

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA Y MANUFACTURERA



**“AUTOMATIZACIÓN DE UN LABORATORIO DE
INGENIERIA QUÍMICA UTILIZANDO PLC'S
CONECTADOS A TRAVES DE UNA RED INDUSTRIAL
SUPERVISADA POR MEDIO DE UN SISTEMA SCADA”**

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE :

INGENIERO QUÍMICO

OSCAR GERARDO MARIN FLORES

PROMOCION 90 - I

LIMA – PERU

2002

INDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
2.1. ANTECEDENTES	3
2.2. DESCRIPCION DE LAS UNIDADES	4
2.2.1. FLUJO DE FLUIDOS.....	4
2.2.2. COLUMNA DE ABSORCIÓN/DESORCION	5
2.2.3. INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	5
2.3. ESTRATEGIAS DE CONTROL.....	7
2.3.1. CONTROL DE FLUJO	7
2.3.2. CONTROL DE NIVEL	9
2.3.3. CONTROL DE TEMPERATURA.....	10
III. INSTRUMENTOS DE CAMPO	15
3.1. MEDICION DE FLUJO	15
3.1.1. DEL SENSOR DE FLUJO	15
3.1.2. DEL TRANSMISOR DE PRESION DIFERENCIAL	18
3.2. MEDICION DEL NIVEL	19
3.2.1. DEL SISTEMA DE MEDICION DE NIVEL.....	19
3.2.2. CALIBRACIÓN	21
3.3. MEDICION DE LA TEMPERATURA	25
3.3.1. DEL SENSOR DE TEMPERATURA.....	25
3.2.3. DEL TRANSMISOR DE TEMPERATURA.....	27
3.4. ELEMENTOS DE CONTROL FINAL.....	30
IV. SISTEMAS DE CONTROL.....	36
4.1. CONCEPTOS BÁSICOS.....	36
4.2. DEL SISTEMA DE CONTROL A IMPLEMENTAR	43

4.2.1. ARQUITECTURA.....	45
4.2.2. CARACTERISTICAS DE LOS CONTROLADORES.....	46
4.2.2.1. PLC's SERIE 9030.....	46
4.2.2.2. PLC's VERSAMAX.....	54
4.3. SOFTWARE DE PROGRAMACION (VERSAPRO)	58
4.3.1. MENUES.....	58
4.3.2. BARRAS DE HERRAMIENTAS	63
4.3.3. JUEGO DE INSTRUCCIONES	66
4.3.4. MENUES HWC.....	72
V. SISTEMAS SCADA	78
5.1. CONCEPTOS BASICOS.....	78
5.2. DEL SISTEMA SCADA UTILIZADO	83
VI. REDES INDUSTRIALES	85
6.1. CONCEPTOS BASICOS.....	85
6.1.1. ¿QUÉ ES UNA RED?.....	85
6.1.2. ¿QUÉ ES UNA RED INDUSTRIAL?	85
6.1.3. MODELO REFERENCIAL OSI.....	86
6.1.4. TIPOS DE REDES INDUSTRIALES.....	87
6.1.5. BENEFICIOS DE UNA RED	88
6.1.6. CARACTERÍSTICAS DE UNA RED.....	91
VII. AUTOMATIZACION DEL LABORATORIO DE INGENIERIA QUÍMICA	110
7.1. ANALISIS PREVIO.....	110
7.2. VISUALIZACION DEL PROCESO	111
7.3. DIRECCIONES DE REFERENCIA DE E/S	112
7.4. CONFIGURACION DE LOS PLC's	113
7.5. PROGRAMACION DE LOS PLC's	119
7.6. DESARROLLO DE LA APLICACION EN CIMPPLICITY.....	125

7.7. PRUEBAS DE CAMPO	128
7.8. CONCLUSIONES.....	146
VIII. ESTUDIO ECONOMICO	149
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	151
ANEXOS	153
• ANEXO 01 : “Configuración de un proyecto en Cimplicity”	153
• ANEXO 02 : “Configuración de aplicación en Versapro	164
• ANEXO 03 “Comunicaciones a través de una red de PLC’s 9030”	169
GLOSARIO	176

Prólogo

El Laboratorio de Ingeniería Química tiene por finalidad el apoyo de las labores académicas a los estudiantes de la Facultad así como la prestación de servicios a tesis con fines de investigación y a terceros para la generación de bienes y servicios. En vista de estos objetivos es que desde su inauguración, el 28 de Octubre de 1960, la preocupación de las autoridades de la Facultad se ha reflejado en la implementación de nuevos equipos e instrumentos que puedan ayudar a que su labor sea más eficaz.

La automatización es una de estas herramientas y desde un principio se han tratado de incorporar a las unidades diversos instrumentos de medición y control que en su tiempo sirvieron eficazmente a su cometido. Sin embargo, en aras de una modernidad que se hacía necesaria, es que en estos últimos años se ha creído necesaria la optimización del funcionamiento del laboratorio introduciendo mejoras en lo que respecta a la automatización del Laboratorio.

Es así que se establece un convenio con una empresa dedicada al rubro de la automatización, Ge Fanuc , a través de su representante en el Perú, Elecont a cargo del Ing. César Montalvo, para adquirir nueva y moderna instrumentación de control. Es entonces que a través de la intervención de algunos profesores de la Facultad, entre ellos el Ing. Edwin Dextre como Jefe del Laboratorio y el Ing. Emerson Collado , este convenio se lleva a cabo con la autorización del entonces Decano Ing. Walter Zaldívar, en cuya gestión se reinaugura el antiguo Laboratorio de Operaciones Unitarias renombrándolo como Laboratorio de Ingeniería Química e inaugurando Laboratorio de Automatización y la Sala de Simulación y Control de Procesos, la cual tiene por finalidad servir de apoyo a docentes y alumnos para poner en práctica los conocimientos impartidos en el área de la instrumentación y Control de Procesos.

En la actualidad el grupo ASIPROCESO al cual pertenecemos algunos docentes de la Facultad, está encargado de promover y llevar a cabo las labores referidas al área de Automatización, siendo una de esas actividades el apoyo al desarrollo de la presente tesis.

Capítulo I

Introducción

El Laboratorio de Ingeniería Química N° 23 fue creado originalmente con la finalidad de servir de apoyo a los alumnos en su formación así como para llevar a cabo proyectos de investigación y además para brindar servicios a terceros para poder autogenerar recursos para la universidad. Es indudable entonces que el laboratorio debe alcanzar un nivel de competitividad que lo haga capaz de llevar a cabo lo anteriormente mencionado. Es por esto que todos los docentes involucrados con el área debemos emprender la tarea de lograr construir un laboratorio modelo poniendo de nuestra parte para convertir al Laboratorio de Ingeniería Química en un laboratorio moderno y competitivo.

Dentro de este marco el presente trabajo tiene por finalidad contribuir con el objetivo ya mencionado desarrollando una de las áreas más interesantes de la Ingeniería Química: la Automatización.

Es ya algo frecuente que las empresas se planteen la automatización de una serie de procesos en su entorno industrial para con ello mejorar la productividad, aumentar la calidad del producto final, además de aumentar la seguridad en el trabajo. Para conseguir estos objetivos, las empresas deben utilizar computadoras y un sistema especializado en monitoreo, control y adquisición de datos denominado sistema SCADA.

El presente proyecto se realiza con el objetivo de implantar en el laboratorio un sistema de control moderno que haga uso de las ventajas ofrecidas por los sistemas SCADA, de tal manera que los alumnos de Ingeniería Química puedan desarrollar aplicaciones similares.

Para lograr este objetivo en nuestro trabajo se utilizarán controladores lógicos programables (PLC) a los cuales irán conectadas señales provenientes de diferentes unidades del laboratorio. Los PLC's serán a su vez conectados entre sí a través de una red, la cual tendrá una configuración adecuada a las necesidades del laboratorio. En la última

etapa de este trabajo se desarrollará la aplicación correspondiente en un sistema SCADA para la supervisión y control de esta red.

Es necesario mencionar de paso la importancia que tiene un conocimiento cabal del proceso a automatizar y sobretodo de cuáles son las necesidades que se requieren cubrir con la automatización. Dejar de lado esto podría llevarnos incluso a invertir en características que el sistema de por sí ya posee. Es por esta razón que el presente trabajo involucra un estudio de las unidades a ser automatizadas, lo que a su vez incluye una descripción de la unidad y de la estrategia de control implementada.

Asimismo se procurará considerar la mayoría de las variables relacionadas con la red de tal forma que tenga un desempeño óptimo. El bosquejo de la red, las distancias de alambrado, la protección de los componentes, los tipos de información transmitida, los tamaños de paquetes de datos, la velocidad del sistema, la concentración de puntos E/S, los controladores, la compatibilidad, los servidores, los controladores maestros, la seguridad, el entrenamiento de los que operen la red, el mantenimiento de la red, etc., son solamente algunas de las que tendremos en cuenta. De igual manera se ha pensado en una red que no solamente pueda tener un buen desempeño en el tiempo presente sino también que posea la capacidad de poder expandirse posteriormente.

Para poder hacer más comprensible el desarrollo de este trabajo de investigación se ha creído conveniente hacer una descripción de cada dispositivo utilizado, incluso del software utilizado para que, al final, puedan ser de fácil entendimiento los programas o aplicaciones desarrolladas y su relación con los dispositivos utilizados.

Por último, al final del trabajo se hace una evaluación económica del costo que significa un sistema de control como el que se propone en el presente estudio.

De esta manera se logrará modernizar a través de una automatización con tecnología de punta el laboratorio de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería Química y Manufacturera, la cual de esta manera podrá seguir a la vanguardia de los avances en cuanto a herramientas de ingeniería se refiere, contribuyendo de esta manera a la realización de un Planeamiento Estratégico que nos lleve a alcanzar la visión de laboratorio que como ingenieros químicos deseamos..

Capítulo II

Planteamiento del problema

ANTECEDENTES

El laboratorio de Ingeniería Química de la UNI cuenta con una gran variedad de unidades de proceso, algunas de las cuales poseen instrumentos de medición de variables de proceso. En el caso de algunos equipos como el reactor, por ejemplo, se contaba con un sistema de control neumático que permitía controlar la temperatura pero que actualmente se encuentra ya en obsolescencia.

Para el resto de unidades se cuentan en algunos casos con instrumentos de medición, caso por ejemplo de la columna multipropósito en donde existen termocuplas para registrar la temperatura, mientras que en otras hay lazos de control que se encuentran ya implementados como en el intercambiador de calor, pero que se encuentran regulados por controladores pequeños que no tienen la versatilidad ni la tecnología que utilizan los modernos controladores del tipo PLC.

Existen unidades como la columna de evaporación que tienen instaladas válvulas de control para regular el acceso de vapor de calentamiento como en la columna de evaporación y el intercambiador de calor, y en otros casos para manipular también el ingreso de agua de enfriamiento como es el caso del reactor.

Por otro lado hay equipos como el módulo de flujo de fluidos que utiliza una bomba centrífuga para regular el flujo de agua que circula por el sistema. Este módulo tiene incorporados diversos tipos de sensores de flujo como son un rotámetro, un venturímetro, dos placas de orificio y un contómetro.

Y por último existen también unidades que no cuentan con ninguna forma de control sino que únicamente llevan incorporadas unidades de registro de las variables de operación más importantes. Es esta a grandes rasgos una

visión de la realidad del laboratorio con la que nos encontramos y sobre la cual se va a trabajar de tal forma que al finalizar el presente trabajo pueda contarse con un moderno sistema de control integral que haga más productivo el trabajo en el laboratorio y además permita enseñar a los alumnos de ingeniería química las técnicas de automatización industrial. Para tal efecto, de todas las unidades que posee el laboratorio se escogerán tres, las cuales serán incorporadas a un sistema de control a través de controladores tipo PLC: el módulo de flujo de fluidos, la columna de absorción/desorción, y el intercambiador de calor.

DESCRIPCION DE LAS UNIDADES

MODULO DE FLUJO DE FLUIDOS

Esta unidad consta de un sistema de tuberías que tiene por finalidad la determinación experimental de ciertas variables relacionadas con el flujo de fluidos como por ejemplo, la pérdida de carga, la rugosidad, la caída de presión, etc. Cuenta actualmente con instrumentos de medición de flujo, entre ellos 1 venturímetro, 1 contómetro y 1 rotámetro. Para permitir el flujo de agua en el módulo se cuenta con una bomba centrífuga, la cual hará fluir el agua desde un tanque para que recorra la red de tuberías del sistema y pueda retornar al mismo. Las tuberías utilizadas son de dos materiales: hierro forjado y PVC y el diámetro de éstas es de 2".

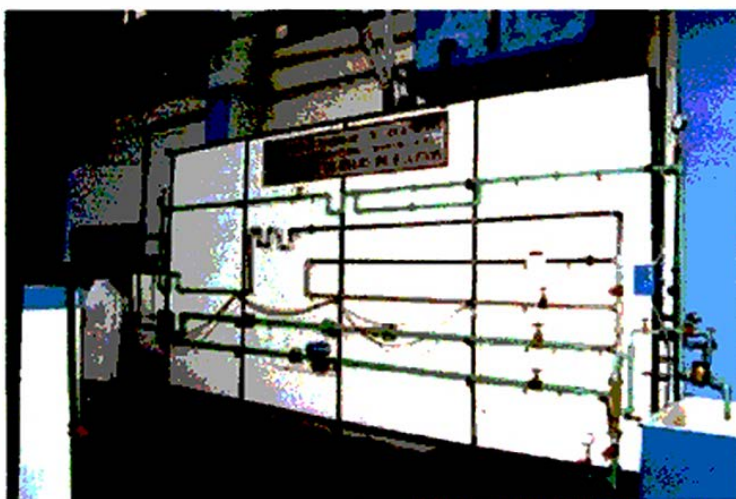


Figura 1. Módulo de Flujo de Fluidos

COLUMNA DE ABSORCION/DESORCION

Esta unidad tiene por finalidad realizar operaciones de absorción y desorción gaseosa. Actualmente trabaja principalmente como columna de desorción utilizando un sistema amoníaco-agua-aire. Está construida de vidrio y posee anillos Raschig como relleno; lleva además instalados

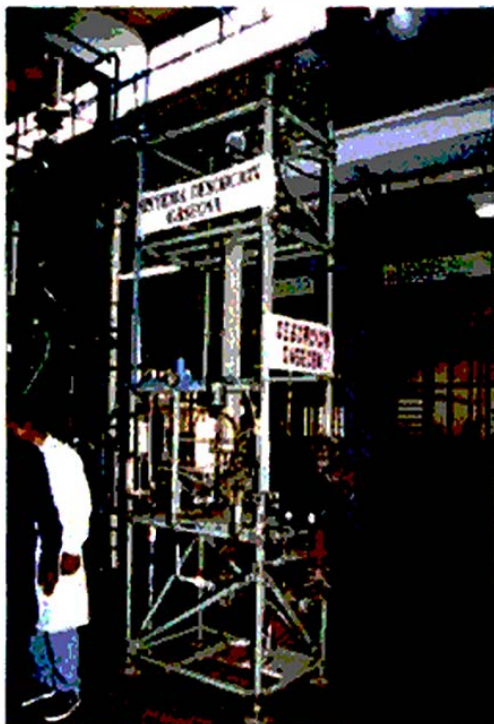


Figura 2. Columna de absorción

rotámetros para medir el flujo tanto de aire como de la solución acuosa de amoníaco a desorber. Opera a contracorriente ingresando la solución por gravedad por la parte superior de la columna y el aire proveniente de un compresor ingresa por la parte inferior de la misma. Es importante mencionar que los flujos a utilizar deben ser los adecuados para operar correctamente debido a que si el flujo de aire es exageradamente alto puede ocasionar que el flujo de líquido no descienda debido a la alta presión en el interior de la columna.

Por otra parte, cabe mencionar que los flujos con los que actualmente se trabaja son tales que no permiten que la columna alcance el punto de carga en el cual podría empezar la acumulación de masa en la columna, ni mucho menos el punto de inundación en el cual la acumulación se hace incontrolable.

Esta columna está diseñada para utilizarse en la purificación de gases y líquidos e incluso para procesos de absorción con reacciones químicas, frecuentemente utilizados en la fabricación de productos químicos.

INTERCAMBIADOR DE CALOR DE DOBLE TUBO

Este equipo de transferencia de calor está construido a partir de dos tubos concéntricos de aproximadamente 3 m de longitud a través de los cuales circularán dos fluidos entre los que se llevará a cabo una transferencia de

calor. El equipo está diseñado de tal manera que permite el calentamiento de un fluido frío (agua que fluye por el tubo interno fabricado en bronce) utilizando para ello vapor proveniente de un caldero (que fluye por el ánulo formado por el tubo externo de 7/8" de diámetro y el tubo interno de 2" de diámetro). Este tipo de intercambiadores es sumamente útil ya que se puede ensamblar fácilmente a partir de partes estándar, proporcionando superficies de transferencia de calor con un costo reducido.

El intercambiador que posee el laboratorio está diseñado con el objetivo de permitir a los alumnos el estudio de los mecanismos de transferencia de calor, pudiendo manipularse este equipo para que funcione en paralelo o en contracorriente. Además se encuentra implementado con sensores de presión para medir la presión en ciertos puntos estratégicos y también con termocuplas para medir la temperatura a lo largo del intercambiador.

También posee este equipo un medidor de flujo tipo contómetro para medir el flujo de agua fría que ingresa al sistema y también un tanque mediante el cual se puede medir el flujo de vapor por medio del flujo de condensado que sale del intercambiador.



Figure 3. Intercambiador de Calor

ESTRATEGIAS DE CONTROL

Las posibles estrategias de control pueden ser tan diversas como lo son los diferentes procesos a controlar. De aquí que un sistema de control pueda ser implantado según diferentes configuraciones, dependiendo de distintos factores, como son:

- Complejidad del proceso
- Grado de estabilidad natural del proceso.
- Tipo, intensidad y asiduidad de las perturbaciones o cambios de carga a los que estará sometido.
- Magnitud y forma de los cambios que sufrirá del punto de consigna.
- Desviaciones y sobreimpulsos máximos admisibles.
- Duración máxima admisible en las desviaciones.
- Precisión y velocidad de respuesta requeridas.
- Magnitud de los daños que pudieran producirse por un control insuficientemente efectivo.
- Requisitos de seguridad técnica y humana.
- Costos de implantación y de mantenimiento permisibles.

En general deberá llegarse a un compromiso entre todos los requisitos (en especial con el económico). De aquí que sea tan importante el estudio y la predicción de la controlabilidad y comportamiento de un determinado sistema controlado.

CONTROL DE FLUJO

En el módulo de flujo de fluidos, debido a que las acciones correctivas son hechas periódicamente y de forma manual, se implementará un control de lazo abierto para poder controlar el caudal. En este tipo de operación el valor medido de proceso es mostrado al operador, quien tiene la capacidad de manipular el elemento de control final ó válvula haciendo un ajuste en la sala de control a una señal que es transmitida luego a una válvula, o, si se trata de plantas pequeñas, ajustando la posición de la válvula con la mano.

Este método no siempre es malo o “de baja tecnología”, sino que su uso dependerá de las circunstancias. Una estrategia típica que utiliza la operación manual puede ser relacionada con los principios básicos del control estadístico de los procesos y puede ser mejor descrita tomando como referencia los datos mostrados en la siguiente figura.

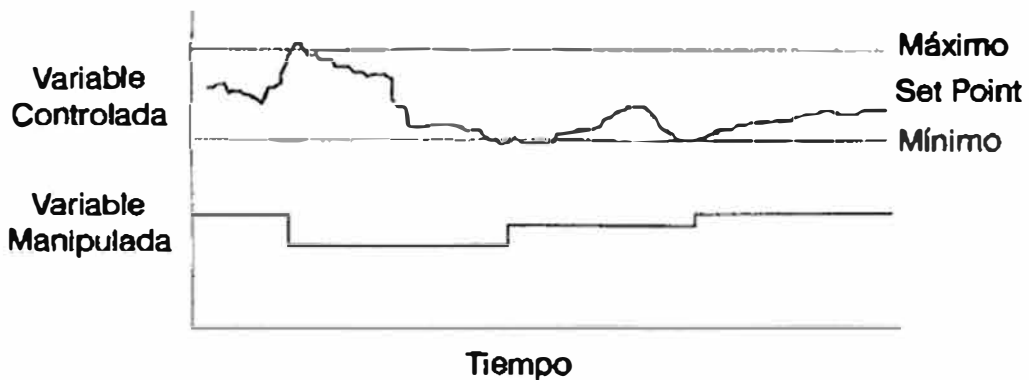


Figura 4. Respuesta transitoria de un proceso cualquiera bajo control manual para perturbaciones estocásticas

Junto con la variable de proceso medida, se representan el valor deseado y los valores máximo y mínimo permisibles. El operador observa los datos y toma una acción sólo cuando es necesario. Usualmente, la decisión sobre cuándo tomar una acción correctiva depende de la desviación respecto del valor deseado. Si la variable de proceso permanece dentro del rango de valores permisibles, entonces el operador no hace ningún ajuste pero si la variable de proceso excede del valor límite, entonces el operador ejecuta una acción correctiva. Una ligera modificación a esta estrategia podría considerar el tiempo que la variable de proceso se encuentra consecutivamente por encima o por debajo del valor deseado. Si el tiempo por encima es demasiado largo, una pequeña acción correctiva puede ser tomada para mover la media del valor de la variable de proceso y colocarla más cerca del valor deseado.

Este método de acción manual para controlar procesos dependerá de la persona que actúe como operador; por consiguiente, la correcta aplicación de esta técnica está ligada a las fortalezas y debilidades humanas, las cuales tienen que evaluarse respecto de las ventajas del uso de una computadora.

Algunas de las ventajas del control manual son:

- o Reduce la frecuencia de las correcciones en el control, lo cual es importante cuando las acciones de control son costosas o perjudiciales para la operación de la planta.
- o Es útil cuando la acción de control requiere información no disponible en la computadora.
- o Dirige la atención a las causas de las desviaciones, las cuales pueden ser eliminadas por cambios en el equipo o la operación de la planta.
- o Mantiene la atención del personal en la operación de la planta.

La operación manual debe ser vista como un complemento de las técnicas automatizadas, además, la aplicación de los métodos estadísticos para el monitoreo, el diagnóstico, y un continuo mejoramiento de la operación del proceso encuentran una amplia variedad de aplicaciones en las industrias de procesos.

CONTROL DE NIVEL

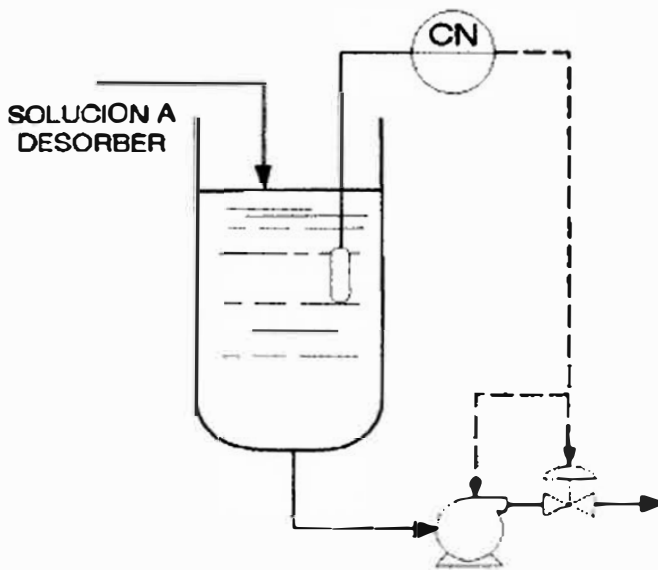


Figura 5. Lazo de control para controlar el nivel de la columna de absorción

La columna de absorción tiene un nivel de líquido cuyo valor se ha de mantener dentro de un rango de valores que permita que exista una diferencia de presión capaz de permitir una transferencia de materia eficaz.

El modo de control que puede permitir lograr este objetivo es el control on-off o de encendido-apagado, el cual es uno de los más simples pero a la vez lo suficientemente efectivo para regular el nivel

del líquido dentro de la columna. Como valores de consigna este controlador on-off utilizará valores del nivel que no permitirán que el nivel de líquido llegue a estar por encima de las tomas de muestra pero a su vez que generen suficiente presión para una buena transferencia de materia. El lazo de control, según el valor sensado del nivel, activará o desactivará un

actuador que en este caso será un sistema de descarga de líquido compuesto por una bomba y una válvula solenoide.

El control on-off es aplicable en nuestro caso debido a que el valor del nivel deseado en la columna no necesariamente debe ser muy preciso debido a que el valor de esta variable no influye decisivamente en la eficiencia del proceso, sino que es permisible un determinado margen de error que será fijado por los puntos de consigna configurados. Si la necesidad fuera de un control más exacto y preciso entonces tendría que implementarse un sistema de control continuo, el cual requeriría de un controlador PID y de un actuador distinto, tal vez una bomba de velocidad variable.

CONTROL DE TEMPERATURA

Los intercambiadores de calor de doble tubo (que también pueden ser denominados de coraza y tubo) son considerados sistemas de parámetros distribuidos debido a que la temperatura no solamente depende del tiempo sino también de la posición de un punto a lo largo del intercambiador.

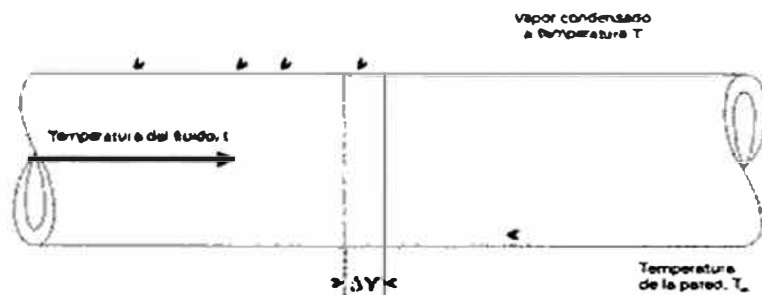


Figura 6. Análisis de un intercambiador de doble tubo

Haciendo ciertas consideraciones es posible formular el modelo matemático de esta unidad. Dichas consideraciones son:

- La temperatura del vapor condensado puede variar con el tiempo pero no con la posición en el intercambiador;
- Los gradientes de temperatura varían en la dirección Y a lo largo del tubo pero los gradientes de temperatura radiales son despreciables;
- Los coeficientes interno y externo de transferencia de calor son constantes con la posición en el intercambiador pero no con el tiempo y los efectos de ensuciamiento pueden también despreciarse o incluirse al calcular los coeficientes; y

- El fluido dentro del tubo es incompresible y sus propiedades son constantes.

El balance de energía para el lado del tubo será:

$$\text{ENTRADA} + \text{GENERACIÓN} = \text{SALIDA} + \text{ACUMULACIÓN}$$

Donde :

$$\text{ENTRADA} = W C_p t + \pi d_i h_i \Delta Y (T_w - t)$$

$$\text{GENERACIÓN} = 0$$

$$\text{SALIDA} = W C_p \left[t + \frac{\partial t}{\partial Y} \Delta Y \right]$$

$$\text{ACUMULACIÓN} = \frac{\partial}{\partial \theta} \left[\pi \rho_i d_i^2 \Delta Y C_p t \right]$$

En el límite cuando ΔY tiende a 0 obtenemos la siguiente ecuación:

$$\frac{\partial t}{\partial \theta} = \frac{h_i}{\rho_i d_i C_p} (T_w - t) - v \frac{\partial t}{\partial Y}$$

Un balance de energía similar se puede establecer pero ahora en el lado de la coraza de la siguiente manera:

$$\text{ENTRADA} = h_o \pi d_o \Delta Y (T - T_w)$$

$$\text{GENERACIÓN} = 0$$

$$\text{SALIDA} = h_i \pi d_i \Delta Y (T_w - t)$$

$$\text{ACUMULACIÓN} = \rho_w \pi \left[d_o^2 - d_i^2 \right] \Delta Y C_{pw} \left(\frac{\partial T_w}{\partial \theta} \right)$$

En el límite cuando ΔY tiende a 0 obtenemos una segunda ecuación:

$$\frac{\partial T_w}{\partial \theta} = \left(\frac{h_o d_o}{\rho_w (d_o^2 - d_i^2) C_{pw}} \right) (T - T_w) - \left(\frac{h_i d_i}{\rho_w (d_o^2 - d_i^2) C_{pw}} \right) (T_w - t)$$

Este par de ecuaciones diferenciales parciales una vez resueltas permiten establecer la dinámica del intercambiador de calor, sin embargo, debido a la complejidad matemática del sistema no será parte del presente trabajo la resolución del mismo, sino que se obtará por hacer simplificaciones que permitirán un trabajo matemático más simple y práctico.

Nomenclatura

W	Flujo másico de líquido	θ	Tiempo
C_p	Capacidad calorífica de líquido	v	Velocidad del líquido
t	Temperatura de líquido	d_o	Diámetro externo
d_i	Diámetro interno	h_o	Coefficiente de transferencia de calor externo
h_i	Coefficiente de transferencia de calor interno	T	Temperatura del vapor condensado
T_w	Temperatura de la pared de tubo	C_{pw}	Capacidad calorífica de pared de tubo
ρ	Densidad del líquido	ρ_w	Densidad de pared de tubo

La situación del control en los intercambiadores es mucho más favorable cuando se tiene un cambio de fase. Debido a que predomina el calor latente de vaporización o condensación H_v , una medición del flujo másico W del medio en ebullición o en condensación también es una medida de la razón de transferencia de calor:

$$Q = W H_v$$

Además la temperatura del medio en ebullición o en condensación apenas cambia desde la admisión hasta la salida del intercambiador.

Siempre que se emplea vapor de agua como medio de calentamiento, la manipulación de su flujo para llevar a efecto el control de la temperatura del fluido de proceso es eficaz. Si el fluido de proceso está hirviendo, el flujo de vapor de agua saca directamente su razón de vaporización. La presión del vapor de agua en el intercambiador sólo es una indicación de la temperatura del mismo y no es una medida en particular útil de la transferencia de calor, sin embargo, se puede utilizar para estimar el coeficiente de transferencia de calor.

Los intercambiadores alimentados con vapor de agua como medio de calentamiento exhiben una fuerte tendencia a la autorregulación. Como el coeficiente de película de la transferencia para el vapor de agua en condensación es mucho mayor que para un gas que fluye, la razón de transferencia de calor la rige principalmente el coeficiente de película del

fluido de proceso. Como este coeficiente varía casi en forma lineal con la velocidad del fluido, la transferencia de calor variará también casi en forma lineal con el flujo si se mantiene la temperatura del vapor de agua. Esto último se logra sencillamente al regular la presión del vapor de agua en el intercambiador. No obstante de este modo sin controlarse de modo directo, la temperatura de salida del fluido de proceso quedará bien regulada. La temperatura del fluido del proceso puede controlarse de modo muy eficaz al ajustar en cascada la presión del vapor de agua.

Para implementar un lazo de control en el intercambiador de calor se han tenido que tener en cuenta los efectos de las siguientes perturbaciones:

- o Cambios en las condiciones del fluido a calentar, por ejemplo, las variaciones en el caudal o la temperatura.
- o Cambios en las condiciones del fluido calefactor como pueden ser las variaciones en la temperatura o presión del vapor.
- o Cambios en el punto de consigna del propio controlador de temperatura.

El control convencional del intercambiador de calor se realiza utilizando la temperatura de salida de fluido a calentar como variable controlada. La variable manipulada es el caudal de entrada del fluido calefactor. De esta manera se mantiene constante la temperatura de salida del producto.

En caso de que se produzca una perturbación brusca, por ejemplo, una variación en el caudal del fluido a calentar o bien un cambio en la temperatura del vapor, se producirá un desajuste en el control de temperatura durante un tiempo más o menos largo.

En la detección de la temperatura, se produce un tiempo muerto por determinadas circunstancias, tales como la naturaleza de la variable a medir, la inercia que produce la vaina de protección del sensor y la cámara de aire que existe entre la vaina y el propio sensor.

Por tales motivos, el sensor debe estar instalado tan cerca como sea posible de la superficie activa del intercambiador de calor, respetando lógicamente los requerimientos necesarios para el correcto mezclado de la corriente de proceso con el fin de que la temperatura sea uniforme.

Hay que tener en cuenta, además, que cuanto más se aleje el punto de toma de la temperatura del área activa del intercambiador, mayor será el tiempo de retardo producido en la detección de las variaciones en la misma,

ocasionando mayor inestabilidad en el control. Este último tiempo de retardo será proporcional al espacio entre el área activa del intercambiador y el sensor de temperatura, así como de la velocidad de paso del fluido.

A pesar de todo lo antes mencionado, el mayor tiempo de retardo lo produce realmente el propio proceso de intercambio de calor.

En cuanto a las válvulas utilizadas en los sistemas de control de intercambiadores de calor, hay que decir, en primer lugar, que deben estar provistas de un posicionador, con el fin de que la respuesta de control sea rápida y de no aumentar la inercia propia del sistema a la que se hizo referencia anteriormente. Por otro lado, la característica de la válvula debe ser isoporcentual, con el objeto de mantener la ganancia del sistema constante.

En cuanto al controlador de temperatura, éste debe tener acción proporcional, integral y derivativa. Puesto que este lazo de control tiene un tiempo de respuesta relativamente lento, la banda proporcional debe ser amplia, con el fin de que la válvula no abra o cierre totalmente, a menos que el error entre la medida y el punto de consigna del controlador sea grande. La acción integral tiene por objeto corregir el error permanente que existe cuando se producen cambios en las variables de alimentación al intercambiador de calor. Por último, la acción derivativa es esencial en procesos de este tipo, donde el tiempo de retardo es grande cuando se producen cambios en las variables de proceso.

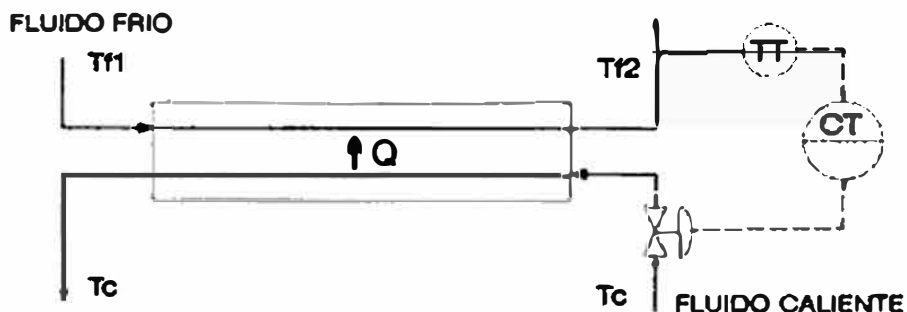


Figura 7. Lazo de control propuesto para controlar la temperatura del intercambiador de calor

Capítulo III

Instrumentos de campo

MEDICION DE FLUJO

DEL SENSOR DE FLUJO

La medición del flujo en el módulo de flujo de fluidos se realizará por medio de una *placa de orificio* de borde a escuadra o borde afilado, que es una perforación con el borde a escuadra perfectamente bien cortado en el que las paredes rectas son perpendiculares a la cara plana aguas arriba de una placa delgada colocada en sentido transversal al canal. La corriente que sale por un orificio de esta índole alcanza su sección transversal mínima - vena contracta- a una distancia aguas abajo del orificio que varía en función de la razón entre el diámetro del orificio y el diámetro de la tubería (β).

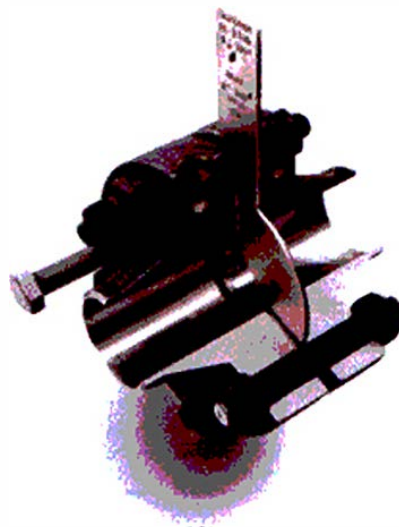


Figura 8. Placa de orificio

Debido a que la localización de los orificios es fundamental, es necesario especificar la posición exacta del orificio de presión aguas abajo. La

contracción del chorro cuenta por un 60% del área del orificio; así, los coeficientes de orificio están en el orden de 0,6 comparados con la unidad más próxima obtenida con tubos venturi y con espreas de flujo.

La ASME especifica tres localizaciones de orificio para las medidas de presión diferencial, que son la brida, la vena contracta y el 1 D y $\frac{1}{2}$ D. La perforación de la brida siempre está localizada a 1 pulgada de distancia sobre cualquier cara de la placa de orificio, sin que importe el tamaño del tubo. La perforación de la vena contracta está situada a un diámetro de tubería de distancia de la cara de entrada de la placa de orificio y la perforación aguas abajo en la localización de la vena contracta. En la perforación 1 D y $\frac{1}{2}$ D, la perforación se localiza un diámetro de la tubería de la cara de entrada de la placa de orificio y aguas abajo, medio diámetro de la tubería desde la cara interna de la placa de orificio.

Se emplean las bridas con perforaciones porque pueden prefabricarse y las bridas con agujeros taladrados en la localización correcta son fáciles de adquirirse, con lo cual se ahorra, el costo de su fabricación ex profeso. La desventaja de las bridas perforadas es que no son simétricas respecto al tamaño de la tubería. Debido a esto, los coeficientes de descarga a partir de perforaciones de brida varían ampliamente con el tamaño de la tubería.

Las perforaciones de vena contracta se usan porque dan la diferencial máxima para cualquier flujo dado. La desventaja de estas perforaciones consiste en que si se cambia su diámetro, entonces debe taladrarse un nuevo orificio aguas abajo. Las perforaciones 1 D y $\frac{1}{2}$ D incorporan las mejores características que las de vena contracta y son simétricas con respecto al tamaño del tubo.

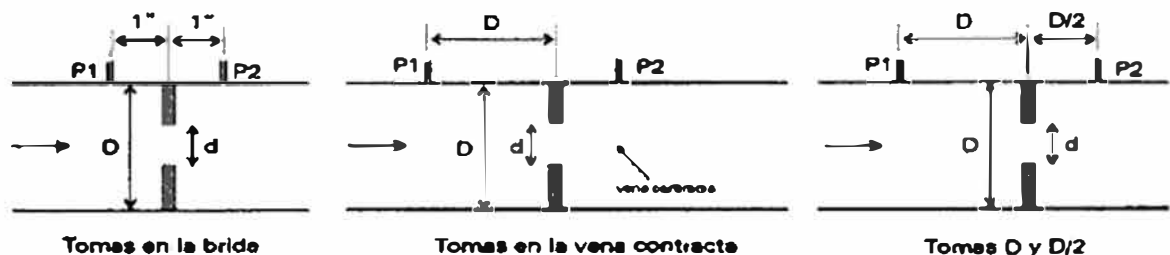


Figura 9. Localizaciones para las tomas de presión

Los coeficientes de descarga para orificios pueden calcularse a partir del número de Reynolds R_d :

$$C = C_0 + \Delta C R_d^a \quad (R_d > 10^4)$$

En donde C_0 , ΔC y a se obtiene de la tabla mostrada a continuación.

Las tolerancias para los medidores de orificio no calibrados son del orden de ± 1 y ± 2 % dependiendo de los valores de β , D y R_d .

Tabla 1
Valores de C_0 , ΔC y a para utilizarse en la ecuación del coeficiente de orificio

β	D=2 pulg		D=4 pulg		D=8 pulg		D=16 pulg	
	C_0	ΔC	C_0	ΔC	C_0	ΔC	C_0	ΔC
Tomas en la brida, $a = 1$								
0.20	0.5972	127	0.5946	200	0.5951	327	0.5955	551
0.30	0.5978	144	0.5977	209	0.5978	307	0.5980	457
0.40	0.6014	181	0.6005	256	0.6002	382	0.6001	514
0.50	0.6050	260	0.6034	386	0.6028	584	0.6022	903
0.60	0.6078	392	0.6055	622	0.6040	1015	0.6032	1710
0.70	0.6068	573	0.6030	953	0.6008	1637	0.5991	2898
Tomas en la vena contracta, $a = 1/2$								
0.20	0.5938	1.61	0.5928	1.61	0.5925	1.61	0.5924	1.61
0.30	0.5938	1.78	0.5934	1.78	0.5933	1.78	0.5932	1.78
0.40	0.5970	2.01	0.5954	2.01	0.5953	2.01	0.5953	2.01
0.50	0.5994	2.29	0.5992	2.29	0.5992	2.29	0.5991	2.29
0.60	0.6042	2.69	0.6041	2.69	0.6041	2.69	0.6041	2.70
0.70	0.6069	3.34	0.6068	3.37	0.6067	3.44	0.6068	3.57
Tomas de $1 D$ y $1/2 D$, $a = 1/2$								
0.20	0.5909	2.03	0.5922	1.41	0.5936	1.10	0.5948	0.94
0.30	0.5915	2.02	0.5930	1.50	0.5944	1.24	0.5956	1.12
0.40	0.5936	2.17	0.5951	1.72	0.5963	1.49	0.5974	1.38
0.50	0.5979	2.40	0.5978	1.99	0.5999	1.79	0.6007	1.69
0.60	0.6036	2.67	0.6040	2.31	0.6044	2.12	0.6048	2.11
0.70	0.6078	3.19	0.6072	2.98	0.6068	3.07	0.6064	3.51

Recopilado de los datos publicados por Murdock, ASME 64-WA/FM.6

DEL TRANSMISOR DE PRESIÓN DIFERENCIAL

Para medir el flujo se utilizará aparte del sensor, un transmisor electrónico de presión diferencial del tipo movimiento-balance (D/P CELL). Este tipo de transmisores está diseñado de tal modo que, con un incremento en el diferencial de presión se accionan los diafragmas del elemento de medición y se desarrolla una fuerza con la que se mueve la parte inferior de la barra de fuerza hacia la izquierda.

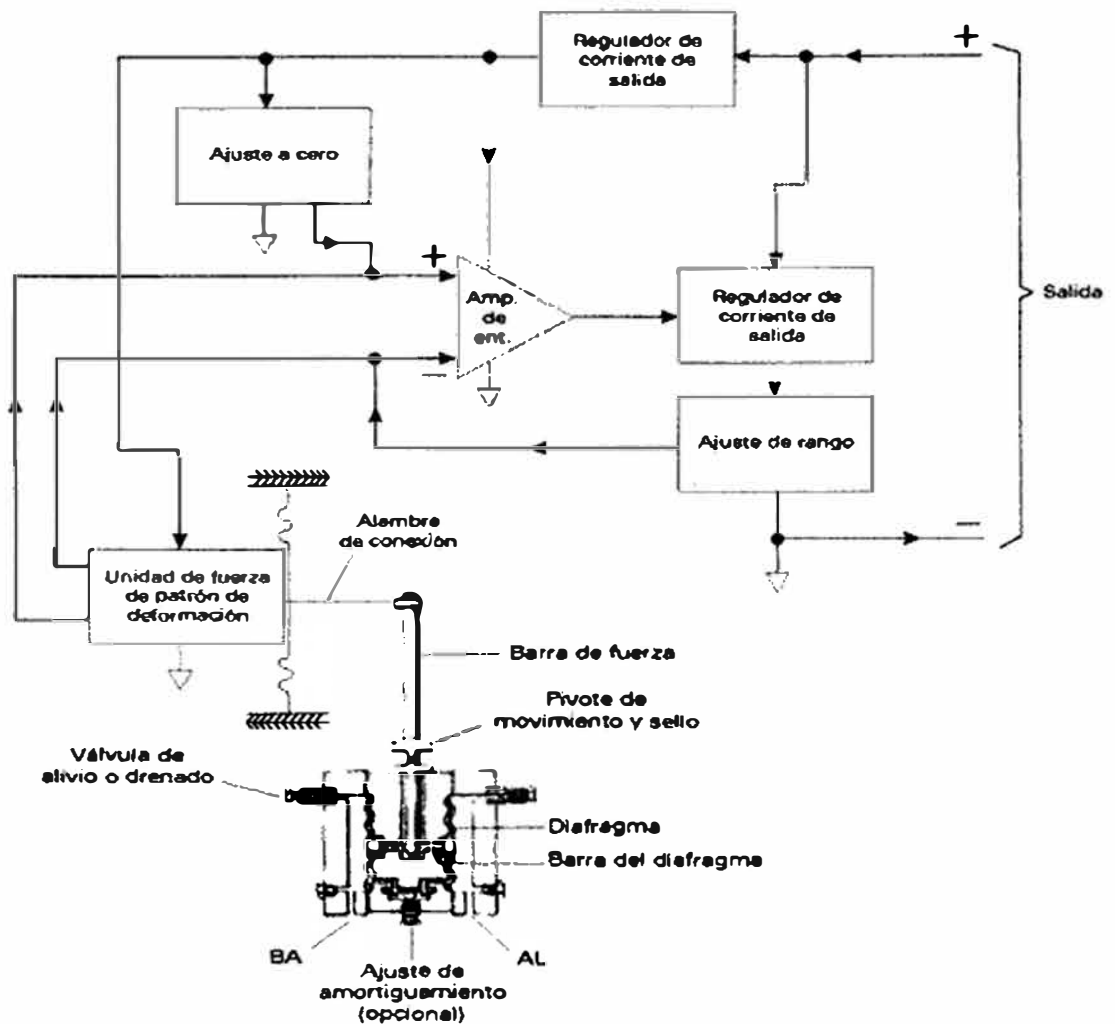


Figura 10. Transmisor electrónico de presión diferencial

Este movimiento se transfiere a la unidad de medición de la fuerza de deformación a través de un alambre de conexión; en la unidad de medición de la fuerza de deformación se tienen cuatro medidores de fuerza que se conectan en configuración puente; con el movimiento de la barra de fuerza

se causa un cambio de resistencia en los medidores de fuerza, mediante el cual se produce una señal diferencial proporcional al diferencial de presión que entra, misma que se aplica a las entradas del amplificador de entrada; un lado de la señal se aplica directamente a la entrada del amplificador con inversión, y en el otro a la entrada sin inversión, a través de una red de cero, con la cual se obtiene el ajuste a cero del transmisor.

