



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

CONTROL DE UNA PLANTA PILOTO INDUSTRIAL EMPLEANDO UN SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO (SCD)

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE: INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA AREA ELECTRICA ELECTRONICA PRESENTAN: FELIX ALEJO AVILES GARDUÑO ALFREDO VAZQUEZ BENITEZ

ASESOR DE TESIS: ING. RICARDO GARIBAY JIMENEZ

284373

MEXICO, D.F.

2000





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Este trabajo lo dedico a Mi Hermana Soledad, que ha sido y será la columna de mi existencia, por considerarme como un hijo y creer en mí, finalmente su esfuerzo no será en vano.

A Faustino (Q.E.P.D.), a mis hermanos, por el apoyo incondicional brindado durante todos estos años.

A mis padres (Q.E.P.D.), por el maravilloso "Don de la vida".

A Tino y Pati por impulsarme en los momentos en que el fin de la carrera parecía inalcanzable.

A mis compañeros y amigos, por hacer de esta aventura una experiencia.

No encuentro las palabras para agradecer a todas las personas que de alguna manera han influido en mi vida, y un "gracias" no sería suficiente, sin embargo no existe otra palabra para expresarlo. Así que ,
GRACIAS a todos.

Félix Alejo Avilés Garduño

En memoria a mi Padre

Renato Vázquez Ríos,

A mi Madre :

Que ha sabido cuidar de mi e inculcar bases fuertes para poder llegar hasta aquí "Hoy" y seguir adelante hasta donde quiera "mañana".

A mis hermanos:

Renato; por su ejemplo

Fernando; por su apoyo.

Antonio; por caminar siempre a mi lado.

Teresa; por sus ánimos.

Martha; por su cuidado.

Alberto; por su compañía.

Jesús; por su cariño.

además, por tenderme la mano y concederme un poco de su tiempo cuando yo lo necesite.

A Graciela,

por su paciencia, apoyo y ánimo para finalizar este trabajo y poder empezar muchos más..

y a todos aquellos que han acudido en mi ayuda (amigos, compañeros, profesores, familiares...).

"MUCHAS GRACIAS"

Ya que por todos y para todos es el presente trabajo.

Alfredo Vázquez Benítez.



Índice

1. Proceso a controlar, equipo y software de control	1
1.1 Proceso a controlar	1
1.2 Equipo	5
1.2.1 Computadora personal	5
1.2.2 UPL (Unidad de Procesamiento Local)	6
1.2.3 Planta hidráulica	6
1.2.4 Placa de conexiones	12
1.3 Software de control	12
2. Descripción básica y global del SCD	16
2.1 Antecedentes	16
2.2 Sistemas de control distribuido	19
2.3 Sistema Micromax 2	24
3. Variables medidas en el proceso, transmisores y convertidores, adquisición en el SCD	28
3.1 Variables medidas en el proceso	28
3.2 Transmisores	28
3.3 Convertidores	33
3.4 Adquisición en el SCD	37
4. Configuración del software de adquisición, control y automatización	43
4.1 Introducción	43

4.1.1 Adquisición de datos	44
4.1.2 Control	45
4.1.3 Lógica	46
4.1.4 Recetas	46
4.2 Comunicación	46
4.3 Configuración	47
4.3.1 Configuración de los datos de entrada/salida y funciones	53
4.3.2 Programación de los rangos analógicos	54
4.3.3 Programación de las entradas analógicas	55
4.4 Configuración de las funciones de operación	57
4.4.1 Configuración de los Pseudopuntos	57
4.4.2 Reglas para los PP	59
4.4.3 Procedimiento de entrada de los datos a la tabla de PP	60
4.4.4 Descripción de los PP desarrollados para el presente trabajo	61
4.4.5 Uso de la calculadora en la pantalla de PP	63
4.5 Uso de las funciones preprogramadas	64
4.6 Programación de la función de control	64
4.7 PLC funciones lógicas.	70
4.8 Programación de las salidas de control analógicas	70
4.8.1 Elementos de la pantalla de configuración de salidas analógicas	70

5. Configuración del software de operación, gráficas de tendencias, mímicos dinámicos y reportes	74
5.1 Configuración del software de operación. DATAVUE	74
5.1.1 Configuración de la pantalla de edición	74
5.1.2 Configuración de las comunicaciones	75
5.1.3 Configuración de la base de datos	77
5.2 Gráficas de tendencias	81
5.2.1 Creación de una gráfica de tendencias	85
5.2.2 Registro de la gráfica	89
5.3 Mímicos dinámicos	90
5.3.1 Elaboración de un mímico dinámico	92
5.4 Reportes	95
5.5 Hotspots	96
6. Resultados y conclusiones	100
Bibliografía	

1. Proceso a controlar, equipo y software de control.

1.1 Proceso a controlar.

El proceso a controlar consiste en una planta hidráulica de tipo industrial cuya operación requiere de agua y aire como fluidos de proceso. La planta dispone de válvulas neumáticas de control (actuadores y elementos finales de control), bombas, posicionadores e instrumentación electrónica compatible con los estándares de la industria.

El agua se almacena en los recipientes de carga (tanques FA01 y FA02).

El aire es suministrado por un compresor y es de vital importancia para el funcionamiento del sistema, ya que los actuadores (válvulas neumáticas y válvulas solenoides) lo necesitan para operar.

La figura 1.1 muestra los elementos que constituyen la planta y en la tabla 1-1 se lista cada uno de estos elementos.

Mediante la alineación y bloqueo de las válvulas solenoides se pueden llevar a cabo diferentes esquemas de control como son: control ON/OFF, control proporcional, control proporcional integral PI, control proporcional integral derivativo PID, control en cascada y el control de relación.

Las variables controladas son los flujos de transferencia y de recirculación, y los niveles de los tanques FA01 y FA02.

Los flujos son producidos por la bomba BA01. El flujo de transferencia es de FA01 a FA02, y el flujo de recirculación de FA01 a FA01.

Para reponer el agua de FA01 se accionara la bomba BA02.

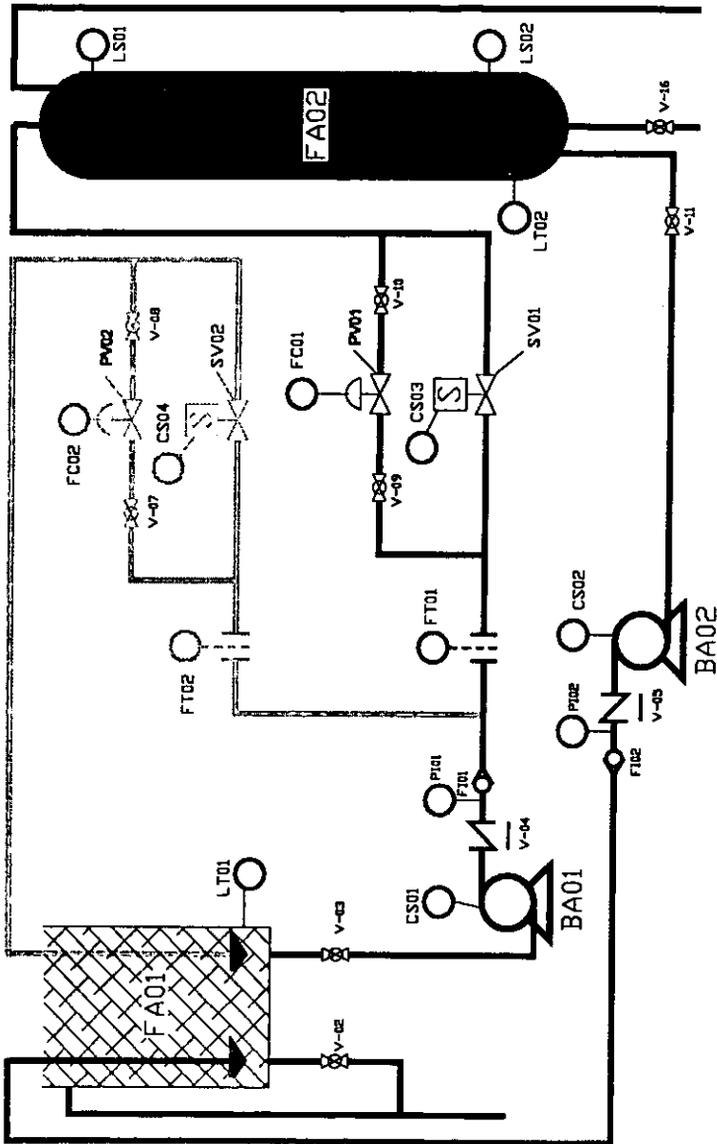


FIGURA 1.1 PLANTA PILOTO INDUSTRIAL.

El esquema de control desarrollado en la presente tesis consiste en un control de relación de flujos. La figura 1.2 muestra la planta con este esquema de control.

El factor de relación (FR) es proporcionado por un relevador de relación o unidad multiplicadora. Esta unidad puede estar ubicada entre el transmisor de flujo a controlar (flujo de recirculación) y el punto de operación del controlador de flujo (flujo de transferencia). Se desea controlar el flujo de recirculación con relación al flujo de transferencia.

El factor de relación esta dado por:

$$FR = \text{flujo de recirculación} / \text{flujo de transferencia.}$$

Por lo que:

$$\text{flujo de recirculación} = \text{flujo de transferencia} \times FR$$

BA-01	Bomba centrífuga de 1 HP trifásica.	FT-01	Transmisor de flujo que consta de:
BA-02	Bomba centrífuga de 1/2 HP trifásica		Placa de orificio (1", 150#, d = 0.735", inox. 316).
FA-01	Recipiente de carga abierto, de acero		Transmisor de presión.
FA-02	Recipiente de carga cerrado, de acero		Sensor de presión.
PV-01	Válvula de presión para control	FT-02	Transmisor de flujo que consta de:
PV-02	Válvula de presión para control		Placa de orificio (1", 150#, d = 0.735", inox. 316).
FC-01	Convertidor de corriente-presión		Transmisor de presión.
FC-02	Convertidor de corriente-presión		Sensor de presión.
S	Actuador solenoide	LT-01	Transmisor de nivel compuesto por:
SV	Válvula solenoide (2 partes)		Transmisor de presión
PI-01	Manómetro de Bourdon	LT-02	Sensor de presión.
PI-02	Manómetro de Bourdon		Transmisor de nivel compuesto por:
FI-01	Rotámetro		Transmisor de presión
V-01 A V-17	Válvula de bloqueo		Sensor de presión.

TABLA 1-1. ELEMENTOS DE LA PLANTA PILOTO.

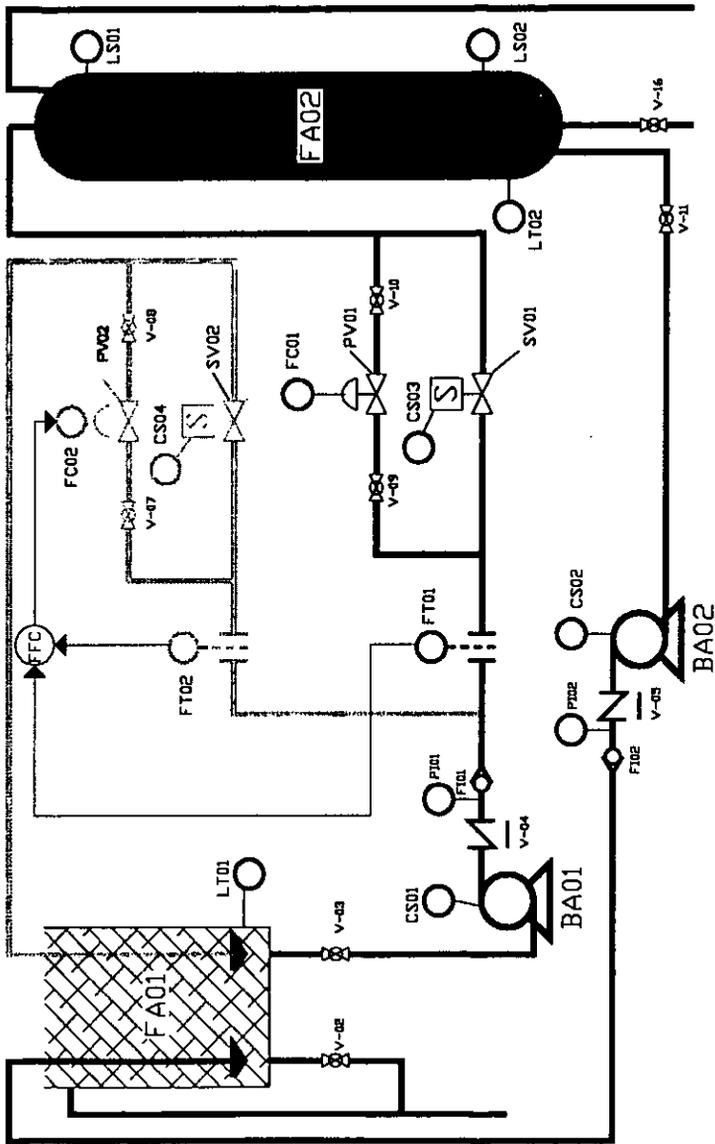


FIGURA 1.2. CONTROL DE RELACIÓN.

1.2 Equipo

El equipo que compone todo el sistema es el siguiente:

Una computadora personal (PC).

Una unidad de procesamiento local UPL (Local Process Unit LPU).

La planta piloto industrial del Laboratorio de Control de Procesos.

Una placa de conexiones.

Un gabinete.

1.2.1. Computadora personal.

La computadora a utilizar debe contar con los siguientes requerimientos mínimos para ejecutar los programas de control:

- Procesador 80386
- Dos Megabytes de memoria
- Disco duro de 20 Megabytes con 5 Mb libres
- Uno o más floppy disk drives
- MS-DOS versión 3.0 o superior
- Microsoft Windows 3.0 o superior
- Un puerto de comunicaciones RS-422 o RS-485.
- Un puerto paralelo.

1.2.2. UPL (Unidad de Procesamiento Local).

La unidad de procesamiento local UPL, modulo MICROMAX 2 de la marca Leeds & Northrup es la parte principal del sistema de control distribuido SCD y esta formada por el siguiente hardware.

- Una tarjeta con la unidad central de procesamiento CPU.
- Dos puertos de comunicaciones.
- Una tarjeta de 15 entradas analógicas
- Una tarjeta de 8 entradas/7 salidas binarias
- Una tarjeta de 15 entradas binarias
- Una tarjeta de 10 salidas binarias por relevador.
- Una tarjeta de 4 salidas analógicas de control del tipo de ajuste de corriente (CAT Current Adjustment Type)

1.2.3. Planta hidráulica

La planta posee válvulas neumáticas de control, posicionadores e instrumentación electrónica compatible con los estándares de la industria.

Para gasto o flujo se utilizan dos rotámetros y 2 placas de orificio; cada placa incluye un transmisor de presión diferencial, el flujo puede modificarse mediante 2 válvulas solenoides, para los 2 actuadores que regulan el flujo en la planta se emplean 2 convertidores corriente-presión que los enlazan con sus respectivos controladores electrónicos.

Para nivel se utiliza un transmisor de presión diferencial en el tanque abierto, que determina el nivel del agua dentro del tanque midiendo la presión que produce el

líquido. Para el tanque cerrado hay 2 interruptores, uno de nivel bajo y otro de nivel alto, que se activan cuando el agua alcanza uno de estos niveles.

Hay dos indicadores manométricos, tipo tubo de Bourdon que indican la presencia de flujo midiendo presión en las tuberías en la descarga de las bombas.

Para el control del proceso se utilizan controladores electrónicos del tipo CAT.

Rotámetro.

Es un medidor de flujo o gasto del tipo de área variable. Consiste en un tubo de vidrio que posee una ligera conicidad, contiene un flotador de dimensiones específicas que se mueve libremente y obstrucción al flujo. Al cruzar el flujo por el rotámetro el flotador ocupa una posición vertical determinando un equilibrio de fuerzas actuantes sobre él; su propio peso que es una fuerza descendente que se contrarresta por la fuerza de flotación que el fluido ejerce sobre el cuerpo sumergido, y por la fuerza de arrastre producida por la velocidad del fluido, el cambio de la velocidad se traduce en cambio de posición del flotador, como la caída de presión es constante, el gasto es proporcional al área de conducción. El tubo del medidor tiene una escala lineal calibrada en unidades de flujo o gasto, por lo que la medición se obtiene por medio de la posición del flotador con respecto a la escala.

Placa de Orificio.

Es el elemento primario de medición de flujo, consiste en una placa de metal delgada con un orificio, instalada transversalmente en un tramo recto de una

tubería por medio de bridas; en la tubería se coloca una toma de presión diferencial antes y después de la placa para medir la presión diferencial y calcular su relación con el flujo.

Transmisor de Presión Diferencial

Es del tipo inteligente de 2 hilos, genera una señal estándar de corriente de 4 a 20 mA proporcional o caracterizada a la presión diferencial que se le aplique. El transmisor que se utiliza en esta planta es el LD301 que utiliza como técnica de sensado una capacitancia, mejorada por electrónica basada en microprocesadores. El transmisor consta de dos partes: una celda de variación de capacitancia (sensor) y el circuito electrónico. El diafragma de sensado se localiza en el centro de la celda de capacitancia; éste se desvía por efecto de la diferencia entre las presiones aplicadas a los lados izquierdo y derecho del sensor, las presiones son directamente aplicadas a los diafragmas aislantes. La presión es transmitida al diafragma de sensado a través del fluido de relleno, el diafragma de sensado es un capacitor movable en el cual la desviación del diafragma provoca una variación en la capacitancia de acuerdo con la presión diferencial aplicada entre la placa fija y la placa movable.

El circuito electrónico mide la variación de la capacitancia entre las placas fijas y móviles y genera una señal de 4 a 20 mA que es proporcional a la presión diferencial aplicada, este circuito consta de: un oscilador, un aislador de señal, una CPU, una memoria EEPROM, un convertidor D/A un Modem, una fuente de poder y una salida.

Actuadores.

La planta dispone de varios tipos de actuadores como son: convertidores de corriente-presión(PY-01 y 02), actuadores de diafragma (PV-01 y 02) y actuadores solenoides; además se cuenta con interruptores de nivel (LS-01 y 02) que proporciona señales de medición del tipo binario.

Los elementos finales de control son válvulas de globo conectadas a los actuadores de diafragma, válvulas solenoides y finalmente los motores de las bombas.

Válvulas de control.

Las utilizadas en la planta son válvulas de globo y válvulas solenoides

Las válvulas de globo se llaman así debido a la forma de su cuerpo; son de vástago deslizante y configuración en línea. Se constituyen fundamentalmente por el cuerpo, que da cabida al fluido y soporte al asiento, y por un tapón de movimiento longitudinal que limita al flujo al cerrarse sobre el asiento; la pareja asiento-tapón es conocida como puerto. Las válvulas pueden ser de puerto sencillo o de puerto doble. Su funcionamiento comienza con el flujo que pasa por el cuerpo de la válvula circulando a través de una abertura variable que está formada por el tapón (elemento móvil) y el asiento (elemento fijo); el tapón es posicionado por el actuador desde fuera de la válvula mediante el vástago que esta unido al tapón y sale de la válvula a través del bonete.

Interruptores de nivel.

Son electrodos que consisten en varillas, una larga y otra corta, las cuáles se conectan a un sistema de relevadores que son activados al tocar el agua ambas varillas. Al estar el agua en el nivel inferior del tanque, solo toca a la varilla larga (Ls-01) y la bobina de los relevadores se encuentra desenergizada, en este caso los relevadores están uno normalmente cerrado y 2 normalmente abiertos, cuando el agua llega al nivel superior y toca a la varilla corta (LS-02); por medio de la conductividad del agua se energiza la bobina y cambian de estado los relevadores. Al bajar el nivel del agua deja de haber contacto entre las varillas y por lo tanto se desenergiza la bobina, regresando los relevadores a su estado original.

Válvulas Solenoides.

La válvula solenoide consiste básicamente de un electromagneto y un inducido movable (núcleo de hierro dulce), que está mecánicamente acoplado al dispositivo que se va a posicionar, generalmente un vástago de válvula, palanca o válvula piloto. Los dispositivos solenoides proporcionan solo operación en 2 posiciones, el funcionamiento del dispositivo solenoide comienza cuando el electromagneto es energizado y jala al núcleo de hierro dulce; esta acción abre una válvula normalmente cerrada y cierra una válvula normalmente abierta. Las válvulas solenoides, utilizan aire comprimido para actuar; en ellas el tapón de la válvula está en posición perpendicular a la tubería para el estado normalmente cerrada,

por lo que debe ponerse en posición paralela para la apertura; De acuerdo a lo anterior, se necesita un magneto que abre una pequeña válvula normalmente cerrada para que el aire comprimido o señal neumática actúe sobre el vástago del tapón de la válvula para alinearla y efectuar la apertura; por otra parte se necesita un resorte para regresarla a su posición original. Al desactivar el magneto, se corta el suministro de aire comprimido y sólo queda la fuerza del resorte, la cual regresa rápidamente al tapón de la válvula a la posición original y se expulsa el aire residual por medio de una pequeña válvula de desfogue.

Convertidores corriente-presión.

Convertidor corriente-presión, este dispositivo sirve de interfase entre el controlador electrónico y el actuador de diafragma, maneja de 4 a 20 mA en corriente, y de 3 a 15 psi en presión. La corriente de salida del controlador llega al convertidor a través de la bobina y causa una fuerza que tiende a girar la barra sobre el pivote en el sentido de las manecillas del reloj; a esta fuerza se opone otra, que es la ejercida por la salida de presión del convertidor a través del fuelle de realimentación, para detectar y corregir cualquier posible desbalance, la alimentación de aire a 20 psi llega a través de una restricción, pasando por una tobera, la cual tiene una apertura mucho mayor que la apertura de la restricción; La parte final de la barra sirve como deflector para controlar el flujo de aire de la tobera, si el deflector se acerca a la tobera se reduce el flujo de aire y se incrementa la presión; si el deflector se aleja a la tobera, la presión baja.

Controlador de Tipo de Ajuste de Corriente C.A.T.

El controlador del tipo de ajuste de corriente es un controlador de estado sólido de propósito general, su señal de entrada normal es proporcionada por un transmisor; su salida se utiliza para ajustar los elementos finales de control, que influyen en la planta a ser controlada. La salida es una señal en corriente proporcional a una condición de error debido a la diferencia entre el valor del punto de ajuste proporcionado por el usuario y la señal de la variable de entrada, el valor de la salida puede ser de 0 a 5 o de 4 a 20 mA.

1.2.4. Placa de conexiones.

Para enlazar la planta con la UPL es necesario contar con placas de conexiones.

La que corresponde a las conexiones de la UPL se muestra en la Figura 1.3.

La conexión entre placas se realiza con cables del tipo banana-banana.

1.3 Software de control.

El software de control está compuesto por los paquetes MAXPRO y DATAVUE del sistema MICROMAX 2, de la marca Leeds & Northrup.

MAXPRO es el software que (con una computadora personal (PC) con sistema operativo MS DOS) permite la programación y operación de un sistema de control de procesos industriales, el cual utiliza una unidad de procesamiento local (UPL) MICROMAX 2 de L&N.

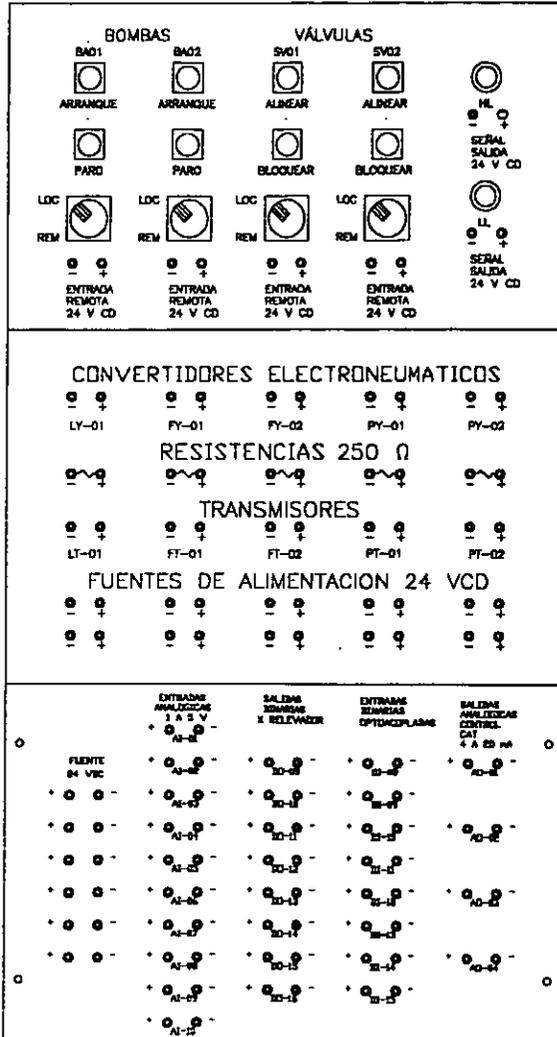


Figura 1.3. Placas de conexiones.

Caracterizado por su simplicidad de operación y fácil expansión, tal como un sistema de simple adquisición de datos hasta extensivas y sofisticadas aplicaciones que involucran lógica programable y control multilazos.

