

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

“ Supervisión y Control aplicado a un Sistema de  
Aire Acondicionado ”

FRANCISCO MIGUEL EGAS COBA E.P.N.

LUIS GONZALO LARCO SALAZAR E.S.P.E.

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
EN LA ESPECIALIZACIÓN ELECTRÓNICA Y CONTROL

Quito, julio de 1999

Certifico que el presente trabajo ha sido  
realizado en su totalidad por los señores .  
Francisco Miguel Egas Coba de la E.P.N.  
y Luis Gonzalo Larco Salazar de la  
E.S.P.E.



.....  
Ing. Jorge Molina Moya  
DIRECTOR DE TESIS

## *Dedicat6ria*

Haciendo realidad sus ilusiones, dedico a mis padres este trabajo y todo el esfuerzo que esto representa.

Con amor.

Francisco

## *Agradecimiento*

A Dios por su infinita bendición.

Al Ing. Jorge Molina que me ayudó desinteresadamente.

A la empresa Entador que me dio la oportunidad.

A mi tía y hermanos por su colaboración permanente.

Y a esa persona especial, por estar a mi lado.

ÍNDICE	i
<hr/>	
CAPÍTULO 1	
INTRODUCCIÓN	1
<hr/>	
CAPÍTULO 2	
ACONDICIONAMIENTO DE AIRE	6
<hr/>	
2.1. CAMPO DEL ACONDICIONAMIENTO DE AIRE -----	6
2.2. PRINCIPIOS FÍSICOS -----	9
2.2.1. CALOR Y TEMPERATURA -----	9
2.2.2. ENTALPÍA -----	10
2.2.3. TRANSFERENCIA DE CALOR -----	11
2.2.4. PRESIÓN TOTAL, ESTÁTICA Y DE LA VELOCIDAD -----	12
2.2.6. HUMEDAD -----	14
2.3. COMPONENTES -----	16
2.3.1. TUBERÍAS, VÁLVULAS, DUCTOS Y AISLAMIENTOS -----	16
2.3.2. RÁDIADORES -----	18
2.3.3. CONVECTORES -----	18
2.3.4. VENTILADORES Y DISPOSITIVOS DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE -----	19
2.3.5. DAMPERS -----	21
2.3.5.1. ÁLABES DE GUÍA A LA ENTRADA DE VENTILADORES Y SOPLADORES -----	22
2.3.6. DISPOSITIVOS PARA LIMPIEZA DEL AIRE (FILTROS) -----	23
2.4. TRATAMIENTO DEL AGUA -----	25
2.5. UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE -----	26
<hr/>	
CAPÍTULO 3	
MODOS DE CONTROL EN PROCESOS INDUSTRIALES	28
<hr/>	
3.1. AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL -----	28
3.2. SISTEMAS DE CONTROL -----	29
3.2.1. SISTEMAS DE CONTROL EN LAZO ABIERTO -----	29
3.2.2. SISTEMAS DE CONTROL EN LAZO CERRADO -----	30
3.3. TÉCNICAS DE CONTROL PARA SISTEMAS EN LAZO CERRADO -----	31

3.3.1. ACCIÓN PROPORCIONAL -----	32
3.3.2. ACCIÓN INTEGRAL -----	32
3.3.3. ACCIÓN DERIVATIVA -----	33
3.3.4. EL CONTROLADOR PID -----	33
3.4. CRITERIOS PARA LA SINTONIZACIÓN DE UN CONTROLADOR -----	34
3.4.1. CRITERIO DE LA RAZÓN DE AMORTIGUAMIENTO $\frac{1}{4}$ -----	35
3.4.2. CRITERIO DEL ÁREA MÍNIMA -----	35
3.4.3. CRITERIO DE LA MÍNIMA PERTURBACIÓN -----	36
3.4.4. CRITERIO DE LA AMPLITUD MÍNIMA -----	37
3.4.5. CRITERIO DE LA INTEGRAL -----	38
3.5. MÉTODOS DE SINTONIZACIÓN -----	38
3.5.1. MÉTODO ANALÍTICO -----	39
3.5.2. MÉTODO EXPERIMENTAL -----	40
3.5.2.1. MÉTODOS DE AJUSTE EN LAZO CERRADO -----	40
3.5.2.1.1. MÉTODO DEL TANTEO -----	40
3.5.2.1.2. MÉTODO ÚLTIMO -----	42
3.5.2.1.3. MÉTODO DE OSCILACIÓN AMORTIGUADA -----	48
3.5.2.2. MÉTODOS DE AJUSTE EN LAZO ABIERTO -----	49
3.5.2.2.1. MÉTODO DE LA CURVA DE REACCIÓN -----	50
3.5.2.2.2. SINTONIZACIÓN EN LAZO ABIERTO -----	51

## CAPÍTULO 4

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL -----	56
---	----

4.1. BREVE DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE FIBRAS SINTÉTICAS -----	56
4.2. CONDICIONES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA -----	63
4.3. CAJAS DE SOPLADO DE AIRE DE LA SECCIÓN DE HILATURA -----	64
4.3.1. GENERALIDADES -----	64
4.3.2. DETALLES OPERACIONALES -----	64
4.3.3. SISTEMA DE CONTROL -----	66
4.3.3.1. SEÑALES DE ENTRADA Y SALIDA -----	66
4.3.3.2. SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO -----	68
4.3.3.3. SISTEMA DE POSCALENTAMIENTO, HUMIDIFICACION Y ENFRÍAMIENTO -----	69
4.3.3.4. SISTEMA DE CONTROL DE PRESIÓN ESTÁTICA -----	69
4.4. SALA DE EMBOBINADO -----	71

4.4.1. GENERALIDADES -----	71
4.4.2. DETALLES OPERACIONALES -----	71
4.4.3. SISTEMA DE CONTROL -----	74
4.4.3.1. SEÑALES DE ENTRADA Y SALIDA -----	74
 CAPÍTULO 5	
COMPONENTES DEL PLC, EQUIPOS DE CAMPO Y SOFTWARE DEL PLC -----	77
<hr/>	
5.1. PLC -----	77
5.1.1. PANEL POSTERIOR DE 10 POSICIONES (BACKPLANE) -----	78
5.1.2. UNIDAD CENTRAL DE PROCESAMIENTO -----	79
5.1.2.1. INTERRUPTORES DEL PANEL FRONTAL -----	81
5.1.2.2. INTERRUPTORES DEL PANEL POSTERIOR -----	83
5.1.3. FUENTE DE PODER -----	83
5.1.4. MÓDULOS DE ENTRADA Y SALIDA -----	86
5.1.4.1. MÓDULOS DE ENTRADA ANALÓGICA -----	86
5.1.4.2. MÓDULOS DE SALIDA ANALÓGICA -----	87
5.2. EQUIPOS DE CAMPO -----	90
5.2.1. TRANSMISORES (SENSORES) -----	91
5.2.1.1. SENSOR DE TEMPERATURA -----	91
5.2.1.2. SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA EN EL DUCTO -----	93
5.2.1.3. SENSOR DE PRESIÓN ESTÁTICA EN EL DUCTO -----	95
5.2.1.4. SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA AMBIENTE -----	96
5.2.2. ACTUADORES -----	99
5.2.2.1. FLUJO DE VAPOR HACIA LOS CALENTADORES -----	100
5.2.2.2. FLUJO DE AGUA FRÍA HACIA LOS ENFRIADORES -----	105
5.2.2.3. FLUJO DE VAPOR HACIA LOS HUMIDIFICADORES -----	111
5.2.2.4. POSICIÓN DE LOS DAMPERS -----	112
5.2.2.5. MOTOR ACOPLADO AL SOPLADOR -----	117
5.3. SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN DEL PLC -----	119
5.3.1. ESTRUCTURA DE PROGRAMACIÓN -----	122
5.3.2. CREACIÓN DE UN PROGRAMA EN CONCEPT -----	123
5.3.3. EDITOR DE VARIABLES -----	130
5.3.4. FECHA Y HORA -----	133
5.3.5. BLOQUES DE FUNCIÓN DERIVADO DFB -----	133
5.3.6. MODOS DE PROGRAMACION -----	135

6.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN .....	142
6.2. ADAPTADOR DE RED MODBUS PLUS SA85 .....	144
6.2.1. VISIÓN GENERAL DE LA INSTALACIÓN .....	146
6.2.2. ADICCIÓN O ELIMINACIÓN DE NODOS ACTIVOS .....	146
6.2.3. LOCALIZACIÓN DE INTERRUPTORES .....	147
6.2.4. SETEO DE LA DIRECCIÓN MODBUS PLUS .....	147
6.2.5. SETEO DE LA DIRECCIÓN BASE PARA LA VENTANA DE MEMORIA ---	148
6.2.6. VERIFICACIÓN DE PUENTES .....	151
6.2.7. INSTALADOR DEL ADAPTADOR SA85 .....	151
6.2.8. LECTURA DEL LED INDICADOR .....	152
6.2.9. UTILIDADES DE DIAGNÓSTICO .....	154
6.2.10. DENOMINACIÓN DEL NODO MODBUS PLUS .....	155
6.2.11. INICIACIÓN DEL ADAPTADOR SA85 .....	156
6.3. INSTALACIÓN DEL SOFTWARE CONTROLADOR DEL ADAPTADOR .....	156
6.3.1. ARCHIVO MBHOST.SYS .....	156
6.3.2. EDICIÓN DEL ARCHIVO CONFIG.SYS .....	157
6.4. INICIACIÓN DEL PC .....	159
6.5. ESPECIFICACIONES DEL ADAPTADOR DE RED MODBUS PLUS SA85 .....	159

## CAPÍTULO 7

## ENSAMBLAJE DEL EQUIPO

161

7.1. IDENTIFICACIÓN, CARACTERÍSTICAS METROLÓGICAS, OPERACIÓN Y PROTECCIÓN DE LA INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS DE CAMPO .....	161
7.2. TABLERO DE CONTROL .....	166
7.3. UBICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS .....	169

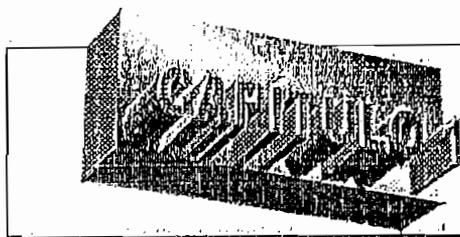
## CAPÍTULO 8

## SISTEMA DE SUPERVISIÓN, CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS (SCADA)

173

8.1. SOFTWARE DE SUPERVISIÓN, CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS (SCADA)	173
8.2. VISIÓN GENERAL DE LOS PARÁMETROS Y VARIABLES QUE INTERVIENEN ---	178
8.3. DESARROLLO DEL PROGRAMA DE APLICACIÓN .....	178
8.3.1. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS PANTALLAS .....	179
8.3.1.1. PANTALLA: PRINCIPAL .....	180

8.3.1.2. PANTALLA: AIRE ACONDICIONADO -----	180
8.3.1.3. PANTALLA: INSTRUMENTACIÓN -----	182
8.3.1.4. PANTALLA: PRODUCCIÓN -----	188
8.3.1.5. PANTALLA: REGISTRADORES -----	191
8.3.1.6. PANTALLA: HISTÓRICOS -----	192
8.3.1.7. PANTALLA: INSTRUCTOR -----	197
8.3.1.8. PANTALLA: DOCUMENTO -----	194
8.3.1.9. PANTALLA: POR DEFECTO -----	194
8.3.2. NIVELES DE ACCESO -----	195
8.4. OPERACIONES REALIZADAS ENTRE EL PLC Y LA ESTACIÓN DE SUPERVISIÓN	197
8.5. INTERCAMBIO DINÁMICO DE DATOS DDE -----	200
8.6. PROCEDIMIENTO DE INICIACIÓN -----	206
CAPÍTULO 9	
DESCRIPCIÓN DE LOS BLOQUES DE CONTROL, SINTONIZACIÓN Y CURVAS DE RESPUESTA -----	
	208
<hr/>	
9.1. DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES BLOQUES QUE CONFORMAN LOS LAZOS DE CONTROL -----	208
9.2. MODO DE EJECUCIÓN DEL CONTROL -----	220
9.3. LAZOS DE CONTROL PARA EL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO -----	221
9.3.1. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE CONTROL -----	221
9.4. SINTONIZACIÓN -----	226
9.5. CURVAS DE RESPUESTA -----	230
CONCLUSIONES -----	233
RECOMENDACIONES -----	236
ANEXOS	
ANEXO A: DIAGRAMAS Y PLANOS -----	A-1
ANEXO B: DOCUMENTACIÓN, PROGRAMA DEL PLC -----	B-1
ANEXO C: PROGRAMA DE SUPERVISIÓN, MANUAL DEL USUARIO -----	C-1
BIBLIOGRAFÍA	



## INTRODUCCIÓN

Si se analiza un proceso industrial se ve que es posible incluir en él una serie de sistemas que, dispuestos en cierto sentido, forman su estructura íntima. El conocimiento de esta estructura, las leyes a que responde, y las características del producto final, permiten controlar este proceso con toda claridad y precisión.

Esta precisión en el control, o automatización industrial, es pues necesaria para el fiel funcionamiento de todo el proceso. Se comprende que siendo infinitos los procesos que puedan darse, la suma de conocimientos necesarios para el diseño e implementación de su sistema de control deben ser muy amplios. Sería, pues, insensato pretender reunir en una sola realización todos los procedimientos de diseño y construcción de sistemas de control para procesos industriales; y esto tan sólo haciendo relación a la parte del acondicionamiento de aire.

No se crea con lo que va dicho que todos los procesos industriales son susceptibles de diseñar e implementar en ellos un sistema de control automático completo. La automatización es un sistema de fabricación diseñado con el fin de usar la capacidad de las máquinas para llevar a cabo determinadas tareas anteriormente efectuadas por seres humanos, y para controlar la secuencia de las operaciones sin intervención humana. El término automatización también se ha utilizado para describir sistemas no destinados a la fabricación, en los que dispositivos programados o automáticos pueden funcionar de forma independiente

o semiindependiente del control humano. La fabricación automatizada surgió de la íntima relación entre fuerzas económicas e innovaciones técnicas como la división del trabajo, la transferencia de energía y la mecanización de las fábricas, el desarrollo de las máquinas de transferencia y sistemas de realimentación.

Un elemento esencial de todos los mecanismos de control automático es el principio de realimentación, que permite al diseñador dotar a una máquina de capacidad de autocorrección. Un ciclo o bucle de realimentación es un dispositivo mecánico, neumático o electrónico que detecta una magnitud física como temperatura, humedad, presión, tamaño o velocidad, la compara con una norma preestablecida, y realiza aquella acción preprogramada necesaria para mantener la cantidad medida dentro de los límites de la norma aceptable.

En la fabricación y en la producción, los ciclos de realimentación requieren la determinación de límites aceptables para que el proceso pueda efectuarse; que estas características físicas sean medidas y comparadas con el conjunto de límites, y que el sistema de realimentación sea capaz de corregir el proceso para que los elementos medidos cumplan la norma.

El advenimiento del ordenador o computadora ha facilitado enormemente el uso de ciclos de realimentación en los procesos de fabricación. En combinación, las computadoras y los ciclos de realimentación han permitido el desarrollo de máquinas controladas electrónicamente y centros de maquinado (máquinas herramientas que pueden realizar varias operaciones de maquinado diferentes).

Otro avance que ha permitido ampliar el uso de la automatización es el de los sistemas de fabricación flexibles (FMS). Se emplea una computadora para

supervisar y dirigir todo el funcionamiento de la fábrica, desde la programación de cada fase de la producción hasta el seguimiento de los niveles de inventario y de utilización de herramientas.

En nuestro país, muchas industrias están muy automatizadas, o bien utilizan tecnología de automatización en alguna etapa de sus actividades. No todas las industrias requieren el mismo grado de automatización. La agricultura, las ventas y algunos sectores de servicios son difíciles de automatizar.

El concepto de automatización está evolucionando rápidamente, en parte debido a que las técnicas avanzan tanto dentro de una instalación o sector como entre las industrias. Por ejemplo, el sector petroquímico ha desarrollado el método de flujo continuo de producción, posiblemente debido a la naturaleza de las materias primas utilizadas.

Como resultado, cada sector tiene un concepto de automatización adaptado a sus necesidades específicas. En casi todas las fases del comercio pueden hallarse más ejemplos. La propagación de la automatización y su influencia sobre la vida cotidiana constituye la base de la preocupación expresada por muchos acerca de las consecuencias de la automatización sobre la sociedad y el individuo.

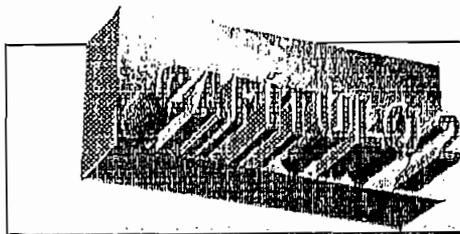
Aplicando efectivamente los conocimientos de electricidad y electrónica y superando todos los problemas que se presentan durante el diseño, implementación, puesta a punto y mantenimiento del un sistema de control y supervisión, se concibe la idea de automatizar los procesos de acondicionamiento de aire para las secciones de hilatura y embobinado de la planta industrial Enkador S. A. Un trabajo, en resumen, sirve de arratque para el plan de modernización y

automatización de la planta, así como también de utilidad práctica para todos las personas que de una u otra manera se han involucrado en el proyecto, en especial a aquellos que se nos dió la oportunidad de poder obtener el título de ingenieros mediante este proyecto. Contemplando todo lo antes expuesto, se le da el carácter de una obra de consulta.

Una de las constantes de la naturaleza humana ha sido la voluntad de compartir la buena fortuna. En Eukador, con respecto al ámbito empresarial, la buena fortuna es debida, en medida considerable, a la oportunidad y responsabilidad dada por el Departamento de Ingeniería a mi persona, Francisco Miguel Egas Coba, egresado de la facultad de Ingeniería Eléctrica de la Escuela Politécnica Nacional y a Luis Gonzalo Larco Salazar, egresado de la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Escuela Politécnica del Ejército, con el único propósito de hacer realidad este proyecto. Con esto se espera que estudiantes, futuros colegas, para quienes va dirigido este trabajo, lo consideren como una indicación del deseo abierto de las autoridades de las dos más grandes instituciones educativas del país nivel superior, para permitir compartir la buena fortuna y, por inferencia, una amistad.

Queremos expresar nuestros sinceros agradecimientos a todas las personas que contribuyeron de diferente manera a hacer mejor este proyecto. Los profesores Ing. Jorge Molina e Ing. Hugo Ortiz directores de la tesis, quienes nos colaboraron incansablemente con sus valiosas observaciones. Un agradecimiento especial también a Francisco Meza, Ládir Jácome y Victor Moreno, miembros del Departamento de Instrumentación y Mantenimiento Eléctrico de Eukador, por sus análisis provechosos, así como por su hospitalidad. Por último, expresamos

nuestra gratitud a toda la gente de Enkador que trabajó en este proyecto, representadas en las personas de los ingenieros Ramiro Argüello, Jorge Acero y Paulo Posso. Por supuesto, somos los responsables de los errores que se presentaron en la ejecución del proyecto. Sean bienvenidas las críticas y los comentarios.



## ACONDICIONAMIENTO DE AIRE

### 2.1. CAMPO DEL ACONDICIONAMIENTO DE AIRE

El desarrollo efectivo de la calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning) se inició hace 100 años. Los sistemas de calefacción central se desarrollaron en el siglo XIX y el acondicionamiento de aire mediante refrigeración mecánica ha progresado durante los últimos 50 años.

Un sistema de acondicionamiento de aire consiste en un conjunto de equipos que proporcionan el tratamiento del mismo en un ambiente interior con el fin de establecer y mantener el control de su temperatura, humedad, pureza y movimiento en todo momento y con independencia de las condiciones climáticas exteriores. Sin embargo, suele aplicarse en forma impropia el término "acondicionamiento de aire" al enfriamiento del aire (aire refrigerado). Muchas unidades llamadas de acondicionamiento de aire son solo unidades de refrigeración equipadas con ventiladores, las que proporcionan un flujo de aire fresco filtrado.

La mayor parte de los sistemas de acondicionamiento de aire están destinadas a dar confort a las personas, y otra buena parte al control de procesos. Se sabe ya por experiencia que estos sistemas aumentan la comodidad. Determinados rangos de temperatura, humedad, limpieza y movimiento de aire son confortables, otros no.

También muchos procesos de fabricación, incluido el de producción de fibras sintéticas, producción de papel, procesos químicos, entre otros, requieren el acondicionamiento del aire y el control de las condiciones a las que se efectúan.

Investiguemos como se controla cada una de esas condiciones:

- **Temperatura.** La temperatura del aire se controla calentándolo o enfriándolo. Enfriamiento significa técnicamente la eliminación de calor, en contraste con el calentamiento, que es la adición de calor.
- **Humedad.** La humedad es el contenido de vapor de agua en el aire, se controla agregando o eliminando vapor de agua al aire (humidificación o deshumidificación).
- **Limpieza.** La limpieza o calidad del aire se controla ya sea mediante filtración, que es la eliminación de contaminantes indeseables por medio de filtros u otros dispositivos, o mediante ventilación, que es la introducción de aire exterior al espacio interior, con lo cual se diluye la concentración de contaminantes. Con frecuencia, en una instalación dada se usan tanto la filtración como la ventilación.
- **Movimiento.** El movimiento del aire se refiere a su velocidad y a los lugares hacia donde se distribuye. Se controla mediante el equipo adecuado para la distribución de aire.

Cuando se precisa aire seco suele obtenerse por refrigeración o por deshidratación; después se conduce a unas cámaras que contienen compuestos químicos absorbentes como gel de sílice (óxido de silicio). Para humedecer el aire se le hace circular por agua pulverizada. Si el aire tiene que estar libre de polvo, como en el caso de la fabricación de medicamentos, el sistema de aire acondicionado debe incorporar algún tipo de filtro. El aire circula a través de agua

pulverizada o, en algunas ocasiones, por una red de láminas lubricadas; en otros sistemas, el polvo se elimina electrostáticamente mediante precipitadores.