Con la señal que sale del amplificador de entrada se maneja al regulador de corriente de salida, por medio del cual se controla la corriente de salida del transmisor a través de la red de escala y el circuito sensor de corriente de salida. Con la red de escala se obtiene el ajuste de escala del transmisor; la señal de esta red se retroalimenta al circuito de entrada mediante un amplificador con almacenamiento (buffer) y se utiliza para controlar la ganancia del circuito de entrada. Si la corriente de salida del transmisor se incrementa más allá de 20 mA C.D., el voltaje que pasa a través de la resistencia de detección de corriente activa el limitador de corriente de salida, con el cual se limita la salida.

El transmisor utilizado permite trabajar con diferenciales de presión desde 0 hasta 288 mbar y su calibración se hace mediante los tornillos externos que permiten ajustar el zero y la escala completa, lo cual permite obtener una corriente de salida de 4 a 20 mA.

MEDICION DE NIVEL

DEL SISTEMA DE MEDICION DE NIVEL

Para la medición del nivel se ha utilizado un instrumento de medición continua de nivel de recipientes (tolvas, silos o tanques) llenados con masas de materiales sólidos o líquidos.

El sistema completo de medición incluye:

- Un SILOMETER FMC (indicador de nivel);
- Una barra de prueba totalmente aislada colocada verticalmente dentro del recipiente; y
- Un accesorio electrónico insertado EC11 Z o EC 72 Z, el cual esta normalmente ajustado al cabezal de prueba.

La base de esta técnica se centra en las propiedades físicas de un capacitor. La capacitancia C de un capacitor es derivada a partir de la distancia d entre los electrodos, el área superficial A de los electrodos y la constante dieléctrica ϵ del intermediario dieléctrico:

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

El capacitor usado en la medición del nivel generalmente toma la forma del recipiente en sí y un probador que se extiende dentro del mismo. La pared del recipiente y la forma del probador conforman los dos electrodos.

La distancia entre los electrodos y el área superficial permanecen constantes. La única variable es la profundidad del material que va a ser medido, el cual representa la dieléctrica entre los dos electrodos. El aire y el vacío tienen una constante dieléctrica relativa constante $\epsilon_r = 1$, para líquidos y sólidos $\epsilon_r > 1$.

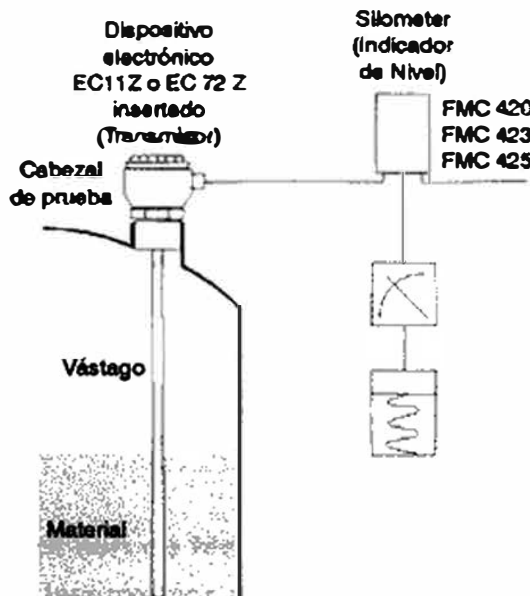


Figura 11. Esquema del sistema de medición de nivel

La capacitancia del capacitor entonces depende de cuánto material hay entre el probador y la pared del recipiente y por lo tanto de cuán grande es el recipiente. Esta capacitancia es medida alimentando un voltaje de alta frecuencia a una frecuencia constante a los electrodos (recipiente y probador). Cuando más grande sea la capacitancia del capacitor (y por lo tanto el nivel), más grande será la corriente de alta frecuencia que fluye a

través del capacitor. El accesorio electrónico insertado convierte la corriente de alta frecuencia a una de frecuencia proporcional al nivel, la cual es usada por el Silometer para indicar el nivel.

Calibración

Este dispositivo también requiere de una calibración previa, que explicaremos a continuación, indicando los pasos seguidos para llevarla a efecto.

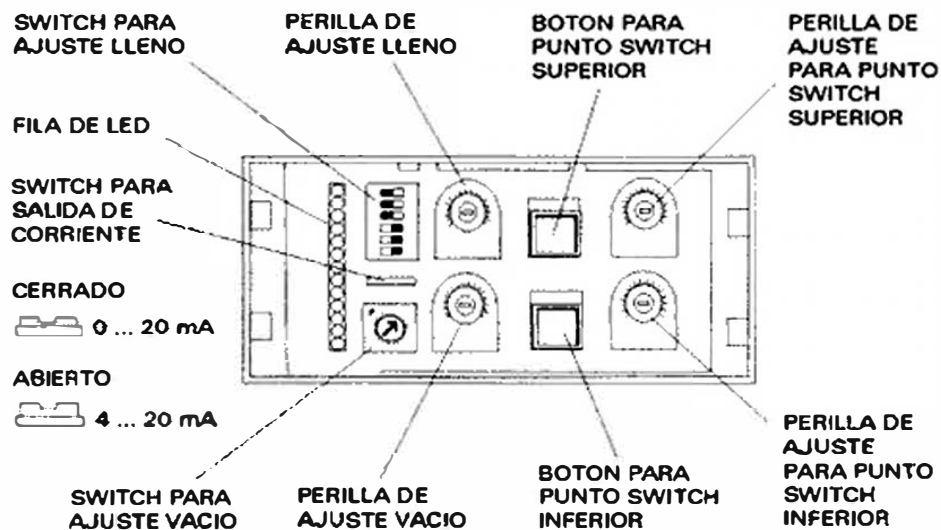


Figura 12. Elementos de calibración

Para empezar la calibración debe encenderse el suministro principal del SILOMETER, pero no los reguladores conectados ni las unidades de control hasta que el SILOMETER haya sido ajustado, para evitar situaciones fuera de control.

Los elementos de ajuste son de fácil acceso abriendo el panel frontal. Para esto, se introduce un desarmador en la hendidura de la parte superior del panel frontal y se mueve el mango hacia arriba. De esta manera puede removerse el panel frontal.

Selección de la salida de corriente

A continuación se chequea si el interruptor para la salida de corriente está en la posición derecha:

- Interruptor cerrado: 0...20 mA
- Interruptor abierto: 4...20 mA

Para instrumentos con salida de corriente de 0 a 1 mA, el interruptor debe permanecer cerrado.

Niveles de ajuste

La calibración es hecha mediante una prueba de corriente que el SILOMETER FMC 423 recibe de un transmisor de medición incorporado en un probador de capacitancia o Deltapilot.

1 μA en la prueba de corriente es equivalente aproximadamente a 1 pF en el probador de capacitancia. Para el sensor piezoresistivo, 2 mA en la prueba de corriente es equivalente aproximadamente a la presión nominal (máximo del rango de medición) del sensor.

En la calibración con el tanque vacío el zero puede ser configurado con una entrada de corriente de 40...360 μA .

En la calibración con el tanque lleno el rango de medición puede ser configurado con un cambio de corriente que puede variar de 20 μA a aproximadamente 4 mA. La calibración del zero y la del span no se afectan la una a la otra.

Se debe calibrar primeramente con el tanque vacío y luego con el tanque lleno o parcialmente completo.

a) Calibración básica

Se mueven las perillas de ajuste para el ajuste vacío y lleno (fino) en sentido antihorario hacia el tope izquierdo. En la traviesa de cambio más alta, se ponen los tres interruptores más bajos a la derecha y los tres más altos a la izquierda (amplificación media). Se pone el interruptor más bajo a "F".

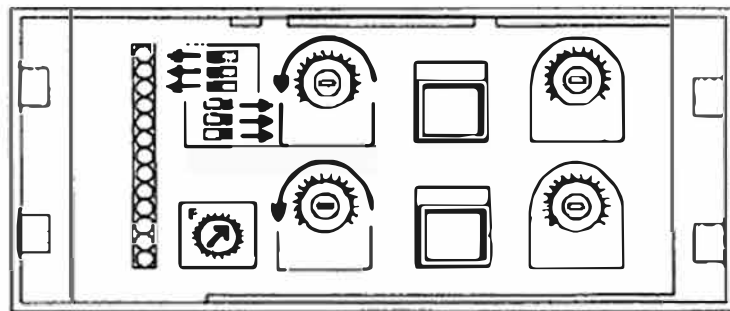


Figura 13. Posición de calibración básica

b) La calibración con el tanque vacío (0%) para ajustar el zero se efectúa de la siguiente manera:

Se gira el interruptor más bajo en sentido antihorario hasta que el display esté bajo 0 (el diodo más bajo en la fila de LED's se enciende). Luego se ajusta perilla de ajuste en vacío (fino) en sentido horario hasta que el segundo diodo a partir del fondo comience a parpadear.

En la medición del nivel con probadores de capacitancia, se puede alcanzar la amplificación para chequear la configuración ajustando los tres interruptores más altos en la travesía de cambio de la derecha. De ser necesario, se debe hacer una corrección menor del punto zero con la perilla para el ajuste vacío (fino). Hasta que el tanque se llene y se pueda llevar a cabo el ajuste lleno, se puede ajustar el span (amplificación) de acuerdo a los requerimientos del sistema:

- Se conectan todos los interruptores en la travesía de cambio más alta a la derecha (amplificación máxima, muestra exceso del 100% en el llenado);
- Se conectan todos los interruptores en la travesía de cambio más alta a la izquierda (amplificación más pequeña, sólo se muestra levemente el cambio en el llenado);
- Los ajustes intermedios se hacen según la experiencia.

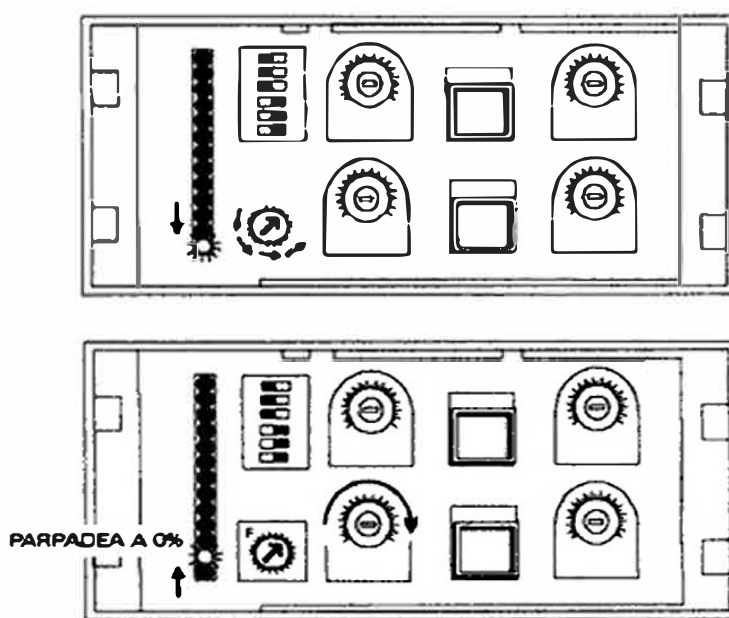


Figura 14. Calibración con tanque vacío

c) Calibración con el tanque lleno (100%) (ajuste del span)

Se llena el tanque tanto como sea posible y se mide el nivel con precisión.

Si el tanque está lleno exactamente en un 100%, la calibración puede llevarse a cabo de manera muy simple por medio del diodo al 100% (el segundo a partir de arriba en la fila de LED's). Este diodo debería parpadear después de la calibración.

Si el tanque no puede ser llenado completamente se debe conectar un instrumento de precisión (0...10V, $R_i > 5 \text{ k}\Omega$) a los pines del terminal detrás del panel frontal.

0...10 V corresponde a un nivel del 0...100%.

Por medio de los interruptores en la travesía de cambio más alta para el ajuste lleno (fino), se mueve el display a la lectura correspondiente al nivel. Empezando de arriba, se conectan los interruptores uno tras otro a la izquierda, el display caerá. Empezando del fondo, se conectan los interruptores uno tras otro a la derecha, el display aumentará. Los valores intermedios pueden ser ajustados con la perilla para el ajuste lleno (fino). El diodo al 100% en la fila de LED's parpadea cuando el nivel es exactamente del 100% ($\pm 1\%$)

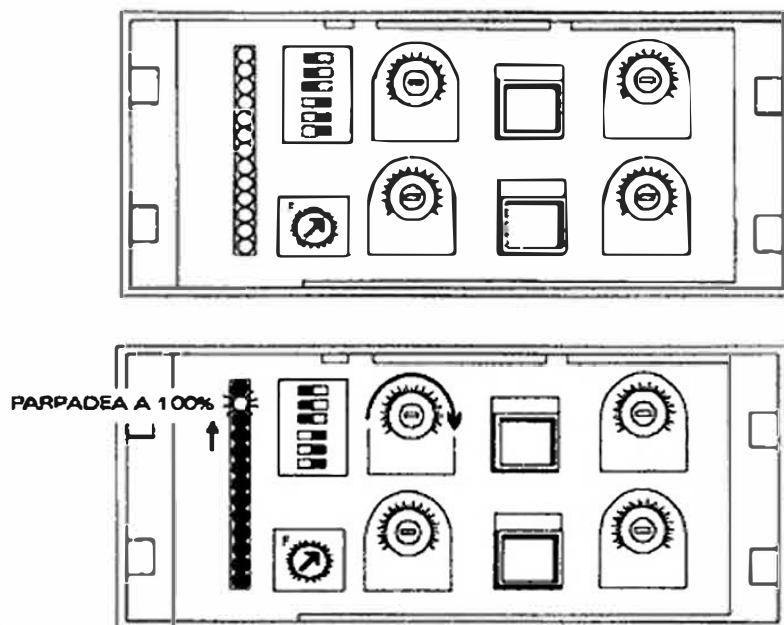


Figura 15. Calibración con tanque lleno

MEDICION DE LA TEMPERATURA

DEL SENSOR DE TEMPERATURA

Para medir la temperatura se utilizará un tipo de dispositivos resistivos RTD (resistance temperature detector) tipo Pt100, cuyas características se mencionan a continuación.

- Deriva : 0.3 °C/año
- Alcance mínimo : <11°C
- Precisión : ± 0.5 °C
- Repetibilidad : 0.05 °C
- Temperatura máxima : 950 °C
- Distancia máxima al receptor : < 1500 m
- Linealidad : Excelente



Figura 16. RTD

Un RTD se basa en el principio de que la resistencia eléctrica de los metales puros es directamente proporcional a la temperatura y, ya que la resistencia eléctrica se puede medir con bastante precisión, esto proporciona un medio para medir la temperatura con mucha exactitud. Las ventajas principales de este tipo de sensores es su precisión y su tiempo de respuesta moderado, sin embargo, tiene en su contra el costo que para el caso del Platino es elevado. Este tipo de sensores tiene el siguiente modelo matemático:

$$R_T = R_0 (1 + a_1 T + a_2 T^2 + \dots + a_n T^n)$$

siendo R_0 la resistencia del instrumento a 0°C. La mayoría de los RTD's comúnmente utilizados se encuentran hechos de un alambre fino sostenido por un material no conductor y sellado en un compartimiento impermeable. El elemento encapsulado es luego insertado en una vaina metálica o tubo que es llenado con un polvo aislante y sellado con cemento para prevenir el ataque de la humedad que pudiera ser absorbida.

Los materiales más utilizados para la construcción de RTD's son platino, níquel, níquel-hierro, cobre y tungsteno. El platino es el material más adecuado desde el punto de vista de precisión y estabilidad pero presenta el inconveniente del costo. El platino es aplicable sobre un amplio rango de temperaturas. De hecho, la relación resistencia-temperatura para los alambres de platino es tan reproducible que los RTD's de platino son

utilizados para estándares internacionales de temperatura desde -260°C hasta 630°C.

En general la sonda de resistencia de platino utilizada en la industria tiene una resistencia de 100 ohmios a 0°C, razón por la cual se le denomina Pt100.

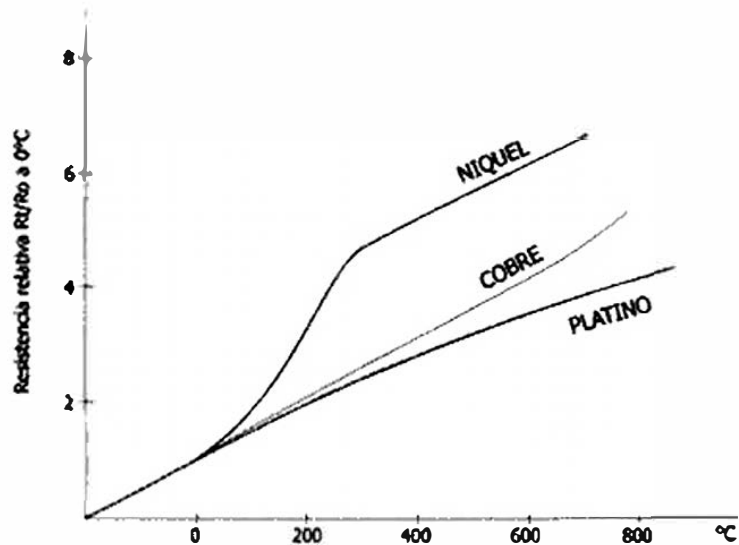


Figura 17. Resistencia relativa de varios metales en función de la temperatura

El níquel es más barato que el platino y posee una resistencia con una mayor variación por grado, sin embargo, tiene como desventaja la falta de linealidad en su relación resistencia-temperatura y las variaciones que experimenta su coeficiente de resistencia según los lotes fabricados.

El cobre tiene una variación de resistencia uniforme, es estable y barato, pero tiene el inconveniente de su baja resistividad.

Tabla 2
Características de sondas de resistencia

Metal	Resistividad $\mu\Omega/\text{cm}$	Intervalo útil de temperatura, °C	ϕ mín de hilo, mm	Costo relativo	Resistencia de sonda a 0°C, ohmios	Precisión, °C
Platino	9,83	-200 a 950	0,05	Alto	25, 100, 130	0,01
Níquel	6,38	-150 a 300	0,05	Medio	100	0,50
Cobre	1,66	-200 a 120	0,05	Bajo	10	0,10

La variación de resistencia de las sondas es medida con un puente de Wheatstone dispuesto en montajes denominados de dos hilos, de tres hilos o de cuatro hilos, según sean los hilos de conexión de la sonda de resistencia al puente.

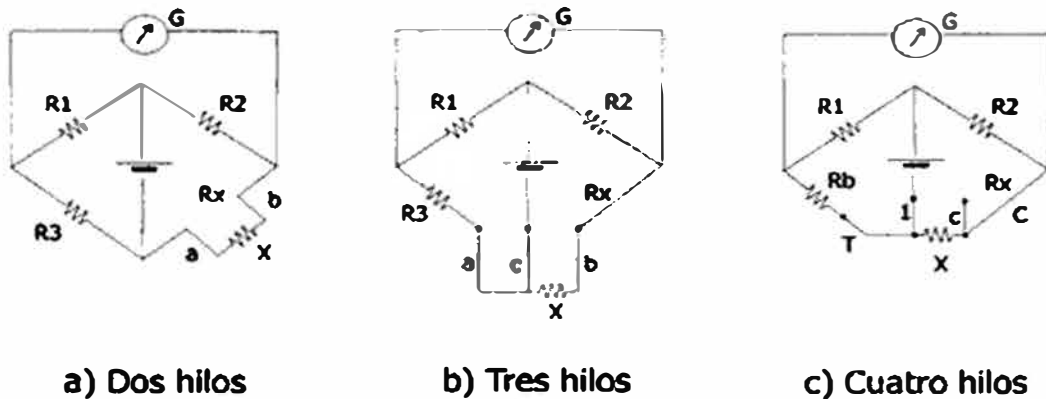


Figura 18. Tipos de circuitos de puente Wheatstone en sondas de resistencia

El montaje de tres hilos es el más utilizado en la práctica. En este circuito la sonda está conectada mediante tres hilos al puente. De este modo, la medida no es afectada por la longitud de los conductores ni por la temperatura, ya que ésta influye a la vez en dos brazos adyacentes del puente, siendo la única condición que la resistencia de los hilos *a* y *b* sea exactamente la misma.

DEL TRANSMISOR DE TEMPERATURA

Para procesar la señal de temperatura se utilizará un Transmisor De Temperatura de Proceso Programable de la marca Moore Industries.

Este es un transmisor de temperatura de 2 hilos. Todas las condiciones de operación -incluyendo el tipo y rango de la entrada así como el escalamiento y el offset de la salida- son configuradas por el usuario y descargadas a la memoria no volátil (FRAM) con un software de fácil uso en una computadora personal. Los parámetros pueden también ser guardados en un archivo de configuración en un disco, permitiendo a los usuarios descargar la misma configuración a cualquier número de transmisores.

Este transmisor es capaz de recibir una entrada proveniente de una termocupla, RTD, una fuente de resistencia o de milivoltios (mV) o un potenciómetro. De esta manera proveen una salida de corriente linealizada y escalada de 4 a 20 mA, necesaria para la mayoría de las aplicaciones de control de procesos.

Como todo transmisor, para poder operar correctamente necesita de calibración, la que pasaremos a describir a continuación. Antes de poner en servicio un transmisor de este tipo, es necesario realizar una prueba de operación para descubrir cualquier posible daño que pudiera haber ocurrido durante el transporte, y configurar el zero y el span apropiados para nuestra aplicación.

Para la calibración se sigue el siguiente procedimiento:

1. Se instala el software de calibración
2. Se conecta el transmisor a una PC y se revisa el correcto etiquetado, el ajuste del tipo y rango de la entrada, y el ajuste del zero y el span.
3. Se conecta el transmisor en una prueba de instalación y se revisa para el acondicionamiento de la salida.

Para configurar y probar el transmisor se debe primero instalar y luego correr el programa "TR_SETUP.EXE", que viene incluido con el transmisor.

La configuración se hace utilizando el mouse para hacer click sobre los diferentes campos que aparecen en el menú principal de configuración y ajustando mediante el teclado los valores apropiados de los parámetros de operación del transmisor.

Para probar el transmisor o para acondicionar la salida se necesitará del siguiente equipo:

Dispositivo	Especificación
Termocupla, RTD, milivoltios o simulador de potenciómetro	Precisión de 0,05% de unidad de span
Fuente de poder	7-42 Vdc. \pm 10%
Resistencia de carga de precisión (opcional)	250 Ω , \pm 0,01%
Multímetro	Precisión de \pm 0,025%

El transmisor tiene una función que permite un control preciso sobre el escalamiento de la salida. Para activar esta función se debe conectar la unidad con un medidor de la salida.

Si la unidad conectada al transmisor está midiendo se presiona el botón "Stop" para desactivar temporalmente la función de medición. Luego se presiona el botón "Trim". Se hace clic en "on" y se arrastra para seleccionar y luego ajustar la corriente de salida. El programa mostrará el mensaje "Zero Scale Output Trim" o " Full Scale Output Trim", dependiendo del parámetro que está siendo configurado, de esta manera se pueden ajustar a voluntad tanto el zero como la escala total. Luego se presiona el botón "Program Trim" y luego el botón "Quit Trim".

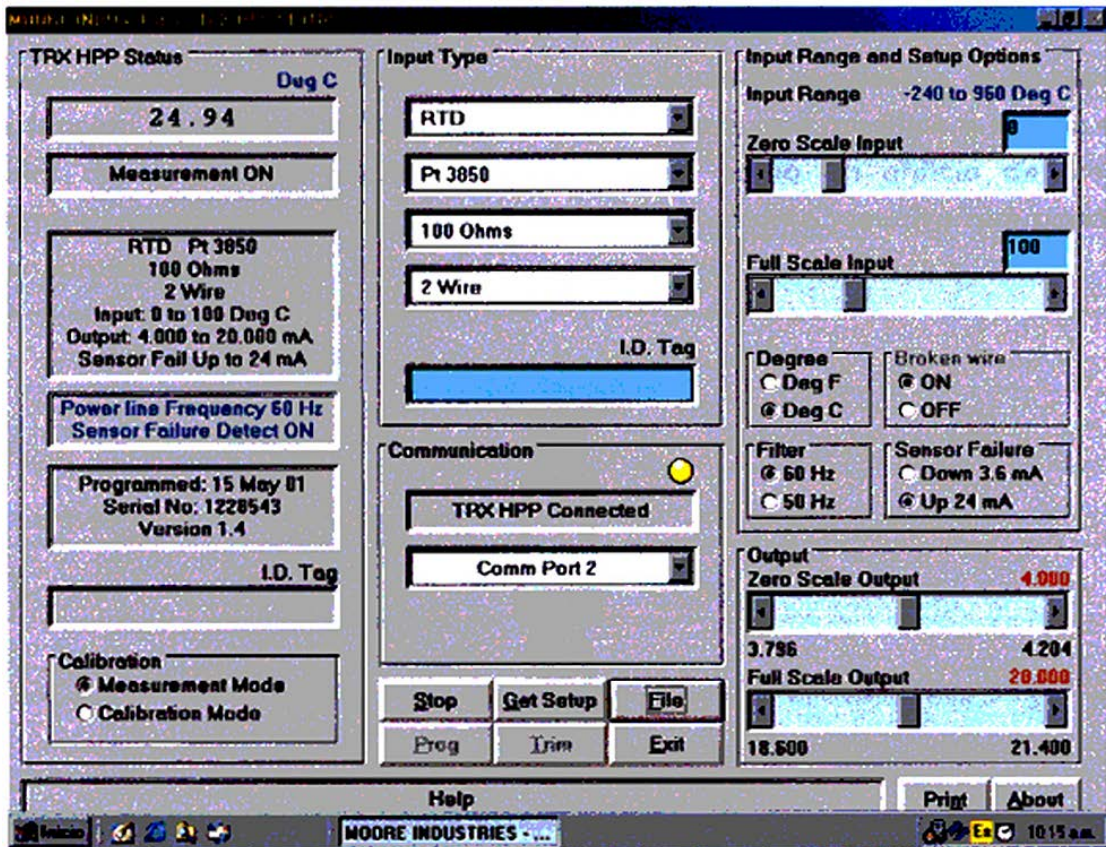


Figura 19. Pantalla principal del software de calibración del transmisor de temperatura

Las características necesarias de la PC para correr esta aplicación es:

- PC 80386 o 100% compatible
- Disquetera de 1,4 MB.

- 2 MB de memoria RAM
- 1 MB de espacio libre en disco duro
- Windows 3,1 o Windows 95
- Puerto de comunicación serial ("COMM") a 4800 baudios, sin paridad, 8 data bits y 1 stop bit

ELEMENTOS DE CONTROL FINAL

VÁLVULA DE CONTROL

En el control automático de procesos industriales, la válvula de control juega un papel muy importante en el lazo o bucle de regulación, pues tiene la función de variar el caudal del fluido de control que modifica a su vez el valor de la variable medida, comportándose como un orificio de área continuamente variable. Es entonces el único elemento resistivo que puede ser controlado.



Figura 20. Válvula de control

La adecuada selección de una válvula de control para una determinada aplicación puede ser un problema de fácil solución o puede llegar a ser tremendamente complicado. Existen muchos factores involucrados, incluyendo los conocimientos que el encargado del diseño debe tener en cuenta para conseguir el objetivo con éxito.

Cuando se estudia un lazo de control es habitual considerar un esquema donde aparece una serie de bloques representando el proceso, transmisor, controlador, válvula de control, etc. Un error muy frecuente consiste en identificar el proceso que se trata de controlar con el proceso a efectos del lazo de control. En este último caso, el proceso es todo lo que no es controlador, incluyendo en particular la válvula de control y sus elementos auxiliares, cuyo comportamiento influye de forma decisiva en el control.

La selección y dimensionamiento de una válvula de control para una aplicación particular requieren:

- Información del proceso;
- Selección y criterio de diseño;
- Materiales de construcción; y
- Diseño del cuerpo.

Información del proceso

Una completa información del proceso incluye el conocimiento de las condiciones normales de operación así como las de arranque y las situaciones críticas. Por ejemplo, en una situación crítica se puede requerir de calentamiento suave de una válvula que contiene capas o inserciones de una aleación especial para prevenir una expansión térmica irregular y/o fallas mecánicas.

La determinación de las propiedades físicas y características del fluido del que atravesará la válvula incluye:

1. Tipo de fluido y sus propiedades físicas;
2. Fase del fluido (gas, líquido, el slurry, multifase, etc.);
3. Densidad, peso molecular, el peso específico, etc.);
4. Presión de vapor;
5. Viscosidad;
6. Temperatura y presión críticas;
7. Grados de sobrecalentamiento o existencia de flashing (curva de vaporización a través de la válvula);
8. Propiedades corrosivas debido a contaminantes (H_2S , cloruros, etc.);
9. Cantidad y tipo de sólidos (arena, sílice, catalizador, etc.);

10. Otras propiedades conocidas;
11. Presión mínima, normal, y máxima antes y después de la válvula;
12. Temperatura mínima, normal, y máxima de operación de la válvula;
13. Flujo mínimo, normal y máximo para cada estado operacional incluso en el arranque y en situaciones críticas;
14. Caída de presión mínima, normal, y máxima con las que opera la válvula;
15. Caída de presión en corte (shut off);
16. Requerimientos de goteo en corte (shut off);
17. Condiciones/procedimientos de arranque;
18. Perturbaciones en la presión y temperatura de entrada;
19. Tamaño y cédula de tubería de entrada;
20. Nivel máximo permisible de ruido y punto de referencia;
21. Condiciones ambientales de instalación; y
22. Tipo de erosión existente o esperada (partículas abrasivas, cavitación, erosión-corrosión o elevadas velocidades de líquido).

La selección y el criterio de diseño

Los fabricantes de válvulas de control constantemente están desarrollando nuevas tecnologías para proporcionar un control mejorado, una reducción del ruido, minimización del flashing y la cavitación, una mayor duración del producto, y la disminución del costo global. Obtener estos beneficios requiere permitirles a los fabricantes de válvulas de control diseñar una solución basada en las condiciones del proceso en lugar de especificar lo que se usó en proyectos anteriores. La información considerada por los fabricantes cuando seleccionan y diseñan válvulas de control incluye:

- La construcción del cuerpo de la válvula (de ángulo, doble-puerto, mariposa, etc.);
- El material del cuerpo (acero inoxidable 316, Inconel, cerámica, etc.);
- Conexiones terminales y de flujo;
- Obturador de la válvula o estilo del disco (abertura rápida, lineal, etc.);
- Obturador de la válvula o acción del disco (aire para abrir o cerrar);

- **Tamaño del puerto (total o restringido);**
- **Acción deseada en caso de falla de señal de entrada (abrir, cerrar, o falla-en-lugar);**
- **Acción de flujo (el flujo tiende a abrir o cerrar);**
- **Tipo de señal de entrada (neumática, eléctrica, etc.);**
- **Tipo y tamaño de actuador;**
- **Requerimientos ambientales;**
- **Material de empaque (teflón, grafito, etc.); y**
- **Accesorios requeridos (posicionador, el volante manual, etc.).**

Los materiales de construcción

Normalmente los materiales usados en el cuerpo, gorro y conexiones terminales de una válvula de control son diferentes al material usado para el obturador y anillo del asiento de las partes del cuerpo. El obturador y anillo del asiento son normalmente más susceptibles al daño por erosión, por esa razón, el material seleccionado para las partes del cuerpo depende de la temperatura del fluido, la velocidad, la corrosividad, la dureza de las partículas en el fluido, el ángulo de intrusión, y la manejabilidad del material seleccionado.

El diseño del cuerpo

Las partes interiores reemplazables de una válvula de control, incluso el obturador de la válvula, el vástago y el anillo del asiento, constituyen las partes del cuerpo y son gravitantes en la determinación de las características de flujo.

La característica de flujo de una válvula de control es la relación entre el flujo pasante a través de la válvula y la posición del obturador (entre 0 y 100% de apertura). Las *características inherentes* de flujo más significativas son: de apertura rápida, lineal, o isoporcentual. Existen también curvas parabólicas y las correspondientes a válvulas de mariposa, Saunders y de tajadera. Las curvas características se obtienen mecanizando el obturador para que al variar la apertura el orificio de paso variable entre el contorno del obturador y el asiento configure la característica de la válvula.

La característica de apertura rápida permite alcanzar el 70% de la capacidad de la válvula de control con aproximadamente el primer 40% de apertura. El

obturador con esta característica tiene la forma de un disco plano. Este tipo de característica es recomendable en servicios de abierto-cerrado, en los que se requiere un gran flujo tan pronto como la válvula se comienza a abrir.

La característica lineal proporciona un flujo directamente proporcional al porcentaje de apertura. La característica lineal normalmente se especifica para aplicaciones de control de nivel de líquido y control de flujo y en general, en aquellos en los cuales la caída de presión a través de la válvula es bastante constante.

La característica isoporcentual produce inicialmente un cambio muy pequeño en el flujo pero conforme se abre más la válvula el flujo aumenta considerablemente. Se le denomina isoporcentual debido al hecho que, para incrementos iguales en el desplazamiento de la válvula, el cambio de flujo respecto al desplazamiento de la válvula es un porcentaje constante de la razón de flujo en el momento del cambio. Este tipo de característica es común donde el mismo sistema absorbe un porcentaje considerable de la caída de presión, tal como en las aplicaciones de control de presión.

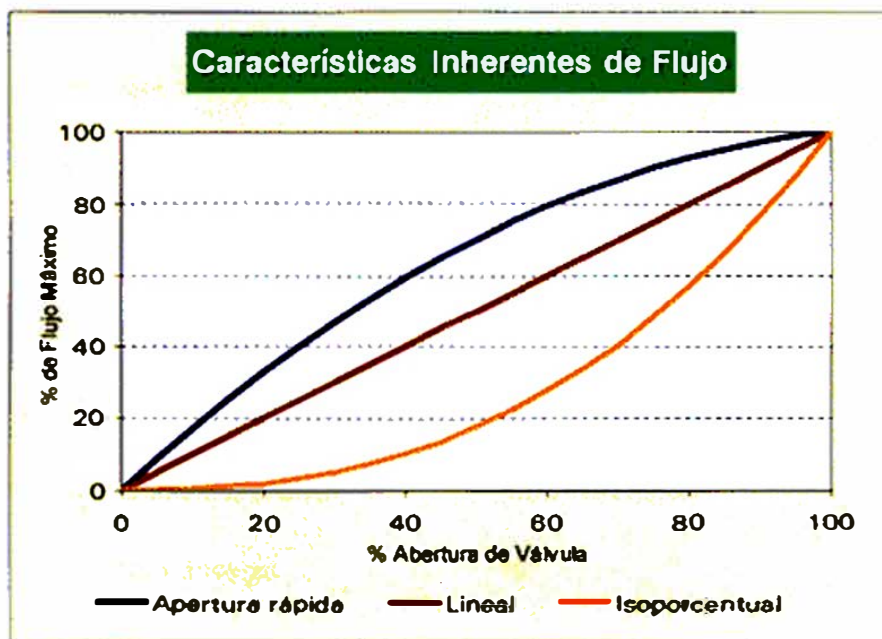


Figura 21. Características Inherentes de Flujo de una Válvula de Control

Para seleccionar la característica de flujo apropiada se requiere la comprensión de los resultados que las características inherentes producirán

en la instalación real. Las características de flujo inherentes son las que se muestran en la literatura y sólo se observan cuando la caída de presión a través de la válvula permanece constante. Las características instaladas se obtienen después de que la válvula esté en uso y pueden diferir de las características inherentes desde que la caída de presión por la válvula puede cambiar al variarse la abertura de la válvula.

La caracterización de flujo de la válvula control es necesaria para proporcionar la estabilidad relativamente uniforme al lazo de control sobre el rango de operación. Para establecer las características de flujo necesarias en un sistema dado se requiere de un análisis dinámico del lazo de control; sin embargo, para tomar la decisión se puede hacer uso de varias reglas prácticas que tienen su fundamento en la experiencia.

Habiendo analizado las características de las válvulas de control pasamos a continuación a especificar las características de la válvula utilizada en el presente trabajo.

La válvula utilizada es una válvula neumática de la marca Leslie, la cual lleva incorporado un posicionador electroneumático y posee las siguientes características de diseño:

- Tamaño del cuerpo : 1"
- Tamaño del obturador : ¾"
- Clase de válvula : DDLO-1
- Material del cuerpo : hierro fundido
- Material del obturador : Acero inoxidable 316
- Característica inherente : Isoporcentual
- Carrera del vástago : ¾"
- Presión de diseño : 250 psi
- Temperatura de diseño : 450° F
- Falla de aire : Normalmente cerrada

Capítulo IV

Sistemas de Control

CONCEPTOS BASICOS

¿QUE SIGNIFICA E/S?

El término E/S significa Entrada/Salida pero tiene diferentes connotaciones según la utilización que le dé el usuario. En general, el término E/S debe entenderse como información y representa a los datos recibidos que provienen de sensores tales como ojos fotoeléctricos, pulsadores, y interruptores limitadores, y a los comandos que son enviados a actuadores o indicadores, tales como arrancadores de motor y válvulas solenoides.

En campo de la automatización, el término E/S significa frecuentemente la manera en la que los elementos físicos del sistema de control pueden proveer o usar esta información. Dos tipos de elementos en un sistema de control pueden usar la información de E/S : los dispositivos de campo y los módulos E/S.

DISPOSITIVOS DE CAMPO

Un dispositivo de campo puede ser tanto de entrada como de salida. Los dispositivos de entrada son sensores que proporcionan al controlador información acerca del estado de una máquina o un proceso. Los dispositivos de salida son actuadores que llevan a cabo tareas programadas por el sistema de control o registradores que reportan el estado del sistema. Los dispositivos de campo afectan o proveen información acerca de un parámetro del sistema y pueden ser divididos en dos clases: digitales y análogos.

Los dispositivos de entrada digitales pueden estar encendidos o apagados pero no pueden tomar valores intermedios. Por ejemplo, los sensores digitales de posición no indican cuan cerca está un objeto pues solamente

pueden indicar si el objeto está dentro de un rango de posiciones. Por lo común los dispositivos de entrada incluyen interruptores limitadores, interruptores de proximidad y ojos fotoeléctricos, mientras que los de salida incluyen comúnmente válvulas solenoides, relés y arrancadores de motor.

Los dispositivos análogos de entrada sensan y describen parámetros continuos. La información que proveen al controlador es dada como un rango de valores y no como un indicador de encendido y apagado, por ejemplo, indicadores de temperatura, presión, humedad, velocidad, etc. Los dispositivos análogos de salida responden a un rango de valores de salida provenientes del controlador. Por ejemplo, un actuador análogo no solo abrirá o cerrará una válvula sino que puede ser utilizado para mantener a la válvula en una abertura parcial. Las señales análogas de salida comúnmente incluyen velocidad de motores, torque, posición de válvulas, presión de aire, etc.

La determinación del número de dispositivos de E/S usados en un sistema de control es frecuentemente llamado "conteo de puntos". Los "conteos de puntos" análogos y digitales son típicamente considerados por separado. Los datos de dispositivos análogos requieren significativamente mayor manipulación y procesamiento que los datos de dispositivos digitales. El número de puntos análogos y digitales es usado para dar una indicación del tamaño de un sistema de control.

MODULOS E/S

Los módulos E/S hacen las veces de interfase a través de la cual los dispositivos de campo son conectados al controlador y proporcionan un medio a través del cual las señales eléctricas utilizadas en los dispositivos de campo se comunican con la electrónica del sistema de control.

La comunicación entre el controlador y el módulo E/S tiene lugar en formato digital debido a que el procesador puede operar sólo sobre información digital. Cuando una señal análoga llega al módulo E/S, mediante un convertidor Análogo/Digital (A/D) se transforma esta señal a la forma digital antes de enviarla al controlador. El valor digital asignado es proporcional a la magnitud de la señal análoga. El módulo E/S luego comunica al valor digital al controlador. La resolución del valor digital asignado está basado en el número de dígitos binarios utilizados por el convertidor A/D. La operación inversa tiene lugar cuando se requiere que un controlador dé

como salida un valor análogo. Cada valor numérico calculado por el controlador es convertido a una señal análoga.

ENTRADAS Y SALIDAS INTELIGENTES

Los términos entradas y salidas inteligentes y no inteligentes han sido solo vagamente definidas en el uso industrial. Todas las E/S pueden comunicarse con un controlador. La cantidad mínima de información que puede ser transferida entre un dispositivo E/S y un controlador es el status de E/S o información de control. Las E/S no inteligentes son capaces de comunicar solo esta mínima cantidad de información. Las E/S inteligentes tienen la capacidad de comunicar además calibración, status o mensajes de diagnóstico o proveer operaciones tales como linealización, escalamiento, etc.

Los módulos inteligentes E/S pueden reducir el tiempo requerido para diagnosticar condiciones de falla. Por ejemplo, un módulo de entradas análogas no inteligentes puede reportar una lectura de voltaje de 0.0 voltios. Un módulo de entradas análogas inteligentes puede reportar la misma lectura de voltaje 0.0 voltios e incluir un mensaje de falla indicando que los terminales de entrada del módulo han provocado un cortocircuito.

Dispositivos de entrada tales como un lector de código de barras y dispositivos de salida como impresoras de etiquetas son frecuentemente incorporados en sistemas de control. Los lazos cerrados y módulos de control de servo-movimiento ayudan a descargar tareas desde el controlador principal a los módulos inteligentes E/S.

¿QUÉ ES UN CONTROLADOR?

Un controlador es un procesador electrónico que ejecuta un programa desarrollado por un usuario utilizando datos de entrada (E) y generación de señales de salida (S) al proceso. El controlador hace decisiones lógicas basadas en el estado del proceso utilizando los nuevos datos sensados por el dispositivo de entrada y consideraciones de tiempo determinadas por el programa residente. Existen dos tipos básicos de controladores:

- Controladores lógicos programables (PLC)
- Controladores basados en computadoras personales (PC Control)
- Controladores Electrónicos o Microcontroladores

El presente trabajo está dedicado a la utilización de controladores tipo PLC (Programmable Logical Controller).

Un PLC es un dispositivo de control industrial (o computadora industrial) en estado sólido que puede ser programado para controlar un proceso o la operación de una máquina. Los PLC's tienen memoria programable por el usuario para almacenar instrucciones con el fin de implementar funciones específicas tales como secuencias, tiempos, operaciones aritméticas, manipulación de datos y comunicaciones para el control, tanto de máquinas como de procesos. Los PLC's están diseñados para operar en ambientes industriales y llevan a cabo operaciones cíclicamente.

Un PLC reúne toda la información de entrada y la almacena internamente en una tabla de entrada en la memoria del controlador. Con todos los datos recolectados simultáneamente el controlador toma una instantánea del sistema en un instante en el tiempo. Esto asegura una evaluación precisa del presente estado del sistema para el período completo de ejecución del programa. Las decisiones lógicas están entonces basadas en la instantánea del sistema así como de la distribución de tiempos y otros criterios definidos en el programa. Esto da como resultado un control predecible.

Cuando se ejecuta el programa del PLC el estado de cada dispositivo de salida es determinado y almacenado en otra sección de la memoria del controlador llamada tabla de salida. La tabla de salida almacena todo lo que se desee del estado del dispositivo de salida hasta que la instrucción final del programa ha sido ejecutada. Una vez que la ejecución del programa se ha completado la información de la tabla de salida es transferida a los respectivos dispositivos a través de los módulos de salida. El PLC luego revisa los datos de entrada para empezar otro ciclo. Este proceso de lectura secuencial de las entradas, ejecución del programa en memoria y actualización de las salidas es conocido generalmente como un "scan".

Dependiendo del tipo de módulos E/S y de los dispositivos usados, el diagnóstico de la información puede también ser comunicado mediante el estado de las E/S. Los datos del diagnóstico son ingresados por separado en una tabla de fallas.

COMUNICACION ENTRE CONTROLADOR Y E/S

Existen 3 formas básicas de comunicación entre un controlador y las entradas y salidas:

Comunicación a través del backplane

Los controladores frecuentemente proveen áreas o slots donde los módulos E/S pueden ser conectados directamente al controlador. El hardware en el cual el controlador y los módulos E/S son conectados es comúnmente llamado "rack". Los módulos E/S conectados en un rack se comunican con el controlador a través de un backplane. Una alternativa es añadir carriers E/S, los que proveen sus propios backplanes de comunicaciones, para formar un paquete completo.