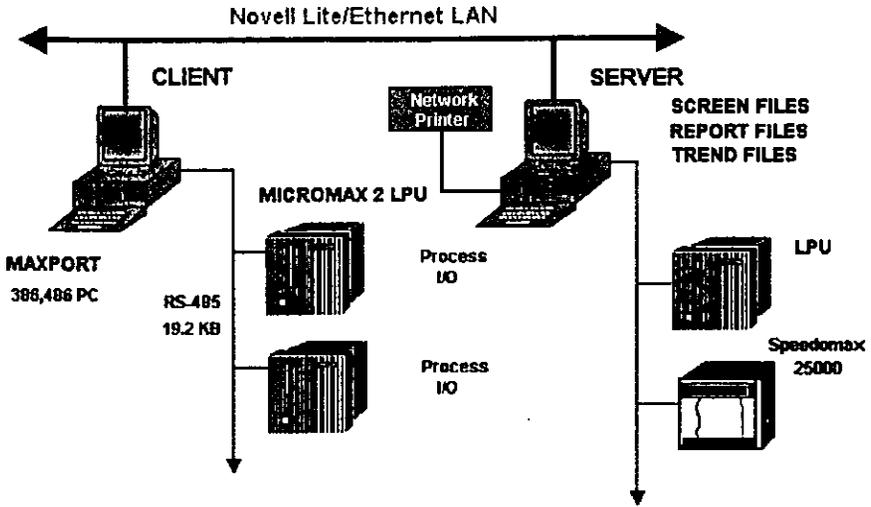
DATAVUE, es un software que junto con el control de procesos existente o el hardware de adquisición de datos, permite crear los formatos propios de pantallas e interfaces de usuario para reflejar los requerimientos del proceso. Sin la necesidad de ser un "experto en programación", este software permite estar rápidamente en línea con gráficas de alta resolución y color del proceso, presentaciones de tendencia y formatos de reporte, dependiendo de la selección que se haga.

Los paneles de control cableados son caros, inflexibles y no son personalizados para el proceso. Utilizando este software se diseñan las pantallas y se selecciona únicamente lo que se quiere monitorear.

El sistema muestra lo que esta ocurriendo en el proceso, así se pueden hacer los ajustes necesarios.

Este software requiere ambiente Windows.

DATAVUE / Windows Architecture



2. Descripción básica y global del SCD.

2.1. Antecedentes.

Los sistemas de control fueron desarrollados en respuesta a dos influencias entrelazadas, las necesidades de los usuarios y los avances en la tecnología.

El desarrollo del transistor, los circuitos integrados y relevadores de estado sólido dieron como resultado un crecimiento en la capacidad y la confiabilidad de los sistemas de control electrónicos, lo que hizo posible el reemplazo de los sistemas de control neumáticos. Similarmente, el desarrollo de la tecnología electrónica digital de gran escala de integración, ha hecho realidad a los microprocesadores, memorias semiconductoras, que junto con los despliegues en tubos de rayos catódicos (CRT) han llevado a un impresionante mejoramiento de la capacidad de los sistemas de control.

El concepto de sistemas de control distribuido no es nuevo, dispositivos de control individuales tales como controladores mecánicos y gobernadores estaban colocados en el equipo de proceso a ser controlado.

Estos controladores proporcionaban mayor flexibilidad en la selección y ajuste de los algoritmos de control, pero todos los elementos de los lazos de control (sensores, controladores, interface del operador y el actuador de salida) estaban localizados en el campo.

El énfasis de implementar operaciones sobre toda la planta dio origen al control centralizado y cuartos equipados.

Las señales de control necesarias se procesaban en este lugar para después ser transmitidas a los dispositivos de actuación del proceso. La gran ventaja de esta arquitectura fue que toda la información del proceso estaba disponible para el operador de la estación central, la tecnología empleada para implementar esta arquitectura dio como consecuencia que se comenzara a cambiar del control neumático al control electrónico.

A principios de los 70, un sofisticado dispositivo conocido como controlador lógico programable (PLC) se desarrollo para implementar sistemas lógicos secuenciales. Este dispositivo es significativo ya que fue uno de los primeros dispositivos de propósito especial basados en computadora que podían ser empleados por personas que no fueran especialistas en computadoras.

La primera aplicación de computadoras en procesos industriales fue en las áreas de monitoreo de la planta y control supervisorio. Aquí, la computadora utilizaba los datos de entrada disponibles y calculaba los puntos de ajuste "set points" que correspondían a las más eficientes condiciones de operación de la planta. Estos puntos de ajuste eran enviados a los controladores analógicos, que realizaban el verdadero control de lazo cerrado. La capacidad de las computadoras para efectuar control supervisorio así como adquirir y mostrar, datos de la planta, proporcionaban al operador de una poderosa herramienta para implementar operaciones importantes en la planta.

Aunque la computadora central proporcionaba ventajas significativas respecto a sus predecesores, sufría también de desventajas. La mayor desventaja era que la

unidad de procesamiento (CPU) presentaba la posibilidad de un gran punto de falla, tal que podía detener el proceso completamente si esta fallaba.

Otro problema con este sistema basado en computadora era que el software requerido para implementar todas las funciones era extremadamente complejo y requería un gran número de expertos de computadoras para poner el sistema a funcionar y mantenerlo en sintonía. Este es el resultado de una arquitectura en la cual un simple CPU se emplea para efectuar una variedad de funciones en tiempo real.

Finalmente el sistema centralizado estaba limitado en su capacidad para poder efectuar cambios y expansiones.

Debido a estos problemas, era evidente para los usuarios y los diseñadores de sistemas que una nueva arquitectura accesible era necesaria. Los ingenieros de control habían estado esbozando conceptos de sistemas distribuidos compuestos de control digital y elementos de comunicaciones. No fue sino hasta la aparición del microprocesador en 1971 que la arquitectura del sistema distribuido fue práctica. La tecnología de soporte estuvo disponible: memorias de estado sólido económicas, circuitos integrados para establecer protocolos de comunicación estándar, sistemas de tecnología de desplegado fluorescente con la aparición del LED y las pantallas de color CRT; en el área de software, técnicas de diseño estructuradas, paquetes de software modular, y un nuevo concepto de diagnóstico en línea.

Los dispositivos en esta arquitectura se agruparon en tres categorías: aquellos que intervienen directamente con el proceso a ser controlado o monitoreado,

aquellos que ejecutan intervención humana de alto nivel y funciones de computación, y aquellos que proveen los medios de comunicación entre los diferentes dispositivos.

2.2. Sistemas de Control Distribuido.

Los sistemas de control distribuido fueron el resultado exitoso de la conjunción de las evoluciones de control automático analógico y de las técnicas de procesamiento digital.

La aparición del microprocesador hizo posible la aplicación del procesamiento en forma digital de los algoritmos de control.

La seguridad y simplicidad de operación y mantenimiento asociados a un bajo costo en relación con las soluciones alternativas existentes permitieron su rápida aceptación.

Otras ventajas fueron:

- Mayor capacidad de procesamiento.
- Flexibilidad para realizar cambios, nuevas implementaciones y pruebas.
- Ahorros importantes en cableado y tamaño de la sala de control.
- Mayor disponibilidad de información.
- Mejoras operativas: mejores interfaces con el operador, mayor facilidad de los arranques y paradas de la planta.

La aparición del microprocesador permitió distribuir la "inteligencia"; el tratamiento de las variables se distribuyó entre distintos procesadores, lo que limitó la consecuencia de una falla a una parte del proceso.

La distribución también puede ser vista como:

Distribución funcional (en subsistemas): subsistema de interfase con el operador, subsistema de procesamiento de los algoritmos de control (procesadores de control), subsistema de conversión analógica/digital, etc.

Distribución geográfica: Las interfaces al operador pueden estar en la sala de control, los procesadores de control en una sala auxiliar cercana y los módulos de entrada/salida cerca del proceso.

Los SCD tienen como principal interfase con el operador, un monitor en el que la información se presenta en forma dinámica, en función con los cambios que se producen.

Normalmente existe una pantalla resumen de todas las pantallas de grupo, que si bien no permite la operación directa sobre controladores y salidas, permite visualizar si alguna parte de la planta está en alarma o si alguna variable presenta desvíos importantes.

Como alternativa y complemento de la presentación del proceso surgieron los mímicos dinámicos: gráficos de procesos con información del estado de las distintas variables.

La información de las variable puede representarse como valores numéricos, como cambio de colores de alguna figura o como cambio de tamaño.

La selección de las distintas pantallas, así como la operación de las mismas se puede lograr a través de distintos medios: teclados alfanuméricos, lápiz óptico, mouse, etc.

Otro tema importante es el manejo de las alarmas, las cuales se pueden clasificar en dos tipos:

Alarmas de proceso: indica que una variable se encuentra fuera de los límites aceptables.

Alarma de sistema: Indica que algún elemento del sistema (tarjeta de entrada/salida, bus, procesador, etc.) ha tenido una falla.

La forma en que se controla una planta se suele definir como filosofía de control y su forma de implementación como estrategia de control.

Las estrategias de control suelen indicarse en un diagrama conocido como Diagrama de Instrumentos y Procesos.

En los SCD las estrategias de control se implementan en procesadores. Los procesadores pueden ser:

- Unilazo.
- Multilazos.

Los procesadores multilazos se prefieren debido a:

- Aumento en la seguridad del procesamiento.
- Facilidad de implementar redundancias.

- Diseño de la implementación en forma adecuada.
- Disminución del costo del procesador por lazo ejecutado.
- Economías asociadas al menor tamaño de gabinetes, salas, aire acondicionado, etc.
- Flexibilidad para implementar modificaciones en las estrategias de control.

Implementación de las estrategias de control.

Para implementar dichas estrategias en un SCD, se posee un software del proveedor del sistema, que permite realizar lo que se conoce como configuración de las estrategias de control o base de datos de control.

Las configuraciones se realizan generalmente con el equipo fuera de línea, en estaciones o en PC que corren los programas de diseño.

Las estrategias se crean utilizando bloques de software que representan los diferentes instrumentos utilizados en instrumentación analógica convencional.

- Entrada analógica. Convierte las señales eléctricas utilizadas en el campo al tipo y nivel utilizadas internamente en el sistema.
- Controlador PID. Toma la señal eléctrica, ejecuta una estrategia de control PID y define una salida como una señal eléctrica.
- Salida analógica. Convierte los niveles de señal utilizados en el sistema a los utilizados en el campo.

La forma de creación de la base de datos de control es característica de cada sistema. Son típicas dos formas de trabajo:

- Complementación de plantillas preconfiguradas (Fill in the blanks): consiste en disponer de una plantilla por tipo de bloque que debe ser complementada según la estrategia a configurar.
- Generación gráfica por iconos: Un icono en software es una imagen gráfica, que representa un programa o tipo de programas.

Para que el operador pueda estar informado y tomar acción sobre el proceso se deben generar pantallas de operación.

Las mismas constan de dos partes:

- Una parte estática, que puede ser en su forma estándar mascarar de frentes de controladores, indicadores, etc., o gráficos diseñados para la aplicación específica como mímicos de proceso o tablas para referencia de datos.
- Una parte dinámica, que consiste en los valores de las variables o cambios en pantalla que se modifican en función de lo que ocurre en el proceso o por acción del operador.

Una vez configurada la estrategia de control, la misma es ejecutada por un programa que recorre todos los bloques en forma secuencial.

El procesamiento de la base de datos se realiza en forma cíclica, basándose en tiempos prefijados. El programa procesa la base de datos, espera a que se cumpla el tiempo asignado a dicha ejecución, actualiza las entradas y las salidas y realiza una serie de pruebas y diagnósticos para verificar el buen funcionamiento del procesador de control.

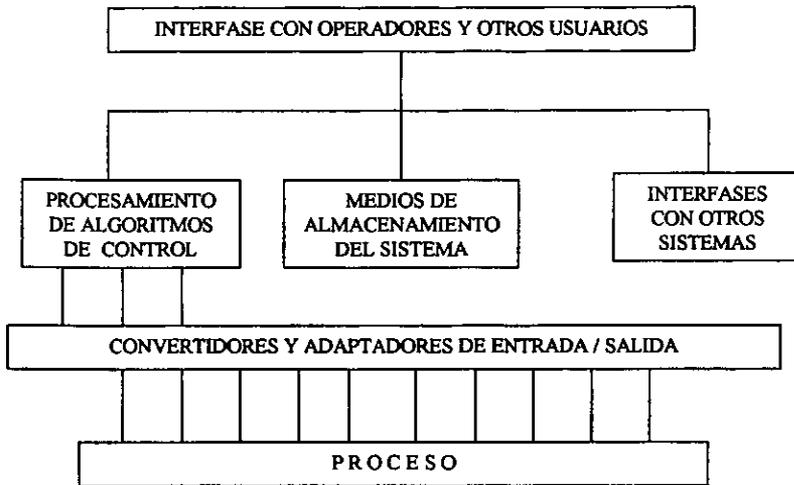


FIGURA 2.1. Esquema simplificado de un SCD.

2.3 Sistema Micromax 2.

Micromax 2 es un sistema de control integrado que proporciona la combinación de lazos de control y funciones lógicas con grandes características de adquisición de datos.

Principales características.

- Control integrado en una Unidad de Procesamiento Local (UPL).
- Modularidad vía redes RS-485.
- Selección de MMI's
 - Estación de operación en cuarto de control.
 - Estación de operador de piso.
 - Basadas en PC, con software para Windows.
- Adquisición de datos hecha para MMI's

- Edición de reportes, gráficas de tendencias (horizontal y vertical), almacenamiento de datos, alarmas, impresión.
- Fácil configuración respecto a los PLC's para control de procesos y DAQ.

Los controladores de una planta pueden ser distribuidos de manera estratégica, para minimizar costos de instalación y alambrado, y puede hacerse de manera que queden áreas de control particular dentro de la planta: calentadores, reactores, etc.

Todas las entradas y salidas analógicas y digitales estarán conectadas directamente a la estación del controlador distribuido. UPL (Unidad de Procesamiento Local).

La unidad de procesamiento local (UPL) es la parte más pequeña del hardware en un sistema de control distribuido, que realiza control de lazo cerrado. Esta toma las señales de los dispositivos de medición del proceso y comandos del operador y procesa las salidas de control necesarias para hacer que el proceso siga las instrucciones. Después envía las salidas de control a los actuadores, válvulas y otros dispositivos mecánicos que regulan el flujo, temperatura, presión y otras variables que son controladas en la planta.

Los elementos básicos de una LPU basada en microprocesador en general pueden ser definidos como se muestra en la figura 2.2.

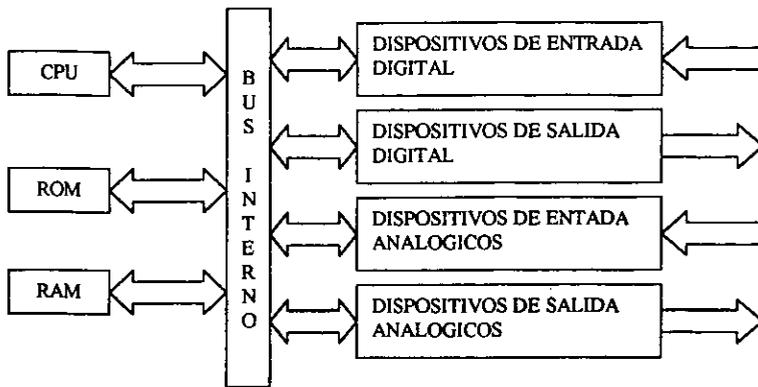


FIGURA 2.2. ELEMENTOS BÁSICOS.

Un sistema de control distribuido cuenta con tres elementos básicos. Los controladores, la estación del operador y la pista de datos de comunicaciones.

Los controladores distribuidos son módulos multilazo basados en microprocesador.

El controlador opera en una base de tiempo iterativa. Realizando lógicamente sus tareas, de acuerdo a su diseño interno.

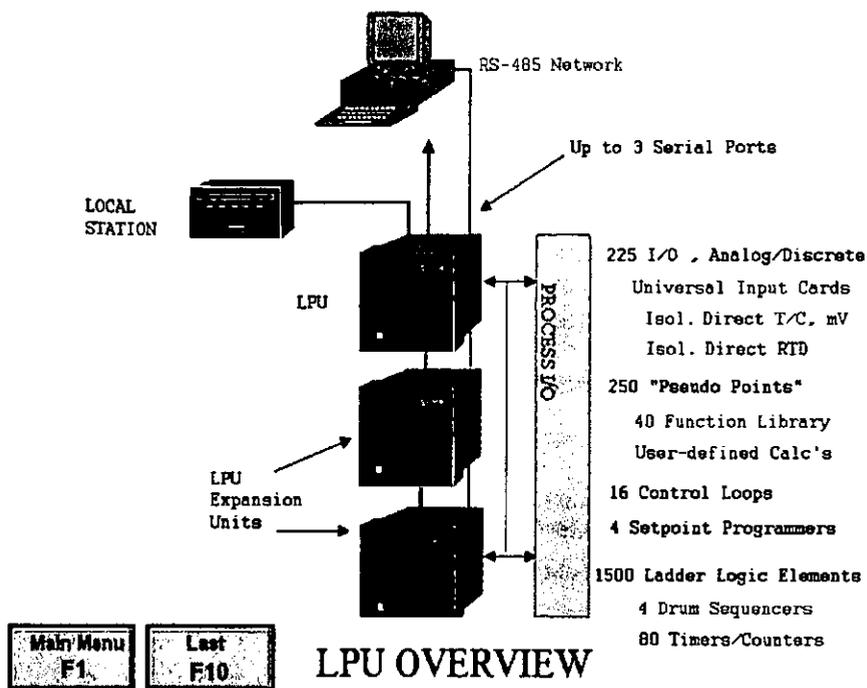


Figura 2.3

3. Variables medidas en el proceso, transmisores y convertidores, adquisición en el SCD.

Las variables medidas son obtenidas a través de los transmisores de presión diferencial ubicados en la planta y adquiridas por la UPL para su posterior visualización y control con DATAVUE y MAXPRO.

3.1 Variables medidas en el proceso.

Las variables que se pueden medir en este proceso son:

- El nivel del tanque FA01, por medio del transmisor LT01.
- El flujo de transferencia del tanque FA01 al tanque FA02, por medio del transmisor FT01.
- El flujo de recirculación del tanque FA01, por medio del transmisor FT02.
- El nivel del tanque FA02, por medio del transmisor LT02.
- Los niveles bajo y alto del tanque FA02. A través de un sistema de electrodos consistente de varillas instaladas dentro del tanque FA02.

Figura 3-1.

3.2 Transmisores.

En una planta de procesos, es impráctico ubicar los instrumentos de control cerca de la planta, por tal motivo se desarrolla el sistema de transmisión de señales que puede ser neumático o eléctrico.

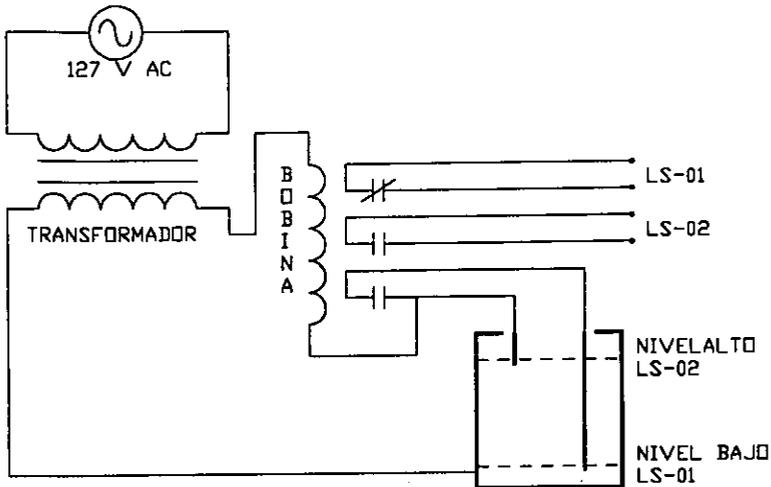


Figura 3-1. Esquema de los interruptores de nivel del tanque FA-02.

Empleando un sistema de transmisión es posible instalar los controladores, registradores, indicadores, etc., en una sola localidad. Esto hace posible el empleo de un mínimo de operadores para manejar la planta eficientemente.

Cuando se utiliza un sistema de transmisión, la medición es convertida en una señal eléctrica (o neumática) por el transmisor escalada del 0 al 100 por ciento del rango de la variable medida. El transmisor es colocado cerca del punto de medición en el proceso. La salida del transmisor es conectada al receptor.

La planta cuenta con tres transmisores de presión diferencial marca Smar modelo LD301 (LT01, FT01 y FT02) y un transmisor de presión diferencial marca Moore modelo SD340D (LT02).

El transmisor inteligente genera una señal estándar de corriente de 4 a 20 mA proporcional o caracterizada a la diferencia de presión que se le aplique. Esta señal se transmite por un par trenzado, limitada en distancia únicamente por la impedancia de los conductores y por la carga del transmisor. El sensor de presión de estos transmisores es de tipo capacitivo.

El transmisor esta constituido en dos partes: el sensor de la capacitancia y el circuito electrónico.

El sensor se muestra en la figura 3-2:

El diafragma de sensado se desvía por efecto de la diferencia de presión aplicada a ambos lados de este, las presiones se aplican a los diafragmas de aislamiento, estas presiones se transmiten al diafragma de sensado a través del fluido de relleno. El diafragma de sensado es también una placa (capacitor móvil) y las dos superficies metalizadas son placas fijas, con esto la desviación del diafragma provoca una variación de la capacitancia entre las placas fijas y móvil.

El circuito electrónico mide la variación de la capacitancia entre las placas fijas y móviles y genera una señal de 4 a 20 mA que puede ser proporcional a la presión diferencial o caracterizada como una función de ella, la figura 3-3 muestra su diagrama de bloques.

El oscilador genera una frecuencia en función de la capacitancia.

El aislador de señal transfiere la señal del oscilador a través de un transformador y las señales de control del CPU a través de optoacopladores.

El CPU, es el responsable de la dirección y la operación de los otros bloques del circuito, linealización y comunicación, su programación se almacena en una

memoria PROM, además cuenta con una memoria RAM para datos temporales, también cuenta con una memoria EEPROM para guardar datos tales como calibración, configuración e identificación.

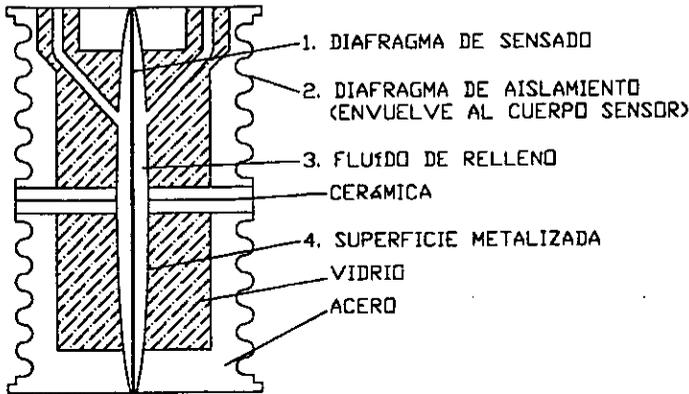


Figura 3-2. Sensor de los transmisores de presión.

La EEPROM del montaje del sensor contiene los datos de las características de los sensores a diferentes presiones y temperaturas.

El convertidor D/A convierte los datos del CPU a una señal analógica de 12 bits de resolución.

La salida controla la corriente de línea que alimenta los transmisores, además actúa como una carga resistiva dependiente de los voltajes del convertidor D/A.

El módem modula y demodula las señales de comunicación en la línea de corriente. La señal de frecuencia no afecta el nivel de la señal de 4 a 20 mA.

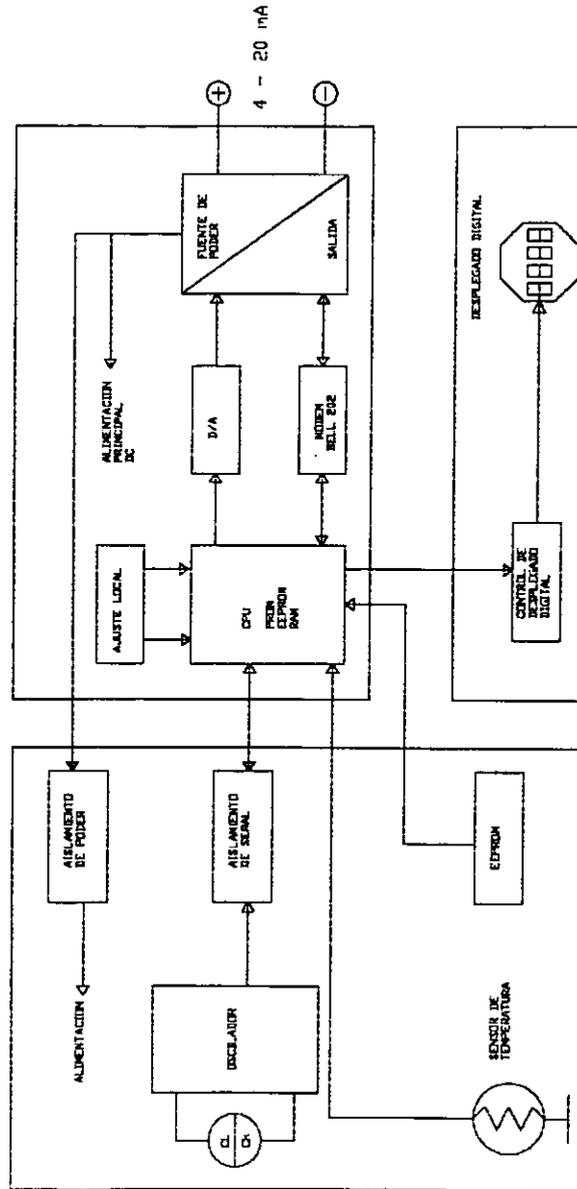


Figura 3-3. Diagrama de bloques del circuito electrónico del transmisor.