Los sistemas centralizados de aire acondicionado, que proporcionan ventilación, aire caliente y aire frío, según las necesidades, se emplean en grandes almacenes, restaurantes, cines, teatros y en otros edificios públicos. Estos sistemas son complejos y suelen instalarse durante la construcción del edificio. Cada vez se automatizan más para ahorrar energía y se controlan por computadoras u ordenadores.

El diseño del sistema de aire acondicionado depende del tipo de estructura en la que se va a instalar, la cantidad de espacio a refrigerar, el número de ocupantes y del tipo de actividad que realicen. Una habitación con grandes ventanales expuestos al sol, o una oficina interior con muchos focos o bombillas, que generan mucho calor, requieren un sistema con capacidad refrigeradora mucho mayor que una habitación sin ventanas iluminada con tubos fluorescentes. La circulación del aire debe ser mayor en espacios en los que los ocupantes pueden fumar que en recintos de igual capacidad en los que no está permitido. En viviendas y apartamentos, la mayor parte del aire calentado o enfriado debe circular sin molestar a sus ocupantes; pero en laboratorios y fábricas donde se realizan procesos que generan humos nocivos el aire no se puede hacer circular; hay que proporcionar constantemente aire fresco refrigerado o calentado y extraer el aire viciado.

Los sistemas de aire acondicionado se evalúan según su capacidad efectiva de refrigeración, que debería medirse en kilovatios. Sin embargo todavía se mide en

algunas ocasiones en toneladas de refrigeración, que es la cantidad de calor necesaria para fundir una tonelada de hielo en 24 horas, y equivale a 3,5 kilovatios.

## 2.2. PRINCIPIOS FÍSICOS

El individuo que incursiona en el campo de la calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire, encuentra con frecuencia problemas que no pueden resolverse sin un conocimiento de la física aplicada. En este sentido se presentarán las definiciones físicas útiles para comprender el acondicionamiento de aire. Esta presentación de los fundamentos no pretende sustituir un curso de física; pero la revisión previa de estos temas será útil como preparación para este trabajo.

En general, se emplearán aquí las definiciones y conceptos que se aceptan hoy en la física. Sin embargo, en algunos casos se usarán los términos usuales en el campo del acondicionamiento de aire, aun cuando sean ligeramente diferentes en su significado. Este método permitirá al interesado comunicarse y trabajar con otras personas en este campo.

### 2.2.1. CALOR Y TEMPERATURA

El calor se ha descrito como una forma de energía en transferencia. *El calor es la forma de energía que se transmite de un cuerpo a otro debido a una diferencia de temperatura.*

El calor sólo puede pasar en forma natural desde una temperatura mayor a una menor. “Cuesta abajo”, diríamos, como se ve en la figura 2.1. Desde luego, si no hay diferencia de temperaturas, no habrá flujo de calor. La unidad que se usa para el calor en el SI es el Joule ( J ). Se define al J como la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de un kilogramo de agua de 14°C a 15°C.

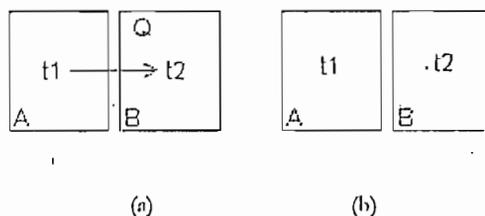


Figura 2.1. El calor sólo puede pasar de una temperatura mayor hasta una menor.

(a) Si  $t_1$  es mayor que  $t_2$ , el calor pasa de A a B. (b) si  $t_1 = t_2$ , entonces el calor no fluye.

La temperatura es una medida de la actividad térmica de un cuerpo. Esta actividad depende de la velocidad de las moléculas y demás partículas de las cuales se compone toda la materia. No es práctico medir la temperatura a través de la velocidad de las moléculas, y por lo tanto esa definición no tiene mucha importancia para nosotros. En general, la temperatura se mide con termómetros. El más común de ellos se basa en el hecho de que la mayor parte de los líquidos se expanden y se contraen cuando se eleva o se disminuye su temperatura. Creando una escala arbitraria de números, se puede elaborar una escala de temperatura con sus unidades. En el SI de unidades se usa el grado Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), o centígrado, y según esta escala el punto de ebullición del agua es de  $100^{\circ}\text{C}$  y el de congelación es  $0^{\circ}\text{C}$  a presión atmosférica. Hay también escalas de temperatura absoluta. En ellas el valor de 0 se asigna a la más baja temperatura que puede existir. La escala Kelvin se usa en el SI, y en ella la diferencia entre grado y grado es la misma que en la escala Celsius.

### 2.2.2. ENTALPÍA

Se ha dicho que la energía puede clasificarse en: energía en transferencia y energía almacenada. La energía total que almacena un cuerpo comprende varios tipos. Por ejemplo, nos damos perfecta cuenta que un cuerpo tiene *energía química* almacenada, porque ya sabemos que ésta se libera, mediante la combustión, de

algunas sustancias. Otras formas de energía almacenada son la energía cinética y la potencial. La *energía cinética* es la energía almacenada en un cuerpo debida a su movimiento, o velocidad. La *energía potencial* es la energía almacenada en un cuerpo debido a su posición o elevación. Los cuerpos también tienen energía debido a su temperatura y presión. Sabemos que un gas a alta presión tiene energía (por ejemplo, una caldera), y que el agua a alta temperatura puede ceder su energía calorífica. *A la energía almacenada en forma de temperatura y presión se le llama entalpía (H)*. (Existe una definición más precisa de entalpía, pero no sirve al propósito de nuestra discusión).

En la industria de la refrigeración se acostumbra usar la frase *contenido de calor* para designar lo mismo que la entalpía. En sentido estricto el calor es una forma de energía que fluye hacia el interior y el exterior de un cuerpo, y la entalpía o contenido de calor es una forma de energía almacenada en un cuerpo. Al ser una forma de energía, la entalpía puede, por lo tanto, medirse en J. La *entalpía específica (h)* es la entalpía por unidad de masa de una sustancia, expresada en J/kg en el SI.

### 2.2.3. TRANSFERENCIA DE CALOR

Es el proceso por el que se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos, o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están a distinta temperatura. El calor se transfiere mediante convección, radiación o conducción. Aunque estos tres procesos pueden tener lugar simultáneamente, puede ocurrir que uno de los mecanismos predomine sobre los otros dos. Por ejemplo, el calor se transmite a través de la pared de una casa fundamentalmente por conducción, el calentamiento del agua situada sobre un quemador de gas se

calienta en gran medida por convección, y la Tierra recibe calor del Sol casi exclusivamente por radiación.

#### 2.2.4. PRESIÓN TOTAL, ESTÁTICA Y DE LA VELOCIDAD

En mecánica, presión es la fuerza por unidad de superficie que ejerce un líquido o un gas perpendicularmente a dicha superficie. La presión suele medirse en atmósferas (atm); en el Sistema Internacional de unidades (SI), la presión se expresa en newtons por metro cuadrado (Pa). La atmósfera se define como 101.325 Pa, y equivale a 760 mm de mercurio en un barómetro convencional.

La mayoría de los medidores de presión, o manómetros, miden la diferencia entre la presión de un fluido y la presión atmosférica local. Para pequeñas diferencias de presión se emplea un manómetro que consiste en un tubo en forma de U con un extremo conectado al recipiente que contiene el fluido y el otro extremo abierto a la atmósfera. El tubo contiene un líquido, como agua, aceite o mercurio, y la diferencia entre los niveles del líquido en ambas ramas indica la diferencia entre la presión del recipiente y la presión atmosférica local. Para diferencias de presión mayores se utiliza el manómetro de Bourdon. Este manómetro está formado por un tubo hueco de sección ovalada curvado en forma de gancho. Los manómetros empleados para registrar fluctuaciones rápidas de presión suelen utilizar sensores piezoeléctricos o electrostáticos que proporcionan una respuesta instantánea.

Como la mayoría de los manómetros miden la diferencia entre la presión del fluido y la presión atmosférica local, hay que sumar ésta última al valor

indicado por el manómetro para hallar la presión absoluta. Una lectura negativa del manómetro corresponde a un vacío parcial.

Las presiones bajas en un gas (hasta unos  $10^{-6}$  mm de mercurio de presión absoluta) pueden medirse con el llamado dispositivo de McLeod, que toma un volumen conocido del gas cuya presión se desea medir, lo comprime a temperatura constante hasta un volumen mucho menor y mide su presión directamente con un manómetro. La presión desconocida puede calcularse a partir de la ley de Boyle-Mariotte. Para presiones aún más bajas se emplean distintos métodos basados en la radiación, la ionización o los efectos moleculares.

Las presiones pueden variar entre  $10^8$  y  $10^2$  mm de mercurio de presión absoluta en aplicaciones de alto vacío, hasta miles de atmósferas en prensas y controles hidráulicos. Con fines experimentales se han obtenido presiones del orden de millones de atmósferas, y la fabricación de diamantes artificiales exige presiones de unas 70.000 atmósferas, además de temperaturas próximas a los  $3.000^\circ\text{C}$ .

La presión total ( $P_t$ ) de un fluido en movimiento se define como:

$$P_t = P_s + P_v$$

Donde,  $P_t$  = presión total,  $P_s$  = presión estática y  $P_v$  = presión de la velocidad.

La *presión estática* es la presión que tiene el fluido en reposo. La presión de la velocidad se ha definido como:

$$P_v = \frac{V^2}{2g}$$

Así, la energía de presión total que tiene un fluido en cualquier punto se puede considerar formada de dos partes: su energía de presión estática y su energía de presión de velocidad. Esta idea es útil para medir las velocidades y flujos en tuberías y ductos. Si se puede medir la presión de la velocidad, se puede calcular la velocidad utilizando la ecuación anterior.

Muchos instrumentos de medición y balanceo para medir el flujo usan la relación entre las presiones total, estática y de velocidad. En la figura 2.2a se conecta un manómetro al ducto para indicar la presión estática. En la figura 2.2b el manómetro indica la presión total, porque además de estar expuesto a presión estática, el tubo de impacto en el extremo del manómetro queda frente a la corriente de aire que llega y por lo tanto recibe la energía de la presión de velocidad también. Conectando estos dos manómetros, como se indica en la figura 2.2c, se lee directamente la diferencia entre las presiones total y estática: la presión de velocidad.

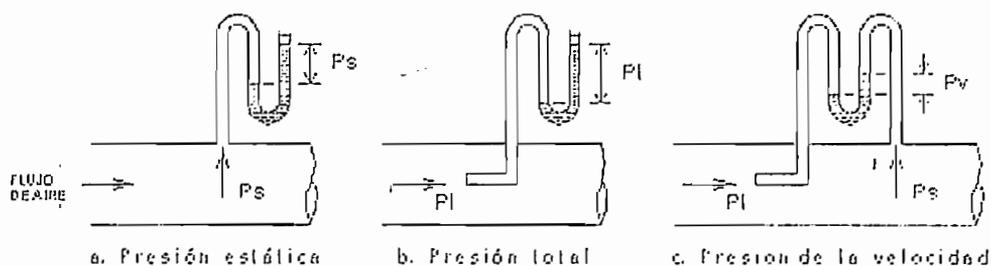


Figura 2.2. Disposición de manómetros para indicar la presión estática, total y de velocidad.

### 2.2.5. HUMEDAD

Es la medida del contenido de agua en la atmósfera. La atmósfera contiene siempre algo de agua en forma de vapor. La cantidad máxima depende de la

temperatura; crece al aumentar ésta: a  $4,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 1.000 kg de aire húmedo contienen un máximo de 5 kg de vapor; a  $37,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  1.000 kg de aire contienen 18 kg de vapor.

El peso del vapor de agua contenido en un volumen de aire se conoce como humedad absoluta y se expresa en kg de agua por kg de aire seco. Los científicos se refieren a estas medidas con gramos de vapor de agua por metro cúbico. La humedad relativa, dada en los informes meteorológicos, es la razón entre el contenido efectivo de vapor en la atmósfera y la cantidad de vapor que saturaría el aire a la misma temperatura.

Si la temperatura atmosférica aumenta y no se producen cambios en el contenido de vapor, la humedad absoluta no varía mientras que la relativa disminuye. Una caída de la temperatura incrementa la humedad relativa produciendo rocío.

La humedad se mide con un hidrómetro. El índice de temperatura-humedad (índice T-H, también llamado índice de incomodidad) expresa con un valor numérico la relación entre la temperatura y la humedad como medida de la comodidad o de la incomodidad. Se calcula sumando 40 al 72% de la suma de las temperaturas en un termómetro seco y en otro húmedo. Por ejemplo, si la temperatura en el termómetro seco es de  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  y en el húmedo es de  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , el índice T-H será de 76. Cuando el valor es 70, la mayoría de la gente está cómoda, si el índice es de 75, el ambiente se hace más incómodo.

## 2.3. COMPONENTES

### 2.3.1. TUBERÍAS, VÁLVULAS, DUCTOS Y AISLAMIENTOS

Los tipos correctos de tubería, ductos y aislamiento para un determinado sistema de acondicionamiento de aire es un aspecto importante. Además, se debe comprender el método adecuado de instalación, considerando problemas tales como expansión, soporte, anclaje y vibraciones.

Las tuberías se fabrican con muchos materiales, y la selección adecuada de ellos depende del servicio para el cual se pretende la tubería. El servicio comprende las propiedades del fluido en cuestión, la temperatura, la presión, y la exposición a oxidación o corrosión.

Además, el costo y la disponibilidad también afectan la selección de materiales. Finalmente, las normas y reglamentos en general limitan la selección de materiales para un uso dado. El material de tubería que se usa con mayor frecuencia en los sistemas de acondicionamiento de aire es tanto el tubo de acero de bajo carbono ("negro"), o el tubo de cobre. Cuando hay problemas serios de oxidación o corrosión, se necesitan otros materiales.

En el caso de las válvulas hay muchos tipos y usos. Tenemos principalmente las válvulas de servicio general. Las válvulas de control automático se describirán posteriormente. Las válvulas para regular el flujo se pueden agrupar en tres clases de acuerdo con su función.

Las válvulas de corte de flujo sólo se usan para interrumpirlo. Este procedimiento se emplea para aislar equipos para darles servicio de mantenimiento, o para aislar secciones de un sistema con el mismo fin.

Las válvulas reguladoras de flujo se usan para ajustar el flujo en forma manual. Esto se desea para ajustar los flujos correctos a través del equipo y los diferentes circuitos de un sistema de acondicionamiento de aire. Para regular el flujo se puede usar las válvulas de globo, de ángulo, de macho, de tapón, de aguja y de mariposa.

Las válvulas que permiten el flujo sólo en una dirección se llaman válvulas de retención o check. En los sistemas de circulación de agua se podría presentar una inversión de flujo cuando no funciona el sistema, especialmente si hay una carga estática del agua. El flujo en dirección inversa puede dañar al equipo o vaciar un tubo o equipo sin advertirlo. Las válvulas de retención horizontal se pueden usar sólo en tubos horizontales. En los tubos verticales se puede usar una válvula de retención vertical, o una válvula de retención con tensión de resorte. Las válvulas de retención se instalan en general en la descarga de una bomba.

Con respecto a la construcción de ductos; el material más empleado para ductos de acondicionamiento de aire es la lámina de acero galvanizado. En años recientes también se ha comenzado a emplear ductos moldeados de fibra de vidrio. Cuando el aire que se conduce es corrosivo, se usan materiales más resistentes a la corrosión, como el acero inoxidable, cobre o aluminio. Las chimeneas de las cocinas y de laboratorios químicos son ejemplos en los que se usan materiales especiales.

El ducto rectangular de lámina se usa con más frecuencia en aplicaciones de baja presión (hasta 3 in H<sub>2</sub>O, presión estática). Para sistemas de alta velocidad y alta presión, se usa mucho el ducto redondo, fabricado a máquina aunque también se usa ducto rectangular de mayor espesor. Con frecuencia se hacen las conexiones

finales a los difusores de aire con ducto redondo y flexible, porque con ello permite pequeños ajustes en la localización del difusor.

Las uniones de los ductos deben hacerse tan herméticas como sea posible para reducir las fugas de aire, con sellador si es necesario. No es raro encontrar instalaciones en las que se pierde el 10% o más de flujo de aire de diseño debido a una mala instalación.

Los ductos que llevan aire caliente o frío se cubren con aislamiento térmico para reducir las pérdidas de calor. Además, el aislamiento se recubre con una barrera de vapor para evitar la condensación de agua en ductos fríos. Como aislamiento se usa fibra de vidrio o algún material con alta resistencia térmica. La barrera de vapor es en general de hoja de aluminio. El aislamiento se suministra ya sea como tableto rígido o como colchoneta. El tableto rígido cuesta más, y sólo se usa cuando el ducto queda expuesto y es importante la apariencia o los posibles abusos.

Los ductos con frecuencia se recubren internamente con aislamiento acústico, para absorber el sonido. En este caso, el aislamiento también actúa como aislamiento térmico.

### 2.3.2. RADIADORES

Este tipo de unidad está constituido por secciones huecas de hierro fundido a través de las cuales fluye agua caliente, vapor o agua helada. Son muy usados en sistemas de calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire, pero ya no se utilizan mucho en las construcciones nuevas. Los otros tipos de radiadores son en general más económicos y tienen un aspecto más atractivo.

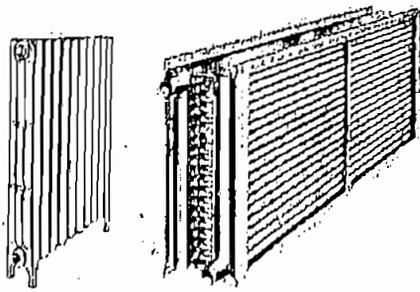


Figura 2.3. Radiadores de hierro fundido.

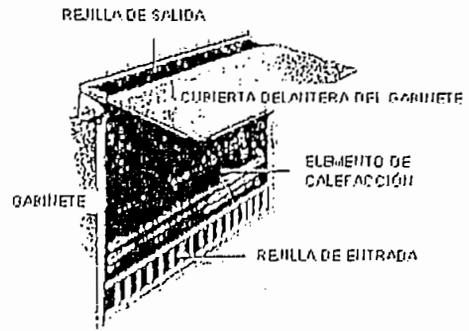


Figura 2.4. Conectores autoestables.

### 2.3.3. CONVECTORES

Los convectores tienen un tubo aletado o un pequeño elemento de calefacción de hierro fundido, dentro de una caja de lámina metálica. El aire del recinto entra a través de una abertura en la parte inferior y sale por una rejilla en la parte superior (figura 2.4).

### 2.3.4. VENTILADORES Y DISPOSITIVOS PARA DISTRIBUCIÓN DE AIRE

Los edificios en los que viven y trabajan las personas deben ventilarse para reponer oxígeno, diluir la concentración de dióxido de carbono, así como de vapor de agua, y eliminar los olores desagradables. Suele haber circulación de aire o ventilación a través de los huecos en las paredes del edificio, en especial a través de puertas y ventanas. Pero esta ventilación natural, quizá aceptable en viviendas, no es suficiente en edificios públicos, como oficinas, teatros o fábricas.

Los sistemas de ventilación en fábricas deben eliminar los contaminantes que pueda transportar el aire de la zona de trabajo. Casi todos los procesos químicos generan gases residuales y vapores que deben extraerse del entorno de

trabajo con efectividad y en ocasiones contando con un presupuesto ajustado. Los ingenieros químicos, en particular, se encargan del diseño de los sistemas de ventilación para fábricas y refinerías.

La mayoría de los ingenieros consideran que para mantener un recinto ventilado hay que renovar el aire por completo de una a tres veces por hora, o proporcionar a cada ocupante de 280 a 850 litros de aire fresco por minuto. Para conseguir esta ventilación es necesario utilizar dispositivos mecánicos para aumentar el flujo natural del aire.

Los dispositivos de ventilación más sencillos son ventiladores instalados para extraer el aire viciado del edificio y favorecer la entrada de aire fresco. Como se presentó anteriormente, los sistemas de ventilación pueden combinarse con calentadores, filtros, controladores de humedad y dispositivos de refrigeración. Muchos sistemas incorporan intercambiadores de calor. Estos sistemas aprovechan el aire extraído para calentar o enfriar el aire nuevo; así aumentan la eficacia del sistema y reducen la cantidad de energía necesaria para su funcionamiento.

Los ventiladores se necesitan para distribuir aire por el equipo y a través de los ductos hasta los recintos que deben tener aire acondicionado. Los ventiladores se pueden clasificar en dos grandes grupos: los ventiladores *centrífugos*, y los ventiladores de *flujo axial*, que difieren entre sí en la dirección del flujo de aire que pasa por ellos. En un ventilador centrífugo, se impulsa al aire a lo largo del eje del ventilador, y a continuación es desviado rápidamente en forma radial de dicho eje. El aire se reúne en una carcasa o caracol, y se concentra en una dirección (fig.

2.5). En un ventilador de flujo axial se impulsa el aire a lo largo del eje del ventilador, y después sale en la misma dirección (fig. 2.6).

El aire acondicionado que se suministra a cada recinto se debe distribuir en el espacio de determinada forma; si no es así, se tendrán condiciones poco aceptables. Este es un aspecto de los sistemas de control ambiental que con frecuencia se omite, porque parece sencillo. El aire se puede suministrar con el flujo volumétrico y las condiciones adecuadas, y aún así los procesos industriales suelen desarrollarse en condiciones inestables. Esto se debe a que el aire no se distribuye correctamente en el recinto.



Figura 2.5. Ventilador centrífugo, con aspas tipo hoja de aire.

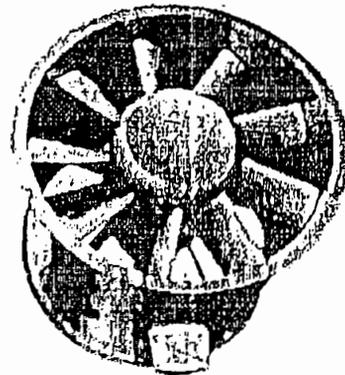


Figura 2.6. Ventilador de aspas axiales

### 2.3.5. DÁMPERS

Los álabes y las persianas son empleados para el controlar el flujo del aire, principalmente en largos ductos y relativamente a presión estática baja. Se encuentran en el mercado, álabes y persianas de dos clases: comerciales y para control de procesos. Los de clase comercial son usados para aplicaciones de baja

debiéndola, es decir sistemas HVAC pequeños, mientras que para control de procesos, pueden manejar grandes volúmenes de aire a mayor presión, altas temperaturas, y gases o vapores corrosivos, además proporcionan filtraciones y características de control superiores.