Los backplanes proveen conectores y rutas conductoras para la comunicación. Los backplanes son frecuentemente una extensión del bus que el microprocesador CPU usa para comunicarse con sus periféricos. Proveen enlaces de comunicación de alta velocidad pero usualmente son limitados en términos de longitud de transmisión a la longitud del rack en el cual residen los módulos. La comunicación a través del backplane es generalmente llamada comunicación local. La comunicación entre el CPU del PLC y sus entradas y salidas locales se hace típicamente a través del backplane.

Comunicación a través de una extensión del backplane

Algunos controladores proveen módulos opcionales para extender las capacidades del backplane standard. Estas extensiones permiten la adición de racks o estaciones al CPU.

Comunicación a través de una red

Los protocolos de red industrial definen los métodos usados para la comunicación entre elementos de la red. Las redes industriales proveen comunicación bidireccional en tiempo real sobre un medio compartido. Cada elemento de la red tiene componentes electrónicos específicos para permitir la transferencia de datos entre los elementos de acuerdo a un protocolo. Los elementos de la red son direccionables en los controladores, los dispositivos E/S y los módulos E/S únicamente son identificables mediante etiquetas.

Los protocolos de comunicación de red permiten a los controladores comunicarse con otros así como también permiten a los módulos E/S comunicarse con los controladores. Ejemplos de protocolos de comunicación de red son Genius, DeviceNet, Profibus-DP, y Ethernet. Los módulos E/S pueden comunicarse con un controlador en una de dos

maneras: primero, la inteligencia de la comunicación de la red y el hardware pueden ser construidos dentro del mismo módulo E/S. El segundo método es conectar los módulos E/S a través de un módulo de interfase de red que contiene la inteligencia necesaria para la comunicación en la red. Una ventaja del último método es la independencia de las entradas y salidas en la red.

¿QUE ES UN SISTEMA DE CONTROL?

Los sistemas de control están hechos esencialmente de dos tipos de componentes: los controladores y las señales de entrada y salida E/S.

Un sistema de control está diseñado para responder a entradas de información de una manera controlable y predecible. Un sistema puede tener uno o más controladores pero debe tener como mínimo un dispositivo de entrada y un dispositivo de salida. El controlador examina los datos de entrada y genera datos de salida basándose en un programa desarrollado por el usuario. El programa incluye instrucciones que dictan la operación del sistema de control y que son usadas para crear secuencias de eventos predecibles y controlables.

Para diseñar un buen sistema de control se debe considerar tanto el sistema de E/S y la estructura de control antes de seleccionar los productos que la aplicación necesita. Tal es el caso de la identificación de la estructura física o el bosquejo de la aplicación; por ejemplo, si la máquina cubre una pequeña parte del área total de la fábrica, esto ayudará a determinar si las E/S deben ser locales, remotas, distribuidas o una combinación de éstas. En muchos casos el arreglo físico de la aplicación define la estrategia óptima de las E/S.

Hay dos arquitecturas de sistemas de control fundamentales:

- Control centralizado: Un controlador dicta la respuesta del sistema.
- Control distribuido: Cuando se utiliza más de un procesador de control.

Control centralizado

Los sistemas de control centralizados tienen un simple controlador que toma las decisiones. El controlador central interpreta los datos de entrada y envía las instrucciones a los actuadores y dispositivos de salida presentes.

Los sistemas de control centralizado pueden ser clasificados además de acuerdo a la estructura de sus E/S.

- **Control centralizado con E/S locales**

Las aplicaciones centralizadas que involucran un área físicamente pequeña pueden usar con efectividad un sistema de control simple con E/S que son locales al procesador central. Los módulos de E/S se comunican con el controlador directamente a través del backplane. Cada dispositivo de campo es conectado directamente a un módulo de E/S en el backplane del controlador, por lo que esta forma de conexión es frecuentemente llamada "punto a punto".

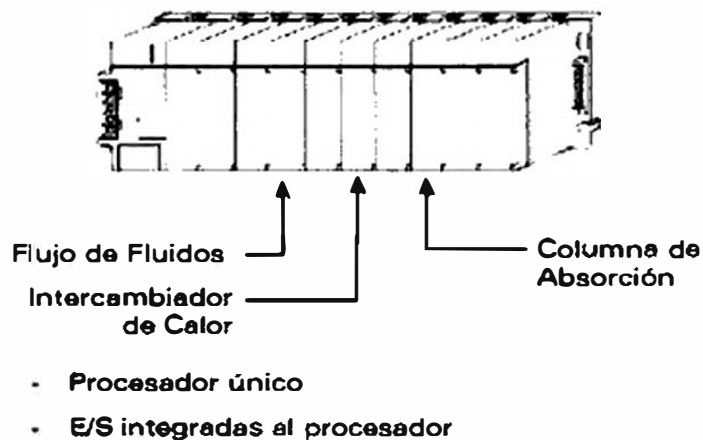


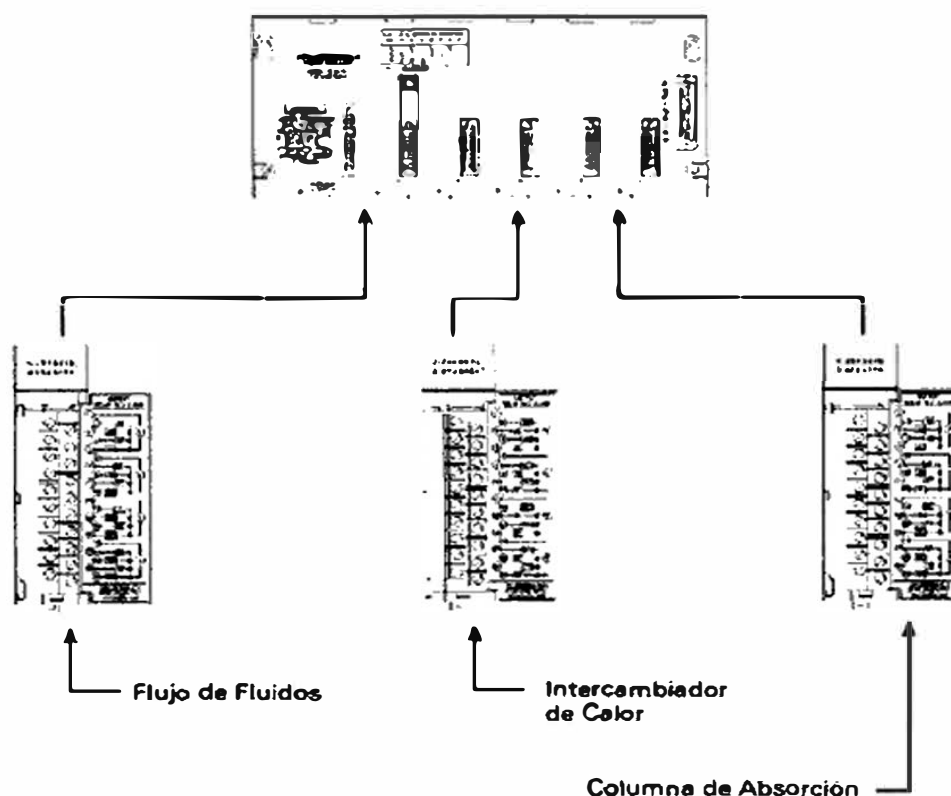
Figura 22. Ejemplo de control centralizado con E/S locales

- **Control centralizado con E/S distribuidas o remotas**

En una arquitectura distribuida los módulos E/S son colocados cerca de los actuales dispositivos de campo y conectados sobre una estructura serial de bus. La ventaja obvia de esta estructura es una gran reducción en costos de alambrado e instalación así como un espacio de panel reducido. Un sistema de E/S distribuidas también ofrece un incremento de la modularidad para una rápida configuración de máquinas y una fácil expansión. Las E/S remotas son aquellas que se separan del controlador pero que generalmente están localizadas en un sitio específico. La estructura de E/S distribuidas y remotas utiliza una interfase de red industrial entre los módulos E/S y el controlador central. La red industrial provee un

canal de comunicación entre el controlador y las E/S para el intercambio de información e instrucciones.

El uso de la red puede acortar e incluso eliminar la necesidad del alambrado punto a punto. Los sistemas distribuidos de E/S frecuentemente incorporan una mezcla de módulos de E/S locales y distribuidos.



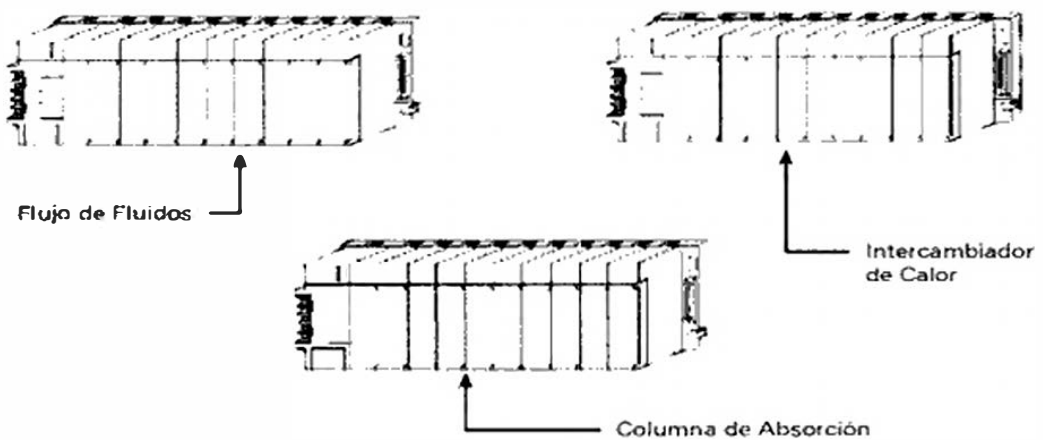
- Las decisiones de control se hacen en un único procesador
- E/S distribuidas conectadas al procesador a través de interfaces.

Figura 23. Ejemplo de control centralizado con E/S distribuidas

• **Control distribuido**

Los sistemas que utilizan control distribuido incorporan más de un procesador. Estos sistemas dividen el control entre varios procesadores cada uno de los cuales actúa más o menos de manera autónoma, frecuentemente con otro procesador más coordinando el sistema en su totalidad. La complejidad de la tarea de control no está relacionada necesariamente con el número de procesadores. Frecuentemente se utilizan varios procesadores cuando la tarea a ser

realizada tiene requerimientos de alta velocidad para ciertas operaciones y el diseñador no quiere recargar el procesador principal con interrupciones al realizar esas tareas. En otros casos se utilizan procesadores múltiples para llevar a cabo tareas específicas. Computadoras, PLC's, o una mezcla de ambos dispositivos pueden conformar una arquitectura de control distribuido. Las redes industriales son utilizadas para enlazar los controladores entre sí, así como al sistema de E/S. Las arquitecturas de control distribuido generalmente comparten información entre procesadores para coordinar la función de total de control.



- Procesadores distribuidos para respuesta rápida
- Hay un procesador central que coordina las acciones de control

Figura 24. Ejemplo de control distribuido

SELECCION DE LA ARQUITECTURA

• Control centralizado - E/S locales

Las aplicaciones que toman decisiones de control centralmente desde un controlador simple con E/S que son locales al controlador pueden generalmente utilizar un control centralizado con arquitectura local de E/S. Una estructura local de E/S es mejor utilizada en sistemas de control que son relativamente pequeños en tamaño, tales como una máquina simple o una celda de trabajo individual. Una estructura de E/S locales ofrece alta velocidad de respuesta desde que la comunicación es manipulada directamente a través del backplane del

controlador. Esta arquitectura es preferida para aplicaciones críticas de tiempo.

- **Control centralizado - E/S distribuidas**

Las aplicaciones con gran número de E/S o con grandes longitudes de alambrado pueden ser mejor manejadas por E/S distribuidas. Teniendo módulos de E/S distribuidas y dispositivos que se comunican con el controlador a través de una red compartida, se puede alcanzar una gran reducción en la complejidad del alambrado.

Sin embargo debe tenerse en cuenta al momento del diseño, el tiempo de rendimiento del sistema de E/S distribuidas, el cual involucra el acondicionamiento de las señales de entrada, el tiempo de transmisión en la comunicación entre la red y el controlador, el tiempo de respuesta del controlador, tiempo de transmisión desde la red al dispositivo de E/S, y el tiempo de actuación del dispositivo de salida. Los retrasos en la transmisión pueden adicionar de 80 a 100 ms o más, lo cual puede ser significativo o no en una aplicación en particular.

- **Control distribuido**

La arquitectura de control distribuido provee varias ventajas. Ofrece la performance de respuesta de la conexión punto a punto dentro de áreas locales y aún mantiene la flexibilidad provista por los recursos de red. El control distribuido es una opción cuando dos o más procesos pueden ser lógicamente separados. Cada proceso puede ser controlado por un procesador individual. Estando en red los controladores, recursos tales como impresoras, estaciones de operador, E/S e información del estado de los controladores individuales pueden compartirse totalmente por el sistema de control.

DEL SISTEMA DE CONTROL A IMPLEMENTAR

ARQUITECTURA MAS RECOMENDABLE

Para el presente trabajo se va a escoger un sistema de control teniendo en cuenta los criterios mencionados anteriormente, buscando siempre la

arquitectura más recomendable que sea capaz de poder utilizar al máximo la capacidad del sistema.

Para permitir un procesamiento rápido de las señales y además evitar el hecho de que el mal funcionamiento de un dispositivo dificulte el funcionamiento de los demás es que se optará por el sistema de control distribuido, el cual permitirá aprovechar las ventajas de una conexión punto a punto. Se disponen de tres controladores y a cada uno de ellos se le asignará una tarea específica, asignando al primero la labor de controlar las entradas y salidas discretas, al segundo el módulo de flujo de fluidos y el control del nivel en la columna de absorción y al tercero el control de temperatura del intercambiador de calor.

CARACTERISTICAS DE LOS CONTROLADORES

PLC's de la serie 90-30

La Serie 90-30 de PLC's es parte de la familia de PLC's de la Serie GE Fanuc 90TM de Controladores Lógicos Programables. Es de fácil instalación y configuración, ofreciendo características de programación avanzadas, y es diseñado para compatibilidad con otros PLC's de la familia de la Serie 90 de PLC's. Hay cuatro CPU's disponibles para la Serie 90-30 de PLC's : el Modelo 311 (5-slot y 10-slot), Modelo 313 (5-slot y 10-slot), Modelo 331 y Modelo 341; la diferencia entre uno y otro tipo de CPU se encuentra en la velocidad, la capacidad de E/S, la memoria de usuario y el tamaño de los datos de registro. A través del uso de moderna tecnología de avanzada, la Serie 90-30 de PLC's proporciona una plataforma de costo efectivo para aplicaciones de pequeño y mediano tamaño.

La Serie 90-30 de PLC's combina las características deseadas de los tradicionales PLC's, con muchas mejoras adicionales. Las características que tradicionalmente se encuentran en la mayoría de PLC's incluyen:

- Una computadora industrial que ha sido reforzada para operar en ambientes severos comúnmente encontrados en las fábricas.
- Programación familiar mediante relés en diagramas ladder.
- Control de E/S a través de programación lógica de usuario.
- Conjunto de instrucciones diseñadas específicamente para el control industrial y el ambiente del proceso.

- Opciones de comunicación con otros dispositivos como computadoras personales.

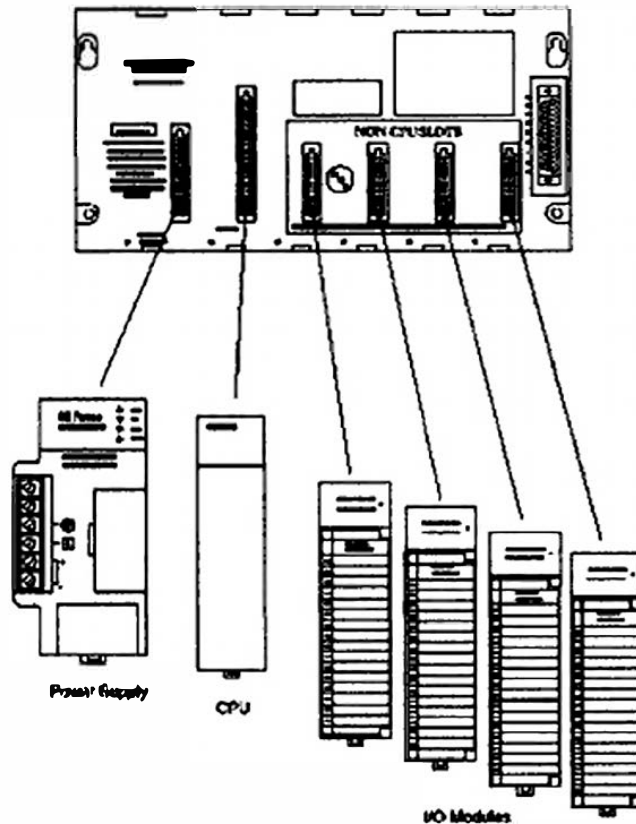


Figura 25. Ensamblaje de un PLC 90-30

La Serie 90-30 de PLC's adiciona un arreglo de características que incluyen:

- Compatibilidad total con la línea de productos de la familia.
- Software de programación sofisticado.
- Diagnóstico extensivo de módulos para solución de problemas.
- Software que proporciona una fácil configuración del sistema.
- Función de procesador de alarmas.
- Sin jumpers que ajustar en los tableros.
- Programador Hand-Held para programación en lenguaje de Lista de Declaraciones.
- Password de protección para limitar el acceso al contenido del PLC.
- Reloj/calendario con batería incorporada (Modelo 331).

Los PLC's de esta serie están diseñados de tal forma que los diferentes tipos de E/S provenientes de un proceso pueden conectarse a módulos E/S que son ensamblados en un chasis o rack según lo muestra la figura 23.

Pasaremos a continuación a describir las partes principales y módulos que poseen los controladores de esta serie que utilizaremos en el presente trabajo.

- Racks (Modelo 311)

Las placas base (baseplate) de este modelo se encuentran disponibles en dos versiones, con 5 y con 10 slots. Cada una de estas placas contiene una apropiada CPU, la cual está físicamente ubicada en la misma tarjeta que el backplane. La fuente de poder para el PLC está montada sobre el lado izquierdo de la placa. Este esquema permite que todos, los 5 ó 10 slots, estén disponibles para E/S u otro tipo de módulos. No existen jumpers ni switches que requieran configuración.

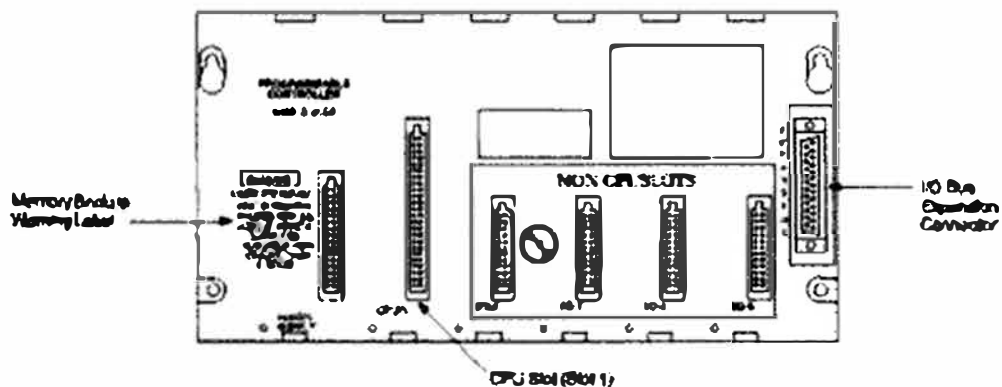


Figure 26. Rack (baseplate o placa base) de 5 slots Modelo 311

- Fuente de Poder (IC693PWR321)

El sistema AC/DC de entrada de fuente de poder de los PLC's de la Serie 90-30 (IC693PWR321) está disponible como una fuente de amplio rango de 30 watt que puede operar con una fuente de voltaje en el rango de 100 a 240 VAC o 100 a 150 VDC. Proporciona salidas de +5VDC, salidas de relé con +24 VDC y una salida aislada de 24 VDC.

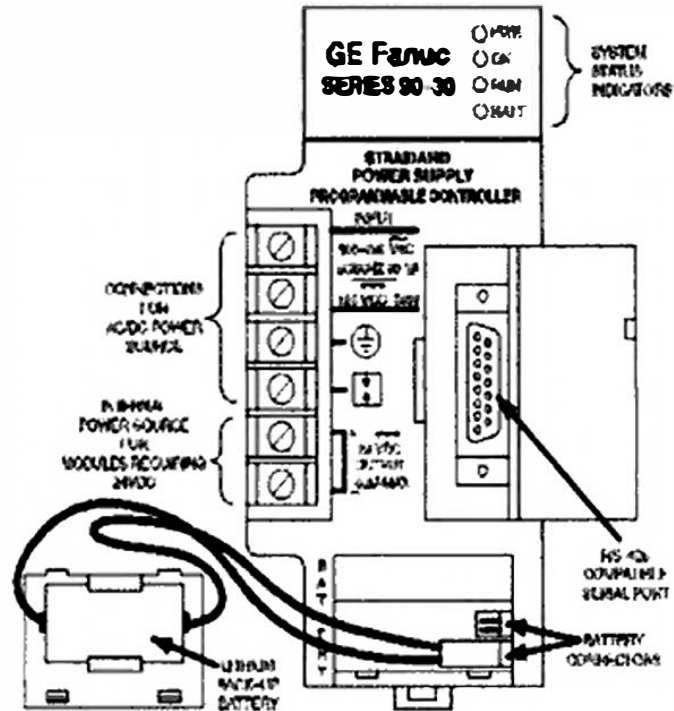


Figura 27. Fuente de poder Standard IC693PWR321

- CPU (IC693CPU331)

El CPU (Central Processing Unit) utilizado por el PLC se encuentra disponible como un módulo separado que debe ser instalado en el slot uno del rack del PLC. Contiene un microprocesador 80188 como elemento de procesamiento, memoria montada en la tarjeta y un procesador dedicado VLSI para llevar a cabo operaciones booleanas. El microprocesador 80188 permite realizar todos los controles de operaciones y barrido, y la ejecución de todas las funciones no-booleanas.

- Módulo de entradas y salidas discretas (IC693MDR390)

El módulo de entradas/salidas de relé de 24 VDC para la Serie 90-30 de PLC's proporciona 8 puntos de entrada con un terminal común de entrada de energía, y 8 circuitos de relé normalmente abierto en el mismo módulo. Los puntos de salida están arreglados en dos grupos de cuatro puntos cada uno. Cada grupo tiene un terminal común de salida de energía. Las características de entrada son compatibles con una gran variedad de dispositivos utilizados por el usuario tales como botones, interruptores de límite e interruptores electrónicos de proximidad. La

corriente a través de una entrada resulta en un 1 lógico en la tabla de estado de entradas (%I). La energía para operar el dispositivo de campo debe ser proporcionada por el usuario.

Los relés de salida pueden controlar una gran variedad de dispositivos de carga proporcionados por el usuario, como son arrancadores de motor, válvulas solenoide e indicadores. La energía para los circuitos internos de relé es provista por el bus de +24 VDC en el backplane. El usuario debe proveer la energía AC o DC para operar los dispositivos de campo. Este módulo no tiene fusibles.

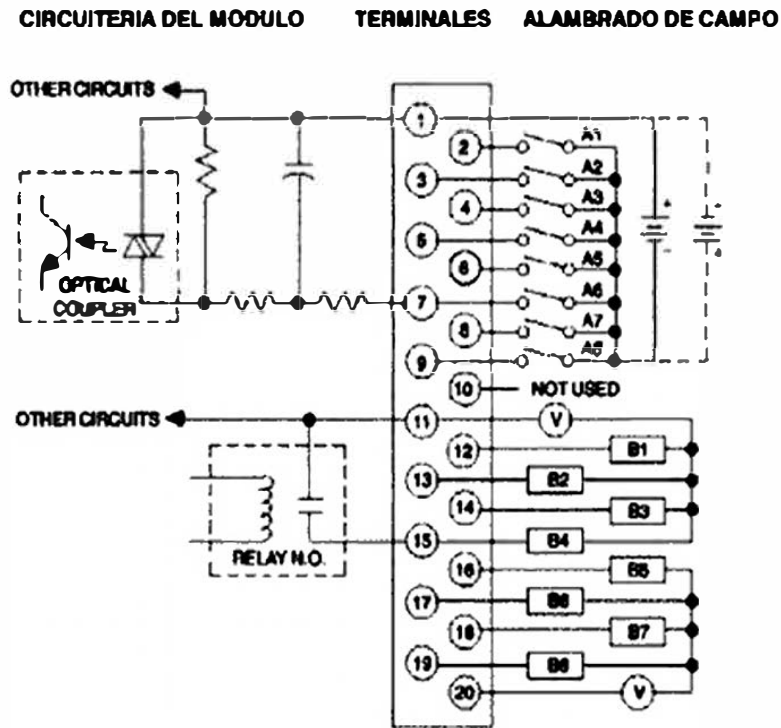
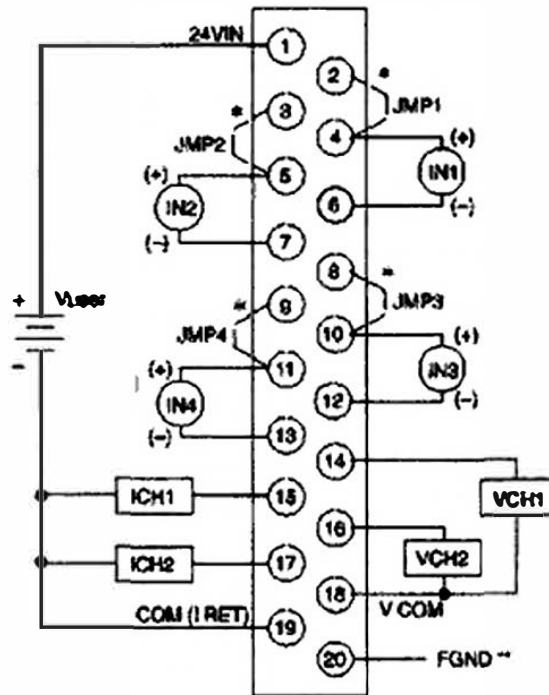


Figura 28. Alambrado de campo de Módulo IC693MDR390

- **Módulo de entradas y salidas análogas (IC693ALG442)**

Los módulos análogos en el PLC tienen como función el procesamiento de señales de entrada ó salida con valores continuos, en contraposición con las señales discretas, las cuales pueden tomar valores únicamente de *on* (encendido) u *off* (apagado). Los módulos análogos convierten palabras digitales a señales análogas, o señales análogas a palabras digitales, dependiendo si el módulo es de señales de entrada o de señales de salida.

CIRCUITERIA DEL MODULO TERMINALES ALAMBRADO DE CAMPO



- * Adicionar JUMP1-JUMP4 para resistores de sensores de 350Ω
- ** Conexión opcional a tierra

Figura 29. Alámbrado de campo de Módulo IC893ALG442

Los PLC de la serie 90-30 usan los datos juntamente con las tablas de datos %AQ y %AI para manipular y registrar los valores análogos, siendo estos datos manipulados en códigos binarios con formato de complemento de 2, sin embargo, para poder hacer más fáciles los cálculos el CPU ejecuta las operaciones en formato decimal.

Puede encontrarse la relación entre el número de cuentas (formato decimal del valor análogo) y el valor de la señal análoga mediante las siguientes ecuaciones:

$$\# \text{ cuentas} = (\text{Valor análogo} - \text{Offset}) \times 2^n / \text{Resolución}$$

$$\text{Valor análogo} = (\# \text{ cuentas} \times \text{Resolución}) / 2^n + \text{Offset}$$

siendo: Resolución : valor análogo/bit; y

n : número de Bits Menos Significativos desapareados

Tabla 3
Valores característicos para módulos análogos

Módulo	LSB desapa- -reados	Offset	Rango Análogo	Reso- lución	Reso- lución
Salida Análoga de Voltaje	3	0 V	20 V	13 bits	2.5
Salida Análoga de Corriente					
Rango : 4 a 20 mA	3	4 mA	16 mA	12 bits	4 µA/bit
Rango : 0 a 20 mA	3	0 mA	20 mA	12 bits	5 µA/bit
Entrada Análoga de Voltaje	4	0 V	20 V	12 bits	5 mV/bit
Entrada Análoga de Corriente					
Rango : 4 a 20 mA	3	4 mA	16 mA	12 bits	4 µA/bit
Rango : 0 a 20 mA	3	0 mA	20 mA	12 bits	5 µA/bit

Para poder expresar los datos análogos en unidades de ingeniería -más fáciles de comprender y reconocer en una aplicación dada- se realiza un procedimiento denominado *escalamiento*.

Para convertir el número de cuentas a unidades de ingeniería se aplica la siguiente ecuación:

$$\frac{\# \text{cuentas (\%AQ ó \%AI)}}{32000} = \frac{\text{valor en aplicación} - \text{Offset en aplicación}}{\text{Máximo en aplicación} - \text{Mínimo en aplicación}}$$

Este módulo tiene la capacidad de poder trabajar con señales análogas tanto de entrada como de salida, las cuales van a ser procesadas de la manera anteriormente indicada. Las entradas análogas pueden provenir de transmisores o dispositivos de campo con un formato de 15 a 20 mA, siendo su capacidad de 4 entradas como máximo. En cuanto a las salidas, éstas podrán ser como máximo de 2, pero este módulo puede trabajar con dos formatos distintos para las salidas, pudiendo ser de 4 a 20 mA o de 0 a 10V, dependiendo del tipo de actuador.

La energía para el módulo debe ser proporcionada por el usuario mediante una fuente de poder de +24 DVC. Esto incluye la energía para la corriente de salida del lazo y la energía para el voltaje de salida.

- **Módulo de Comunicaciones Ethernet (IC693CMM321)**

Esta interfase Ethernet permite a la Serie 90 de PLC's comunicarse con otra Serie de PLC's mediante software (Logicmaster 90 TCP/IP Ethernet, software de programación para Windows VersaPro o software SCADA Cimplicity HMI). Este módulo puede actuar como cliente o como servidor: como cliente puede inicializar comunicaciones con PLC's de otra Serie que contengan interfaces Ethernet utilizando software, y como servidor puede atender requerimientos de otros dispositivos (tales como una computadora u otro PLC) que actúan como clientes. No se requiere de ninguna programación en el PLC para operar como servidor.

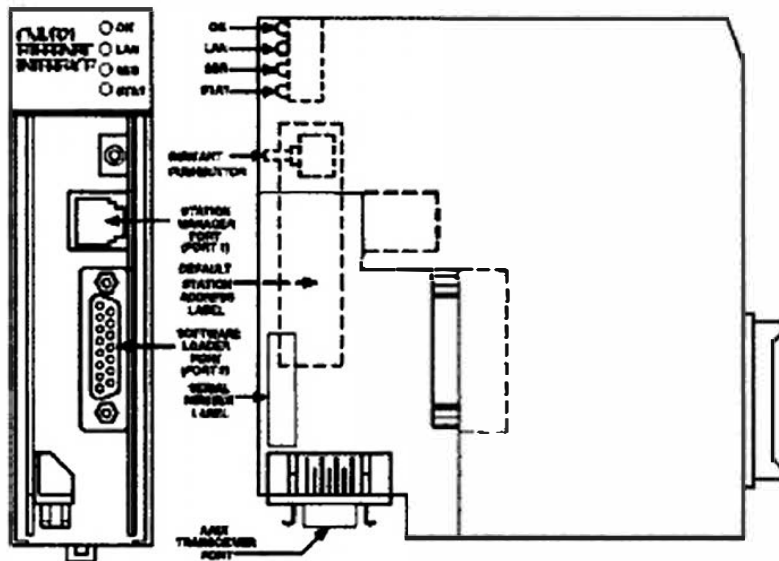


Figura 30. Módulo de Comunicaciones Ethernet TCP/IP IC693CMM321

Este módulo de comunicaciones presenta las siguientes características:

- o La Interfase Ethernet se hace operativa muy rápidamente y sin mucho esfuerzo. Solamente es necesaria la instalación física y una configuración básica para que permita utilizar al PLC como servidor, mientras que para que actúe como cliente se requerirá del uso de una función en un programa Ladder.
- o Enlaza directamente al PLC con la red Ethernet, pues mediante un cable del tipo AAUI es posible enlazarse con otras computadoras o PLC's existentes en la red local.

- Permite al PLC la conexión simultánea a varios dispositivos en la red local.
- Mantiene la compatibilidad con otros dispositivos tanto de la marca GE Fanuc como con PLC's de otras marcas que utilicen la plataforma TCP/IP.
- Permite el diagnóstico y mantenimiento del sistema. Utilizando herramientas adecuadas permite localizar fallas severas en el sistema pudiendo incluso mediante un puerto serial incorporado descargar software actualizado que sea necesario para el funcionamiento de la interfase.
- Puede enlazarse con otras redes locales e incluso con otras más grandes utilizando dispositivos de terceros.
- Permite la comunicación con otros PLC's ya sea utilizando direcciones IP o nombres simbólicos.

PLC's Versamax

El PLC VersaMax presenta un diseño compacto sin rack y va montado sobre guía simétrica DIN. La CPU, con su potente Juego de Instrucciones de Programación y características avanzadas, sirve a un total de hasta ocho módulos E/S y opcionales, proporcionando hasta 256 puntos E/S locales. En el sistema local pueden incluirse hasta ocho módulos. La alimentación para el funcionamiento de los módulos la proporciona una fuente de alimentación que va montada directamente sobre la CPU. En el sistema pueden incluirse fuentes de alimentación adicionales para módulos que requieren intensidades elevadas.

Los módulos E/S van montados sobre "soportes" individuales. Los soportes van instalados en la guía simétrica DIN y proporcionan las comunicaciones con el panel posterior y terminales para cableado in situ del módulo. Diversos diseños de soporte proporcionan flexibilidad de montaje y durante el cableado in situ.

En los soportes tipo conector, los módulos están orientados verticalmente respecto a la guía simétrica DIN. Los soportes tipo conector poseen un conector de 32 terminales para sujetar un cable E/S. Los terminales de cableado in situ reales para estos soportes están situados en unidades de terminales interpuestas especiales (no mostradas). En soportes tipo terminal, los módulos van montados horizontalmente respecto a una guía

simétrica DIN. Los soportes tipo terminal incluyen 32 terminales con tornillo hacia abajo para conexión directa del cableado in situ. Si se necesitan más terminales pueden añadirse terminales E/S auxiliares adicionales.

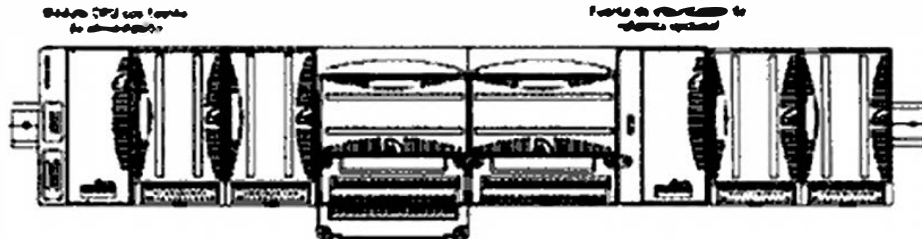


Figura 31. PLC Versamax con seis módulos E/S

A continuación se da una breve descripción de las partes de las que se compone el PLC Versamax utilizado en el presente trabajo.

- Fuente de Poder (IC200PWR001)

Esta fuente de poder de 24 VDC proporciona energía al PLC para el CPU y para los módulos E/S. Abastece hasta 1,5 Amp de corriente de salida vía salidas de 3,3 y 5 voltios, con hasta 0,25 Amp en las salidas de 3,3 V. Esta es abundante energía para la estación. Cuando es montada sobre el CPU sirve como fuente principal de energía para la estación pero puede ser utilizada como fuente alternativa cuando es montada en otro tipo de soportes.

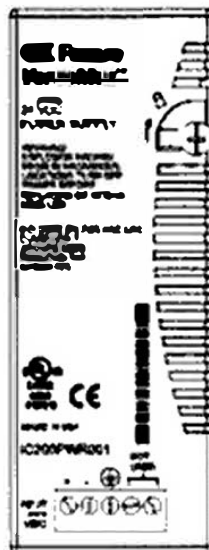


Figura 32. Fuente de Poder IC200PWR001

- Soporte E/S Tipo Barrera (IC200CHS001)

Este tipo de soporte tiene 36 terminales tipo barrera y proporciona montaje, comunicaciones y alambrado de campo para módulos E/S.

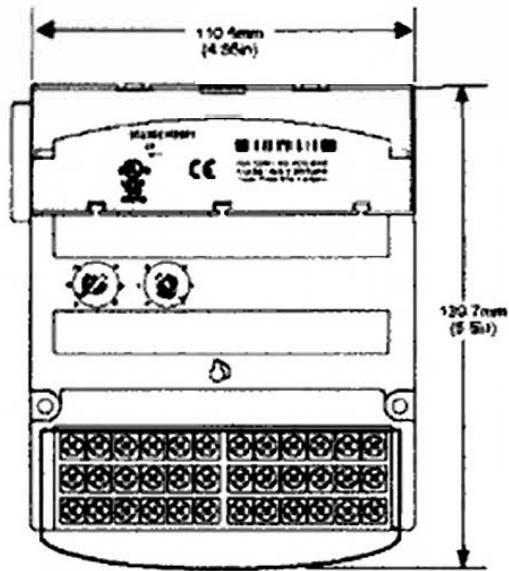


Figura 33. Soporte E/S Tipo Barrera

- Soporte E/S Tipo Caja (IC200CHS002)

Este tipo de soporte tiene 36 terminales tipo caja IEC y proporciona montaje, comunicaciones y alambrado de campo para módulos E/S.

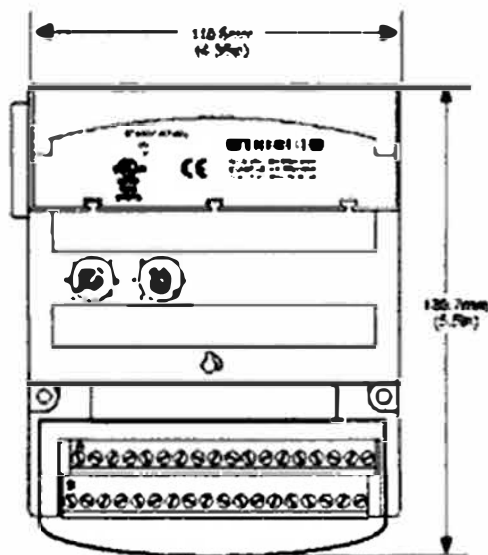


Figura 34. Soporte E/S Tipo Caja

- **Módulo de Entradas y Salidas Análogas (IC200ALG430)**

Este módulo proporciona 8 entradas discretas y 8 salidas de relé. Las entradas son lógicas positivas o entradas tipo fuente, las cuales reciben corriente proveniente de dispositivos y retornan la corriente en el común. Las salidas son relés individualmente aislados los cuales pueden conducir un máximo de 2 Amp por salida. La energía para el módulo viene del backplane. Las salidas deben ser energizadas por una fuente externa. El procesamiento inteligente para el módulo se realiza en el CPU.

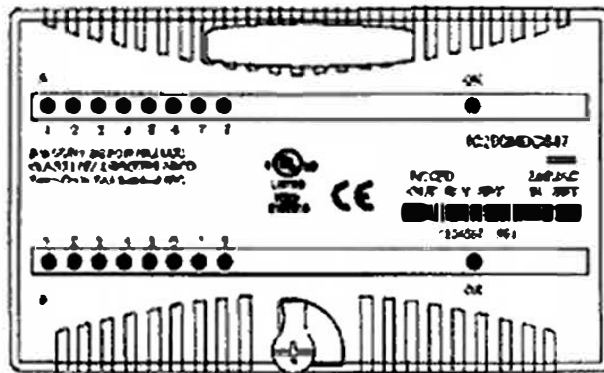


Figura 35. Módulo E/S Discretas (IC200ALG430)

- **Módulo de Entradas y Salidas Análogas (IC200ALG430)**

Este módulo proporciona cuatro entradas análogas de corriente y 2 salidas análogas de corriente. Una fuente externa de 24V es necesaria para las salidas. Para las entradas, la energía de los transmisores utilizados por el usuario debe ser suministrada por una fuente externa. El procesamiento inteligente para el módulo es llevado a cabo por el CPU. El módulo proporciona una 4 palabras de datos de entrada análogos y receptiona 2 palabras de datos de salida análogos.

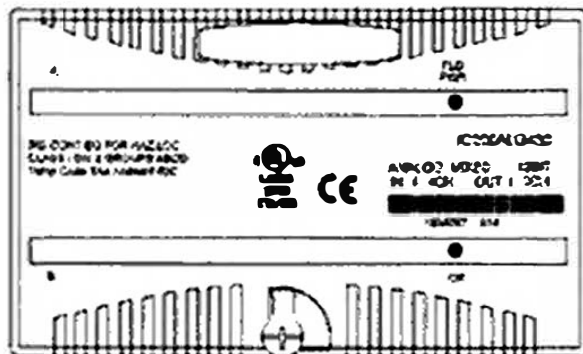


Figura 36. Módulo E/S Análogas (IC200ALG430)

SOFTWARE DE PROGRAMACION (VERSAPRO)

VersaPro es un software de programación GE Fanuc en ambiente Windows para PLC's de la Series 90-30 y PLC's del modelo VersaMax. VersaPro está diseñado para instalar y correr bajo Windows 95, Windows 98 y Windows NT 4.0.

Con VersaPro se puede:

- Crear lógica de PLC e información asociada con dicha lógica en un directorio.
- Configurar el hardware del PLC.
- Crear y editar variables
- Crear, editar y monitorear la ejecución de instrucciones en lenguaje ladder.
- Crear programas de lógica local y movimiento.

A continuación se muestran los menús y barras de herramientas usadas en el software de programación de VersaPro y la herramienta de configuración de hardware Stand Alone.

Menús Versapro

Menú File

El menú File incluye operaciones con archivos y operaciones de impresión para componentes VersaPro.