La fuente de poder toma la potencia de la línea de realimentación interna para accionar la circuitería del transmisor.

El aislamiento de poder, convierte la alimentación de DC a una fuente de AC de alta frecuencia separado por un transformador.

El control del desplegado es el encargado de recibir los datos del CPU para visualizar la información a través de una pantalla (display).

El sensor de temperatura sirve para compensar las variaciones de temperatura.

3.3 Convertidores.

La planta cuenta con dos convertidores corriente-presión. Estos convertidores sirven de interfase entre la UPL y el actuador, ya que la primera proporciona una señal eléctrica y el segundo requiere una señal neumática. Este convertidor recibe corriente de 4 a 20 mA y proporciona a la salida de 3 a 15 psi en presión de aire. Figura 3-4.

A continuación se describirá brevemente el funcionamiento de este tipo de convertidor.

La corriente de salida llega a una bobina y causa que una barra gire sobre un pivote en el sentido de las manecillas del reloj, a esta fuerza se opone otra que es ejercida por la salida del convertidor a través de un fuelle de realimentación, dicha fuerza trata de girar la barra en sentido opuesto. Hay otra fuerza ejercida por un resorte ajustable, fuerza que puede estar en el sentido de las manecillas del reloj o en contra y permite el ajuste de cero. Cuando las tres fuerzas están en equilibrio, no hay giro en la barra de balance y la salida del convertidor se

mantendrá fija proporcional a la corriente de entrada. Se emplea una restricción para detectar y corregir cualquier desbalance del aire de alimentación de 20 psi, pasa por una tobera con una apertura mayor que la de la restricción, la parte final de la barra sirve para controlar el flujo de aire de la tobera, si se acerca se incrementa la presión al disminuir el flujo de aire, si se aleja disminuye la presión. Por ejemplo si la presión en el fuelle de realimentación es muy baja, la barra gira en sentido de las manecillas del reloj y se incrementa la presión en la tobera, esta presión se aplica al diafragma superior del dispositivo, ambos diafragmas se conectan mecánicamente y se controlan por un par de válvulas de bola, el incremento de presión hace que los diafragmas se deflecten hacia abajo abriendo la válvula de bola inferior, incrementándose la salida y la presión hasta que se equilibra el sistema.

En la planta el actuador de la válvula FC01 es de acción inversa, es decir a 4 mA (3 psi) esta completamente cerrada y a 20 mA (15 psi) esta completamente abierta, El actuador de la válvula FC02 es de acción directa.

Para las señales binarias se emplean actuadores y válvulas solenoides. La válvula-actuador solenoide es un electromagneto y un inducido movable (núcleo de hierro dulce) que se acopla mecánicamente al dispositivo que va a posicionar, el vástago de la válvula. Estos dispositivos operan solo en dos posiciones. Al energizar el electromagneto jala al núcleo de hierro dulce, acción que abre una válvula normalmente cerrada o cierra una válvula normalmente abierta. La planta cuenta con dos actuadores-válvula solenoide que utilizan aire comprimido para funcionar, en ellas el tapón de la válvula esta en posición perpendicular a la

tubería, para el caso de la válvula normalmente cerrada, por lo que debe ponerse en posición paralela para la apertura.

Al energizar el electromagneto se abre una válvula normalmente cerrada para que el aire comprimido actúe sobre el vástago del tapón de la válvula solenoide para alinearla y efectuar la apertura, además se tiene un resorte para regresarla a la posición original, que es la de bloqueo, el resorte ofrece resistencia al aire comprimido, pero hay un equilibrio entre las fuerzas durante la apertura, al desactivar el electromagneto se corta el suministro de aire y solo queda la fuerza del resorte, la cual regresa rápidamente al tapón a su posición original y expulsa el aire residual en ella por medio de una válvula de desfogue. Figura 3-5.

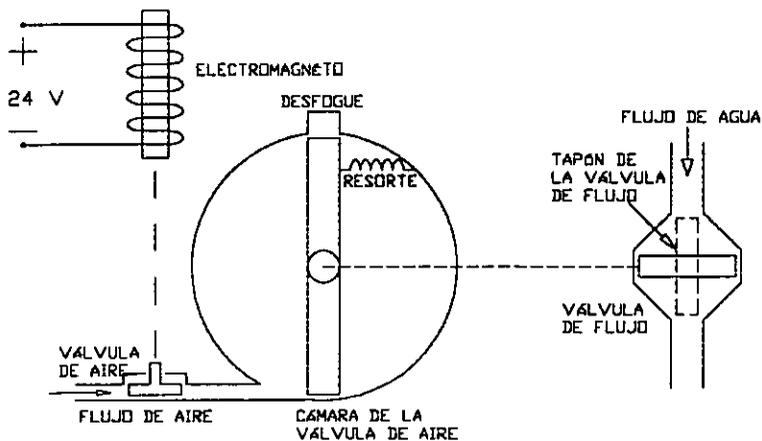


Figura 3-5. Esquema del tipo de válvula solenoide utilizada en la planta.

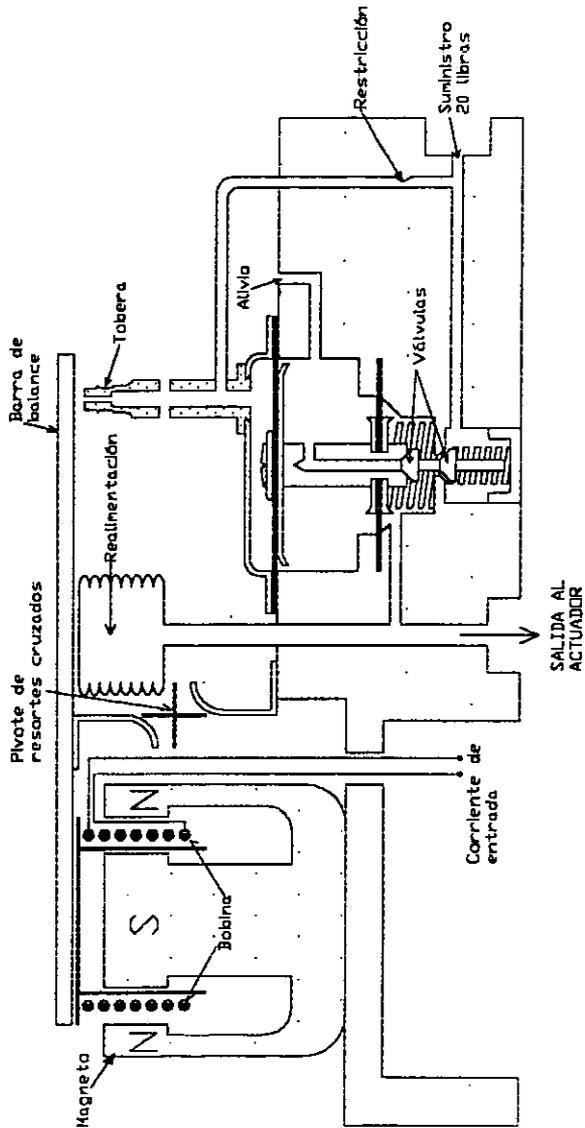


Figura 3-4. Diagrama del convertidor corriente presión.

3.4 Adquisición en el SCD.

La adquisición en el SCD se hace a través de un panel de conexiones que conectara la planta con la UPL.

El panel de conexiones esta diseñado para hacer las conexiones necesarias, empleando conectores banana-banana, entre los bornes correspondientes a la planta y los bornes correspondientes a la UPL, a fin de hacer más didáctico el empleo del SCD. Figuras 3-6 a 3-9.

La UPL a su vez estará comunicada con la PC via los puertos COMM 3 y COMM 4 (protocolo RS-485), el puerto 3 corresponde a MAXPRO y el 4 a DATAVUE.

Figura 3-10.

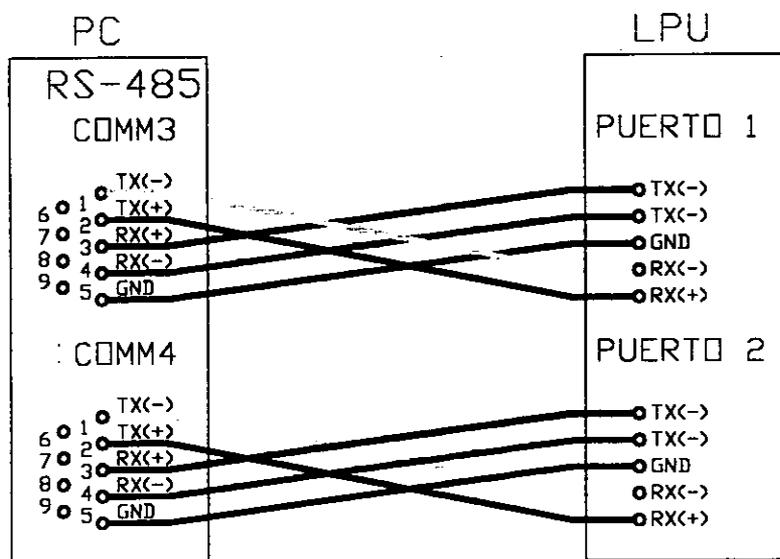


Figura 3-10. Conexión de los puertos COMM 3 y 4 (PC) con los puertos 1 y 2 (LPU).

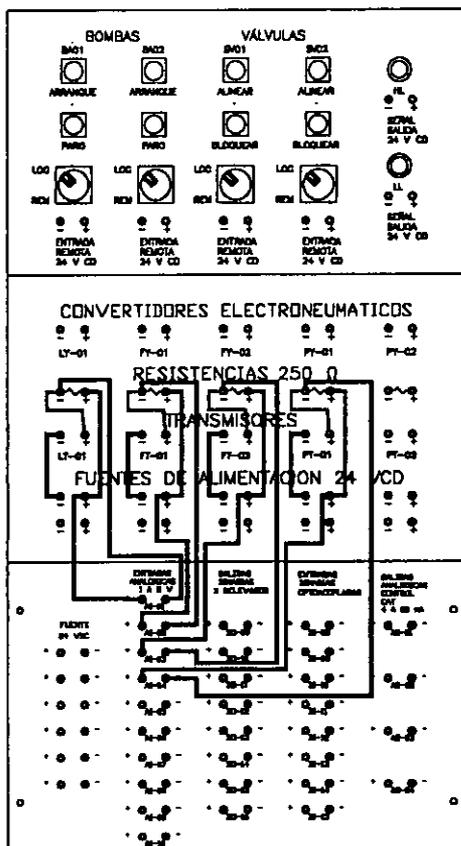


Figura 3-6. Conexiones entradas analógicas.

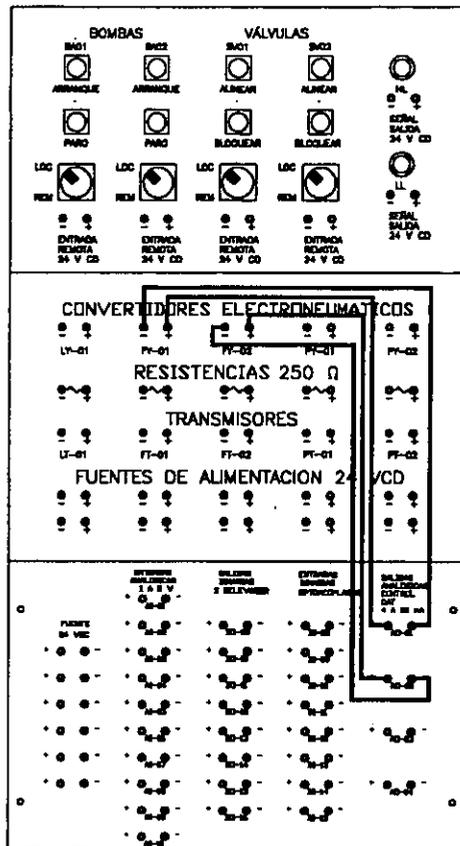


Figura 3-7. Conexiones salidas analógicas.

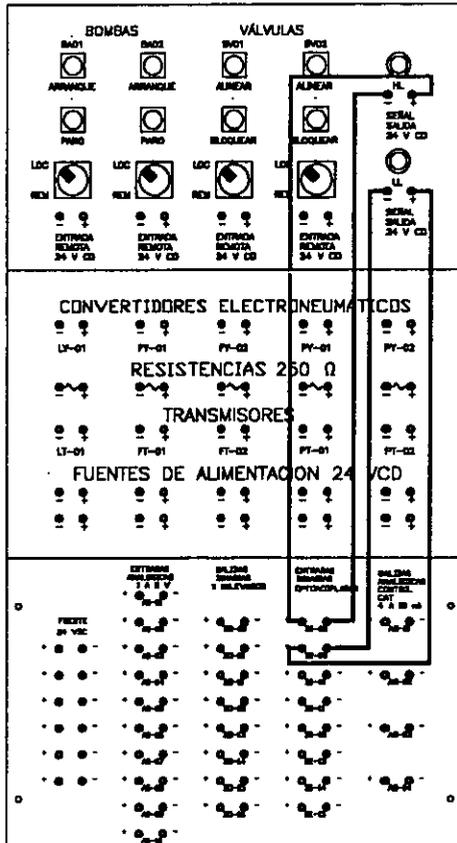


Figura 3-8. Conexiones entradas binarias.

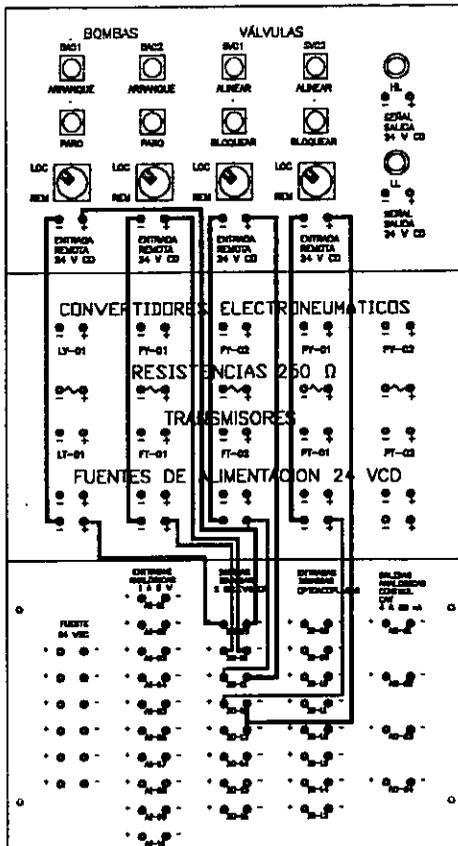


Figura 3-9. Conexiones salidas binarias.

La tabla 3-1 muestra la relación de entradas y salidas al sistema de control.

Relación de entradas al sistema de control							
Identificación	Nombre	Tipo	Rango eléctrico (V)		Rango de medición		Punto en LPU
LT01	Nivel FA01	Continua	1	5	0 " H2O	33 " H2O	AI01
FT01	Flujo de Transferencia	Continua	1	5	0 Gal / min	20 Gal / min	AI02
FT02	Flujo de Recirculación	Continua	1	5	0 Gal / min	20 Gal / min	AI03
LT02	Nivel FA02	Continua	1	5	0 " H2O	60 " H2O	AI04
LS01	Nivel bajo FA02	Binaria	0	24			DI08
LS02	Nivel alto FA02	Binaria	0	24			DI09
Relación de salidas del sistema de control							
FC01	Flujo de Transferencia	Continua	4	20 mA			AO01
FC02	Flujo de Recirculación	Continua	4	20 mA			AO02
CS01	Bomba BA01	Binaria		24			DO09
CS02	Bomba BA02	Binaria		24			DO10
CS03	Solenoides SV01	Binaria		24			DO11
CS04	Solenoides SV02	Binaria		24			DO12

Tabla 3-1.

4. Configuración del software de adquisición, control y automatización. MAXPRO.

4.1 Introducción.

El potencial de efectividad de cualquier proceso de control y sistema de adquisición de datos esta directamente relacionado con que tan fácil puede ser configurado para realizar un trabajo. MAXPRO ofrece un aprovechamiento único simplificado de tal manera que cualquiera que se encuentre directamente relacionado con los requerimientos a manejar, o en particular con el proceso, puede rápidamente configurar el sistema para que realice el trabajo.

MAXPRO nos guía a través de la ULP paso a paso para su configuración. Tiene pantallas de ayuda, explicativas para menús de selección y teclas de función; 12 teclas de función proporcionan el acceso a la mayoría de las funciones de configuración simplemente presionándolas

El software de configuración MAXPRO convierte cualquier PC que cuente con un Sistema Operativo y un monitor VGA en una estación de configuración para las ULP de MICROMAX.

La configuración puede ser realizada completamente estando la ULP sin comunicación (off-line) y subsecuentemente copiada en una ULP que si tenga comunicación (on-line) para así usarse regularmente, también puede realizarse esta configuración en una ULP operando, siempre y cuando esté en comunicación a una estación de operador, poniéndola en modo de programación o programa;

mientras se encuentra la ULP en modo de programación todas las salidas se establecen en un valor fijo.

La configuración se lleva a cabo a través de una interacción entre el teclado de una PC y varias pantallas a color especialmente diseñadas y formateadas, estas pantallas presentan los datos en diferentes formatos lo cual permite al operador revisar los datos, parámetros de lazos de control o funciones lógicas. Esta configuración se lleva a cabo de una manera muy sencilla, simplemente "llenando los espacios en blanco" para asignar el rango específico de las entradas/salidas, los parámetros de lazo, la programación de puntos de ajuste (setpoints) y secuencias; Para los datos internos de entradas/salidas se configuran los datos para adquisición o control, utilizando las funciones que se encuentran en las librerías de los pseudo puntos y las escaleras lógicas interactivas.

La configuración comienza listando cada entrada, salida, parámetros de control, etc. en el sistema. Estos elementos pueden ser acomodados y manipulados en las diferentes pantallas de programación para llevar a que la configuración realice que el sistema opere como es deseado. Virtualmente cualquier acción de computo, de lógica o cualquier operación matemática puede ser usada para combinar, comparar o evaluar datos para producir las salidas deseadas o funciones de control.

4.1.1 Adquisición de Datos.

Las señales de entrada del proceso pueden ser analógicas, discretas o del tipo de pulsos de frecuencia. Las señales tomadas de un termopar, RTD y pulsos de

frecuencia son directamente aceptadas (con la selección adecuada de las tarjetas de I/O que contenga la UPL), sin necesidad de que intervenga una señal acondicionadora.

Los datos de entrada pueden ser monitoreados en los desplegados a colores de la PC; los datos pueden ser usados en cálculos y los resultados manipulados de la misma forma que los otros datos. Los cálculos pueden utilizar fórmulas especiales, o cualquier algoritmo de los varios disponibles ya realizados en la computadora (pseudo puntos), Algunos de las funciones de los pseudo puntos incluyen: promedio de la señal, promedio de grupo, totalización, flujo másico entre otros, los cuales se encuentran configurados en MAXPRO.

4.1.2 Control.

Con las tarjetas apropiadas de entradas y salidas instaladas, cada estación de campo puede ser configurada para contener hasta 16 lazos de control separados o interrelacionados. Estos lazos pueden ser del tipo: Ajuste de posición (PAT), ajuste de corriente (CAT) (en nuestro caso la UPL cuenta con 4 salidas de este tipo), ajuste de voltaje (VAT) o ajuste de tiempo (DAT).

Los lazos de control pueden ser integrados con pseudo puntos, funciones (como: comparar, slew rate etc.). Las estrategias de control pueden interactuar con lógica de escalera, por medio del uso del estado de control del relevador y tomando como referencia los valores de los contadores y timers.

Una estación de campo puede contener hasta cuatro programas de pseudo puntos de 32 pasos cada uno en memoria activa.

4.1.3 Lógica.

La programación de la lógica se encuentra complementada gráficamente con un formato de diagrama de escalera en la pantalla de la PC, usando símbolos lógicos estándar para contactos, contadores, timers, etc. construidos en archivos de programación para prevenir conexiones lógicas ilegales, elementos redundantes y alguna otra acción impropia.

Dentro de la UPL se pueden almacenar hasta 1500 elementos lógicos que pueden incluir 80 timers y contadores permitiendo cualquier combinación de tarjetas de entradas/salidas discretas en cualquier UPL y unidades de expansión. El estado de la lógica es completamente interactiva con pseudo puntos y con funciones de los lazos de control.

4.1.4 Recetas.

Las recetas para procesos secuenciales (batch) consisten en programas del punto de ajuste (set point) y/o de otros parámetros de control escribibles (típicamente llamados constantes). Mientras los programas del setpoint son configurados usando MAXPRO y pueden ser alterados y operados por MAXPRO, los archivos de recetas no son almacenados por este software.

4.2 Comunicación

Antes de comenzar a configurar el software es necesario establecer la comunicación entre la PC y la UPL, además hay que configurar la UPL.

Para la comunicación se emplea el puerto de comunicación RS-485 instalado en la PC, o también se puede emplear un adaptador de puerto RS232/RS485.

La UPL se configuró como unidad 1, con una velocidad de transmisión de 19200 bps, sin bit de paridad.

La estación de campo UPL (MICROMAX 2) puede ser colocada cerca del proceso y conectada a la PC por un cable de 5 conductores hasta una distancia de 2500 pies. Se pueden conectar hasta 32 estaciones de campo en el mismo cable en una red de trabajo multidrop RS-485 sin la limitante de la distancia.

4.3 Configuración.

Una vez que se tiene la comunicación entre la PC y la UPL se procede a configurar el software MAXPRO de la siguiente manera.

a) Se inicia el programa MAXPRO.

Desde el símbolo del sistema de DOS se ejecuta el programa MAXPRO. También se puede iniciar desde Windows.

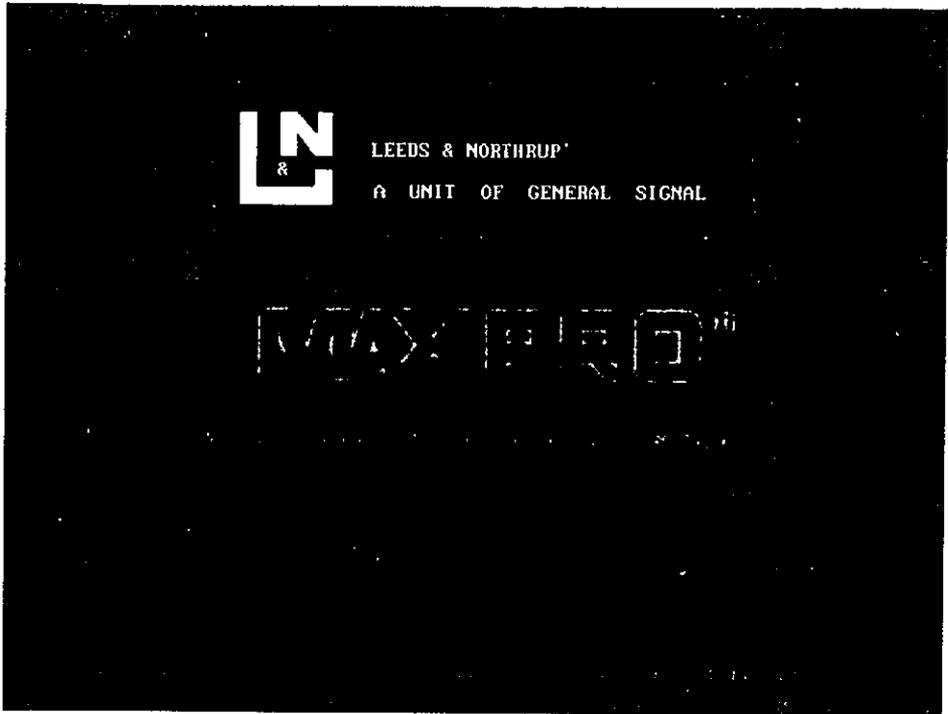


Figura 4.1

Ya dentro del programa se tiene que cambiar a la pantalla de estado de operación (Operating Status Screen) figura 4.2, esto se logra oprimiendo la tecla O (Operating Status), para visualizar si se tiene comunicación entre la PC y la UPL, si no existe comunicación se deberá realizar lo siguiente:

1.- Se debe ingresar a la pantalla Service routines, figura 4.3, para esto se presiona la tecla

S (Set Up), en la parte inferior de la pantalla aparece un menú de teclas de funciones, de ahí se selecciona Service.

OPERATING STATUS SCREEN				
			Wed Mar 11 10:14:24 1998	
			page 1 of 7	
Oper. Unit	Operating Status	Unit Type	Description	
1	On Line	L. P. U.		
2	NO LINK	L. P. U.		
3	NO LINK	L. P. U.		
4	NO LINK	L. P. U.		
5	NO LINK	L. P. U.		
6	NO LINK	L. P. U.		
7	NO LINK	L. P. U.		
8	NO LINK	L. P. U.		
9	NO LINK	L. P. U.		
10	NO LINK	L. P. U.		
11	NO LINK	L. P. U.		
12	NO LINK	L. P. U.		
13	NO LINK	L. P. U.		
14	NO LINK	L. P. U.		
15	NO LINK	L. P. U.		
16	NO LINK	L. P. U.		