También son utilizados para controlar el flujo de sólidos o para regular la capacidad de ventiladores, sopladores y compresores.

Los álabes y las persianas son en general de dimensiones grandes y están limitados a operar a medianas y bajas presiones. Los diámetros de los álabes grandes pueden exceder los 6m.

#### 2.3.5.1. ÁLABES DE GUÍA A LA ENTRADA DE VENTILADORES Y SOPLADORES

En ventiladores y sopladores, donde se debe controlar el volumen de flujo de aire, se emplean álabes guía. Los reguladores consisten de paletas radiales dispuestas alternadamente una junto a otra, con sus ejes en forma radial (figura 2.7).

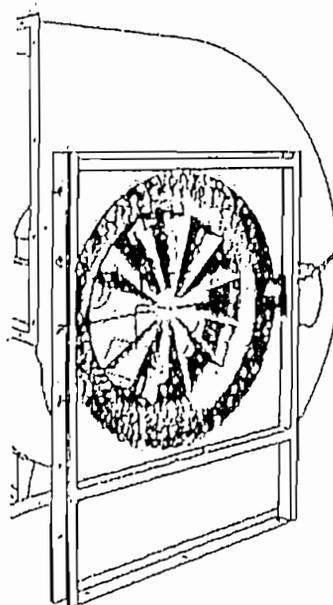


Figura 2.7. Álabes de guía ala entrada, para controlar el volumen.

Con este tipo de reguladores el control no es muy bueno, y los niveles de escape en disposiciones cerradas, son altos. Las aplicaciones principales incluyen control de flujo de aire en recintos con mucho calor.

### 2.3.6. DISPOSITIVOS PARA LIMPIEZA DEL AIRE (FILTROS)

Los sistemas de acondicionamiento de aire que lo hacen circular, en general tienen la posibilidad de eliminar algunos de los contaminantes. La mayor parte de los sistemas cuentan con dispositivos que eliminan las partículas de polvo o tierra, que se originan principalmente por la contaminación industrial. Se puede escoger el tipo incorrecto de filtro, o bien los filtros no se conservan en forma correcta. Esta negligencia es grave porque se trata de un asunto de contaminación de aire y salud humana. En procesos industriales es necesaria la limpieza adecuada del aire por las siguientes razones:

- Protección del equipo de acondicionamiento de aire. Algunos equipos no trabajan correctamente o se gastan con mayor rapidez sin la limpieza adecuada.
- Procesos en los cuales el aire tiene que estar libre de polvo. Algunos procesos de fabricación son especialmente sensibles, como es el caso de la fabricación de fibras sintéticas y medicamentos.
- Protección de la maquinaria de acondicionamiento de aire. El polvo y la tierra que se acumula en enfriadores, calentadores, humidificadores y ventiladores, aumentan su resistencia a la transferencia de calor.

Los limpiadores de aire pueden eliminar el polvo de tres formas principales:

- Impacto. Las partículas de polvo chocan con el medio filtrante y se detienen.
- Colado. Las partículas de polvo son mayores que el espacio entre las fibras adyacentes y por lo tanto no pasan a la corriente de aire.
- Precipitación electrostática. A las partículas de polvo se les comunica una carga eléctrica. Al medio filtrante se le comunica la carga opuesta, y por lo tanto las partículas son atraídas hacia el medio.

El filtro de impacto viscoso tiene un medio de fibras gruesas recubiertas con un adhesivo viscoso. Se usan en general fibras de vidrio y pantallas metálicas. Las velocidades varían de 1 a 3 metros por segundo. La caída de presión cuando están limpios es baja, de aproximadamente 0.1 in l<sub>2</sub>O; se debe dar servicio de mantenimiento al filtro cuando la resistencia alcanza 0.5 in l<sub>2</sub>O. Este tipo de filtro elimina satisfactoriamente las partículas mayores de polvo, pero no las pequeñas. Su costo es económico. El filtro de aire tipo seco usa colchonetas de fibra sin recubrir. Los materiales que más se utilizan son fibras de vidrio y papel. Los medios pueden fabricarse con fibras gruesas distribuidas toscamente, o fibras finas empacadas densamente. Variando la densidad, los filtros de aire tipo seco pueden ser eficientes sólo para partículas grandes, como los del tipo de impacto viscoso, o también con eficiencia media o alta para eliminar partículas muy pequeñas.

El filtro HEPA (alta eficiencia para partículas en aire, en inglés High Efficiency Particulate Air) es de muy alta eficiencia, tipo seco, para eliminar partículas extremadamente pequeñas. Por ejemplo, es el único tipo de filtro, que elimina eficazmente virus tan pequeños como de 0.05 µm. Las velocidades superficiales de aire a través de esos filtros son muy bajas, de unos 0.1 metros por

segundo, y la resistencia aumenta hasta unas 2 in H<sub>2</sub>O antes del servicio. Son bastante costosos. Se pueden disponer los medios de los filtros en forma de colchonetas de fibras orientadas al azar, pantallas, o bandas sinuosas corrugadas.

Los filtros de aire se pueden diseñar para que se desechen cuando se llenan de polvo, o para limpiarse y volverse a usar. Los tipos permanentes tienen medios metálicos que resisten repetidos lavados, pero su costo es más elevado que los del tipo desechable.

Limpiadores electrónicos de aire. En este tipo no hay material fibroso que atrape el polvo. Mediante una malla electrizada se comunica un voltaje a las partículas de polvo. A una serie de placas paralelas se les comunica la carga eléctrica opuesta. Cuando la corriente de aire cargado de polvo pasa entre las placas, las partículas de polvo son atraídas hacia ellas. Estas pueden estar cubiertas con un material viscoso para detener el polvo. Después de determinado tiempo se debe quitar el limpiador para limpiar las placas y eliminar el polvo. Los limpiadores electrónicos de aire son los más costosos, pero son muy eficientes para eliminar partículas tanto grandes como pequeñas.

## 2.4. TRATAMIENTO DEL AGUA

El agua que se usa tanto en sistemas de calefacción, sistemas de refrigeración, humidificadores necesita de un tratamiento químico adecuado. Los minerales que existen en forma natural en el agua se pueden precipitar en forma sólida y forman una costra que se deposita en las superficies reduciendo la transferencia de calor. El agua puede tener un carácter ácido que causa corrosión de los metales. Se pueden presentar crecimientos biológicos que ocasionan el deterioro de las superficies recubiertas y reducen la transferencia de calor. El tratamiento de agua en los

sistemas de agua fría es en general un problema secundario, porque dichos sistemas son cerrados; sin embargo, no se debe descuidar.

## 2.5. UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE

La unidad manejadora de aire designa la combinación de enfriadores, calentadores, humidificadores, ventilador, filtros, compuertas y caja. A veces se llama también aparato central de acondicionamiento de aire. Hay básicamente dos disposiciones: unidades para un recinto y unidades para varios recintos. En capacidades grandes, medianas y pequeñas, las unidades manejadoras de aire se arman en la fábrica o industria por secciones: sección del ventilador o soplador, sección de precalentamiento, sección de enfriamiento, sección de humidificación, sección de poscalentamiento, caja de mezcla y sección de filtros, en numerosos tamaños y variantes. Aquellas partes que se necesiten las selecciona el usuario. Para sistemas grandes se selecciona por separado los convectores,<sup>1</sup> radiadores, filtros y ventiladores, y las cajas o secciones se las fabrica de acuerdo con el equipo.

Las cajas se hacen en general de lámina galvanizada. Deben estar aisladas para evitar pérdidas de energía. Cuando el equipo es de enfriamiento y deshumidificación, se deben incluir charolas bajo los serpentines para recibir humedad condensada, y se les debe conectar una tubería de drenaje, que termine en una salida adecuada. El tubo debe tener una trampa de sello honda para que siempre exista un sello de agua (figura 2.8). Se deben incluir puertas de acceso y luminarias para permitir el mantenimiento. Cuando el ventilador se instala corriente abajo del enfriador, a la unidad se le llama de *succión*. Cuando está corriente arriba del enfriador se llama soplador. Es preferible el de succión

porque el aire fluye de modo más uniforme a través del enfriador si el ventilador lo succiona. Las unidades para varios recintos son del tipo soplador. Para ayudar a distribuir más uniformemente el aire a través de los enfriadores y calentadores en las unidades de soplador, a veces se coloca una placa perforada entre el ventilador y los intercambiadores.

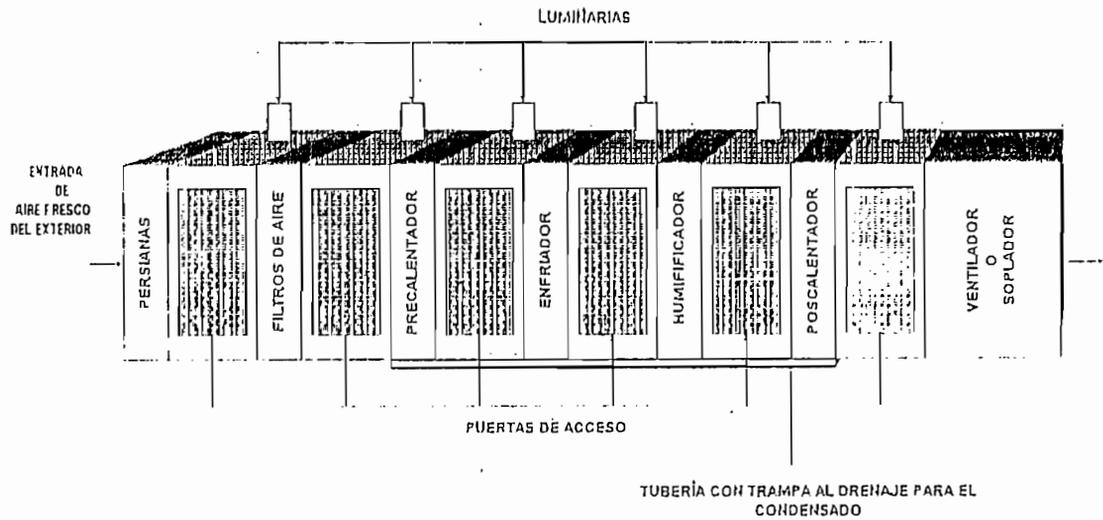
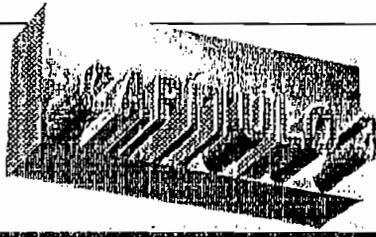


Figura 2.8. Unidad manejadora de aire.



## *MODOS DE CONTROL EN PROCESOS INDUSTRIALES*

### 3.1. AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

La ingeniería de control trata el análisis y diseño de sistemas dirigidos a un objetivo, y consecuentemente la mecanización de planes de acción, siempre enfocados a lograr de la mejor manera dicho objetivo. La teoría moderna de control trata sistemas con cualidades de organización automática, de adaptación y optimización.

Tratándose de procesos industriales se pretende conseguir en todas sus etapas, realizar el control por medios automáticos en vez de humanos, esto se conoce con el nombre de automatización. En la sociedad industrial el concepto de automatización constituye el punto central para el aumento de la productividad y el alto rendimiento un aparato o sistema.

En un sistema de control, sus componentes deben ser diseñados y, o seleccionados básicamente para trabajo en conjunto, en el que se ofrecen beneficios tales como: fácil instalación reduciendo costos de instrucción, simplificación del mantenimiento y flexibilidad para su expansión y actualización (arquitectura abierta). Particularmente en nuestro caso se han seleccionado elementos con alta compatibilidad. Productos similares pueden ser configurados y usados en caso de

que exista la necesidad de ampliar los rangos de operación o simplemente si se presenta la necesidad de ampliar o mejorar el sistema.

### 3.2. SISTEMAS DE CONTROL

La ingeniería en control industrial se fundamenta en la teoría de la retroalimentación y el análisis de los sistemas lineales, e integra los conceptos de las teorías de redes y de comunicación. Por lo tanto un sistema de control es una interconexión de componentes que forman una configuración del sistema que proporcionará la respuesta deseada del sistema. La base para el análisis de un sistema es el fundamento proporcionado por la teoría de los sistemas lineales, la cual supone una relación de causa - efecto para los componentes del mismo.

De manera gráfica, un sistema que vaya a ser controlado puede ser representado por un bloque en el que la relación entrada - salida representa la relación de causa y efecto del sistema, como se ve en la figura 3.1.



Figura 3.1. Proceso a controlar.

La relación causa y efecto a su vez representa el procesamiento de la señal de entrada para proporcionar una variable de señal de salida. Para realizar el control se usa varias modalidades, entre las que se pueden anotar: el control en lazo abierto y el control en lazo cerrado.

#### 3.2.1. SISTEMA DE CONTROL EN LAZO ABIERTO

Un control en lazo abierto o circuito abierto utiliza un regulador o actuador de control a fin de obtener la respuesta deseada, como se ve en la figura 3.2.

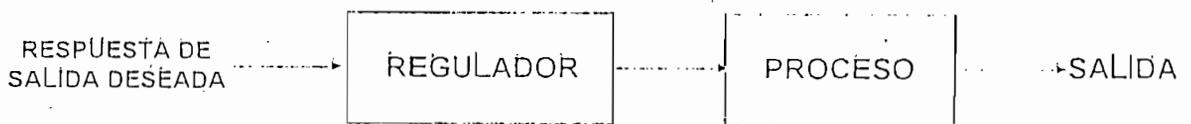


Figura 3.2. Sistema de control de circuito abierto.

### 3.2.2. SISTEMA DE CONTROL EN LAZO CERRADO

En contraste con el sistema de control de circuito abierto, el de circuito cerrado utiliza una medición adicional de la salida real, para compararla con la respuesta de la salida deseada. En la figura 3.3. se muestra un sistema de control simple de circuito cerrado con realimentación.

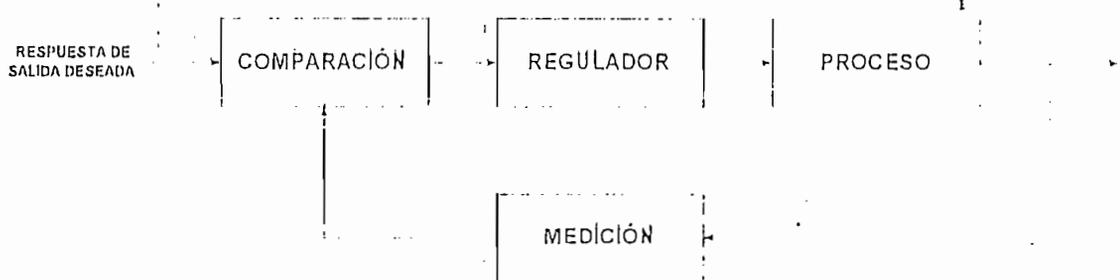


Figura 3.3. Sistema de control de circuito cerrado con retroalimentación

Para controlar un proceso, un sistema de control con retroalimentación suele emplear una función de una relación prescrita entre la salida y la entrada de referencia. A menudo, la diferencia entre la salida del proceso bajo control y la entrada de referencia se amplifica y emplea para controlar el proceso, de manera que esta diferencia se reduce continuamente. El concepto de retroalimentación es el fundamento para el análisis y diseño de sistemas de control. Además, conforme los sistemas se hacen más complejos, en el esquema de control deben considerarse las interrelaciones de muchas variables controladas, como en caso de este trabajo, que se tienen interrelación de la temperatura y la humedad relativa, donde la humedad

depende directamente de las variaciones de temperatura. En la figura 3.4. se muestra un diagrama de bloques que describe un sistema de control de múltiples variables.

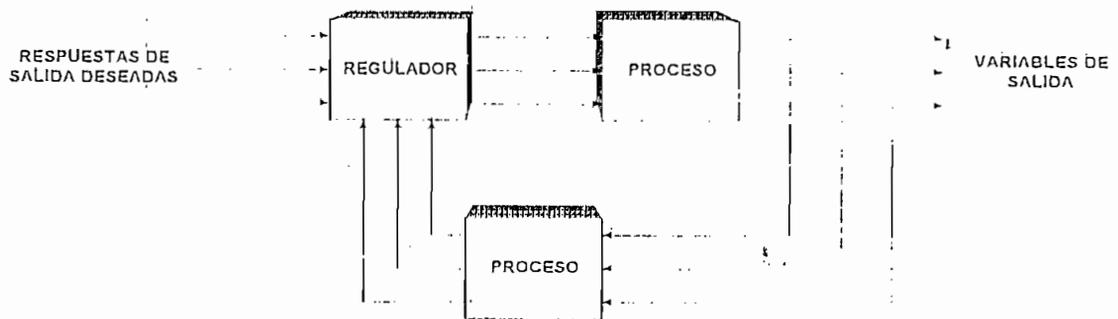


Figura 3.4. Sistema de control de múltiples variables

### 3.3. TÉCNICAS DE CONTROL PARA SISTEMAS EN LAZO CERRADO

En un sistema de control realimentado, el objetivo principal es conseguir un compromiso entre los factores de precisión, exactitud, rapidez de respuesta y estabilidad.

En esencia, un controlador es un sistema que realiza ciertas operaciones analógicas con el objetivo de corregir la variable controlada, basándose específicamente en el cálculo del error (diferencia entre el valor de referencia "set-point" y el valor medido). El resultado de las operaciones es transmitido de alguna forma a la variable manipulada, con el fin de mantener el valor real de la variable controlada tan cercano como sea posible, al valor establecido como referencia. Las acciones de control más utilizadas son:

### 3.3.1. ACCIÓN PROPORCIONAL

Es la acción en la que existe una relación lineal, continua entre el valor del error y la salida del controlador; y básicamente se trata de un amplificador. La salida corresponde a la siguiente relación:

$$V_{OP}(t) = K_p e(t)$$

Donde:  $K_p$  = ganancia proporcional del amplificador

$e(t)$  = error

$V_{OP}(t)$  = salida del controlador proporcional.

Una falla que se puede presentar en este tipo de control es que puede existir una diferencia permanente entre el valor real y el valor de referencia en estado permanente. Sin embargo este tipo de control es uno de los más utilizados por su sencillez, su buena estabilidad y rapidez de respuesta.

### 3.3.2. ACCIÓN INTEGRAL

Es una acción de control de reajuste automático que responde a una integración de la señal de error. La señal de salida del controlador varía constantemente con una tasa proporcional a la magnitud de cambio del error. De esta forma se tiene que la señal que proporciona este tipo de controlador persiste en tanto en cuanto persista la magnitud de error. La salida de este controlador responde a la siguiente expresión:

$$V_{OI}(t) = \frac{1}{T_i} \int e(t) dt$$

Donde:  $T_i$  = tiempo de acción integral

$V_{OI}(t)$  = salida del controlador integral.

Una de las mayores ventajas que presenta la acción integral es que el error en estado estacionario es igual a cero. Por otro lado cabe señalar también que al aplicar la acción integral se añade un polo en el origen, lo que perjudica la estabilidad y rapidez de respuesta.

### 3.3.3. ACCIÓN DERIVATIVA

Esta acción de control se basa en la velocidad de variación de la señal de error, entregando una salida que es proporcional a la derivada del error con respecto al tiempo. La salida del control derivativo responde a la siguiente expresión:

$$V_{OD} = T_D \frac{de(t)}{dt}$$

Donde:  $T_D$  = Tiempo de acción derivativa

$V_{OD}$  = Salida del controlador derivativo

Esta acción resulta muy útil para mejorar la respuesta del control en los transitorios; es decir, reduce el tiempo de estabilización y evita oscilaciones en un sistema continuo. El uso de esta acción en ciertos sistemas puede causar una desestabilización por lo que su uso debe ser muy cauteloso.

### 3.3.4. EL CONTROLADOR PID

Es una modalidad de control muy sofisticada que combina las tres acciones antes explicadas en un solo controlador físico, siendo la relación a la que responde la siguiente:

$$V_{OD} = K_P + \frac{1}{T_I} \int e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt}$$

y como función de transferencia puede ser expresada como:

$$F_C(s) = K_p \left[ 1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right]$$

Donde:  $F_C(s)$  = Función de transferencia del controlador P.I.D.

### 3.4. CRITERIOS PARA LA SINTONIZACIÓN DE UN CONTROLADOR

El primer problema que se enfrenta cuando sintonizamos un controlador es definir cual es el mejor control. Desafortunadamente el control es diferente de un proceso a otro, por lo que cada uno necesita de un análisis particular luego del ajuste de los parámetros con cualquier tipo de criterio de sintonización. El ajuste de los controladores de un proceso, generalmente se basa en métodos que tratan de cumplir con algunos criterios de control basados en la experiencia y que han dado buenos resultados en procesos industriales. En la tabla 3.1. mostramos los siete criterios más comúnmente usados, de los que se explican en más detalle únicamente aquellos que fueron de cierta utilidad para el desarrollo del proyecto.

Tabla 3.1. Criterios para la sintonización de controladores

Razón de decremento específico. Usualmente de 1/4	Razón de decremento = $\frac{\text{Amplitud del segundo sobrepico}}{\text{Amplitud del primer sobrepico}}$
Mínima área	
Mínima perturbación	
Mínima amplitud	
Mínima integral del cuadrado del error (ISE)	$ISE = \int_0^{\infty}  e(t) ^2 dt$ donde $e(t) = SP - PV$
Mínima integral del valor absoluto del error (IAE)	$IAE = \int_0^{\infty}  e(t)  dt$
Mínima integral del tiempo por el valor absoluto del error (ITAE)	$ITAE = \int_0^{\infty}  e(t)  t dt$

### 3.4.1. CRITERIO DE LA RAZÓN DE AMORTIGUAMIENTO 0.25 (1/4 de amplitud)

Cuando un sistema responde en forma oscilatoria (subamortiguada) ante una perturbación se usa este criterio el cual no minimiza ni la amplitud de la desviación ni su duración, de acuerdo a este criterio se pretende que la relación de amplitudes entre las crestas de los ciclos sucesivos sea de un  $1/4$ , es decir que cada amplitud de cada pico sea la cuarta parte en amplitud del pico anterior.