Opción	Acción
New Block (Ctrl+B)	Crea un nuevo bloque
New Motion	Crea una nueva Lógica Local o programa de movimiento
New Reference View Table	Crea una nueva tabla de vista de referencia
Save (Ctrl+S)	Graba el item seleccionado
Save All (Shift+Ctrl+A)	Graba el directorio entero
Close (Ctrl+F4)	Cierra la ventana seleccionada
New Folder (Ctrl+N)	Crea un directorio, o importa uno ya existente

Opción	Acción
Open Folder (Ctrl+O)	Abre un directorio existente
Close Folder	Cierra un directorio abierto
Print	Imprime el ítem seleccionado
Print Report	Permite definir componentes y bloques a ser incluidos en un reporte y luego imprime éste
Page Setup	Permite especificar parámetros de página
<MRU list>	Abre un directorio recientemente usado de una lista de más recientes directorios usados
Exit (Alt+F4)	Cierre el software VersaPro

Menú Edit

Opción	Acción
<acción> Undo	(Ctrl+Z) Revierte la acción previa.
<acción> Redo	(Ctrl+Y) Revierte la acción undo previa
Cut (Ctrl+X)	Remueve el ítem seleccionado y lo coloca en el Clipboard
Copy (Ctrl+C)	Copia el ítem seleccionado al Clipboard
Copy As	Copia el elemento seleccionado como un bitmap o como texto en el Clipboard
Paste (Ctrl+V)	Pega el contenido del Clipboard al área seleccionada
Delete (Del)	Borra los ítems seleccionados
Delete row (Ctrl+D)	Borra las filas seleccionadas
Select All (Ctrl+A)	Selecciona todo los ítems
Find in Blocks	Permite encontrar un nombre o dirección de variable en particular
Go to (Ctrl+G)	Permite ir a una fila en la lógica IL o a una corrida en una lógica LO
Go to Next Coil (Alt+F3)	En el editor LD, mueve el cursor a la siguiente bobina con el mismo nombre que la referencia seleccionada
Go to Variable (Ctrl+F11)	Permite ir a una variable en la TDV
Properties (Alt+Enter)	Permite añadir una descripción al bloque actual, al directorio actual, o ajustar las propiedades de variables temporales o de conversión

Menú View

Opción	Acción
Toolbars (Ctrl+T)	Muestra u oculta barras de herramientas
Function Toolbars	Expande o compacta la función toolbars
Status Bar (Alt+O)	Muestra u oculta la barra de Status
Folder Browser	(Alt+1) Abre o cierra el examinador de directorios
Information Window (Alt+2)	Abre o cierra la ventana de información
Variable Declaration Table (Alt+3)	Abre o cierra la ventana TDV
Hardware Configuration (Alt+F4)	Abre la ventana de configuración de hardware
MAIN block (Alt+F5)	Abre el bloque _MAIN
Local Logic Variable Table (Alt+6)	Abre o cierra la TVLL (si el directorio contiene un programa de Lógica Local)
Sort	Ordena columnas específicas de la TDV en orden ascendente o descendente
Monitor	Muestra la ejecución en tiempo real de la lógica en el PLC
Display Format	Permite cambiar el formato de visualización
Format View Table	Permite determinar cuántos datos son mostrados en una fila seleccionada de la TVV, de la TVR, o la TVR completa
Zoom In (Ctrl+"=")	Agranda la vista
Zoom Out (Ctrl+"-")	Reduce la vista

Menú Insert

Opción	Acción
Object	Inserta un objeto en el examinador de directorios
Block	Inserta un bloque en el examinador de directorios
Row (Ins)	Inserta una fila encima de la fila seleccionada en el editor IL, el editor LD, TDV, o una TVV
Comment	Permite insertar un comentario

Menú Folder

Opción	Acción
Chek Selected Block(s)	(Ctrl+F7) Chequea el bloque seleccionado para correcciones de sintaxis. Si no hay un bloque seleccionado se chequea el _Main block
Check All (F7)	Chequea todos los bloques para correcciones de sintaxis
Lock/Unlock	Abrir o cerrar con llave un directorio que ya se encuentra abierto
Backup (Ctrl+F8)	Copia un directorio
Restore (F8)	Restablece un directorio
Restore Motion Blocks	Permite restaurar bloques de movimiento individuales que han sido copiados durante una operación de carga
Find Unused Variables	Encuentra variables en desuso. Las variables en desuso son listadas en la ventana de información por nombre, ámbito y dirección
Compact	Reduce el tamaño del directorio removiendo información histórica de la TDV

Menú PLC

Opción	Acción
Connect (F9)	Conecta al PLC
Disconnect (Ctrl+F9)	Desconecta del PLC
Store (Alt+F2)	Almacena el contenido de un directorio al PLC
Load (Ctrl+F2)	Carga el contenido de un directorio al PLC
Verify (F4)	Compara el directorio actual con el del PLC
Clear	Limpia la memoria del PLC
Flash/EEPROM	Lee, escribe o verifica la memoria Flash
Search for Overrides	Busca en la lógica del PLC variables anuladas
Run (F5)	Corre la lógica residente en el PLC
Stop (Ctrl+F5)	Detiene la lógica residente en el PLC
Toggle (F12)	Permite activar una referencia
Override (F11)	Permite anular una referencia

Opción	Acción
Write Reference Value (F10)	Permite escribir un valor a la referencia seleccionada en el editor LD, TVW o TVR
Tunning Parameters	Permite sintonizar instrucciones PID
Status Info (Shift+F4)	Permite ver el status del PLC
Abort! (F10)	Detiene una acción de comunicación

Menú Tools

Opción	Acción
Fault table	Abre una tabla de fallas
Communications Setup	Define los parámetros de comunicación
Import Variables	Permite importar una variable
Export Variables	Permite exportar una variable
Convert Block	Permite convertir lógica de un lenguaje a otro
Non-Nested to Nested Conversion	Convierte instrucciones MCR, ENDMCR, JUMP y LABEL no anidadas a versiones anidadas
Options (Ctrl+E)	Permite ajustar opciones generales (lenguaje relacionado), de visualización (colores, fuentes), Ladder (mostrar campos, ancho de celdas) y de autoconexión

Menú Window

Opción	Acción
Cascade (Alt+F6)	Arregla todas las ventanas de bloque abiertas de tal modo que todas las barras de título sean visibles y la ventana activa esté al frente
Tile Horizontally (Alt+F7)	Redimensiona y arregla horizontalmente las ventanas abiertas para que todas sean visibles
Tile Vertically (Alt+F8)	Redimensiona y arregla verticalmente las ventanas abiertas para que todas sean visibles
Arrange Icons (Alt+F9)	Alinea las ventanas de bloque minimizadas
Close All (Alt+F10)	Cierra todas las ventanas de bloque abiertas
Next Window (F6)	Permite ir de una ventana abierta a otra
Previous Window (Shift+F6)	Permite pasar a la ventana abierta anterior
[Current Window]	Muestra el nombre de la ventana activa

Menú Help

Opción	Acción
Contents and Index	Muestra la ayuda de VersaPro
About VersaPro	Muestra información acerca de VersaPro y de la memoria disponible y espacio en el disco

Barras de herramientas Versapro

Barra de Herramientas Standard

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14



Esta barra se muestra por defecto aunque puede ocultarse. Sus botones proveen funciones comunes, tales como abrir directorios, guardar directorios y bloques, cortado, copiado, pegado, deshacer o rehacer.

Botón	Función
1	Crea un nuevo directorio
2	Crea un nuevo bloque
3	Abre un directorio existente
4	Guarda el bloque seleccionado
5	Guarda el directorio entero
6	Remueve el ítem seleccionado y lo coloca en el Clipboard
7	Copia el ítem seleccionado al Clipboard
8	Pega el contenido del Clipboard al área seleccionada
9	Revierte la acción previa
10	Revierte la acción de deshacer previa
11	Borra los ítems seleccionados
12	Envía el ítem seleccionado a la impresora
13	Muestra el archivo de ayuda
14	Abortar

Barra de Herramientas Ladder

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12



Se utiliza para crear programas en lógica ladder.

Botón	Función
1	Selecciona el puntero normal
2	Permite jalar un contacto normalmente abierto
3	Permite jalar un contacto normalmente cerrado
4	Permite jalar una bobina normalmente abierta
5	Permite jalar una bobina normalmente cerrada
6	Permite jalar una bobina de transición positiva
7	Permite jalar una bobina de transición negativa
8	Permite jalar una bobina set
9	Permite jalar una bobina reset
10	Permite jalar una línea horizontal o vertical
11	Permite jalar una instrucción CALL
12	Permite insertar una fila de comentarios

Barra de Herramientas View

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11



Se utiliza para mostrar u ocultar ventanas, para abrir el bloque _MAIN, o para agrandar o reducir el contenido de una ventana. Los botones no relacionados con la tarea actual no están disponibles.

Botón	Función
1	Muestra u oculta el examinador de directorios
2	Muestra u oculta la TDV

Botón	Función
3	Muestra u oculta la ventana de información
4	Abre la ventana de configuración de hardware
5	Abre el bloque _MAIN
6	Abre la TVLL
7	Monitorea todas las ventanas
8	Monitorea la ventana activa
9	Desactiva el monitoreo
10	Agranda el contenido de la ventana activa
11	Reduce el contenido de la ventana activa

Barra de Herramientas Folder



Se utiliza para chequear sintaxis.

Barra de Herramientas PLC



Se usa para conectarse al PLC y realizar operaciones que involucran un PLC conectado, tales como lógica de almacenamiento y carga, o de corrida y parada.

Botón	Función
1	Conecta al PLC
2	Desconecta del PLC
3	Almacena este directorio al PLC
4	Carga un directorio del PLC
5	Compara el directorio actual y los elementos presentes en el PLC

Botón	Función
6	Corre al PLC
7	Detiene el PLC
8	Activa una referencia
9	Anula una referencia
10	Escribe un valor a una referencia
11	Muestra el status del PLC

Barra de Herramientas Function



Se utiliza para seleccionar tipos de bloques de función mientras se programa en el editor RLD. Los grupos de funciones son listados en orden alfabético. Esta barra de herramientas puede ser configurada para mostrarse en modo expandido o compacto. Para cambiar el modo, se selecciona el menú View, se escoge Function Toolbars, y luego se selecciona Expanded o Compact.

Juego de instrucciones

Como guía para las prestaciones de programación del PLC VersaMax, todos los relés, bobinas, funciones y otros elementos de Juego de Instrucciones se resumen en las páginas siguientes.

Contactos

- -	<i>Normalmente abierto</i>	Conduce energía si la referencia asociada está activada
- / -	<i>Normalmente cerrado</i>	Conduce energía si la referencia asociada está desactivada
<+>---	<i>Continuación</i>	Conduce energía hacia la derecha si la bobina de continuación precedente está activada

Bobinas

- ()-	<i>Normalmente abierta</i>	Activa la referencia asociada si la bobina recibe energía.
-(/)-	<i>Normalmente cerrada</i>	Activa la referencia asociada si la bobina no recibe energía.
-(↑)-	<i>Transición positiva</i>	Si la energía no llegaba hacia esta bobina la última vez que se ejecutó y ahora está desactivada, la bobina se activa.
-(↓)-	<i>Transición negativa</i>	Si la energía no llegaba hacia esta bobina la última vez que se ejecutó y ahora está desactivado, la bobina se activa.
-(S)-	<i>SET</i>	Activa la referencia discreta asociada si la bobina se energiza. Permanece activada hasta que se desactiva con una bobina -(R)-.
-(R)-	<i>RESET</i>	Desactiva la referencia discreta asociada si la bobina se energiza. Permanece desactiva hasta que se activa mediante una bobina -(S)-.
-(SM)-	<i>SET retentivo</i>	Activa la referencia asociada si la bobina recibe energía. La referencia permanece activa hasta que se repone mediante una bobina -(RM)-. Su estado se conserva aun cuando se produzca un corte de corriente o una transición STOP a RUN
-(RM)-	<i>RESET retentivo</i>	Desactiva la referencia discreta asociada si la bobina recibe energía. La referencia permanece repuesta hasta que se activa mediante una bobina -(SM)-. Su estado se conserva aun cuando se produzca un corte de corriente o una transición STOP a RUN
-(/M)-	<i>Retentivo negado</i>	Activa la referencia discreta asociada si la bobina no recibe energía. El estado se conserva aun cuando se produzca un corte de energía o una transición STOP a RUN. Si no es así se desactiva.
-(M)-	<i>Retentivo</i>	Activa la referencia discreta asociada si la bobina recibe energía. El estado se conserva aun cuando se produzca un corte de suministro o una transición STOP a RUN. De no ser así se desactiva.
---<+>	<i>Continuación</i>	Si la alimentación de la bobina está conectada, la bobina de continuación activa el siguiente contacto de continuación. Si la alimentación está desactivada, la bobina de continuación desactiva el siguiente contacto de continuación.

Temporizadores y contadores

ondtr	<i>Temporizador cronómetro retardo a la conexión</i>	Acumula tiempo mientras recibe energía. El valor actual se reinicializa a cero cuando la entrada de Reset recibe energía
oftd	<i>Temporizador retardo a la desconexión</i>	Acumula tiempo mientras NO recibe energía
tmr	<i>Temporizador retardo a la conexión</i>	Acumula tiempo mientras recibe energía. El valor actual se reinicializa a cero cuando no hay flujo de energía
upctr	<i>Contador incremental</i>	Incrementa en 1 cada vez que la función recibe energía de transición
dnctr	<i>Contador decremental</i>	Realiza una cuenta atrás a partir de un valor predefinido cada vez que la función recibe energía de transición.

Funciones matemáticas

add	<i>Adición</i>	Suma dos números
sub	<i>Substracción</i>	Resta un número de otro
mul	<i>Multipliación</i>	Multiplca dos números
div	<i>División</i>	Divide un número entre otro, obteniéndose un cociente
mod	<i>División por módulo</i>	Divide un número entre otro, obteniéndose un residuo
expt	<i>Potencia de X</i>	Eleva X a la potencia especificada por IN y coloca el resultado en Q
sin	<i>Seno trigonométrico</i>	Evalúe el seno de un número real
cos	<i>Coseno trigonométrico</i>	Evalúe el coseno de un número real
tan	<i>Tangente trigonométrica</i>	Evalúa la tangente de un número real
asin	<i>Inversa de seno</i>	Determine la inversa del seno de un número real
acos	<i>Inversa de coseno</i>	Determina la inversa del coseno de un número real
atan	<i>Inversa de tangente</i>	Determine la inversa de la tangente de un número real
deg	<i>Convierte en grados</i>	Convierte radianes en grados sexagesimales

rad	<i>Convierte a radianes</i>	Convierte grados sexagesimales a radianes
sqrt	<i>Raiz cuadrada</i>	Calcula la raiz cuadrada
Log	<i>Logaritmo base 10</i>	Determina el logaritmo en base diez de un número real
ln	<i>Logaritmo natural</i>	Determina el logaritmo natural de un número real
exp	<i>Potencia de e</i>	Eleva la base del logaritmo natural a una potencia determinada

Funciones relacionales

eq	<i>Igual que</i>	Comprueba si existe igualdad entre dos números
Ne	<i>Distinto que</i>	Comprueba si dos números son distintos
Gt	<i>Mayor que</i>	Comprueba si un número es mayor que otro. Emite energía si el primero es mayor que el segundo
Ge	<i>Mayor o igual que</i>	Comprueba si un número es mayor o igual que otro
Lt	<i>Menor que</i>	Comprueba si un número es menor que otro
Le	<i>Menor o igual que</i>	Comprueba si un número es mayor o igual que otro
range	<i>Intervalo</i>	Comprueba el valor numérico introducido respecto a un intervalo de dos números

Funciones de operaciones con bits

and	<i>Y lógica</i>	Realiza la función Y lógica de dos cadenas de bits
or	<i>O lógica</i>	Ejecuta la O lógica de dos cadenas de bits
xor	<i>O exclusiva lógica</i>	Ejecuta la O exclusiva lógica de dos cadenas de bits
not	<i>Inversión lógica</i>	Realiza una inversión lógica de una cadena de bits

shl	<i>Desplazar a izquierda</i>	Desplaza una cadena de bits hacia la izquierda
shr	<i>Desplazar a derecha</i>	Desplaza una cadena de bits hacia la derecha
rol	<i>Girar a izquierda</i>	Gira una cadena de bits hacia la izquierda
ror	<i>Girar a la derecha</i>	Gira una cadena de bits hacia la derecha
bittst	<i>Test de bits</i>	Verifica un bit dentro de una cadena de bits
bitset	<i>Activar bit</i>	Activa un bit dentro de una cadena como verdadero
bitclr	<i>Borrar bit</i>	Activa un bit dentro de una cadena como falso
bitpos	<i>Posición de bit</i>	Localiza un bit definido como verdadero dentro de una cadena de bits
mskcmp	<i>Comparar con máscara</i>	Realiza una comprobación con máscara de dos bloques

Funciones para mover datos

move	<i>Mover</i>	Mueve uno o más bits de datos
blkmov	<i>Mover bloque</i>	Mueve un bloque de hasta 7 constantes
blkclr	<i>Borrar bloque</i>	Poner a cero uno o más bytes/palabras de memoria
shfreg	<i>Registro de desplazamiento</i>	Desplaza una o más palabras o bits de datos a través de un bloque de memoria
bitseq	<i>Secuenciador de bits</i>	Secuencia un 1 a través de un grupo de bits en la memoria del PLC
comreq	<i>Requerimiento de comunicaciones</i>	Envía una petición de comunicaciones

Funciones de tablas

arrmov	<i>Mover bloques</i>	Copia un número de datos de un bloque fuente a un bloque destino
srh eq	<i>Buscar igual que</i>	Busca un bloque de valores igual a un valor especificado

srh ne	<i>Buscar distinto de</i>	Busca un bloque de valores distinto de un valor especificado
srh gt	<i>Buscar mayor que</i>	Busca un bloque de valores mayor que un valor especificado
srh ge	<i>Buscar mayor o igual que</i>	Busca un bloque de valores mayor o igual que un valor especificado
srh lt	<i>Buscar menor que</i>	Busca en el bloque valores menores que un valor especificado
srh le	<i>Buscar menor o igual que</i>	Busca valores menores que o iguales a un valor especificado

Funciones de conversión

→bcd-4	<i>Convertir a BCD-4 (de INT)</i>	Convierte un número a formato BCD de 4 dígitos
→word	<i>Convertir palabra (de REAL)</i>	Convierte un valor real a palabra
→int	<i>Convertir a INT (de BCD-4 o REAL)</i>	Convierte un número a formato entero con signo
→tdint	<i>Convertir a DINT (de BCD-4 o REAL)</i>	Convierte un número a formato entero de doble precisión
→real	<i>Convertir a REAL (de INT, DINT, BCD-4 o WORD)</i>	Convierte un valor a número real
→→int	<i>Truncar a INT (de REAL)</i>	Trunca números de 16 bits desde -32768 hasta +32767
→→dint	<i>Truncar a doble precisión INT (de REAL)</i>	Trunca números de 32 bits de 2147483648 a +2147483647

Funciones de control

call	<i>Llamar</i>	Deriva la ejecución del programa hacia una subrutina determinada
do io	<i>Ejecutar E/S</i>	Procesa inmediatamente un intervalo especificado de entradas o salidas (se procesarán todas las entradas o salidas de un módulo si cualesquiera direcciones de dicho módulo se incluyen en la función. No se ejecutan actualizaciones parciales de módulos E/S)
pidind	<i>Algoritmo PID independiente</i>	Selecciona el algoritmo PID independiente no interactivo

pidisa	<i>Algoritmo PID ISA</i>	Selecciona el algoritmo PID ISA
end	<i>Fin temporal de lógica</i>	El programa ejecuta desde el primer hasta el último peldaño o la instrucción END, el que aparezca primero. Esta instrucción resulta útil para depuración de errores
commnt	<i>Comentario</i>	Explicación de un peldaño
svcreq	<i>Petición de servicio</i>	Para servicio especial del PLC
mcr	<i>Relé de control maestro</i>	Arranca un intervalo del relé de control maestro. Un MCR hace que todos los peldaños entre el MCR y su ENDMCR subsiguiente se ejecutan sin flujo de energía. Pueden imbricarse hasta 8 MCR's.
endmcr	<i>Fin de relé de control maestro</i>	Termina un intervalo de relé de control maestro
jump	<i>Salto</i>	Salta a una posición especificada por una LABEL en la lógica
label	<i>Etiqueta</i>	La ubicación destino de una instrucción JUMP. Varias instrucciones pueden hacer referencia a la misma etiqueta

Menús HWC

Menú File

El menú File ofrece los siguientes comandos:

Opción	Acción
New	Crea un nuevo directorio
Open	Abre un directorio
Close	Cierra un directorio
Import Stand Alone HWC File	Importa un directorio de configuración de hardware HWC (hwcfg) a la actual ventana de edición del sistema de rack
Import Hardware Configuration Folder	Importan un archivo IOCFG.CFG (y un archivo CPUCFG.CFG opcional), que fue producido en LM90 o CC80, a un nuevo directorio de hardware HWC
Save	Guarda un documento abierto usando el mismo nombre de archivo

Opción	Acción
Save As	Guarda un documento abierto con un nombre de archivo especificado
Convert To	Convierte la actual configuración del sistema de rack a una configuración por defecto o del siguiente tipo: series 9030, VeraaMax, Veraamax Nano/Micro
Print	Imprime todo o una parte de la actual configuración del sistema de rack
Print Preview	Muestra todo o parte de la actual configuración del sistema de rack en la pantalla tal como será impresa
Print Setup	Selecciona una impresora y su conexión
Exit	Sale del HWC

Menú Edit

Opción	Acción
Undo	Deshaca una operación con módulos, hasta en 16 niveles
Redo	Rehace una operación hasta en 16 niveles
Cut	Borra un módulo seleccionado del sistema de rack y lo mueve al Clipboard
Copy	Copia un módulo seleccionado del sistema de rack al Clipboard
Paste	Pega el módulo previamente cortado o copiado del Clipboard al slot del sistema de rack
Expansion Rack System	Submenú que edita operaciones específicas para sistemas de rack Versamax
Expansion Receiver	Submenú que edita operaciones específicas para sistemas de expansión de rack Veraamax
Rack Operations	Submenú que edita operaciones específicas para sistemas de rack
Module Operations	Submenú que edita operaciones específicas para selección de módulos

Submenú Edit: Sistema de Expansión de Rack

Este submenú permite seleccionar el tipo de sistema Versamax. Se puede pasar de un sistema VersaMax a otro, sin embargo los cambios resultantes en la configuración no pueden ser deshechos.

Opción	Acción
None	Es el sistema VersaMax por defecto que se crea cuando se selecciona New en el menú File.
Local Single Rack	Incluye a la estación principal VersaMax E/S y una estación de expansión E/S (rack).
Multiple Remote Rack	Permite configurar hasta siete estaciones de expansión E/S. El rack VersaMax principal contiene un transmisor (IC200ETM001). Cada estación de expansión E/S contiene una fuente de poder y una unidad integrada receptora.

Submenú Edit: Receptor de Expansión

Este submenú permite seleccionar al receptor de un Rack Simple Local VersaMax o un sistema de Rack Remoto Múltiple.

Opción	Acción
None	Desactiva al receptor. Esta es la selección por defecto si ningún carrier/base es configurado. Esta opción no está disponible si hay como mínimo un carrier/base configurado en la expansión del rack
Non-isolated Receiver Unit	Selecciona al receptor no aislado y la unidad integrada de fuente de poder (IC200ERM002). Este es el único receptor permitido para sistemas de rack simple local.
Isolated Receiver Unit	Selecciona al receptor no aislado (IC200ERM002). Esta opción está disponible sólo para sistemas de rack remotos simples.

Submenú Edit: Operaciones con Racks

Opción	Acción
Change Rack Type	Muestra el cuadro de diálogo para tipo de cambio de rack. No está disponible para sistemas VersaMax.
Clear Rack	Borra todos los módulos, excluyendo la fuente de poder y el CPU, para el rack seleccionado
Configure CPU Parameters	Muestra el diálogo de parámetros del módulo, que permite la edición de los parámetros de configuración para el CPU del sistema de rack.
Replace CPU	Muestra el diálogo de selección de módulo que permite seleccionar un reemplazo para el CPU del sistema.
Name Resolution and Routing	Muestra el diálogo de resolución de nombre del adaptador Ethernet 90-30, que permite la especificación de tablas de nombramiento y enrumbamiento del adaptador Ethernet. Este ítem del menú no está disponible para sistemas VersaMax.

Opción	Acción
Ethernet Global Data	Muestra el diálogo de datos globales Ethernet 90-30, que permite la definición de ids de intercambio Ethernet. Este ítem del menú no está disponible para sistemas VersaMax.
Add Base/Carrier	Muestra el diálogo para añadir un Base/Carrier VersaMax, y extiende el rack seleccionado con el Base/Carrier seleccionado. Este menú no está disponible para sistemas 90-30.
Delete Base/Carrier	Borra el Base/Carrier seleccionado en un rack VersaMax. Este menú no está disponible para sistemas 90-30.
Insert Base/Carrier	Muestra el diálogo para insertar un Base/Carrier VersaMax, e inserta el Base/Carrier seleccionado delante del slot seleccionado del rack VersaMax. Este menú no está disponible para sistemas 90-30.
Replace Base/Carrier	Muestra el diálogo para reemplazar un Base/Carrier VersaMax, y reemplaza el Base/Carrier seleccionado en el slot seleccionado del rack VersaMax. Este menú no está disponible para sistemas 90-30.
Configure Receiver Parameters	Muestra el tab de consumo de energía para el receptor de expansión de rack VersaMax, que no tiene parámetros configurables. Este ítem está disponible sólo cuando la unidad receptora, localizada en el primer slot del rack de expansión, está seleccionada.

Submenú Edit: Operaciones con Módulos

Opción	Acción
Configure Parameters	Muestra el diálogo de parámetros de módulo, que permite la edición de los parámetros de configuración para el módulo seleccionado.
Add Module	Muestra el diálogo para la selección de un módulo y permite la selección y configuración de un nuevo módulo en el slot vacío seleccionado de un rack (o un Carrier/Base en un sistema modular VersaMax)
Replace Module	Muestra el diálogo para la selección de un módulo, y permite la selección y configuración de un módulo de reemplazo para el módulo seleccionado.
Delete Module	Borra el módulo seleccionado del sistema de rack.

Menú Tools

Opción	Acción
Hardware Configuration Data View Facility	Muestra los datos de configuración del PLC en un diálogo tabulado, permitiendo una presentación formateada -tanto en texto como binaria- de la información contenida.

Opción	Acción
Options	Muestra el diálogo de opciones que permite ajustar el comportamiento de cierta aplicación tal como tamaño de Log y la vista del editor de parámetros.
CPU Information	Muestra el diálogo de información del CPU que lista el número de modelo del CPU y enumera los límites de referencia de memoria definidos actualmente. Este ítem es sólo visible mientras una ventana de edición del sistema de rack esté abierta.

Menú View

Opción	Acción
Toolbar	Muestra u oculta la barra de herramientas.
Status Bar	Muestra u oculta la barra de status.
Log View	Muestra u oculta la visión del Log de HWC on-line
Reference View	Muestra u oculta la visión de referencia del sistema de rack on-line.
Power Consumption	Muestra un submenú que contiene opciones pertenecientes a la visión del consumo de energía del sistema de rack. Este ítem sólo es visible mientras una ventana de edición del sistema de rack esté abierta.

Submenú Edit Consumo de Energía

Opción	Acción
Power Display Units	Este submenú permite cambiar las unidades de la visión del consumo de energía a Amperios o Watts.
Power Display Colors	Este submenú permite cambiar el color del fondo de la visión del consumo de energía a oscuro, medio, claro. Una vez que un esquema de color ha sido seleccionado, la visión del consumo de energía y el diálogo serán mostrados en el fondo permanentemente en las sesiones de edición hasta que otro esquema de color es elegido.
Power Consumption View	Muestra u oculta la visión de la energía del sistema de rack on-line.
Power Consumption Dialog	Muestra el diálogo de consumo de energía.

Menú Windows

Opción	Acción
Cascade	Arregla las ventanas superponiéndolas.
Tile	Arregla las ventanas en tejes no superpuestas.
Arrange Icons	Arregla los iconos de ventanas cerradas.
Window 1,2,...	Permite ir a una ventana especificada.

Menú Help

Opción	Acción
Contents	Muestra la tabla estructurada de contenidos del Help del cual se puede conseguir ayuda.
Help Index	Ofrece un índice de los tópicos en los cuales conseguir ayuda.
How to Use Help	Enumera los diferentes tipos de Help disponible en el HWC y describe cómo puede ser aplicado cada uno para ayudar en el aprendizaje y uso del programa.
Module Help	Provee ayuda para especificar parámetros en la ventana del editor de parámetros seleccionado.
About HWC	Muestra el número de versión de su aplicación.

Capítulo V

Sistemas SCADA

CONCEPTOS BASICOS

¿QUE ES UN SISTEMA SCADA?

La palabra SCADA viene de las siglas de "Supervisory Control And Data Acquisition", es decir, control supervisorio y adquisición de datos. Se trata de un tipo de sistema especialmente diseñado para poder utilizar las computadoras en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla de la computadora. Además, provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como de otros supervisores dentro de la empresa: control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc.

En este tipo de sistemas usualmente existe una computadora que efectúa tareas de supervisión y gestión de alarmas, así como tratamiento de datos y control de procesos. La comunicación se realiza mediante buses especiales o redes LAN. Todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real, y este tipo de sistemas están diseñados para dar al operador de planta la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos.

Un sistema SCADA debe estar en disposición de ofrecer las siguientes prestaciones:

- Posibilidad de crear paneles de alarma, que exigen la presencia del operador para reconocer una parada o situación de alarma, con registro de incidencias.

- Generación de data histórica de alguna variable de proceso, que puede ser volcada para su posterior proceso sobre una hoja de cálculo.
- Ejecución de programas, que modifican la ley de control, o incluso anular o modificar las tareas asociadas al autómeta, bajo ciertas condiciones.
- Posibilidad de programación numérica, que permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU de la computadora.

Con ellas se pueden desarrollar aplicaciones para computadoras (tipo PC, por ejemplo), con captura de datos, análisis de señales, presentaciones en pantalla, envío de resultados a disco e impresora, etc. Además, todas estas acciones se llevan a cabo mediante un paquete de funciones que incluye zonas de programación en un lenguaje de uso general (como C, Pascal, o Basic), lo cual confiere una potencia muy elevada y una gran versatilidad. Algunos SCADA ofrecen librerías de funciones para lenguajes de uso general que permiten personalizar de manera muy amplia la aplicación que desee realizarse con dicho SCADA.

Un SCADA debe cumplir varios objetivos para que su instalación sea completamente aprovechada:

- Deben ser sistemas de arquitectura abierta, capaces de crecer o adaptarse según las necesidades cambiantes de la empresa.
- Deben comunicarse con total facilidad y de forma transparente al usuario con el equipo de planta y con el resto de la empresa (redes locales y de gestión).
- Deben poseer programas sencillos de instalar, sin excesivas exigencias de hardware, y fáciles de utilizar por el usuario.

MODULOS DE UN SCADA

Los módulos o bloques software que permiten las actividades de adquisición, supervisión y control son los siguientes:

- *Configuración*: permite al usuario definir el entorno de trabajo de su SCADA, adaptándolo a la aplicación particular que se va a desarrollar.
- *Interfase gráfica del operador*: proporciona al operador las funciones de control y supervisión de la planta. El proceso se representa

mediante sinópticos gráficos almacenados en una computadora de proceso y generados desde el editor incorporado en el SCADA o importados desde otra aplicación durante la configuración del paquete.

- *Módulo de proceso:* ejecuta las acciones de mando preprogramadas a partir de los valores actuales de variables leídas.
- *Gestión y archivo de datos:* se encarga del almacenamiento y procesado ordenado de los datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.
- *Comunicaciones:* se encarga de la transferencia de información entre la planta y la arquitectura hardware que soporta el SCADA, y entre ésta y el resto de elementos informáticos de gestión.

Las computadoras personales se han establecido en un gran número de campos. Los componentes hardware y software están siendo cada vez más potentes y más rentables. Es lógico, por tanto, que la industria quiera tomar provecho de este hecho, para reducir costos y/o incrementar la productividad.

Ciertas tareas industriales están actualmente en manos de las computadoras desde hace tiempo: desde emplear la tecnología Windows cuando se manejan pedidos y/o se ajustan parámetros de maquinaria hasta preparar o visualizar datos prácticamente de cualquier tipo.

No hay que sorprenderse entonces, que los especialistas en automatización y los usuarios estén pensando ahora en qué forma se pueden transferir a la PC otras tareas, para poder llegar a un mayor ahorro. Más recientemente un gran número de simuladores de PLC por software ha aparecido en el mercado, que están ayudando a transferir el control de tareas al disco duro y presentan una automatización más efectiva en costos en una simple pieza de hardware (la PC).

TIEMPO REAL

La capacidad en tiempo real se refiere a la capacidad de una computadora en programas de procesamiento de datos para que siempre esté lista para procesar y proporcionar los resultados dentro de un tiempo especificado. En este contexto "estrictamente en tiempo real" significa que un sistema reacciona a los eventos externos dentro de un tiempo especificado en un 100% de los casos. Además si se habla de "tiempo real" el sistema debe responder en tiempos concretos también en un 100% de los casos. Si, de

otra forma, los tiempos concretos de reacción pueden superarse en ciertos casos, como en sistemas no críticos, hablamos de "tiempo real suave".

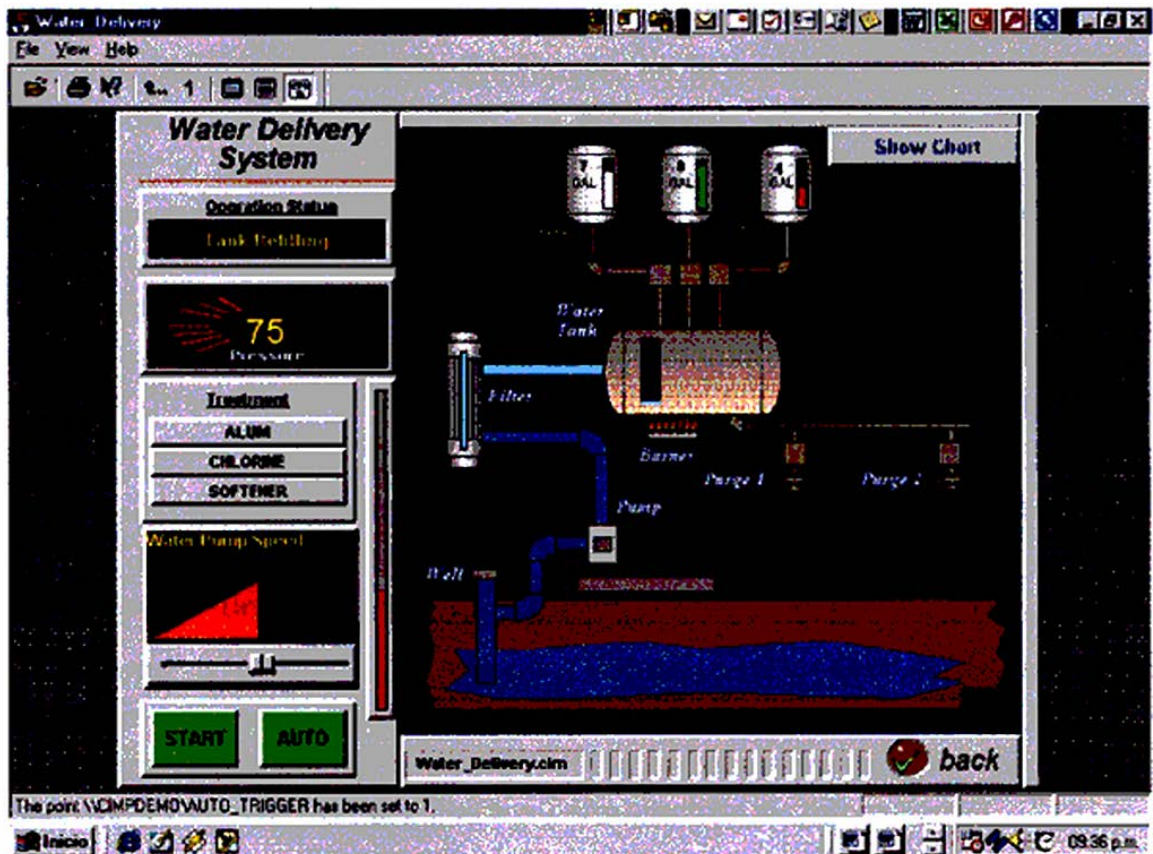


Figura 37. Pantalla de supervisión de un software SCADA

HARDWARE EN SISTEMAS DE SUPERVISION: PLC Y PC

Es algo ya comprobado que las tareas automatizadas de control, visualización y computación pueden ser efectuadas por PLC's conectados en red mediante los módulos adecuados, mejor que con sistemas exclusivos de control basados en PC. Lo que finalmente es práctico, no obstante, depende de un gran número de factores y la mayoría deben ser considerados individualmente para cada proyecto de automatización.

Así, por ejemplo, los actuales conocimientos y preferencias del usuario pueden jugar un mayor papel que la pura potencia de la computadora. Los factores cruciales, no obstante, son los atributos de capacidad en tiempo real y las propiedades de seguridad que hasta ahora han sido fuertemente asociadas con el PLC, aunque el PC también puede disponer de la característica de capacidad en tiempo real. Un sistema de control es

inconcebible sin capacidad en tiempo real. Es común en sistemas de control por computadora tener que elegir, según las características del sistema a supervisar, entre el PLC o el PC. Se debe elegir aquel hardware que mejor se adapte a las necesidades del sistema a supervisar.

Los controladores lógicos programables, en la mayoría de los casos, están diseñados específicamente para ser empleados en ambientes industriales exigentes y han sido continuamente desarrollados de forma que sus sistemas operativos en tiempo real representan su mayor virtud. Ellos son y seguirán siendo, no obstante, la primera elección para todo control de tareas críticas o extremas por su rendimiento y simpleza, en los que una PC podría estar simplemente "sobrecargada" debido al trabajo que le pueden suponer otras tareas de ámbito común, como la gestión y visualización de datos, accesos a periféricos, bases de datos, etc.

Un sistema basado en PC debe ser tomado en consideración si además del control de tareas se necesita un procesamiento de datos, trabajo en red o visualización (una aplicación SCADA).

En cuanto a sistemas operativos, Windows NT, por ejemplo, no es estrictamente hablando un sistema operativo en tiempo real como el de un PLC, pero puede actuar de forma suficientemente rápida para aplicaciones "suaves" en tiempo real, gracias a su arquitectura de micro-kernel.

TARJETAS DE EXPANSION

Como el sistema operativo sólo puede proporcionar respuestas suaves en tiempo real lo más simple es emplear extensiones hardware para las tareas críticas (placas de expansión PC) y soluciones software para el resto de tareas. Esto nos lleva a una compatibilidad con futuros sistemas operativos y una solución totalmente factible actualmente. Estas tarjetas de expansión asumen las tareas críticas en tiempo real que la computadora (PC) no puede atender, se está hablando de tarjetas que incorporan DSPs (Procesadores de Señales Digitales) o microcontroladores y que aportan una ayuda a la anterior "sobrecarga" mencionada para las computadoras.

ESTRUCTURA ABIERTA

Aún no se ha establecido un estándar para poseer extensiones compatibles en tiempo real de sistemas operativos. De una forma estrictamente determinante los sistemas estándar actuales deben ser modificados de forma general, así que la principal ventaja de un sistema basado en PC -su

estructura abierta- puede llegar a ser un inconveniente. No obstante, la estructura abierta, permite a la empresa o al desarrollador más libertad en la elección de la herramienta adecuada para el análisis, diseño y programación del sistema SCADA.

DEL SISTEMA SCADA UTILIZADO

CIMPLICITY es un sistema de supervisión desarrollado por GE Fanuc y cuyas principales características son:

- Arquitectura Escalable Cliente/Servidor para sistemas abiertos orientados a objeto.
- Alto nivel de integridad de datos y fácil compartición de datos entre nodos.
- Arquitectura de sistemas tolerante a fallos.
- Tecnología más avanzada: OLE, COM, ActiveX, OPC, ODBC, Smart Objects,...
- Tecnología Web Server para Intranets e Internet.
- Comunicación Ethernet Wireless con terminales Windows CE.
- Comunicación con la gran mayoría de controladores del mercado.

Desarrollado para funcionar en gama baja de PC con Windows 95/98/NT

- Pentium 200.
- 64 MB Memoria RAM.
- 5 MB espacio libre en Disco Duro.
- Monitor VGA.
- Lector CD-ROM

La version 4.0 de este software proporciona tecnología avanzada mediante la plataforma de sistema abierto mediante la cual pueden cubrirse desde los más elementales hasta los más complejos requerimientos de monitoreo y control para una determinada aplicación.

Esta versión difiere de las anteriores por el uso de un "banco de trabajo", el cual proporciona un ambiente de desarrollo integrado que incluye un juego de poderosas herramientas de fácil comprensión, las cuales pueden ayudar a reducir el tiempo de integración resultante y lograr además menores costos de implementación y mantenimiento del proyecto.

Estas poderosas herramientas consisten de objetos Active X y otros componentes de software que integrados con la plataforma cliente/servidor del Cimplicity proveen la funcionalidad necesaria para las aplicaciones más exigentes.

El Cimplicity utiliza para su aplicación herramientas tales como:

- Acción de Calendario
- Vigilancia del Sistema
- Manejo de Reportes
- Objetos inteligentes
- Rápidas Curvas de Tendencia
- Referencia Cruzada de Puntos
- Gráficos XY
- Sistemas Dinámicos de Medición

El Cimplicity permite también la utilización de dispositivos de otras marcas como:

- Allen-Bradley DF1
- Allen-Bradley RF Antenna
- Honeywell IPC620
- SECS II Equipment
- Toyopuc TCP/IP

Capítulo VI

Redes Industriales

CONCEPTOS BASICOS

¿QUE ES UNA RED?

Una red es un sistema de dispositivos electrónicos que son conectados con el propósito de compartir información. Cada dispositivo de la red es llamado un nodo y el medio físico usado para interconectar los dispositivos en una red es llamado medio de transmisión. Muchos tipos diferentes de redes han sido desarrollados para cubrir necesidades específicas y de esa manera poder manejar eficientemente y con bajo costo la cantidad y tipo de datos que se encuentran con mayor frecuencia. Cada protocolo de red tiene una diferente estructura de datos e incorpora diferentes características. Un excelente ejemplo es la red de área local inter-oficinas para computadoras y equipo periférico asociado. Además, las redes existen dentro de los edificios para controlar el alumbrado, calentamiento y sistemas de seguridad e inclusive, los sistemas telefónicos son también considerados redes.

¿QUE ES UNA RED INDUSTRIAL?

Las redes industriales son un subconjunto de redes. Son específicamente diseñadas para aplicaciones industriales tanto en términos de sus atributos físicos como de su estructura de datos preferida. Una red industrial es un sistema de comunicación bidireccional en tiempo real que permite un intercambio de información digital entre dispositivos de campo y dispositivos de control. Las redes industriales son en general física y eléctricamente más robustas que una red de computadores entre oficinas. El cableado usado tiende a ser más elástico con una protección exterior resistente. Además, los sistemas de conexión utilizados en redes

industriales son generalmente más duros y más capaces de resistir desconexión accidental y también las condiciones ambientales.

Muchas redes industriales son determinísticas, permitiendo de esta manera que la comunicación ocurra dentro de un intervalo de tiempo predeterminado. Las redes industriales valoran el determinismo más que otras redes puesto que muchos sistemas de control requieren respuesta en tiempo real para la entrada de datos. Las redes industriales permiten que los dispositivos de campo y los controladores se comuniquen eficientemente unos con otros, razón por la cual se convierten en herramientas capaces de permitir el uso simple y efectivo de dispositivos de E/S distribuidos, módulos E/S, e inteligencia de control distribuida.

MODELO REFERENCIAL OSI

El concepto de red industrial está basado en el modelo referencial Open Systems Interconnection (OSI). Este modelo fue creado a partir del año 1978, con el fin de conseguir la definición de un conjunto de normas que permitieran interconectar diferentes equipos, posibilitando de esta forma la comunicación entre ellos. El modelo OSI fue aprobado en 1983 y divide las funciones que los protocolos deben presentar en siete niveles jerárquicos. En general, las redes industriales pueden ser representadas por los más bajos niveles de los siete del modelo OSI. El software de aplicación del controlador maneja las funciones de nivel más alto.

Nivel 7 - Aplicación	La interfase del usuario.
Nivel 6 - Presentación	Determina cómo la información es representada (sintaxis de datos, compresión, encriptado).
Nivel 5 - Sesión	Organiza y sincroniza la comunicación entre aplicaciones.
Nivel 4 - Transporte	Separa los niveles de la red de los niveles de aplicación.
Nivel 3 - Red	Establece conexiones entre equipos en la red. (encaminamiento de mensajes, corrección de errores).

- Nivel 2 – Enlace de datos** Responsable para la transferencia de datos entre redes. Incluye control de flujo y detección de errores.
- Nivel 1 – Físico** Provee la interfase física y eléctrica, el control del tiempo de transferencia de bits y el arbitraje del bus (cables, etc.)

Una red industrial provee el enlace de comunicación entre las E/S distribuidas y el controlador servidor – PLC, PC, o DCS. El modelo OSI, que incluye muchos estándares de redes industriales, fueron desarrollados abiertamente para asistir el diseño y construcción de redes de componentes ajustables.

TIPOS DE REDES INDUSTRIALES

Cada red industrial fue desarrollada para una estructura de datos específica y un ambiente de trabajo. Las redes industriales pueden ser divididas en tres categorías de acuerdo a su estructura de datos:

- Redes orientadas a bits
- Redes orientadas a bytes
- Redes orientadas a mensajes

Las redes orientadas a bits, bytes o mensajes son también denominadas redes de sensores, de dispositivos y de función completa respectivamente. Muchas redes industriales incorporan características que pueden trabajar con los tres tipos de datos pero en general están destinados hacia una o dos estructuras.

Redes orientadas a bits (redes de sensores)

Estas redes comunican bits de datos de E/S asociados con el estado de un sensor. Estas redes mejoran el servicio de los sistemas simples de sensores. La longitud preferida de un mensaje individual es corta, por ejemplo tan corta como un simple bit. Un dispositivo típico de las redes industriales orientadas a bits es el digital, aunque algunos protocolos soportan un limitado número de dispositivos análogos. Las estructuras complejas de datos no son bien soportadas debido a que se requiere un nivel más alto de énfasis en lo predecible, en la rapidez del tiempo de respuesta.

Las redes de sensores de nivel son las más simples de implementar pero ofrecen características limitadas de diagnóstico y calibración. Los protocolos de redes orientadas a bits incluyen a Seriplex®, InterBus S, y AS-interface.

Redes orientadas a bytes (redes de dispositivos)

Este tipo de redes comunican bits de datos de E/S asociados con el estado de un dispositivo (sensor o actuador). Estos mensajes son generalmente de 10 bytes o de longitud mayor. La longitud incrementada del mensaje, comparada con un protocolo de red orientada a bits, permite la transferencia de varios bytes de datos y diagnóstico dentro de un mensaje simple.

Los protocolos orientados a bytes pueden entonces soportar un nivel mejorado de mensajes de estado y diagnóstico. Pueden soportar también una mayor cantidad de inteligencia localizada en el dispositivo de campo, de igual manera, pueden soportar calibración remota y escalamiento de datos. DeviceNet, Genius y Profibus-DP son protocolos populares de redes industriales orientadas a bytes.

Redes orientadas a mensajes (redes de función completa)

Estas redes se caracterizan por cadenas largas de datos. La sofisticación en el incremento de los mensajes permite el diagnóstico avanzado y la información del estado para poder ser comunicados entre dispositivos y controladores. Aún más, la longitud de los mensajes de variable provee una eficiente transferencia de bloques de memoria entre dispositivos de control. Este tipo de redes son raramente determinísticas debido a su longitud de mensajes de variable, sin embargo, proveen un eficiente medio de transferir información y son frecuentemente implementados en sistemas SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos). Estos sistemas proveen un enlace entre los controladores en el piso de la planta y los sistemas computarizados de gerencia para propósitos de recolección de datos en tiempo real. Redes industriales comunes de este tipo son Ethernet, Profibus-FMS, Foundation Fieldbus, y LonWorks.