Figura 4.2

Los parámetros de comunicación se realizan desde esta pantalla y son las rutinas 8, 9 y 10.

2.- En la rutina 8 se selecciona el puerto de comunicaciones a utilizar, por default esta asignado el puerto COMM 1, se mueve el cursor a esta rutina y presionando enter se elige el puerto a utilizar. En nuestro caso el puerto será el COMM 3 ya que la tarjeta de comunicación RS-485 cuenta con dos puertos que fueron configurados como puerto 3 y 4.

3.- La rutina 9 nos permite establecer la velocidad de transmisión, y como en la UPL se introdujo la velocidad de 19200 bps se configura a esta velocidad.

4.-Con la rutina 10 se puede cambiar la paridad, en nuestro caso se considero sin paridad.

SERVICE ROUTINES		Wed Jun 83 19:27:38 1990
Routine Number	Description of Routine	
1	DATABASE SIZING ROUTINE	
2	INITIALIZE DATABASE ROUTINE	
3	SET UNIT TIME	
4	CLEAN UP DATABASE	
5	RECONFIGURE EXISTING UNIT'S DATABASE	
6	ADD A NEW UNIT TO DATABASE	
7	DELETE A UNIT FROM DATABASE	
8	CHANGE COMM PORT (currently 3)	
9	CHANGE BAUD RATE (currently 19200)	
10	CHANGE PARITY (currently NONE)	
11	CONFIGURE CARD SLOTS / INITIALIZE INTERNAL UNIT #99	
12	COPY CONFIGURATION UNIT TO UNIT	
13	COPY CONFIGURATION UNIT #99 TO/FROM FLOPPY DRIVE	

Figura 4.3

b) Se pone la unidad en modo programa.

Se regresa a la pantalla de operación (pantalla anterior Operating Status), se puede regresar de dos formas una es presionando la tecla B (Back to Last Screen) o presionando la tecla O (Operating Status), y se cambia el estado de operación de la UPL al modo programa presionando la tecla T (Toggle) hasta que aparece Program en la pantalla.

c) Se agrega la unidad a la base de datos.

Antes de que una unidad pueda ser configurada se tiene que agregar a la base de datos, esto se hace por medio de la rutina 6 de la pantalla de rutinas de servicio; desplazando el cursor hasta la rutina 6 se presiona Enter, se ingresa el número de la UPL que se desea agregar y se presiona Enter. Esta rutina lee automáticamente los tipos de tarjetas de entrada/salida y las posiciones de estas en la UPL, de donde se pueden usar estas direcciones en la configuración.

d) Se dimensiona la base de datos de la unidad.

Se mueve el cursor a la opción Database Sizing Routine y se presiona ENTER. En el prompt Enter Unit No., se ingresa el número de la estación que se quiere configurar, en nuestro caso solo se cuenta con la unidad uno, así que se tecléa 1 y se da ENTER. Aparece la pantalla para el dimensionamiento de la base de datos (figura 4.4). En esta pantalla se definirán el número de constantes, pseudo puntos, relevadores de control, temporizadores y contadores y los niveles de alarma.

e) Se configura la unidad.

Al añadir la UPL a la base de datos esta se configura automáticamente, para poder ver la configuración de la UPL se presiona la tecla S y después la tecla de funciones F2, se abre así la pantalla de configuración de la estación de campo (Field Station Configuration figura 4.5), mostrando el tipo de tarjetas con las que cuenta la unidad, el tipo de unidad, el puerto de comunicaciones empleado.

Local Processing Unit - Card and TB Slots			Type of Unit
Slot No.	Card Type	Designations	
TB slot # 1	A0 Base Card		Control
Module #1	dual CAT	A0 1, 2	MICROMAX LPU T
Module #2	dual CAT	A0 3, 4	Accessories and Options Present
Module #3	No Card Present		
Module #4	No Card Present		
TB slot # 2	7 Dis / 8 DOs	DO 1-8, DI 1-7	
TB slot # 3	15 Solid State Dis	DI 8 to 22	
TB slot # 4	18 Relay DOs	DO 9 to 18	RS422 Comm. Port
TB slot # 5	15 Low Level Als	AI 1 to 15	
			Time Cyc. .75 sec.

Figura 4.5

4.3. 1. Configuración de los datos de entrada/salida y funciones.

Se tienen que establecer los valores de las variables de entrada/salida, analógicas y discretas, y sus rangos de operación de acuerdo a como serán conectadas a las terminales de conexión del sistema MICROMAX 2.

Una vez identificadas las variables que se manejan en el proceso se procede a configurarlas de la siguiente manera:

El programa cuenta con tres pantallas de programación de puntos de datos, entradas y rangos analógicos. Estas son:

- Programación de los rangos analógicos (Analog Range Programing)
- Programación de las entradas analógicas (Analog Input Programing)
- Linearización de las entradas por el Usuario (Custom Input Linearization)

4.3.2. Programación de los rangos analógicos.

Los rangos analógicos (hasta 60 por sistema) se crean en una tabla separada, independiente de las entradas. Las entradas son asignadas después a un rango introduciendo el número de rango en la Pantalla de Programación de Entradas Analógicas.

Con la UPL fuera de línea (off-line), se presiona la tecla P (Program) y la tecla de funciones F1 para ingresar a esta pantalla. Figura 4.6.

Se selecciona el tipo de entrada, el rango de despliegue, grados C o F, Dir o Ind, el rango eléctrico y las unidades eléctricas, por ejemplo, las entradas de un transmisor de 4-20 mA son convertidas a unidades de ingeniería utilizando una entrada tipo "Volts", introduciendo los límites del rango eléctrico como 1 a 5 volts (una resistencia Shunt de 250 ohms se conecta en los bornes de la entrada), e introduciendo los rangos de desplegado apropiados. Se selecciona como tipo de entrada indirecta (Ind).

ANALOG RANGE PROGRAMMING					Wed Mar 84 19:16:42 1998			
PAGE 1 OF 4								
Rng.	Input Type	Displayed Range		F/C	Dir/ Ind	Electrical Range		Elect. Units
		Low	High			Low	High	
1	Volts	0.0000	33.500	deg C	Ind	1.0000	5.0000	V
2	Volts	0.0000	21.000	deg C	Ind	1.0000	5.0000	V
3	Volts	0.0000	21.000	deg C	Ind	1.0000	5.0000	V
4	Volts	1.0000	5.0000	deg C	Ind	1.0000	5.0000	V
5	NO INPUT	0.0000	0.0000	deg C	Dir	0.0000	0.0000	V
6	NO INPUT	0.0000	0.0000	deg C	Dir	0.0000	0.0000	V
7	NO INPUT	0.0000	0.0000	deg C	Dir	0.0000	0.0000	V
8	NO INPUT	0.0000	0.0000	deg C	Dir	0.0000	0.0000	V
9	NO INPUT	0.0000	0.0000	deg C	Dir	0.0000	0.0000	V
10	NO INPUT	0.0000	0.0000	deg C	Dir	0.0000	0.0000	V
11	NO INPUT	0.0000	0.0000	deg C	Dir	0.0000	0.0000	V
12	NO INPUT	0.0000	0.0000	deg C	Dir	0.0000	0.0000	V
13	NO INPUT	0.0000	0.0000	deg C	Dir	0.0000	0.0000	V
14	NO INPUT	0.0000	0.0000	deg C	Dir	0.0000	0.0000	V
15	NO INPUT	0.0000	0.0000	deg C	Dir	0.0000	0.0000	V
16	NO INPUT	0.0000	0.0000	deg C	Dir	0.0000	0.0000	V

Figura 4.6

Los datos introducidos en esta pantalla son guardados en la memoria de la PC y descargadas a la UPL por la PC cuando la pantalla de entradas de datos analógicos esta completa.

4.3.3 Programación de las entradas analógicas.

Presione la tecla P y después la tecla de funciones F2 para ingresar a esta pantalla (figura 4.7). Esta pantalla especifica los rangos de las entradas analógicas. Cada entrada analógica esta identificada con un número de AI. En esta pantalla, se introducen los números de rango, valores preestablecidos para

entradas abiertas y se selecciona la detección del estado de las entradas (si es necesario), abierta o cerrada.

En el número de rango (Range No) se introduce el número correspondiente al rango seleccionado en la pantalla de programación de rangos analógicos.

En la columna de valor preestablecido (Default value), se introduce un número, el número deberá estar dentro del rango y con el mismo formato decimal, este valor será tomado en cuenta si la entrada se encuentra abierta.

Unit 1		ANALOG INPUT PROGRAMMING				Wed Mar 01 19:19:13 1998		page 1 of 1	
AI No.	Skip	Range				Open Input		Description	Tag
		Cur No.	Low	High	Units	Chk	Default		
1		Yes 1	0.0000	33.5000		No	15.000	--	
2		Yes 2	0.0000	21.000		No	10.000	--	
3		Yes 3	0.0000	21.000		No	10.000	--	
4		Yes 4	1.0000	5.0000		No	1.0000	--	
5		No 0	-2.000	5.0000		No	unused	--	
6		No 0	-2.000	5.0000		No	unused	--	
7		No 0	-2.000	5.0000		No	unused	--	
8		No 0	-2.000	5.0000		No	unused	--	
9		No 0	-2.000	5.0000		No	unused	--	
10		No 0	-2.000	5.0000		No	unused	--	
11		No 0	-2.000	5.0000		No	unused	--	
12		No 0	-2.000	5.0000		No	unused	--	
13		No 0	-2.000	5.0000		No	unused	--	
14		No 0	-2.000	5.0000		No	unused	--	
15		No 0	-2.000	5.0000		No	unused	--	

Figura 4.7

La opción de checar las entradas solo será disponible si las entradas son menores de 250 mV.

4.4 Configuración de las funciones de Operación.

Cuando los datos han sido configurados, el siguiente paso será configurar las funciones de operación para monitorear y controlar el proceso. Estas funciones se presentan en cuatro categorías: Pseudo puntos (PP), control, lógicos y salidas.

La función de Pseudo punto crea un valor de cálculos o relaciones entre otros datos o funciones. Los pseudo puntos pueden estar referidos a otros pseudo puntos, funciones de lazos de control o funciones lógicas.

Las funciones de control son configuradas en pantallas especiales, con detalles específicos de varios tipos de lazos de control y ajuste de parámetros de sintonización.

Las funciones lógicas para la adquisición de datos o estrategias de control son configuradas en un diagrama de escalera estándar en una pantalla gráfica especial.

Configurar las salidas especiales consiste en designar ciertas salidas para alarmas generales, entradas abiertas y fallas en la unidad.

4.4.1 Configuración de los Pseudo puntos.

Para la configuración de los pseudo puntos se presiona la tecla P (Program) y después la tecla de funciones F3, la UPL deberá estar en modo programa para poder tener estos accesos.

Esta pantalla (figura 4.8) se usa para formular, identificar y especificar el orden de ejecución de los pseudo puntos. También es usada para especificar el orden de

ejecución de las funciones de control. Un pseudo punto es un dato cuyo valor se deriva de otros valores y relaciones.

Unit 1		PSEUDO POINT PROGRAMMING		Wed Mar 04 19:22:35 1998	
Num.	Exe. Seq.	Specification or Formula	Limits		
			Low	High	
1	1	COMP LI(AI1 5 CR1)	unused	unused	
2	0	LOOP 1	unused	unused	
3	10	COMP EQ(PP9 32 CR2)	unused	unused	
4	4	COMP EQ(PP9 32 CR3)	unused	unused	
5	6	PP10 + 0.5	0.0000	21.500	
6	7	PP10 - 0.5	0.0000	21.500	
7	8	-26.07 + (24.31 * AI4)	-2.000	60.000	
8	9	COMP LI(PP7 3 CR4)	unused	unused	
9	3	CLAMP(2 29.5 32 AI1)	1.5000	32.500	
10	5	AI2 * CN1	0.0000	21.000	
11	2	LOOP 2	unused	unused	
12	0		unused	unused	
13	0		unused	unused	
14	0		unused	unused	
15	0		unused	unused	
16	0		unused	unused	

Figura 4.8

Una vez programados en esta pantalla, los pseudopuntos con valores analógicos pueden ser visualizados en línea como puntos de datos analógicos en la pantalla de tabla de datos.

Un PP completo especifica:

1. Secuencia de ejecución.
2. Fórmula o función del PP.
3. Limite superior.
4. Limite Inferior.

Es necesario introducir todos los elementos requeridos en una sola línea. Cuando el cursor se mueve a una nueva línea, el PP es checado y enviado a la UPL. Mover el cursor de una línea a otra antes de que una línea este completa, puede causar errores.

4.4.2. Reglas para los PP.

1. Solo se permite un máximo de 30 variables y operadores matemáticos por expresión.
2. No existe jerarquía de operaciones.
3. Las evaluaciones se hacen de izquierda a derecha, con la expresión en paréntesis evaluada primero.
4. Un máximo de 10 paréntesis es permitido.
5. Crear PP separados para exponentes complejos.

ejemplo:

PP4 (AI1+CN3)/2

PP5 (AI7/AI9)EXP PP4

6. La multiplicación deberá utilizar el operador *, ejemplo:

$$AI3*(AI2+AI4).$$

7. No se puede usar el menos para la negación de parámetros. Si es necesario usar un negativo, se utiliza un PP separado, por ejemplo:

$$PPX -1*AI4$$

8. Para probar una ecuación se utilizan números constantes (CN), después se reescribe e introducen los valores adecuados.

9. No se pueden introducir límites para valores discretos.

10. Los límites superiores deben ser más positivos que los límites inferiores.

11. Una sola variable puede ser un PP.

12. Se deben completar los detalles de las pantallas de lazos de control antes de ser colocados en la lista de PP.

13. El número "0" en la secuencia de ejecución pone al PP en apagado.

14. Los lazos de control solo pueden ser colocados para ejecutarse una vez en el ciclo de búsqueda.

15. No es permitido introducir los límites para los lazos de control.

Se utiliza la función FIND para localizar un PP rápidamente si la lista es larga.

4.4.3. Procedimiento de entrada de los datos a la Tabla de PP.

La columna PP# se llena automáticamente, de acuerdo a la entrada realizada en la pantalla de dimensionamiento de base de datos.

Se emplean de 1 a 3 dígitos en la segunda columna para establecer el orden de ejecución de los PP. Cuando un nuevo PP es introducido el número inmediato superior deberá ser utilizado.

4.4.4. Descripción de los PP desarrollados para el presente trabajo.

Pseudo puntos Desarrollados para la estrategia de control Utilizada en el presente trabajo (referencia pantalla de pseudo puntos figura 4.8).

COMP LT(AI1 5 CR1)

Por medio de este pseudo punto se compara la entrada analógica uno (AI1) con un valor predeterminado (que nosotros establecemos en este caso 5 para el nivel bajo del tanque 1), si esta entrada es menor la salida control del relevador uno (CR1) se activara y en nuestra estrategia se detendrá la bomba uno.

LOOP 1

Por medio de este pseudo punto se ejecuta la acción de control del lazo 1 que corresponde activamente a una pantalla y a un lazo de control de relación previamente configurados.

COMP EQ(PP9 32 CR2)

Se establece como una alarma de seguridad ya que si la entrada analógica 1 (nivel del tanque 1) se encontrara fuera de los límites establecidos (en este caso 32 que es el nivel alto del tanque 1) la salida se establece en un valor y hace que se apague la bomba 2 al activar el CR2 (salida de control del relevador 2).

4 COMP EQ(PP9 32 CR3)

Una vez más se establece un alarma, ya que si la entrada establecida por el pp9 es igual al máximo valor de nivel soportado por el tanque 1 se disparara un relevador de control que no permite que arranque la bomba 2 o bien deje de funcionar (CR3), (esta alarma es una seguridad redundante).

PP10 + 0.5

Simplemente se hace un escalamiento a la entrada analógica 2 (AI2) por medio de una constante, para establecer el límite alto del ancho de banda en el que se va a establecer el control del set point preestablecido.

PP10 - 0.5

Al igual que en el pseudo punto anterior solo que establece el límite inferior.

-26.07 + (24.31 * AI4)

Este pseudo punto nos permite linealizar el nivel del tanque 2 de acuerdo a la señal recibida por la entrada analógica 4 (AI4) enviada por uno de los transmisores, esta linealización fue necesario realizarla debido a la forma del tanque.

COMP LT(PP7 3 CR4)

Nos establece que la salida por medio del CR4 va a ser 1 siempre y cuando el valor de la entrada establecida por el pp7 sea menor al valor establecido (entrada

2) ,en este caso el valor 3 que corresponde al nivel bajo del tanque 2; este pseudo punto es el control de nivel bajo del tanque 2.

CLAMP (2 29.5 32 AI1)

Una vez más se establece una alarma para evitar que ahora el tanque 2 se vacíe y pueda ocasionar daños a la bomba al trabajar esta en vacío.

AI2 * CN1

Solamente hace un escalamiento de la entrada analógica 2 al realizar un producto con una constante.

11. LOOP 2

Por medio de este pseudo punto se ejecuta la acción de control del lazo 2 que corresponde activamente a una pantalla y a un lazo de control de relación previamente configurados.

4.4.5. Uso de la calculadora en la pantalla de PP.

Se introduce la especificación o fórmula del PP de la siguiente manera;

1. Con las teclas de funciones y el teclado numérico para introducir los datos.
2. Se emplean los operadores matemáticos como sea necesario.
3. Se Utilizan las teclas (,) del teclado alfabético si es necesario.
4. Para introducir números se utiliza el teclado numérico (6 dígitos máximo, incluyendo signo y punto decimal).

Es necesario terminar cada renglón con la tecla ENTER.

4.5. Uso de las funciones preprogramadas:

Para usar estas funciones, se coloca el cursor en el área deseada y se presiona la tecla F (Function) procediéndose de la siguiente manera:

1. Se selecciona la función deseada con las teclas de funciones, el nombre de la función aparecerá en la columna, con campos establecidos para entradas o argumentos y datos para una función particular.
2. Se utilizan las teclas de funciones para seleccionar e introducir todos los argumento requeridos.

Las funciones disponibles y el tiempo requerido de ejecución para cada función se muestra en la tabla.4.1

4.6. Programación de la función de Control.

Se tienen 9 pantallas para configurar funciones de control. Algunas son variaciones de los lazos de control PID, control en cascada, control On/Off y control de rango dividido, por ejemplo la fórmula del controlador PID utilizada es:

$$salida = -G\left(e + \frac{1}{T_i} \int e dt - F_n T_d \frac{dPV}{dt}\right) + FF$$

donde: *

F_n es una función propiedad de L&N.

FF es la señal de prealimentación

G es la ganancia

e es el error *

Ti es el tiempo integral

Td es el tiempo derivativo

PV es la variable del proceso

TIEMPO REQUERIDO PARA LOS PSEUDOPUNTOS Y LAS FUNCIONES DE CONTROL			
FUNCIONES	TIEMPO	FUNCIONES	TIEMPO
1. SCALE	0.4120	27. Logic Or	0.3622
2. SIGNAL SELECT	0.2717	28. Logic Xor	0.3622
3. SIGNAL CLAMP	0.2264	29. Logic Not	0.3622
4. LOW SELECT	0.9940	30. Peak Picking - High	0.3623
5. HIGH SELECT	0.9940	31. Peak Picking - Low	0.3623
6. Scaled Square Root	1.5400	32. PAT Scale	0.5327
7. Lead / Lag	0.6300	33. Hill Climbing	1.2712
8. Slew	0.4120	34. Rate of Change	0.4190
9. Sample / Hold	0.3170	35. Integer Compare	0.3901
10. Single Input Time Avg.	5.1163	36. Rotary Switch	0.2690
11. Multiple Input Avg.		37. Logic Imposed Signal Limit	0.4120
2 inputs	0.3622		
25 inputs	1.1700	38. Duty Cycle	0.4120
12. Single Input deviation	0.4120	39. Resettable Slew Rate	0.4120
13. Multiple Input Deviation	0.4120	40. Calculator (User Defined)	VER ABAJO
14. Totalization - Hours	0.4190		
15. Totalization - Minutes	0.4190	MATH FUNCTIONS	
16. Function Generator	0.5389	Add	0.1560
17. BCD Translator	0.4120	Subtract	0.1600
18. Mass Flow w / Square Root	1.7080	Multiply	0.1600
19. Press. Comp. Drum Level	0.4120	Divide	0.1910
20. Compare Equal	0.3170	Square Root	1.1410
21. Compare - Lees Than	0.3170	Log x	1.0080
22. Compare - Greater Than	0.3170	Ln x	1.1873
23. Compare - lees/equal	0.3170	e ^x	1.15846
24. Compare - Greater/ Equal	0.3170	y ^x	2.4410
25. Time compare	0.4120	Absolute	0.2500
26. Logic And	0.3622	CONTROL FUNCTIONS	
		Set Point Programer	3.0000
		PID	2.5000
		Carbon Potential PID	5.5000

Tabla 4.1

Una vez configurados, los lazos de control y los programas de punto de servicio (set points) deberán incluirse como PP en la pantalla de programación de estos para poder hacer uso de ellos, ya que de no hacerlo los lazos de control no funcionarían.

Para ingresar a estas pantallas es necesario presionar la tecla L (Loop Details); para introducir la mayoría de los datos en estas pantallas la UPL deberá estar en modo Programa, algunos datos de control se podrán hacer con la UPL en línea, para permitirte al operador intervenir con una salida de control manual, un punto de operación local y algunos parámetros de sintonía.

6.1. Elementos de la Pantalla de Configuración de la función de Control (fig. 4.9)

La pantalla de configuración de la función de control (Control de relación; que es el que se desarrolla en este trabajo) consta de los siguientes elementos:

Process Variable : Selecciona la variable del proceso que será controlada.

Hi, Lo Limit: Establece los límites alto y bajo de la variable a controlar.

Remote Set Pt : Se introduce un número o una fuente de señal analógica para establecer el punto de operación cuando se selecciona remoto

Local Set Pt: Lo mismo que Remote pero para un punto de operación local.

Working Set Point: Punto de operación.

Hi Limit: Permite introducir el valor máximo de trabajo del punto de operación.

Lo Limit: Permite introducir el valor mínimo de trabajo del punto de operación.

Slew Limit: Nos permite introducir un valor de 0.1 a 999.9 unidades de ingeniería por minuto, u OFF. El valor introducido restringe el rango de cambio del setpoint

de control del lazo al rango introducido, independiente de la fuente. Off permitirá el cambio instantáneo.

Unit 1		RATIO CONTROL LOOP SPECIFICATION		Wed Mar 04 19:12:05 1998	
Loop 1 --					
Process Variable	Set Point	Output	Deviation		
-0.841	0.3513 LOC	1.6726 AUTO	-0.351		
Process Var	-0.838		Gain	1.0000	OFF
Hi Limit	21.000		Reset	OFF	OFF
Lo Limit	0.0000		Rate	OFF	OFF
			Tune Select	OFF	
Remote Set Pt	-0.016	Ratio	1.0000	Approach Hi	0.1000
Local Set Pt	0.0652	Bias #1	0.1000	Approach Lo	0.1000
		Bias #2	OFF	Manual Reset	OFF
Working Set Point		Wild Variable	0.0652	Control Action	REV
Hi Limit	0.5652	OFF	Force Manual	LSP Tracking	RSP
Lo Limit	0.0000	OFF	Force Local	Feedback	20.000
Slew Limit	0.1000	OFF	Change Action	Preset Out	OFF
Feedforward	OFF				
Reset Limit	OFF				

Figura 4.9

Feedforward: Selecciona una fuente de señal analógica para modificar la salida de control del lazo independiente del cálculo del PID. El rango de valores debe estar entre 0 y 100 unidades. Esta opción se usa típicamente para proporcionar un cambio anticipado en la salida del cambio en la variable de proceso del lazo.

Reset Limit: nos permite introducir un valor entre 0 y 1.00, u Off. Este valor determinara el porcentaje del cuadrado de la señal de error proporcionada por el PID.

Ratio: Permite introducir la relación deseada del setpoint.

Bias 1,2: Por este medio, introducimos el valor deseado de offset de la relación.

Wild Variable: Se establece la fuente de la variable que será afectada por la relación y comparada con la variable a controlar.

Force Manual: Se introduce la fuente de un valor discreto (DI, DO, CR) para forzar al lazo de control automático a control manual.

Force local: Establece el origen de un valor discreto para forzar a un setpoint local cuando la entrada esta en alto.

Change Action : Establece el origen de un valor discreto para seleccionar la acción de control opuesta a la seleccionada. La acción de control será la opuesta cuando el valor discreto este en ON.

Gain : Esta es la entrada de la ganancia proporcional del lazo de control (0.1 a 200). El valor introducido aquí es la ganancia aplicada a la señal de error para determinar la salida de control. Off proporciona solo control integral.

Reset: Nos permite introducir un número entre 0.005 y 99.99 repeticiones por minuto. El valor introducido determinara el periodo de tiempo para repetir la salida de la ganancia proporcional. Introduzca un valor inicial, el valor puede ser alterado en línea para la sintonía final del lazo.

