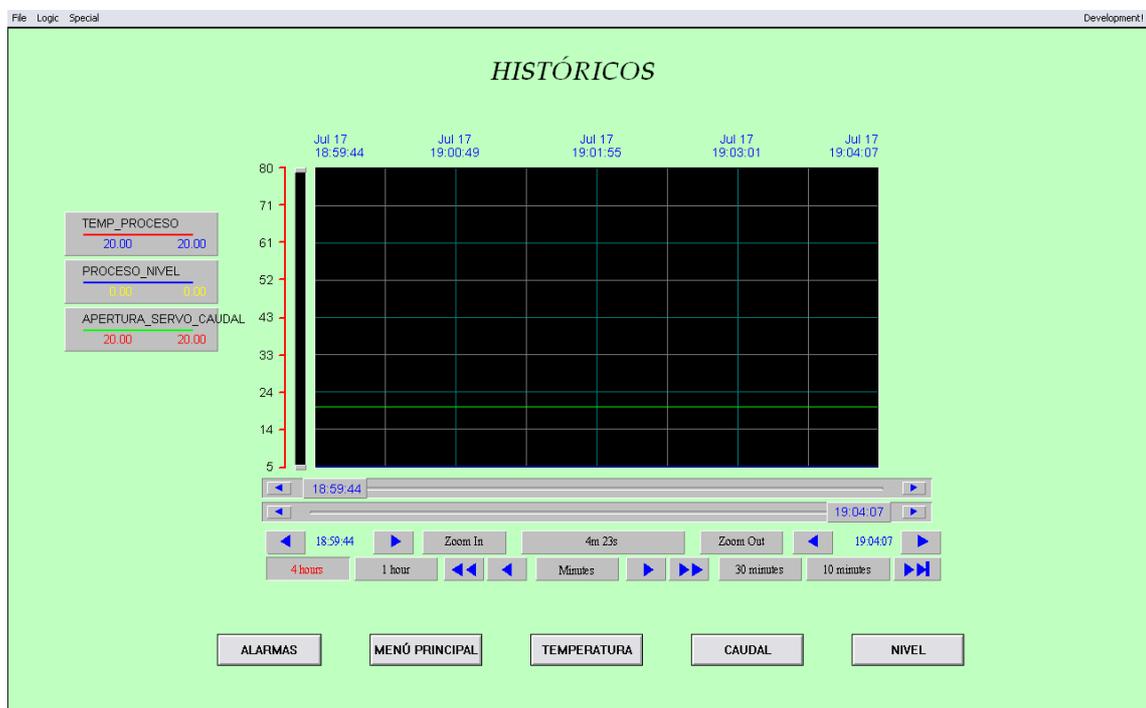


Figura 3.24. Pantalla de Históricos

### 3.3.11. PANTALLA DE GESTIÓN DE ALARMAS

Date	Time	State	Type	Priority	Name	Value	Limit	Operator
17 jul	18:57	UNACK	LOLO	1	PALABRA_SEN...	0	99	H00AR-D04CB9...
17 jul	18:57	UNACK	LOLO	1	PALABRA_SEN...	0	280	H00AR-D04CB9...
17 jul	18:57	UNACK	LOLO	1	PALABRA_SEN...	0	2481	H00AR-D04CB9...

Update Successful      Default Query

HISTÓRICOS    MENÚ PRINCIPAL    TEMPERATURA    CAUDAL    NIVEL    Salir

Figura 3.25. Pantalla de Gestión de Alarmas

Para detectar los niveles críticos de los procesos, se utilizaron tres TagNames adicionales, los cuales leen los valores de la palabra digital que viene directamente el módulo de entradas análogas.

Se detecta la condición de subnivel y sobrenivel en los tanques principales de los módulos de nivel y caudal, y la condición de temperatura baja o alta en el módulo de temperatura.

Se muestra la información de fecha y hora en que se dio la alarma, el estado (si fue o no reconocida), la alarma que se dio, el nombre del TagName que generó la alarma la prioridad de la misma y el operador que estaba en el sistema en el momento que se dio la alarma.

### 3.3.12. PANTALLA DE ALARMA



Figura 3.26. Pantalla de Alarma

Es una pantalla tipo pop-up, la cual aparece cada vez que se dé una condición de alarma. El botón reconocimiento de alarma da el acknowledge a todas las alarmas y, adicionalmente, los textos con el nombre de cada módulo, parpadearán indicando en cuál de ellos se dio la falla.

### 3.3.13. PANTALLA DEFINICIÓN DE PUNTOS DE ALARMA

Se hace uso de la herramienta Alarm Point Monitor, la cual permite monitorear de manera individual y más precisa los TagNames que generen alarmas. Además, se puede asignar o redefinir los puntos LoLo, Lo, Hi y HiHi para generación de alarmas.

Para poder manipular esas opciones, es necesario tener un nivel de acceso mayor a 8000.

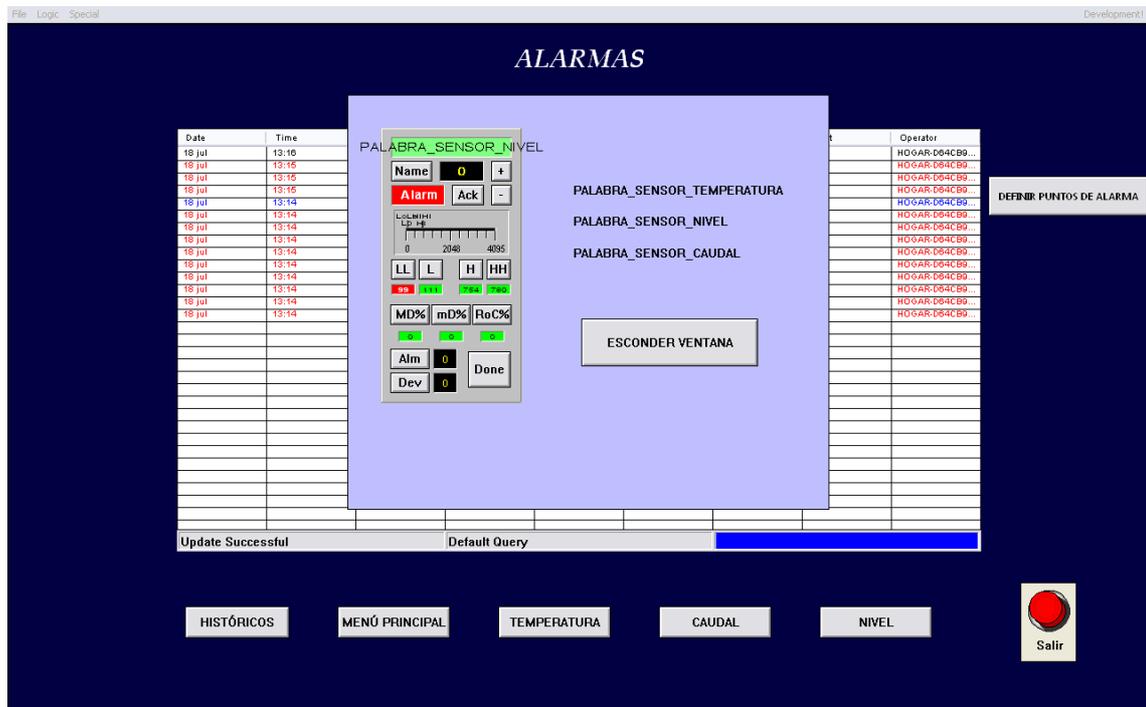


Figura 3.27. Pantalla Definir Puntos de Alarma

### 3.4. CONFIGURACIÓN DE COMUNICACIONES A TRAVÉS DEL I/O SERVER

#### 3.4.1. I/O SERVER

Un I/O server es aquel software que le permite al Intouch recibir/enviar información desde/hacia un equipo externo, como por ejemplo un PLC.

Como se puede ver en la siguiente figura, para cada fabricante se tiene un grupo de I/O Servers, para un tipo de comunicación diferente. Para cada PLC se necesita un I/O Server diferente, esto depende de la marca de éste y del tipo de comunicación con la cual trabajará.

**IO Servers**

On the tree menu at the left select the company that you want to connect to. Under each company heading you will find IO Servers.

As of this compilation, DAServers, Tag Creators, DIOobjects, Proxy Objects and other **Archestra™** application objects are delivered in a separate CD.

**NOTE :** Servers and other files can be installed directly from this CD. If your browser provides security and prompts you to "open", "run" or "save" files, it is necessary to select "open" or "run" as this executable is contained in a directory that has other required files for the install to perform correctly.

When installing any IO Server, please ensure that the [Factory Suite I/O Common Components](#) are already installed on your system.

**Product Updates**

The following IO Servers have been updated since the last Device Integration CD Release.

Vendor	Product	Version
Allen Bradley	ASTCP IO Server 8.1	8.1.0.0
General Electric	Fanuc HCS IO Server 8.1	8.1.0.0
Reliance	Autamax PC Link (FCT) IO Server 8.1	8.1.0.0



Figura 3.28. Pantalla de selección de I/O Server

Para PLC's Modicon (y equipos afines de Schneider Automation) que están conectados a través de una red Ethernet 10 Base-T, se utiliza el I/O Server Modicon MODBUS Ethernet I/O Server 8.1.0.0. Además, este I/O Server permite que cualquier otra aplicación de Windows que pueda actuar como un cliente DDE, FastDDE o SuiteLink pueda hacer uso del mismo.

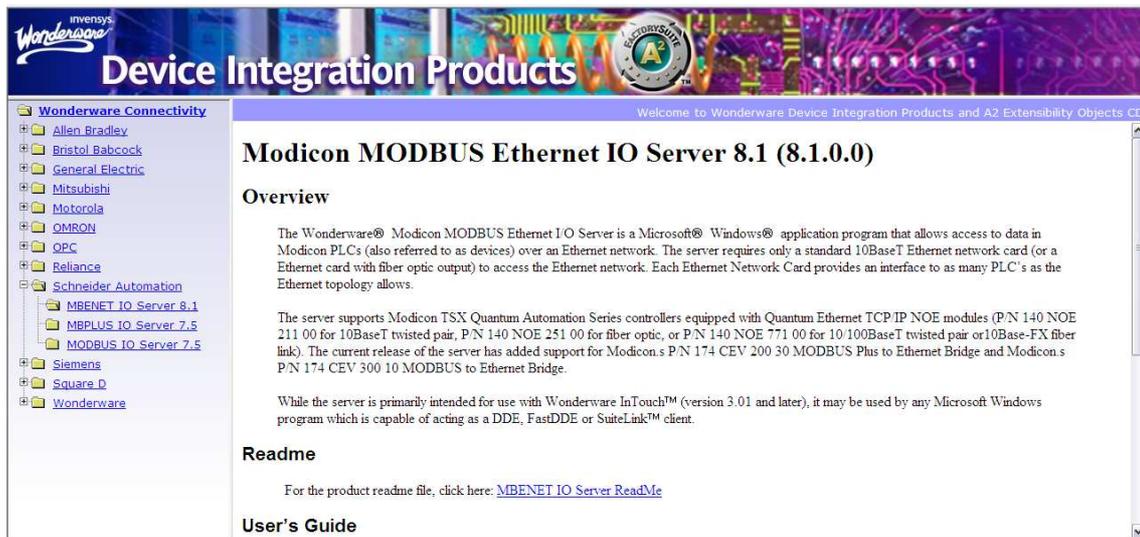


Figura 3.29. I/O Server MBENET

### 3.4.2. DEFINICIÓN DE ACCESS NAMES, TOPIC NAMES Y TAGNAMES PARA TRABAJO EN LA RED ETHERNET

Una vez Instalado el I/O Server, para poder crear los TagNames que permitan leer/escribir datos del PLC, se procede a definir un Access Name.

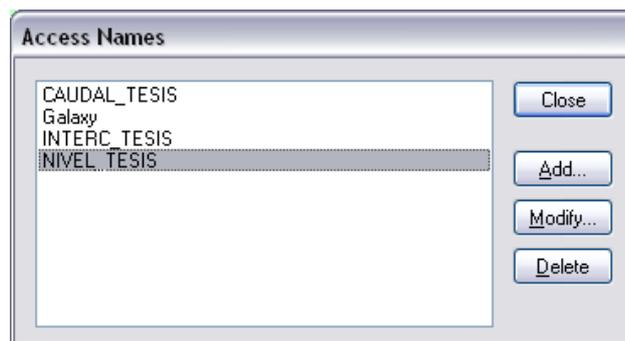


Figura 3.30. Listado de Access Names

Para cada PLC a ser monitoreado, se definió un Access Name Diferente, como se puede apreciar: CAUDAL\_TESIS para el Módulo de Caudal, INTERC\_TESIS para el Módulo de Temperatura y NIVEL\_TESIS para el Módulo de Nivel.