BENEFICIOS DE UNA RED

Los sistemas con redes industriales proporcionan los siguientes beneficios sobre las arquitecturas de sistemas de control convencionales:

- Costo reducido del sistema
- Implementación más rápida
- Menor tiempo de parada
- Mayor flexibilidad del sistema
- Performance mejorada

Estos beneficios se derivan de combinar las siguientes características:

Cableado reducido

Una amplia variedad de dispositivos está disponible para una conexión directa a la red industrial. Localizando los módulos E/S más cerca de los actuales sensores y actuadores, serán necesarias longitudes de alambrado más cortas para cada dispositivo.

La concentración de la información de E/S en la red permite una drástica reducción en el cableado, lo que implica menos localizaciones de terminación intermedias donde puedan aparecer problemas potenciales.

Se pueden ahorrar costos reduciendo cableado, bloques terminales, conductos, cajas de empalmes, trabajo de instalación e inventario.

Mayor capacidad de adaptación

La tecnología de redes industriales permite una mayor adaptabilidad y facilidad en la actualización o reemplazo de componentes. Por ejemplo, es muy fácil desde el punto de vista de hardware, actualizar un dispositivo E/S sin necesidad de cambiar el alambrado de la red.

Previamente al uso de la red, cada dispositivo tenía requerimientos individuales de alambrado y actualizar un dispositivo individual significaba un uso adicional de alambrado.

La red industrial reduce la necesidad de alambrado para un dispositivo o una aplicación específica. Actualizar los dispositivos compatibles de la red requiere que el controlador puede reconocer las especificaciones del dispositivo actualizado y en muchos casos esta función puede ser llevada a cabo automáticamente.

Mejoramiento del diagnóstico

El registro de los errores o mensajes tan pronto como es ha producido la falla en un dispositivo o punto E/S puede reducir considerablemente el

tiempo de parada. La red inteligente y las herramientas de diagnóstico permiten que un dispositivo pueda ser removido del sistema automáticamente y de esa manera el sistema puede ser frecuentemente mantenido operativo hasta que se pueda localizar y corregir la falla.

Menor degradación de la señal

Al convertir las señales análogas a su forma digital más cercana al punto de medición, la red industrial puede reducir la degradación de este tipo de señales. Con arquitecturas locales, un cableado extenso puede exponer las señales E/S a altos niveles de interferencia. Cuando se implementa una tecnología de red, el convertidor análogo/digital es puesto más cerca al punto de medición y los datos son transmitidos a través de la red en formato digital.

Las redes industriales permiten la detección y corrección de errores y de esa manera la transferencia que se produce por el cableado de la red no necesariamente afectará la lectura de una señal análoga.

Más amplia selección de proveedores

Debido al uso de las redes industriales los sistemas son generalmente abiertos y no restringidos a un único proveedor. Muchos proveedores diseñan y fabrican dispositivos para ser compatibles e intercambiables. Alternar proveedores de dispositivos crea una mayor competencia y últimamente está conduciendo al desarrollo de una alta calidad y productos con costos efectivos.

Descarga del proceso

La inteligencia del control distribuido permite a la red eliminar algunas tareas del controlador(es) a controladores de campo más receptivos.

Los datos provenientes de características especializadas del control local, como control de lazo cerrado o control de servo-movimiento, no necesitan ser explícitamente conocidas por otros dispositivos sino que pueden ser procesadas localmente y no transmitidas en la red, lo que produce una respuesta más rápida. Transmitiendo únicamente datos seleccionados la capacidad de la red puede ser reservada para otras tareas permitiendo de esta manera que el sistema en su totalidad sea más receptivo. Además la inteligencia distribuida reduce la complejidad del controlador principal y permite menores tiempos de ejecución.

CARACTERÍSTICAS DE UNA RED

Las diferentes características de una red industrial pueden ser descritas por las siguientes categorías:

- Método de Acceso a la Red
- Estructura de Comunicación
- Medio de transmisión
- Topología y Capacidad a Distancia
- Redundancia del Sistema
- Energía de la Red
- Velocidad de Transmisión y Tiempo de Respuesta
- Herramientas de Diagnóstico
- Máximo Número de Nodos y Puntos E/S
- Costo del Sistema

Método de acceso a la red

Es el proceso utilizado para determinar a cuál dispositivo le está permitido transmitir información en el medio. Para evitar interferencia, sólo un dispositivo de red puede usar el medio de transmisión en un determinado instante. Aunque raramente tiene que ver con el ingeniero de control, un sólido conocimiento del Método de Acceso a la Red es beneficioso. Hay tres métodos populares usados por las redes industriales: Señal Pasante (Token Passing), Sondeo (Polling) y Detección de colisión (Collision Detection).

• Señal Pasante (Token Passing)

En este método una señal o mensaje especial es transmitido e través de la red y cada dispositivo tiene una cantidad determinada de tiempo para recibirlo y/o responderlo. La señal es utilizada para conceder al dispositivo que lo recibe la autorización para transmitir información en la red. La señal es rotada a través de todos los elementos de la red. Si un elemento recibe la señal se le permite originar un mensaje. Si un elemento no acepta la señal, es forzado a escuchar al medio de la red y recibir mensajes sin interferencia.

Usualmente la señal es retenida por un breve lapso de tiempo y una vez que es recibida por un dispositivo, éste transmite un mensaje que permite que la señal pase al siguiente dispositivo. Si el máximo tiempo disponible se acaba el dispositivo detiene la transmisión, pasa la señal, y espera su siguiente turno para continuar el mensaje. Desde que la señal es rotada secuencialmente puede ser pasada a un dispositivo cuando éste no tenga un mensaje que transmitir. Si el dispositivo no desea producir un mensaje la señal es simplemente transmitida al siguiente dispositivo.

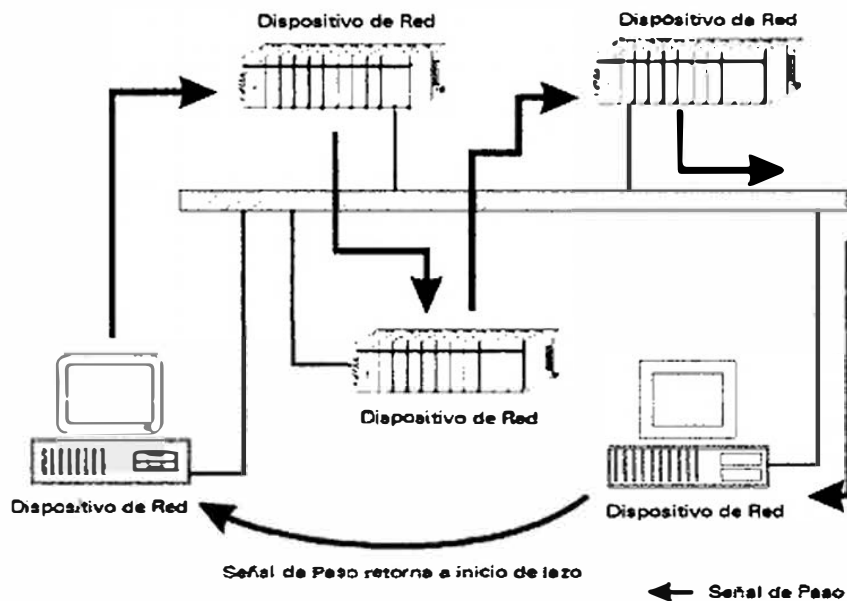


Figura 38. Método de Acceso Señal Pasante

- **Sondeo (Polling)**

Es un método en donde cada dispositivo es sondeado o cuestionado secuencialmente para saber si tiene datos que transmitir y es más comúnmente implementado en estructuras de comunicación esclavo/maestro. El sondeo permite a un simple dispositivo controlar el acceso a la red. El dispositivo de control puede tanto solicitar información de dispositivos individuales o dar instrucciones a aquellos dispositivos.

Cada dispositivo esclavo está permitido para intercambiar información con el controlador de turno. A los dispositivos esclavos no se les permite transmitir información en la red a menos que se le solicite por parte del controlador.

- **Detección de Colisión (Collision Detection)**

En general este método es referido como CSMA-NBA. El acrónimo CSMA significa Carrier Sense Múltiple Acces. Carrier Sense hace referencia al acto de probar la red para la presencia de una señal portadora de radio frecuencia y Múltiple Access simplemente indica que más de un dispositivo puede acceder o utilizar la red. Aunque no todas las redes usan una señal portadora modulada, los principios del CSMA son todavía relevantes y este acrónimo se utiliza comúnmente. Además el CSMA implica que todos los dispositivos en la red tienen la capacidad de probar el medio de la red para verificar si está siendo usada, aunque no necesariamente verifican la presencia de una señal portadora. Cuando un dispositivo tiene un mensaje que desea transmitir, primero prueba la red para poder usarla y si la red no está siendo utilizada empieza a transmitir el mensaje. Si la red está siendo usada el dispositivo simplemente espera y vuelve a probar la red después de un tiempo.

NBA significa Non-destructive Bit-wise Arbitration. Si dos dispositivos simultáneamente prueban la red cuando está libre ninguno indicará que la red está ocupada. Entonces ambos empiezan a transmitir sus mensajes. Los mensajes eventualmente interferirán y se destruirán uno con otro. NBA es el proceso que fuerza a uno de los dispositivos a detener la transmisión antes de que los mensajes sean dañados. La Bit-Wise Arbitration determina cual de los dispositivos debe parar la transmisión basándose en las Identificaciones del Controlador de Acceso al Medio o MAC Ids de los dispositivos.

Criterio de selección

Una característica que generalmente se hace altamente deseable en una gran cantidad de sistemas de control es el hecho de que tenga un comportamiento determinístico. Los métodos de acceso a la red de Señal Pasante y de Sondeo permiten conseguir tiempos de scaneo determinísticos, predecibles y repetibles. El método de Detección de Selección (CSMA-NBA) no es igualmente determinístico debido a que los elementos individuales pueden simultáneamente intentar transmitir información y a la vez ser forzadas a detener la transmisión. El arbitraje CSMA-NBA es usado más efectivamente cuando son dispositivos de diferente prioridad los que son configurados. Esto puede permitir una respuesta más rápida en aquellos dispositivos que lo requieren.

Estructura de comunicación

La estructura de comunicación usada por una red determina cómo cada dispositivo o controlador se comunica con otros elementos en la red. Algunas estructuras son jerárquicas mientras que otras se comunican como iguales. Las estructuras jerárquicas confieren una mayor autoridad a un dispositivo o grupo de dispositivos. Las estructuras de comunicación más populares son: Maestro/Esclavo, Multi-Maestro y Peer to Peer.

- **Maestro/Esclavo**

Esta estructura de comunicación concede especial autoridad a uno de los dispositivos en la red. El dispositivo maestro tiene la capacidad de solicitar información de dispositivos individuales (esclavos) y los dispositivos esclavos son utilizados para cubrir dichos requerimientos.

De manera similar, si el maestro ordena que un esclavo realice una acción el esclavo debe seguir las instrucciones que se le den. Los esclavos solamente pueden responder los requerimientos del maestro y no pueden iniciar una comunicación. La acción por la que se requiere secuencialmente información o es instruido cada esclavo es denominada "sondeo".

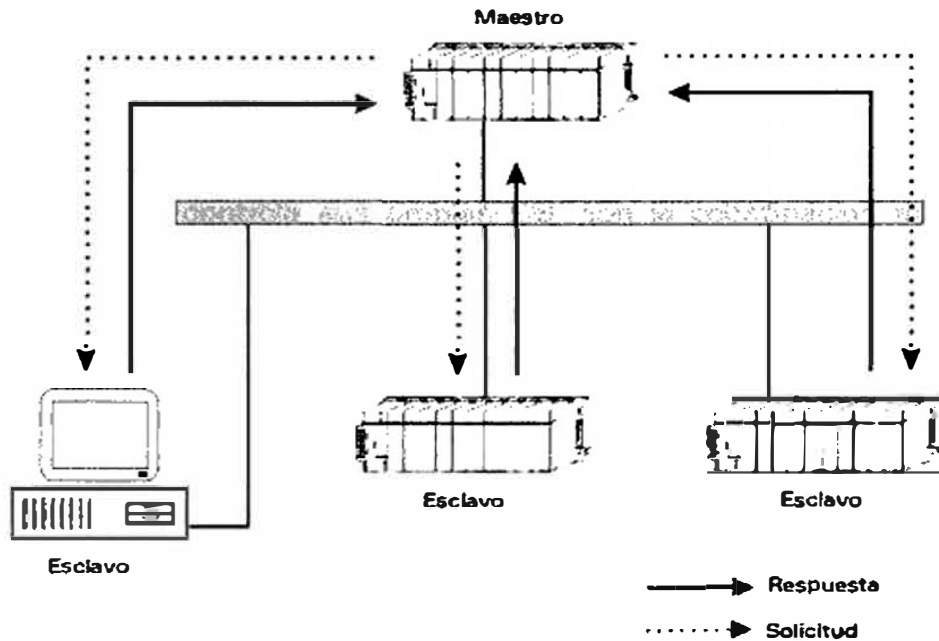
La estructura maestro/esclavo es similar al estilo de comunicación utilizado en un salón de clase entre un maestro y los estudiantes. El profesor (maestro) puede hacer una pregunta o dar instrucciones a un estudiante específico (esclavo). El estudiante es entonces requerido para responder u obedecer la orden del profesor. Un ejemplo en la industria podría encontrarse en el control de un sistema de largos transportadores. En este caso un controlador servidor (maestro) coordina las acciones de múltiples dispositivos (esclavos) localizados en el sistema de transportadores y conectados por medio de la red.

Algunos protocolos maestro/esclavo sólo permiten transmitir mensajes que son dirigidos a un esclavo en particular. Cada mensaje entonces tiene un productor (el que origina el mensaje) y un consumidor (el receptor del mensaje). Tales protocolos son aceptables en la mayoría de las situaciones donde el nivel de tráfico en la red no es preocupante.

Sin embargo, es común tener varios consumidores de un mensaje simple. Difundiendo el mensaje a múltiples esclavos simultáneamente, el productor no necesita repetir el mensaje múltiples veces. La difusión del

mensaje mejora el rendimiento de la red. Los protocolos maestro/esclavo que permiten la difusión de diferentes estilos de mensaje puede denominarse "multicasting". Este tipo de mensajes es común en sistemas donde se requiere información similar de varios dispositivos de la red simultáneamente. Los mensajes emitidos son frecuentemente utilizados para comunicar errores en el sistema o requerir datos de entrada de varios dispositivos.

Las estructuras puras maestro/esclavo no son aplicables a sistemas de control distribuido desde que un sólo controlador debe permanecer en control de la red en todo momento.



(Nótese que los esclavos no se comunican entre si sino que toda comunicación pasa previamente por el maestro)

Figura 39. Estructura de Comunicación Maestro-Esclavo

Criterio de selección

Este tipo de estructuras es más fácil de implementar, son ideales para aplicaciones que usan control centralizado con E/S distribuidas desde que permite que un simple controlador administre la red. El maestro es libre para requerir información o dar instrucciones como desee. Esta estructura permite la distribución de módulos E/S y de dispositivos sin complicar demasiado el sistema de control.

Los protocolos maestro/esclavo proveen los beneficios de red sin necesidad de una excesiva configuración o programación.

• **Multi-Maestro**

Una variación de la estructura de comunicación maestro/esclavo permite que más de un dispositivo maestro acceda a la red. Los maestros usan la red para controlar sus dispositivos esclavos individuales y para compartir recursos pero no se involucran con ninguno de los dispositivos presentes. Cada maestro es designado para controlar dispositivos específicos. Aunque los maestros típicamente reciben información de todos los esclavos, éstos son requeridos para responder solamente a las órdenes de su propio maestro.

La comunicación multi-maestro permite dividir el control lógico de un sistema entre varios controladores. Esta división de la lógica de control es la base del control distribuido. La lógica de control es frecuentemente implementada de manera más simple y eficiente fraccionándola en segmentos, cada uno de los cuales es controlado por su propio procesador. En un sistema de control distribuido, cada procesador frecuentemente controla sus propias E/S, con la coordinación total del sistema llevada a cabo por otro procesador. Reduciendo la cantidad de lógica implementada por cada controlador la performance del sistema es mejorada.

El acceso a la red es con frecuencia concedida a cada uno de los maestros individuales a través de arbitraje de Señal Pasante. Cada maestro sondea sus esclavos individuales una vez que tiene el control de la red. Cuando un ciclo de sondeo es completado la señal es pasada al siguiente maestro.

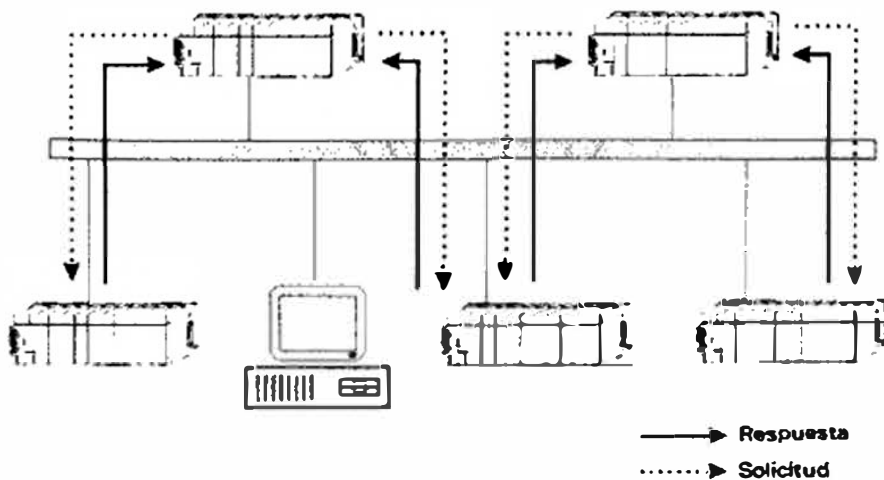


Figura 40. Estructura de Comunicación Multi-Maestro

Criterio de selección

La estructura de comunicación multi-maestro es más común cuando los sistemas contienen dos o más procesos que son separados claramente aunque periódicamente se necesite que compartan recursos o información. Desde que un maestro puede solamente comunicarse con sus propios dispositivos esclavos, cada proceso debe ser independiente. El estado y los parámetros del sistema pueden ser comunicados entre maestros, pero los dispositivos E/S no pueden ser compartidos.

La línea de procesos de ensamblaje típicamente implementa la estructura de comunicación multi-maestro siempre y cuando se pueda hacer una clara separación entre celdas de trabajo. Este tipo de redes puede también ser usada para separar dispositivos E/S con diferentes velocidades de actualización o funciones de control.

- **Peer to Peer**

Esta estructura de comunicación no concede el control a un solo dispositivo sino que comparte la red a través de arbitraje. Las redes peer to peer no tienen ni maestros ni esclavos. Todos los dispositivos en la red son responsables del control de la red y de los tiempos. Los dispositivos "peer" son típicamente de un similar nivel de inteligencia y se les permite producir mensajes y consumir los de otros. El acceso a la red es comúnmente llevado a cabo con Señal Pasante.

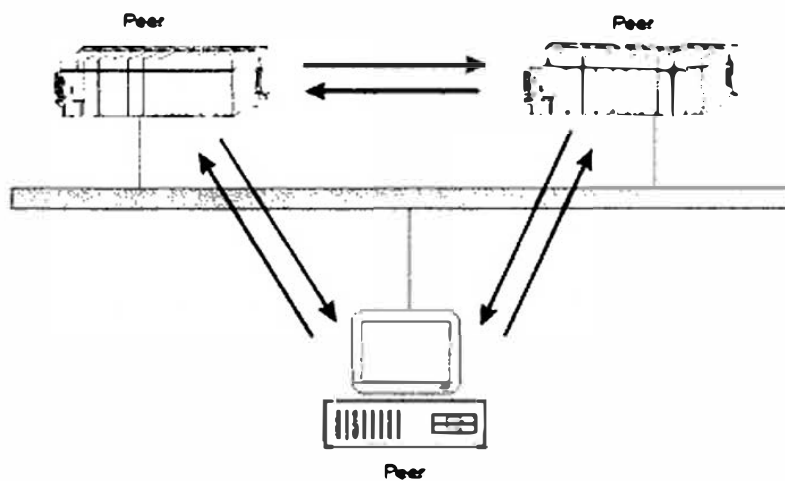


Figura 41. Estructura de Comunicación Peer to Peer

La estructura de comunicación peer to peer ofrece la mayor flexibilidad en términos tanto de acceso a la red como de control del sistema. La

flexibilidad de esta estructura se deriva del hecho que no se necesitan declarar ni maestros ni esclavos. Todos los dispositivos en la red pueden ganar acceso al medio. La comunicación entre dispositivos no es restringida.

Criterio de selección

La diferencia más significativa entre las estructuras peer to peer y multi-maestro es la capacidad de compartir dispositivos E/S. Las distintas áreas de control que se requieren para aplicaciones multi-maestro no son requeridas para los sistemas peer to peer. Las aplicaciones de control distribuido, las cuales no se pueden separar en distintas funciones, requieren estructuras de comunicación peer to peer. Los dispositivos inteligentes pueden usar estructuras de este tipo para mejorar la rapidez o las acciones receptivas para eventos de tiempo críticos. Los dispositivos pueden ser configurados para comunicarse directamente con algún otro. Ejemplos de estructuras peer to peer incluyen los molinos de pulpa y papel, el procesamiento de metales, las industrias petroquímicas y otros procesos de flujo continuo.

Medio de transmisión

Es el medio por el cual los dispositivos de la red son conectados. Hay dos aspectos básicos sobre los medios de transmisión: el medio mismo y el señalamiento eléctrico usado en el medio. Los medios de transmisión más populares son:

- o Cableado de cobre
- o Cables de fibra óptica
- o Comunicación por frecuencia aérea de radio abierta

Criterio de selección

La selección del medio de transmisión debería basarse en su inmunidad a la interferencia electromagnética, la capacidad de longitud, sistemas conectores, energía de transmisión y costo. El énfasis puesto en cada uno de esos parámetros variará dependiendo del ambiente y de la aplicación que está siendo considerada.

• **Cableado basado en cobre**

El alambrado de cobre es el más popular y además el menos costoso. El par trenzado y el cable coaxial son los tipos de medio más comunes. El

primero consiste esencialmente de dos alambres cada uno de los cuales se encuentra trenzado en el otro. Los pares trenzados aumentan su rechazo al ruido e interferencia. Este tipo de cableado es disponible con pares múltiples de alambres conductores. Es relativamente barato con respecto al cable coaxial y otros medios y también fácil de instalar desde que no son necesarios conectores especiales. Sin embargo carece de la inmunidad al ruido de otros medios lo que puede permitir interferencia destructiva entre cables adyacentes si se encuentran cercanamente espaciados y paralelos en largas longitudes. Pares trenzados pueden estar descubiertos o protegidos dependiendo del ambiente de ruido eléctrico en el cual el sistema esté desempeñándose.

Los cables protegidos de este medio, también llamados dobleaxiales, usan protección de cobre para resistir la interferencia de fuentes externas y ofrece la ventaja de una alta inmunidad al ruido y capacidad a más largas distancias.

El cable coaxial consta de un alambre rodeado por una protección con una fuerte impedancia especificada y ofrece una mejor inmunidad al ruido comparada con la de los pares trenzados. Sistemas conectores (hardware para unir los dispositivos y medio físico) son comúnmente requeridos con el cable coaxial para funciones tales como ramificaciones o terminaciones pero son perfectamente disponibles con costo moderado.

Los medios de transmisión basados en cobre están entre los medios más comúnmente usados en los sistemas de redes industriales y proveen una solución de bajo costo para muchas aplicaciones. Los medios de cobre proveen ventajas de costo, sistemas de conexión simples, y la capacidad de transmitir energía de operación a dispositivos remotos.

- **Sistemas de fibra óptica**

Para ambientes en los cuales el ruido electromagnético es intenso e inevitable o donde las longitudes de cable son considerables una red industrial de fibra óptica puede ser lo más conveniente. Una fibra óptica es un medio de transmisión de la luz que consiste básicamente en dos cilindros coaxiales de vidrios transparentes y de diámetros muy pequeños. El cilindro interior se denomina núcleo y el exterior se denomina envoltura, siendo el índice de refracción del núcleo algo mayor que el de la envoltura.

En la superficie de separación entre el núcleo y la envoltura se produce el fenómeno de reflexión total de la luz, al pasar ésta de un medio a otro que tiene un índice de refracción más pequeño. Como consecuencia de esta estructura óptica todos los rayos de luz que se reflejan totalmente en dicha superficie se transmiten guiados a lo largo del núcleo de la fibra.

La interferencia electromagnética tiene muy poco o ningún efecto sobre la transmisión óptica. Los medios de fibra óptica son preferibles en aplicaciones donde el medio de la red es expuesto a altos niveles de interferencia tales como soldadoras, hornos de inducción, etc. Una de sus desventajas es, sin embargo, el que requiera una costosa instalación especializada.

Tabla 4
Criterio de selección de medios basados en cobre

	<u>Paras trenzados</u>	<u>Dobleaxiales</u>	<u>Coaxiales</u>
Distancia	Velocidad a corta distancia	Velocidad a distancia moderada	Velocidad a larga distancia
Inmunidad al ruido	Baja	Alta	Alta
Costo del medio	Bajo	Medio	Medio
Instalación	Flexible, fácil	Flexible, fácil	Menos flexible, requiere sistemas de conexión especial

• **Sistemas de Radio Frecuencia y MODEM**

Aunque menos común en las aplicaciones de redes industriales, las comunicaciones por radio frecuencia (RF) y módem son soportadas por varios protocolos. Este medio es reservado para distancias extremas de varios kilómetros que separan a los dispositivos o para aplicaciones móviles las cuales hacen imposible el uso de cableado. Se usan generalmente en aplicaciones especializadas debido a su alto costo y complejidad. Las capacidades de longitud de cada medio varían de acuerdo al tipo, al fabricante y el señalamiento utilizados. Los sistemas de fibra óptica típicamente ofrecen las mayores capacidades de longitud. Los sistemas de fibra óptica también son preferidos cuando las redes deben funcionar desde un edificio a otro, para evitar oscilaciones momentáneas de fallas de luz que pueden causar daños permanentes en

el equipo de comunicación. Sin embargo, el medio de transmisión de fibra óptica es relativamente costoso comparado con el medio de cobre.

El cableado de fibra óptica es raramente usado en sistemas que no requieren largas longitudes y/o inmunidad al ruido debido a su alto costo y los sistemas conectores especializados. Los sistemas ópticos no pueden transmitir energía a dispositivos remotos. La imposibilidad que tiene la fibra óptica de transmitir energía hace que no sea considerada en redes que precisan de esta característica.

Las condiciones ambientales tales como excesiva humedad, extrema temperatura, o un alto nivel de vibración pueden no afectar desfavorablemente al medio de transmisión en sí, pero pueden afectar a su sistema conector. Los puntos de conexión son frecuentemente considerados el área débil del medio por lo que utilizando un sistema conector apropiado al ambiente se puede evitar problemas innecesarios y tiempo de parada.

Cuando se comparan los medios de transmisión es importante tener en cuenta los sistemas de conexión equivalentes, los cuales están disponibles para ambientes con alta humedad, temperaturas elevadas o una alta vibración y pueden drásticamente afectar tanto el precio como el desempeño de un sistema.

Tabla 5
Criterios de selección entre fibra óptica y RF/Módem

	<u>Fibra óptica</u>	<u>RF/Módem</u>
Distancia	Las más largas	Las más largas
Inmunidad al ruido	La más alta	La más baja
Costo del medio	Alto	Alto
Instalación	La menos flexible, sistemas de conexión especiales, preparación de la fibra	Flexible

- **Señalamiento eléctrico**

El método de señalamiento más popular utilizado en los medios de cobre es el cifrado de onda cuadrada digital. Las ondas cuadradas digitales no son sinusoidales como la corriente standard AC, sino que tienen forma rectangular. Las ondas cuadradas de voltaje pueden ser unipolares o de

cifrado diferencial. Las ondas cuadradas unipolares son generadas del voltaje relativo al potencial de tierra en una dirección de polaridad. El potencial de tierra fija un nivel de referencia y las excursiones de voltaje son hechas tanto en la dirección positiva como negativa para cifrar la información digital. Las ondas cuadradas diferenciales no están necesariamente referidas al potencial de tierra sino que de preferencia son medidas como la diferencia de voltaje entre dos señales. Típicamente el potencial del alambre de cada señal varía en dirección de polaridad opuesta a la forma de la señal diferencial total. Las señales de frecuencia variante son transmitidas al medio e interpretadas por un receptor como información binaria.

Topología y capacidad a distancia

La topología de una red describe la forma de la red o como los dispositivos son individualmente conectados a la red. Las topologías de red más populares incluyen bus, estrella y anillo.

Una topología de bus describe un sistema donde todos los dispositivos son conectados en paralelo a un cable central llamado bus o cable vía de escala. Los dispositivos son capaces de recibir una señal transmitida algún otro dispositivo conectado a la red.

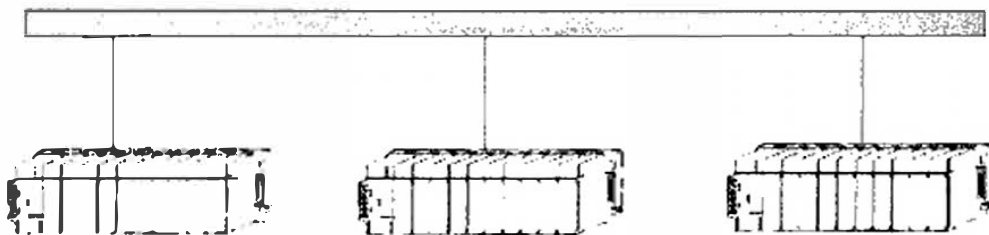


Figura 42. Topología bus

La topología de estrella es aquella en la cual el sistema consta de un conjunto de dispositivos que se encuentran conectados a un foco central que está capacitado para transmitir mensajes. El dispositivo central es el punto de conexión más importante puesto que todos los dispositivos se abren en abanico desde este punto, es decir todos los dispositivos se encuentran conectados a este dispositivo central y de esa manera no se hace necesario compartir los medios de unión de la red.

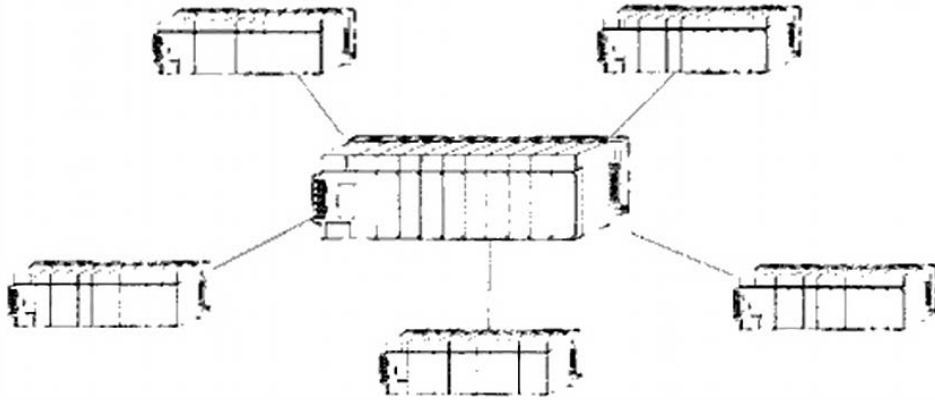


Figura 43. Topología estrella

La topología de anillo describe sistemas en forma de lazo cerrado. Cada dispositivo en la red está directamente conectado a otros dos dispositivos, uno a cada lado.

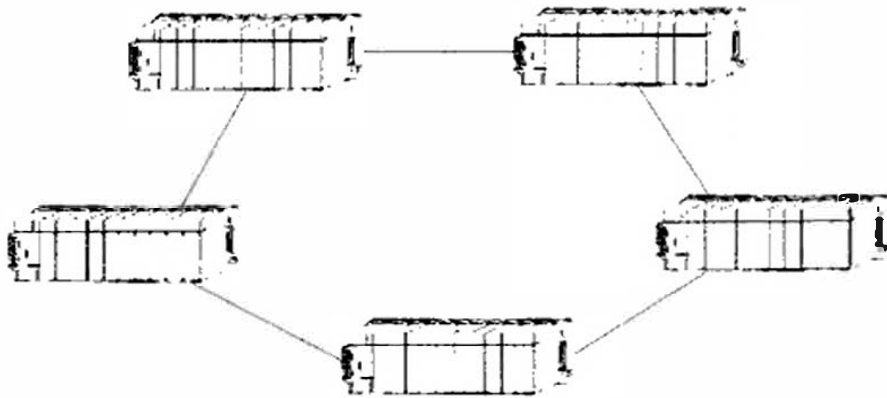


Figura 44. Topología anillo

Muchas redes pueden soportar una variedad, y hasta combinaciones, de topologías a través de opciones de ramificación. Las opciones de ramificación y la longitud caída son frecuentemente restringidas en su totalidad y esas restricciones no deberían ser tomadas en cuenta al momento del bosquejo.

Desde una perspectiva de red, las distancias están basadas en la longitud del cableado entre los dispositivos y no en la distancia física que los separa. La disposición del cableado tiene un obvio efecto en la longitud total del cable. Si existiesen barreras que aumenten los requerimientos de cableado, éstas deben ser consideradas.

Todas las redes limitan tanto la máxima longitud individual de segmento y la longitud total del medio de la red. Ambos criterios deberían ser considerados para asegurar que la red se desempeñe eficientemente.

Criterio de selección

La topología ideal requerida para una aplicación es determinada en parte por el bosquejo físico del sistema de control. Consideraciones prácticas tales como la disposición del cableado y la separación entre dispositivos deben ser investigadas antes de seleccionar una topología. Las topologías de bus y estrella son las más populares debido a que no requieren arquitectura de lazo cerrado. La topología de estrella típicamente involucra un costo de instalación ligeramente más alto que una topología lineal de bus debido al costo de un foco central y una mayor longitud del medio. Sin embargo, la topología de estrella permite la adición y la remoción de nodos sin paralizar la red. Las capacidades de ramificación son convenientes debido a que proveen al diseñador de un alto grado de flexibilidad.

Redundancia del sistema

En ciertas aplicaciones el proceso es tan crítico que una simple falla puede no ser tolerable. Generalmente, los diseñadores construyen redundancia en el sistema para el CPU, despreciando las E/S. Si el estado de cierta salida es vital para la seguridad o la operación del proceso, la redundancia para la E/S particular debe ser incluida en el diseño. Sin tener en cuenta si el CPU está funcionando correctamente o no, debe verificarse también el funcionamiento de los dispositivos E/S que sensan entradas o emiten salidas, pues una falla en cualquiera de estas puede ser tan importante como una falla en el CPU.

La redundancia total del sistema incorpora sistemas de duplicidad de hardware que operan en paralelo uno con otro. En caso de falla en el hardware o cortes de cable, la funcionalidad total del sistema debe ser mantenida por el sistema redundante. El cableado de una red redundante, cuando está dirigido por una ruta distinta junto con un controlador duplicado, provee una medida extra de protección. La redundancia puede proteger a la gente, al equipo, a la planta y al ambiente. Puede también ayudar a evitar costosos tiempos de parada.

Criterio de selección

En aquellas aplicaciones en donde las consecuencias de las fallas pueden ser severas, la red deseada debe incluir redundancia y mecanismo de

seguridad ante fallas. Algunos protocolos de red proporcionan la capacidad de conectar recursos redundantes en caso de falla. Los recursos redundantes pueden incluir duplicidad en el cableado de red, sistemas de duplicidad de hardware, o ambos. Una topología de anillo auto-regulable es frecuentemente deseable en sistemas que requieren algún nivel de redundancia en las comunicaciones. El anillo consiste de centros inteligentes que pueden direccionar las comunicaciones en cualquier dirección alrededor del anillo. Si un centro o una conexión falla, los centros remanentes redireccionarán las comunicaciones en otra dirección.

La redundancia del hardware no es fácilmente soportada por todas las redes y debería ser vista como una importante característica cuando se están controlando procesos críticos.

Energía de la red

La energía de red es definida como la electricidad que pasa a través del cableado de la red, no para mensajes, sino para energizar dispositivos. Algunos dispositivos pueden ser energizados únicamente a través del cableado de la red, el cual puede eliminar la necesidad de separar las fuentes de energía para cada ubicación de un dispositivo. Comprendiendo el esquema del sistema y los requerimientos de energía para los dispositivos se pueden implementar y manejar apropiadamente las fuentes de energía de la red. Cuando se utiliza apropiadamente, la energía de la red puede ofrecer sistemas con un alto nivel de conveniencia cuando las fuentes de energía se encuentran separadas y localizadas lejos de los dispositivos. La fibra óptica puede no transmitir energía y por consiguiente no ser utilizada en sistemas que incorporan energía a la red.

Criterio de selección

La energía de la red ofrece mayores ventajas cuando las fuentes de energía no están localizadas cerca de los dispositivos. Un sistema con E/S ampliamente distribuidas, tal como un sistema de transporte, puede aprovechar un conveniente sistema de energía en la red.

Velocidad de transmisión y tiempo de respuesta

Las especificaciones de velocidad de transmisión y tiempo de respuesta son comúnmente parámetros malinterpretados. Para poder hacer una

comparación imparcial de esos parámetros se requiere de un análisis más cercano.

La velocidad de transmisión es la cantidad de datos que pueden ser transmitidos en un determinado período de tiempo. Se expresa como un flujo de bits.

El tiempo de respuesta es generalmente definido como el período de tiempo entre la generación de una señal externa al control y el tiempo que una salida es generada por el control para causar una acción en el proceso. El control del tiempo de respuesta incluye el tiempo de filtración de la señal de entrada, el tiempo de scan para llevar la señal al CPU, el tiempo utilizado por el procesador para actuar sobre la entrada, el tiempo para enviar la señal al dispositivo de salida y el tiempo para que el dispositivo de salida pueda generar la señal de salida. Por ejemplo, éste vendría a ser el retraso entre el presionar un botón y su acción resultante. Los retrasos en el sensor y el actuador aumentan el tiempo de respuesta pero no forman parte del control mismo. Los sistemas de control que incluyen redes típicamente tienen tiempos de respuesta mayores debido a que los datos deben ser transmitidos a través de la red contra un más rápido bus de backplane paralelo. El tiempo de respuesta de un sistema en red depende del número de dispositivos en la red, la cantidad de datos que es transmitida por cada dispositivo, la velocidad de transmisión de datos y la velocidad del procesador de control.

Una red usada primariamente para un control discreto con un limitado conjunto de características de diagnóstico puede no necesitar una alta velocidad de transmisión pero puede en cambio requerir un más rápido tiempo de respuesta. El tiempo de respuesta de un sistema no está basado solamente en la velocidad de transmisión sino que son varios otros factores los que deben ser considerados para su estimación.

Un más amplio sistema de control con E/S análogas y una mayor sofisticación en el control puede requerir una mayor velocidad de transmisión (ancho de banda) para una operación apropiada, sin embargo, las comparaciones deberían ser hechas solamente cuando cada red opera de igual manera y a las mismas condiciones.

Mientras más largo sea el medio de transmisión y mayor sea el número de dispositivos unidos al medio, menor será la velocidad máxima de transmisión permisible. Debe notarse que las especificaciones del protocolo

hablan de velocidad de transferencia de bits y no especifican la velocidad de transferencia de datos del usuario de la red.

Todos los protocolos transmiten información extra para funciones tales como controles de tiempo, direccionamiento, y corrección de errores y a la cual comúnmente se le llama transmisión superior. Desde que la transmisión superior no es de datos del usuario, la velocidad de transmisión de estos datos de usuario es menor que la velocidad de transmisión total.

Las diferencias en los protocolos conducen a diferentes niveles de transmisión superior y en consecuencia diferentes velocidades de transmisión de datos de usuario para una misma velocidad total de transmisión. Por ejemplo, un protocolo maestro-esclavo podría requerir varios mensajes cada uno con transmisión superior, direccionamiento, etc. para reunir información de múltiples dispositivos y actuar salidas múltiples. Una red peer-to-peer podría ser configurada para usar menos mensajes y así responder más rápidamente, requiriendo una menor velocidad total de transmisión para llevar a cabo el mismo nivel de funcionalidad.

La latencia del microprocesador es el tiempo requerido para que un controlador interprete y actúe sobre la información presentada en la red. La latencia puede producir momentos de inactividad cuando la red no está siendo totalmente utilizada. Los procesadores de diferentes variedades y velocidades de registro no necesariamente responden de forma igualmente buena a situaciones en la red, de ese modo se pueden crear varios períodos de inactividad y retrasos en la respuesta del control.

Mientras más mensajes requiera un sistema, más grande será el efecto que la latencia del microprocesador tiene sobre el sistema. En general, son menos los mensajes requeridos en las redes multi-maestro y peer-to-peer y de esa manera son menos susceptibles a la latencia del microprocesador.

Cuando se comparan velocidades de transferencia deben tomarse en consideración las diferencias en el uso de transmisión superior y la latencia del procesador. Otros factores tales como la longitud del medio, el número de dispositivos y la estructura de la comunicación, afectan la verdadera velocidad de transferencia de datos y el tiempo de respuesta.

Los valores de velocidad de transferencia y tiempo de respuesta, cuando son indicados como simples números sin aclaración, pueden ser muy engañosos. La verdadera velocidad de transmisión y tiempo de respuesta

varían ampliamente de los valores especificados dependiendo de la aplicación de la red y el ambiente.

Criterio de selección

Comúnmente se cree que es mejor una mayor rapidez. Aunque esto puede ser cierto en muchas situaciones, el costo asociado con una velocidad más alta no es conveniente en todas las aplicaciones. Los parámetros velocidad de transmisión y tiempo de respuesta varían dependiendo de la estructura de comunicación, la topología, el medio y su longitud, entre otros factores.

Herramientas de diagnóstico

Las herramientas de diagnóstico y funcionalidad son importantes aspectos que se deben considerar pues ellos pueden reducir tanto el costo de instalación como el de mantenimiento. La información de diagnóstico permite que los dispositivos de la red puedan comunicar sus estados y puede ser emitida por un controlador o reportada al controlador automáticamente cuando ocurre una falla. Protocolos de red más sofisticados comúnmente ofrecen herramientas de diagnóstico más sofisticadas. Los mensajes de diagnóstico pueden reportar información del estado de:

- Un punto simple E/S (ejm., un circuito abierto o un cortocircuito)
- Un módulo E/S (ejm., altas temperaturas, bajos voltajes, pérdida de señal o respuesta cuando es emitida)
- El medio de transmisión (ejm., alta velocidad de bits de error, colisión de datos)

Criterio de selección

Las herramientas de diagnóstico que son soportadas por cada red no son equivalentes. Hasta con un protocolo en particular los diferentes conjuntos de herramientas de diagnóstico serán disponibles dependiendo de la estructura de comunicación implementada. Las aplicaciones también varían en sus necesidades de características de diagnóstico. Las aplicaciones que son propensas a fallas en los dispositivos debido a condiciones ambientales o condiciones de uso difíciles pueden requerir incorporar sistemas de diagnóstico más avanzados para reducir el tiempo requerido para problemas de reparación. Los sistemas de diagnóstico son también más productivos cuando los períodos de paralización conducen a un alto costo.

El costo de implementar un cuidadoso sistema de diagnóstico puede ser rápidamente recuperado reduciendo los tiempos de paralización.

Número máximo de nodos y de puntos E/S por nodo

Un nodo es un dispositivo direccionable en una red. Hay un límite en el número de nodos permitidos en el medio de la red para asegurar que la velocidad de transmisión y los niveles de señal sean mantenidos. También se incluye en cada protocolo especificaciones acerca del número máximo de puntos E/S discretos o análogos por nodo. El número máximo de puntos E/S por nodo es determinado por la máxima longitud de mensaje permitida para ser transmitida a un nodo o desde un nodo.

Costos del sistema

Los factores que contribuyen al costo total del sistema incluyen:

- Componentes de hardware
 - Controladores
 - Interfases de red
 - Módulos E/S
 - Dispositivos de campo (con o sin opciones de conectividad a la red)
- Medio de transmisión
 - Cableado
 - Sistemas de conexión
- Características soportadas (software para funciones de control y diagnóstico)
- Costos de servicio
 - Instalación de hardware
 - Desarrollo de software
- Costos de mantenimiento

Los costos individuales de los items listados arriba varían ampliamente dependiendo de la red seleccionada, la topología, el medio de transmisión, la redundancia, los proveedores, el integrador de sistemas y el ambiente de instalación. Para calcular el costo imparcial de un "sistema" todos los items deberían ser individualmente totalizados y sumados.

Capítulo VII

Automatización del Laboratorio de Ingeniería Química

ANÁLISIS PREVIO

El procedimiento a seguir para automatizar el Laboratorio de Ingeniería Química implica una serie de pasos o etapas que resumimos a continuación:

- Determinación del sistema de control más adecuado;
- Definición de la arquitectura del sistema;
- Instrumentación requerida;
- Configuración requerida;
- Desarrollo de los programas de control para los PLC; y
- Desarrollo de la aplicación de supervisión en un sistema SCADA

En cuanto a las dos primeras etapas o fases del proceso, el análisis y estudio desarrollado en los anteriores capítulos nos han permitido establecer cuál debe ser el sistema de control y arquitectura más adecuados para automatizar las unidades del laboratorio. Según este análisis un sistema de control distribuido es el más adecuado, razón por la cual los diferentes instrumentos de campo serán conectados a más de un PLC para, de esa manera, trabajar con más de una unidad de procesamiento y aumentar la robustez del sistema.