Off: proporcionara únicamente control proporcional.

Rate : Nos permite Introducir un valor entre 0.02 a 5.00 minutos. Este valor modifica la salida del lazo basada en el rango de cambio de la variable del proceso.

Tune Select. Si se introduce un valor discreto se seleccionara el segundo grupo de constantes de sintonía listadas en la "segunda" columna. El lazo de control utilizara estas constantes cuando el valor de la entrada discreta este encendida (On). Un calculo de transferencia para un choque menor (ajustado a las condiciones del Reset) se hace en la transición.

Approach Hi: Esta función hace que la variable del proceso se aproxime al punto de operación cuando el valor de la variable es menor que el punto de operación. Introduzca un valor entre 0.1 a 100 u Off.

Approach Lo : Esta función hace que la variable del proceso se aproxime al punto de operación cuando la variable es mayor que el punto de operación.

Manual Reset : Esta opción funciona únicamente cuando se selecciona Off en Reset y hace que actúe solo el control proporcional.

Control Action : Selección directa e indirecta. Cuando se selecciona acción de control indirecta, la salida de control se incrementara si la salida de control es menor que el punto de operación, y disminuirá si es mayor.

LSP Tracking : Selección entre PV (variable del proceso) RSP (Set point remoto) o nada. El seleccionar PV o RSP causa que el setpoint local sea puesto a el valor de la variable o el set point remoto, respectivamente, cuando se cambia de remoto a local.

Feedback : Ratifica al lazo de que la salida solicitada por el lazo (CO) fue alcanzada por el modulo analógico (AO).

4.7. PLC Funciones Lógicas.

Las operaciones lógicas, incluyendo el control lógico programable, se configuran con entradas gráficas directamente en una pantalla de diagrama de escalera para PLC. Un diagrama de escalera es permitido por cada UPL. Cada peldaño puede contener hasta 9 elementos de ancho por 10 líneas con una salida. Hasta 200 peldaños pueden ser programados. La ejecución de los diagramas de escalera es de derecha a izquierda y de arriba hacia abajo. Figura 4.10.

4.8 Programación de las salidas de control analógicas.

Se utiliza la tecla P (Program) y la tecla de funciones AO para ingresar a esta pantalla. La UPL deberá estar en modo programa.

Esta pantalla especifica los parámetros de las señales de salida del lazo de control analógicas (figura 4.11).

Programación de salidas CAT (Tipo Ajuste de Corriente).

4. 8.1 Elementos de la pantalla de configuración de Salidas Analógicas (figura 4.11)

Fuente de entrada (Input Source).

Se debe especificar un valor de salida analógica. Para los lazos de control es típicamente puesta como una salida de control (CO#).

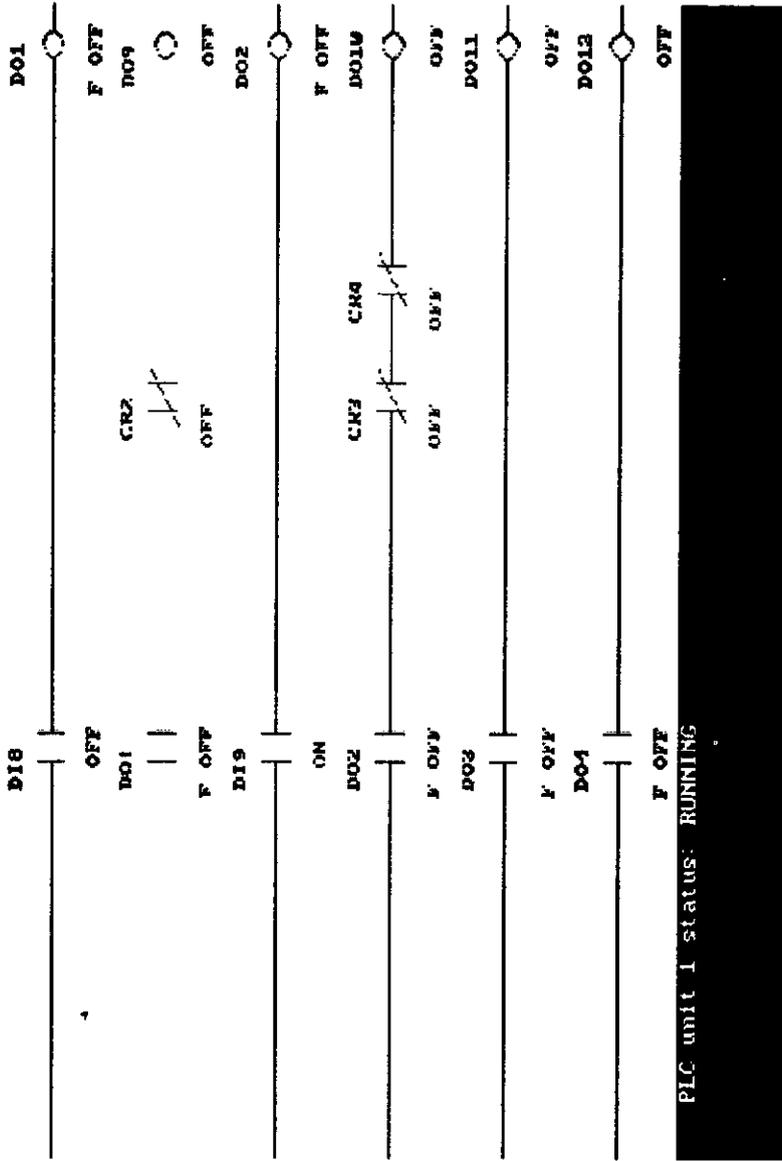


Figura 4.10

Unit 1		ANALOG OUTPUT PROGRAMMING		Wed Mar 04 19:25:05 1998	
				page 1 of 4	
Output Module #1	CAT	Output Module #2	CAT		
AO 1	Input Source	CN 20	AO 3	Input Source	NULL
	High Limit	100.00		High Limit	100.00
	Low Limit	0.0000		Low Limit	0.0000
	Output High Limit %	100.00		Output High Limit %	100.00
	Output Low Limit %	20.000		Output Low Limit %	20.000
	Slew Rate Limit	OFF		Slew Rate Limit	OFF
AO 2	Input Source	CO 2	AO 4	Input Source	NULL
	High Limit	100.00		High Limit	100.00
	Low Limit	0.0000		Low Limit	0.0000
	Output High Limit %	100.00		Output High Limit %	100.00
	Output Low Limit %	20.000		Output Low Limit %	0.0000
	Slew Rate Limit	OFF		Slew Rate Limit	OFF
1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12

Figura 4.11

Puede ser, sin embargo, directamente un valor analógico tal como un Pseudo punto para retransmitir este valor a un dispositivo externo.

7

Limites superior e inferior de la entrada (High/Low Limit Input).

Si la fuente es un lazo de control PID, hay que especificar un valor alto de 100 y un valor bajo de 0. Si la fuente es un valor analógico, se especifican las unidades

de la fuente que representen los límites alto y bajo para el módulo de salida analógica.

Límites de salida alto y bajo (High/Low Limit Output).

El módulo de salidas analógicas CAT tiene un Span de salida de 20 mA cuando el límite superior de salida es de 100, y 0 mA cuando el límite inferior de salida es de 0. Para seleccionar una salida de 4 mA se tiene que seleccionar un límite inferior de 20% y un límite superior de 100%, entonces el span de salida de control será de 4 a 20 mA.

Finalmente ya realizado este procedimiento para configurar Micromax se regresa a la pantalla de estado de operación y cambiamos el estado al modo en línea (de comunicación, On-Line).

Se verifican todas las entradas y se hacen los ajustes necesarios para poder dejar a la UPL trabajando.

5. Configuración del software de operación, gráficas de tendencias, mímicos dinámicos y reportes.

5.1 Configuración del software de operación. DATAVUE.

Para iniciar el trabajo con el software es necesario configurarlo. Así se debe configurar la pantalla del editor, las comunicaciones, la seguridad y el sistema.

5.1.1 Configuración de la pantalla de edición.

La pantalla de edición es la parte donde se elaboran los mímicos dinámicos, los reportes, las gráficas de tendencia, es decir, toda la visualización del control que se quiere realizar con el sistema Micromax en la planta. Figura 5.1

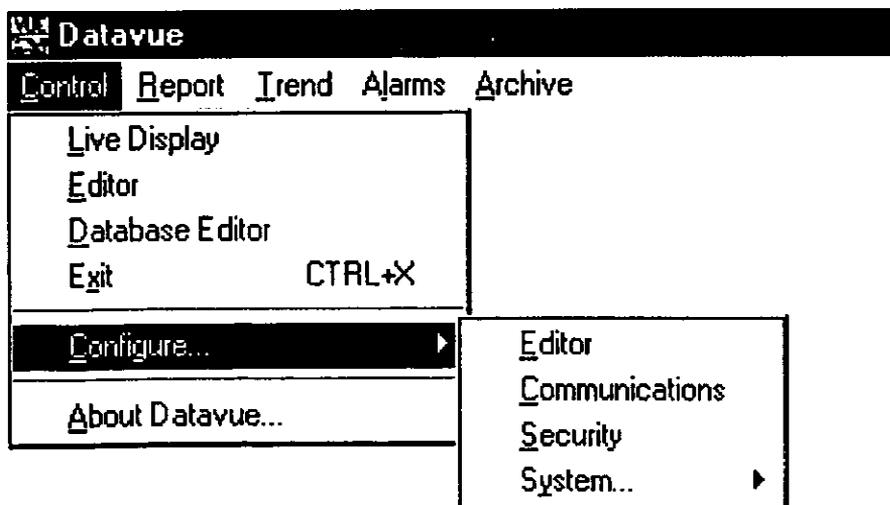


Figura 5.1 Pantalla del submenú de configuración del menú control.

Del menú control se selecciona la opción de configuración, seleccionamos Editor, figura 5.2:

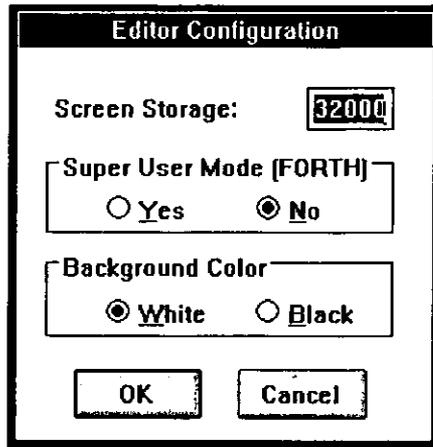


Figura 5.2 Pantalla de configuración del editor.

El número screen storage es la cantidad de memoria por pantalla (screen buffer). Debe incrementarse o decrementarse la cantidad de acuerdo a las necesidades (máximo 32767).

El screen buffer es un área en la memoria interna que contiene cada elemento colocado en la actual pantalla de edición. Contiene los códigos de cada elemento que el sistema utiliza para redibujar la pantalla al estar en el modo en línea (On-Line) en el mismo orden en que fueron creados.

5.1.2. Configuración de las comunicaciones.

Del menú Control se selecciona la opción de comunicaciones, figura 5.3.

Communications Setup

Port Name:

Machine Class

Unit Numbers

Assigned: Available:

Baud Rate
 1200 4800 19200
 2400 9600 38400

Data Bits
 5 7
 6 8

Parity
 None Even Odd

Stop Bits
 1 2

Offline Retry Count:
 Online Retry Count:

Figura 5.3 Pantalla de la configuración de las comunicaciones.

Selección del puerto de comunicaciones.

Se debe tener en cuenta el estado actual de la configuración del hardware. La tabla 5.1 nos indica la dirección y la interrupción necesarias para cada puerto.

Puerto	Dirección	Interrupción
1	3F8	IRQ4 (serial 1)
2	2F8	IRQ3 (serial 2)
3	3E8	IRQ4 (serial 1)
4	2E8	IRQ3 (serial 2)

Tabla 5.1

Considerando la tabla 5.1 se selecciono el puerto COMM 4.

Selección de la clase de máquina.

La clase de máquina determina el tipo de conducto de comunicaciones que DATAVUE utiliza para comunicarse con el equipo conectado. No se puede tener diferentes clases de máquinas conectadas a un mismo puerto.

Selección del número de unidad.

Los números de unidad son únicamente necesarios para identificar el equipo conectado en los puertos de comunicaciones. Los números de unidad corresponden directamente a la dirección de configuración de unidades (1-254). Cuando DATAVUE envía un mensaje a una unidad, se incorpora el número de unidad en el mensaje y solo la unidad con el número correcto ejecutara dicho mensaje.

Selección de la velocidad de Transmisión (Bauds).

Debe tenerse en cuenta la velocidad a la que fue configurada la UPL para poder comunicarse con esta. La UPL esta configurada a 19200.

Selección de los bits de datos. Se puede seleccionar 5 a 8 bits

Selección del tipo de paridad.

Selección del número de bits de paro.

5.1.3 Configuración de la base de datos.

Del menú Control se elige la opción editor de la base de datos (Database Editor).

Figura 5.4.

La base de datos es necesaria para determinar los parámetros con que cuenta el sistema (entradas, salidas, constantes, puntos de control, etc.) además del tipo de máquina.

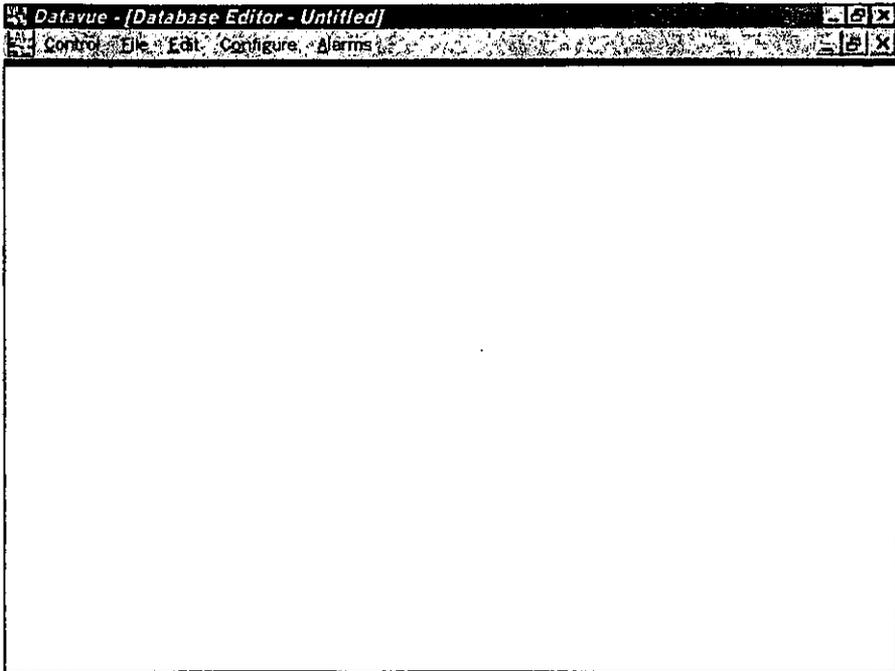


Figura 5.4 Pantalla del editor de la base de datos.

Configuración del Hardware y el tamaño de la base de datos de L&N.

Se debe seleccionar un tipo de máquina específico dentro de las opciones con que cuenta el fabricante del equipo, además del tamaño de la base de datos para poder comunicarse adecuadamente con la UPL. Para esto se selecciona la opción

Configurar (Configure) del menú de cortinas del editor de la base de datos. Figura

5.5



Figura 5.5 Pantalla de configuración de la base de datos.

Configuración del Hardware.

La opción Configuración del hardware de L&N permite especificar si la máquina es una UPL, un registrador SX25000, etc. , figura 5.6, al seleccionar cualquier opción se introduce el número de unidad, figura 5.7.

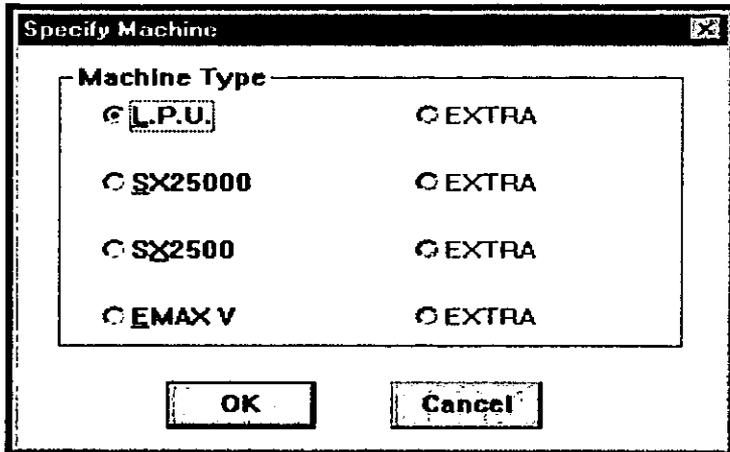


Figura 5.6 Pantalla de selección del tipo de máquina.

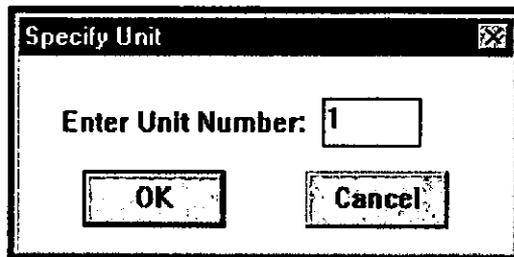


Figura 5.7 Pantalla del número de la unidad.

Configuración del tamaño de la base de datos.

Se introducen los mismos valores que fueron establecidos en el software Maxpro.

Figura 5.8

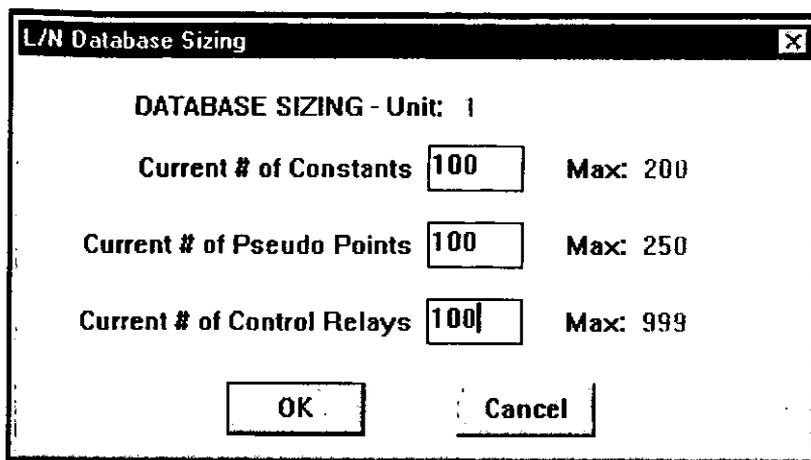


Figura 5.8 Pantalla del tamaño de la base de datos.

Los parámetros de entradas y salidas son añadidos automáticamente al seleccionar el tipo y número de unidad.

5.2 Gráficas de tendencias.

Una tendencia es un gráfico contra el tiempo que sigue una o más variables de proceso. Muestra los datos que están ocurriendo así como los historizados.

Las gráficas de tendencia son normalmente utilizadas para seguir la trayectoria de variables analógicas. Cada dato es mostrado enmarcado entre sus propios límites alto y bajo. El sistema monitorea el punto e indica si la variable ha rebasado arriba o abajo de los niveles de alarma desplegando ésta con una línea roja.

La línea también puede ser blanca dependiendo si se tiene un error de comunicación en alguna muestra. Cuando una tendencia que estaba

ejecutándose es reiniciada después de una interrupción de energía, dos muestras se insertan en los datos para indicar los puntos de reinicio para todas las líneas.

Datavue puede mostrar hasta un máximo de 12 variables y/o parámetros (líneas) por gráfica de tendencias. Si se requiere mostrar más de 12, se deberá usar más de una gráfica de tendencia en la pantalla. Cada línea es mostrada en diferente color; Datavue determina el color para cada línea.

Antes de poder crear una gráfica de tendencias o un reporte es necesario configurar una base de datos. En el menú Math se selecciona Graph Data. Figura 5.9

5.9

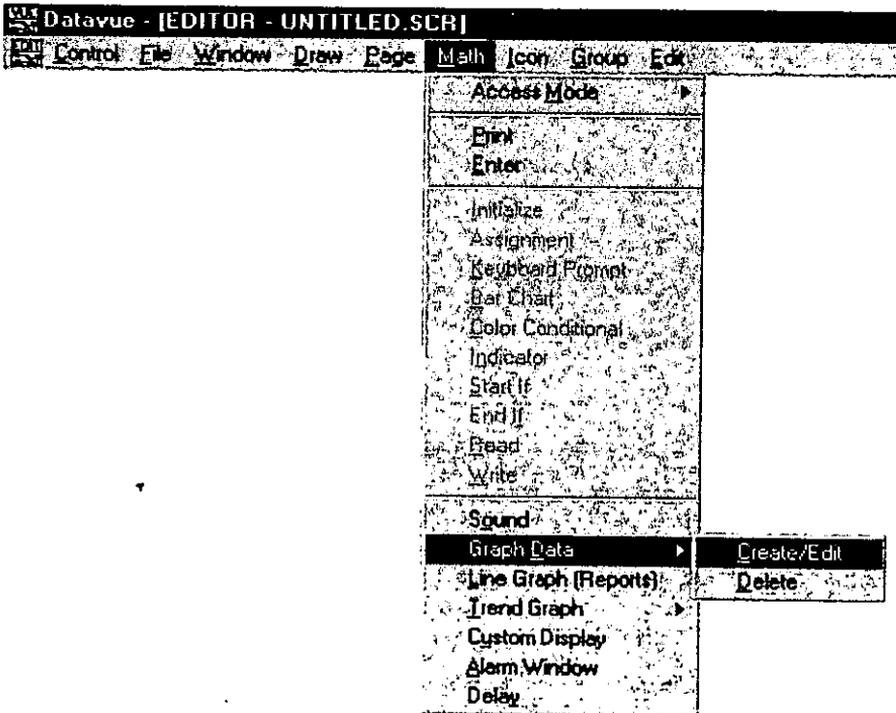


Figura 5.9 Pantalla de edición de los datos gráficos.

Se introduce el nombre que se desea lleve el archivo de datos. Este nombre es muy importante ya que los reportes y las gráficas de tendencia harán referencia a este nombre para la creación de los mismos. El software asigna la extensión TIN al archivo declarado.

Una vez que se ha introducido el nombre aparece la siguiente pantalla, figura 5.10

Figura 5.10 Pantalla de edición de los datos de los gráficos.

Selección de la velocidad de muestreo.

Selección del tiempo de actualización del elemento en la base de datos. El tiempo mínimo es 1 segundo.

Selección del número máximo de muestras.

Este número determina la cantidad de muestras que se almacenan por cada gráfica. El número máximo es de 1000.

Se define si los datos son enrollados.

Se define el almacenamiento de los datos historizados.

La opción Si (Yes), almacena las muestras obtenidas en un archivo.

Configuración de la variable.

En este punto se debe especificar el tipo y número de variable que se quiera visualizar en la gráfica de tendencia.

El software le asigna un número de punto a cada variable que se configure.

Selección del nombre del archivo.

De la base de datos del software se selecciona de que tipo de variable se trata y la unidad (LPU]). Por ejemplo, el archivo u01analg.raw significa:

u01 - Unidad número 1 (UPL)

analg - Variable analógica

raw - es la extensión que asigna el software a la base de datos.

Selección del tipo de registro.

Selección de la característica de la variable; de entrada, salida, pseudopunto, etc.

Ejemplo AI AI ANALOG INPT significa entradas analógicas.

Selección del número de elemento.

Se define el número de la variable que será muestreada.

Se establecen los límites.

Los límites se definen automáticamente habilitando la opción Database.

Se repite la selección de archivo, tipo de registro, elemento y límites seleccionando Aceptar (Accept) y Siguiente (Next) para cada variable.

El máximo número de puntos es 24. Si se requiere más de esta cantidad se creará otro archivo con un nombre distinto.

5.3 Creación de una gráfica de tendencias.

Los pasos para crear una gráfica de tendencias se describen a continuación.

5.3.1 Seleccione la opción Gráfica de tendencia (Trend Graph) del menú Math.

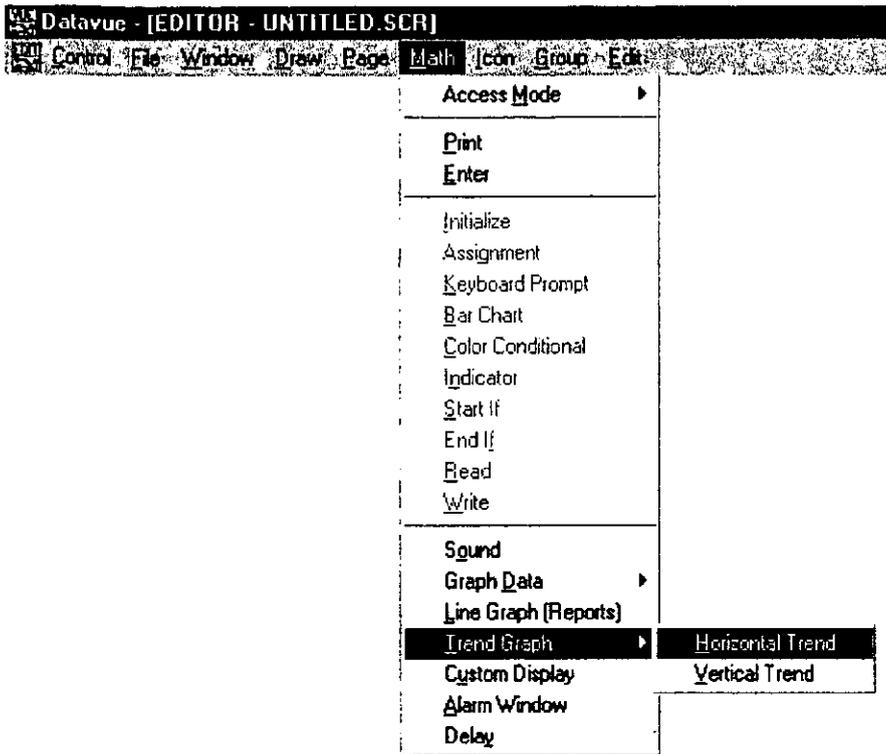


Figura 5.11 Menú de selección del tipo de gráfica.