Con la razón de amortiguamiento de  $1/4$  se consigue tener un buen compromiso entre el tiempo de estabilización y el tiempo que el sistema se encuentra fuera de rango. La curva de respuesta podemos ver en la figura 3.5.

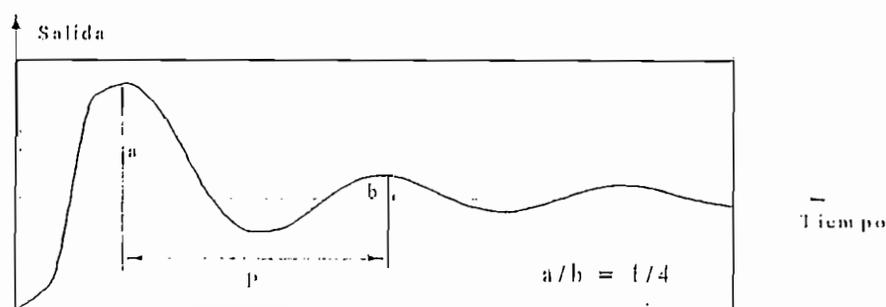


Figura 3.5. Curva de respuesta para una razón de amortiguamiento de  $1/4$

Este criterio tiene la ventaja de poder ser fácilmente medido y de basar su cálculo únicamente en dos puntos de la curva de respuesta.

### 3.4.2. CRITERIO DE LA MÍNIMA ÁREA

Cuando la respuesta del sistema es del tipo subamortiguada (oscilatoria), este criterio nos indica que el área neta de la curva de recuperación, en función del tiempo debe ser mínima, de este modo se combinan la magnitud de la desviación y su duración, las cuales deben ser minimizadas con el propósito de obtener una

respuesta óptima. Este criterio es muy importante y se aplica específicamente en los sistemas donde la duración de la desviación es tan crítica como el valor de la misma.

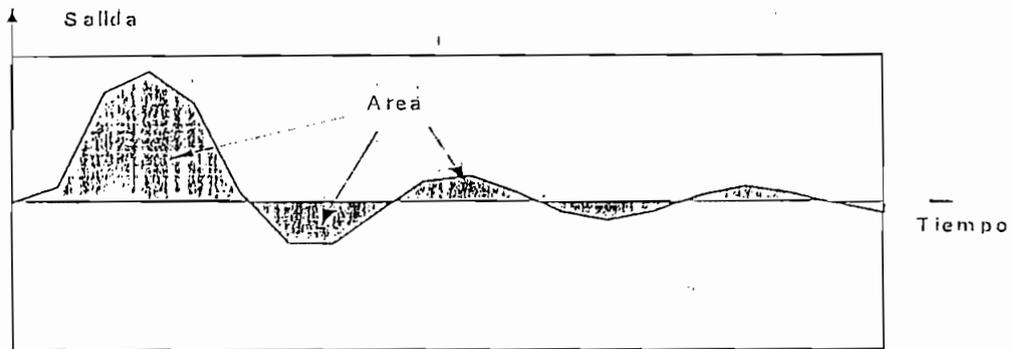


Figura 3.6. Curva de respuesta para el criterio de la mínima área.

### 3.4.3. CRITERIO DE LA MÍNIMA PERTURBACIÓN

Este método requiere una curva de recuperación no cíclica, es decir una respuesta subamortiguada. Este método se usa básicamente cuando las variaciones rápidas o cíclicas de una variable pueden perturbar seriamente a otras variables de importancia, por ejemplo cuando se realiza un control en cascada.

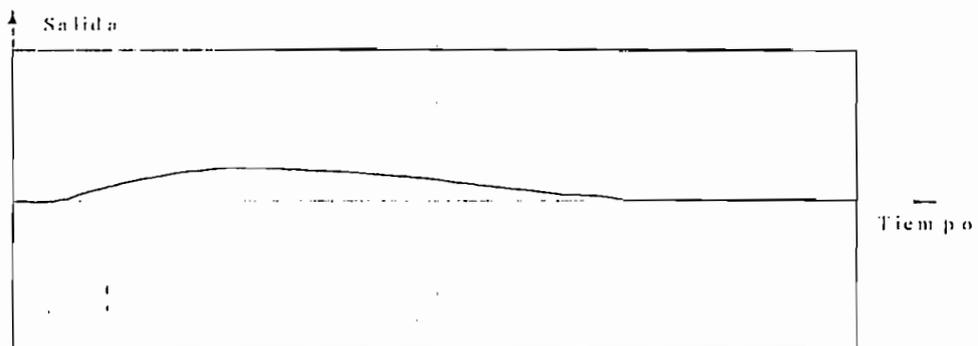


Figura 3.7. Curva de respuesta para el criterio de la mínima perturbación.

### 3.4.4. CRITERIO DE LA AMPLITUD MÍNIMA

De acuerdo con este criterio la amplitud de la desviación debe ser mínima, lo que es aplicable a procesos en los que el producto o el equipo puede ser dañado por desviaciones momentáneas excesivas; y, en este caso la magnitud de la desviación es más importante que su duración.

Para que un control responda satisfactoriamente en determinado sistema hay que lograr que el controlador se acople adecuadamente con el resto de elementos que constituyen el lazo, para esto existen varios métodos con los que se puede ajustar el controlador y lograr que ante una perturbación se obtenga una curva de recuperación que satisfaga cualquiera de los criterios mencionados.

Para lograr este acoplamiento es necesario tener un conocimiento inicial de las características estáticas y dinámicas del sistema controlado, así como de los elementos de control. Para determinar estas características podemos usar dos métodos fundamentales que son: el método analítico y el experimental.

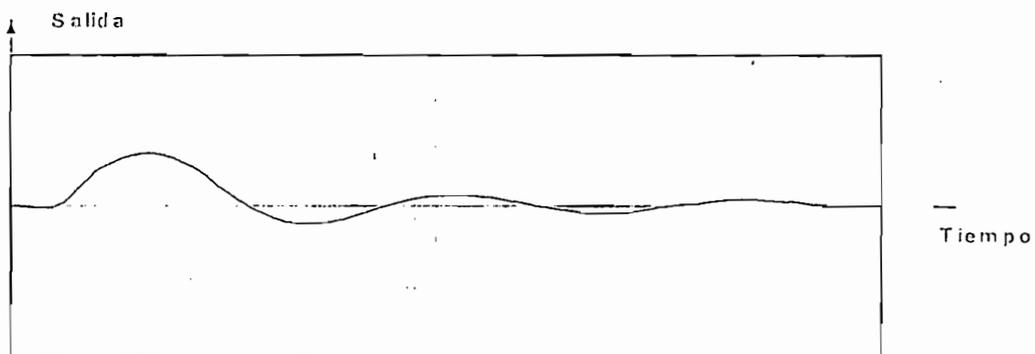


Figura 3.8. Curva de respuesta para el criterio de mínima amplitud.

### 3.4.5. CRITERIOS DE LA INTEGRAL

Los tres últimos criterios descritos tienen la ventaja de ser más precisos, en los que más de una combinación de los parámetros de sintonización pueden

conseguir cumplir con el criterio del  $\frac{1}{4}$  en la razón de amortiguamiento, pero una sola combinación puede lograr minimizar el respectivo criterio de la integral.

Aunque las respuestas que proporcionan los diferentes criterios de la integral difieren de un proceso a otro, en forma general se pueden anotar algunas características: El criterio ISE penaliza errores prolongados y pretende que tomen el valor de cero. ISE favorece el conseguir un tiempo rápido de estabilización. IAE es intermedio y su correspondiente respuesta se encuentra muy cercana al valor de la razón de decrecimiento de  $\frac{1}{4}$ .

### 3.5. MÉTODOS DE SINTONIZACIÓN

Existen varios métodos para ajustar los controladores al sistema, es decir, para que el controlador, de cualquier tipo que este sea se acople adecuadamente al resto de elementos que conforman el lazo de control. Este acoplamiento debe ser tal que, ante cualquier perturbación, se obtenga una curva de respuesta que satisfaga uno o varios de los criterios antes explicados.

Para el control de variables físicas en un sistema, se usan controladores que pueden tener diferente estructura interna, que combine las diferentes acciones de control teniendo como resultado los controladores más usados como son: Proporcionales P, proporcional – integral PI, proporcional – integral – derivativo PID.

Para cualquiera de estos controladores que se utilice, es necesario realizar una calibración o sintonización del controlador de acuerdo al comportamiento de las variables en el sistema que se quiere controlar. Existen algunas técnicas cuyo objetivo es mejorar el desempeño del sistema.

La calidad de desempeño de un sistema se evalúa de acuerdo a parámetros como: la estabilidad, exactitud, precisión y respuesta transitoria. Para que un sistema realimentado se desempeñe satisfactoriamente debe contemplar un cierto margen de estabilidad, es decir que el sistema esté en capacidad de soportar un cierto porcentaje de cambio de la variable sobre y bajo el nivel del set-point, sin provocar inestabilidad. Los cambios en las condiciones de carga del sistema y ciertas perturbaciones que le pudieren afectar deben provocar mínimas desviaciones en la variable de salida y en general, el tiempo que se demore el sistema en recuperar su estado estable después de la perturbación debe ser suficientemente pequeño.

Entre los criterios con los que se podría evaluar la respuesta de un sistema están: el método analítico y el método experimental.

### 3.5.1. MÉTODO ANALÍTICO

Se basa en determinar la ecuación relativa a la dinámica del sistema. Este método por lo general es difícil de aplicar por la dificultad que presentan ciertos sistemas para obtención de parámetros lo suficientemente aproximados a la realidad.

El procedimiento general que se sigue es el siguiente:

- Se determina las ecuaciones o función de transferencia para cada componente del sistema.
- Se escoge un modelo para representar al sistema (diagrama de bloques).
- Se implementa el modelo del sistema.
- Se determinan las características del sistema.

Para la determinación de las características del sistema existen métodos gráficos simples y directos para modelos lineales prácticos de control con

realimentación; tales como: el lugar geométrico de las raíces, gráficos de respuesta de frecuencia mediante diagramas de Bode, diagramas de Nyquist y la carta de Nichols.

### 3.5.2. MÉTODO EXPERIMENTAL

Las características estáticas y dinámicas del sistema se obtienen a partir de una serie de medidas que se realizan al sistema físico. Las técnicas para el ajuste de controladores son por lo general de dos clases. La primera se refiere a algunos métodos basados en parámetros determinados en la respuesta de lazo cerrado del sistema, esto es, con el controlador en automático. La segunda técnica está basada en parámetros determinados mediante la curva de respuesta del sistema en lazo abierto, comúnmente se denominan como procesos de la curva de reacción. Para usar los métodos basados en la respuesta de lazo abierto, el controlador no debe ser instalado con el fin de poder determinar los parámetros que posteriormente serán cargados al controlador. Los métodos de sintonización más comúnmente usados son dos y se denominan como criterio del *Método Último* y el *Método de la Oscilación de Amortiguamiento* que posteriormente se describen.

#### 3.5.2.1. MÉTODOS DE AJUSTE EN LAZO CERRADO

##### 3.5.2.1.1. MÉTODO DEL TANTEO

Para que se pueda aplicar este método se requiere que el sistema esté implementado en su totalidad y trabajando en forma normal. El método se basa en poner en marcha al sistema con ganancias mínimas en las acciones proporcional, integral y derivativa del controlador, e ir las incrementando en pasos mínimos individualmente hasta conseguir la respuesta del sistema deseada.

- Ajuste del control proporcional, se empieza con una ganancia mínima, para luego incrementarle gradualmente hasta obtener la estabilidad deseada. Se debe tomar en cuenta que al aumentar la ganancia se provoca una inestabilidad, e inversamente, al disminuir la ganancia el error en estado estable se aumenta, por lo que hay que llegar a un consenso satisfactorio y admisible dentro de las exigencias del sistema.

- Ajuste del controlador PI, con la ganancia integral en cero o al mínimo se ajusta la ganancia proporcional por medio del método descrito anteriormente hasta cumplir con el criterio de un cuarto de amplitud, es decir, hasta lograr una relación de amortiguamiento aproximada de 0.25. Como la acción integral al ser incrementada pretende conseguir un error en estado estable igual a cero, sacrificando la estabilidad, se recomienda disminuir un poco la ganancia proporcional e incrementar en pasos pequeños la ganancia integral, mientras se evalúa el comportamiento del sistema en cada caso. Es recomendable, que del último ajuste ensayado se disminuya un poco el valor de la ganancia integral. Se pretende que con un buen ajuste de este controlador se lleve rápidamente a la variable al valor deseado y se mantenga en este con un mínimo valor de error.

- Calibración del controlador PID, de manera similar al método anterior, la calibración inicia con las ganancias integral y derivativa en cero o en un valor mínimo. Se incrementa la ganancia proporcional hasta tener una relación de amortiguamiento de 0.25, para luego aumentar la ganancia integral, en la forma indicada anteriormente hasta acercarse al punto de inestabilidad. Aquí se aumenta la ganancia derivativa en pasos pequeños, creando al mismo tiempo desplazamientos de la referencia hasta obtener en el proceso un

comportamiento cíclico, reduciendo ligeramente la última ganancia derivativa. Después de estos ajustes se puede incrementar la ganancia proporcional para conseguir mejores resultados en el control. Con este tipo se pretende de control llevar a la variable lo más rápidamente posible a su valor deseado ante cualquier cambio de set-point o perturbación que interfiera en el sistema, además de conseguir un error en estado estable de casi cero.

Otro procedimiento de calibración es el que procede de la siguiente manera:

Se trabaja primero con una ganancia proporcional que da lugar a una ligera oscilación (varios ciclos) ante una perturbación, con la acción integral al mínimo. Se aumenta a continuación la acción derivativa hasta eliminar el ciclaje. Se aumenta de nuevo la ganancia proporcional hasta que el ciclaje se reinicia y se aumenta aún más la ganancia derivativa hasta eliminálo, continuando con estos pasos hasta que el aumento de la ganancia derivativa no mejore el ciclaje producido. Finalmente se ajusta la acción integral en la forma descrita anteriormente para eliminar el error u offset.

### 3.5.2.1.2. MÉTODO ÚLTIMO

Es denominado también como el método de la *ganancia límite* y pretende calcular los valores de los parámetros involucrados en un controlador, a partir de los datos conseguidos en una prueba rápida de lazo cerrado de control, fue desarrollado por Ziegler & Nichols en 1942.

Se denomina *método último* debido que este método requiere de la última ganancia y período para la sintonización. La ganancia  $K_u$  es el máximo valor permisible de ganancia (en el caso del controlador proporcional) para el cual el sistema se encuentra al borde entre la estabilidad y la inestabilidad. El último período es el período de la respuesta con la ganancia seteada con el último valor. El

comportamiento general de un sistema para la determinación de la ganancia y período últimos es como se muestra en la figura 3.9.

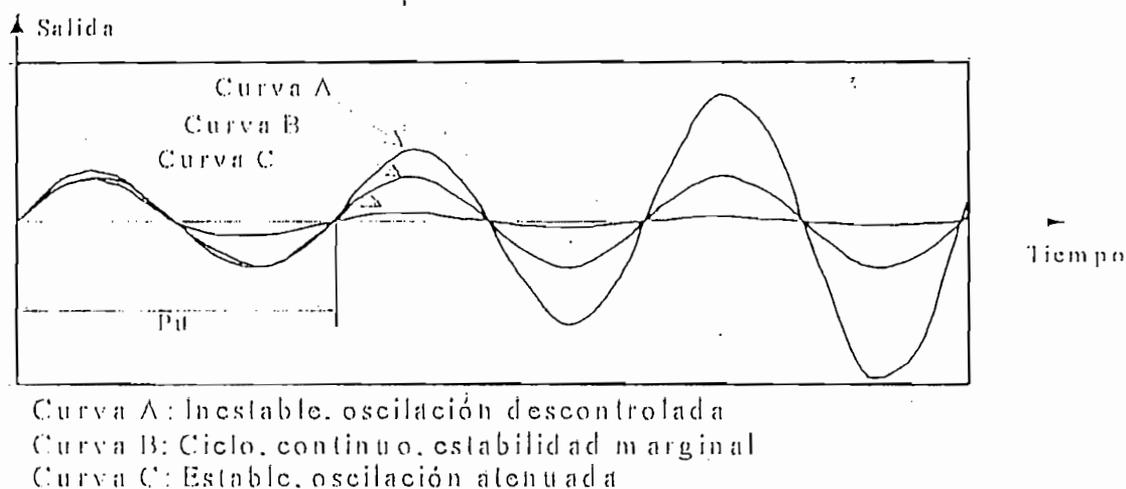
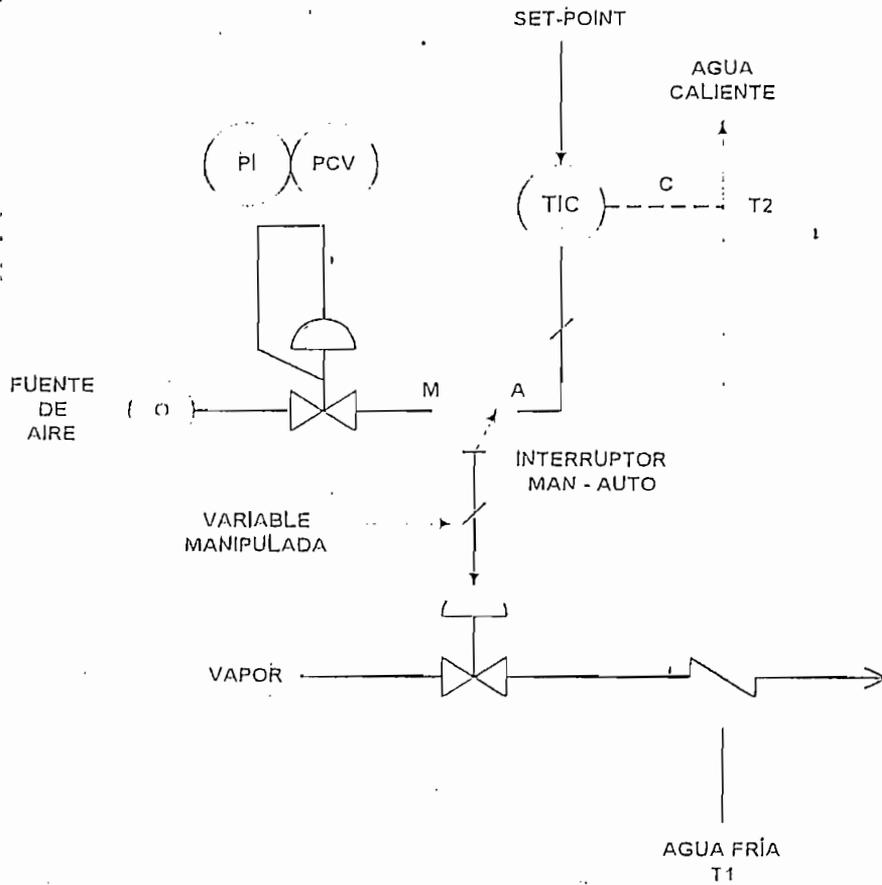


Figura 3.9. Respuestas lípicas para la determinación de la ganancia última y período último.

El período en el cual un sistema en lazo cerrado oscila depende del valor del tiempo muerto en el lazo, este tiempo se refiere al tiempo de respuesta de cada elemento que interviene en el lazo cerrado como son el sensor, controlador, válvula de control y la ganancia del proceso. Como datos generales podríamos anotar que el período de oscilación en un lazo de flujo es de 1 a 3 segundos, en un lazo de nivel es de 3 a 30 segundos, en un lazo de presión se toma entre 5 y 100 segundos, en un lazo de temperatura se demora de entre 0.5 a 20 minutos y en los lazos analógicos se puede anotar tiempos de demora de entre 2 minutos a varias horas para su respuesta.

Para la sintonización de un controlador, en este método, nos valemos de un sistema controlador de temperatura, como se muestra en la figura 3.10; y que consta de todos los elementos básicos para el control en lazo cerrado, y con la posibilidad

de disponer de la posibilidad de operar en modo manual y automático, lo que nos servirá posteriormente para la calibración del controlador en lazo abierto.