Figura 3.31. Configuración del Access Name

El nombre del Access Name se define en el primer text-box (campo Access de la Figura 3.31.). Si se estuviese trabajando con una red de computadoras, se debe especificar el nombre del nodo desde el cual se trabajará con dicho Access Name; en Application Name se debe escribir el nombre exacto que tiene la ventana de aplicación del I/O Server una vez que éste está abierto; el Topic name se define y configura en el I/O Server, y para este caso debe coincidir con el Access Name; se define también el tipo de protocolo que se utilizará, en este caso SuiteLink.

Cuando se define el Access Name, se puede configurar cada TagName como un TagName tipo I/O ya sea discreto, real, entero, etc.

Figura 3.32. Definición de un TagName I/O Real

Cuando se escoge el TagName de tipo I/O, aparece una extensión en la configuración, en la cual se pide se especifique el Access Name con el cual trabajará ese TagName, y se pide un Ítem, el cual es la dirección de memoria del PLC la cual se desea leer o escribir.

Adicionalmente se especifica un Min EU y Max EU, junto con un Min Raw y un Max Raw; estos parámetros están relacionados en el sentido que el Intouch interpretará que cuando reciba un valor digital de 295, se visualizará en él un valor de 5, y cuando se reciba un valor de 956, se visualizará en él un valor de 80. Esto es una forma sencilla de escalamiento para las palabras digitales recibidas.

Cabe aclarar que en los TagNames I/O Discretos, no hace falta más que elegir el Access Name y definir el Ítem correspondiente para trabajar.

Para cuando están definidos Access Names y configurados los TagNames, se configura el Topic Name en el I/O Server.

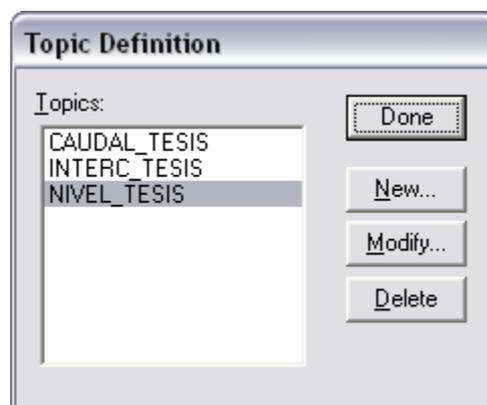


Figura 3.33. Definición de Topic Name

Para poder configurar el Topic Name, se tiene una ventana de configuración como se muestra a continuación.

The image shows a software dialog box titled "MBENET Topic Definition". It contains the following fields and options:

- Topic Name:** NIVEL\_TESIS
- IP Address:** 192.168.0.4
- Dest\_Index or Unit\_ID:** 1
- Slave Device Type:** 584/984 PLC
- Use Concept Data Structures
- Communication Channels:**
  - Unsolicited Messages
- String Variable Style:**
  - Full length
  - C style
  - Pascal style
- Register Type:**
  - Binary
  - BCD
- Block I/O Sizes:**
  - Coil Read: 2000
  - Register Read: 100
  - Coil Write: 800
  - Register Write: 100
- Update Interval:** 1000 msec
- Reply Timeout:** 10 sec

Figura 3.34. Configuración de Topic Name

En el text-box Topic Name se asigna un nombre al mismo, el cual para este caso debe ser exactamente el mismo del Access Name que se definió en el Intouch. Además se debe definir la dirección IP que posee el dispositivo, en este caso es la dirección IP del módulo de conexión Ethernet del PLC con el cual se va a comunicar y el tipo de dispositivo, que en este caso, es un PLC.

Cabe aclarar que para cada PLC con el cual exista comunicación se debe definir un Access Name y un Topic Name diferentes; tal como se definieron los tres Access Names, se deben definir los mismos Topic Names.

**CAPITULO 4**  
**PRUEBAS Y RESULTADOS**

Este capítulo consta de tres partes: la primera hace referencia a las pruebas realizadas a sensores y actuadores de los módulos de caudal, nivel y temperatura; la segunda se refiere a las pruebas de la red y comunicación con dichos módulos y la tercera describe las pruebas realizadas desde las HMI.

#### **4.1.PRUEBA DE SENSORES Y ACTUADORES DEL MÓDULO DE CAUDAL**

Se estimó el tiempo de llenado del tanque principal desde una altura de 3.5 metros hasta 1 metro obteniendo los siguientes resultados:

<b>LLENADO DEL TANQUE PRINCIPAL</b>	
<b>PRUEBA N°</b>	<b>TIEMPO (minutos)</b>
1	3,22
2	3,25
3	3,19

Tabla 4.1. Pruebas del tiempo de llenado del Tanque principal

Como se puede apreciar el tiempo de llenado del tanque principal no difiere mucho en cada prueba por lo que se puede realizar la emulación repetitiva del embalse en tiempos relativamente pequeños.

El sensor de presión diferencial es usado para realizar una medida indirecta del nivel de agua del tanque principal, por lo que se probaron los rangos de voltaje que se tienen para cada nivel de líquido y la palabra digital leída por el PLC, los resultados fueron los siguientes:

<b>SENSOR DE PRESIÓN DIFERENCIAL</b>	
<b>ALTURA</b>	<b>VALOR DIGITAL</b>

	<b>PRUEBA 1</b>	<b>PRUEBA 2</b>
36	2497	2497
38	2498	2498
40	2499	2500
42	2501	2501
44	2502	2502
46	2503	2503
48	2504	2505
50	2506	2506
52	2507	2507
54	2508	2508
56	2509	2509
58	2511	2511
60	2512	2512
62	2513	2514
64	2513	2513
66	2515	2515
68	2516	2516
70	2518	2518
72	2519	2519
74	2520	2520
76	2521	2521
78	2522	2522
80	2523	2523
82	2524	2525
84	2525	2526
86	2527	2526
88	2528	2528
90	2529	2529
92	2530	2530
94	2531	2531
96	2532	2532
98	2533	2533

100	2534	2535
-----	------	------

Tabla 4.2. Pruebas del sensor de presión diferencial

Como se puede observar el comportamiento del sensor es muy lineal, como indican más claramente las siguientes gráficas.

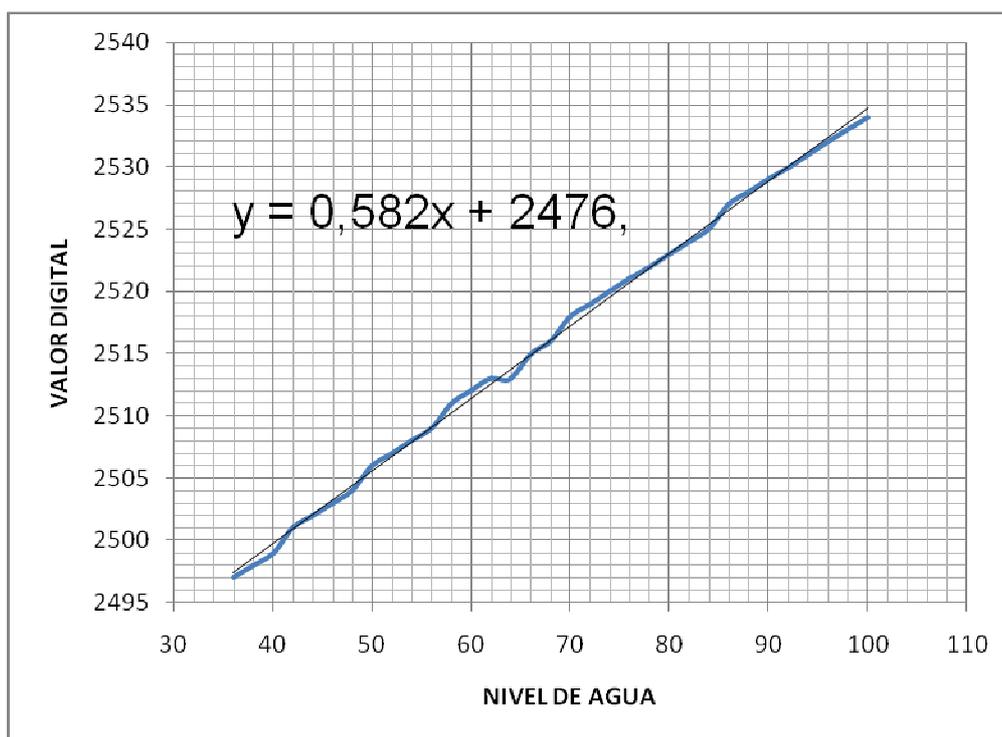


Figura 4.1. Gráfica de la lectura digital por el PLC del sensor de presión diferencial en la prueba 1

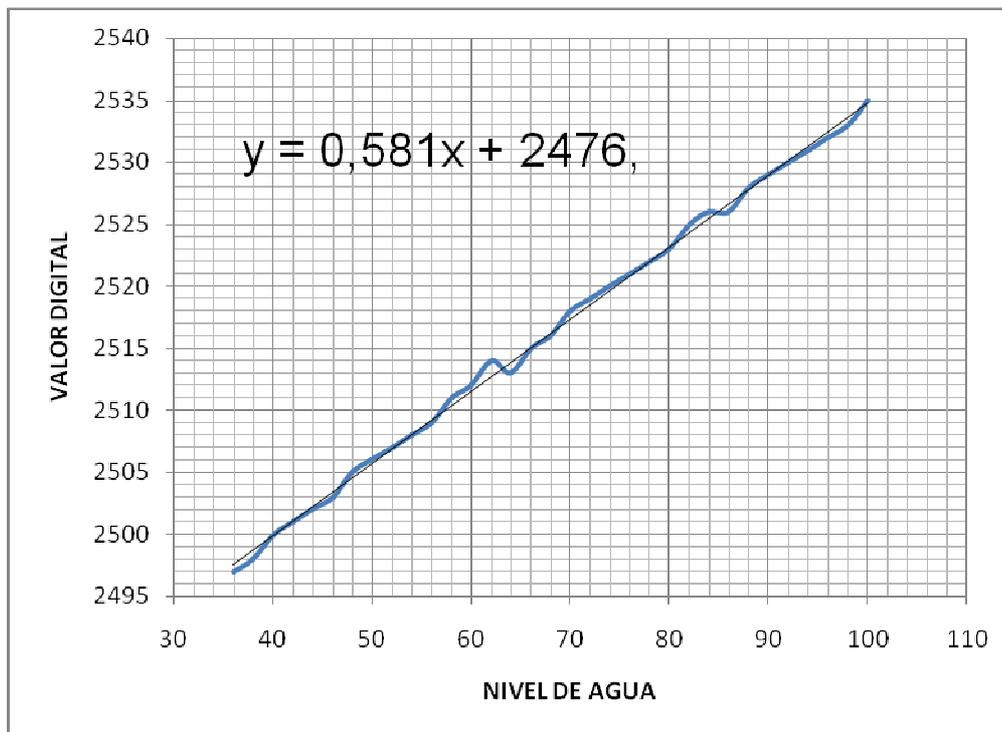


Figura 4.2. Gráfica de la lectura digital por el PLC del sensor de presión diferencial en la prueba 2

Por facilidad en el PLC se escaló la palabra digital obtenida para el nivel del líquido de tal forma que en un registro se obtiene la lectura directa del nivel de agua en centímetros.

La ecuación implementada para obtener la lectura del nivel de agua es la siguiente:

$$NIVEL DE AGUA = \frac{(VALOR DIGITAL - 2476)}{0.582}$$

Ecuación 4.1

En cuanto a la válvula, no se midió voltaje ya que el potenciómetro asociado al eje del motor fue energizado con 5V de tal forma que no sobrepasa el rango máximo de voltaje que acepta la entrada análoga.