5.3.2 Se define el tipo de gráfica.

Gráfica Horizontal (Horizontal Trend) o Gráfica Vertical (Vertical Trend). Una gráfica horizontal traza de derecha a izquierda y una gráfica vertical traza de arriba hacia abajo. La figura 5.12 muestra los colores preestablecidos por el fabricante para cada una de las variables, además muestra los colores del fondo y marco de la gráfica, una paleta de colores para hacer cambios en los colores preestablecidos.

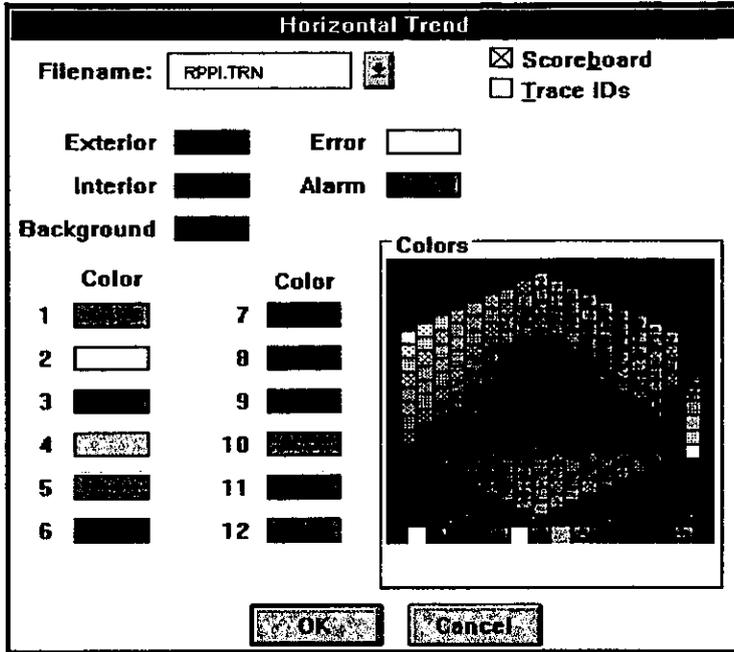


Figura 5.12 Pantalla de configuración de una gráfica horizontal.

Selección del nombre de la base de datos gráficos a utilizar por esta gráfica de tendencia.

Estos archivos se configuran en la opción Datos Gráficos (Graph data) del menú Math. El software le asigna la extensión TRN.

Se define el Marcador (Scoreboard).

Una X habilita el marcador. El marcador es el texto en la parte superior de la gráfica el cual muestra la información de los puntos tales como, etiqueta, descripción, valor actual y unidades.

Se define las marcas de trazado (Trace lds).

Esta marca corresponde al número de variable asociada al trazo, en el orden en que se ingresaron a la base de datos.

Selección de los colores.

El software proporciona los diferentes colores que tendrá la gráfica, sin embargo es posible cambiar estos colores seleccionando de la paleta de colores el color que se desea para cada variable, además del exterior, el interior y el color de fondo de la gráfica.

Cuando se completa la selección se acepta con OK para activar las acciones seleccionadas.

Posición de la gráfica en la pantalla.

La barra de título muestra Posición de la tendencia (Position Trend). El botón izquierdo del ratón habilita a un cursor en forma de cruz en un rectángulo. Posicione y elija el tamaño de la gráfica. Con el botón derecho se define cuando la gráfica sea del tamaño deseado.

La gráfica de tendencia aparece en la pantalla. Los colores pueden ser cambiados con la opción Atributos del menú Edit. Figura 5.15

5.3.4 Complemento de la gráfica.

Se puede definir a que corresponde la gráfica elaborada mediante rótulos, además se pueden colocar opciones de cambio de pantalla, inicio y paro de la gráfica mediante teclas de funciones o también mediante "Hotspots".

5.3.5 Registro de la gráfica.

Se define un nombre de archivo.

Del menú File se selecciona Save, se introduce el nombre con el que se guardara el archivo, este nombre deberá ser el mismo de la base de datos.

Registro de la pantalla.

Para poder acceder a la pantalla creada en la modalidad en vivo (Live screen) se tiene que registrar la misma. Del menú File seleccionar Register screen. Después seleccionar Display, aceptar el nombre que aparece. Figura 5.13

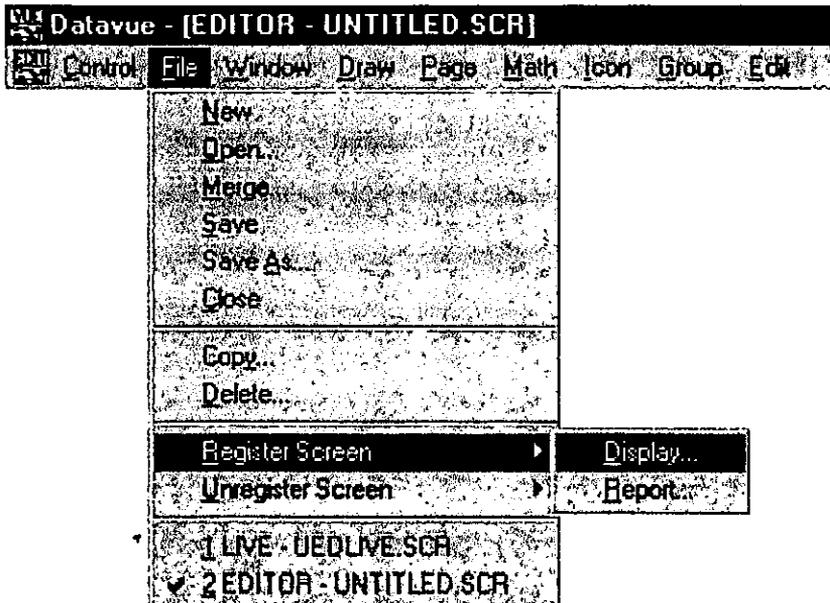


Figura 5.13 Menú de registro de las pantallas.

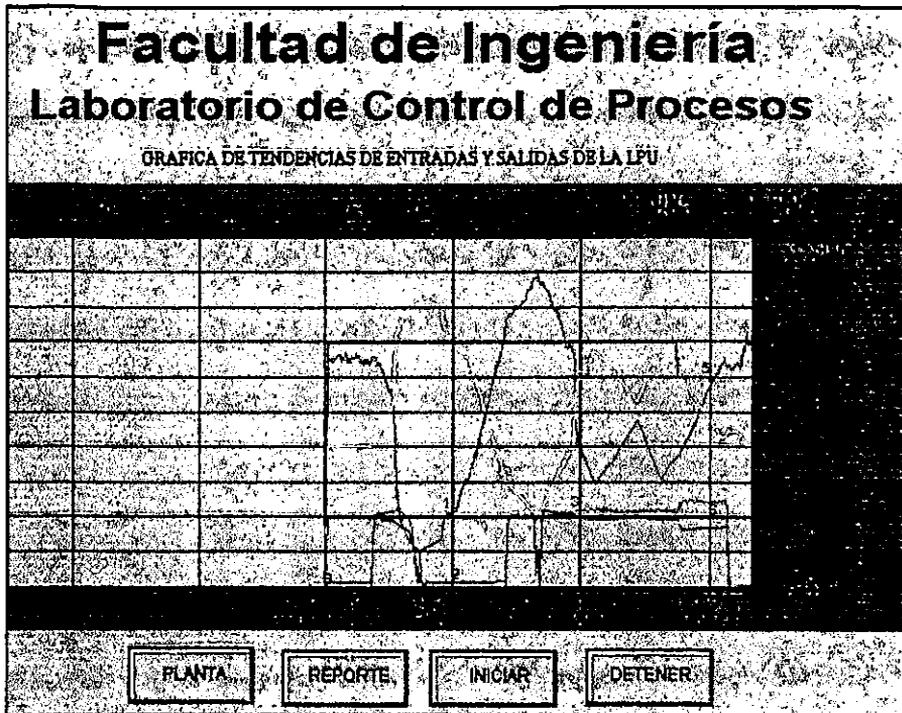


Figura 5.14 Gráfica de tendencias

5.4 Mímicos dinámicos.

Los mímicos dinámicos son una representación gráfica del proceso que se quiere controlar. Estas gráficas pueden ser figuras que cambian de color al cambiar de estado "de 0 a 1" ó figuras que se llenan o vacían según el valor de la variable que se despliega.

La figura muestra la planta como un mímico dinámico, es decir, se representan los cambios en las variables mediante cambios de nivel, proporcionales a los que se tienen realmente, también se representa el estado de las bombas y las válvulas solenoides "rojo" si esta apagado/bloqueada " verde" si esta encendido/alineada

5.4.1 Elaboración de un mímico dinámico.

Para elaborar un mímico dinámico, primero se seleccionan los atributos de la figura que se quiere representar.

En el menú Draw se selecciona Atributos.

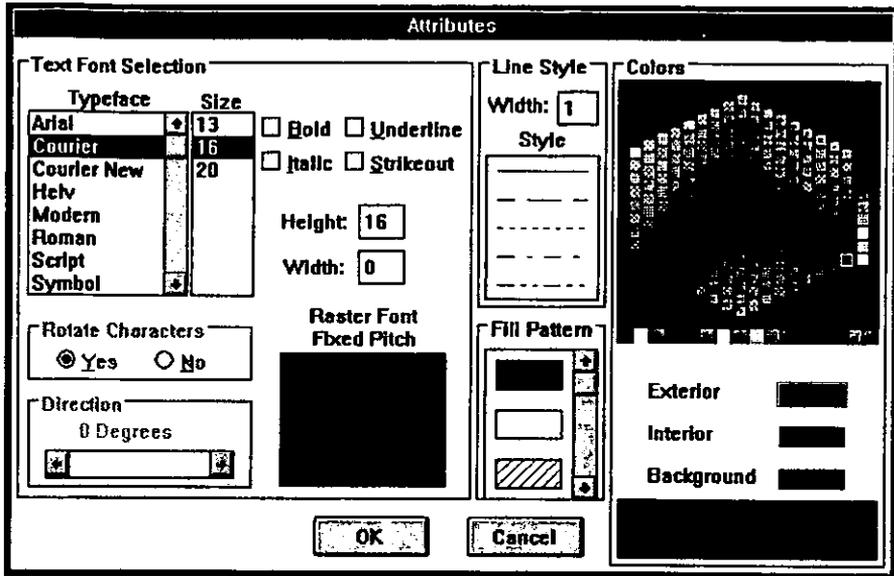


Figura 5.16 Selección de los atributos de un gráfico.

Aquí se seleccionan los colores interno y externo de la figura así como su color de fondo (solo se aplica a etiquetas, valores numéricos, texto), el ancho de la línea de borde, el tipo y tamaño de letra. Figura 5.16.

Elaboración de la figura.

El siguiente paso será elaborar la figura, también se pueden utilizar las figuras establecidas por diseñador del software. Figura 5.17

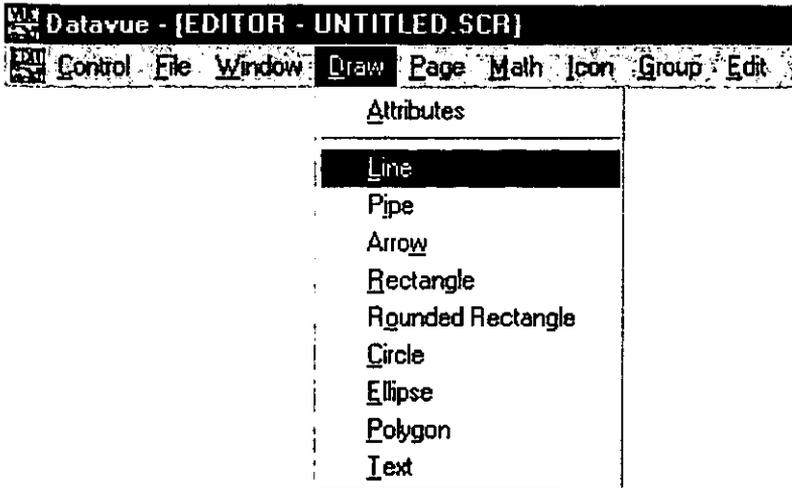


Figura 5.17. Selección de la forma de la figura.

Una vez que se tiene la figura se tiene que editar para que se convierta en un "Icono".

Definición del icono.

Del menú Icon se selecciona definir (Define), el cursor aparece en forma de cruz, con el ratón se abre una ventana arrastrando la cruz de tal manera que cubra la figura que se quiere convertir en icono. Si esta figura es muy utilizada es recomendable guardarla como archivo tipo icono. Figura 5.18

Guardar un icono.

Del menú Icon seleccionar la opción Save, proporcionar un nombre representativo del icono que se quiere almacenar y aceptar.

Cuando la figura esta en forma de icono es posible rotarla o darle la vuelta (flip).

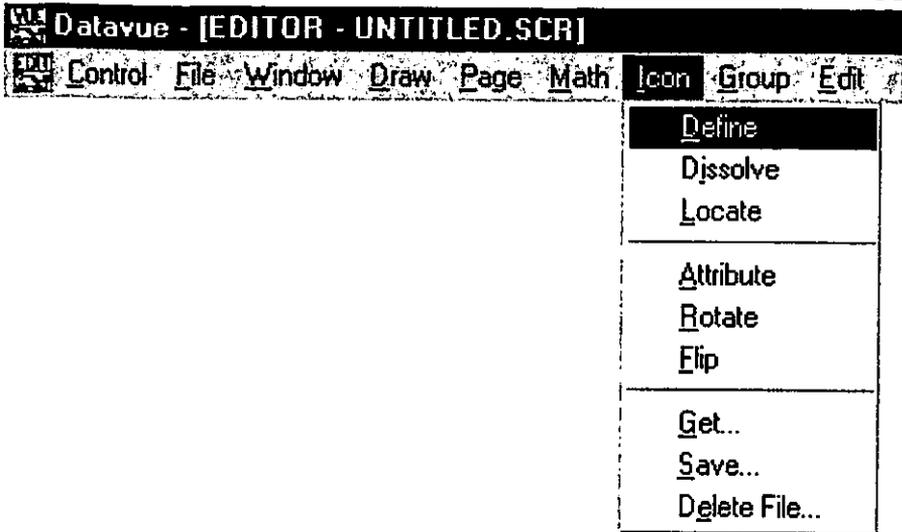


Figura 5.18. Elaboración de los iconos.

Acción que realizara el mímico.

En el menú Math se define la acción a realizar por el mímico, ya sea un cambio de color, un cambio de nivel, un cambio de nivel con cambio de color, etc.

Cambio de nivel.

Para el cambio de nivel se selecciona la opción Gráfica de barra (Bar Chart), aquí se define si la gráfica se mueve de arriba hacia abajo o viceversa.

Cambio de color.

Para el cambio de color se selecciona la opción Condicional de color (Color conditional), aquí se define la condición para el cambio de color.

5.5 Reportes.

Las pantallas que han sido registradas como reportes pueden ser utilizadas en lugar de los reportes que se llenaban manualmente, estos reportes pueden ser archivados en disco, iniciar, terminar de coleccionar los datos o imprimirse al darse un evento discreto o por tiempo. Los reportes pueden ser de dos tipos:

- El primer tipo contiene datos del proceso, datos de acceso del usuario. Datos DDE (Data Dynamic Exchange) y cálculos que utilizan estos datos.
- El segundo tipo incluye datos que son actualizados periódicamente y colocados debajo del dato anterior en una tabla. Figura 5.19 , este tipo se usa frecuentemente para reportes por lotes que requieren reportes de registro a intervalos regulares.

Para la creación de un reporte es necesario:

- Especificar la información que se desea y la forma de la presentación.
- Crear un tipo de registro y una base de datos para cada uno de los campos del reporte
- Crear la pantalla de acuerdo a lo planeado anteriormente, se puede utilizar la opción Line Graph para crear columnas que se llenaran automáticamente a los intervalos establecidos.
- Registro de la pantalla como reporte.

Iniciar el reporte (En línea) empleando la pantalla como base pero dándole un nombre único a cada reporte.



Figura 5.19 Pantalla de un reporte tipo.

5.6 Hotspots.

Un hotspot es una área en la pantalla, un botón o un objeto, que cuando es tocado por el usuario, activa una operación específica. La acción puede ser dibujar un dispositivo, enviar datos a un equipo remoto, el salto a otra pantalla distinta o un reporte. Un hotspot se crea en tres pasos:

1. Inicio del hotspot.
2. Asignarle una o más funciones.
3. Fin del hotspot.

5.6.1 Inicio del hotspot.

Elaboración de la figura.

Se crea la figura que será el identificador del hotspot, este procedimiento es el mismo que se empleo para la creación de las figuras en los mímicos dinámicos, es decir, seleccionar los atributos y elegir la figura.

Definición del hotspot.

Del menú Pagina (Page) se selecciona inicio del hotspot (Start Hotspot) figura 5.20, aparece el cursor en forma de cruz y la barra de titulo indica que se ubique el hotspot, con el botón izquierdo se define un rectángulo que será el tamaño del hotspot, se adecua el tamaño según la figura que se quiere convertir a hotspot y se acepta el tamaño con el botón derecho, la barra de titulo cambiara a edición del hotspot.

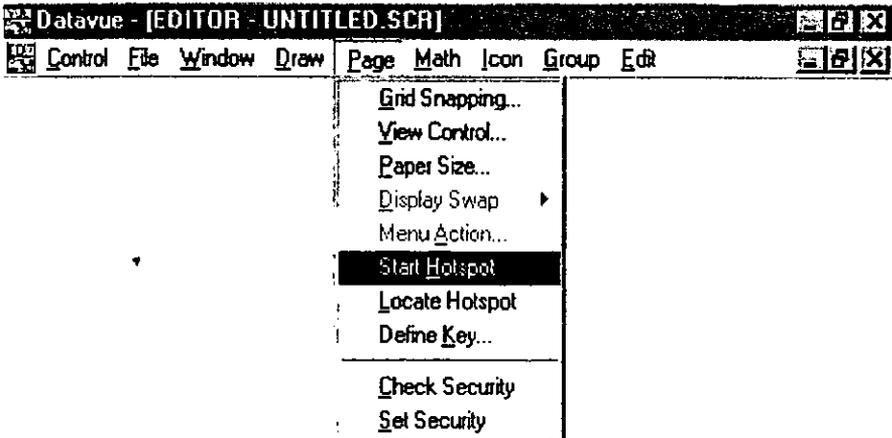


Figura 5.20

5.6.2 Definición de la función a realizar por el hotspot.

Del menú Page se selecciona el menú de acciones (Choose Menu Action) figura 5.21, salto de pantalla (Display Swap) figura 5.22 o cualquier otra opción disponible de los demás menús de cortina, escribir (Print) del menú Math, etc.

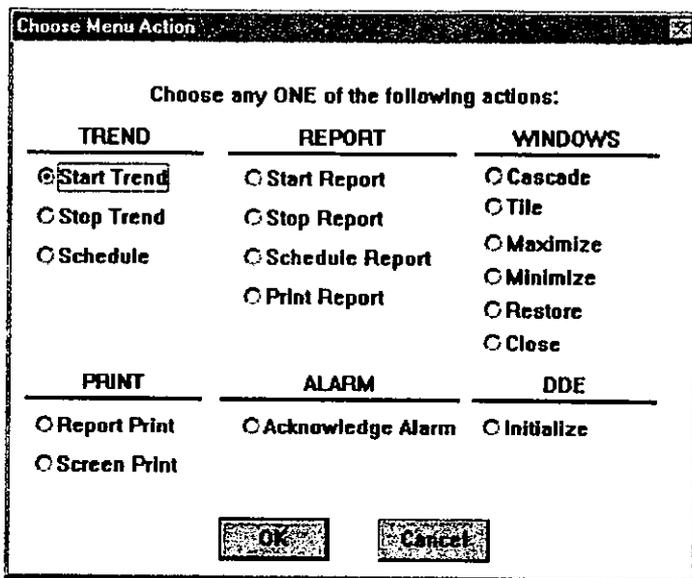


Figura 5.21

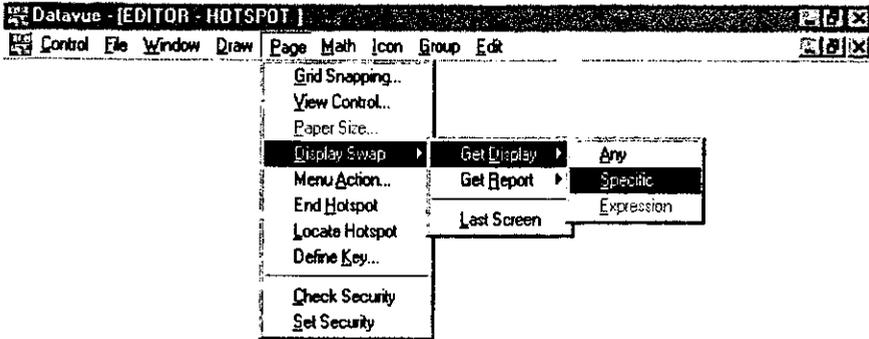


Figura 5.22

5.6.3 Fin del hotspot.

Seleccionar la opción finalizar el hotspot del menú page.

6. Resultados y conclusiones.

La culminación de cualquier trabajo es la obtención de resultados para así poder hacer las conclusiones correspondientes.

En el trabajo desarrollado en la presente tesis estos resultados no podían faltar. Es importante recordar que el objetivo de este trabajo consiste en desarrollar el control de una planta utilizando un sistema de control distribuido.

La implementación del control incluyó la interconexión de la planta con el sistema de control, empleando los elementos disponibles, la calibración de los transmisores, la configuración del software y la elaboración de una placa de conexiones.

Después de la configuración del sistema Micromax por medio del software MAXPRO (configuración del sistema de control, tema 4) y DATAVUE (configuración de la interfase hombre maquina (HM) y despliegado de los datos, tema 5), así como la descripción de dicho sistema y en general de un control distribuido (que es donde se puede emplear un sistema de la capacidad y tamaño como es el Micromax), se realizaron las pruebas mencionadas a continuación.

Primeramente se estableció la capacidad de trabajo de la planta, es decir, se hicieron pruebas para comprobar los rangos de trabajo de los instrumentos que integran la planta, así como los flujos máximos en las tuberías (flujo de transferencia y recirculación) debido al trabajo de las bombas (BA01 y BA02) con las que cuenta la planta, así como el funcionamiento entrelazado de los transmisores y el sistema de interfase HM Dvue, que despliega las variables que se tendrán para operar la planta.

Para saber que capacidad de flujo tenemos en las tuberías se hizo trabajar la bomba BA01, primeramente cerrando las válvulas (solenoide SV02 y de control FC02) de la tubería de recirculación y así poder conocer el flujo que se puede tener por la tubería de transferencia.

Igualmente para la tubería de recirculación se cerraron las válvulas SV01 y FC01 de la línea de transferencia.

También al abrir completamente ambas líneas (haciendo funcionar solo la bomba BA01) y por medio del rotámetro que se tiene a la salida del tanque FA01 se puede observar el flujo total que puede proporcionar dicha bomba.

De esta manera obtenemos los siguientes resultados: tabla 6.1.

LINEAS	SV01	FC01	SV02	FC02	FLUJO
Transferencia	Alineada	Abierta	Bloqueada	Cerrada	21 gpm
Recirculación	Bloqueada	Cerrada	Alineada	Abierta	21 gpm
Ambas	Alineada	Abierta	Alineada	Abierta	23 gpm

Tabla 6.1

Ahora bien para determinar el rango en el que se puede trabajar con la planta y un esquema de control de relación entre los flujos de transferencia y de recirculación se realizó la siguiente prueba:

Se verifico el flujo sobre cada una de las líneas según la apertura en porcentaje de la válvula de control correspondiente a cada línea, obteniendo los siguientes resultados: tablas 6.2 y 6.3 y gráficas 6.1 y 6.2, con las válvulas SV01 y SV02 bloqueadas respectivamente.

- Podemos observar que si comparamos las gráficas 6.1 y 6.2 solo se sobreponen en una parte muy pequeña, gráfica 6.3, por lo que podemos concluir que las válvulas no tienen un comportamiento similar más que en el tramo en el que se sobreponen dichas gráficas lo que podemos considerar como una restricción de suma importancia ya que solo podemos trabajar en un rango muy pequeño para el esquema de control elegido.
- Aunada a esta restricción del comportamiento de las válvulas de control, podemos retomar una más de los párrafos anteriores, que también se puede observar en las gráficas, y es que la bomba BA01 no es capaz de asegurar un gasto suficiente para un span de trabajo mayor del sistema, en el esquema de control de relación para cualquier factor de relación que se desee emplear.
- Se observa que para valores menores de 20 % y mayores de 80 % el flujo se satura debido al diseño de la planta.