Esquema de un calentador de agua

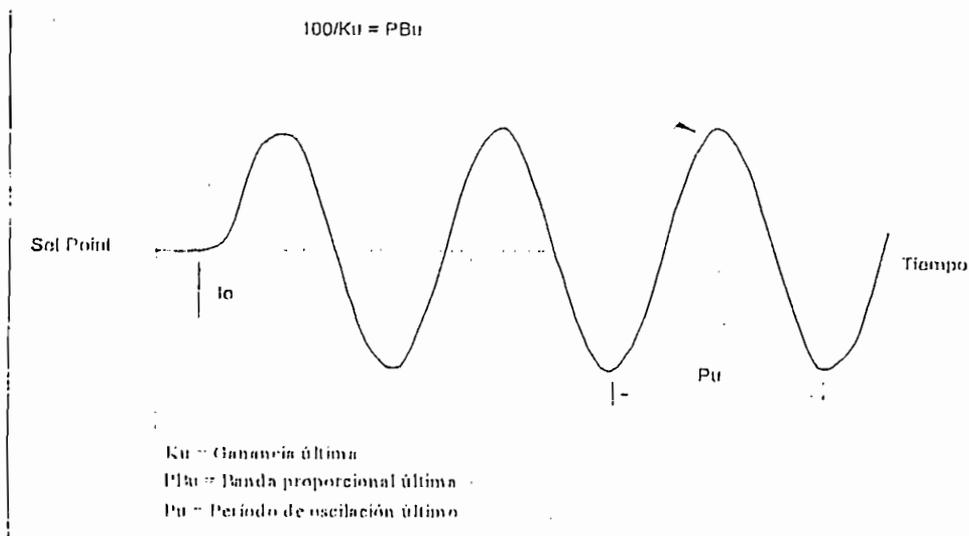


Figura 3.10. Ilustración del esquema de un calentador de agua y de la sintonización del controlador PID en lazo cerrado para un calentador de agua

Para la sintonización por el método último y tomando como ejemplo el calentador de agua, se siguen los siguientes pasos:

- Por medio de un “switch” se pone el controlador de temperatura (TIC) en modo manual y se fuerza la salida de la válvula de control en la posición de cierre.
- *Setea* la dinámica del control a cero. En otras palabras, ajustando la acción integral a un valor de cero (mínimo) repeticiones por minuto o a un valor muy grande (máximo), infinitos minutos por repetición, y ajustamos la parte derivativa a cero (o mínimo) minutos.
- Se abre manualmente la alimentación de agua hasta conseguir en el calentador el flujo correspondiente a la demanda típica o normal del sistema.
- Con el controlador (TIC) en modo manual, se incrementa suavemente el flujo de vapor con el fin de conseguir que la temperatura del agua botdee del valor de referencia (SP) en el sensor, ( $e = T_2$ ).
- Ajustando la ganancia o la banda proporcional en un valor arbitrario o cercano al valor esperado (si se dispone de algún tipo de referencia) o se ajusta  $K_c$  (ganancia del controlador) en 1 ( $PB = 100$ ) si no se tiene de algún tipo de información.
- Se alterna el *switch* del controlador en modo automático y se consigue estabilizar el sistema en el valor del *set-point*. Una vez que la temperatura está estable en el valor de referencia SP, se introduce al sistema una alteración tipo escalón (un upset), esto se consigue haciendo que el SP aumente su valor (por ejemplo se puede hacer

- que el SP se incremente en unos 10% por un medio minuto) y luego se regresa el SP al valor original.
- El resultado puede ser una desviación de la temperatura similar a alguna de las curvas de la figura 3.9. Si el resultado es no amortiguado (curva A), la ganancia *seleccionada* en el paso 5 es alta; inversamente, si la respuesta es amortiguada (curva C), la ganancia antes fijada es baja. Por lo tanto si la respuesta corresponde a la curva A, la ganancia del controlador debe ser aumentada; al contrario, si corresponde a la curva C, esta debe ser reducida. La prueba se reanuda desde el paso 5 hasta lograr conseguir una curva cíclica continua (curva B).
  - Si luego de uno o más intentos, el estado del sistema es no amortiguado, similar al de la curva B, la prueba está realizada. (Debe asegurarse que la respuesta es sinusoidal y no con un ciclo límite). Cuando se consigue como resultado una oscilación sostenida el resultado de la banda proporcional es llamado como "Última banda proporcional" (PBu); el valor del último período de oscilación es medido como en las figuras 3.9 y 3.10.
  - Una vez que los valores PBu y Pu son conocidos podemos hacer uso de las recomendaciones de Ziegler y Nichols. Cabe anotar que ninguna sintonización es perfecta y que cualquier proceso de control puede ser mejorado basándonos en factores que nos da la experiencia.

Usando la última ganancia y período de oscilación se puede sintonizar el controlador ya sea del tipo P, PI o PID. En el caso del controlador proporcional P Ziegler y Nichols recomiendan que la ganancia del controlador en lazo cerrado debe

ser igual a la mitad del valor de la última ganancia para cumplir con el criterio de la razón de amortiguamiento de  $1/4$ .

$$K_c = 0.5 K_u \quad (PB = 2.2 PB_u)$$

Para un controlador del tipo proporcional - integral los valores de ganancia  $K_c$  y el tiempo integral  $T_i$  están dados por:

$$K_c = 0.5 K_u \quad (PB = 1.65 PB_u)$$

$$T_i = P_u / 1.2$$

Para un controlador proporcional - integral - derivativo tenemos:

$$K_c = 0.6 K_u \quad (PB = 1.65 PB_u)$$

$$T_i = 0.5 P_u$$

$$T_d = P_u / 8$$

Cabe aclarar nuevamente que las ecuaciones indicadas son empíricas y basadas en la experiencia, por lo que a partir de los valores obtenidos matemáticamente se puede seguir ajustando los parámetros hasta conseguir mejores resultados.

La principal ventaja del método de sintonización en lazo cerrado, es que intrínsecamente se toma en cuenta la dinámica de todos los componentes del sistema, por lo que los resultados son exactos para la carga a la cual fue desarrollada la prueba. Por este motivo se recomienda, que el método de sintonización se realice; en lo posible, en las peores condiciones de operación del sistema, de tal manera que para cualquier otro valor de carga el controlador se comporte adecuadamente. Otra ventaja es que los valores de  $PB_u$  y  $P_u$  son fáciles de tomar y el período de oscilación puede ser exactamente medido.

La desventaja de usar el método en lazo cerrado para la sintonización de un proceso desconocido, es que las amplitudes de las oscilaciones no amortiguadas pueden llegar a ser excesivas por lo que la prueba necesite de mucho tiempo para su desarrollo, que en algunos casos puede superar la hora.

### 3.5.2.1.3. MÉTODO DE OSCILACIÓN AMORTIGUADA

Como una pequeña modificación al sistema anterior, ha sido propuesto por Harriot el método de la oscilación amortiguada. Para muchos sistemas no es factible permitir oscilaciones sucesivas por lo el método anterior no puede ser usado. Para estos casos, este método utiliza el criterio de la razón de amortiguamiento en 0.25. Con el controlador en modo únicamente proporcional y siguiendo los mismos pasos del método último conseguimos que el sistema tenga una amortiguación con una razón de 0.25 entre crestas de la curva de respuesta. Una vez que se consigue cumplir con este criterio, únicamente es necesario anotar el período  $P$  de la curva de respuesta como se ve en la figura 3.11.

Para el caso de un controlador PI tenemos que el valor de la acción integral está dado por:  $T_i = P$

Para un controlador PID la acción integral  $T_i$  y la acción derivativa  $T_d$  son:

$$T_d = P/6$$

$$T_i = P/1.5$$



### 3.5.2.2.1. MÉTODO DE LA CURVA DE REACCIÓN

Cuando el estado estable de un proceso en lazo abierto es alterado por algún cambio en la carga o en las entradas, el resultado es una curva denominada como *curva de reacción*; por lo tanto, haciendo uso de esta característica provocamos una alteración en el sistema mediante un pequeño y rápido cambio en escalón a la entrada del sistema y conseguimos obtener una curva de reacción en forma de S, como se presenta en la figura 3.12.

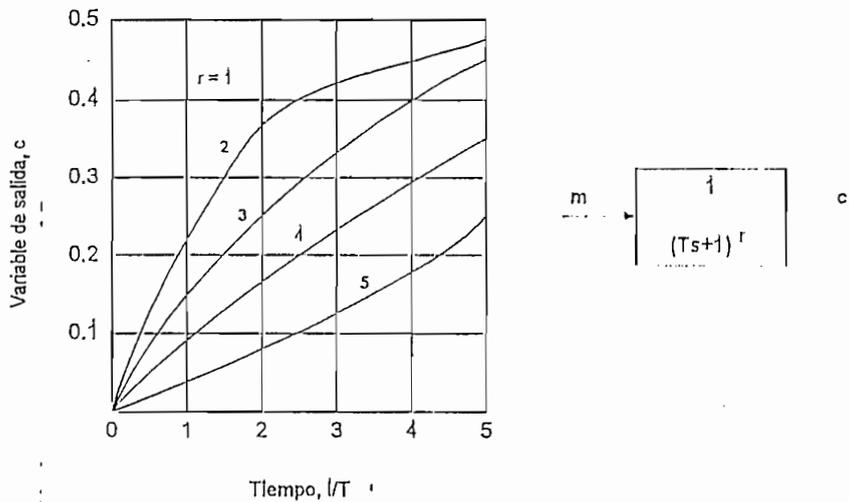


Figura 3.12. Curva de reacción.

Aproximadamente la mayor parte de la curva de reacción se debe al tiempo muerto y a la constante de tiempo del sistema y estos son usados para sintonizar el controlador. Muchos de los procesos en la naturaleza responden con una curva de reacción en forma de S.

En la figura 3.13 los dos valores que describen la curva de reacción son la zona muerta ( $L$  o  $T_d$ ) y la constante de tiempo ( $T$ ). Conocer estos parámetros de un proceso es esencial para determinar el tipo de control.

El *tiempo muerto*  $T_d$  de un proceso es el período de tiempo que transcurre después de que ha ocurrido un desbalance en la variable controlada (cambio de carga) y el controlador aún no ha respondido, este tiempo es denominado también como *tiempo de retardo*.

La *constante de tiempo*  $T$  es el período de tiempo que transcurre desde que la respuesta es primeramente detectada y el sistema reacciona hasta alcanzar el 63.2 % del valor final al que se estabilizará (el nuevo valor estable).

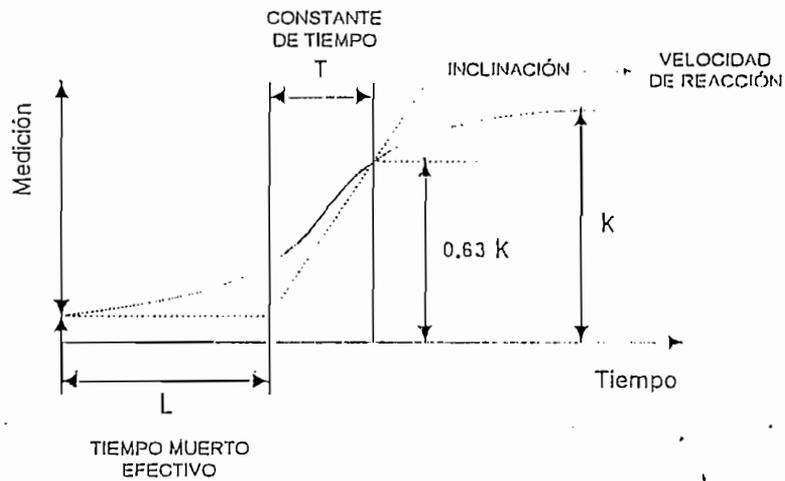


Figura 3.13. Curva de reacción, zona muerta y constante de tiempo.

### 3.5.2.2.2. SINTONIZACIÓN DEL LAZO ABIERTO

Basándonos en el ejemplo del calentador de agua de la figura 3.10 la sintonización consiste en los siguientes pasos:

- Conectamos al controlador de temperatura (TIC) en modo manual y cerramos la válvula de control (PCV). Hay que notar que este método de sintonización no usa el controlador, únicamente evaluamos la dinámica del proceso, por lo tanto podríamos conectar un indicador de temperatura a la salida del proceso en lugar del TIC.
- Abrimos el flujo de agua al nivel de carga típica o demanda normal.

- Con el control en modo manual suavemente incrementamos el flujo de vapor hasta que la variable controlada (la temperatura del agua a la salida del calentador) bordee el valor nominal deseado.
- Una vez que la temperatura del agua a la salida del calentador se haya estabilizado en el valor nominal, introducimos un "upset" (un cambio en aumento del tipo escalón). La forma fácil es introduciendo un cambio manual del tipo escalón en el flujo de vapor. En la figura 3.14 se muestra la curva de respuesta del sistema ante un cambio del 10% tipo escalón en la apertura de la válvula de vapor. (Desde 30% a 40%).

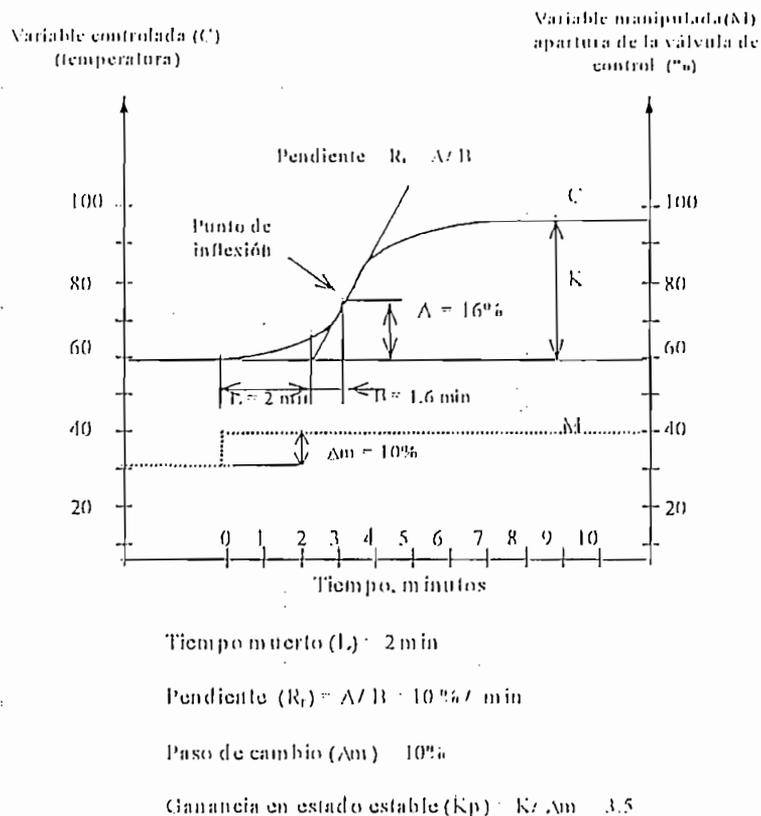


Figura 3.14. Sintonización en lazo abierto del TIC del calentador de agua usando la curva de reacción

- Como resultado del cambio en escalón, el proceso responderá en forma de una S "curva de reacción". Para la evaluación de la curva de respuesta, primero necesitamos determinar el tiempo muerto (L) y la razón de reacción (pendiente) ( $R_r$ ) en el proceso.

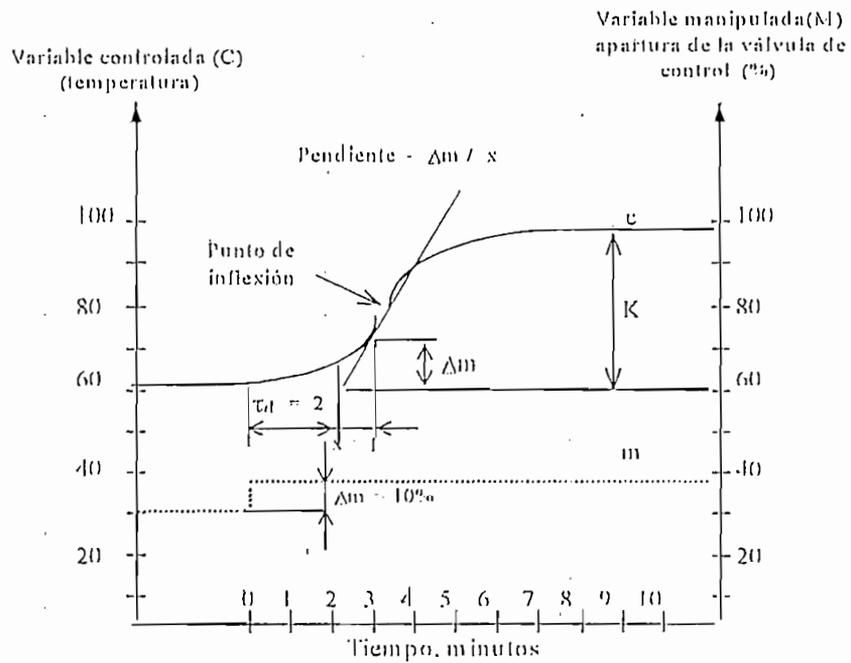
- Las recomendaciones de Ziegler - Nichols para la sintonización de los tres tipos de controladores, P, PI, PID son las que se muestran en la tabla 3.2. Para el análisis de la curva de reacción es necesario dibujar la tangente a la curva de reacción (tazón de reacción  $R_r$ ) en el punto de inflexión. La pendiente es la división de A para B,  $R_r = A/B$ , donde A es igual al cambio de la temperatura entre el valor en estado estable y el punto de inflexión, el valor de B es la intersección de la tangente con el estado estable previo y el punto de inflexión. Una vez determinados los valores de L y  $R_r$  podemos reemplazar en las ecuaciones tabuladas en la tabla 3.2 y obtenemos los valores recomendados.

Tabla 3.2. Recomendaciones Ziegler - Nichols para la sintonización de controladores en lazo abierto

CONTROLADOR	PROPORCIONAL	INTEGRAL	DERIVATIVO
TIPO DE			
PROPORCIONAL	$100 R_r L / \Delta m$	-----	-----
PI	$111 R_r L / \Delta m$	3.33 L	-----
PID	$83 R_r L / \Delta m$	2 L	0.5 L

Podemos aplicar también las recomendaciones de Shinsky para las que la curva de reacción se toma los siguientes datos como se muestra en el gráfico 3.15. El tiempo muerto ( $T_d = L$ ), seguidamente determinamos el tiempo denominado (x) que es el tiempo que toma a la temperatura alcanzar un valor igual en porcentaje al cambio en escalón que se le dio a la variable manipulada ( $\Delta m$ ). Una vez que los valores de  $T_d$  y x han sido determinados podemos hacer los reemplazos en las ecuaciones tabuladas en la tabla 3.3. De igual manera que con las recomendaciones

de Ziegler - Nichols se consigte valores recomendados para sintonizar controladores del tipo proporcional (P), proporcional- integral (PI) y proporcional - integral - derivativo (PID).



Tiempo muerto ( $\tau_d$ ) = 2 min

( $x$ ) = 1 min

Paso de cambio ( $\Delta m$ ) = 10%

Ganancia en estado estable ( $K_p$ ) =  $K / \Delta m = 3.5$

Constante de tiempo ( $\tau_1$ ) = 3.5 min

Figura 3.15. Sintonización en lazo abierto del TIC del calentador de agua.

Tabla 3.3. Recomendaciones de Shinsky's para la sintonización de controladores en lazo abierto

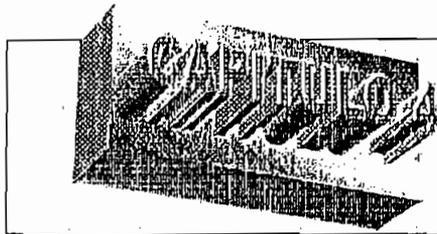
TIPO DE CONTROLADOR	PROPORCIONAL	INTEGRAL	DÉRIVATIVO
PROPORCIONAL	$100 T_d / x$	—	—
PI	$105 T_d / x$	$4 T_d$	—
PID	$117 T_d / x$	$1.6 T_d$	$0.6 T_d$

Una ventaja comparativa de esta técnica de sintonización con respecto a las técnicas de lazo cerrado es la velocidad, además que no necesita algunos períodos de oscilación para calcular los parámetros. Otra ventaja es que no se introducen

oscilaciones con amplitudes inesperadas, el "upset" es seleccionado por el usuario y puede ser pequeño. Otra ventaja puede ser también que esta prueba se la puede realizar antes de la instalación del sistema de control.

Las desventajas son múltiples. Las pruebas en lazo abierto no son tan exactas como las de lazo cerrado porque omiten la dinámica del controlador. Otra desventaja es también que la curva de reacción en forma de S y el punto de inflexión son difíciles de identificar cuando en la medición se introduce ruido y/o la variación tipo escalón fue muy pequeña.

Por las consideraciones anteriores, una buena recomendación sería utilizar en primera instancia el método de sintonización en lazo abierto con el fin de conseguir un primer grupo de parámetros para el controlador durante el arranque, luego redefinir estos valores una vez que el sistema esté operando en lazo cerrado, usando un método de sintonización en lazo cerrado.



## DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

### 4.1. BREVE DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE FIBRAS SINTÉTICAS.

El factor para la producción industrial de fibras sintéticas utiliza máquinas automatizadas en gran parte de sus procesos. Como resultado, cada proceso tiene un concepto de automatización adaptado a sus necesidades específicas. Para comprender claramente los procesos de acondicionamiento de aire a automatizar y su influencia sobre la producción, se presenta a continuación una descripción general del proceso en diagrama de bloques:

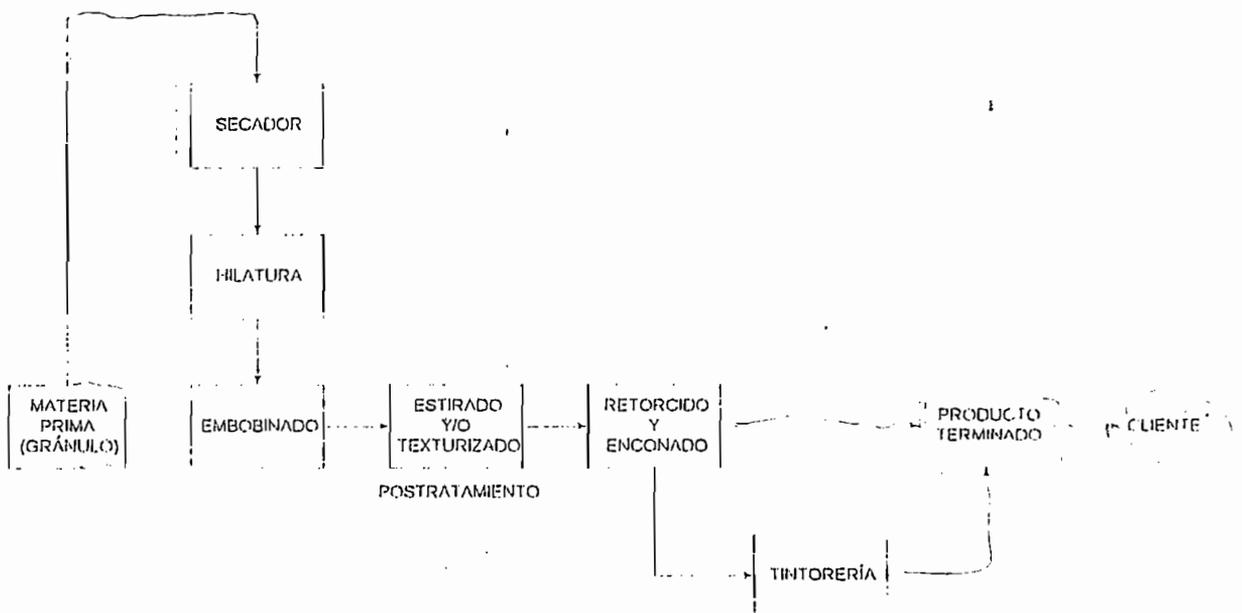


Figura 4.1. Producción de fibras sintéticas.