La válvula presenta una palabra digital igual a 0 para cuando está totalmente abierta y un valor de 2128 cuando está totalmente cerrada. Al igual que se hizo para el nivel de agua, en el PLC se implementó una ecuación que permita tomar la lectura directa del porcentaje de apertura de la válvula. La ecuación es la siguiente:

$$\% \text{ APERTURA DE VALVULA DE CONTROL} = -0.047 * \text{VALOR DIGITAL} + 100$$

Ecuación 4.2

En cuanto al control del módulo de caudal, se tomaron como referencia los resultados obtenidos en la tesis “Diseño y construcción de un sistema SCADA sobre wi-fi para controlar el caudal de agua que sale desde un tanque”, ya que presenta una tabla de porcentaje de apertura con respecto al nivel de agua en el tanque principal, la tabla es la siguiente:

<b>NIVEL</b>	<b>% APERTURA SERVO</b>
40	45,0
50	40,3
60	36,7
70	34,0
80	31,8
90	30,0
100	28,5
110	27,1
120	26,0
130	25,0
140	24,1
150	23,2
160	22,5
170	21,8
180	21,2

Tabla 4.3. Porcentaje de apertura de la válvula de control para cada nivel de agua del tanque principal

## 4.2. PRUEBAS DE SENSORES Y ACTUADORES DEL MÓDULO DE NIVEL

Se estimó el tiempo que demora en llenarse el tanque principal hasta la altura máxima obteniendo los siguientes resultados:

	LLENADO DEL TANQUE PRINCIPAL	VACIADO DEL TANQUE PRINCIPAL
PRUEBA N°	TIEMPO (minutos)	TIEMPO (minutos)
1	2,27	14,22
2	2,31	14,25
3	2,25	14,17

Tabla 4.4. Llenado y vaciado del tanque principal

Como se puede apreciar el tiempo de llenado del depósito no difiere mucho en cada prueba, además el tiempo de llenado es corto por lo que se tiene una rápida respuesta. En cuanto al tiempo de vaciado es algo lento con respecto al de llenado, pero esto únicamente influye cuando el punto de consigna es más bajo que el nivel de agua actual, pero en si el proceso es algo rápido.

El sensor de presión diferencial es usado para realizar una medida indirecta del nivel de agua del depósito principal, por lo que se probaron los rangos de voltaje que se tienen para cada nivel de líquido y la palabra digital leída por el PLC, los resultados son los siguientes:

NIVEL	VALOR DIGITAL
1	99
2	123
3	147
4	169
5	190

6	215
7	237
8	260
9	283
10	305
11	328
12	348
13	368
14	391
15	411
16	434
17	457
18	480
19	503
20	527
21	549
22	571
23	594
24	616
25	639
26	664
27	685
28	706
29	731
30	748

Tabla 4.5. Valor digital del sensor de presión diferencial leído por el PLC

Como se puede observar el comportamiento del sensor es lineal, como indica más claramente la gráfica que se presenta a continuación.

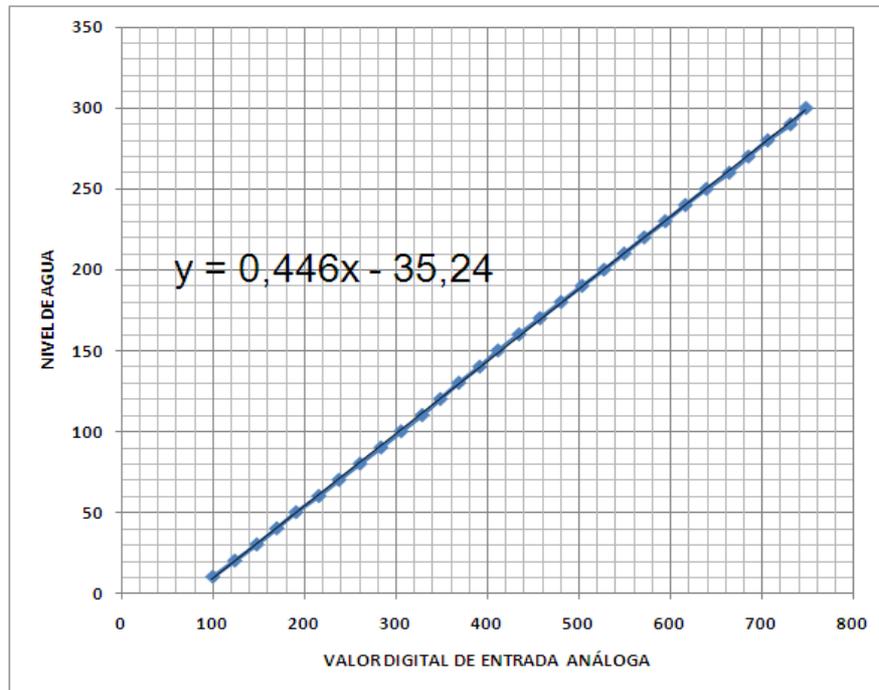


Figura 4.3. Gráfica del valor digital del sensor de presión diferencial leído por el PLC

Por facilidad aquí también se implementó una ecuación en el PLC, de tal forma que en un registro se obtiene la lectura directa del nivel de agua, la ecuación implementada para obtener la lectura del nivel de agua es la siguiente:

$$NIVEL DE AGUA = \frac{(VALOR DIGITAL - 2476)}{0.582}$$

Ecuación 4.3

En este caso de la válvula de control, solo es necesario abrir o cerrar la válvula totalmente. La válvula presenta una palabra digital con un valor de 1520 para cuando está totalmente abierta y un valor de 1720 cuando está totalmente cerrada.

### 4.3. PRUEBA DE SENSORES Y ACTUADORES DEL MÓDULO DE TEMPERATURA

En lo que se refiere a los detectores de nivel se verificó el correcto funcionamiento de los sensores diseñados, los mismos que presentaron los resultados esperados.

Se comprobó además el correcto funcionamiento del acondicionamiento, midiendo el voltaje que presenta para distintos niveles de temperatura con respecto a la lectura tomada de un multímetro digital que posee terminales para conectar una termocupla. Los resultados fueron los siguientes:

TEMPERATURA	VOLTAJE	VALOR DIGITAL
18	2,05	420
19	2,10	430
20	2,15	440
25	2,20	451
30	2,41	494
35	2,63	539
40	2,87	588
45	3,08	631
50	3,29	674
55	3,53	723
60	3,69	756
65	3,93	805
70	4,13	846
75	4,40	901
80	4,67	956

Tabla 4.6. Voltaje en función de temperatura centígrada

Como se puede observar en el siguiente gráfico, el acondicionamiento presenta un comportamiento casi lineal para un rango de temperatura desde los 19°C hasta los 80°C.

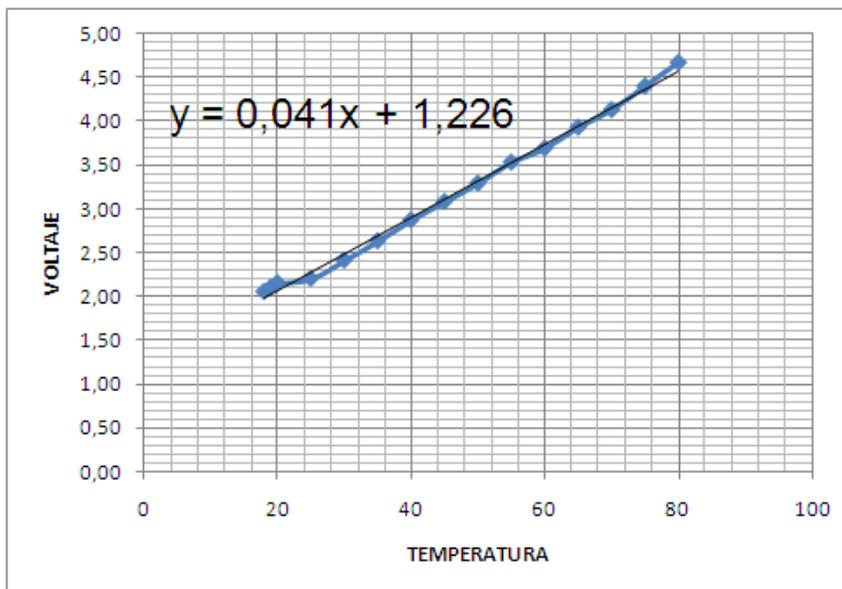


Figura 4.4. Grafica del voltaje del acondicionamiento para termocupla en función de temperatura centígrada

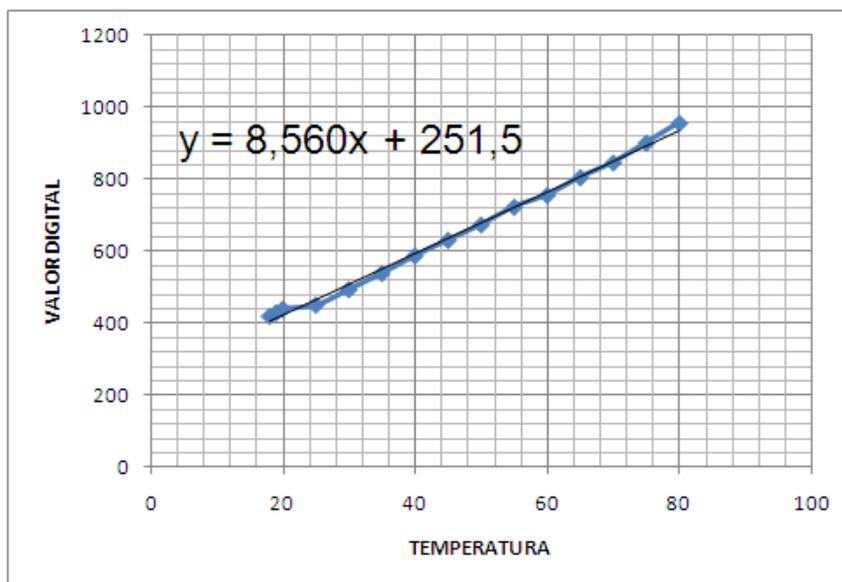


Figura 4.5. Grafica del valor digital leído por el PLC en función de temperatura centígrada

En cuanto a las bombas eléctricas y a las electroválvulas, se verificó su correcto funcionamiento.

#### 4.4. PRUEBAS DE CONECTIVIDAD EN LA RED

En primer lugar, se realizó la verificación de la configuración IP del computador utilizado. Los sistemas de Windows ofrecen una herramienta de línea de comandos llamada *ipconfig*, la cual permite saber cuál es la configuración IP del equipo. El resultado de este comando suministra la configuración de cada interfaz.

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Microsoft Windows XP [Versión 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.

C:\Documents and Settings\Usuario>ipconfig /all

Configuración IP de Windows

    Nombre del host . . . . . : hogar-d64cb9547
    Sufijo DNS principal . . . . . : 
    Tipo de nodo . . . . . : desconocido
    Enrutamiento habilitado. . . . . : No
    Proxy WINS habilitado. . . . . : No

Adaptador Ethernet Conexiones de red inalámbricas :

    Sufijo de conexión específica DNS : 
    Descripción. . . . . : Atheros AR5007EG Wireless Network Ad
    Dirección física. . . . . : 00-17-C4-41-B3-78
    DHCP habilitado. . . . . : No
    Autoconfiguración habilitada. . . : Sí
    Dirección IP. . . . . : 192.168.0.100
    Máscara de subred . . . . . : 255.255.255.0
    Puerta de enlace predeterminada . : 192.168.0.1
    Servidor DHCP . . . . . : 192.168.0.1
    Servidores DNS . . . . . : 192.168.0.1
    Concesión obtenida . . . . . : martes, 21 de julio de 2009 11:24:22
    Concesión expira . . . . . : martes, 28 de julio de 2009 11:24:22

Adaptador Ethernet Conexión de área local :

    Estado de los medios. . . . . : medios desconectados
    Descripción. . . . . : Marvell Yukon 88E8039 PCI-E Fast Eth
    Dirección física. . . . . : 00-1D-72-C9-48-60