FC01	FT01		ROTAMETRO	DATAVUE
	mA	" H2O	gal/min	gal/min
5	6.617	17.14	0	0
10	7.176	20.44	0	0.74
15	7.69	24.27	1.25	1.562
20	8.33	28.39	2.5	2.519
25	9.039	32.7	4	3.433
30	9.7	37.09	6	4.392
35	10.35	41.35	7	5.461
40	12.31	54.26	8.5	8.213
45	13.08	59.61	9.5	9.383
50	13.82	63.85	10.5	10.303
55	14.36	68.05	11	11.253
60	14.94	71.93	12	12.003
65	15.61	76.25	12.5	12.913
70	16.36	81.38	13.5	14.093
75	17.09	85.21	14	15.133
80	17.46	88.33	14.5	15.673

Tabla 6.2 Flujo de transferencia.

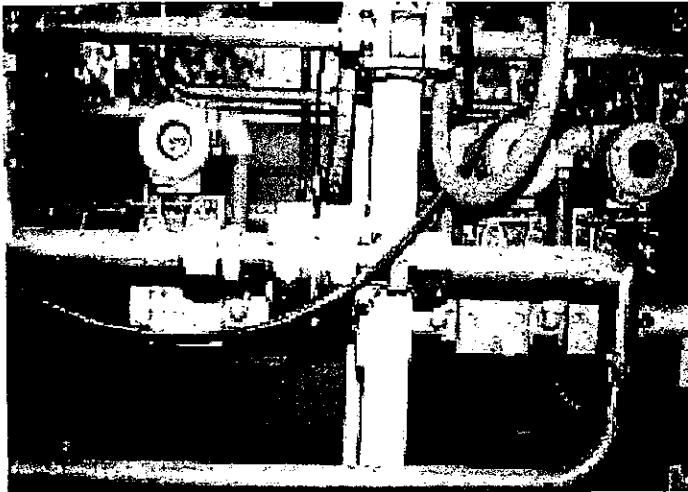
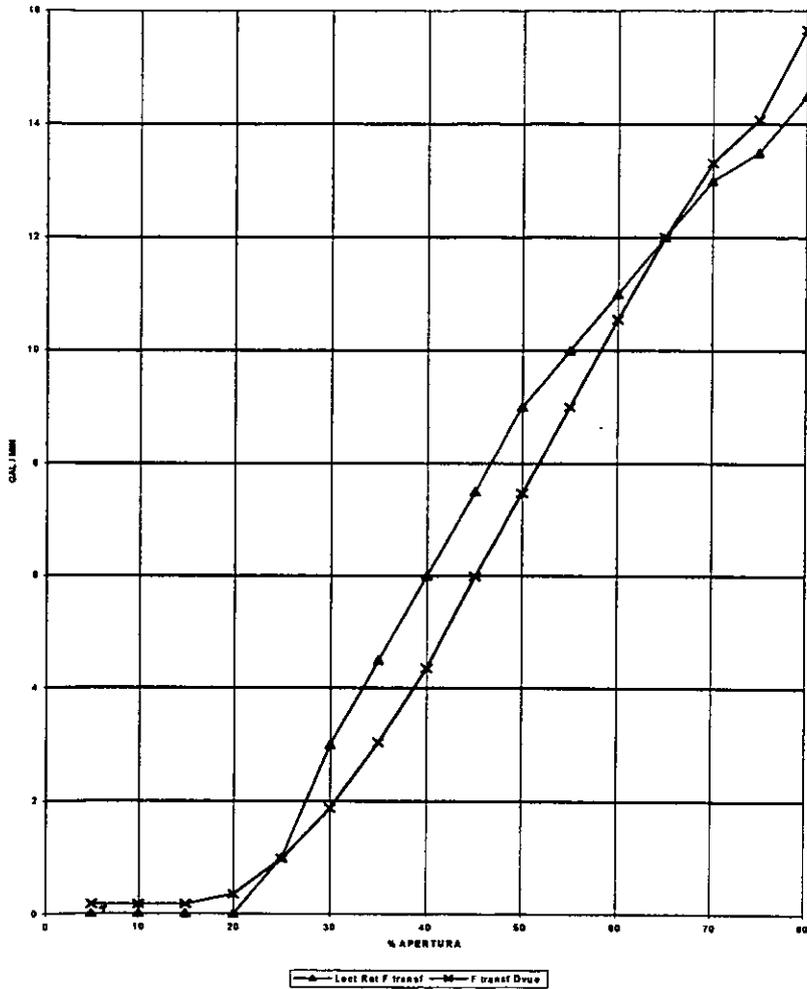


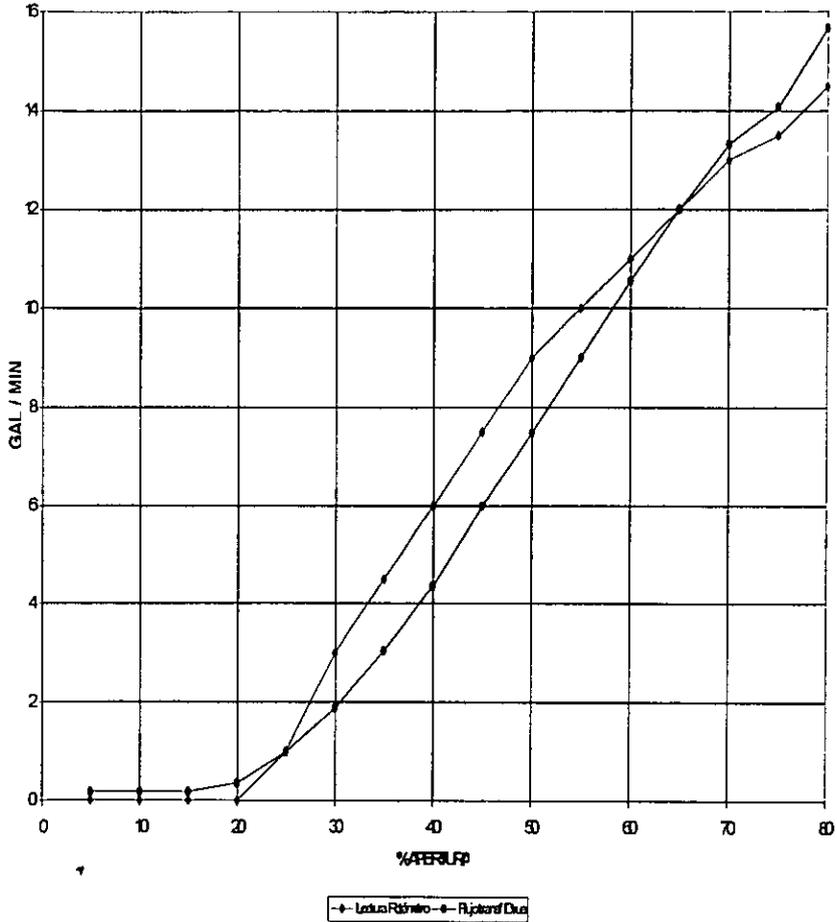
Figura 6.1 Placa de orificio del flujo de transferencia.



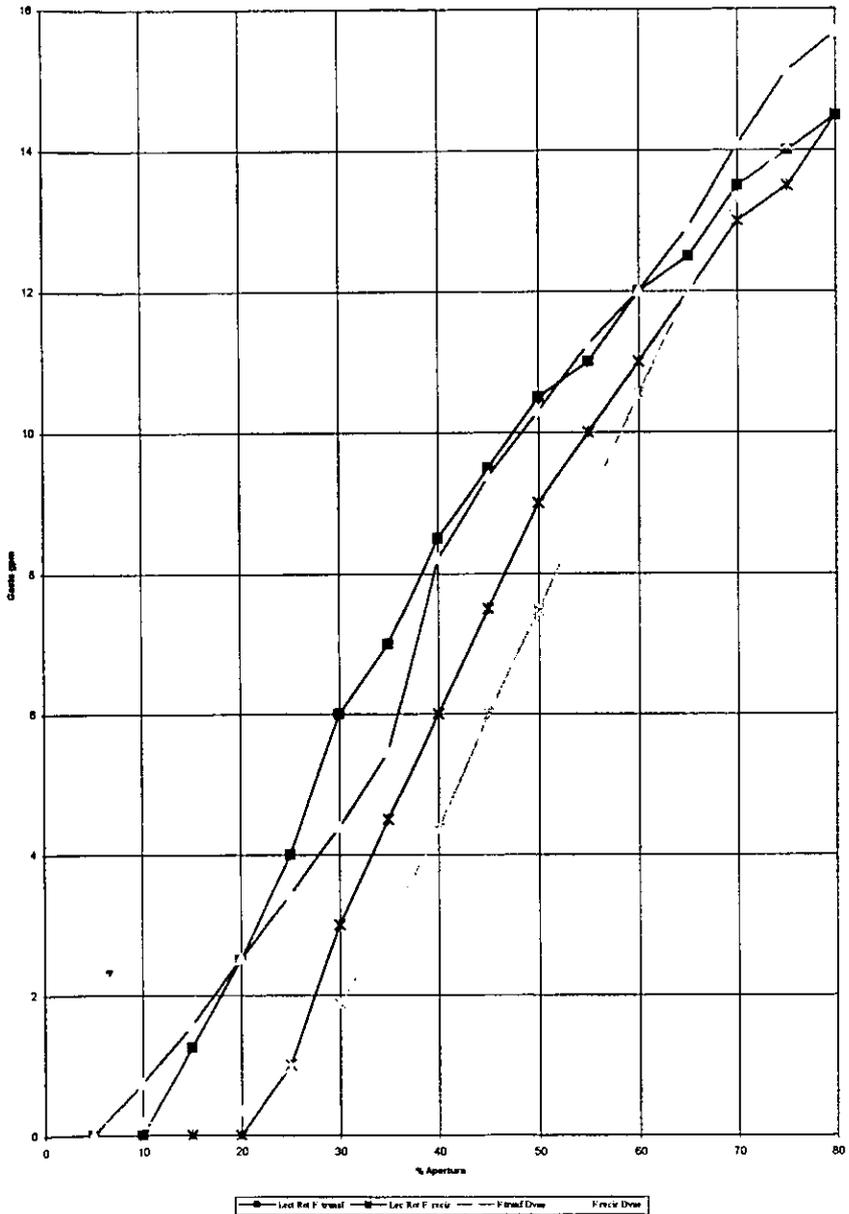
Gráfica 6.1 Apertura Vs Gasto flujo de transferencia (línea de recirculación cerrada)

FC02 %	FT02		ROTAMETRO gal / min	DATAVUE gal / min
	m A	* H2O		
5	3.98	0	0	0.178
10	3.98	0	0	0.178
15	3.98	0	0	0.178
20	4.1	0.669	0	0.354
25	4.526	3.5	1	0.978
30	5.16	7.64	3	1.875
35	5.97	12.86	4.5	3.038
40	6.93	19.22	6	4.361
45	8.03	26.17	7.5	5.988
50	9.06	33.1	9	7.47
55	10.09	40.24	10	9.005
60	11.21	47.6	11	10.55
65	12.25	54.75	12	12
70	13.19	60.04	13	13.32
75	14.45	68.03	13.5	14.08
80	15.6	76.72	14.5	15.67

Tabla 6.3 Flujo de recirculación.



Gráfica 6.2 Apertura Vs Gasto flujo de recirculación (línea de transferencia cerrada).



Gráfica 6.3 Apertura Vs Gasto ambos flujos.

La diferencia que se observa entre las lecturas del rotámetro y Datavue se debe a que los transmisores no conservan la calibración por más de tres días, y la última calibración efectuada a los transmisores fue una semana antes de la prueba. También consideramos que la programación de los transmisores era la correcta para que esta nos proporcionara el valor del flujo a partir de la diferencia de presiones en las placas del transmisor, pero no efectuamos las pruebas necesarias para corroborar este hecho, otra probable causa de esta diferencia es que la planta había estado inactiva por más de un año y los transmisores no tuvieron el mantenimiento correspondiente. Tomando en cuenta los puntos anteriores se recomienda:

1. Retirar los transmisores para darles mantenimiento.
2. Calibrar los transmisores.
3. Efectuar las pruebas correspondientes para programar los transmisores adecuadamente para efectuar la conversión de presión diferencial a flujo.

El factor de relación como se menciona en el tema 1 esta definido de la siguiente forma:

$$FR = \text{Flujo de recirculación} / \text{flujo de transferencia}$$

En donde estamos considerando el flujo de transferencia como punto de ajuste o set point y el flujo de recirculación como variable de proceso quedando entonces la formula anterior como:

$$\text{Flujo de recirculación} = FR (\text{flujo de transferencia}).$$

Una vez realizadas estas pruebas para conocer la capacidad de la planta y configurado el sistema tanto en MAXPRO como en DATAVUE, se comenzaron ha hacer pruebas de una forma integral, es decir haciendo trabajar la planta desde la estación de operación (PC) y observando que toda la planta respondiera a las acciones ejecutadas en la pantalla de interface al operador y así también que en la pantalla se visualizaran de una forma lo más exacta posible los datos obtenidos y enviados por los elementos de medición que contiene la planta (transmisores, válvulas, etc.)

Con la seguridad de que todos los elementos que integran el sistema funcionan de manera adecuada, se procedió a probar el esquema de control con el sistema funcionando, este esquema de control se muestra en la figura 4.9. A través de la pantalla de operación, fig. 6.2, se proporcionan los valores para ajustar (sintonizar) el lazo lo mejor posible a las condiciones de trabajo que se tienen.

Después de haber realizado diversas pruebas, ajustando los valores de los parámetros del lazo de control, desde MAXPRO y algunos como la relación y la apertura de la válvula FC01, flujo de transferencia o set point de la relación, desde la pantalla en DATAVUE. En este caso los valores se introducen en la columna de

la derecha. Se observó que con valores de ganancia = 0.8; reset = 5; y rate = 0.1 se puede obtener un comportamiento del sistema muy cercano a lo deseado, figura 6.2 y gráficas 6.4 a 6.7. Se observó que el desempeño satisfactorio se logra solamente con factores de relación pequeños y no en gran variedad. Lo anterior a consecuencia de la saturación en el flujo.

$$.8 < FR / FT < 2.5$$

$$8.5 < Qt < 13.5$$

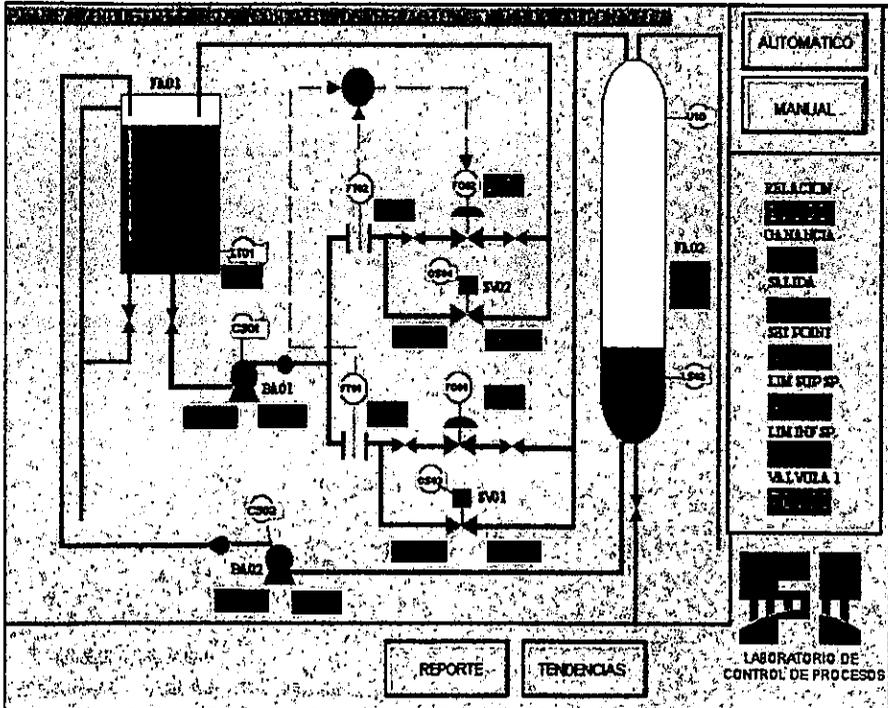


Figura 6.2 Pantalla de operación Datavue.



Figura 6.3

De la gráfica anterior los colores corresponden a:

Verde – LT01 Nivel de tanque FA01

Amarillo – LT02 Nivel del tanque FA02

Azul – FT01 Flujo de transferencia (variable de control)

Cyan – FT02 Flujo de recirculación (variable a controlar)

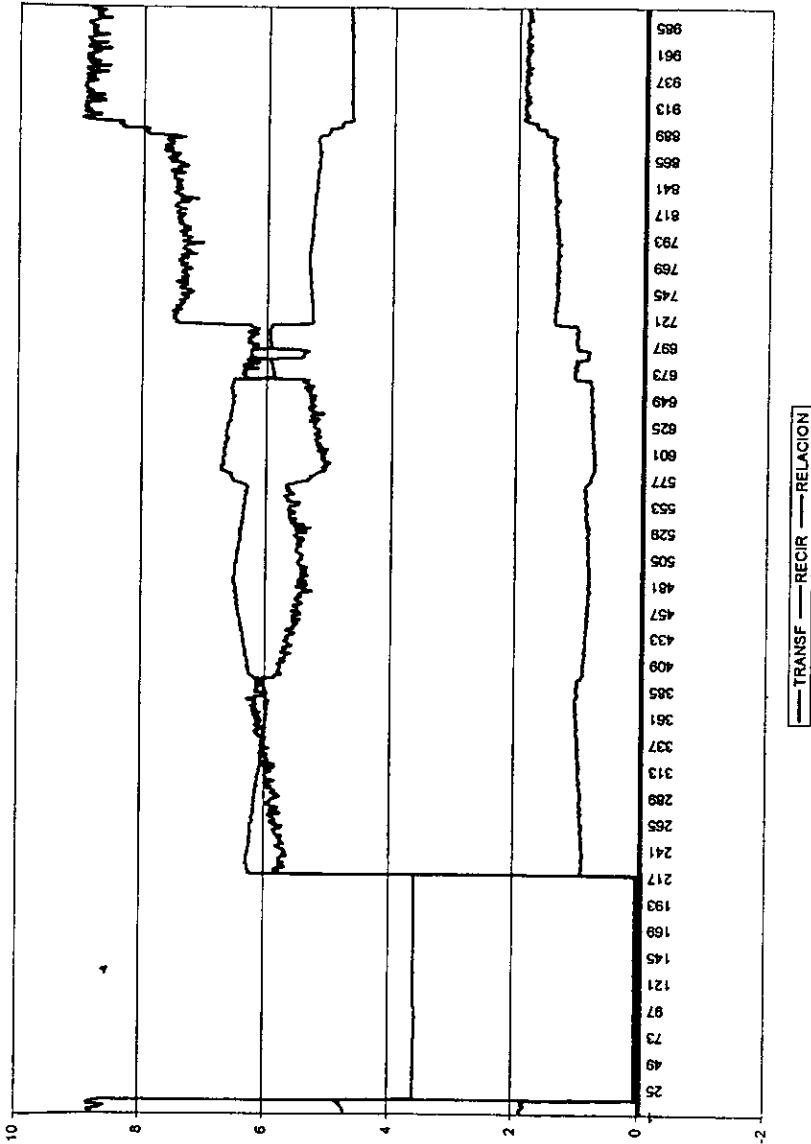
Magenta – FC01 Flujo de transferencia (actuador de control)

Rojo – FC02 Flujo de recirculación (actuador de control).

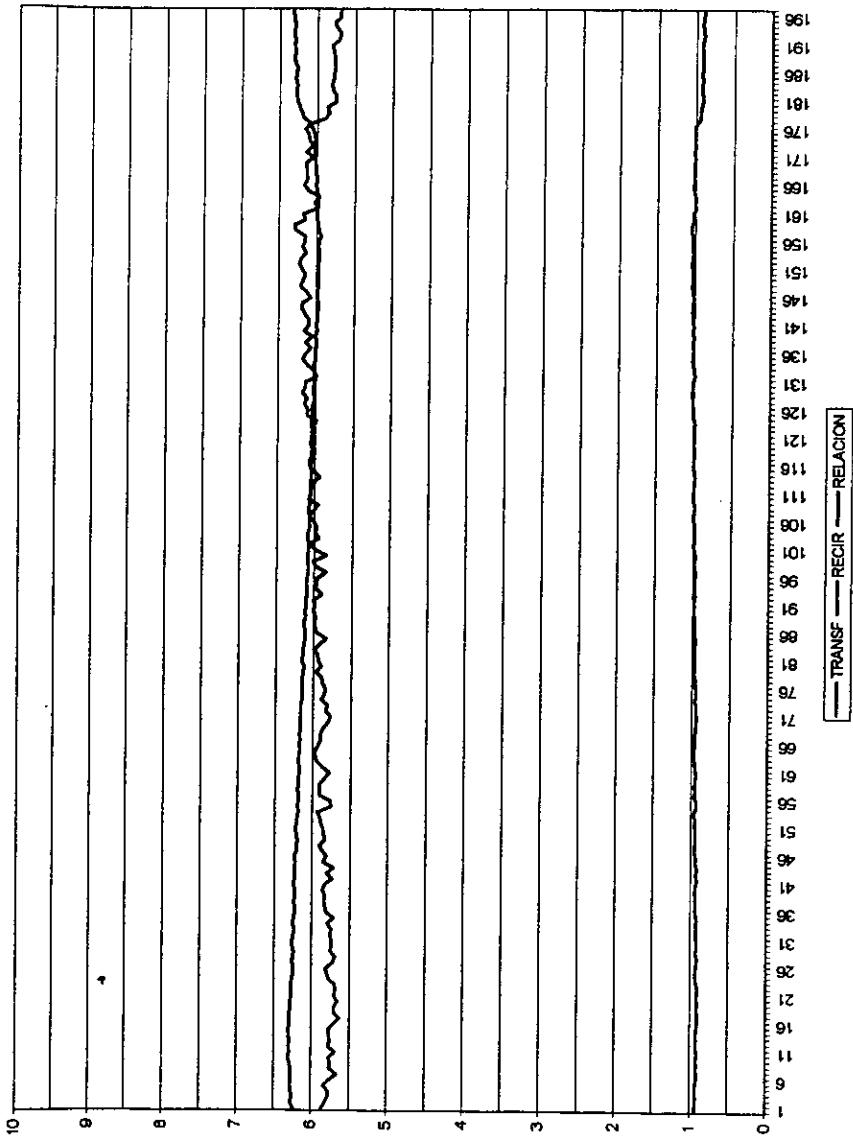
A partir de las pruebas realizadas se obtuvo en Datavue una gráfica de tendencias de las variables involucradas en el proceso, figura 6.3, además de un reporte tabular de los datos adquiridos.

Con base el reporte se hizo un análisis en los resultados un poco más concreto acerca de algunos puntos de operación, a donde se pudo llegar con el algoritmo de control, con el desempeño deseado.

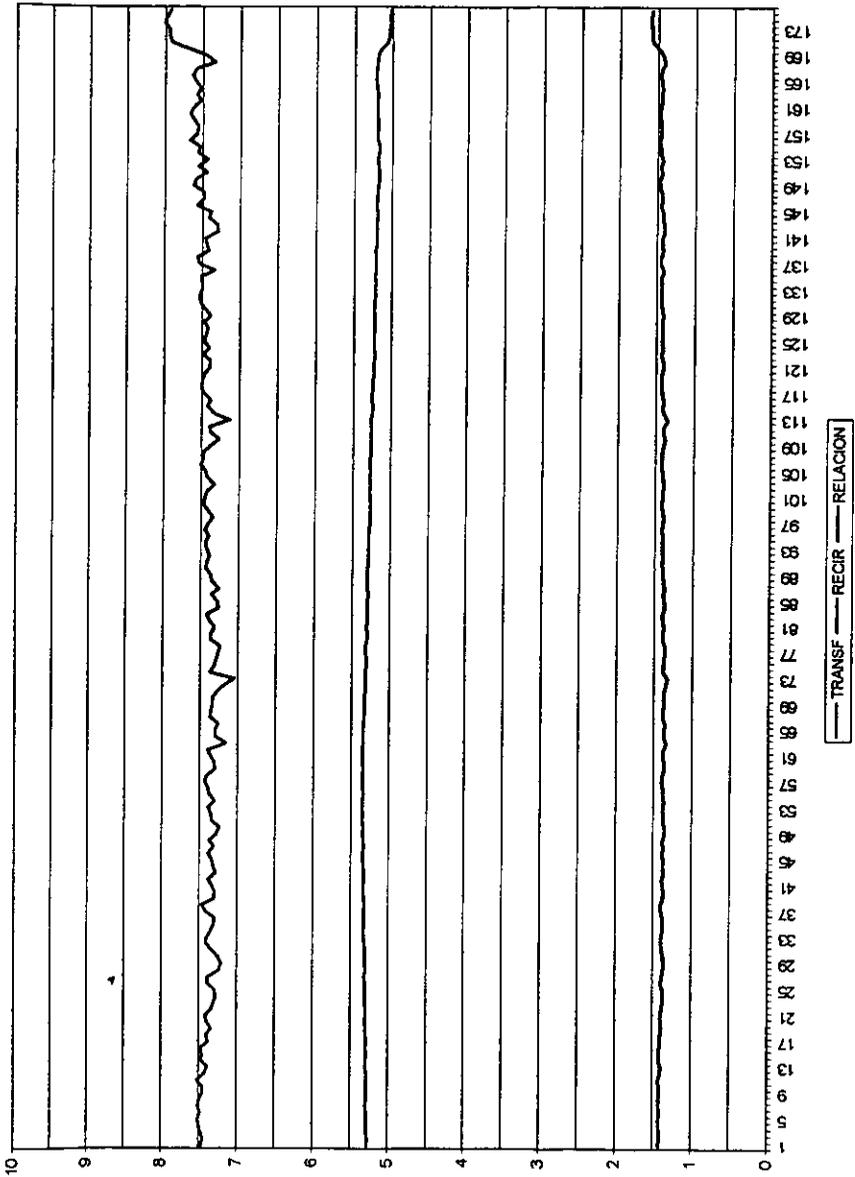
Tomando algunos intervalos de datos del reporte y de la gráfica de tendencias, en los que se llega a cumplir el comportamiento deseado, para un factor de relación preestablecido, generamos, a través de la hoja de cálculo Excel, las gráficas mostradas en las figuras 6.5 a 6.7, en donde podemos ver que para factores de relación de 1, 1.5 y 2, respectivamente, las variables involucradas llegan a tener un comportamiento muy similar al esperado: el flujo de transferencia que en nuestro algoritmo de control es la variable controlada, es estable; y el flujo de recirculación que es nuestra variable a controlar cumple casi al 100% con la relación establecida. También se muestra en dichas gráficas, el flujo de recirculación con perturbaciones, debidas a los instrumentos y elementos que integran la planta y realizan la acción de control.