En cuanto a la arquitectura, los dispositivos han sido conectados a través de una topología tipo estrella con una estructura de comunicación peer to peer, aunque también se utilizó la estructura maestro-esclavo.

De esta manera es posible establecer un diagrama de flujo para el proceso en el que se mostrará la disposición de los controladores y dispositivos de campo tal como se encontrarán en la red a implementar.

VISUALIZACION DEL PROCESO

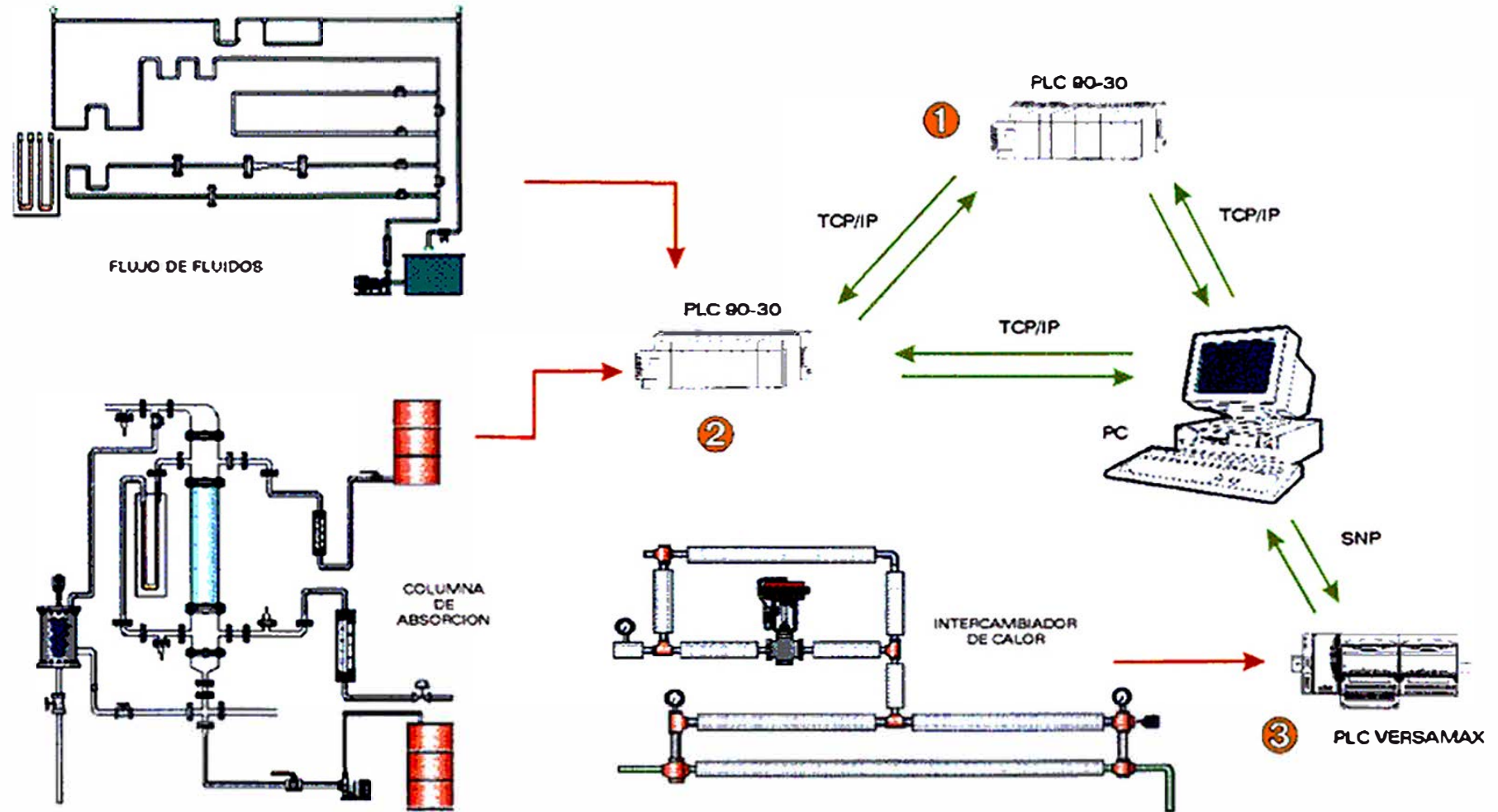


Figura 45. Diagrama de flujo del proceso

DIRECCIONES DE REFERENCIA DE E/S

Las direcciones de referencia son códigos que los controladores asignan a cada una de las variables que van a intervenir en un sistema de control. Estas direcciones de referencia deben definirse tanto para señales continuas como para señales discretas provenientes del proceso.

Ai ser definidas estas direcciones nos permitirán, según una lógica programada en el controlador, activar o desactivar dispositivos, o leer señales provenientes de sensores de campo, debido a que estas direcciones pueden conectarse físicamente a dichos dispositivos. De esta forma o se pueden automáticamente activar o desactivar bombas, válvulas, se pueden leer señales de temperatura, flujo, etc.

Las direcciones de cada variable serán especificadas según la codificación que utiliza el software de programación de los controladores VersaPro y se clasificarán según el tipo de señal a la que pertenecen y el controlador al que serán conectadas físicamente.

PLC 01 - 9030

%I00002	Encendido de la bomba de módulo de Flujo de Fluidos
%I00003	Apagado de la bomba de módulo de Flujo de Fluidos
%I00005	Encendido de la bomba de la Columna de Absorción
%I00006	Apagado de la bomba de la Columna de Absorción
%Q00003	Bomba de módulo de Flujo de Fluidos
%Q00005	Bomba de la Columna de Absorción

PLC 02 - 9030

%AI0001	Diferencia de presión en módulo de Flujo de Fluidos
%AI0002	Nivel de líquido en Columna de Absorción

PLC 03 - VERSAMAX

%AI0001	Temperatura de salida de Intercambiador de Calor
%AQ0001	Abertura de la válvula de control del Intercambiador de Calor

- %I y %AI representan entradas discretas y análogas respectivamente
- %Q y %AQ representan salidas discretas y análogas respectivamente

CONFIGURACION DE LOS PLC's

PLC N° 1 (90-30)

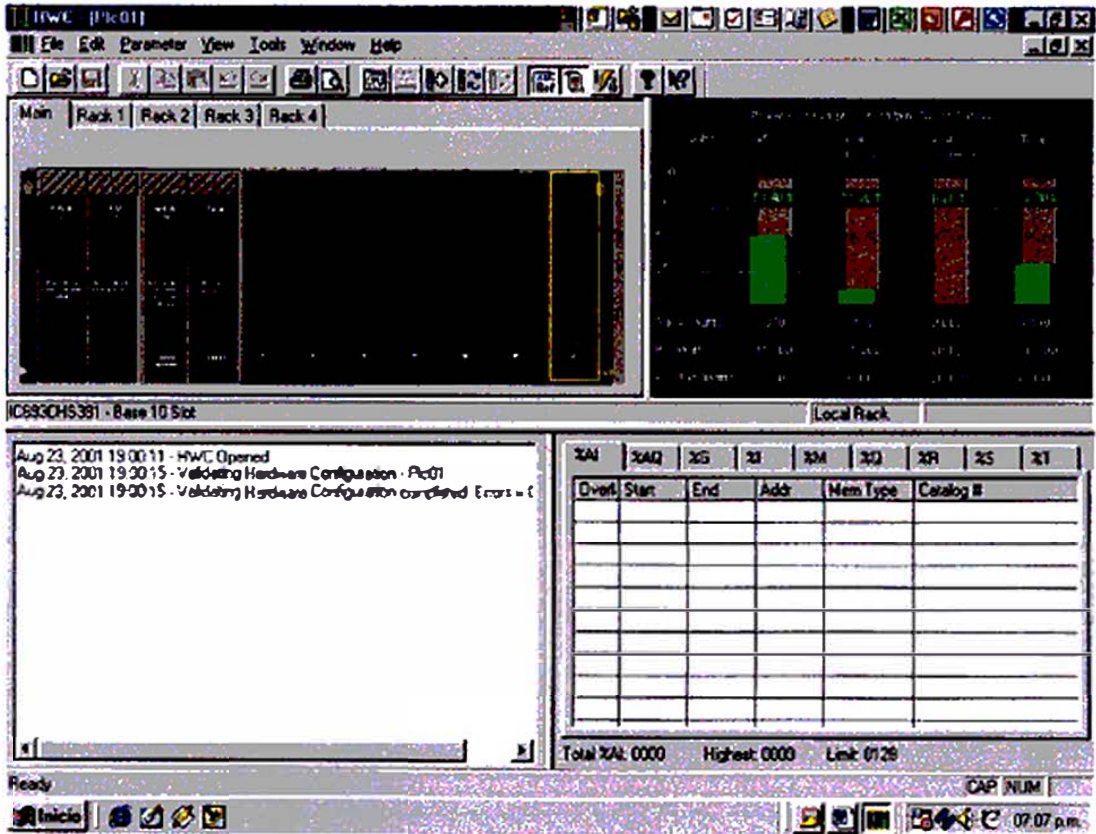


Figura 46. Pantalla principal

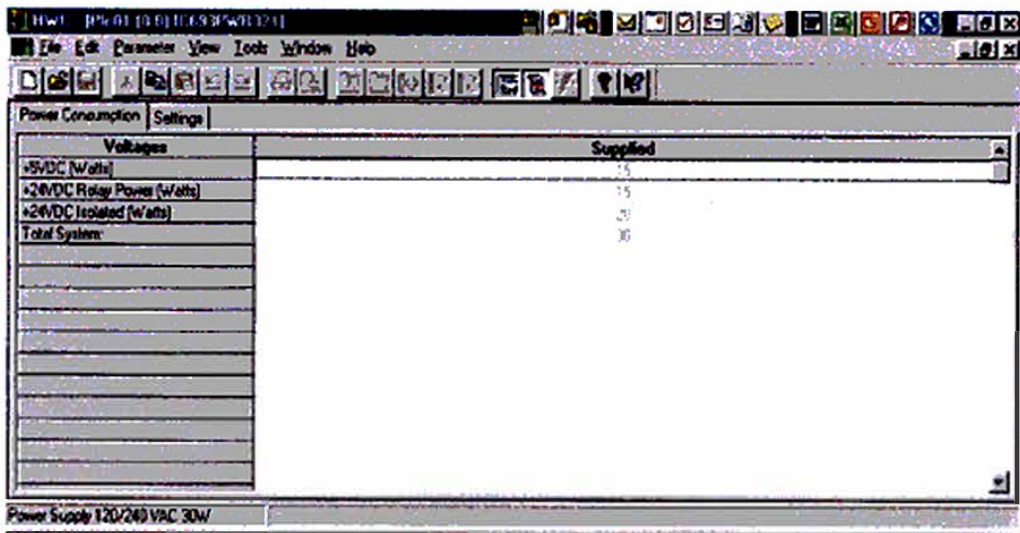


Figura 47. Fuente de poder (IC693PWR321)

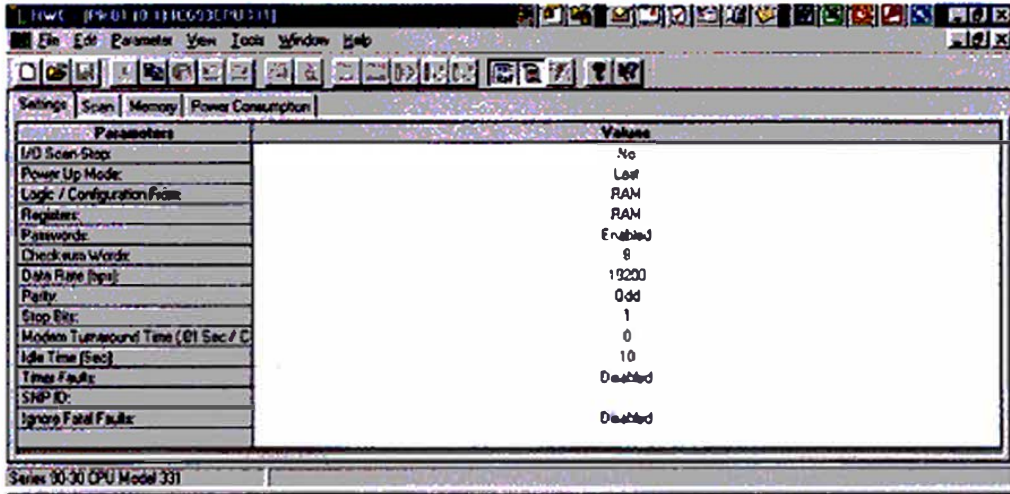


Figura 48. CPU (IC693CPU331)

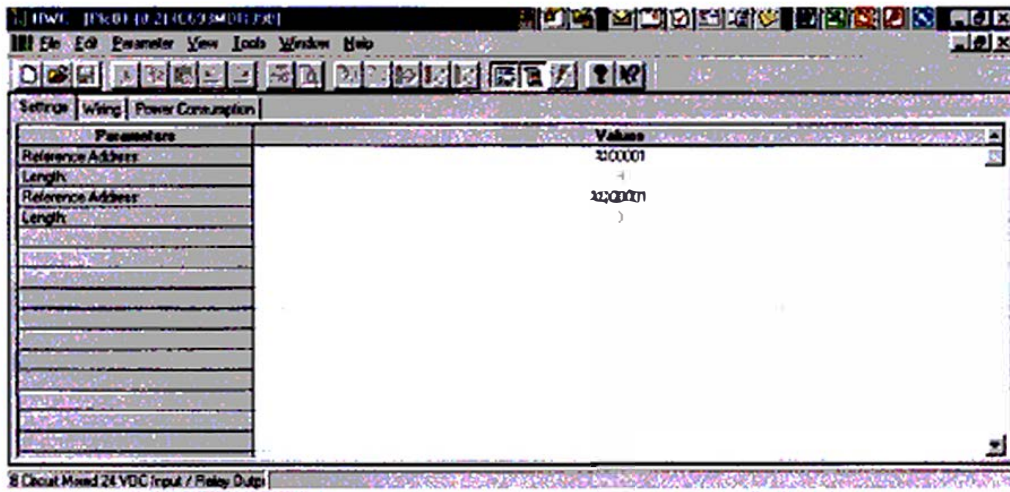


Figura 49. Módulo de entradas y salidas discretas (IC693MDR390)

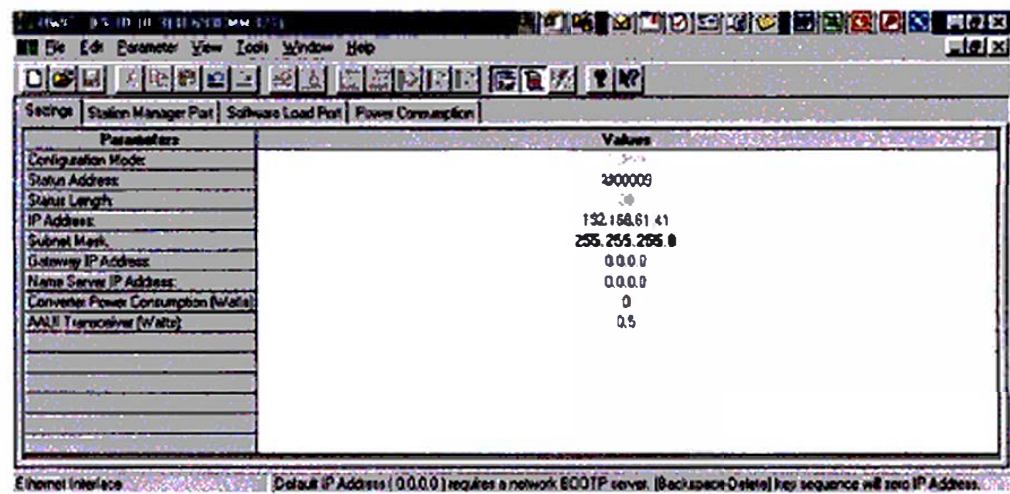


Figura 50. Módulo de comunicaciones Ethernet (IC693CMM321)

PLC N° 2 (90-30)

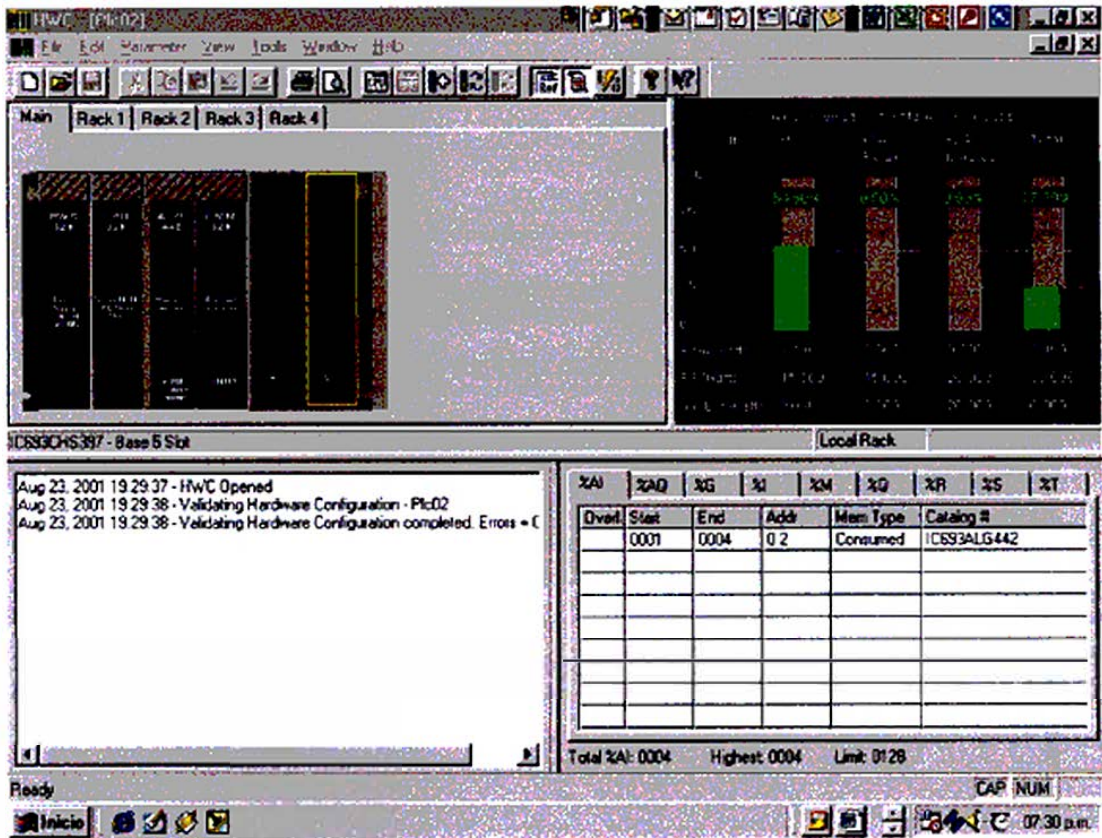


Figura 51. Pantalla principal

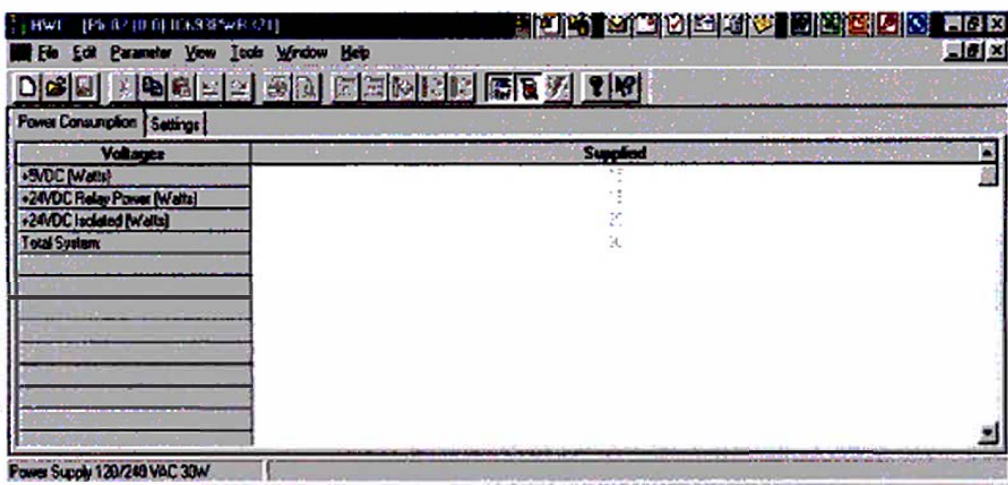


Figura 52. Fuente de poder (IC693PWR321)

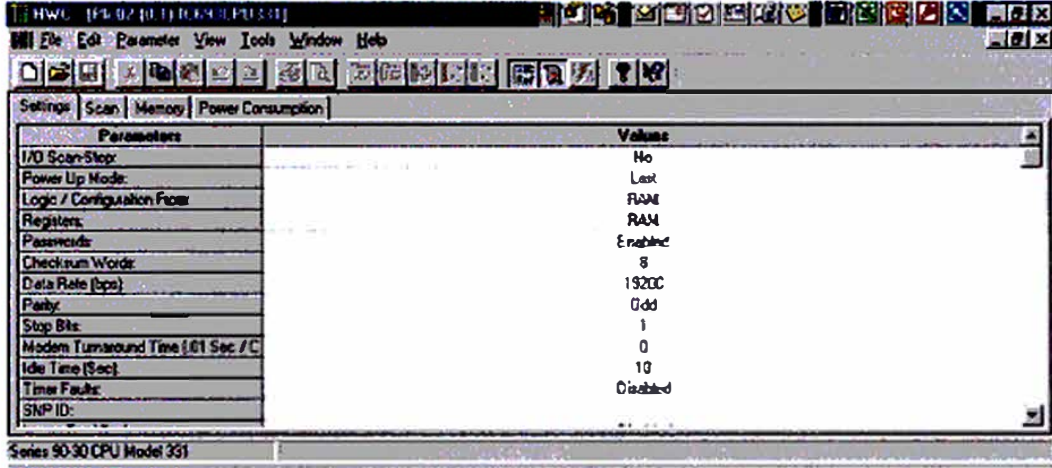


Figura 53. CPU (IC693CPU331)

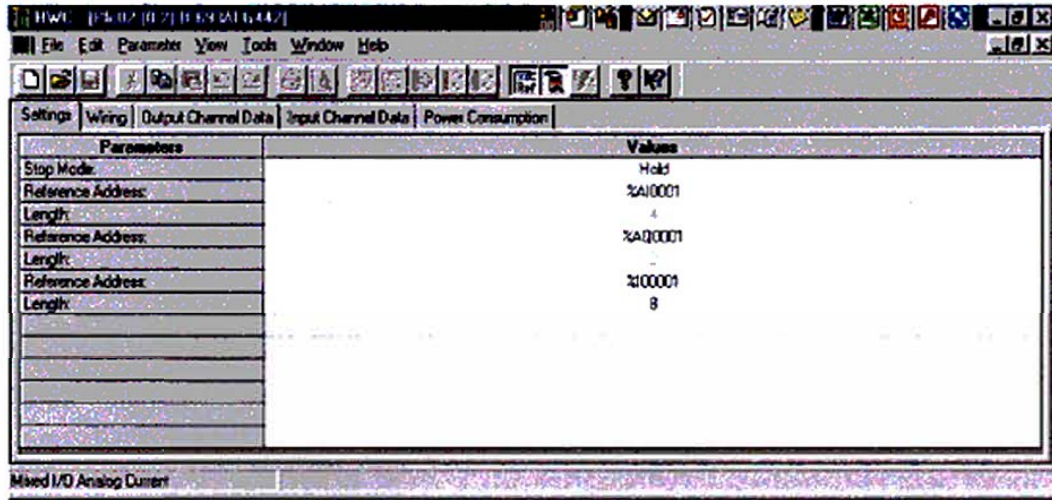


Figura 54. Módulo de entradas y salidas análogas (IC693ALG442)

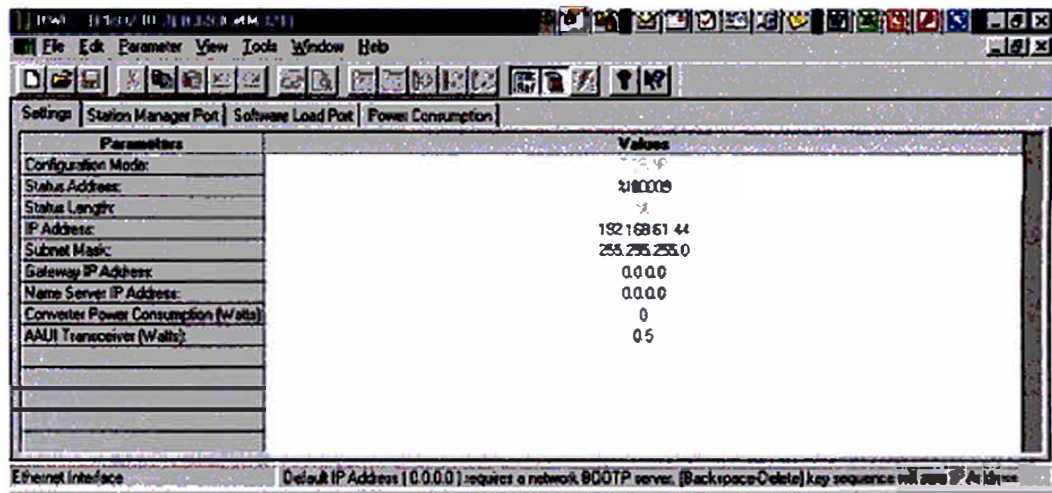


Figura 55. Módulo de comunicaciones Ethernet (IC693CMM321)

PLC N° 3 (VERSAMAX)

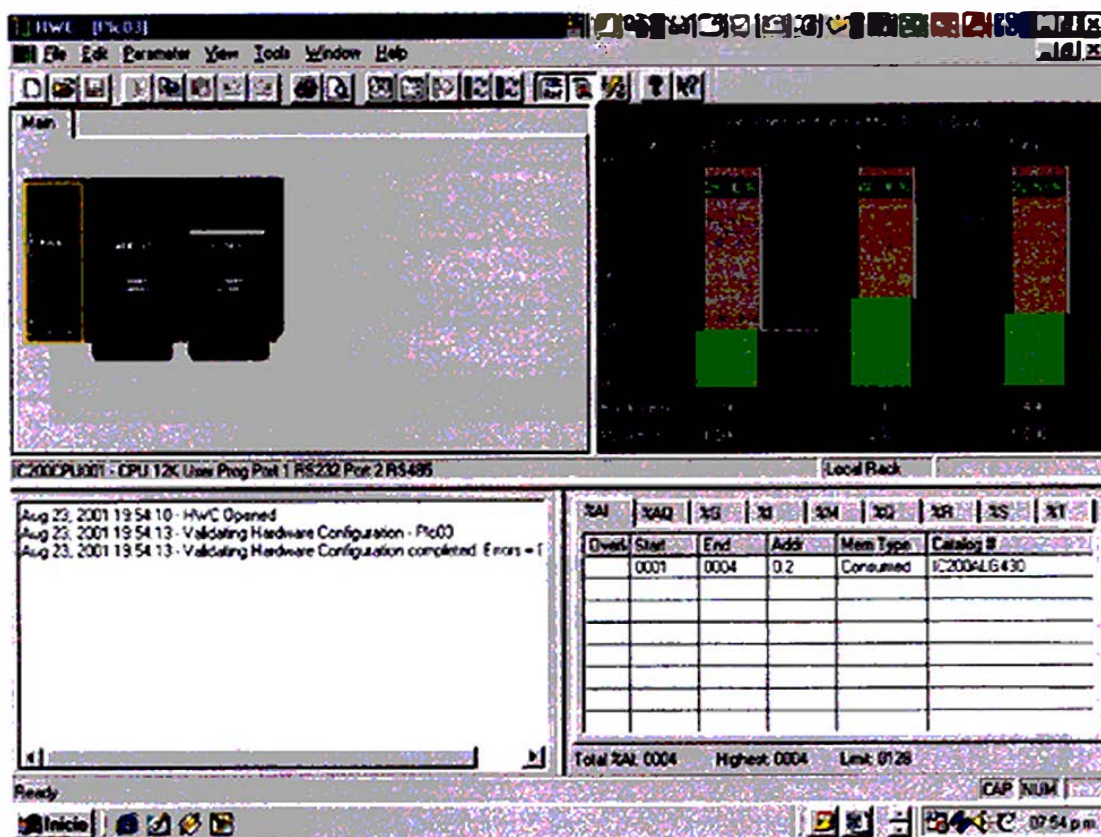


Figura 56. Pantalla principal

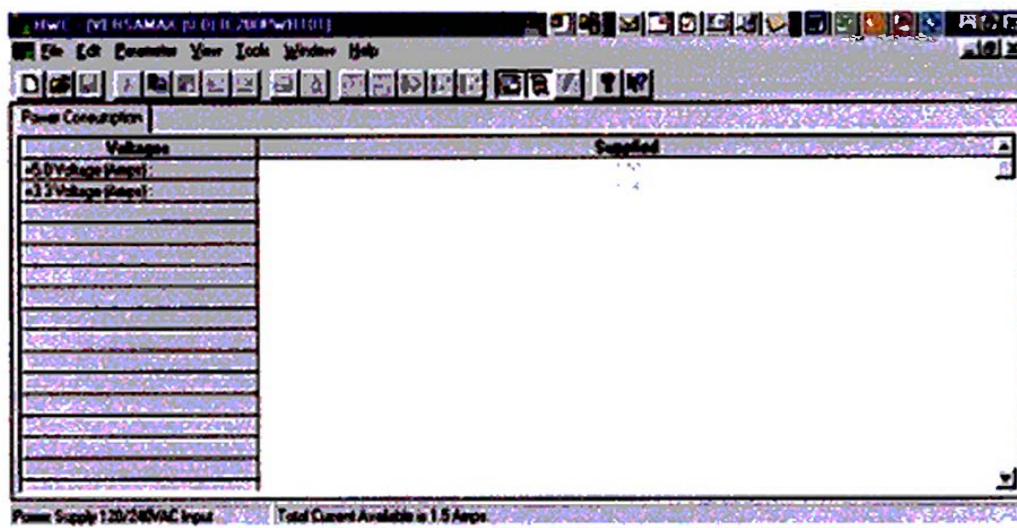


Figura 57. Fuente de poder (IC200PWR101)

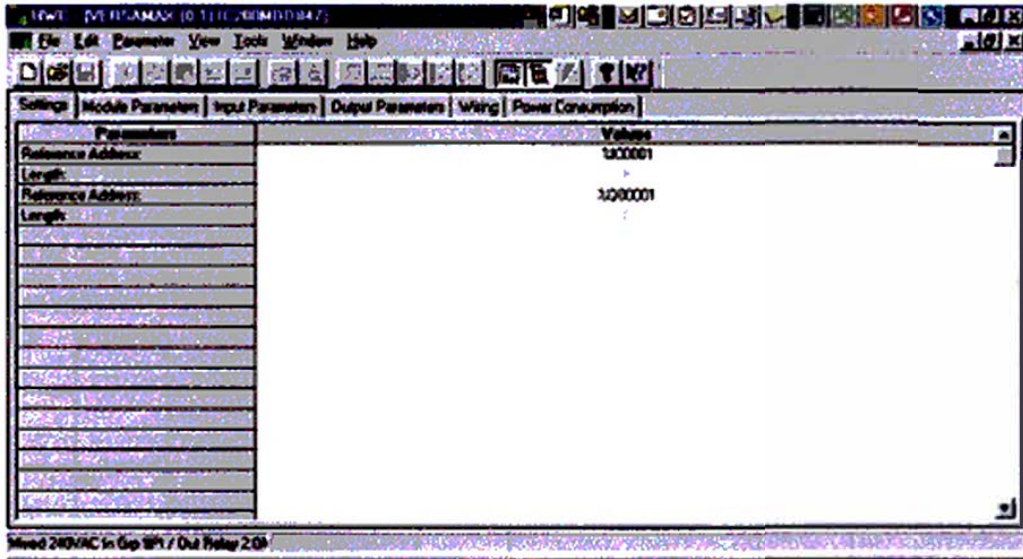


Figura 58. Módulo de entradas y salidas discretas (IC200MDD847)

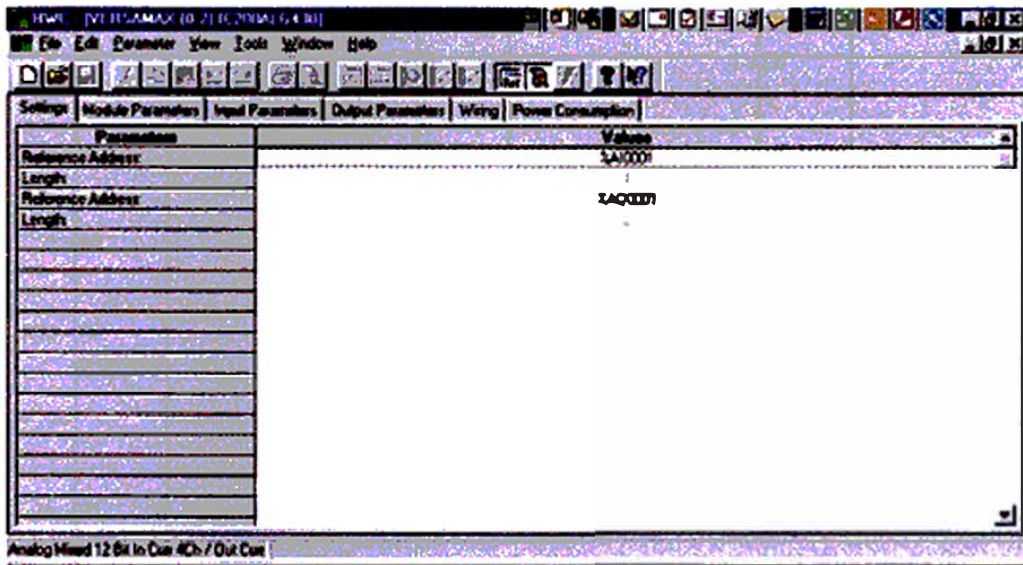


Figura 59. Módulo de entradas y salidas análogas (IC200ALG430)

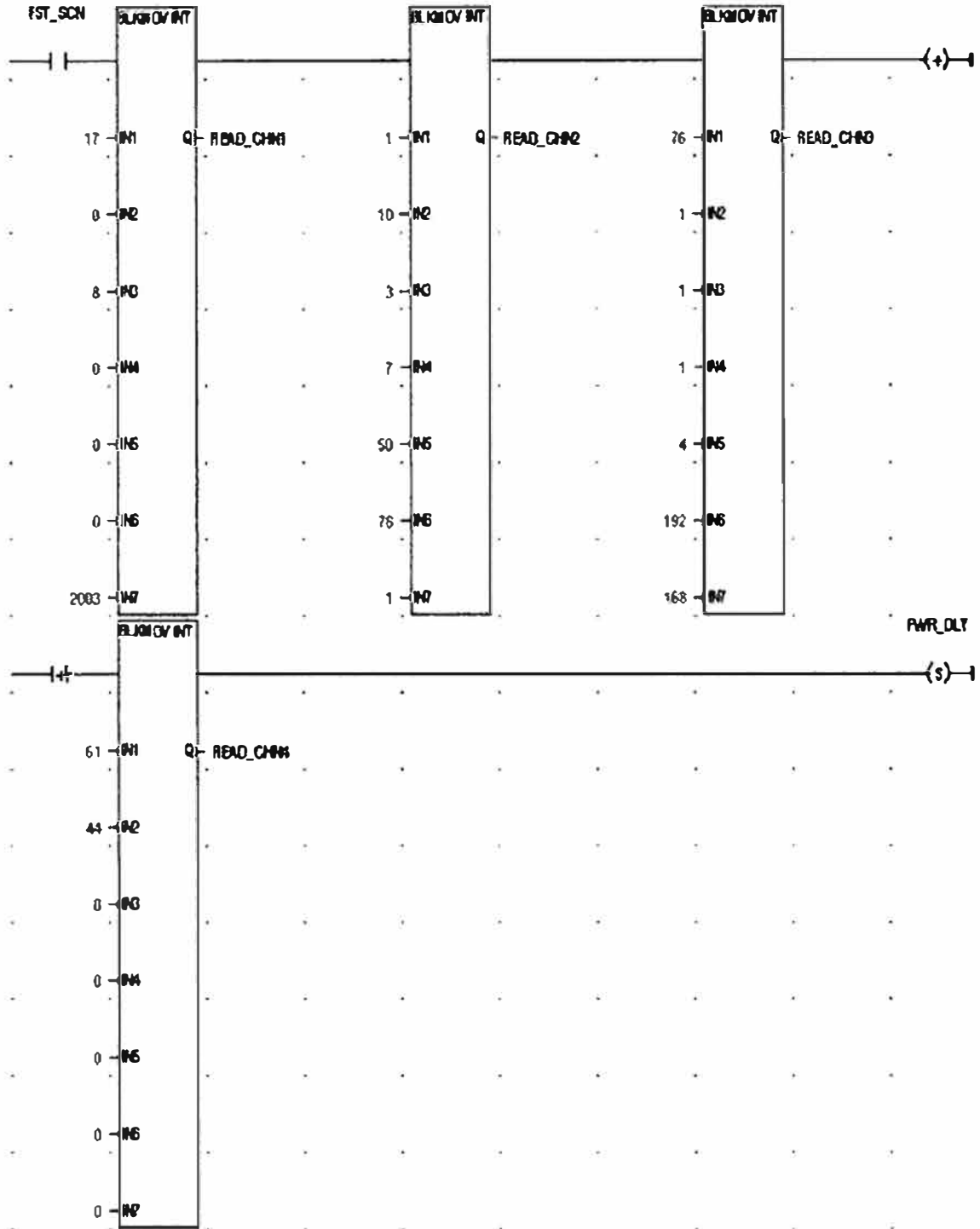
PROGRAMACION DE LOS PLC's

PLC Nº 1

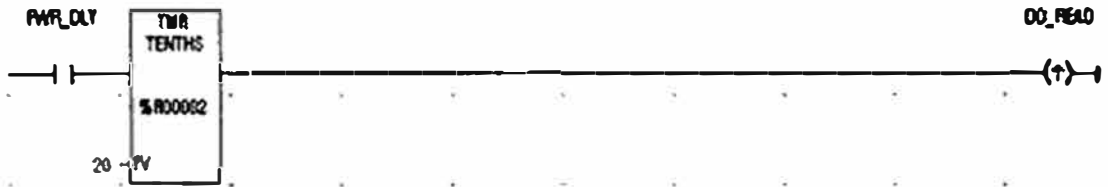
Este programa permite establecer comunicación entre el PLC01 (cliente) y el PLC02 que actuará como servidor y cuya dirección IP del módulo Ethernet (ubicado en el slot 3 del rack 0) es 192.168.61.44. Para esto se definirá un canal de comunicación de lectura cuyo objetivo será leer el contacto virtual M1 del PLC02 y lo transfiere al contacto virtual M1 del PLC01. Este programa automáticamente reinicializa la lógica de lectura si la Intertase Ethernet es resultado (LAMPFOX 0 → 1), o si se detecta un error en los comandos de lectura.

DEFINICION DEL CANAL DE LECTURA

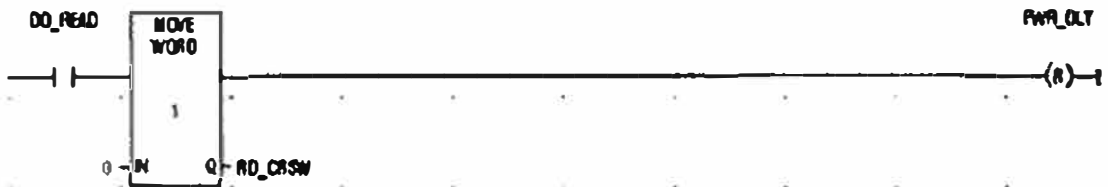
Las siguientes corridas inicializan el canal de lectura y se ejecutan con el primer scan o barrido del PLC. Al mismo tiempo se activa un contador de tiempo a través de una bobina temporal PWR_DLY.



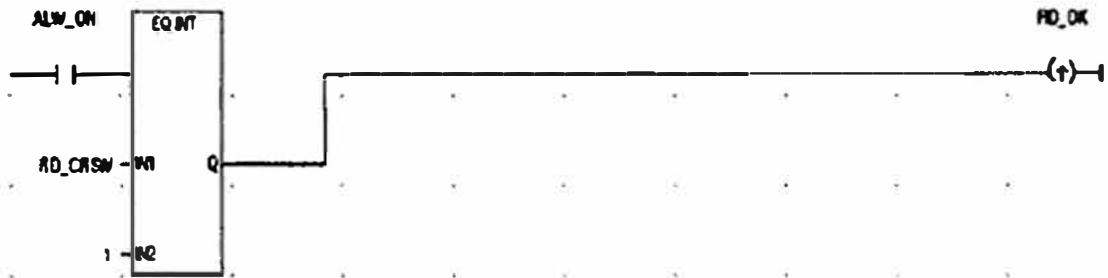
PWR_DLY activa un contador de tiempo que permite que, después de 2 segundos de haberse ejecutado el primer scan, el sistema se energice y se efectúe la primera lectura a través de la bobina temporal DO_READ.



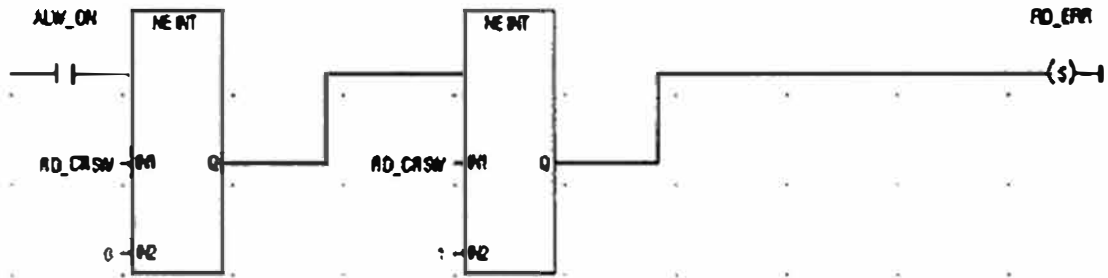
El canal de lectura funciona asignando al registro RD_CRSW el valor inicial de 0. Este registro tiene por finalidad indicar el estado del canal de lectura. Si este valor es diferente de 0 o 1 entonces el canal de lectura no está funcionando correctamente y es necesario reinicializar el módulo de comunicaciones. Después de efectuada la primera lectura el contador de tiempo es desactivado.



Si RD_CRSW=1, COMREQ se ha completado sin error. Se energiza RD_OK, lo que significa que el canal de lectura se ejecutó correctamente.



Si RD_CRSW no es igual a 0 y no es igual a 1, existen errores al procesar COMREQ. Se energiza RD_ERR para reinicializar la secuencia de lectura/escritura.



Si se energiza RD_OK se ejecuta nuevamente DO_READ para llevar a cabo nuevamente una lectura.



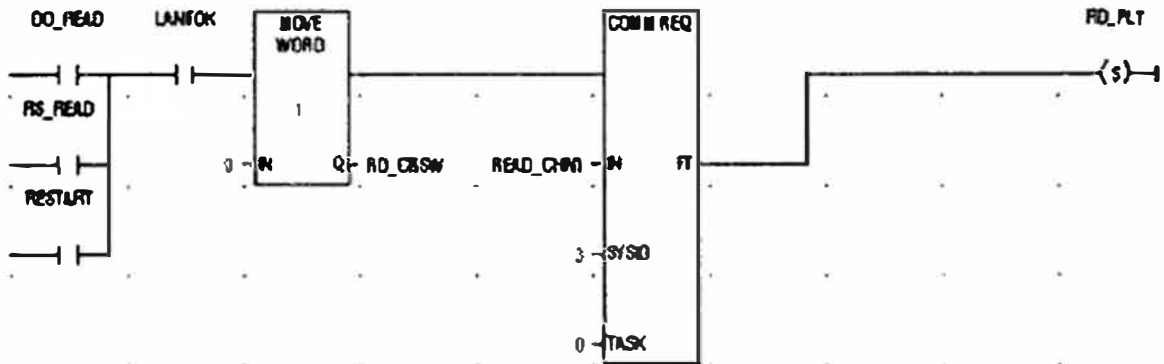
Si LANF0K cambia de 0 a 1 se reinicializa la lógica de lectura. Esto ocurrirá sólo si es reinicializado el módulo (Biterno).