C:\Documents and Settings\Usuario>
  
```

Figura 4.6. Configuración IP de computador

Este equipo tiene dos interfaces, adaptador Ethernet conexión de área local, el cual aparece desconectado debido a que la comunicación se establece vía wireless; la segunda interface es el adaptador Ethernet conexión de red inalámbrica, en el cual se muestra una información amplia de la configuración IP.

**Autoconfiguración habilitada:** Indica si se tiene la configuración de la red en forma automática.

**Dirección IP:** Muestra la dirección IP actual de la máquina.

**Máscara de subred:** Muestra cual es la máscara de subred de la red.

**Puerta de enlace predeterminada:** Muestra la IP de la puerta de enlace, en este caso se trata del Access Point.

**Servidor DHCP:** Muestra la IP del servidor DHCP al que se encuentra conectado.

**Servidores DNS:** Muestra la IP de los servidores DNS a los que se está conectado.

A través de la verificación del estado de conexiones de red también se puede obtener la misma información, que es una facilidad que presenta Windows.

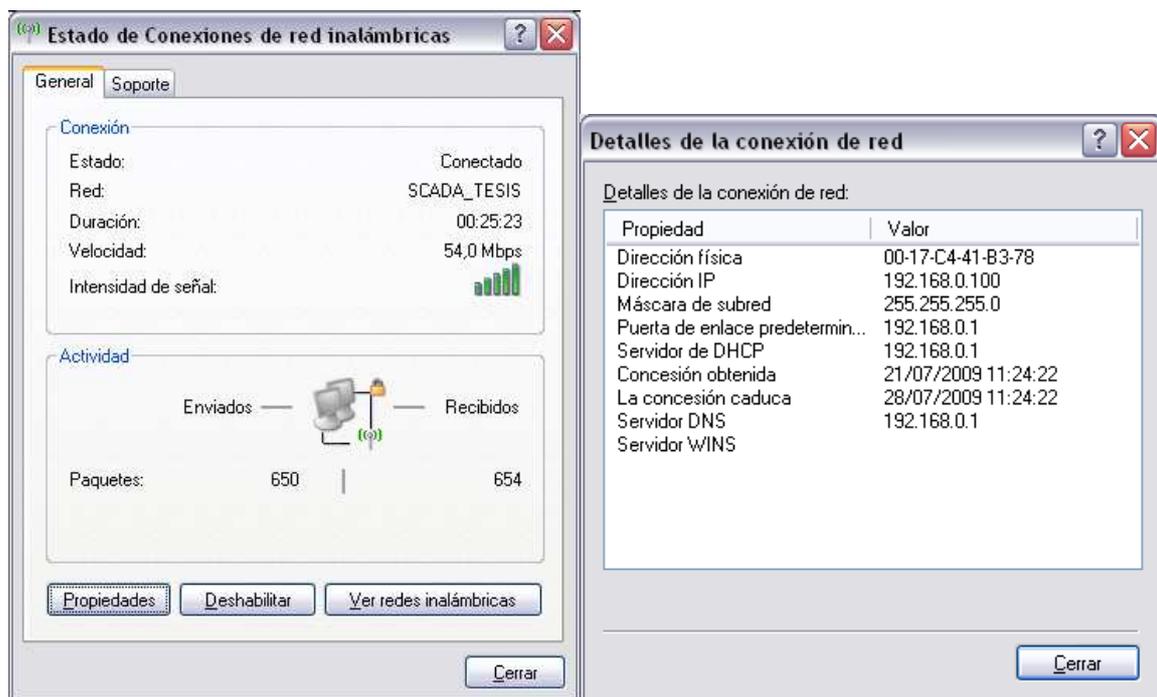


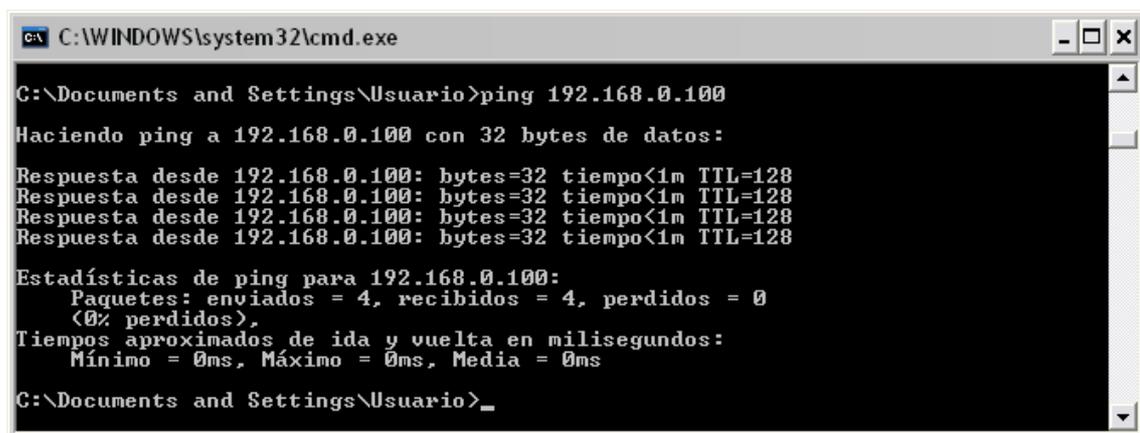
Figura 4.7. Estado y detalles de la conexión de red

Además se puede obtener más información, como el nombre de la red, velocidad, estado y el número de paquetes enviados y recibidos.

Para poder verificar el estado de los dispositivos de la red se usó el comando ping. Cuando se ejecuta el comando ping a una dirección IP lo que hace el sistema es enviar a esa dirección una serie de paquetes, normalmente cuatro, y queda en espera del retorno de estos (eco), por lo que se utiliza para medir la latencia o tiempo que tardan en comunicarse dos puntos remotos.

Para comprobar el correcto funcionamiento de los elementos de la red se hicieron cinco ping en el orden que se especifica:

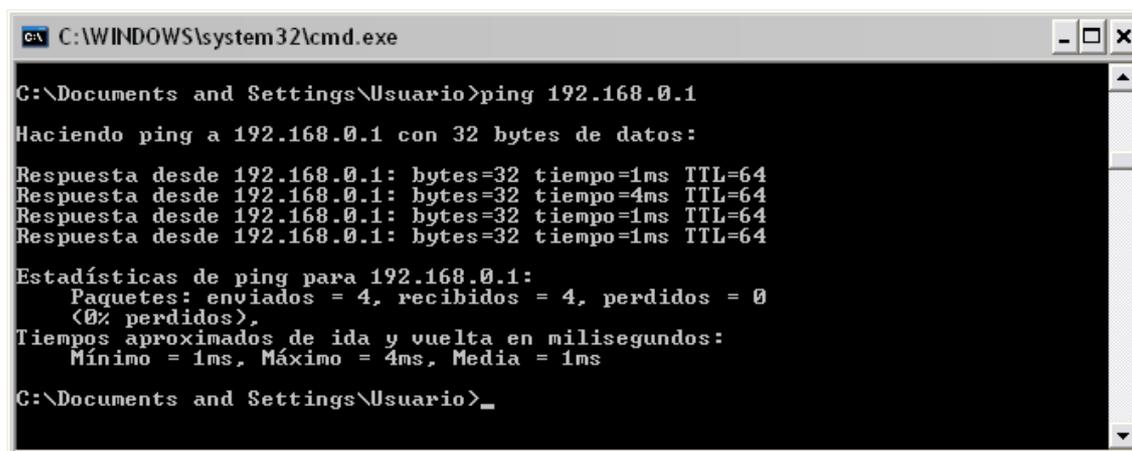
Un primer ping a nuestra IP local, con lo que se comprueba que la tarjeta de red de la PC funciona correctamente, en este caso hacemos PING 192.168.0.100.



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
C:\Documents and Settings\Usuario>ping 192.168.0.100
Haciendo ping a 192.168.0.100 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.0.100: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Estadísticas de ping para 192.168.0.100:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 0ms, Máximo = 0ms, Media = 0ms
C:\Documents and Settings\Usuario>_
```

Figura 4.8. Prueba del estado de la tarjeta de red

Un segundo ping a nuestra Puerta de enlace, con lo que se comprobó que el equipo se comunica correctamente con el Access Point, en este caso se hace PING 192.168.0.1.



```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe

C:\Documents and Settings\Usuario>ping 192.168.0.1
Haciendo ping a 192.168.0.1 con 32 bytes de datos:

Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=4ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64

Estadísticas de ping para 192.168.0.1:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (<0% perdidos>),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 1ms, Máximo = 4ms, Media = 1ms

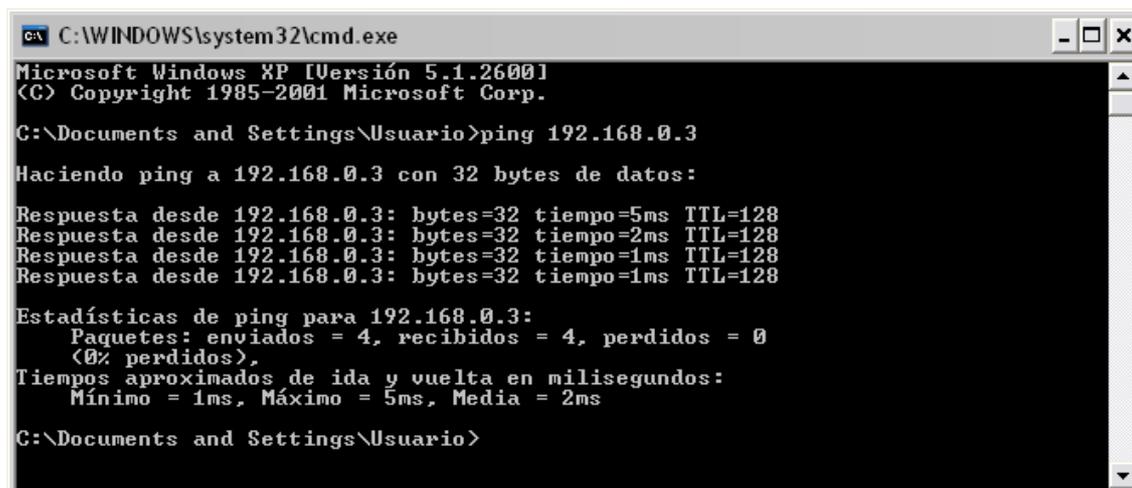
C:\Documents and Settings\Usuario>_

```

Figura 4.9. Prueba de conectividad con el Access Point

Para comprobar las conexiones de red se hace ping a cualquier equipo de la red, en este caso a los módulos Ethernet de cada Módulo Didáctico, con lo que se puede comprobar si se está realmente conectado a ese equipo, ya que en esta prueba la PC no se ve afectada por configuraciones de Firewall (salvo que se lo configure expresamente para no admitirlos) ni por permisos de acceso al sistema, puesto que el ping se hace directamente sobre la tarjeta.

El tercer ping se lo realizó a la dirección IP del Módulo de Caudal, PING 192.168.0.3, con lo que se comprobó que se encuentra en la red.



```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe

Microsoft Windows XP [Versión 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.

C:\Documents and Settings\Usuario>ping 192.168.0.3
Haciendo ping a 192.168.0.3 con 32 bytes de datos:

Respuesta desde 192.168.0.3: bytes=32 tiempo=5ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.3: bytes=32 tiempo=2ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.3: bytes=32 tiempo=1ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.3: bytes=32 tiempo=1ms TTL=128

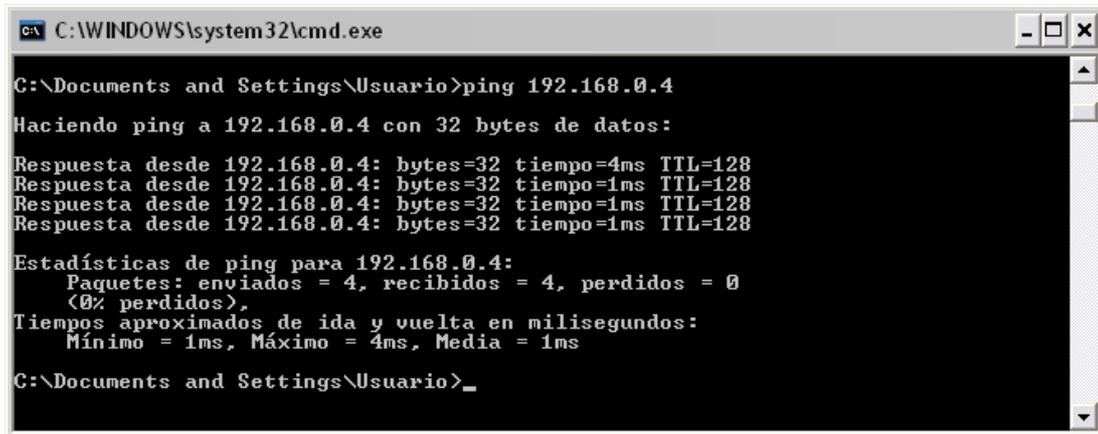
Estadísticas de ping para 192.168.0.3:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (<0% perdidos>),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 1ms, Máximo = 5ms, Media = 2ms

C:\Documents and Settings\Usuario>

```

Figura 4.10. Prueba de conexión con el Módulo de Caudal

El cuarto ping se lo realizó a la dirección IP del Módulo de Nivel, PING 192.168.0.4, con lo que se comprobó que se encuentra en la red.