En forma industrial la materia prima (gránulo) se obtiene mediante procesos químicos como la policondensación. Enkador no tiene planta de policondensación propia, sino que compra el granulado. Antes de fundir los gránulos en la hilatura, estos son transportados al secador, para reducir su humedad; porque la presencia de agua durante el proceso de fusión a alta temperatura causa la degradación del polímero. La reducción de la humedad debe llegar del 0.5% antes del secado, hasta 0.005  $\rightarrow$  0.01% antes de ser hilado. Es importante que los valores alcanzados luego del secado sean lo más uniformes y constantes posibles.

Para la elaboración de fibras sintéticas se usa por lo general hilatura por fundición porque presenta la gran ventaja de que no se necesitan materiales auxiliares (solventes y veticulares) y es un proceso por demás económico en vista de que se puede hilar a grandes velocidades.

El sistema utilizado por Enkador es el de fundición con *extruder*, que consiste de un cilindro metálico en cuyo interior va montado un tornillo sin fin, al extrusor lo podemos dividir para fines de su estudio, en tres zonas:

- Zona de transporte. En esta zona los gránulos ingresan desde el secador para iniciar la fusión de los mismos.
- Zona de compresión. Los gránulos fundidos, es decir, el líquido es desgasificado y comprimido, transformándose en un líquido a presión.
- Zona de bombeo y dosificación. Es la comúnmente llamada zona de bombas, donde el polímero es bombeado a presión a través de las líneas de transporte hasta alcanzar las cajas de hilar, pasando luego por las bombas dosificadoras y finalmente a las portahileras.

El polímero dosificado pasa por las hileras también llamadas conjunto de hilar. Dentro de la hileta el polímero pasa a través de los filtros y la placa distribuidora, para retener las impurezas o fracciones minúsculas de polímero quemado y homogenizar el flujo, llega entonces a la placa hilar que contiene el grupo de orificios capilares que definen el número y forma de los filamentos.

Los filamentos calientes que salen de las hileras se encuentran a una alta temperatura (entre 290°C y 300°C) y son enfriados por medio de una corriente de aire acondicionado, que se denomina AIRE DE SOPLADO.

La cantidad de aire de soplado se puede controlar individualmente en cada caja de soplado que abastece a dos posiciones de hilar.

Cada caja de soplado está constituida por dos paquetes de filtros separados, el filtro buzón y el filtro grande o de Heynis.

La placa de hilar se encuentra montada en tal forma que el aire de soplado pasa según el siguiente dibujo:

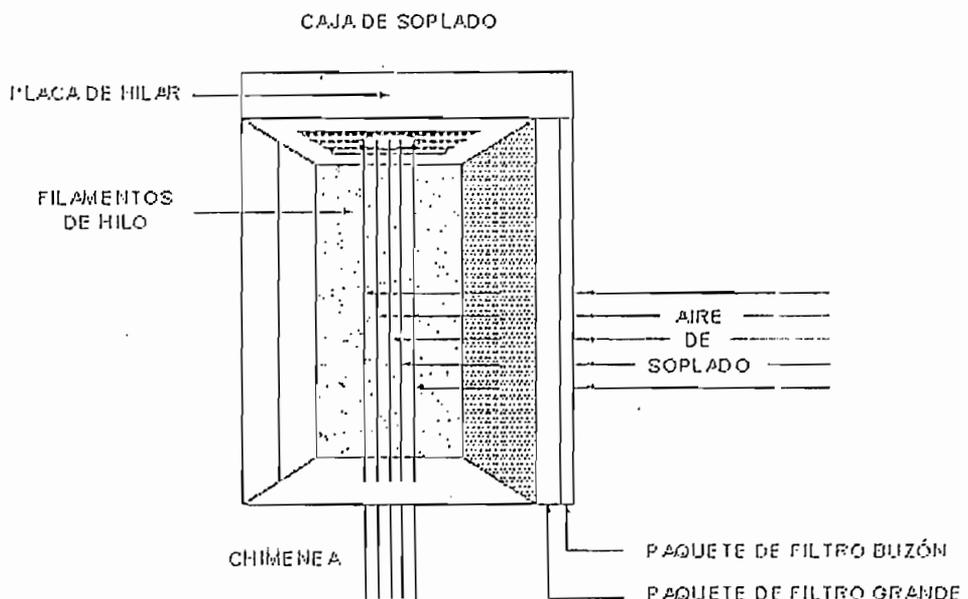


Figura 4.2. Cajas de soplado de aire.

La corriente de aire debe salir en forma perpendicular a la superficie de los filamentos de hilo y debe ser lo más uniforme. Esta uniformidad del flujo de aire de soplado está dada por la superficie del paquete del filtro grande, la cual no debe presentar fugas ni mallas dañadas. El diseño y mantenimiento de ambos paquetes de filtros garantizan una corriente de aire uniforme.

El hilo, es decir los filamentos, ya enfriados y solidificados en la caja de soplado baja verticalmente una distancia aproximada de 4.5m hasta llegar a la máquina de embobinado a través de las cajas de soplado. Cada máquina embobinadora se denomina *cabezal* y el recinto en que se encuentran se llama sala de embobinado.

El hilo que sale de las respectivas cajas, pasa en primer lugar por el rodillo de avivaje (material cerámico) donde recibe la aplicación de una cierta cantidad de este aceite. La cantidad y el tipo de avivaje dependerán de los procesos posteriores a los que se someterá el hilo, sea estirado y/o texturizado.

Luego del rodillo de avivaje el hilo pasa por los godets y de allí al rodillo vaivén para finalmente arrollarse en la bobina. La bobina es movida por el rodillo motriz con una velocidad tangencial constante dando así al hilo una velocidad de enrollamiento constante.

Los dos godets, tienen las mismas revoluciones que el rodillo motriz pero su diámetro es diferente dando como resultado una pequeña diferencia en lo que a velocidad tangencial se refiere. Esta pequeña diferencia de velocidad produce una tensión en el hilo que ayuda a la buena formación del paquete.

Para que el hilo sea embobinado de forma uniforme sobre la bobina el hilo recibe un movimiento de vaivén de derecha a izquierda y viceversa por medio del

tambor vaivén. El hilo pasa por una ranura de diseño especial cuyos bordes pueden ser cromados o recubiertos con cerámica.

Con este tipo de vaivén se pueden obtener velocidades muy altas. La velocidad del vaivén tiene incidencia en el ángulo de cruce del hilo sobre el paquete. Este ángulo de cruce debe mantenerse dentro de ciertos límites para obtener una formación óptima del paquete.

La velocidad de embobinado y el movimiento de vaivén son ambos constantes, es decir, que por cada movimiento tanto de ida como de vuelta del vaivén se arrolla una cierta longitud de hilo en la bobina. Durante la formación del paquete se aumenta el diámetro del mismo, esto es, se aumenta su circunferencia.

En un momento dado se llega a la situación en que la longitud del hilo alimentado por el golpe doble de vaivén será igual a la longitud de una o más veces la longitud de la circunferencia del paquete. Esto significa que los hilos quedarán sobrepuestos (sentados uno sobre otro). Este fenómeno se manifiesta por un efecto brillante denominado *espejo*. La formación de un espejo es perjudicial para la formación del paquete pues los hilos sobrepuestos presentan la tendencia de resbalar hacia los flancos del paquete, lo que durante el postratamiento trae problemas de rotura del hilo y fallas en el devanado.

Para contrarrestar la formación de espejos existen dos caminos, el primero es usando tambores vaivén con un diseño de ranuras con aceleración o, el segundo, usando un perturbador de espejos, que nos es más que una máquina que causa la variación periódica de la velocidad del tambor vaivén (variador de velocidad).

Para obtener una velocidad del paquete lo más constante posible, el hilo debe ser aprisionado contra el rodillo motriz con una presión constante durante toda la formación del paquete.

Las condiciones ambientales de la sala de embobinado deben ser lo más óptimas principalmente en cuanto a temperatura y humedad, ambas deben mantener la mejor uniformidad posible y no presentar fluctuaciones, es decir mantenerse dentro de un rango aceptable.

Las bobinas obtenidas se transportan al área de postratamiento (estirado y/o texturizado). En ésta el objeto del proceso de estirado es dar a las macromoléculas constituyentes del hilo su orientación final y las propiedades físico-químicas para su posterior procesamiento donde el cliente.

Esta orientación final durante el proceso de postratamiento se obtiene por estiramiento del hilo en varias veces su longitud original con el concurso del calor, así como de la disposición del mismo. En el siguiente diagrama de bloques se indica las áreas de influencia del proyecto.

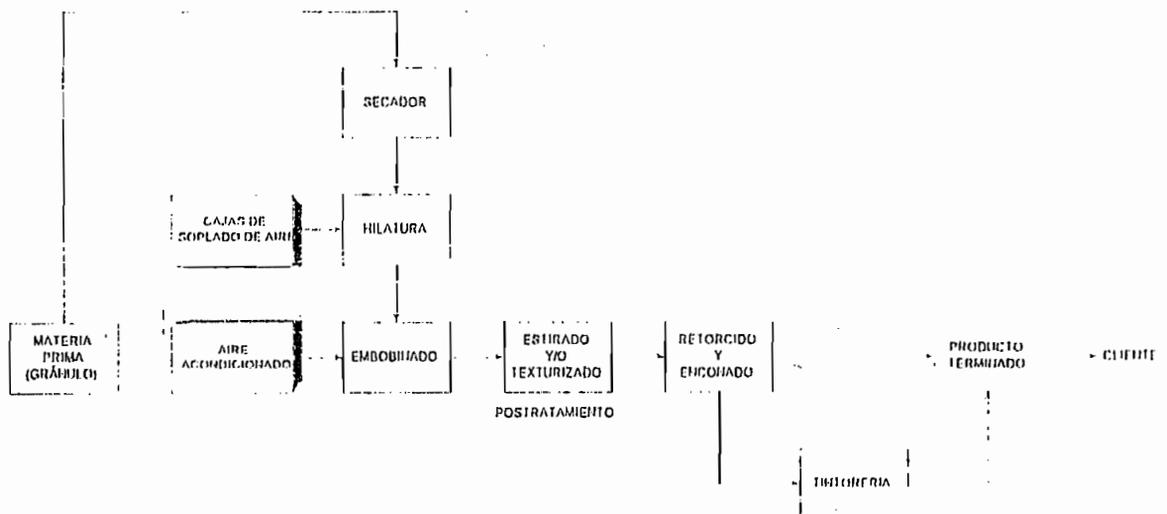


Figura 4.3. Áreas de influencia del proyecto

La calidad de un hilo está dado por el número de roturas que este presente durante el postratamiento. De esta manera podemos afirmar que el estirado en cierto modo es una preselección de la calidad del hilo.

Un buen registro de roturas permite corregir los defectos tanto en embobinado como en hilatura y estirado, obteniendo así un flujo de producción de calidad óptima.

Posteriormente se tiene el proceso de retorcido. Retorcer es el proceso mediante el cual un hilo de uno, dos o más cabos obtiene una cierta cantidad de vueltas sobre su propio eje. La torsión da protección a los filamentos al aumentar la cohesión entre ellos. Además el retorcido sirve para enmascarar en cierto grado la presencia de pequeños filamentos rotos, aumentar la resistencia del hilo, dar al hilo ciertas propiedades principalmente en cuanto a su volumen y elongación, para darle una apariencia especial al hilo.

Finalmente tenemos el proceso de enconado, que tiene por objeto producir hilo en paquetes adecuados ya sean bobinas, conos o ovillos para su uso final donde los clientes o para pasar al área de tintorería en donde se le da un tinte al hilo en la planta misma. Es posible aplicar tintes en el proceso de obtención de la materia prima, a la masa fundida de polímero, al tejido o a la fibra ya terminados.

Las fibras sintéticas producidas gozan de un gran número de propiedades extraordinarias para su aplicación en el campo textil. Estas son principalmente:

- Es posible hacer filamentos mucho más finos que los de las fibras convencionales.
- Las fibras pueden tener el brillo y la apariencia de la seda o el aspecto de fibras naturales como el algodón.
- Muy buena recuperación al arrugado y resistencia a la deformación.
- Elevada capacidad de esponjamiento.

- Buena resistencia a la rotura por tracción o por abrasión, su resistencia a la tensión es mucho mayor que la de la lana, la seda, el rayón o el algodón.
- No se disuelven en agua ni en solventes orgánicos convencionales, y se funde a temperaturas superiores a los 200°C.

Las fibras sintéticas que produce Enkador, son principalmente el nailon y el poliéster. El poliéster se usa en la fabricación de prendas de vestir, decoración, velas de yates, mientras que el nailon comúnmente se utiliza en prendas de vestir. Este tipo de fibra no deja pasar el agua, se seca rápidamente cuando se lava y no suele requerir planchado.

#### 4.2. CONDICIONES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA

Los procesos de acondicionamiento de aire instalados soportan condiciones extremas del aire fresco que ingresa del exterior, comprendidas durante el día con un máximo de 22°C con 35%RH, y durante la noche con un mínimo de 2°C con 85%RH. Los requerimientos ambientales y en el ducto, para conseguir una fibra sintética en las mejores condiciones son de 20°C y 60%RH, estos parámetros han sido determinados mediante estudios realizados por los técnicos textiles. Cabe anotar que estas condiciones de temperatura y humedad relativa son invariables durante todo el tiempo de operación de las máquinas.

### 4.3. CAJAS DE SOPLADO DE AIRE DE LA SECCIÓN DE HILATURA

#### 4.3.1. GENERALIDADES

En la sección de hilatura se encuentran 5 máquinas hiladoras nombradas por las siglas H1, H2, H3, H4 y H5. Para el acondicionamiento de aire se dispone de dos grandes unidades manejadoras similares, la una proporciona el aire acondicionado a las cajas de soplado de las máquinas H1, H2 y H3, mientras que la otra lo suministra a las cajas de soplado de H4 y H5. Las dos unidades, tienen características semejantes que describirán al mismo tiempo y se harán notar las principales diferencias cuando las haya.

Las máquinas hiladoras están distribuidas en dos grupos para el suministro de aire, estos grupos se hicieron en base a las unidades de acondicionamiento, el primero se denomina como Sistema H1,H2,H3 y el segundo es el Sistema H4,H5.

#### 4.3.2. DETALLES OPERACIONES

Para conseguir que el aire mantenga las condiciones de 20°C con una humedad relativa de 60% RH en el ducto de distribución, el sistema comprende de una serie de etapas por las que el aire debe ser conducido para su acondicionamiento. Las etapas son distribuidas como se puede ver en la figura 4-4, en el siguiente orden: persianas, filtros, precalentador, enfriador, humidificador, poscalentador, atrapagotas y un soplador para distribución, que actuarán oportunamente dependiendo de las condiciones en las que ingrese el aire desde el exterior.

En los sistemas de aire acondicionado para las cajas de soplado el aire es tomado en su totalidad del exterior, es decir no existe ningún porcentaje de aire de

retorno (reciclado), por lo tanto las persianas a la entrada permanecen siempre en la misma posición.

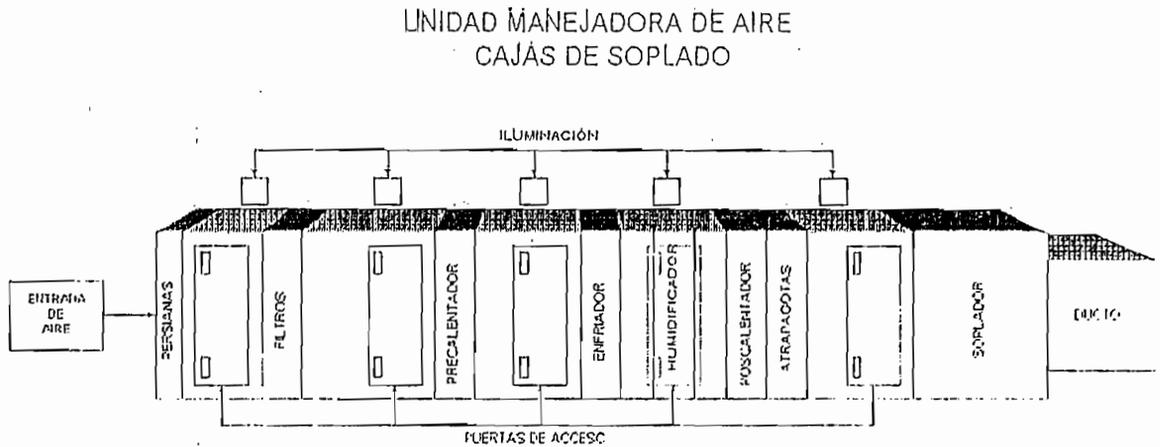


Figura 4.4. Unidad manejadora de aire para las cajas de soplado

La instalación mecánica de los sistemas consiste de los componentes con las siguientes especificaciones técnicas:

- Panel de admisión de aire con dimensiones de 1000 x 1500 mm.
- Sistema de filtros transversal (filtros en forma de fundas) que incorpora 6 frentes con un área total de filtrado de 1834 x 1223 mm. La resistencia máxima permisible antes del cambio, medida en niveles de presión diferencial es de 26 mmWG.
- Un precalentador con capacidad de elevar la temperatura de 4.59 m<sup>3</sup>/s de aire, desde +2°C-80% RH hasta 18.5°C-27% RH mediante vapor saturado.
- Un enfriador capaz de enfriar 4.59m<sup>3</sup>/s de aire desde 23°C-65% RH hasta 18.5°C-90%RH mediante agua fría.

- Un posecalentador con capacidad de calentar  $4.59 \text{ m}^3/\text{s}$  de aire desde una temperatura de  $18.5^\circ\text{C}$ - $90\%$ RH hasta  $25^\circ\text{C}$ - $60\%$ RH mediante vapor saturado.
- Un sistema humidificador mediante flautas de soplado de vapor saturado con una capacidad de inyectar  $160 \text{ kg/h}$  de agua al ambiente.
- Un ventilador centrífugo con capacidad de arrastrar  $4.59 \text{ m}^3/\text{s}$  y con una presión estática que depende de la resistencia que ofrezca el sistema, entre 5 y 7, pulgadas de agua.
- Todos los calentadores de las cajas de soplado son idénticos y con una capacidad de  $28\text{kW}$  cada uno, de igual manera los enfriadores con una capacidad de  $54\text{kW}$  cada uno.

#### 4.3.3. SISTEMA DE CONTROL

La función primordial del sistema de control automático es mantener las condiciones del diseño, para mantenerlas es necesario controlar el funcionamiento de cada uno de los componentes descritos anteriormente.

##### 4.3.3.1. SEÑALES DE ENTRADA Y SALIDA

Para el control automático será instalado un tablero en el área de aire acondicionado (nivel 3m), en este tablero se ensambla el controlador (PLC), equipos de protección, acondicionadores de energía, equipos de conexión, etc.

En la etapa de precalentamiento de las cajas de soplado, la temperatura se medirá con el sensor denominado TS1, ubicado a continuación del precalentador.

Para la medición de las variables en aire suministrado los sensores se denominarán (temperatura TS2, humedad relativa MS1 y presión estática PS1) y

serán instalados en el ducto, reemplazando los sensores analógicos del sistema de control neumático en desuso.

El controlador se encargará de enviar las señales de operación a las electroválvulas proporcionales controladoras de flujo (precalentador FCRVE1, poscalentador FCRVE1, enfriador FCRVE2 y humidificador FCRVE3), así como también al electromotor proporcional controlador de posición (PCRM1) de los álabes guía (dampers) a la entrada del soplador para el sistema H4\_H5 y al variador de velocidad (VICAV) del motor del soplador para el sistema H1\_H2\_H3.

Para modificar la temperatura y humedad relativa al aire, se usarán calentadores, enfriadores y humidificadores, cuyas electroválvulas de control serán montadas en las tuberías de vapor y agua fría. El posicionador para control de presión en el sistema H4,H5, será instalado de acuerdo a la disposición mecánica del mismo y de los dampers existentes, mientras que para el sistema H1,H2,H3 el variador de velocidad se instalará junto al motor acoplado al soplador.

Excepto por la válvula neumática controladora de flujo de agua fría para el enfriador del sistema cajas de soplado de aire H1\_H2\_H3, será operada mediante un convertidor de corriente a presión IP1. El control automático trabajará por completo eléctrica y electrónicamente incluyendo las bombas y los ventiladores.

En la figura 4.5 se muestra la secuencia de acciones del sistema de control a implementar, desde el punto de vista de un diagrama funcional de bloques.