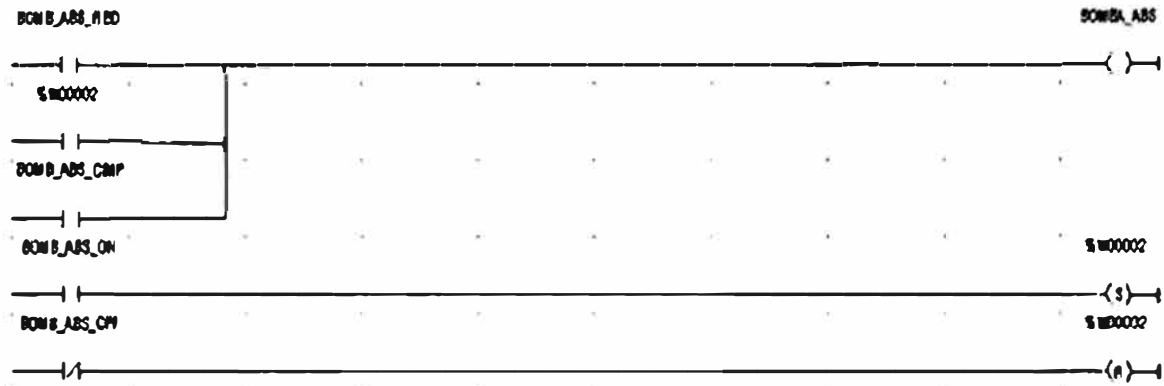
Si se detectan errores en la lectura o escritura, se consultan bits para reinicializarlos.



SI RESTART, DO_READ o RS_READ son energizados y LANFOK ES 1, RD_CRSW se hace cero y se activa el COMREQ del canal de lectura. En caso contrario se energiza RD_FLT



BOMB_ABS_ON y BOMB_ABS_OFF son contactos que encienden y apagan manualmente la bomba del módulo de la Columna de Absorción. %M0002 es un contacto proveniente del PLC02 y que a través de la red permite activar la bomba de la Columna de Absorción. De igual modo, para encender o apagar esta bomba a través de la PC se define el contacto BOMB_ABS_CMP.



BOMB_FLW_ON y BOMB_FLW_OFF son contactos que encienden y apagan manualmente la bomba del módulo de Flujo de Fluidos. El contacto virtual BOMB_FLW_CMP enciende y apaga esta bomba desde la PC

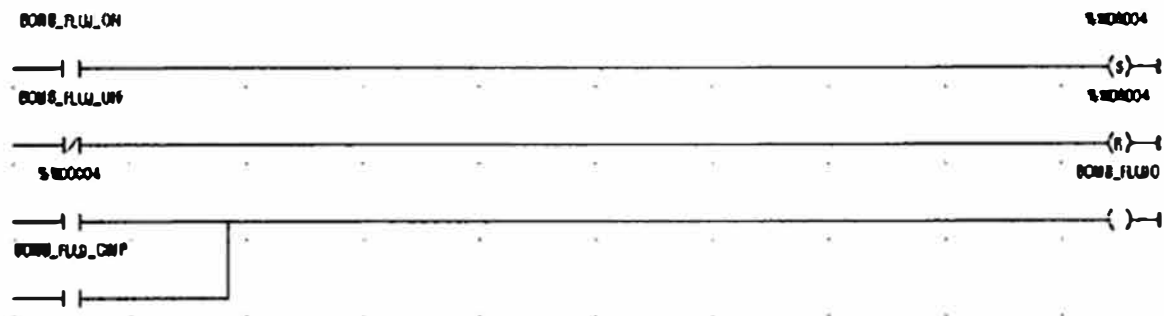


TABLA DE DECLARACION DE VARIABLES

<u>NOMBRE</u>	<u>TIPO</u>	<u>LONG</u>	<u>DIRECCION</u>	<u>DESCRIPCION</u>
BOMB_FLUJ_ON	Bit	1	%I00002	CONTACTO N.A. ON BOMBA FLUJO DESDE PANEL
BOMB_FLUJ_OFF	Bit	1	%I00003	CONTACTO N.C. OFF BOMBA FLUJO DESDE PANEL
BOMB_ABS_ON	Bit	1	%I00006	CONTACTO N.A. ON BOMBA ABSORCION DESDE PANEL
BOMB_ABS_OFF	Bit	1	%I00007	CONTACTO N.C. OFF BOMBA FLUJO DESDE PANEL
LANI/OK	Bit	1	%I00024	INTERFASE LAN OK
BOMB_ABS_RED	Bit	1	%M00001	MEMORIA DE PLC02 PARA BOMBA DE ABSORCION
%M00002	Bit	1	%M00002	
BOMB_ABS_CIMP	Bit	1	%M00003	MEMORIA ON/OFF BOMBA DE ABS. DESDE CIMPPLICITY
%M00004	Bit	1	%M00004	
BOMB_FLUJ_CIMP	Bit	1	%M00005	MEMORIA ON/OFF BOMBA DE FLUJO DESDE CIMPPLICITY
BOMB_FLUJO	Bit	1	%Q00003	BOBINA QUE ACTIVA BOMBA DE FLUJO DE FLUIDOS
BOMBA_ABS	Bit	1	%Q00005	BOBINA QUE ACTIVA BOMBA DE ABSORCION
RD_CRSW	Word	1	%R00001	COMMREQ STATUS WORD PARA LECTURA
%R00002	Word	3	%R00002	TIEMPO ANTES DE ENERGIZAR
READ_CHN1	Word	7	%R00004	CANAL DE LECTURA 1
READ_CHN2	Word	7	%R00011	CANAL DE LECTURA 2
READ_CHN3	Word	7	%R00018	CANAL DE LECTURA 3
READ_CHN4	Word	7	%R00025	CANAL DE LECTURA 4
DO_READ	Bit	1	%TD0001	LEER COMMREQ
RO_OK	Bit	1	%TD0002	LECTURA DE COMMREQ EXITOSA
RD_ERR	Bit	1	%TD0003	ERROR AL PROCESAR COMMREQ
RD_FLT	Bit	1	%TD0004	FALLA EN AJUSTE DE SALIDA DE COMMREQ
RESTART	Bit	1	%TD0005	BIT SET SI RESET TARJETA ENET
RS_READ	Bit	1	%TD0006	ERROR DE LECTURA DETECTADO. RESTART
PWR_DLY	Bit	1	%T00012	DESPUES DE 2 SEGUNDOS ENERGIZAR SISTEMA

PLC N° 2

Este programa permite configurar un lazo de control en la columna de absorción. NIVEL_ABS recoge el valor del nivel en la columna y lo compara con NIVEL_MAX y NIVEL_MIN. según esta comparación se activa o desactiva el contacto virtual %M00001, el que a su vez por medio de la red de PLC's activará la bomba de la columna de absorción que realiza la descarga de la misma.

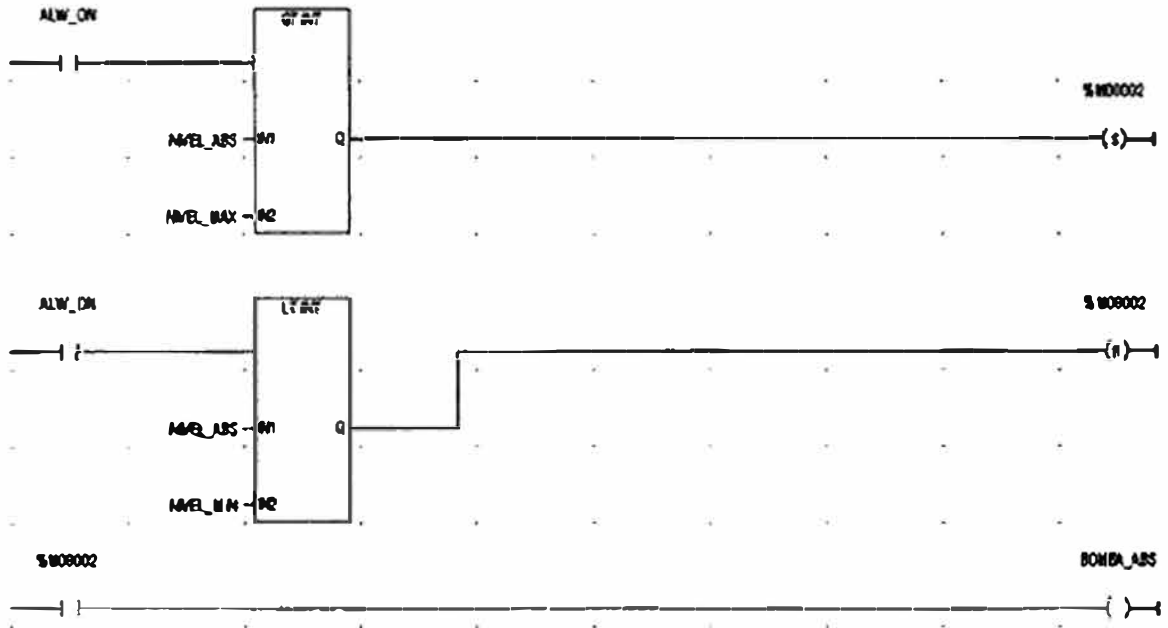


TABLA DE DECLARACION DE VARIABLES

<u>NOMBRE</u>	<u>TIPO</u>	<u>LONG</u>	<u>DIRECCION</u>	<u>DESCRIPCION</u>
NIVEL_ABS	Word	1	%AI0002	NIVEL DE LA COLUMNA DE ABSORCION
BOMBA_ABS	Bit	1	%M00001	BOMBA COLUMNA DE ABSORCION
%M00002	Bit	1	%M00002	
NIVEL_MAX	Word	1	%R00001	NIVEL MAXIMO COLUMNA DE ABSORCION
NIVEL_MIN	Word	1	%R00002	NIVEL MINIMO DE COLUMNA DE ABSORCION

PLC N° 3

Este programa permite configurar un bloque PID cuya función será establecer un lazo de control con la finalidad de controlar la temperatura de salida del intercambiador de calor. Para tal fin, se deben especificar los parámetros de sintonía (que se deben determinar de forma experimental) y otros valores adicionales para que el lazo pueda operar satisfactoriamente.

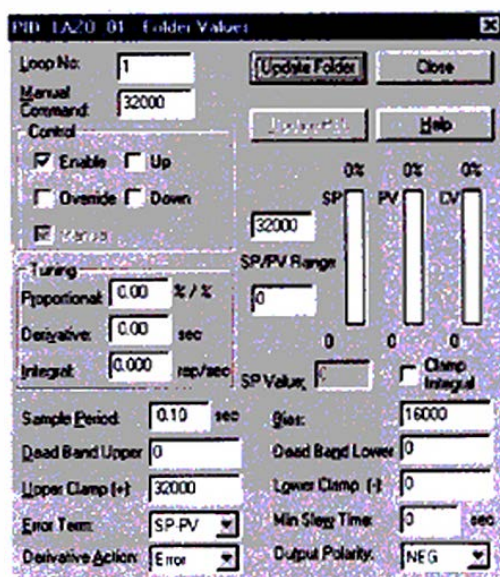
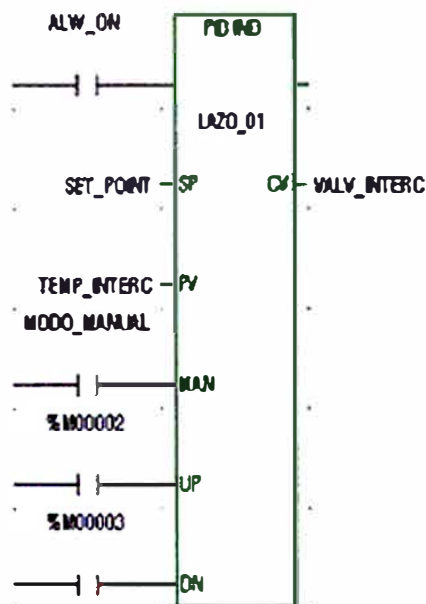


TABLA DE DECLARACIÓN DE VARIABLES

NOMBRE	TIPO	LONG	DIRECCION	DESCRIPCION
SET_POINT	Word	1	%R00050	SET_POINT TEMPERATURA DEL INTERCAMBIADOR
TEMP_INTERC	Word	1	%AI0001	TEMPERATURA DE SALIDA DEL INTERCAMBIADOR
VALV_INTERC	Word	1	%AO0001	VALVULA DE CONTROL DEL INTERCAMBIADOR
LAZO_01	Word	40	%R00001	NUMERO DE LAZO DE CONTROL
MODO_MANUAL	Bit	1	%M00001	MODO MANUAL DEL LAZO DE CONTROL
%M00002	Bit	1	%M00002	AUMENTAR ABERTURA DE VALVULA DEL INTERCAMBIADOR
%M00003	Bit	1	%M00003	DISMINUIR ABERTURA DE VALVULA DEL INTERCAMBIADOR

DESARROLLO DE LA APLICACION EN CIMPLICITY

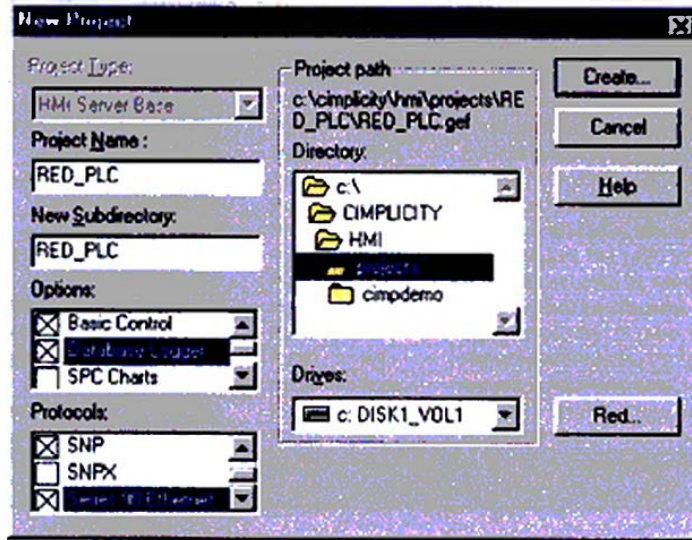


Figura 60. Creación del nuevo proyecto

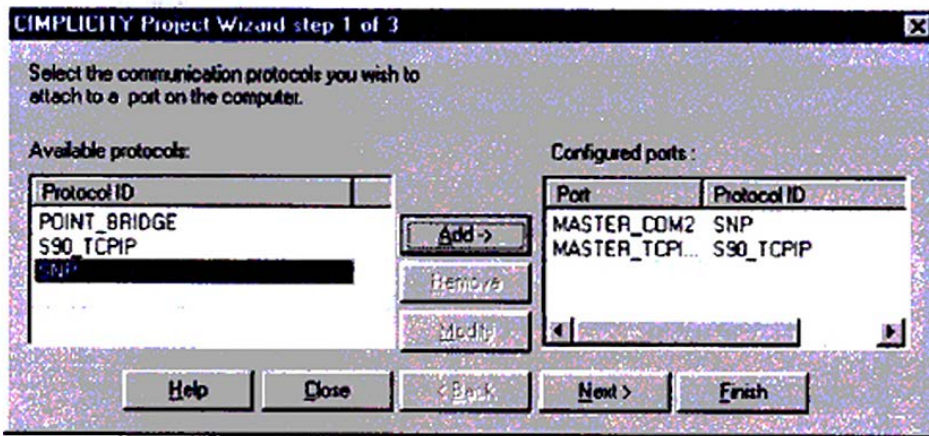


Figura 61 . Configuración de los puertos de comunicación

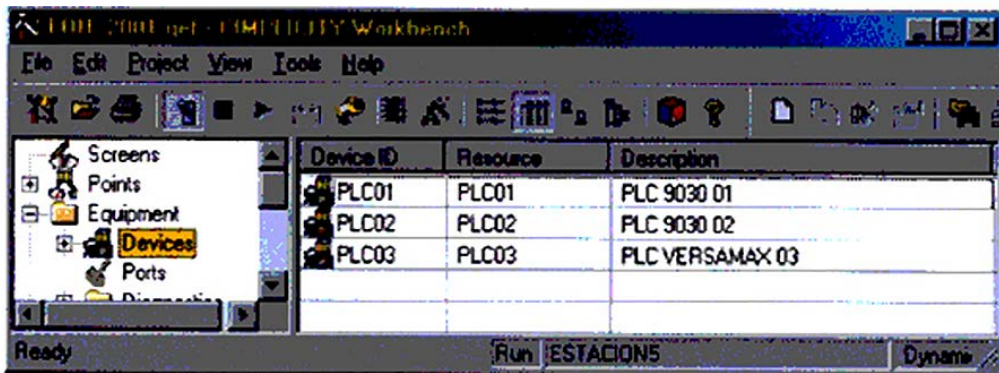


Figura 62. Configuración de los PLC's

Point ID	Device ID	Resource	Point Type	Description
AB_VALVULA_INTERCAMBIADOR	PLC03	PLC03	INT	ABERTURA DE VALVULA DE INTERCAMBIADOR
BOMBA_DE_ABSORCION	PLC01	PLC01	BOOL	ENCENDE/APAGA BOMBA DE ABSORCION
BOMBA_DE_FLUJO	PLC01	PLC01	BOOL	ENCENDE/APAGA BOMBA DE FLUJO DE FLUIDOS
BOMBA_FLUJO_BOBINA	PLC01	PLC01	BOOL	BOBINA PARA BOMBA DE FLUJO DE FLUIDOS
DERIVATIVO	PLC03	PLC03	BOOL	GANANCIA DERIVATIVA DEL INTERCAMBIADOR
INTEGRAL	PLC03	PLC03	BOOL	GANANCIA INTEGRAL DEL INTERCAMBIADOR
MOD0 MANUAL_INTERCAMBIADOR	PLC03	PLC03	BOOL	MOD0 MANUAL DEL LAZO DEL INTERCAMBIADOR
NIVEL_ABSORCION	PLC02	PLC02	INT	NIVEL DE COLUMNA DE ABSORCION
NIVEL_MAX_ABSORCION	PLC02	PLC02	INT	NIVEL MAXIMO EN COLUMNA DE ABSORCION
NIVEL_MIN_ABSORCION	PLC02	PLC02	INT	NIVEL MINIMO EN COLUMNA DE ABSORCION
PRESION_DIFERENCIAL	PLC02	PLC02	INT	PRESION DIFERENCIAL DE OPCCL
PROPORCIONAL	PLC03	PLC03	BOOL	GANANCIA PROPORCIONAL INTERCAMBIADOR
SETPOINT_INTERCAMBIADOR	PLC03	PLC03	INT	SETPOINT TEMPERATURA DE INTERCAMBIADOR
TEMP_INTERCAMBIADOR	PLC03	PLC03	INT	TEMPERATURA DE SAUDA DEL INTERCAMBIADOR

Figura 63. Configuración de los puntos

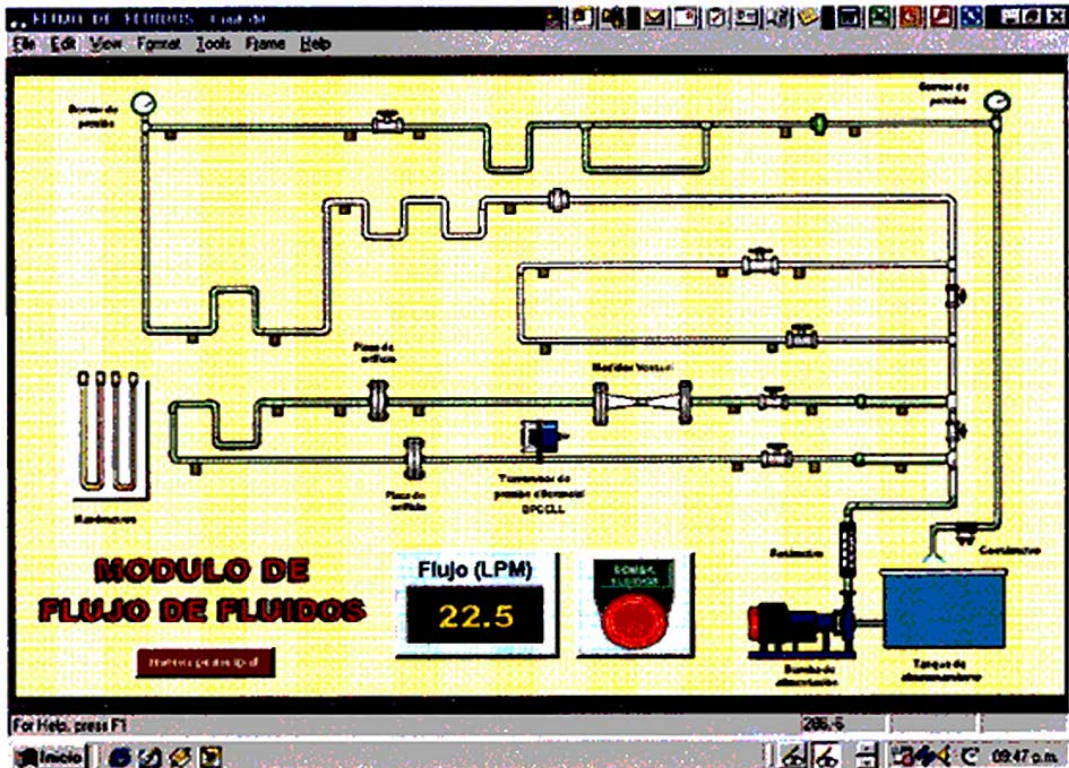


Figura 64. Pantalla de supervisión Módulo de Flujo de Fluidos

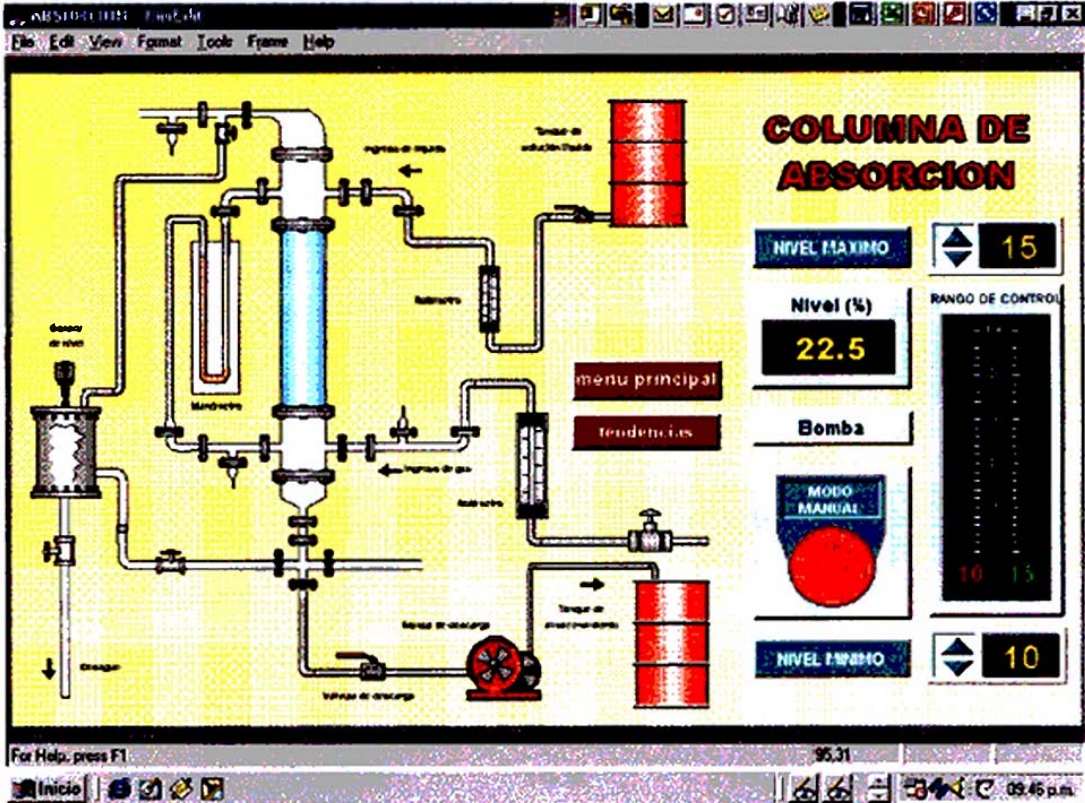


Figura 65. Pantalla de supervisión Columna de Absorción

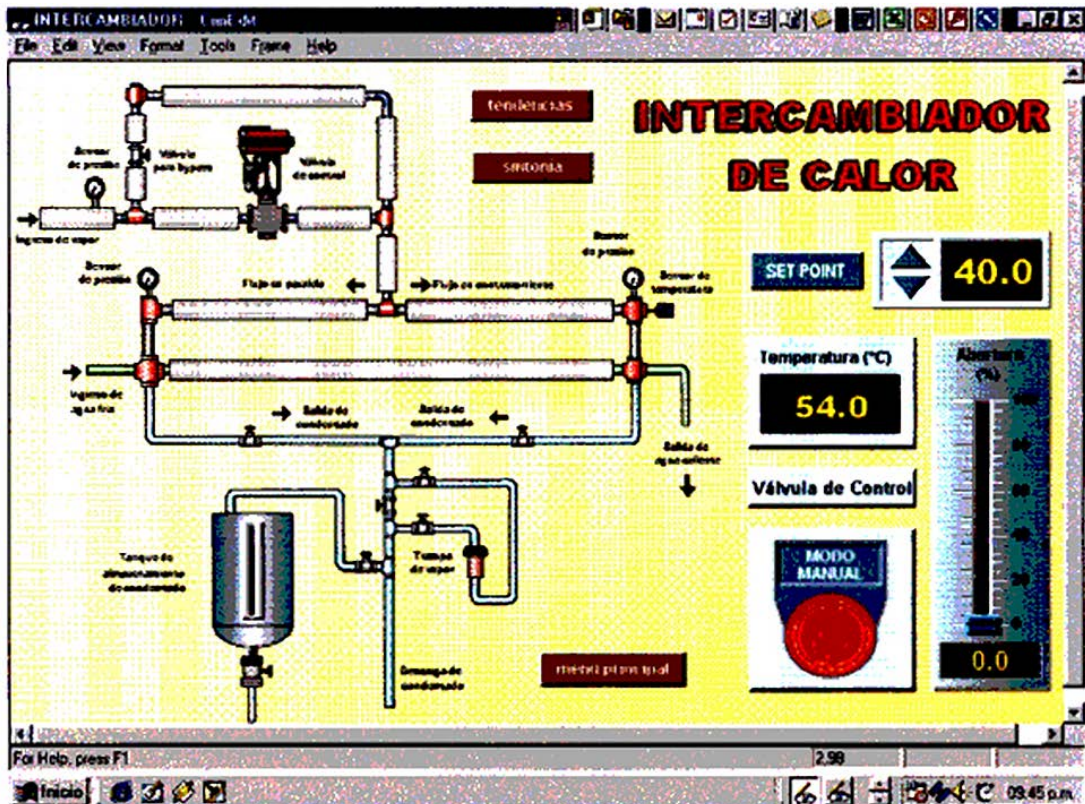


Figura 66. Pantalla de supervisión Intercambiador de Calor

PRUEBAS DE CAMPO

Control de flujo

Para implementar el control manual del flujo en el módulo de flujo de fluidos primeramente se procede a la calibración del transmisor de presión diferencial D/P CELL para lo cual se han tomado los siguientes datos :

Caudal (LPM)	mA	Cuentas
0.0	4.0	88
19.1	5.5	3056
21.1	6.6	5360
26.3	8.0	8224
31.4	9.9	11896
36.6	12.1	16296
42.6	14.9	21824
47.1	17.3	26792
51.0	19.8	31560

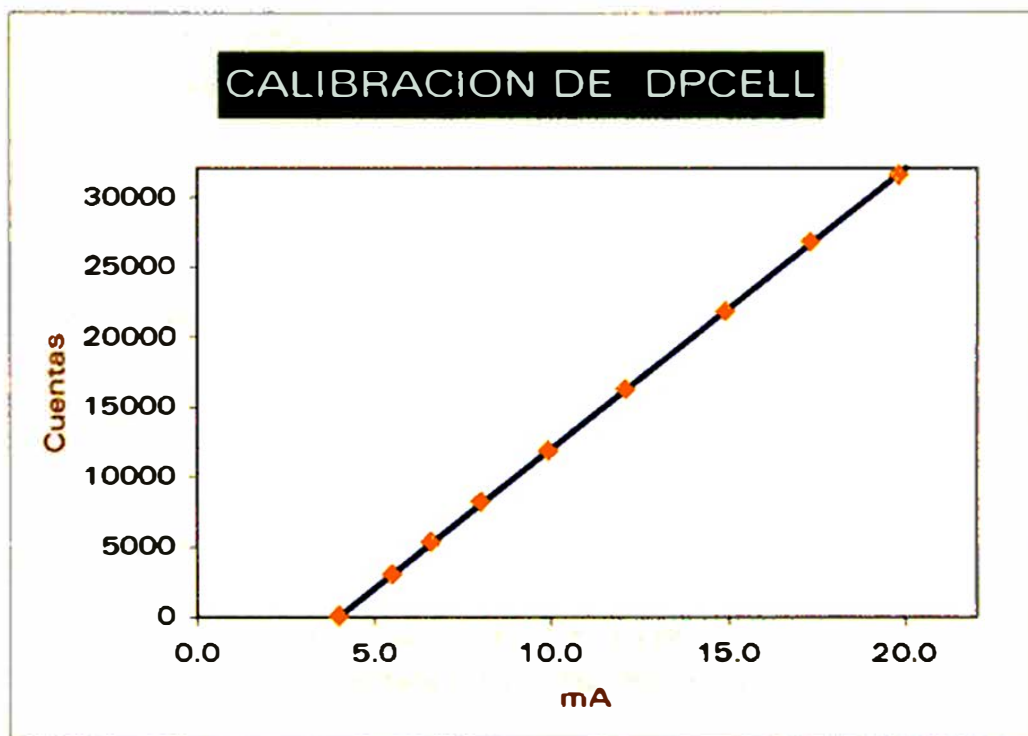


Figura 67. Curva de Calibración del D/P CELL

Una vez calibrado el transmisor se establece una correlación para poder relacionar el número de cuentas con el flujo. Puesto que el número de cuentas es directamente proporcional a la presión diferencial que se genera en la placa de orificio y teniendo en cuenta que existe una relación cuadrática entre el flujo y la presión diferencial se propone entonces una correlación que permita ajustar los datos obtenidos en la calibración:

$$Q = 0.2875 \sqrt{\text{Cuentas} - 88}$$

Construimos entonces un gráfico que permite observar el grado de ajuste de la correlación propuesta con los datos obtenidos experimentalmente.

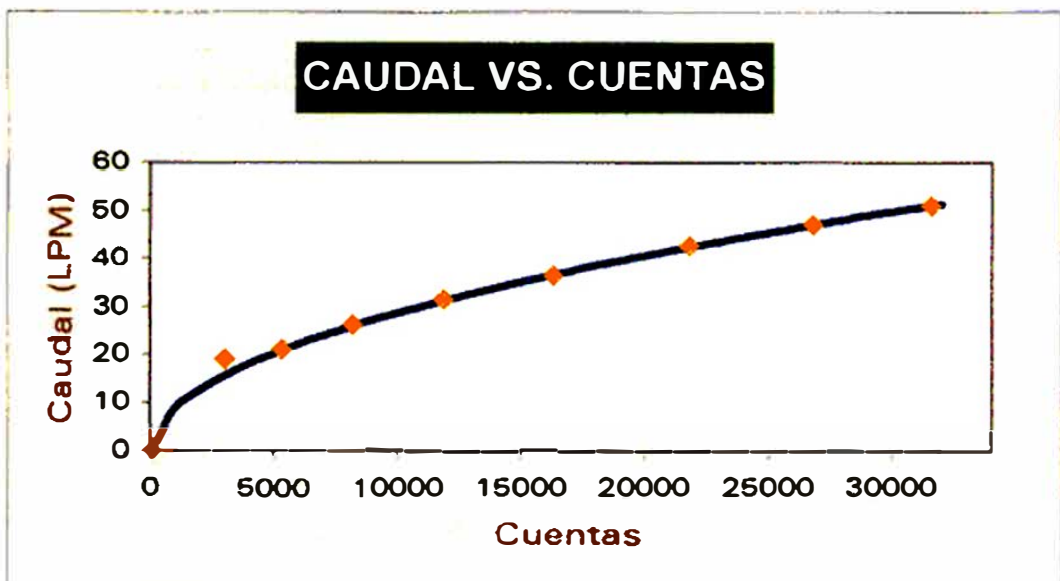


Figura 68. Curva Caudal vs. Cuentas

Control de nivel

El lazo de control en la columna de absorción será analizado examinando su comportamiento a través de pruebas con el equipo para lo cual se echará a andar la columna haciendo pasar las corrientes que participan en la transferencia de masa. Los niveles máximo y mínimo deben ser los adecuados de tal forma que permitan que el nivel de la columna se mantenga dentro de un rango permisible, evitando así que la columna se inunde. Los datos experimentales obtenidos se muestran a continuación.

- Flujo de líquido : 60 lb/hr
- Flujo de aire : 5 SCFH
- Nivel mínimo : 20%
- Nivel mínimo : 20%

Tiempo (s)	Nivel (%)	Tiempo (s)	Nivel (%)	Tiempo (s)	Nivel (%)
0	0.6	255	22.5	510	23.2
5	2.5	260	21.8	515	23.5
10	4.5	265	21.1	520	23.6
15	6.8	270	20.4	525	23.9
20	9.3	275	19.7	530	24.1
25	11.5	280	19.9	535	24.3
30	13.6	285	20.0	540	24.5
35	15.8	290	20.2	545	24.6
40	17.8	295	20.3	550	25.0
45	20.0	300	20.6	555	24.9
50	22.0	305	20.8	560	24.4
55	24.0	310	21.0	565	23.9
60	25.5	315	21.3	570	23.6
65	25.4	320	21.6	575	23.1
70	25.2	325	21.9	580	22.6
75	24.9	330	22.1	585	22.0
80	24.6	335	22.3	590	21.4
85	24.4	340	22.5	595	20.7
90	24.1	345	22.8	600	20.1
95	23.8	350	23.0	605	19.8
100	23.5	355	23.2	610	19.9
105	23.1	360	23.4	615	20.0
110	22.8	365	23.6	620	20.2
115	22.5	370	23.9	625	20.3
120	22.1	375	24.2	630	20.6
125	21.7	380	24.5	635	20.6
130	21.3	385	24.7	640	20.7
135	20.9	390	25.0	645	20.8
140	20.4	395	24.7	650	20.9
145	20.0	400	24.4	655	21.0
150	20.0	405	24.0	660	21.1
155	20.2	410	23.6	665	21.3
160	20.6	415	23.2	670	21.4
165	20.9	420	22.8	675	21.6
170	21.4	425	22.3	680	21.7
175	21.8	430	21.9	685	21.9
180	22.0	435	21.5	690	22.1
185	22.5	440	21.0	695	22.2
190	22.7	445	20.5	700	22.4
195	23.0	450	19.9	705	22.5
200	23.3	455	20.1	710	22.7
205	23.6	460	20.4	715	22.9
210	24.0	465	20.7	720	23.1
215	24.2	470	21.1	725	23.3
220	24.7	475	21.4	730	23.5
225	25.0	480	21.8	735	23.7
230	24.9	485	22.1	740	23.9
235	24.5	490	22.3	745	24.8
240	24.0	495	22.6	750	24.7
245	23.5	500	22.8	755	24.9
250	23.0	505	23.0	760	25.1

Tempo (s)	Nivel (%)	Tempo (s)	Nivel (%)	Tempo (s)	Nivel (%)
1278	21.0	1050	19.8	788	1018
1280	21.4	1058	19.8	790	1020
1288	21.7	1080	19.8	798	1028
1280	22.0	1038	19.8	780	1024
1288	22.3	1040	19.8	788	1028
1300	22.8	1048	19.8	780	1024
1302	22.8	1080	19.7	788	1028
1310	23.0	1088	19.7	800	1030
1318	23.2	1080	19.7	802	1027
1320	23.8	1088	19.7	810	1021
1328	23.8	1070	19.8	818	1018
1330	23.8	1078	19.8	820	1020
1338	24.0	1080	19.7	828	1028
1340	24.2	1088	19.8	830	1028
1348	24.4	1080	20.1	838	1022
1380	24.8	1088	20.2	840	1028
1388	24.7	1100	20.8	848	1028
1380	24.8	1108	20.8	880	1021
1388	25.1	1110	21.0	888	1024
1370	24.8	1118	21.3	880	1028
1378	24.4	1120	21.8	888	1027
1380	23.8	1128	21.8	870	1028
1388	23.8	1130	22.1	878	1031
1380	22.8	1138	22.8	880	1032
1388	22.2	1140	22.7	888	1034
1400	21.8	1148	22.8	880	1038
1408	21.0	1180	23.1	898	1037
1410	20.4	1188	23.8	800	1038
1418	19.8	1180	23.7	808	1040
1420	20.0	1188	24.0	810	1041
1422	20.1	1170	24.2	818	1022
1430	20.3	1178	24.8	820	1024
1438	20.8	1180	24.7	828	1028
1440	20.7	1188	28.1	830	1028
1442	20.8	1180	24.7	838	1028
1480	21.1	1188	24.8	840	1027
1488	21.4	1200	24.1	848	1028
1480	21.8	1208	23.8	880	1028
1488	21.8	1210	23.8	888	1020
1470	22.2	1218	23.2	880	1028
1478	22.8	1220	23.0	888	1041
1480	22.8	1228	22.8	870	1038
1482	23.1	1230	22.1	878	1031
1480	23.3	1238	21.7	880	1028
1488	23.8	1240	21.4	888	1028
1800	23.8	1248	20.8	890	1021
1808	24.1	1280	20.8	898	1023
1810	24.4	1288	19.8	1000	1027
1818	24.7	1280	20.1	1008	1018
1820	28.0	1288	20.3	1010	1027
1828	28.0	1270	20.7	1018	1027

Tiempo (s)	Nivel (%)	Tiempo (s)	Nivel (%)	Tiempo (s)	Nivel (%)
1630	24.7	1785	18.7	2040	23.7
1635	24.4	1790	19.6	2045	23.2
1640	24.1	1795	19.6	2050	22.8
1645	23.7	1800	19.7	2055	22.1
1650	23.4	1805	19.7	2060	21.8
1655	23.0	1810	19.7	2065	20.8
1660	22.7	1815	19.8	2070	20.1
1665	22.3	1820	19.8	2075	19.8
1670	21.9	1825	19.7	2080	19.9
1675	21.4	1830	19.7	2085	20.0
1680	21.0	1835	19.6	2090	20.1
1685	21.9	1840	19.6	2095	20.2
1690	20.6	1845	19.4	2100	20.3
1695	20.3	1850	19.4	2105	20.5
1700	19.9	1855	19.2	2110	20.6
1805	20.2	1860	19.2	2115	20.6
1810	20.4	1865	19.2	2120	20.7
1815	20.6	1870	19.2	2125	20.8
1820	21.0	1875	19.2	2130	21.0
1825	21.3	1880	19.3	2135	21.0
1830	21.8	1885	19.4	2140	21.1
1835	22.1	1890	19.6	2145	21.3
1840	22.4	1895	19.6	2150	21.3
1845	22.6	1900	19.7	2155	21.4
1850	22.8	1905	19.8	2160	21.4
1855	23.0	1910	20.0	2165	21.5
1860	23.2	1915	20.1	2170	21.5
1865	23.3	1920	20.2	2175	21.6
1870	23.5	1925	20.4	2180	21.6
1875	23.6	1930	20.6	2185	21.7
1880	23.8	1935	20.7	2190	21.6
1885	23.9	1940	21.0	2195	21.7
1890	24.1	1945	21.2	2200	21.7
1895	24.2	1950	21.4	2205	21.7
1700	24.2	1955	21.7	2210	21.6
1705	24.4	1960	21.9	2215	21.6
1710	24.5	1965	22.1	2220	21.5
1715	24.7	1970	22.4	2225	21.4
1720	24.7	1975	22.6	2230	21.2
1725	24.8	1980	22.9	2235	19.3
1730	24.9	1985	23.1	2240	21.0
1735	25.1	1990	23.3	2245	20.3
1740	24.5	1995	23.6	2250	20.6
1745	24.2	2000	23.9	2255	20.7
1750	23.6	2005	24.2	2260	20.9
1755	23.1	2010	24.4	2265	21.2
1760	22.6	2015	24.7	2270	21.4
1765	21.9	2020	25.0	2275	21.7
1770	21.1	2025	25.0	2280	22.0
1775	20.4	2030	24.6	2285	22.3
1780	19.7	2035	24.2	2290	22.8

Tiempo (s)	Nivel (%)	Tiempo (s)	Nivel (%)	Tiempo (s)	Nivel (%)
2295	22.9	2550	24.7	2805	20.4
2300	23.1	2555	24.2	2810	19.9
2305	23.4	2560	23.7	2815	20.1
2310	23.7	2565	23.1	2820	20.2
2315	24.0	2570	22.4	2825	20.7
2320	24.2	2575	21.6	2830	21.1
2325	24.5	2580	20.8	2835	21.5
2330	24.7	2585	19.9	2840	21.9
2335	25.0	2590	19.6	2845	22.3
2340	24.9	2595	19.5	2850	22.7
2345	24.6	2600	19.4	2855	23.0
2350	24.3	2605	18.6	2860	23.2
2355	24.0	2610	18.7	2865	23.4
2360	23.7	2615	18.6	2870	23.6
2365	23.3	2620	18.9	2875	23.9
2370	22.9	2625	18.9	2880	24.0
2375	22.5	2630	19.2	2885	24.2
2380	22.0	2635	19.4	2890	24.4
2385	21.4	2640	19.7	2895	24.6
2390	21.0	2645	19.8	2900	24.7
2395	20.6	2650	20.0	2905	24.9
2400	20.0	2655	20.2	2910	25.0
2405	20.2	2660	20.5	2915	24.8
2410	21.6	2665	20.7	2920	24.4
2415	21.4	2670	21.0	2925	23.9
2420	22.1	2675	21.4	2930	23.4
2425	22.4	2680	21.7	2935	22.9
2430	22.7	2685	22.1	2940	22.3
2435	23.0	2690	22.4	2945	21.7
2440	23.1	2695	22.7	2950	20.9
2445	23.4	2700	23.0	2955	20.2
2450	23.6	2705	23.3	2960	19.8
2455	23.6	2710	23.6	2965	19.8
2460	23.8	2715	23.9	2970	19.8
2465	23.8	2720	24.2	2975	20.0
2470	23.9	2725	24.5	2980	20.0
2475	24.1	2730	24.8	2985	20.1
2480	24.2	2735	25.1	2990	20.2
2485	24.2	2740	24.8	2995	20.4
2490	24.4	2745	24.6	3000	20.5
2495	24.4	2750	24.3	3005	20.5
2500	24.6	2755	24.0	3010	20.6
2505	24.6	2760	23.7	3015	20.7
2510	24.7	2765	23.3	3020	20.7
2515	24.7	2770	23.0	3025	20.8
2520	24.8	2775	22.6	3030	20.9
2525	24.8	2780	22.2	3035	21.0
2530	24.9	2785	22.9	3040	21.0
2535	24.9	2790	21.9	3045	21.0
2540	24.9	2795	21.6	3050	20.9
2545	25.0	2800	21.0	3055	20.8

Tiempo (s)	Nivel (%)	Tiempo (s)	Nivel (%)	Tiempo (s)	Nivel (%)
3060	20.6	3305	23.6	3560	19.9
3065	20.6	3310	23.8	3555	20.4
3070	20.5	3315	24.1	3580	20.8
3075	20.6	3320	24.4	3565	21.4
3080	20.6	3325	24.7	3570	21.9
3085	20.6	3330	24.9	3575	22.5
3090	20.7	3335	24.8	3580	23.0
3095	20.8	3340	24.6	3585	23.6
3100	20.9	3345	24.2	3590	24.0
3105	21.0	3350	23.9	3595	24.5
3110	21.2	3355	23.5	3600	25.0
3115	21.3	3360	23.0	3605	25.1
3120	21.4	3365	22.5	3610	24.8
3125	21.7	3370	22.0	3615	24.7
3130	21.9	3375	21.5	3620	24.5
3135	22.1	3380	20.9	3625	24.3
3140	22.3	3385	20.4	3630	24.2
3145	22.5	3390	19.9	3635	24.0
3150	22.8	3395	20.1	3640	23.8
3155	23.0	3400	20.3	3645	24.4
3160	23.2	3405	20.7	3650	23.6
3165	23.5	3410	20.9	3655	23.4
3170	23.6	3415	21.3	3660	23.0
3175	23.9	3420	21.6	3665	22.5
3180	24.1	3425	21.9	3670	22.0
3185	24.3	3430	22.3	3675	21.4
3190	24.8	3435	22.1	3680	20.9
3195	24.7	3440	22.6	3685	20.3
3200	25.1	3445	22.9	3690	19.8
3205	24.7	3450	23.1	3695	20.0
3210	24.5	3455	23.5	3700	20.2
3215	24.3	3460	23.8	3705	20.6
3220	24.0	3465	24.2	3710	17.1
3225	23.7	3470	24.5	3715	18.7
3230	23.3	3475	24.8	3720	18.6
3235	22.9	3480	25.0	3725	18.8
3240	22.5	3485	24.7	3730	18.9
3245	21.9	3490	24.5	3735	16.7
3250	21.4	3495	24.1	3740	18.5
3255	20.1	3500	23.9	3745	16.9
3260	20.5	3505	23.5	3750	15.5
3265	20.5	3510	23.1	3755	13.9
3270	20.9	3515	22.7	3760	12.0
3275	21.2	3520	22.3	3765	10.0
3280	21.6	3525	21.9	3770	7.9
3285	22.1	3530	21.4	3775	6.7
3290	22.4	3535	21.0	3780	3.5
3295	22.9	3540	20.8	3785	1.3
3300	23.2	3545	20.2	3790	0.0

Estos datos experimentales permiten obtener el siguiente gráfico en el cual podemos observar el desempeño del lazo de control para conseguir que el nivel de la columna de absorción se mantenga entre 20 y 25%.