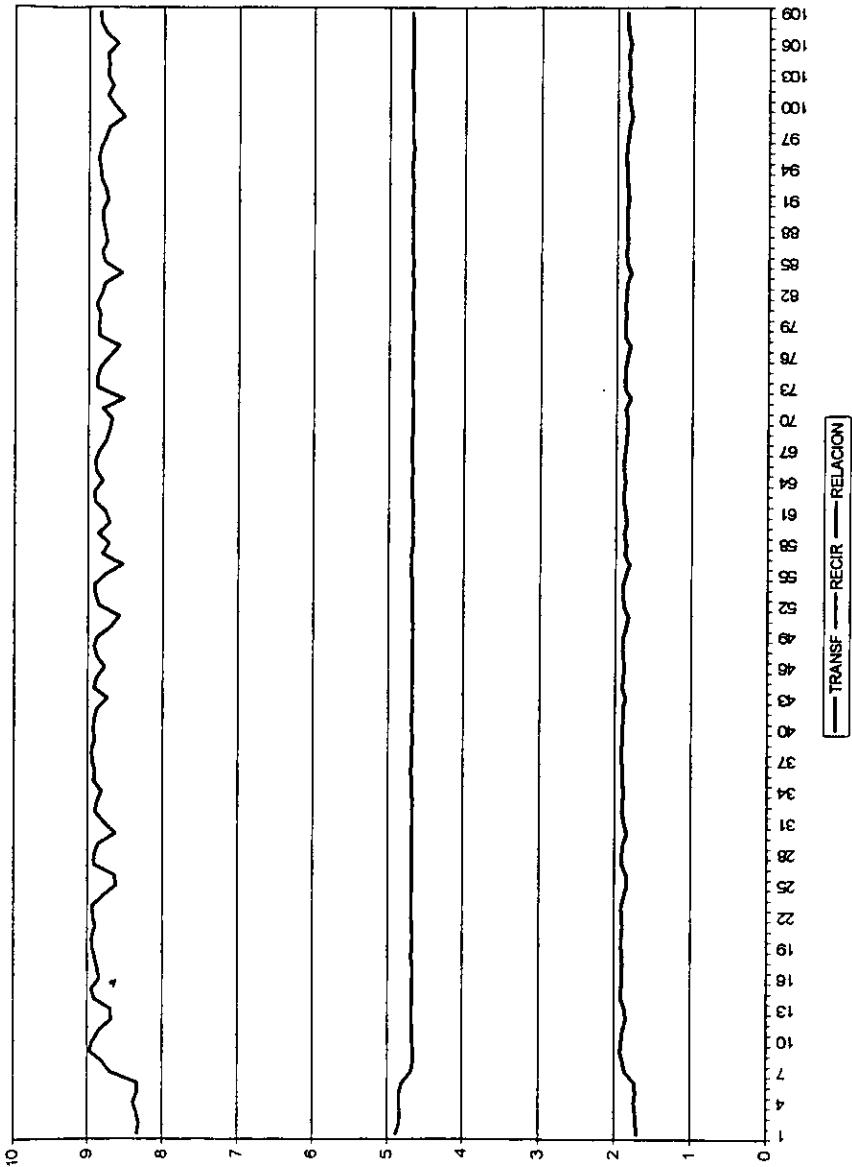
Gráfica 6.4 Flujos de transferencia, recirculación y relación entre ambos.



Gráfica 6.5 Flujos con factor de relación de 1.



Gráfica 6.6 Flujos con factor de relación de 1.5.



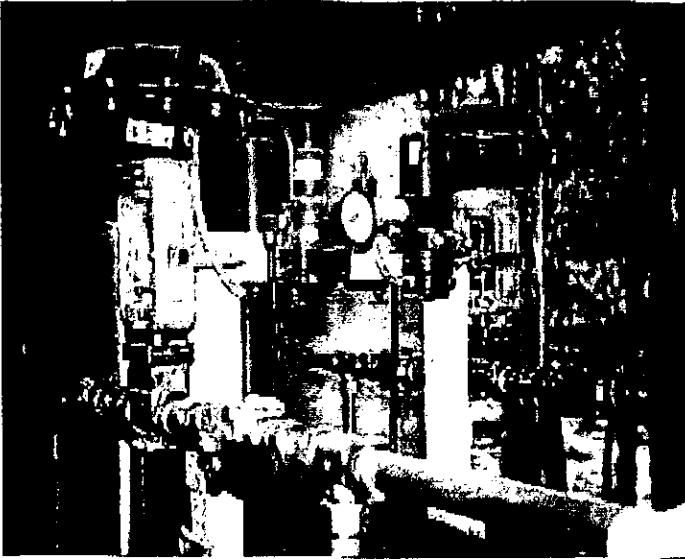
Gráfica 6.7 Flujos con factor de relación de 2.

Al realizar este trabajo se obtuvo experiencia en el manejo de la planta y del SCD, de este ultimo se aprendió la configuración de adquisición de variables, estructuración del sistema de control y configuración de la interfase HM a través de la configuración de Maxpro y Datavue para lograr los objetivos planteados al inicio de este trabajo.

También se aprendió que se debe tener bien ubicado el intervalo (características de funcionamiento del sistema en el que se tiene el comportamiento mas adecuado y cercano a los requerimientos planteados) de trabajo, así mismo, se visualizaron los detalles que se tienen en una planta real para el control.

Y nos dimos cuenta que para aplicar algún esquema de control a un sistema, el diseñador debe ser muy cuidadoso en especificar las condiciones y rangos de operación para que al ser evaluado dicho sistema sea en ese marco de funcionamiento. Además de que se tienen que verificar las mediciones hasta llegar a ser confiables para el buen funcionamiento del sistema en el esquema de control planteado.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA



Facultad de Ingeniería

Laboratorio de Control de Procesos

REPORTE DE ENTRADAS Y SALIDAS DE LA LPU

LT01 FT01 FT02 LT02 FC01

08/12/97	16:56:14	26.5596	6.2386	5.8633	16.856	12.000
08/12/97	16:56:13	26.7636	6.2750	5.8174	16.548	12.000
08/12/97	16:56:12	26.8646	6.2528	5.7763	16.379	12.000
08/12/97	16:56:12	26.9916	6.2718	5.7778	16.225	12.000
08/12/97	16:56:10	27.1856	6.2766	5.8428	15.910	12.000
08/12/97	16:56:09	27.2866	6.2782	5.7620	15.763	12.000
08/12/97	16:56:08	27.5166	6.2703	5.6670	15.397	12.000
08/12/97	16:56:07	27.6046	6.2782	5.7620	15.258	12.000

PLANTA

GRAFICA DE
TENDENCIAS

INICIAR
REPORTE

DETENER
REPORTE

IMPRIMIR
REPORTE

26.559	6.2386	5.8633	16.856	12.000	1.9543
26.763	6.2750	5.8174	16.548	12.000	2.1805
26.864	6.2528	5.7763	16.379	12.000	2.3825
26.991	6.2718	5.7778	16.225	12.000	2.3809
27.185	6.2766	5.8428	15.910	12.000	2.0697
27.286	6.2782	5.7620	15.763	12.000	2.4482
27.516	6.2703	5.6670	15.397	12.000	2.9006
27.604	6.2782	5.7620	15.258	12.000	2.4423
27.822	6.2861	5.7462	14.913	12.000	2.5058
27.938	6.3083	5.7699	14.766	12.000	2.3867
28.041	6.2924	5.6939	14.598	12.000	2.7427
28.241	6.2988	5.7778	14.275	12.000	2.3312
28.357	6.2924	5.7588	14.128	12.000	2.4157
28.450	6.2956	5.7620	13.945	12.000	2.3947
28.668	6.3019	5.7778	13.667	12.000	2.3074
28.764	6.2924	5.7113	13.498	12.000	2.6181
28.956	6.2924	5.6385	13.183	12.000	2.9471
28.807	6.2877	5.7082	13.381	12.000	2.6034
28.645	6.2798	5.7082	13.623	12.000	2.5915
28.450	6.2766	5.6607	13.909	12.000	2.8058
28.377	6.2718	5.7034	14.018	12.000	2.5963
28.092	6.2718	5.6876	14.422	12.000	2.6538
28.013	6.2718	5.6908	14.568	12.000	2.6328
27.938	6.2623	5.7699	14.700	12.000	2.2499
27.774	6.2465	5.7937	14.979	12.000	2.1249
27.657	6.2465	5.8158	15.096	12.000	2.0134
27.486	6.2576	5.7272	15.382	12.000	2.4356
27.407	6.2528	5.6939	15.521	12.000	2.5880
27.231	6.2386	5.7525	15.815	12.000	2.2971
27.142	6.2560	5.7383	15.939	12.000	2.3590
27.046	6.2560	5.7398	16.079	12.000	2.3455
26.864	6.2449	5.7604	16.313	12.000	2.2356
26.778	6.2338	5.7462	16.445	12.000	2.2975
26.700	6.2560	5.7937	16.607	12.000	2.0654
26.511	6.2386	5.7177	16.922	12.000	2.4154
26.420	6.2338	5.8127	17.068	12.000	1.9570
26.248	6.2307	5.8301	17.288	12.000	1.8622
26.152	6.2386	5.8412	17.420	12.000	1.8035
26.061	6.2228	5.8253	17.560	12.000	1.8729
25.877	6.2291	5.8602	17.860	12.000	1.6951
25.803	6.2449	5.8364	18.000	12.000	1.8023
25.611	6.2323	5.7398	18.293	12.000	2.2503
25.521	6.2307	5.8063	18.403	12.000	1.9277
25.432	6.2307	5.7177	18.579	12.000	2.3440
25.225	6.2291	5.8570	18.806	12.000	1.6686
25.152	6.2386	5.8158	18.967	12.000	1.8586
24.980	6.2053	5.8760	19.268	12.000	1.5602
24.887	6.2053	5.9140	19.363	12.000	1.3733
24.796	6.2006	5.8348	19.503	12.000	1.7444
24.626	6.2148	5.8459	19.788	12.000	1.6797
24.530	6.2228	5.8586	19.942	12.000	1.6134
24.359	6.2085	5.8871	20.206	12.000	1.4658
24.270	6.2038	5.9029	20.375	12.000	1.3845
24.174	6.1895	5.9393	20.536	12.000	1.2051
23.995	6.2006	5.7541	20.808	12.000	2.0753

23.899	6.1848	5.7683	20.954	12.000	2.0015
23.715	6.1879	5.9077	21.203	12.000	1.3261
23.624	6.1990	5.9077	21.335	12.000	1.3202
23.535	6.1848	5.9077	21.460	12.000	1.3142
23.351	6.1863	5.8491	21.812	12.000	1.5813
23.257	6.1784	5.7842	21.944	12.000	1.8845
23.078	6.1816	5.8823	22.230	12.000	1.4051
22.995	6.1958	5.9409	22.340	12.000	1.1202
22.891	6.1848	5.9710	22.442	12.000	0.9710
22.707	6.1737	5.9710	22.765	12.000	0.9634
22.631	6.1800	5.9251	22.934	12.000	1.1761
22.522	6.1721	5.8982	23.066	12.000	1.3011
22.356	6.1816	5.8998	23.330	12.000	1.2817
22.282	6.1689	5.8633	23.440	12.000	1.4551
22.088	6.1689	5.8048	23.762	12.000	1.7265
21.979	6.1673	5.7731	23.894	12.000	1.8782
21.899	6.1673	5.8364	24.033	12.000	1.5825
21.732	6.1705	5.8111	24.385	12.000	1.7032
21.656	6.1499	5.8998	24.503	12.000	1.2869
21.484	6.1515	5.8507	24.833	12.000	1.5325
21.393	6.1499	5.8380	24.928	12.000	1.5988
21.302	6.1531	5.8808	25.118	12.000	1.4012
21.133	6.1468	5.8950	25.397	12.000	1.3452
21.052	6.1373	5.9710	25.536	12.000	0.9893
20.903	6.1214	5.8982	25.815	12.000	1.3480
20.818	6.1531	5.9393	25.947	12.000	1.1579
20.636	6.1420	5.9409	26.240	12.000	1.1623
20.479	6.1341	5.9979	26.533	12.000	0.9028
20.292	6.1309	5.9188	26.819	12.000	1.2916
20.211	6.1183	5.8380	26.951	12.000	1.6821
20.115	6.1135	5.9568	27.083	12.000	1.1226
19.939	6.1246	5.9821	27.413	12.000	1.0139
19.843	6.1341	5.9979	27.582	12.000	0.9444
19.668	6.1088	5.9758	27.890	12.000	1.0619
19.562	6.1167	6.0043	28.014	12.000	0.9321
19.459	6.1008	5.9979	28.139	12.000	0.9682
19.287	6.1088	6.0027	28.425	12.000	0.9575
19.173	6.0898	5.8998	28.608	12.000	1.4535
18.903	6.0898	5.9773	28.843	12.000	1.0960
18.799	6.1008	5.9678	29.063	12.000	1.1472
18.711	6.0898	5.9568	29.195	12.000	1.2059
18.489	6.0755	5.8459	29.422	12.000	1.7456
18.390	6.0755	5.9758	29.569	12.000	1.1333
18.309	6.0818	6.0153	29.708	12.000	0.9507
18.110	6.0818	5.8428	29.994	12.000	1.7845
18.021	6.0803	5.9853	30.177	12.000	1.1119
17.832	6.0755	6.0628	30.478	12.000	0.7543
17.749	6.0834	5.9441	30.617	12.000	1.3257
17.658	6.0818	5.9853	30.771	12.000	1.1357
17.466	6.0628	5.9663	31.035	12.000	1.2380
17.388	6.0739	6.0058	31.189	12.000	1.0555
17.216	6.0613	6.0692	31.490	12.000	0.7658
17.130	6.0818	6.0153	31.622	12.000	1.0281
17.041	6.0676	5.9552	31.754	12.000	1.3206
16.867	6.0628	6.0803	32.069	12.000	0.7368

16.771	6.0518	6.0518	32.274	12.000	0.8785
16.599	6.0613	6.0391	32.501	12.000	0.9507
16.524	6.0502	6.0201	32.685	12.000	1.0471
16.438	6.0470	5.9346	32.831	12.000	1.4602
16.236	6.0438	6.0153	33.139	12.000	1.0876
16.130	6.0502	6.0723	33.227	12.000	0.8221
15.960	6.0423	6.0692	33.550	12.000	0.8491
15.882	6.0438	6.0058	33.682	12.000	1.1567
15.774	6.0423	6.0106	33.880	12.000	1.1400
15.602	6.0470	6.0723	34.166	12.000	0.8578
15.508	6.0438	6.0058	34.312	12.000	1.1805
15.405	6.0343	6.0454	34.452	12.000	0.9979
15.220	6.0486	6.0296	34.767	12.000	1.0852
15.137	6.0454	5.9868	34.891	12.000	1.2947
14.938	6.0328	6.1119	35.199	12.000	0.7110
14.852	6.0454	6.1056	35.361	12.000	0.7471
14.735	6.0264	6.1499	35.515	12.000	0.5420
14.541	6.0058	6.1198	35.815	12.000	0.6971
14.453	6.0280	6.1768	35.977	12.000	0.4316
14.341	6.0264	6.1373	36.138	12.000	0.6261
14.160	6.0106	6.1388	36.460	12.000	0.6304
14.053	6.0106	5.9900	36.578	12.000	1.3451
13.831	6.0138	6.0359	36.878	12.000	1.1384
13.728	6.0248	6.1183	37.025	12.000	0.7523
13.634	6.0043	6.1753	37.164	12.000	0.4868
13.503	6.0058	6.1357	37.318	12.000	0.6812
13.301	6.0043	6.0723	37.619	12.000	0.9947
13.134	5.9916	6.1420	37.963	12.000	0.6749
13.053	6.0058	6.0565	38.088	12.000	1.0880
12.935	5.9916	6.1594	38.242	12.000	0.6038
12.690	5.9963	6.0961	38.528	12.000	0.9173
12.599	5.9900	6.0945	38.682	12.000	0.9308
12.414	5.9884	6.1483	38.990	12.000	0.6864
12.283	5.9758	6.1943	39.151	12.000	0.4737
12.187	5.9742	6.1863	39.276	12.000	0.5173
11.992	5.9900	6.0787	39.642	12.000	1.0419
11.871	5.9868	6.1341	39.774	12.000	0.7840
11.651	5.9758	6.2148	40.090	12.000	0.4114
11.573	5.9726	6.1832	40.207	12.000	0.5681
11.467	5.9742	6.1499	40.368	12.000	0.7324
11.273	5.9758	6.1943	40.713	12.000	0.5332
11.164	5.9742	6.2323	40.808	12.000	0.3582
10.962	5.9647	6.2038	41.153	12.000	0.5058
10.853	5.9647	6.1420	41.285	12.000	0.8058
10.775	5.9726	6.1879	41.380	12.000	0.5931
10.550	5.9678	6.1578	41.658	12.000	0.7483
10.502	5.9409	6.1531	41.702	12.000	0.7768
10.573	5.9742	6.2750	41.702	12.000	0.2022
10.666	5.9837	6.2988	41.563	12.000	0.0951
10.853	5.9963	6.1547	41.307	12.000	0.7931
10.947	5.9948	6.1784	41.123	12.000	0.6859
11.144	5.9963	5.9900	40.889	12.000	1.5951
11.237	5.9837	6.0359	40.742	12.000	1.3824
11.452	5.9916	5.9710	40.390	12.000	1.7034
11.538	5.9948	6.1183	40.244	12.000	1.0082

11.735	6.0138	6.1705	39.987	12.000	0.7713
11.821	5.9948	6.1278	39.818	12.000	0.9808
11.914	6.0138	6.1341	39.672	12.000	0.9566
12.139	6.0122	6.1341	39.422	12.000	0.9685
12.326	6.0185	6.1483	39.063	12.000	0.9125
12.538	6.0217	6.0549	38.792	12.000	1.3693
12.634	6.0264	6.1483	38.616	12.000	0.9304
12.859	6.0185	6.0597	38.271	12.000	1.3645
12.957	6.0280	6.1040	38.183	12.000	1.1593
13.124	6.0343	6.1072	37.846	12.000	1.1562
13.217	6.0597	6.1642	37.736	12.000	0.8907
13.339	6.0993	6.0929	37.553	12.000	1.2359
13.574	6.1800	5.8903	37.267	12.000	2.2129
13.667	6.2085	5.8475	37.106	12.000	2.4224
13.771	6.2402	5.8633	36.886	12.000	2.3530
14.003	6.2623	5.7573	36.563	12.000	2.8700
14.112	6.2798	5.7588	36.416	12.000	2.8684
14.210	6.2798	5.8048	36.218	12.000	2.6557
14.427	6.2718	5.8063	35.874	13.000	2.6601
14.526	6.2877	5.7889	35.713	13.000	2.7490
14.730	6.2766	5.7842	35.419	13.000	2.7835
14.847	6.2703	5.7715	35.243	13.000	2.8498
15.044	6.3035	5.7794	34.913	13.000	2.8240
15.140	6.3003	5.7763	34.789	13.000	2.8450
15.261	6.2956	5.7921	34.598	13.000	2.7756
15.450	6.3003	5.8079	34.261	13.000	2.7121
15.549	6.2940	5.7208	34.144	13.000	3.1327
15.771	6.3146	5.6939	33.792	13.000	3.2728
15.870	6.3051	5.7430	33.645	13.000	3.0450
15.963	6.3019	5.7747	33.462	13.000	2.9002
16.175	6.3162	5.6971	33.161	13.000	3.2815
16.271	6.3225	5.7003	33.007	13.000	3.2724
16.478	6.3431	5.6828	32.655	13.000	3.3672
16.582	6.3415	5.6860	32.457	13.000	3.3581
16.680	6.3304	5.6021	32.340	13.000	3.7636
16.900	6.3415	5.7541	32.039	13.000	3.0517
16.993	6.3304	5.7129	31.864	13.000	3.2537
17.102	6.3526	5.6860	31.673	13.000	3.3878
17.299	6.3352	5.6971	31.424	13.000	3.3470
17.393	6.3415	5.7367	31.233	13.000	3.1644
17.612	6.3526	5.6559	30.888	13.000	3.5608
17.711	6.3589	5.5847	30.705	13.000	3.9061
17.910	6.3494	5.6306	30.515	13.000	3.6934
18.160	6.3605	5.6559	30.207	13.000	3.5847
18.246	6.3763	5.6591	30.045	13.000	3.5755
18.474	6.3589	5.7098	29.737	13.000	3.3461
18.575	6.3605	5.6860	29.598	13.000	3.4652
18.676	6.3653	5.6496	29.422	13.000	3.6446
18.913	6.3763	5.6844	29.056	13.000	3.4906
19.226	6.3779	5.6575	28.579	13.000	3.6366
19.358	6.3748	5.6528	28.396	13.000	3.6652
19.459	6.3748	5.5942	28.227	13.000	3.9501
19.671	6.3763	5.5498	27.875	13.000	4.1731
19.779	6.3763	5.5752	27.714	13.000	4.0584
20.095	6.4080	5.6417	27.208	13.000	3.7596

Acrónimos.

AI	-----	Entrada Analógica (Analog Input)
CAT	-----	Tipo de ajuste de Corriente (salida de control Current Adjust Type).
CRT	-----	Tubo de Rayos Catódicos (Cathodic Ray Tubes).
D/A	-----	Digital /Analógico.
DAQ	-----	Sistema de Adquisición de Datos (Data Acquisition).
DAT	-----	Tipo Ajuste de Tiempo (Duration Adjuste Type)
DDE	-----	Intercambio Dinámico de Datos (Dynamic Data Exchange).
FR	-----	Factor de Relación.
L&N	-----	Leeds & Northrup.
MMI's	-----	Interfase Hombre Maquina (Man Machine Interface).
PAT	-----	Tipo Ajuste de Posición (Position Adjuste Type)
PID	-----	Proporcional Integral derivativo (estrategia de control)
PLC	-----	Controlador Lógico Programable (Programable Logic Controller).
PP	-----	Pseudo Punto.
PV	-----	Variable de Proceso (Process Variable).
RSP	-----	Punto de Ajuste Remoto (Remote Set Point)
RTD	-----	Detector de Temperatura por Resistencia .(Resistance Temperature Detector).
SCD	-----	Sistema de Control Distribuido.
UPL	-----	Unidad de Procesamiento Local.
VAT	-----	Tipo Ajuste de Voltaje (Voltaje Adjuste Type)

BIBLIOGRAFÍA

- Personal Computer-Based Configuration Software
User Manual #277877 Rev. A, MAXPRO.
LEEDS & NORTHRUP.
Pennsylvania, USA, 1991.
 - Sistemas Digitales de Control de Procesos.
Szkłanny, Sergio; Behrends, Carlos
Editorial Control
Buenos Aires, Argentina, 1994.
 - Distributed Control Systems, Their Evaluations and Design.
Lukas, Michael P.
Van Nostrand Reinhold Company
New York, USA, 1986.
 - DATAVUE For Microsoft Windows
UFO Systems, Inc.
LEEDS & NORTHRUP - 277916.
New York, USA,
 - Integración de un Sistema de Control Automático en una Planta Piloto de Tipo Industrial.
Gámez Estrada, Alvaro.
Tesis, Facultad de Ingeniería, UNAM.
-

- MX-512

MICROMAX 2 Field Station Hardware Maintenance and Servicing

Guía del estudiante.