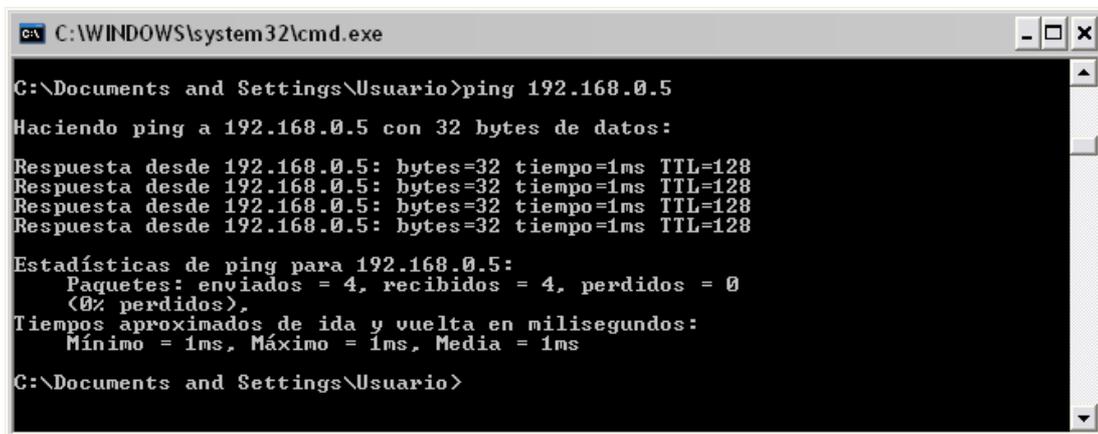


```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
C:\Documents and Settings\Usuario>ping 192.168.0.4
Haciendo ping a 192.168.0.4 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.0.4: bytes=32 tiempo=4ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.4: bytes=32 tiempo=1ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.4: bytes=32 tiempo=1ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.4: bytes=32 tiempo=1ms TTL=128
Estadísticas de ping para 192.168.0.4:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (<0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 1ms, Máximo = 4ms, Media = 1ms
C:\Documents and Settings\Usuario>_
  
```

Figura 4.11. Prueba de conexión con el Módulo de Nivel

El quinto ping se lo realizó a la dirección IP del Módulo de Temperatura, PING 192.168.0.5, con lo que se comprobó que se encuentra en la red.



```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
C:\Documents and Settings\Usuario>ping 192.168.0.5
Haciendo ping a 192.168.0.5 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.0.5: bytes=32 tiempo=1ms TTL=128
Estadísticas de ping para 192.168.0.5:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (<0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 1ms, Máximo = 1ms, Media = 1ms
C:\Documents and Settings\Usuario>
  
```

Figura 4.12. Prueba de conexión con el Módulo de Temperatura

## 4.5. PRUEBAS DE LAS HMI

La HMI se comunica con el proceso gracias al I/O server MBENET, en el cual se configura la dirección IP y el Topic Name de cada módulo Ethernet perteneciente a cada PLC con el que se está trabajando.

Una vez configurados los Topic Names que intervienen en la red, se procede a verificar que efectivamente el I/O server traiga todos esos valores de los diferentes procesos, únicamente revisando la pantalla principal, en donde aparecen los Topic Names utilizados.

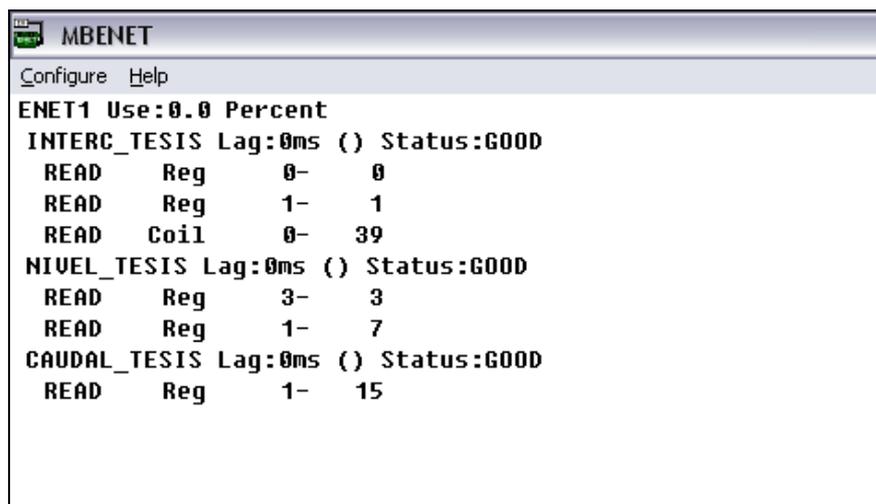


Figura 4.13. Verificación de la lectura del PC de las variables que intervienen en los Módulos Didácticos

Una vez comprobado que las variables de interés de cada proceso están llegando al PC, se procede a iniciar la aplicación HMI realizada en INTOUCH. La identificación y manipulación de las variables del proceso se las hace mediante tagnames, en los cuales se define el tipo, el Access Name del cual se lo va a leer o escribir y la posición de memoria en la que el PLC guarda esa variable, así completando la interacción entre el HMI y los Módulos Didácticos

Ya pudiendo leer o escribir sobre las variables del proceso se comprobó el correcto funcionamiento de los niveles de acceso.

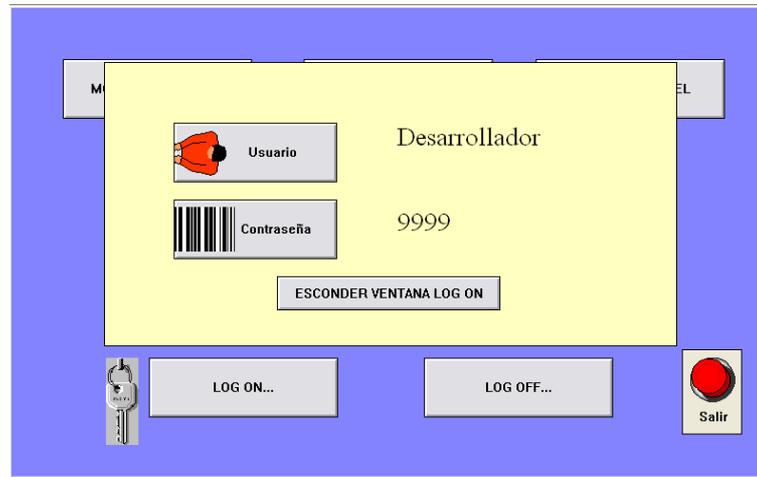


Figura 4.14. Pantalla para el ingreso de usuarios

La figura muestra el ingreso al sistema del usuario llamado Desarrollador, el cual tiene el máximo nivel de acceso, es decir, puede ingresar a todas las aplicaciones del HMI y siendo capaz de modificar puntos de consigna.

También se encuentra programado un usuario denominado Operador, el cual no tiene todos los privilegios, a continuación se presenta un ejemplo de cuando se ingresa con el nivel de Operador.

Como se puede observar en la figura 4.15 con el nivel de operador se tienen restricciones en el uso del HMI, aparecen sombreadas los botones que permiten la visualización de históricos y alarmas, además con este nivel de acceso tampoco se puede modificar los puntos de consigna o setpoint.

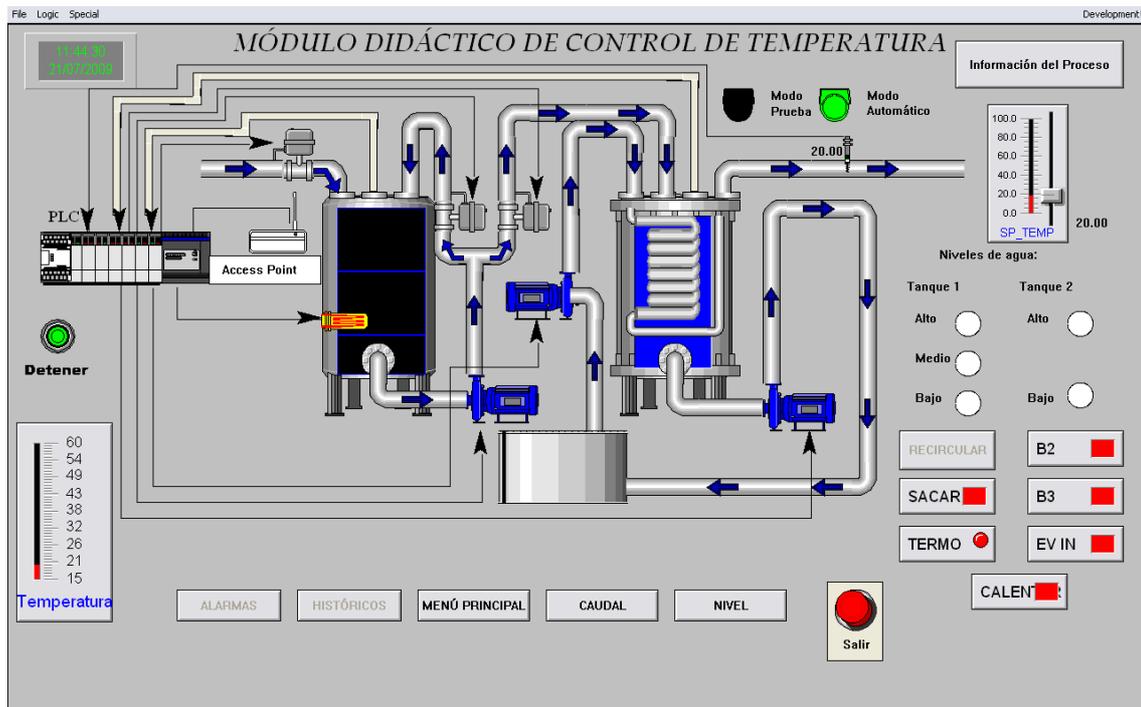


Figura 4.15. Ingreso al HMI del Modulo didáctico de temperatura con nivel de Operador

Con el nivel de acceso máximo se pueden modificar los puntos de alarma (Lo, LoLo, Hi y HiHi) desde el WindowViewer con ayuda de la pantalla “DEFINIR PUNTOS DE ALARMA”.

Cabe aclarar que estas configuraciones quedan almacenadas hasta que el WindowViewer es cerrado. Cada vez que se inicializa el runtime de la aplicación, los valores de los puntos de alarma son los que fueron configurados a través del Diccionario de TagNames del WindowMaker.

En la Figura 4.16 se muestra la pantalla que permite realizar las definiciones de puntos de alarma para los TagNames listados en la misma.