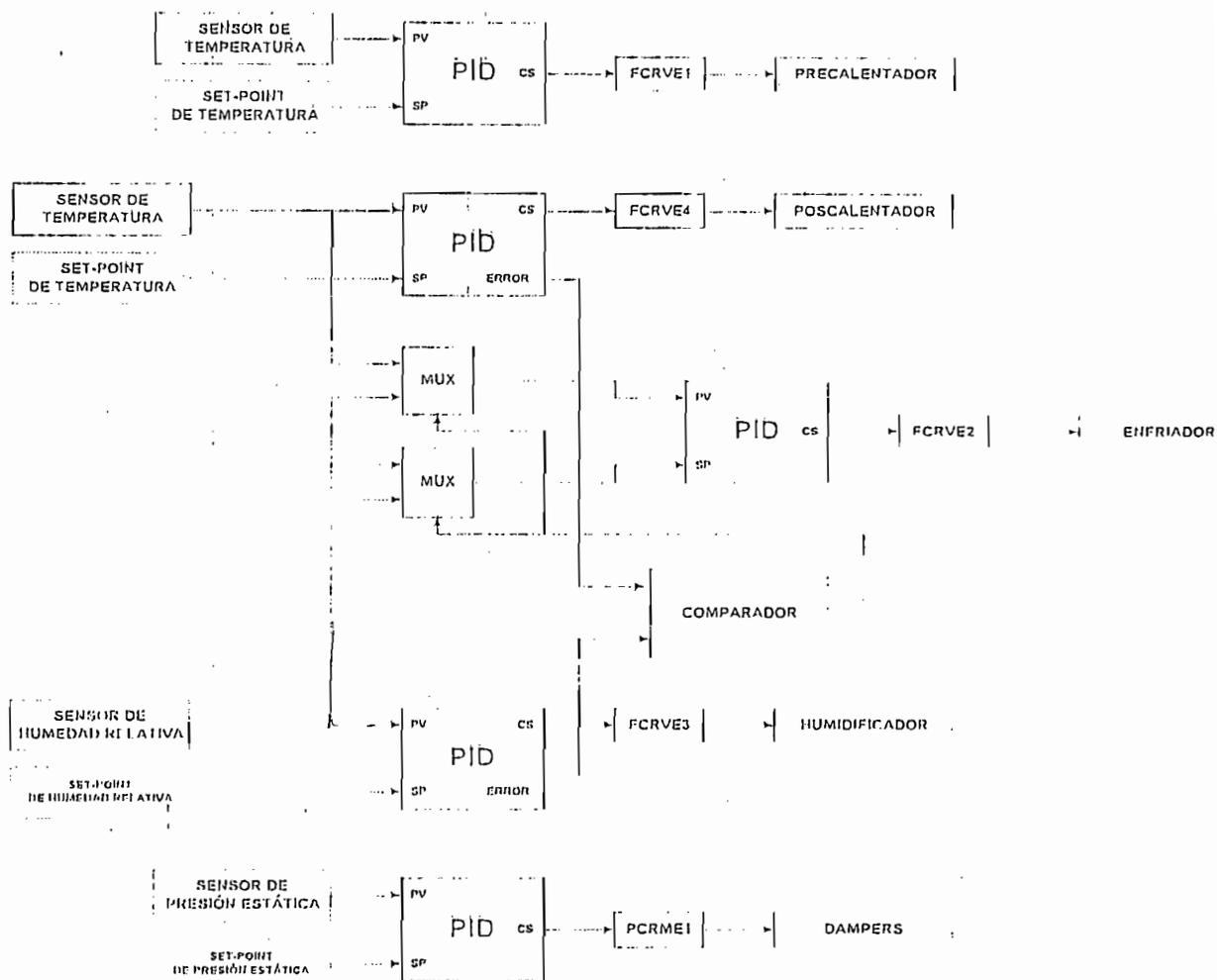


Figura 4.5. Diagrama funcional de bloques para el sistema de control.

#### 4.3.3.2. SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO.

Para reducir el consumo de energía y garantizar la vida útil de la instalación, cuando el aire fresco que ingresa desde el exterior tiene una temperatura menor a 16°C, se precalentará el mismo, para esto, el sensor de temperatura TSI debe estar conectado al controlador (PLC), el controlador PID calibrado en el valor de temperatura mencionado, proporcionara la señal de control para la electroválvula controladora de flujo de vapor para el precalentador.

#### 4.3.3.3. SISTEMA DE POSCALENTAMIENTO, HUMIDIFICACION Y ENFRIAMIENTO.

Las señales de los sensores de temperatura TS2 y de humedad relativa MS1 instalados en el ducto, deberán ser conectadas al controlador, el mismo que enviará las señales de control tanto a las electroválvulas controladoras de flujo de vapor para el humidificador y poscalentador, como también a la electroválvula controladora de flujo de agua fría para el enfriador.

El requerimiento de temperatura de 20°C y humedad relativa del 60%RH para el aire en el ducto se establecerá en el controlador, mediante el respectivo set-point, el funcionamiento del poscalentador y del humidificador será de forma análoga al del precalentador, mientras que el enfriador será controlado igualmente por un controlador PID, este elegirá controlar la temperatura o la humedad relativa dependiendo de la variable que mayor error relativo presente.

La diferencia que se presenta en este punto entre los dos sistemas, es que el control del flujo de agua fría para el sistema H1\_H2\_H3, se realizará utilizando la válvula de control neumática existente y se enlazará al PLC mediante un convertidor de corriente a presión (IP).

#### 4.3.2.2. SISTEMA DE CONTROL DE PRESIÓN ESTÁTICA EN EL DUCTO

Existe un control de presión estática del aire en cada unidad. La unidad que alimenta a las máquinas H1, H2, H3 dispone de un ventilador acoplado a un motor de 18.75 kW, el motor es controlado por un variador de velocidad trifásico VVCAI de 25 HP, por lo tanto la presión estática es controlada mediante la variación de velocidad del motor. La unidad que suministra aire a las máquinas H4 y H5

controla la presión estática del aire en el ducto mediante un electromotor posicionador PCRM/EI de los álabes guía (dampers) que se abren o cierran dejando pasar más o menos cantidad de aire al ventilador que tiene una velocidad constante.

La diferencia en los métodos de control de presión estática del aire en el ducto se debe a que la unidad que alimenta a las máquinas H1, H2 y H3 requiere de una mayor cantidad de aire por el mayor número de máquinas lo que fue imposible conseguir mediante el control de dampers, por este motivo se decidió acoplar al ventilador un motor de velocidad variable, controlado por el PLC.

A continuación se presenta un diagrama esquemático del sistema de control para los dos sistemas, con sus respectivas diferencias:

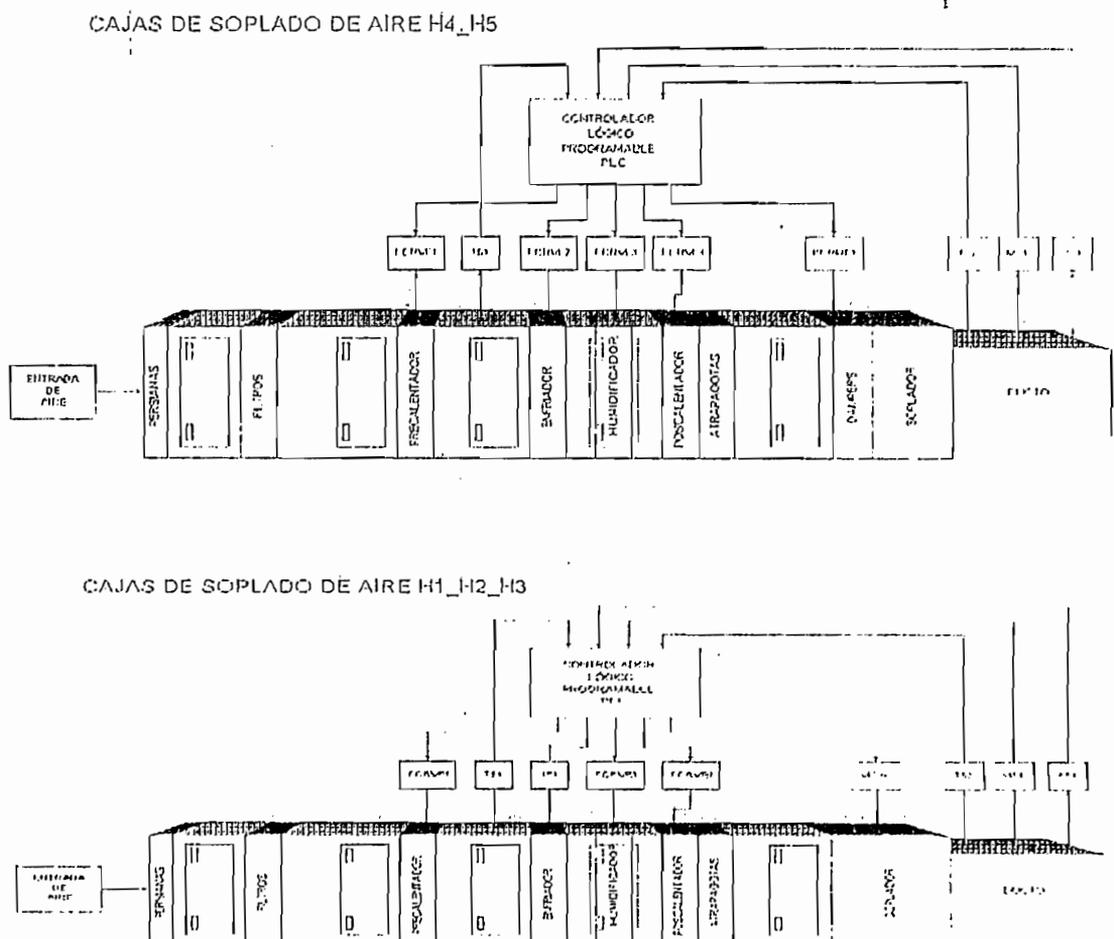


Figura 4.6. Esquema de los sistemas de control. Cajas de soplado de aire de la sección de Hilatura

Cabe indicar que en los dos sistemas, a continuación de los sensores situados en el ducto principal de distribución, se encuentra colocada una pequeña caja de aspiración que contiene un registrador analógico de temperatura y humedad relativa, el cual grafica en una carta circular el valor de las dos variables controladas, dicha carta debe ser reemplazada cada semana. Estos registros sirven para contrastar con los resultados del sistema de control.

#### 4.4. SALA DE EMBOBINADO

##### 4.4.1. GENERALIDADES

Entre los dos sistemas anteriores se encuentra instalada otra gran unidad manejadora de aire para la sala de embobinado, es manejado por un ventilador axial, a través de un ducto de distribución, equipado con rejillas de salida.

Separadamente se encuentra instalado otro ventilador axial que envía una porción de aire al los paneles de control de la sección de hilatura, con el fin de mantener una ventilación adecuada evitando la presencia de gases o temperaturas elevadas que puedan alterar el correcto funcionamiento.

##### 4.4.2. DETALLES OPERACIONALES

Con el propósito de conseguir una temperatura óptima del aire de 20°C con una humedad relativa de 60%RH mantenidos constantes en la parte frontal de las máquinas embobinadoras se dispone de un sistema de 4 secciones dispuestas en cascada (figura 4.7) con el siguiente orden: filtros, enfriadores, calentadores y humidificadores que actúan sobre el aire que es conducido por un ventilador axial y luego distribuido uniformemente, a través de rejillas situadas a ambos lados del

ducto de sección transversal rectangular instalado en la parte superior central de la sala de embobinado.

El aire entregado a la sala es una mezcla de 30% de aire fresco que entra del exterior y un 70% de aire de retorno, este retorno es necesario para el ahorro de vapor mediante el aprovechamiento de la humedad. El aire de retorno es llevado desde la parte posterior de las máquinas embobinadoras por medio de ventiladores.

Se necesita mantener una presión diferencial entre las secciones de hilatura (nivel 6m) y la de embobinado (nivel 0m) estimada entre 0.2 y 0.3 mmW'G.

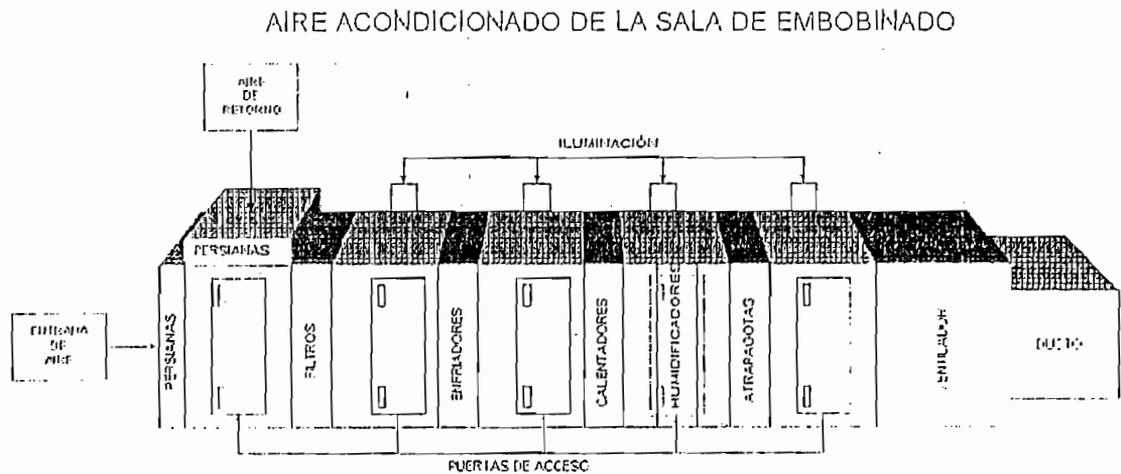


Figura 4.7. Unidad de acondicionamiento de aire para la sala de embobinado

La instalación mecánica del sistema consiste en las siguientes partes ensambladas en el orden de explicación siguiente:

- Sistema de persianas en la entrada, operadas manualmente que regulan la entrada de aire libre, con dimensiones 700 x 500 mm.
- Persianas operadas manualmente que regulan el porcentaje de aire de retorno necesario para conseguir la mezcla con el aire libre requerida, dimensiones 800 x 1000 mm.

- Sistema de filtros transversal que comprende 4 capas de filtrado tipo celdas de tamaño 600 x 600 x 50 cada una, una resistencia por saturación máxima permitida antes del cambio de los filtros esta dada por una presión diferencial máxima de 16 mmWG.
- Un radiador de enfriamiento con capacidad de enfriar 3.39 m<sup>3</sup>/s de aire desde una temperatura de 24.6°C-58% RH hasta 16.8°C-85% RH mediante el flujo de agua fría (entre 6 y 10°C) controlada mediante una válvula de tres vías.
- Un calentador con capacidad de elevar la temperatura de 3.39 m<sup>3</sup>/s de aire desde 16.8°C-85%RH hasta 18°C-78%RH mediante el flujo de vapor saturado.
- Sistema humidificador (flautas de pulverización de vapor) con capacidad de entregar 70 kg/h de agua.
- Un sistema *atrapagotas* para evitar el paso de vapor condensado al ducto.
- Un ventilador axial con capacidad de arrastrar 3.39 m<sup>3</sup>/s
- Un ducto situado en la parte superior de la sala para la distribución del aire en la misma dotado a cada lado de 17 orificios cubiertos de malla con agujeros entre 3 y 3.5 mm de diámetro. La velocidad del aire en las mallas esta entre 6 y 7 m/s.
- Un ventilador con capacidad de arrastre de 2.08 m<sup>3</sup>/s de aire para controlar la presión diferencial entre la sala de hilatura y la de embobinado.

control de presión estática, además es diferente el orden en que están dispuestos los intercambiadores.

Teniendo en cuenta las diferencias citadas, el control automático del sistema será prácticamente igual al de las cajas de soplado, es decir, las señales transmitidas por los sensores de temperatura TSI y de humedad relativa MSI ambiente instalados en la sala, deberán ser conectadas al controlador, el que enviará las señales de control a las electroválvulas controladoras de flujo de vapor para los calentadores y humidificadores y también al convertidor de corriente a presión que maneja la válvula neumática para el control de flujo de agua fría para los enfriadores.

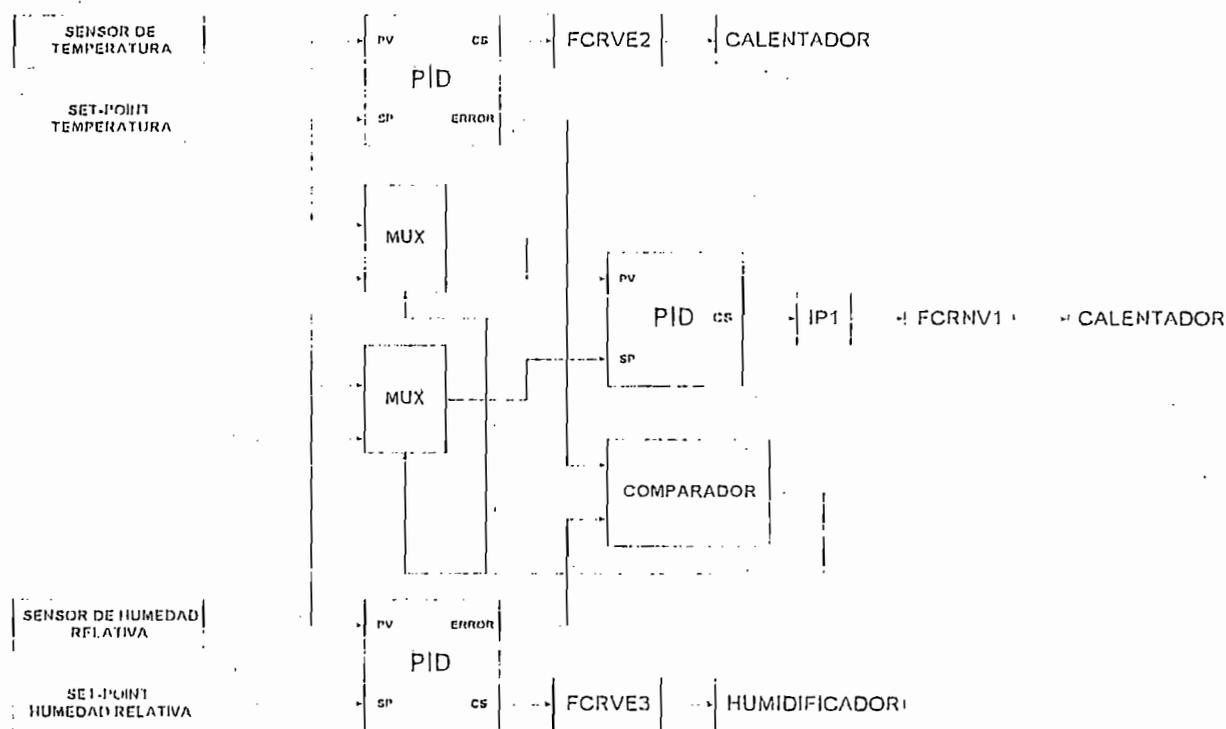


Figura 4.8. Diagrama funcional de bloques para el sistema de control

Las condiciones de 20°C para la temperatura y 60%RH para la humedad relativa del aire en la sala, se establecerán en el controlador PID, ingresando el valor del set-point para cada una de las dos variables. A continuación se presenta un diagrama esquemático del sistema de control para la unidad:

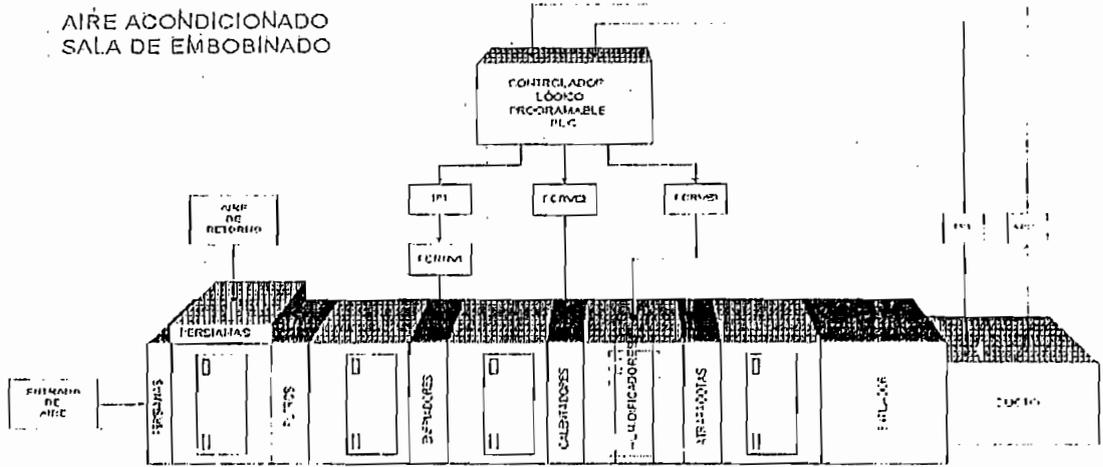
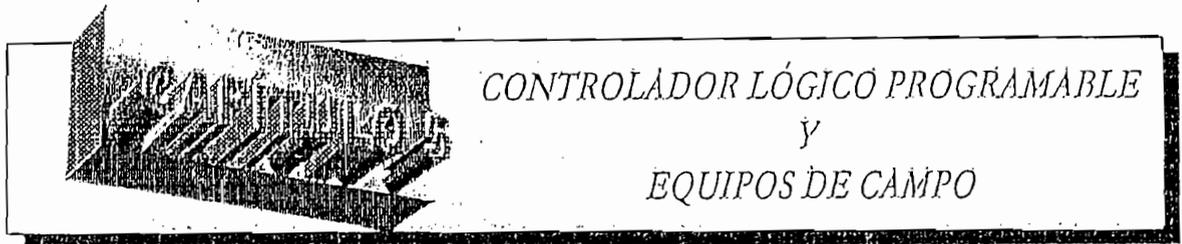


Figura 4.9. Esquema del sistema de control para el proceso de acondicionamiento de aire de la sala de embobinado.



## 5.1. PLC

El PLC (Programmable Logic Controller) es el dispositivo a ser programado para cumplir las tareas de control en los sistemas automáticos de los procesos de acondicionamiento de aire descritos. La elección del PLC depende principalmente del tipo de proceso a automatizar, así como de la cantidad de entradas y salidas necesarias para conectar todos los sensores y actuadores del sistema. El PLC Modicon de la Serie TSX Quantum proporciona la solución a nuestras necesidades de control, con un alto grado de performance. Se trata de un equipo compatible, escalable, de arquitectura modular, para aplicaciones que requieren sistemas de control de pequeño, mediano y gran tamaño. Este PLC combina una estructura comprimida, con un diseño industrial robusto, para asegurar un funcionamiento efectivo y confiable, incluso en los más difíciles ambientes industriales. Al mismo tiempo, la instalación y configuración es simple, cubriendo la extensión de la aplicación, de este modo reduce los costos de instalación con respecto a otros sistemas.

Adicionalmente a las características mencionadas, el PLC incluye:

- Alta velocidad de rastreo (scan), con rangos arriba de sistemas antiguos, basados en controladores lógicos programables.

- Tecnología de automatización abierta e integrada, abarcando, lenguaje de comunicación ASCII, comunicaciones Modbus y Modbus Plus y procesos de control.
- Cableado de controladores redundantes, fuentes de poder e I/O, proporcionando sistemas de alta disponibilidad para aplicaciones críticas.
- Configuración de estado de las salidas, ante posibles fallas para predecir el funcionamiento en aplicaciones críticas.
- Niveles de aislamiento altos, para garantizar la inmunidad en ambientes industriales rigurosos.
- Alta exactitud en I/O análogas, para garantizar el monitoreo y control.
- Diseñado para “Intercambio en caliente”, para simplificar el mantenimiento y la posibilidad de crecimiento del sistema.