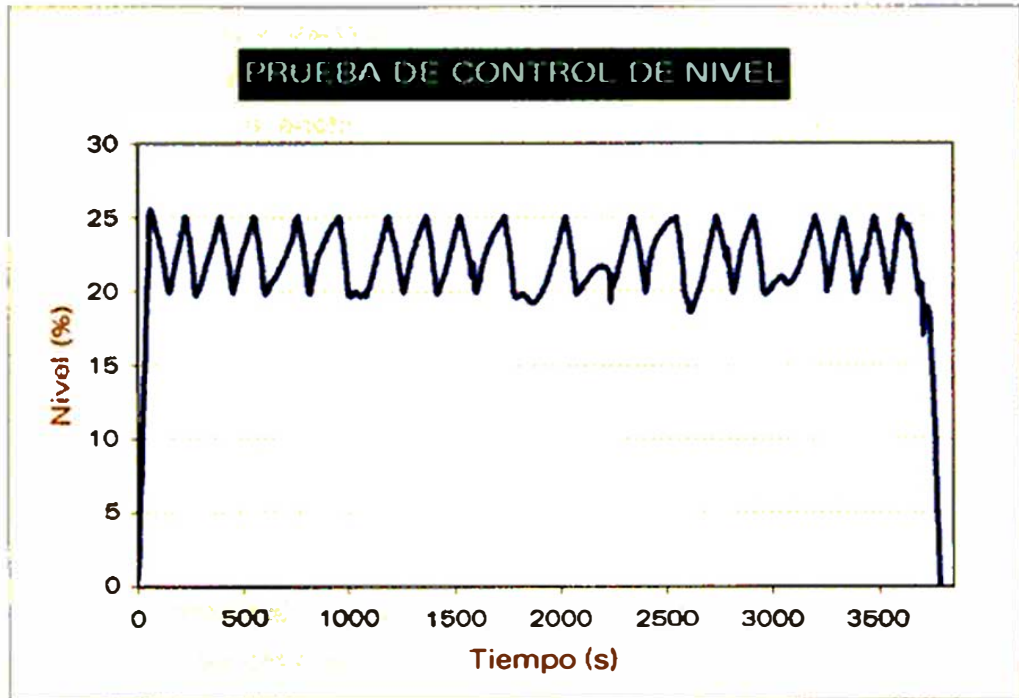


Figura 69. Performance del Controlador de Nivel

Analizando este gráfico obtenido es posible observar que el lazo de control se desempeña óptimamente impidiendo la inundación de la columna, sin embargo es necesario mencionar que las perturbaciones que pudiera tener el proceso (como por ejemplo las variaciones en los flujos de las corrientes que ingresan a la columna) podrían causar un desplazamiento del rango de control debido principalmente a la inercia del proceso; aún a pesar de esto el lazo de control tendrá un desempeño aceptable para llevar a cabo la función para la cual se estableció.

Control de temperatura

Para que un lazo de control con los modos PID pueda desempeñarse satisfactoriamente requiere de una sintonía, es decir, de una adecuada combinación de los parámetros que definen cada uno de los modos del controlador.

La forma del algoritmo PID independiente es la siguiente:

$$CV(t) = K_p e(t) + K_i \left(\int e(t) dt \right) + K_d \left(\frac{d}{dt} PV(t) \right)$$

CV(t) representa la salida del controlador o variable manipulada en función del tiempo, PV(t) es la variable de proceso y e(t) es el error o diferencia entre el set point y la variable de proceso. La acción proporcional es ponderada por un factor K_p , la acción integral por K_i y la acción derivativa por K_d , siendo K_p , K_i y K_d las ganancias proporcional, integral y derivativa respectivamente, del controlador PID.

La determinación rigurosa de estos parámetros de sintonía requeriría del formulamiento del modelo matemático del intercambiador de calor, sin embargo, esto hace necesario conocer propiedades del sistema que no son fáciles de determinar, además, siendo éste un sistema de parámetros distribuidos, el modelamiento implicaría la resolución de ecuaciones diferenciales parciales lo que haría muy engorroso el tratamiento matemático del proceso. Por estas razones la determinación se hará de manera experimental y aproximada; ésta permitirá determinar las características del proceso necesarias para establecer las ganancias del controlador PID que proporcionarán un desempeño adecuado del mismo.

Para lograr este objetivo se aplicará el método de la curva de reacción en el cual se asume para el proceso una función de transferencia de primer orden con retraso, que en el dominio de la frecuencia será:

$$\frac{PV(s)}{CO(s)} = G(s) = K \frac{e^{-T_p s}}{(1 + T_c s)}$$

Para obtener la curva de reacción en el dominio del tiempo se representa la respuesta en lazo abierto del sistema ante una perturbación tipo paso. Una línea tangente a la curva de reacción en el punto más empinado muestra cuán rápido el proceso ha reaccionado frente a una entrada tipo paso. K es la ganancia del proceso en lazo abierto y es igual a la razón entre el cambio final en la variable de proceso PV y el cambio total tipo paso en la salida del controlador CV; T_p es el tiempo de retraso del proceso o tiempo transcurrido antes de que la variable de proceso empiece a moverse y T_c es la constante de tiempo de primer orden o tiempo requerido después de transcurrido T_p para poder alcanzar el 63,2% de la variación total de PV.

- Flujo de agua : 12,7 L/min
- Presión del vapor : 50 psig
- Cambio tipo paso en la abertura de la válvula: de 20% a 100%

t(s)	T(°C)	Ab(%)	t(s)	T(°C)	Ab(%)	t(s)	T(°C)	Ab(%)
0	42.0	20	225	50.5	100	450	51.9	100
5	42.0	20	230	50.5	100	455	52.0	100
10	42.0	20	235	50.7	100	460	52.0	100
15	42.0	100	240	50.8	100	465	52.0	100
20	42.0	100	245	50.8	100	470	52.1	100
25	42.1	100	250	50.9	100	475	52.2	100
30	42.3	100	255	50.9	100	480	52.2	100
35	42.4	100	260	50.9	100	485	52.1	100
40	42.4	100	265	51.0	100	490	52.3	100
45	42.6	100	270	51.1	100	495	52.3	100
50	42.5	100	275	51.1	100	500	52.4	100
55	42.6	100	280	51.1	100	505	52.4	100
60	42.7	100	285	51.1	100	510	52.5	100
65	42.7	100	290	51.1	100	515	52.5	100
70	42.8	100	295	51.1	100	520	52.4	100
75	42.7	100	300	51.2	100	525	52.5	100
80	43.2	100	305	51.2	100	530	52.6	100
85	43.5	100	310	51.2	100	535	52.6	100
90	44.2	100	315	51.2	100	540	52.6	100
95	44.7	100	320	51.1	100	545	52.6	100
100	45.3	100	325	51.2	100	550	52.7	100
105	45.7	100	330	51.2	100	555	52.8	100
110	46.1	100	335	51.4	100	560	52.7	100
115	46.6	100	340	51.3	100	565	52.8	100
120	46.9	100	345	51.3	100	570	52.6	100
125	47.2	100	350	51.3	100	575	52.6	100
130	47.5	100	355	51.4	100	580	52.6	100
135	47.8	100	360	51.4	100	585	52.7	100
140	48.1	100	365	51.4	100	590	52.8	100
145	48.3	100	370	51.5	100	595	52.7	100
150	48.6	100	375	51.5	100	600	52.9	100
155	48.7	100	380	51.4	100	605	52.8	100
160	48.9	100	385	51.5	100	610	53.0	100
165	49.1	100	390	51.5	100	615	53.0	100
170	49.2	100	395	51.5	100	620	52.9	100
175	49.4	100	400	51.5	100	625	52.9	100
180	49.5	100	405	51.5	100	630	52.9	100
185	49.7	100	410	51.6	100	635	52.8	100
190	49.7	100	415	51.7	100	640	52.7	100
195	49.8	100	420	51.7	100	645	52.6	100
200	50.0	100	425	51.7	100	650	52.6	100
205	50.1	100	430	51.7	100	655	52.6	100
210	50.1	100	435	51.8	100	660	52.5	100
215	50.3	100	440	51.9	100	665	52.4	100
220	50.3	100	445	51.8	100	670	52.4	100

Con estos datos experimentales se construye la siguiente curva de reacción de la cual extraemos las características K, Tp y Tc del proceso, las cuales nos permitirán calcular las ganancias del controlador PID.

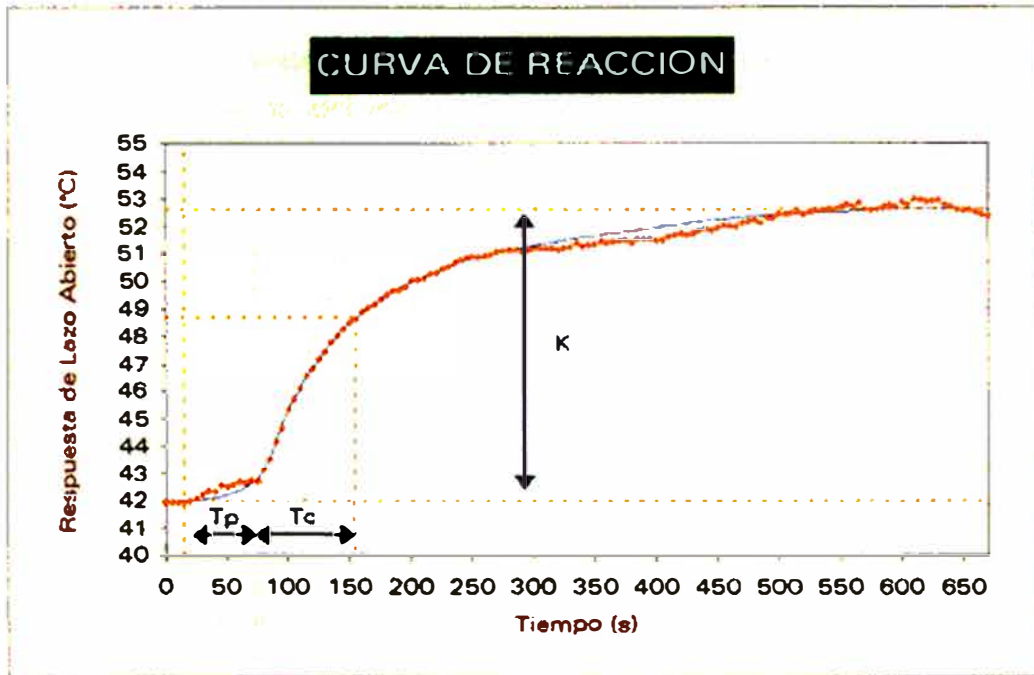


Figura 70. Curva de reacción

$$K = 0.13 \text{ } ^\circ\text{C}/\% \quad T_p = 58 \text{ s} \quad T_c = 82 \text{ s}$$

Con estos valores procedemos a calcular los parámetros de sintonía aplicando la aproximación de sintonía de Ziegler-Nichols:

Para Control Proporcional únicamente:

$$K_p = T_c / (K \cdot T_p) = 82 / (0.13 \cdot 58) = 10,9$$

Para Control Proporcional-Integral:

$$K_p = 0,9 \cdot T_c / (K \cdot T_p) = 0,9 \cdot 82 / (0.13 \cdot 58) = 9,8$$

$$K_i = 0,3 \cdot K_p / T_p = 0,3 \cdot 9,8 / 58 = 0,05$$

Para Control Proporcional -Integral-Derivativo:

$$K_p = 0,9 \cdot T_c / (K \cdot T_p) = 0,9 \cdot 82 / (0.13 \cdot 58) = 9,8$$

$$K_i = 0,5 \cdot K_p / T_p = 0,5 \cdot 9,8 / 58 = 0,08$$

$$K_d = K_i / 4 = 0,02$$

Una vez determinados estos parámetros de sintonía se procedió a comprobar la sintonía hallada a través de las siguientes pruebas.

PRUEBA 1. CONTROLADOR PROPORCIONAL

En esta prueba el controlador funcionará únicamente utilizando el modo proporcional para el cual se había determinado, aplicando la aproximación de Ziegler-Nichols, una ganancia proporcional $K_p = 10.9$.

El setpoint del controlador se fijó en 50°C , siendo inicialmente la temperatura de salida del intercambiador de 61.12°C . El flujo de líquido a calentar fue de 7.9 L/min . De esta manera se obtuvieron los siguientes datos experimentales.

t(a)	T($^{\circ}\text{C}$)	Ab(%)	t(a)	T($^{\circ}\text{C}$)	Ab(%)	t(a)	T($^{\circ}\text{C}$)	Ab(%)
0	61.12	24.62	180	53.42	0.00	360	50.05	47.30
5	61.07	29.48	185	54.02	11.66	365	50.42	38.12
10	61.02	28.94	190	54.35	26.78	370	61.05	30.56
15	60.90	29.48	195	54.52	39.74	375	51.60	19.76
20	60.92	31.64	200	54.65	50.53	380	52.12	4.10
25	60.90	34.88	205	54.42	48.92	385	52.85	0.00
30	60.82	31.64	210	54.10	39.20	390	53.30	4.10
35	60.80	30.02	215	53.62	27.32	395	53.67	19.76
40	60.77	28.40	220	53.12	14.36	400	53.77	35.96
45	60.97	31.64	225	52.40	1.40	405	53.60	46.76
50	60.87	28.94	230	51.60	0.00	410	53.32	46.22
55	60.95	0.00	235	50.72	1.40	415	52.90	33.80
60	61.12	12.20	240	50.10	16.52	420	52.40	26.24
65	61.15	31.64	245	49.80	28.94	425	51.57	11.12
70	61.10	52.70	250	49.77	45.68	430	50.95	4.10
75	60.87	66.73	255	49.82	47.84	435	50.22	0.00
80	60.40	71.60	260	49.90	46.76	440	50.02	14.36
85	59.97	67.81	265	49.85	37.58	445	50.32	34.88
90	59.47	58.63	270	50.12	23.54	450	50.67	50.00
95	58.80	41.36	275	50.40	13.82	455	51.05	56.47
100	58.07	15.44	280	50.85	0.00	460	51.77	52.70
105	57.20	0.00	285	51.47	4.64	465	52.40	47.30
110	56.17	0.32	290	52.00	23.00	470	52.95	42.98
115	55.12	17.60	295	52.57	37.58	475	53.27	28.40
120	54.05	36.50	300	53.10	49.46	480	53.47	17.60
125	52.90	50.00	305	53.40	50.53	485	53.70	3.02
130	51.87	57.55	310	53.60	42.98	490	53.67	0.00
135	50.97	55.40	315	53.77	31.10	495	53.47	1.94
140	50.00	56.47	320	53.65	21.92	500	53.10	14.36
145	49.35	54.31	325	53.37	7.34	505	52.57	29.48
150	49.15	52.70	330	53.02	0.00	510	51.95	42.44
155	49.05	47.30	335	52.55	1.40	515	51.37	47.30
160	49.72	42.44	340	51.95	13.28	520	50.60	44.06
165	50.55	34.88	345	51.22	31.10	525	50.00	39.20
170	51.47	19.76	350	50.32	42.44	530	50.02	27.86
175	52.52	5.72	355	50.12	52.15	535	50.30	13.28

Con estos datos construimos el gráfico que se muestra a continuación.

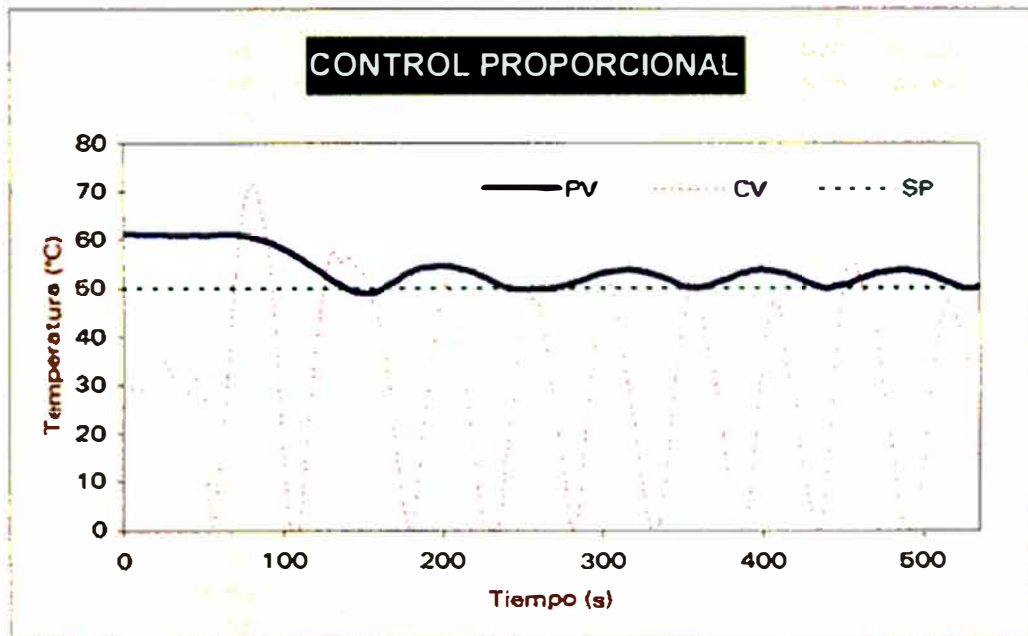


Figura 71. Performance del Controlador Proporcional

Podemos observar en este gráfico un comportamiento adecuado del lazo de control puesto que la diferencia entre el setpoint y la variable de proceso, es decir, el error, llega a tener valores pequeños, incluso llegando a ser mínima en algunos momentos, sin embargo, persiste una diferencia de aproximadamente 1,5 °C. Esta diferencia permanente u offset sugiere la utilización del modo integral para mejorar la performance del controlador. Adicionalmente es posible también observar el comportamiento de la variable manipulada, es decir, del porcentaje de abertura de la válvula de control, la cual varía de una forma periódica logrando con esto un comportamiento similar en la variable de proceso, es decir, la temperatura de salida del intercambiador de calor.

PRUEBA 2. CONTROLADOR PROPORCIONAL-INTEGRAL

Para esta prueba el controlador funcionará utilizando los modos proporcional e integral, utilizando para esto las ganancias determinadas anteriormente, es decir, $K_p = 9,8$ y $K_i = 0,05$.

El setpoint del controlador sigue fijado en 50°C, manteniendo el flujo de líquido a calentar igual a 7,9 L/min. Así se obtuvieron los siguientes datos experimentales.

t(s)	T(°C)	Ab(%)	t(s)	T(°C)	Ab(%)	t(s)	T(°C)	Ab(%)
0	61.12	24.62	180	53.42	0.00	360	50.05	47.30
5	61.07	29.48	185	54.02	11.66	365	50.42	38.12
10	61.02	28.94	190	54.35	26.78	370	51.05	30.56
15	60.90	29.48	195	54.52	39.74	375	51.60	19.76
20	60.92	31.64	200	54.65	50.53	380	52.12	4.10
25	60.90	34.88	205	54.42	48.92	385	52.85	0.00
30	60.82	31.64	210	54.10	39.20	390	53.30	4.10
35	60.80	30.02	215	53.62	27.32	395	53.67	19.76
40	60.77	28.40	220	53.12	14.36	400	53.77	35.96
45	60.97	31.64	225	52.40	1.40	405	53.60	46.76
50	60.87	28.94	230	51.60	0.00	410	53.32	46.22
55	60.95	0.00	235	50.72	1.40	415	52.90	33.80
60	61.12	12.20	240	50.10	16.52	420	52.40	26.24
65	61.15	31.64	245	49.80	28.94	425	51.57	11.12
70	61.10	52.70	250	49.77	45.68	430	50.95	4.10
75	60.87	66.73	255	49.82	47.84	435	50.22	0.00
80	60.40	71.60	260	49.90	46.76	440	50.02	14.36
85	59.97	67.81	265	49.85	37.58	445	50.32	34.88
90	59.47	58.63	270	50.12	23.54	450	50.67	50.00
95	58.80	41.36	275	50.40	13.82	455	51.05	56.47
100	58.07	15.44	280	50.85	0.00	460	51.77	52.70
105	57.20	0.00	285	51.47	4.64	465	52.40	47.30
110	56.17	0.32	290	52.00	23.00	470	52.95	42.98
115	55.12	17.60	295	52.57	37.58	475	53.27	28.40
120	54.05	36.50	300	53.10	49.46	480	53.47	17.60
125	52.90	50.00	305	53.40	50.53	485	53.70	3.02
130	51.87	57.55	310	53.60	42.98	490	53.67	0.00
135	50.97	55.40	315	53.77	31.10	495	53.47	1.94
140	50.00	56.47	320	53.65	21.92	500	53.10	14.36
145	49.35	54.31	325	53.37	7.34	505	52.57	29.48
150	49.15	52.70	330	53.02	0.00	510	51.95	42.44
155	49.05	47.30	335	52.55	1.40	515	51.37	47.30
160	49.72	42.44	340	51.95	13.28	520	50.60	44.06
165	50.55	34.88	345	51.22	31.10	525	50.00	39.20
170	51.47	19.76	350	50.32	42.44	530	50.02	27.86
175	52.52	5.72	355	50.12	52.15	535	50.30	13.28

Con estos datos es posible construir el gráfico que se muestra a continuación en el cual podemos constatar la efectividad que el modo integral le confiere al controlador pues según la curva que representa el comportamiento de la variable de proceso es posible observar la eliminación del offset que se presentaba utilizando únicamente el modo proporcional y ahora el error, o diferencia entre el setpoint y la variable de proceso, se hace mínimo. Para poder alcanzar este objetivo la variable manipulada ha tenido que mantenerse en valores bajos menores al 10% y de esta forma en menos de 7 minutos ha permitido que la variable de proceso pueda acercarse bastante al punto de control que era de 50°C.

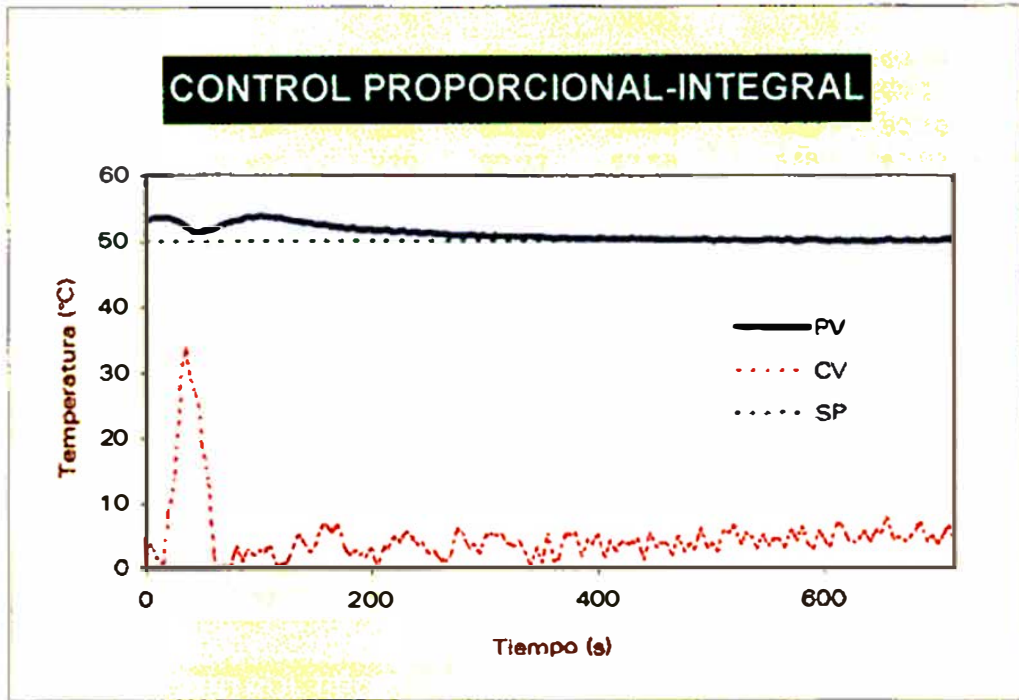


Figura 72. Performance del Controlador Proporcional-Integral

PRUEBA 3. CONTROLADOR PID (cambios en la carga)

Utilizamos para esta prueba un controlador proporcional-integral-derivativo con las ganancias ya determinadas anteriormente según el criterio de Ziegler-Nichols, es decir, $K_p = 9,8$; $K_i = 0,08$ y $K_d = 0,02$.

Para esta prueba se realizó un cambio tipo paso en la carga, variando el flujo de líquido a calentar de 7,9 a 15,0 L/min, manteniendo el setpoint siempre en 50°C siendo la temperatura inicial de 55 °C. De esta manera es que se obtuvieron los siguientes resultados experimentales.

t(s)	T(°C)	Ab(%)	t(s)	T(°C)	Ab(%)	t(s)	T(°C)	Ab(%)
0	55.00	3.20	60	51.62	2.75	120	49.70	66.18
5	52.95	12.24	65	51.85	0.00	125	49.57	69.34
10	52.87	20.74	70	52.07	0.50	130	49.30	67.74
15	52.55	30.14	75	52.32	0.50	135	49.12	70.53
20	52.00	38.98	80	52.62	6.20	140	49.02	70.83
25	51.40	37.44	85	52.72	12.79	145	48.92	70.58
30	50.82	30.96	90	52.77	25.51	150	49.02	72.69
35	50.37	27.57	95	52.30	29.65	155	48.95	70.31
40	50.35	17.43	100	51.80	42.72	160	49.00	69.80
45	50.70	10.36	105	51.20	48.08	165	49.07	68.70
50	50.92	0.25	110	50.82	56.37	170	49.20	71.41
55	51.12	1.24	115	50.27	61.18	175	49.30	66.19

t(s)	T(°C)	Ab(%)	t(s)	T(°C)	Ab(%)	t(s)	T(°C)	Ab(%)
180	49.50	66.71	255	50.22	55.15	330	50.15	51.61
185	49.36	67.67	260	50.20	65.79	335	50.22	55.37
190	49.47	65.13	265	50.22	64.46	340	50.10	53.30
195	49.52	62.90	270	50.32	62.68	345	50.07	52.71
200	49.62	61.15	275	50.35	65.31	350	49.97	54.55
205	49.65	63.73	280	50.27	61.02	355	50.00	53.50
210	49.75	60.83	285	50.25	61.19	360	49.95	51.47
215	49.82	58.83	290	50.37	64.31	365	50.10	56.37
220	49.87	59.77	295	50.30	61.10	370	49.95	55.80
225	49.92	57.17	300	50.20	64.75	375	50.02	52.32
230	50.10	57.00	305	50.30	62.04	380	50.15	55.21
235	50.17	58.76	310	50.17	64.27	385	50.00	52.25
240	50.20	54.59	315	50.22	63.58	390	49.97	53.63
245	50.10	54.31	320	50.20	63.40	395	50.10	52.63
250	50.27	56.53	325	50.10	61.78	400	50.05	51.59

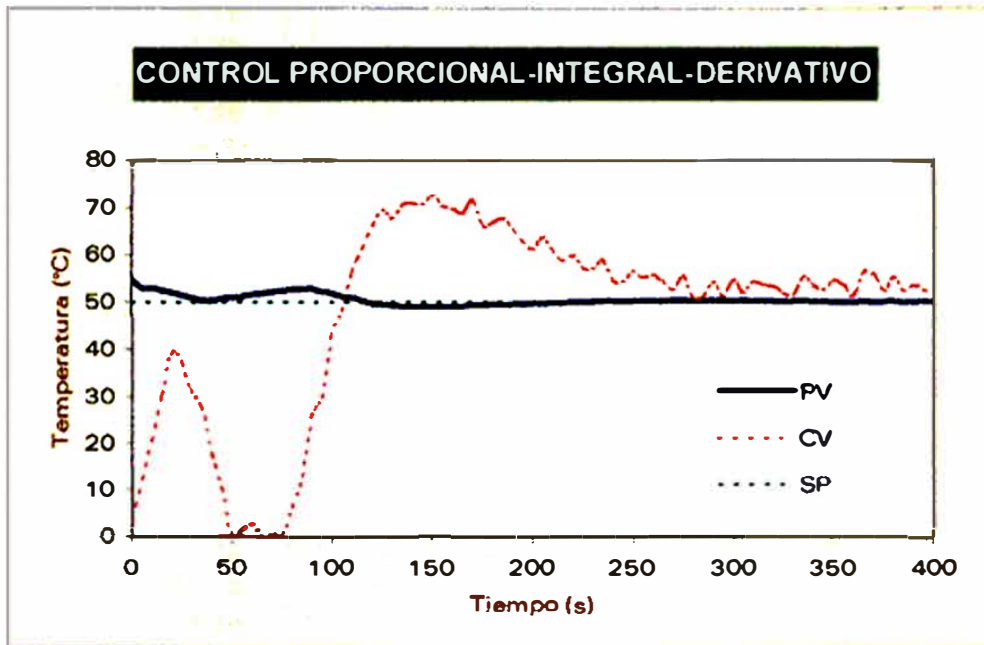


Figura 73. Performance del Controlador PID (cambios en la carga)

Respecto a este gráfico es importante resaltar la eficacia del controlador pues en menos de 4 minutos ha permitido contrarrestar el efecto en la variación de la carga permitiendo obtener temperaturas muy próximas al setpoint en un corto lapso de tiempo. Además debemos notar también que la variación de la variable manipulada no es tan marcada como en los dos casos anteriores en los que las oscilaciones eran muy amplias y numerosas, pues ahora con solamente dos oscilaciones se alcanzan ya valores bastante aceptables para la variable de proceso respecto al setpoint. De esta forma se puede apreciar la excelente performance de este tipo de controladores.

PRUEBA 4. CONTROLADOR PID (cambios en el setpoint)

Esta prueba consiste en probar la eficacia de este tipo de controlador en un lazo de control en el cual se van a efectuar cambios en el setpoint. Los parámetro de sintonía serán los mismos que los que se utilizaron en la prueba anterior, vale decir, $K_p = 9,8$; $K_i = 0,08$ y $K_d = 0,02$.

Esta vez el flujo de líquido fue de 11,2 L/min siendo la temperatura inicial de 54,72°C, entonces inmediatamente se procedió a variar el setpoint de 55 a 45°C observándose el siguiente comportamiento tanto de la variable de proceso como de la variable manipulada según los siguientes datos experimentales.

t(s)	T(°C)	Ab(%)	t(s)	T(°C)	Ab(%)	t(s)	T(°C)	Ab(%)
0	54.72	56.19	180	46.40	11.80	320	45.32	6.28
5	54.57	1.75	165	46.20	12.53	325	45.15	9.40
10	54.62	0.75	170	46.10	10.48	330	45.27	9.12
15	54.47	1.25	175	46.17	13.46	335	45.15	9.34
20	54.32	0.00	180	45.92	12.67	340	45.10	8.60
25	53.87	0.52	185	45.77	12.46	345	45.22	6.86
30	53.42	2.98	190	45.92	15.81	350	45.17	5.11
35	52.77	0.60	195	45.72	11.31	355	45.15	4.90
40	52.40	4.35	200	45.82	11.31	360	45.07	6.64
45	51.60	8.58	205	45.65	13.29	365	45.10	6.93
50	50.85	15.87	210	45.75	10.44	370	45.05	7.27
55	50.05	24.13	215	45.62	10.08	375	45.17	8.99
60	49.60	25.60	220	45.72	9.22	380	45.00	5.92
65	49.55	22.60	225	45.65	11.84	385	45.10	5.75
70	49.15	20.00	230	45.60	11.04	390	45.02	8.05
75	49.00	19.63	235	45.62	8.81	395	45.12	6.99
80	49.02	14.80	240	45.50	11.47	400	45.02	6.84
85	48.87	12.72	245	45.45	10.79	405	45.07	9.69
90	48.62	13.26	250	45.65	6.63	410	45.10	5.65
95	48.57	9.49	255	45.47	6.41	415	44.95	6.06
100	48.47	5.91	260	45.45	7.76	420	45.10	8.44
105	48.32	7.42	265	45.65	9.10	425	44.95	6.43
110	48.07	2.16	270	45.35	10.47	430	45.00	9.79
115	47.95	5.60	275	45.32	6.44	435	45.02	9.74
120	47.72	3.28	280	45.25	6.47	440	44.97	8.72
125	47.55	5.70	285	45.30	9.95	445	45.05	9.70
130	47.45	4.36	290	45.40	7.05	450	45.07	9.70
135	47.37	4.30	295	45.25	9.04	455	44.97	8.70
140	47.05	4.92	300	45.40	6.69	460	44.87	6.21
145	46.97	8.80	305	45.35	8.26	465	45.07	7.71
150	46.77	10.41	310	45.32	6.90	470	45.00	8.67
165	46.67	10.28	315	45.27	6.10	475	45.02	8.73

Con estos datos nos permiten construir el siguiente gráfico.

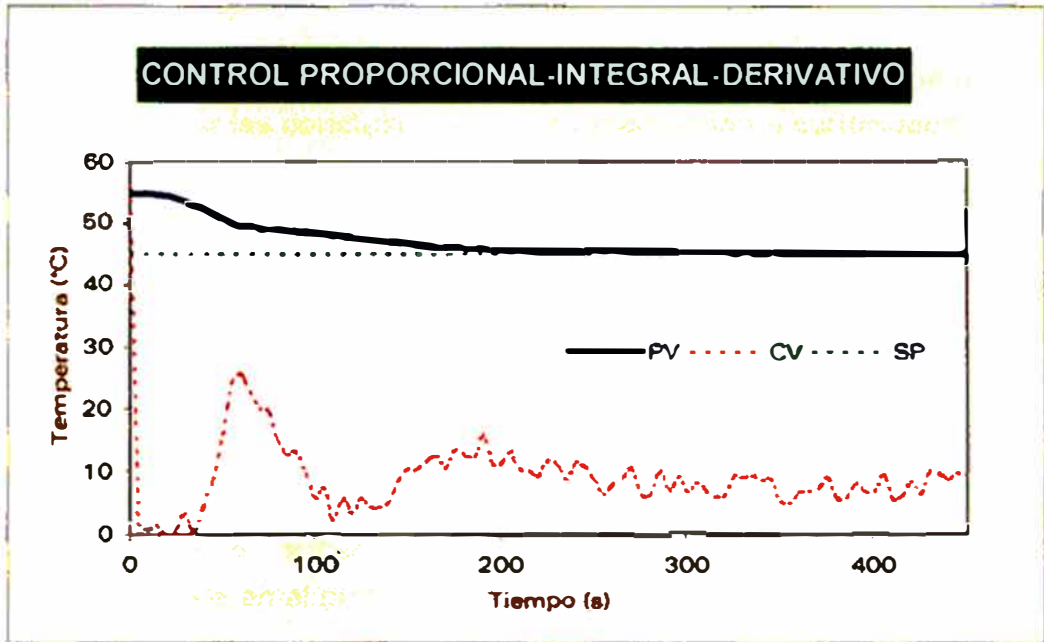


Figura 74. Performance del Controlador PID (cambios en el set point)

En este gráfico podemos observar un comportamiento similar del lazo de control al de la prueba anterior solamente que ahora la variación en el setpoint es considerable respecto a la capacidad de calentamiento del sistema, sin embargo, el controlador PID se desempeña nuevamente de una manera eficaz y permite un control bastante efectivo de la variable de proceso. Además como en la prueba anterior, la variable manipulada inicialmente sufre variaciones de mayor amplitud pero a medida que nos acercamos más al punto de control estas variaciones disminuyen de amplitud haciéndose cada vez más pequeñas.

CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos a partir de estas pruebas experimentales es posible establecer las conclusiones que se mencionan a continuación.

Respecto a las unidades automatizadas:

Módulo de Flujo de Fluidos

- *El tipo de control que es necesario en esta unidad es el control manual.* Debido al procedimiento de uso de esta unidad, el flujo de líquido –que es la variable más importante en este caso- deberá ser variado constantemente abriendo o cerrando la válvula manual que existe en la descarga de la bomba, pero su valor o magnitud será registrado o supervisado a través de la aplicación SCADA desarrollada en el presente trabajo.
- *La precisión en la medición del flujo será de ± 0.1 L/min.* El controlador arroja una señal digital que varía de 0 a 32000, según sea la corriente en mA que proviene del transmisor de presión diferencial D/P CELL (que varía de 0 a 4 mA), sin embargo, para poder calibrar este transmisor se ha utilizado un medidor de flujo tipo contómetro, por lo tanto, la precisión de la señal de flujo obtenida por medio del sistema de control no podrá ser mayor que la obtenida en el contómetro, es decir ± 0.1 L/min.
- *El arranque de la bomba será manual y podrá hacerse desde una PC o desde un panel de control.* El sistema de control se ha configurado de tal manera que sea que haya o no una computadora encendida la bomba se pueda encender o apagar manualmente, sin embargo, para poder aprovechar las ventajas del sistema SCADA es imprescindible el uso de una computadora.

Columna de Absorción/Desorción

- *El modo de control aplicado en esta unidad es el control on-off.* Para esto se ha instalado en primer lugar un sistema de medición de nivel y en segundo lugar un sistema compuesto de una bomba pequeña y una válvula solenoide como elemento de control final, de tal modo que cuando el nivel se encuentre fuera de los límites de control – configurados en el controlador al cual van conectados los elementos anteriormente mencionados- entonces el sistema descarga o no descarga según sea necesario.

- *Antes de utilizar esta unidad deberá tenerse cuidado con los valores establecidos para los parámetros de operación.* El sistema de control está diseñado de tal manera que a través de un lazo de control pueda regularse el nivel del líquido en el interior de la columna, sin embargo, controlar esta variable no significa que la columna operará eficientemente, pues para ello se requiere que se hayan analizado otros factores que el sistema implantado no pretende controlar. Por ejemplo, de no fijarse correctamente los flujos de gas y líquidos correctamente puede llegarse al punto de carga o incluso al punto de inundación, hechos que no dependen necesariamente del nivel de líquido dentro de la columna.
- *El lazo de control opera con dos setpoint, uno para el nivel mínimo y otro para el nivel máximo de control.* Debido a la configuración del sistema de control, el nivel podrá variar dentro de un rango establecido en la aplicación SCADA que se ha desarrollado. Estos niveles se expresan en términos de porcentaje y están definidos respecto al rango de medición con que se ha calibrado el sistema de medición de nivel.
- *El nivel se mide indirectamente en otro tanque conectado a la columna haciendo uso del principio de vasos comunicantes.* La columna y el tanque mencionado se encuentran sometidos a la misma presión de gas, por lo tanto el nivel de líquido en ellos deberá ser el mismo. Sin embargo, si bien es cierto persiste una ligera diferencia ésta no es significativa y puede superarse a través de un afinamiento del lazo de control.

Intercambiador de Calor

- *La temperatura de salida es regulada por un lazo de control feedback utilizando un controlador PID.* Según las pruebas realizadas y con los parámetros de sintonía determinados de modo experimental, este lazo de control tiene un desempeño muy adecuado a los cambios o perturbaciones más frecuente a los que pueda estar sometida esta unidad las cuales pueden ser: los cambios en la presión del vapor de calentamiento debido al constante encendido y apagado del caldero, la variación del flujo de líquido a calentar, y las fugas de vapor que ocurren debido al deterioro natural de esta unidad con el transcurrir del tiempo.

- *La sintonía del controlador PID se hizo de modo empírico utilizando el criterio de Ziegler-Nichols. Tanto las perturbaciones como los elementos del lazo de control son considerados al momento de determinar de manera experimental la función de transferencia aproximada para el intercambiador de calor. La curva de reacción así obtenida nos permite determinar la capacidad de calentamiento de la unidad y de esta manera el lazo de control alcanzará un desempeño bastante aceptable como lo demuestran los resultados experimentales obtenidos.*

Respecto al sistema de control:

- *El sistema de control implementado está diseñado de tal manera que puede crecer de acuerdo a la cantidad de dispositivos que puedan incorporarse al mismo.*
- *La supervisión del laboratorio puede efectuarse desde cualquier computadora conectada a la red local de la universidad.*
- *Cada nuevo controlador que quiera incorporarse a la red requiere de una dirección IP, la cual debe ser proporcionada por el administrador de la red local de la UNI.*
- *Para que el sistema de control pueda ser aprovechado en toda su capacidad será necesario un proceso de entrenamiento que incluya a todas las personas involucradas con la utilización del mismo pues las redes industriales no podrán operar eficientemente si los encargados de administrarla tienen desconocimiento de algunas funciones importantes de las mismas.*

Capítulo VIII

Estudio Económico

Este estudio de tipo económico establecerá el costo que implica la automatización del Laboratorio de Ingeniería Química, para lo cual se indicarán los costos de los dispositivos que intervienen en el sistema de control.

SENSORES

Sensor de temperatura RTD PT100	\$ 300
Placa de orificio 1/2" Acero inoxidable 316	\$ 100
Sistema de Medición de Nivel	\$ 1200

TRANSMISORES

Transmisor de temperatura Smar Modelo TRX/TRY	\$ 600
D/P CELL Rango de medición: 0-288 mbar	\$ 900

CONTROLADORES

PLC01 (90-30)	\$ 2265
• Base : Rack 10 slots Modelo 311	\$ 150
• Fuente de Poder IC693PWR321	\$ 225
• CPU IC693CPU331	\$ 680
• Módulo E/S discretas IC693MDR390.....	\$ 215
• Módulo Ethernet IC693CMM321.....	\$ 995
PLC02 (90-30)	\$ 2834
• Base : Rack 5 slots Modelo 311	\$ 134

• Fuente de Poder IC693PWR321	\$ 225
• CPU IC693CPU331	\$ 680
• Módulo E/S análogas IC693ALG442	\$ 800
• Módulo Ethernet IC693CMM321	\$ 995
PLC03 (VERSAMAX).....	\$ 1585
• Fuente de Poder IC200PWR001	\$ 70
• CPU IC200CPU001	\$ 185
• Soporte E/S tipo caja	\$ 85
• Soporte E/S tipo barrera.....	\$ 85
• Módulo E/S discretas IC200MDD847	\$ 360
• Módulo E/S análogas IC200ALG430	\$ 800

ELEMENTOS DE CONTROL FINAL

Válvula de control + accesorios	\$ 3000
Bomba de descarga (C.Absorción).....	\$ 30
Válvula de descarga (C.Absorción)	\$ 150

SOFTWARE

VersaPro Windows	\$ 650
Cimplicity	\$ 2000

Otros

2 Cables par trenzado AAUI Adaptador Ethernet	\$ 382
Mini-convertidor con cable (RS-485/RS-232).....	\$ 250

COSTO TOTAL DEL SISTEMA DE CONTROL..... \$ 16246

Referencias Bibliográficas

1. "Fundamentals of chemical process dynamics", John L. Guy, Chemical Engineering, Jun 29, 1981.
2. "How to build an Industrial Network", Jim Montague, Chemical Engineering, Oct 2000.
3. Manual del Ingeniero Mecánico-Marks, T.Baumeister, Vol I, pags. 3-63 y 3-64, 2da edición en español, Mc Graw Hill .
4. Control de procesos, Alfred Roca Cusidó, pag. 343-344, Ediciones UPC, S.L. Barcelona, España.
5. Control automático de procesos, Smith-Corripio, pag. 674-675, Editorial Limusa, 1996.
6. Process Control, Thomas E. Marlin, pag. 253-255, Editorial Mc Graw Hill, 1995.
7. Sistemas de Control de Procesos, Tomo II, F.G: Shinskey, pag. 502-511, Editorial Mc Graw Hill, 1996.
8. Procesos de Transferencia de Calor, Donald Kern, pag.132. Compañía Editorial Continental, 1986.
9. "Control de Intercambiadores de Calor", José Acedo Sánchez, Ingeniería Química, Agosto 1991.
10. "Examining the Fundamentals of PID Control", Vance J. VanDoren, Control Engineering, Feb 1996.
11. "Basics of Proportional-Integral-Derivative Control", Vance J. VanDoren, Control Engineering, Mar 1998.
12. "Process Controller Tuning Guidelines", Dave Harrold, Control Engineering, Ago 1999.
13. "Especificaciones de módulos E/S Serie 90", Manuales Infolink Volumen PLC2000V1, GE Fanuc Automation.
14. "Manual de usuarios Ethernet TCP/IP Serie 90", Manuales Infolink Volumen PLC2000V1, GE Fanuc Automation.
15. "Manual de referencia de Controladores Programables Serie 90", Manuales Infolink Volumen PLC2000V1, GE Fanuc Automation.

16. "Comunicaciones Ethernet TCP/IP para la serie 90", Manuales Infolink Volumen PLC2000V1, GE Fanuc Automation.
17. "Manual del usuario Versamax: módulos, fuentes de poder y soportes", Manuales Infolink Volumen PLC2000V1, GE Fanuc Automation.
18. "Manual de usuario PLC Versamax", Manuales Infolink Volumen PLC2000V1, GE Fanuc Automation.
19. "Manual de usuario : control con Versamax" Manuales Infolink Volumen PLC2000V1, GE Fanuc Automation.
20. "Versamax E/S y Redes Industriales", manual on-line, GE Fanuc Automation.
21. "Cimplicity HMI - Sistema Base: Manual del Usuario", GE Fanuc Automation.
22. "Cimplicity HMI - CimEdIt: Manual de Operación", GE Fanuc Automation.