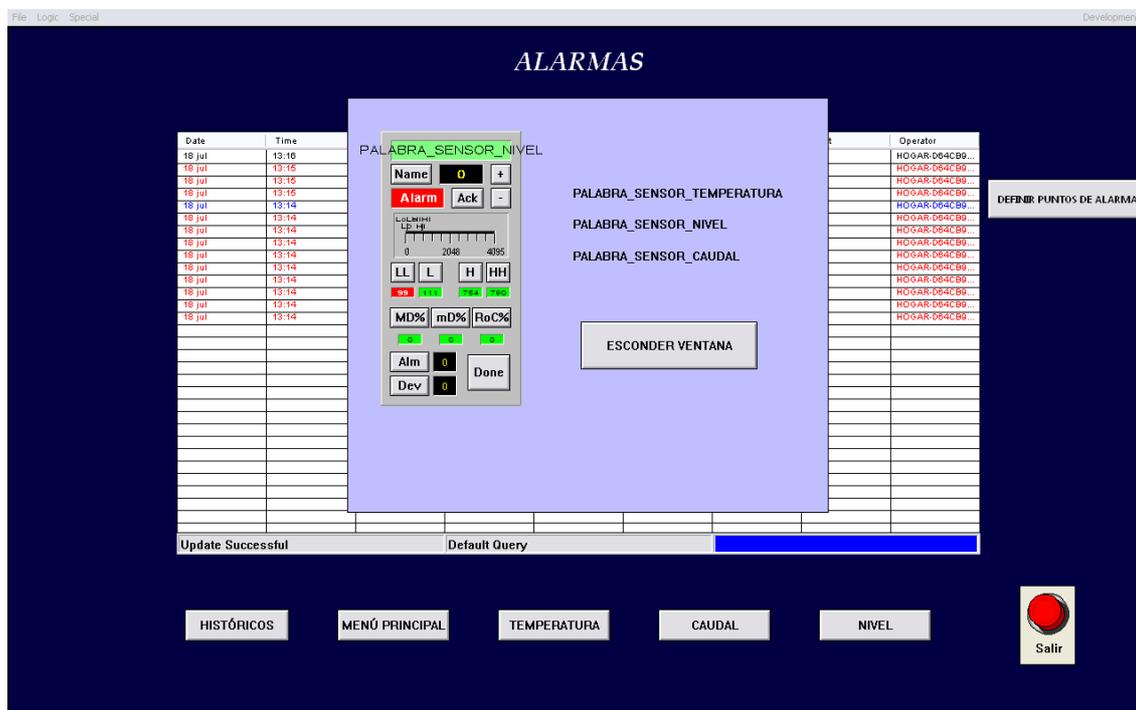


Figura 4.16. Pantalla de asignación de puntos de alarma.

#### 4.5.1. PRUEBAS DEL MÓDULO DE CAUDAL

Para este módulo, se procedió a colocar un determinado nivel de agua en el tanque principal, y a partir de este, se cambió a modo automático, con el fin de comprobar que la válvula de control ubique en la posición que garantice un caudal aproximado de 4.91 gpm.

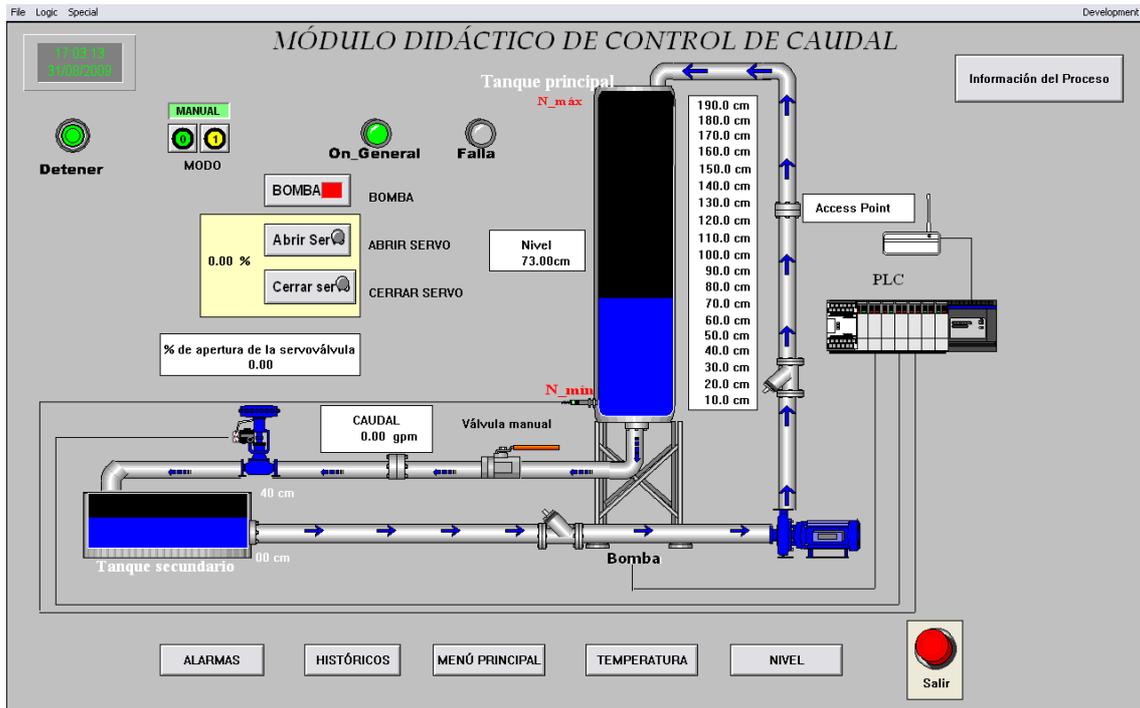


Figura 4.17. HMI Módulo de Caudal

NIVEL	NIVEL INTOUCH	% ERROR NIVEL	PORCENTAJE APERTURA	PORCENTAJE APERTURA TEORICO	% ERROR APERTURA VÁLVULA
82,5	83,0	0,6	31,0	37,0	-19,3
49,5	49,0	-1,0	40,9	38,0	7,1
45,5	45,0	-1,1	42,4	43,0	-1,5
75,0	76,0	1,3	32,7	33,0	-1,0
67,5	68,0	0,7	34,8	37,0	-6,3
57,0	57,0	0,0	38,2	38,0	0,4
46,0	45,0	-2,2	42,4	43,0	-1,5
39,5	39,0	-1,3	44,7	44,0	1,5
99,0	98,0	-1,0	28,1	31,0	-10,3
92,5	93,0	0,5	29,0	30,0	-3,5
85,0	85,0	0,0	30,6	34,0	-11,2
65,5	66,0	0,8	35,4	35,0	1,1
61,0	61,0	0,0	36,9	36,0	2,4
55,5	56,0	0,9	38,5	41,0	-6,5

Tabla 4.7. Nivel de agua y porcentaje de apertura de la válvula

Como se puede observar en la tabla, los valores de nivel de agua del tanque principal visualizados en el HMI no difieren mayormente de los valores reales. En cuanto al porcentaje de apertura de la válvula de control, en algunos casos se tiene errores apreciables, esto se debe a inercia del motor y tiempo de acción de relés.

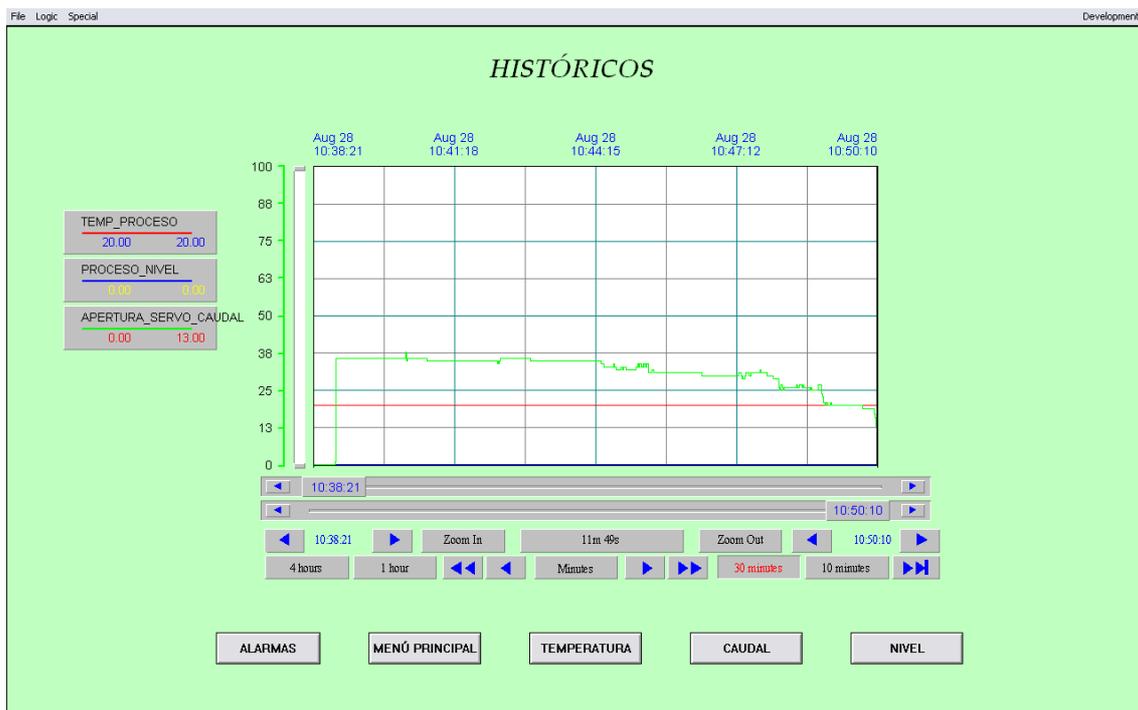


Figura 4.18. Histórico de porcentaje de apertura de la válvula

#### 4.5.2. PRUEBAS DEL MÓDULO DE NIVEL

Para verificar el funcionamiento del control implementado, se procedió a establecer varios puntos de consigna. Estas pruebas consistieron en el cambio del setpoint, para determinar tiempos de respuesta y el valor real del nivel en el tanque. Como un punto de partida se fijó un nivel aleatorio de 15 cm.

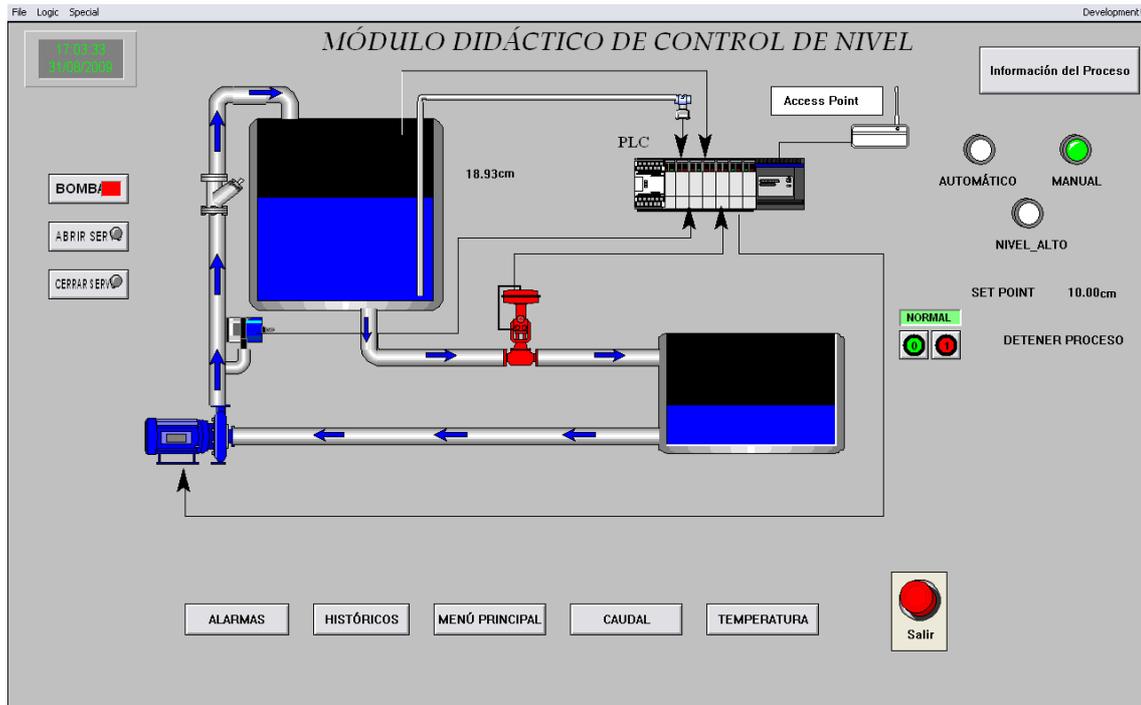


Figura 4.19. HMI Módulo de Nivel

- De 15 cm a 20 cm

El nivel leído desde INTOUCH es de 15,31 cm; se cambia el setpoint a 20 cm, el tiempo que tarda el proceso en llegar al punto de consigna es de 53 segundos, transcurrido este tiempo, el nivel real que presenta el tanque es 20,48 cm. Con esta información la velocidad de llenado calculada es 0,094 cm/seg.

- De 20 cm a 15 cm

El nivel leído desde INTOUCH es de 20,48 cm; se cambia el setpoint a 15 cm, el tiempo que tarda el proceso en llegar al punto de consigna es de 2 minutos y 25 segundos, transcurrido este tiempo, el nivel real que presenta el tanque es 15,4 cm. Con esta información la velocidad de vaciado calculada es 0,034 cm/seg.

- De 15 cm a 11 cm

El nivel leído desde INTOUCH es de 15,4 cm; se cambia el setpoint a 11 cm, el tiempo que tarda el proceso en llegar al punto de consigna es de 2 minutos y 21 segundos, transcurrido este tiempo el nivel real que presenta el tanque es 11,17 cm. Con esta información la velocidad de vaciado calculada es 0,028 cm/seg.

- De 11 cm a 23 cm

El nivel leído desde INTOUCH es de 11,17 cm; se cambia el setpoint a 23 cm, el tiempo que tarda el proceso en llegar al punto de consigna es de 1 minuto y 45 segundos, transcurrido este tiempo el nivel real que presenta el tanque es 23,60 cm. Con esta información la velocidad de llenado calculada es 0,114 cm/seg.

- De 23 cm a 17 cm

El nivel leído desde INTOUCH es de 23,60 cm; se cambia el setpoint a 17 cm, el tiempo que tarda el proceso en llegar al punto de consigna es de 2 minutos y 27 segundos, transcurrido este tiempo el nivel real que presenta el tanque es 17,38 cm. Con esta información la velocidad de vaciado calculada es 0,041 cm/seg.

- De 17 cm a 29 cm

El nivel leído desde INTOUCH es de 17,38 cm; se cambia el setpoint a 29 cm, el tiempo que tarda el proceso en llegar al punto de consigna es de 1 minuto y 51 segundos, transcurrido este tiempo el nivel real que presenta el tanque es 29,79 cm. Con esta información la velocidad de llenado calculada es 0,108 cm/seg.

- De 29 cm a 12 cm

El nivel leído desde INTOUCH es de 29,69 cm; se cambia el setpoint a 12 cm, el tiempo que tarda el proceso en llegar al punto de consigna es de 7 minutos y 7 segundos, transcurrido este tiempo el nivel real que presenta el tanque es 12,31 cm. Con esta información la velocidad de llenado calculada es 0,040 cm/seg.

También se realizaron las mismas pruebas con la válvula manual abierta, con el fin de probar el funcionamiento del sistema ante una perturbación.

- De 12 cm a 25 cm

El nivel leído desde INTOUCH es de 12,31 cm; se cambia el setpoint a 25 cm, el tiempo que tarda el proceso en llegar al punto de consigna es de 1 minuto y 16 segundos, transcurrido este tiempo el nivel real que presenta el tanque es 25,69 cm. Con esta información la velocidad de llenado calculada es 0,171 cm/seg.

- De 25 cm a 12 cm

El nivel leído desde INTOUCH es de 25,69 cm; se cambia el setpoint a 12 cm, el tiempo que tarda el proceso en llegar al punto de consigna es de 1 minuto y 47 segundos, transcurrido este tiempo el nivel real que presenta el tanque es 12,22 cm. Con esta información la velocidad de vaciado calculada es 0,121 cm/seg.

- De 12 cm a 16 cm

El nivel leído desde INTOUCH es de 12,22 cm; se cambia el setpoint a 16 cm, el tiempo que tarda el proceso en llegar al punto de consigna es de 29 segundos, transcurrido este tiempo el nivel real que presenta el tanque es 16,14 cm. Con esta información la velocidad de llenado calculada es 0,138 cm/seg.

- De 16 cm a 30 cm

El nivel leído desde INTOUCH es de 16,14 cm; se cambia el setpoint a 12 cm, el tiempo que tarda el proceso en llegar al punto de consigna es de 1 minuto y 37 segundos, transcurrido este tiempo el nivel real que presenta el tanque es 30,1 cm. Con esta información la velocidad de llenado calculada es 0,144 cm/seg.

Como se puede observar el proceso presenta tiempos de respuesta similares en cada caso, tomando en cuenta que la velocidad de llenado presenta menos diferencias debido a que ésta depende únicamente de la potencia de la bomba. En el vaciado los tiempos varían de acuerdo a la cantidad de agua del tanque principal.

Cuando la válvula manual está abierta, se presenta una perturbación, la misma que influye en los tiempos de llenado y vaciado. El tiempo de llenado en cada caso es muy similar ya que la perturbación es la misma.

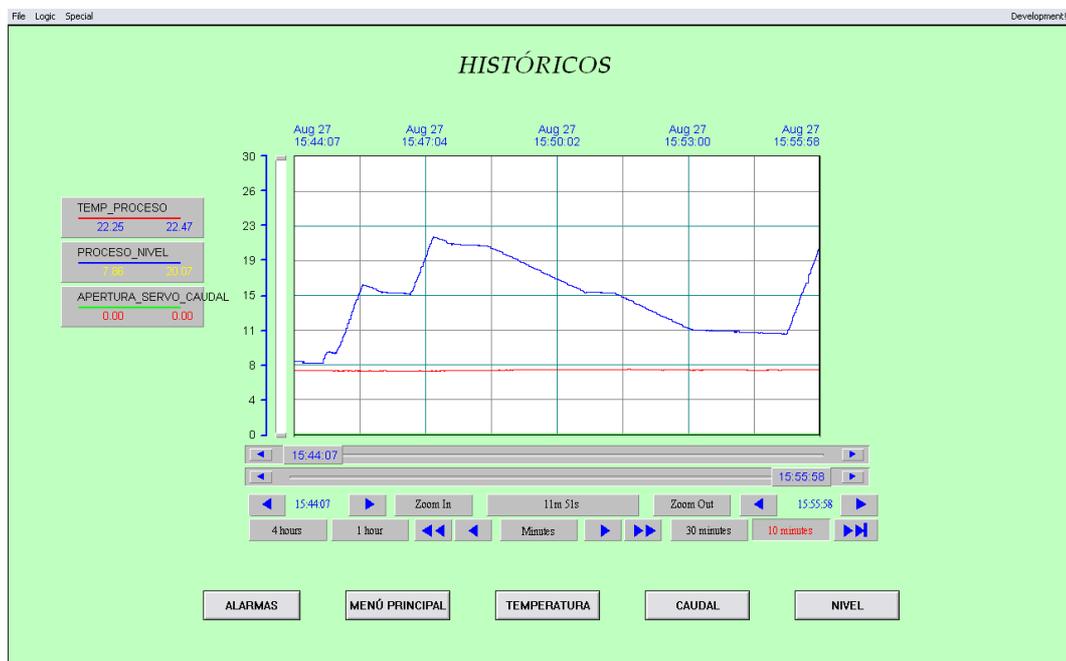


Figura 4.20. Históricos de Nivel

En la figura anterior se muestra parte del registro histórico de las pruebas realizadas.

#### 4.5.3. PRUEBAS DEL MÓDULO DE TEMPERATURA

La capacitancia del tanque de calentamiento es grande, y esto se lo verifica realizando la siguiente prueba.

- Calentamiento en el tanque 1, de 25°C a 35°C: para poder realizar este cambio de temperatura se necesitaron 30 minutos.
- Calentamiento en el tanque 1, de 35°C a 45°C: para poder realizar este cambio de temperatura se necesitaron 23 minutos.

Cabe aclarar que estas pruebas se realizaron con el tanque lleno.

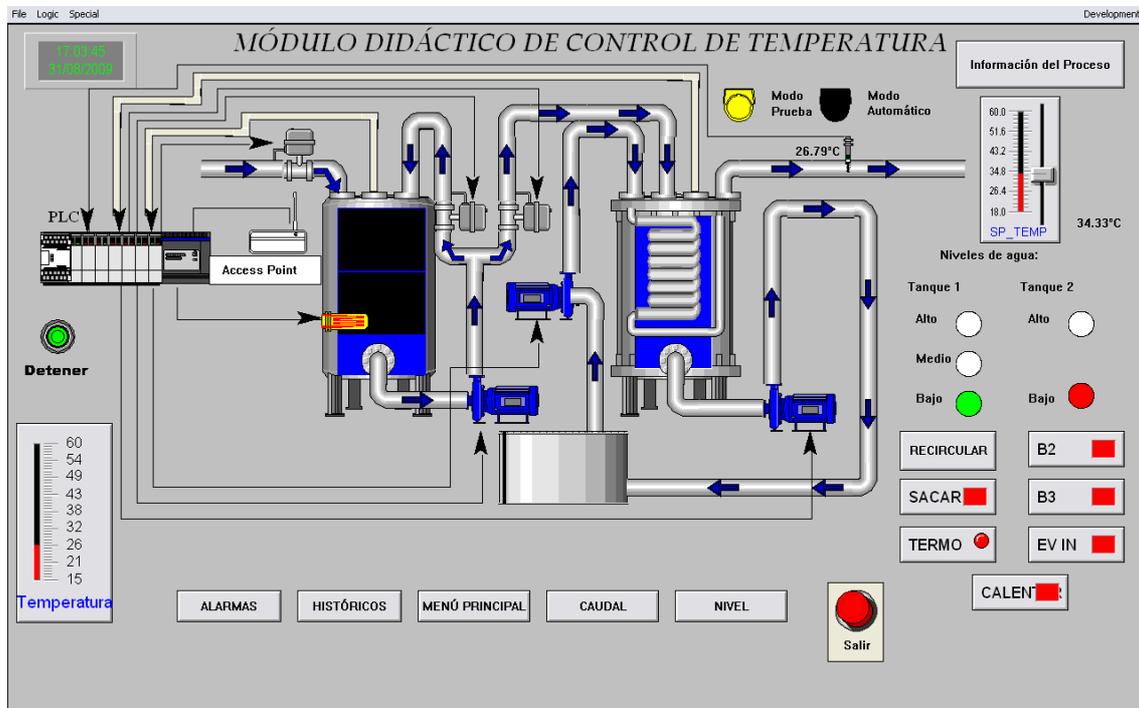


Figura 4.21. HMI Módulo de Temperatura

Se realizaron pruebas del control, estableciendo primero un setpoint de 30 °C, obteniendo los resultados que se aprecian en el siguiente registro histórico.

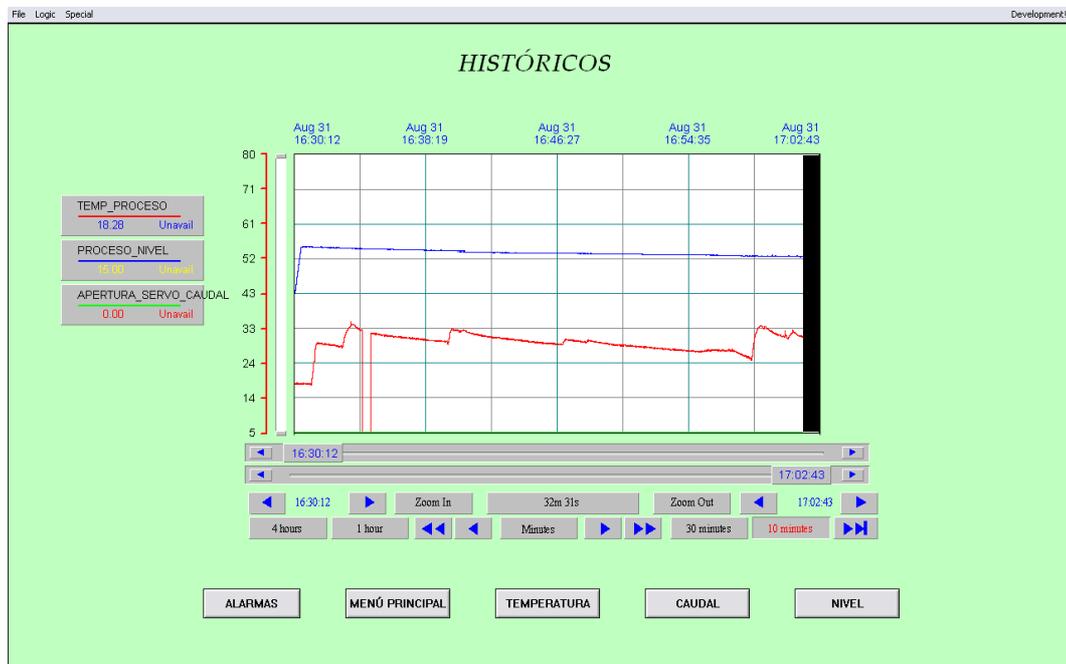


Figura 4.22. Histórico módulo de temperatura

Debido a que la capacidad del tanque de calentamiento es pequeña, no es posible realizar cambios drásticos del setpoint, ya que el agua caliente se termina antes de conseguir la nueva temperatura asignada.

Con el agua saliendo del tanque de calentamiento a 45°C y con el tanque intercambiador de calor lleno de agua a temperatura ambiente, se consiguió reducir a 31 °C, siempre y cuando el agua repose dentro del serpentín alrededor de 1 minuto, es decir, se saca el agua en forma intermitente.

#### 4.5.4. ALARMAS

En cuanto a alarmas se generaron voluntariamente situaciones en las cuales las variables de proceso no se encuentran en un rango normal, para así verificar el funcionamiento de alertas. Para identificar el módulo que produjo la alarma o alarmas, se muestra un parpadeo del nombre de módulo correspondiente.



Figura 4.23. Pantalla de notificación de alarmas

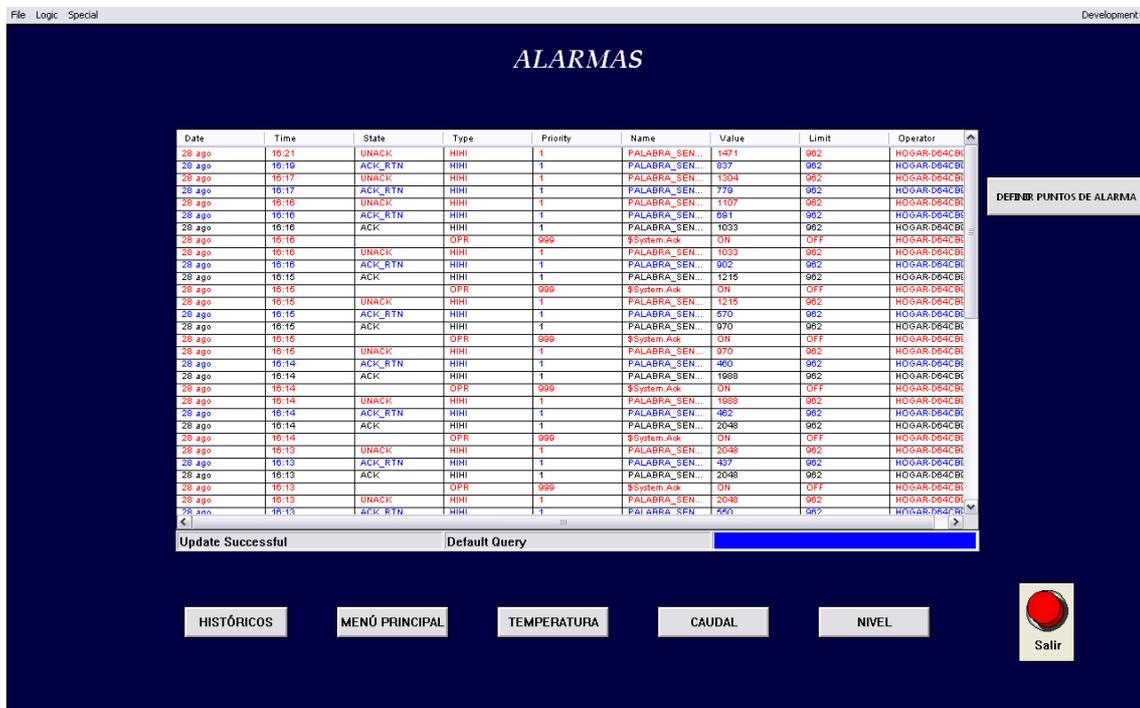


Figura 4.24. Pantalla de alarmas

Una vez reconocida la alarma, se cierra la pantalla de notificación de alarmas, pero no significa que la falla haya desaparecido. Las alarmas sirven para conocer qué variable está fuera de sus valores.

## **CAPITULO 5**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Una vez finalizado el presente proyecto se llegan a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

## **CONCLUSIONES**

El proyecto analizado y desarrollado en el presente trabajo cumple con los objetivos planteados inicialmente que son, el diseño e implementación de un sistema SCADA para control de los módulos de nivel, caudal y temperatura, presentado los niveles acceso, HMI para cada Módulo Didáctico e históricos.

Los resultados obtenidos luego de realizar pruebas al sistema SCADA fueron positivos. Todas las funciones implementadas trabajan del modo que se esperaba.

La arquitectura del sistema SCADA es bastante flexible, es decir, se puede desarrollar un sistema SCADA tan sencillo como un enlace entre un PC y un PLC, o tan complejo que integre muchos sub-procesos como los presentes en un proceso industrial grande e incluso geográficamente separado.

El conjunto HMI y pantallas desarrolladas en Intouch, permite que cualquier usuario fácilmente se desplace entre ellas ya que es un interfaz sencillo de comprender y utilizar.

El nivel de acceso que se define para un determinado usuario, es un método efectivo para garantizar que personas no autorizadas manipulen ciertas partes del proceso.

Para armar un módulo didáctico se deben tener varias consideraciones, ya que cualquier estudiante debe poder manipular sin problemas dicho equipo. Así mismo el módulo debe estar diseñado para aceptar cualquier algoritmo de control que el usuario desee implementar, dependiendo de sus conocimientos y necesidades.

Para armar un módulo o readecuarlo, se presentan problemas a nivel mecánico, los cuales se pueden resolver buscando piezas sencillas que muchas veces existen en el mercado.

Los PLC poseen una amplia gama de módulos de expansión que permiten simplificar las operaciones de adquisición de datos y comunicaciones dentro de varios tipos de redes industriales e incluso redes de datos.

Para programar el PLC normalmente se lo hace mediante el cable de programación TSXPCX1031, pero si se dispone del módulo Ethernet 499TWD01100, también llamado TwidoPort, se lo puede hacer a través de éste.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda dar un mantenimiento preventivo periódico a los sensores y actuadores de los módulos del laboratorio, ya que con medidas sencillas se puede evitar que estos se deterioren rápidamente y pierdan sus funciones originales.

Es prudente que cada grupo de estudiantes que lleguen a trabajar en los módulos didácticos, busquen siempre tratar de mejorar los mismos, buscando la manera de implementar nuevos tipos de sensores o actuadores ya que los PLC junto con sus módulos de expansión brindan mucha flexibilidad para modificar o expandir las funciones de un determinado proceso o equipo.

Antes de poner en operación los Módulos Didácticos se recomienda verificar si algún actuador manual está o no activo, ya que por ser de tipo manual el PLC no puede determinar su estado, es decir, este dispositivo no está programado en el PLC.

En este sistema SCADA se puede agregar más módulos, pues se trata de una red Ethernet, por lo cual los nuevos procesos deben acoplarse a este mediante el mismo protocolo, teniendo cuidado en el establecimiento de direcciones IP, pues no se deben duplicar.

El cable TSXPCX1031 se usa solamente la primera vez debido a que es necesario realizar las configuraciones respectivas, de ahí en adelante se puede programar el PLC mediante TwidoPort, lo cual es sencillo hacerlo a través de una Laptop, debido a que en estos días los ordenadores portátiles ya no poseen un puerto serial RS232, pero si el puerto RJ45, de tal forma que se puede programar el PLC estando conectado a la red. La conexión se la puede hacer directamente entre PLC y PC mediante un cable de red cruzado aunque el fabricante recomienda hacer esta conexión a través de un concentrador.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BORJA Ronald. “Diseño y construcción de un módulo didáctico para el control de nivel de líquidos”. Escuela Politécnica Nacional. Ecuador. Quito. 2007.
- [2] CORRALES Luis. “Interfaces de comunicación industrial”. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador, Quito, Mayo 2004.
- [3] BARRERA Laura, LUZURIAGA Daniel. “Diseño y construcción de un sistema SCADA sobre wi-fi para controlar el caudal de agua que sale desde un tanque”, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador, Quito, 2007.
- [4] Invensys Systems.Inc, Wonderware FactorySuite Intouch User’s Guide, 2005.
- [5] CORRALES, Luis. “Instrumentación Industrial”, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador, Quito, Mayo 2004.
- [6] CORRALES, Luis. “Curso introductorio de Intouch”. Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, Mayo 2007.
- [7] SIEMENS, Catálogo ST 80-2005, “simatic hmi/Sistemas para manejo y visualización”, 2005.
- [8] Creus Solé, Antonio, “Instrumentación Industrial”, Alfa Omega, México, Quinta Edición, 1995.
- [9] Schneider Electric, “Twido Port User’s Guide”, Francia, 2004.

## DIRECCIONES ELECTRÓNICAS

- [10] Sapiens, Física de sólidos y fluidos, 2008,  
<http://www.sapiens.itgo.com/documents/doc15.htm>
- [11] Geocities, Presión, 2008,  
<http://www.geocities.com/CollegePark/Pool/1549/instru1/d01.html>

- [12] Anónimo, Presión manométrica, 2008, [http://es.wikipedia.org/wiki/Presi%C3%B3n\\_manom%C3%A9trica](http://es.wikipedia.org/wiki/Presi%C3%B3n_manom%C3%A9trica)
- [13] Anónimo, Viscosidad, 2009, <http://es.wikipedia.org/wiki/Viscosidad>
- [14] La Molina, Número de Reynolds, 2008, <http://tarwi.lamolina.edu.pe/~dsa/Reynold.htm>
- [15] Anónimo, Número de Reynolds, 2009, [http://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero\\_de\\_Reynolds](http://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_de_Reynolds)
- [16] California Institute of Technology, En qué se diferencian Calor y Temperatura?, 2001, [http://www.spitzer.caltech.edu/espanol/edu/thermal/differ\\_sp\\_06sep01.html](http://www.spitzer.caltech.edu/espanol/edu/thermal/differ_sp_06sep01.html)
- [17] PCE Group, Unidades de medida de temperatura, 2009, <http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/unidades-temperatura.htm>
- [18] Universidad Central de Venezuela Ulises Lacoa, Intercambiadores de calor, 2001, <http://mipagina.cantv.net/ulacoa/clase24.pdf>
- [19] DPS Telecom, Do You Know These Key SCADA Concepts?/SCADA Tutorial: A Quick, Easy, Comprehensive Guide, 2008, <http://dpstele.com/white-papers/scada/offer.php>
- [20] Foros de Electrónica.com/Comunidad Internacional de Electrónicos, Detector de inundación, 2005, <http://www.forosdeelectronica.com/proyectos/alarma-detectora-inundacion.htm>
- [21] National Communications System, Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) Systems, 2004, [http://www.ncs.gov/library/tech\\_bulletins/2004/tib\\_04-1.pdf](http://www.ncs.gov/library/tech_bulletins/2004/tib_04-1.pdf)
- [22] Universidad de Oviedo, Ingeniería de Sistemas y Automática, SCADA, 2005, [http://isa.uniovi.es/~vsuarez/Download/Caracteristicas\\_SCADAS.pdf](http://isa.uniovi.es/~vsuarez/Download/Caracteristicas_SCADAS.pdf)

[23] Universidad de Valencia, Introducción a Profibus, 2007,  
[http://gpds.uv.es/sid/SID\\_introProfibus.pdf](http://gpds.uv.es/sid/SID_introProfibus.pdf)

[24] National Instruments, ¿Qué es LabView?, Mexico 2009,  
<http://www.ni.com/labview/whatis/esa>

[25] Automatas Industriales, Sistema de Visualización WinCC, 2006,  
<http://www.automatas.org/siemens/wincc.htm>

[26] Anónimo, Bus CAN, 2008, [http://es.wikipedia.org/wiki/Bus\\_CAN](http://es.wikipedia.org/wiki/Bus_CAN)

[27] Piñón Pazos Andrés, TECNOLOGÍAS ACTUALES DE COMUNICACIÓN DE LAS VARIABLES DE CAMPO EN LA INDUSTRIA DE PROCESO, 2000,  
[http://www.cea-ifac.es/actividades/jornadas/XXII/documentos/A\\_03\\_IC.pdf](http://www.cea-ifac.es/actividades/jornadas/XXII/documentos/A_03_IC.pdf)

[28] Anónimo, Red Industrial, 2008, [http://es.wikipedia.org/wiki/Red\\_industrial](http://es.wikipedia.org/wiki/Red_industrial)

[29] Gobierno de Canarias, Ethernet, 2007,  
[http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/conocernos\\_mejor/paginas/ethernet.htm](http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/conocernos_mejor/paginas/ethernet.htm)