En su entorno físico, el PLC modular está formado por:

#### 5.1.1. PANEL POSTERIOR DE 10 POSICIONES (Backplane)

El Modicon 140 XPB 010 00 es un gabinete o carcasa, que está diseñado para asegurar mecánicamente y conectar eléctricamente todos los módulos que deben ser instalados con el propósito de ensamblar el equipo para la aplicación. Incluye una tarjeta de circuito pasiva que permite que los módulos se comuniquen entre sí e identifiquen sus números de ranuras (slots) sin ajustes adicionales de los interruptores. La siguiente figura ilustra una vista frontal:

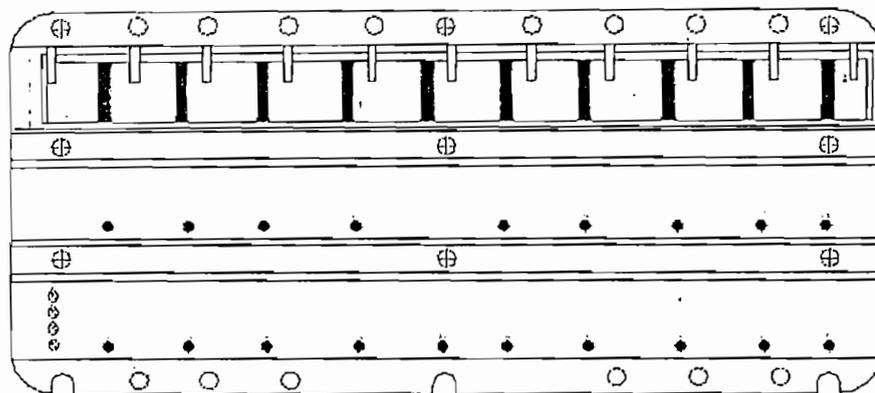


Figura 5.1. Vista frontal del Backplane.

Entre los módulos que se insertan en el panel, los que corresponde a la unidad central de procesamiento CPU y al de la fuente de poder PS son considerados como obligatorios ya que sin estos, el PLC no podrá procesar información alguna.

### 5.1.2. UNIDAD CENTRAL DE PROCESAMIENTO (CPU)

El módulo de CPU de 256k Modicon 140 CPU 113 02, contiene memoria ejecutiva, memoria de aplicación y puertos de comunicación Modbus (RS - 232) mediante un puerto serial (9 - pin D - shell) y Modbus Plus (RS - 485) con puerto de red (9 - pin D -shell).

Este módulo es un complejo sistema de operación electrónica digital basado en microcontrolador. Usa una memoria programable para guardar las instrucciones programadas por el usuario. Las instrucciones son usadas para implementar el programa de control, utilizando funciones lógicas específicas tales como, secuencias de procesos, temporización, acoplamiento, operaciones matemáticas, etc., permitiendo controlar mediante salidas analógicas y/o digitales varios tipos de máquinas dentro de un proceso.

Las especificaciones del módulo se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 5.1. Especificaciones del módulo Modicon 140 CPU 113 02

Lógico de usuario	Máximo 8k palabras	
Capacidad de referencia		
Discreta	Máximo 8192 de entrada y 8192 de salida	
Registro	9999 máximo	
E/S local (panel posterior principal)		
Máximo de palabras de E/S	64 de entrada y 64 de salida	
Número máximo de armazones de E/S	1	
E/S remota		
Máximo de palabras de E/S por desconexión	64 de entrada / 64 de salida	
Número máximo de desconexiones remotas	31	
E/S distribuida		
Número máximo de redes por sistema	3**	
Máximo de palabras por red	500 de entrada y 500 de salida	
Máximo de palabras por nodo	30 dentro y 32 fuera	
Temporizador de circuito de vigilancia	250 ms (S/W ajustable)	
Tiempo de solución lógico	0.3 ms/k a 1.4 ms/k	
Corriente de bus	78m mA	
Batería	Litio de 3V	
Vida de servicio	1200 mAh	
Tiempo de conservación	10 años con 0.5% de pérdidas de capacidad por año	
Corriente de carga de batería a Alimentación apagada		
Típico	5µA	
Máximo	110µA	
Comunicación		
Modbus (RS-232)	1 puerta en serie (D-shell de 9 clavijas)	
Modbus Plus (RS-485)	1 puerta de red (D-shell de 9 clavijas)	
Generalidades		
Diagnósticos	Activación	Tiempo de ejecución
	RAM	RAM
	Dirección de RAM	Dirección de RAM
	Suma de control ejecutivo	Suma de control ejecutivo
	Comprobación lógica de usuario	Comprobación lógica de usuario
Procesador		
Corriente de bus requerida	780 mA	
Reloj TOD	±8.0 segundos/día 0-60°C	

\* Esta información puede ser una mezcla de E/S de registro o de discretas. Para cada palabra de E/S de registro configurada debe restar una palabra de las palabras de E/S del total disponible. Lo anterior también es aplicable para cada bloque de 8 bits de E/S discreta configurado - se debe restar una palabra de E/S de registro del total disponible

\*\* Se requiere usar el procesador de opción 40 NOM 21x00

Una representación esquemática del módulo, se presenta en la figura siguiente:

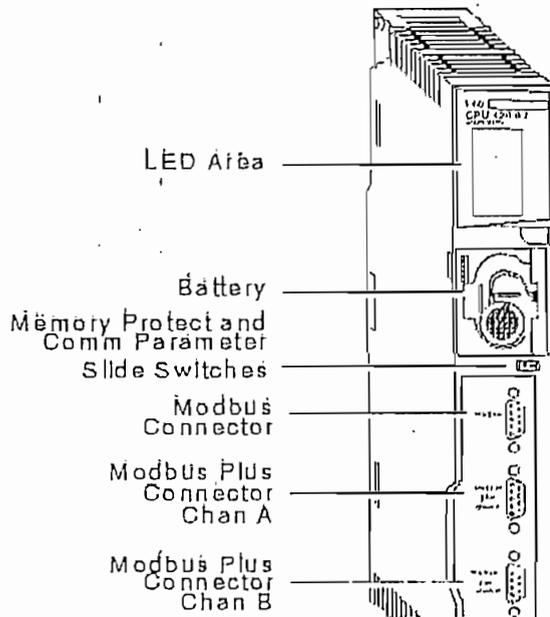


Figura 5.2. Esquema del módulo Modicon 140 CPU 113 02

### 5.1.2.1. INTERRUPTORES DEL PANEL FRONTAL

Existen dos interruptores deslizantes de tres posiciones en la parte frontal de la CPU. El interruptor izquierdo se usa para la protección de la memoria cuando se encuentra en la posición superior. No existe protección de memoria en las posiciones intermedia e inferior. El interruptor deslizante derecho de tres posiciones se usa para seleccionar los ajustes de los parámetros de comunicación para los puertos Modbus.

Tres posiciones están disponibles:

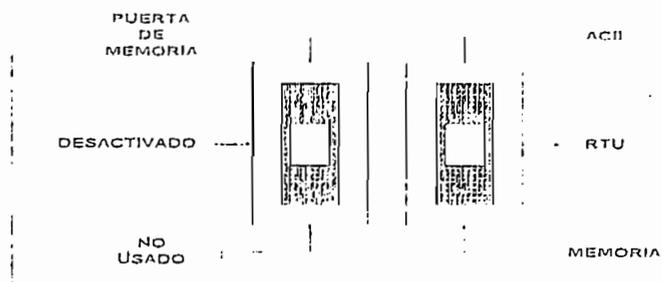


Figura 5.3. Interruptores del panel frontal.

- El ajuste del interruptor deslizante a la posición superior asigna la funcionalidad de ASCII al puerto; los siguientes parámetros de comunicación están establecidos y no pueden ser cambiados.

Tabla 5.2.

Parámetros de puerta de comunicación ASCII	
Baudios	2400
Paridad	Impar
Bits de datos	7
Bits de parada	1
Dirección del dispositivo	Dirección de Modbus Plus

- El ajuste del interruptor deslizante a la posición intermedia asigna la funcionalidad de unidad terminal remota (RTU) al puerto; los siguientes parámetros de comunicación están establecidos y no pueden ser cambiados:

Tabla 5.3.

Parámetros de puerta de comunicación de la RTU	
Baudios	9600
Paridad	Impar
Bits de datos	8
Bits de parada	1
Dirección del dispositivo	Dirección de Modbus Plus

- El ajuste del interruptor deslizante a la posición inferior le permite asignar los parámetros de comunicación a la puerta en el software; son válidos los siguientes parámetros:

Tabla 5.4.

Parámetros de puerta de comunicación válidos		
Baudios	19200	1200
	9600	600
	7200	300
	4800	150
	3600	137.5
	2400	110
	2000	75
	1800	50
Bits de datos	7 / 8	
Bits de parada	1 / 2	
Paridad	Habilitar / Inhabilitar	
	Par / Impar	
Dirección del dispositivo	1 247	

El ajuste del interruptor deslizante se encuentra en la posición intermedia, es decir como unidad terminal remota (RTU).

### 5.1.2.2. INTERRUPTORES DEL PANEL POSTERIOR

Los dos interruptores rotatorios (figura 5.4) en el panel posterior de la CPU, se usan para establecer las direcciones del nodo de Modbus Plus. El interruptor superior SW1 establece el dígito mayor (decenas) de la dirección; mientras que el interruptor inferior SW2 establece el dígito menor (unidades) de la dirección. La ilustración incluida a continuación muestra el ajuste correcto para nuestro caso de dirección 2.

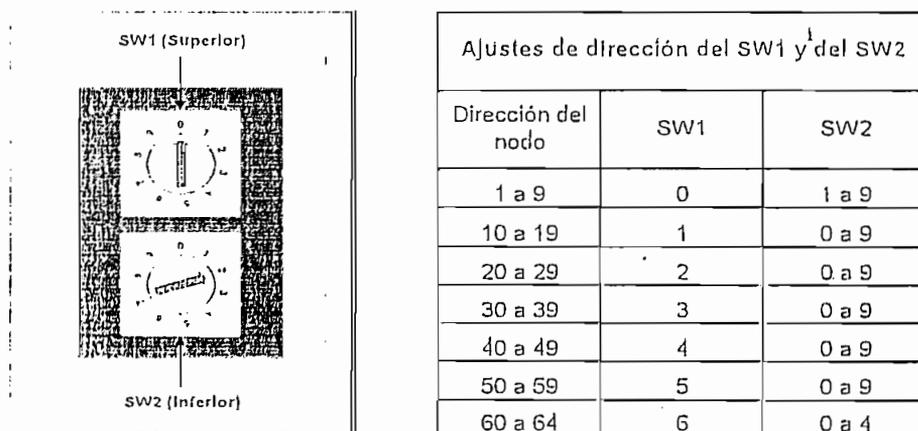


Figura 5.4. Interruptores del panel posterior

Si se selecciona "0" o una dirección superior a 64, el LED Modbus+ permanecerá "encendido" en forma estable para indicar la selección de una dirección incorrecta.

### 5.1.3. FUENTE DE PODER

La fuente de poder seleccionada corresponde al módulo Módicon 140 CPU 114 10, este módulo se considera como obligatorio puesto que suministra la energía necesaria a todos los módulos insertados en el *backplane* o panel posterior. Está

diseñado para trabajo en ambientes industriales, no requiere la instalación de un transformador de aislamiento. Está protegido ante oscilaciones y ruido del voltaje de entrada nominal, también posee protecciones ante sobre corriente y sobre voltaje. Si se presentaran problemas eventuales imprevisibles, el módulo asegura el sistema por un tiempo adecuado y luego se conecta automáticamente. No suministra voltaje a los dispositivos de campo.

Tiene las siguientes características:

Descripción	Fuente de poder 115/230 Vac
Modo de operación	Independiente / Sumable
Voltaje de operación	
Operación 115 Vac	93 – 138 Vac
Operación 230 Vac	170 – 276 Vac
Frecuencia de entrada	47 – 63 Hz
Interrupción de alimentación de entrada ac	10ms
Voltaje de salida	5.1 Vdc
Potencia de salida	
Modo independiente	8A
Modo sumable (2)	16A
Protección a la salida	sobre corriente, sobre voltaje
Peso	0.60 kg.
Fusibles	Se recomienda 1.5A de acción retardada
Conector	Bornera de 7 puntos, incluida

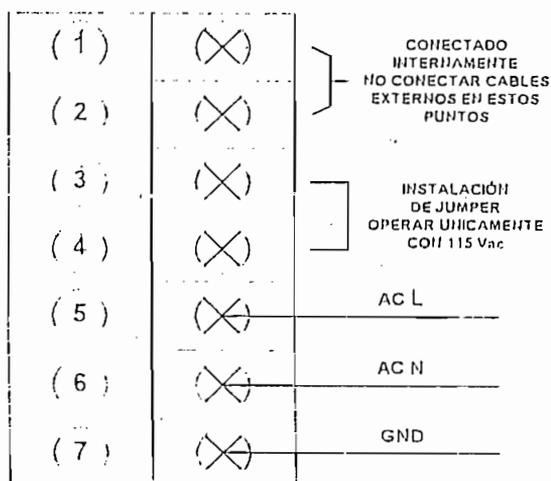


Figura 5.5. Conector de la fuente de poder.

El calibre del cable para la conexión de la fuente es de un máximo 14 AWG a un mínimo de 20 AWG.

En ciertas configuraciones, especialmente en las que se requieren paneles posteriores largos, para insertar numerosos módulos, se necesita una fuente adicional, debido al aumento de la carga. Para estas aplicaciones, se tiene las fuentes tipo sumables, dos fuentes sumables de 8A proporcionan 16A para alimentar a los módulos. Las fuentes de este tipo, también pueden ser utilizadas en configuración independiente (fuente única). Adicionalmente existen dos opciones para el uso de las fuentes, única o redundante, cuando es redundante se refiere a sistemas que controlan procesos críticos, donde el suministro de energía debe ser permanente ya que la operación del sistema es ininterrumpida, en este caso se conectan dos fuentes.

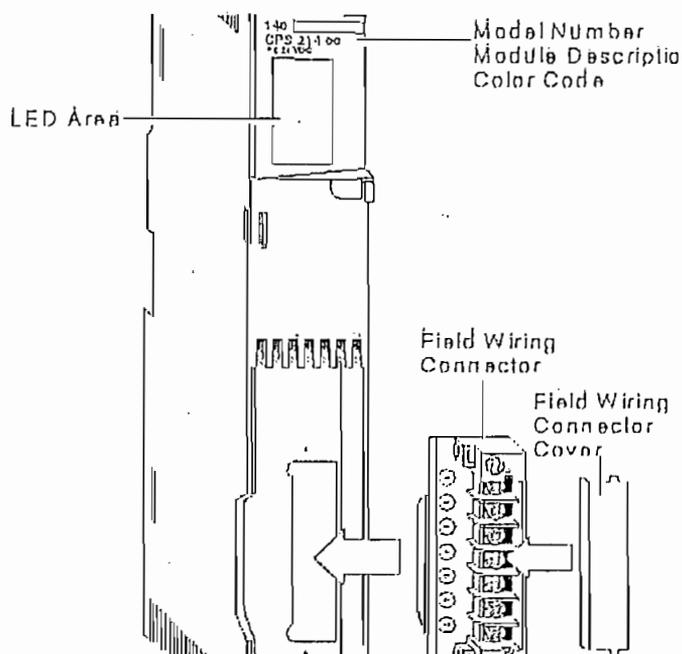


Figura 5.6. Esquema del módulo Modicon 140 CPS 114 10.

### 5.1.4. MÓDULOS DE ENTRADA Y SALIDA

El sistema diseñado, precisa del control de variables análogas, para esto se debe disponer de módulos analógicos de entradas, para las señales provenientes de los sensores ubicados en los procesos a controlar, y módulos analógicos de salidas, a los cuales se conectan los actuadores.

El tipo de comunicación empleada, para transmitir el estado de las variables, así como para posicionar los actuadores, es el estándar lazo de corriente 4 – 20 mA. Este sistema básicamente consiste de una señal de corriente proporcional al valor analógico que entrega el sensor y proporcional al valor entregado al actuador. Es altamente inmune a los ruidos de carácter electromagnético. De acuerdo al diseño, necesitamos módulos para cumplir 6 entradas y 13 salidas analógicas.

#### 5.1.4.1. MÓDULOS DE ENTRADA ANALÓGICA

Lo constituyen dos módulos de entrada analógica unipolar Modicon 140 ACI 030 00. A continuación se muestra las especificaciones técnicas:

Descripción	Módulo de entrada analógico (uni-polar)	
Número de canales	8	
Topología	8 canales de entrada diferencial	
Gama de entrada Voltaje / Corriente	1 – 5 Vdc, 4 – 20 mA (conectado en puente)	
Impedancia	> 20 M $\Omega$ (voltaje) 250 $\Omega$ (corriente)	
Resolución	12 bits	
Precisión a escala	Típica	Máxima
Completa (25°C)	$\pm 0.05\%$	$\pm 0.1\%$
Linealidad	$\pm 0.04\%$	
Aislamiento		
Canal a canal	30 Vdc	
Canal a bus	1000 Vac RMS por 1 minuto	
Detección de falla	Rotura de cable, en el modo 4 – 20 mA Bajo voltaje, en el modo 1 – 5 V	
Tiempo de actualización (todos los canales)	5 ms	
Corriente de bus requerida	280 mA	

Fuente de poder externa	no requerida
Peso	0.30 kg.
Fusibles	ninguno
Conector	140 XTS 002 00 (incluido)

La descripción del cableado de señales es:

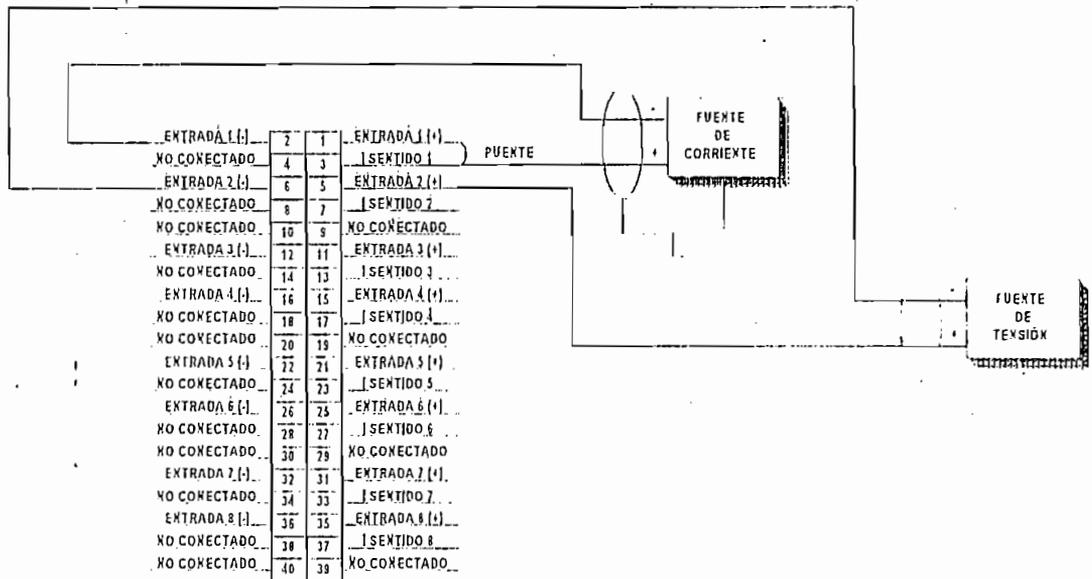


Figura 5.7. Diagrama de cableado del módulo 140 ACI 030 00

Las fuentes de corriente y tensión son suministradas por el usuario.

Se pueden usar ya sea cables de señal blindados o no blindados. Los tipos blindados deben tener conexión a tierra cerca del extremo de la fuente de la señal.

Las entradas no utilizadas pueden activar el LED F del panel indicador. Para evitar que esto ocurra se conecta los canales no usados en el modo de tensión a un canal que esté en uso.

### 5.1.4.2 MÓDULOS DE SALIDA ANALÓGICA

El módulo de salida analógica por corriente Modicon 140 ACO 020 00, ofrece 4 canales de salida; y para satisfacer las variables de salida del diseño empleamos 4 de estos módulos, cada uno de ellos tiene las siguientes especificaciones técnicas:

Descripción	Módulo de salida analógico (uni-polar)
Número de canales	4
Topología	4 canales de salida
Gama de corriente	4 – 20 mA
Voltaje máximo por lazo	60 Vdc
Resolución	12 bits
Precisión (25°C)	±0.20% de escala completa
Linealidad	±1 LSB
Aislamiento	
Canal a canal minuto	500 Vac a 47-63 Hz, ó 750 Vdc por 1
Canal a bus minuto	1780 Vac a 47-63 Hz, ó 2500 Vdc por 1
Detección de falla	Rolura de cable
Tiempo de actualización (todos los canales)	3 ms
Corriente de bus requerida	480 mA
Fuente de poder externa	12 – 30 Vdc por lazo
Peso	0.30 kg.
Fusibles	ninguno
Conector	140 XTS 002 00 (incluido)

Seguidamente se presenta la conexión de los canales de salida analógicos :



Figura 5.8. Diagrama de cableado del módulo 140 ACO 020 00.

VM es un voltímetro opcional que se puede conectar para realizar una lectura de tensión de 0 a 5 Vdc, que es proporcional a la corriente. El cableado conectado a este terminal está limitado a un máximo de 1m. Los canales no utilizados indicarán un estado de cable roto a menos que estén conectados al suministro de bucle, según se muestra en el canal 4. El suministro debe ser 24 Vdc.

En el ejemplo que se muestra en el diagrama de cableado se muestra tanto el canal 1 actuando como dispositivo consumidor de corriente y el canal 2 actuando como fuente de corriente para sus respectivos dispositivos de campo.

En el momento de la activación, todas las salidas de canal están inhabilitadas (corriente = 0). La configuración de cualquier canal como inhabilitado provocará la inhabilitación de los canales cuando se produzca una atenuación de la comunicación.

En resumen, en la figura 5.9, se muestra el entorno físico del PLC Modicon TSX Quantum de acuerdo a la aplicación diseñada. Al mismo tiempo se puede

observar que existen dos slots libres, para la ampliación del sistema añadiendo los respectivos módulos, por ejemplo para señalización o comunicación; o para facilitar el mantenimiento preventivo y correctivo insertando un módulo redundante según sea el caso.

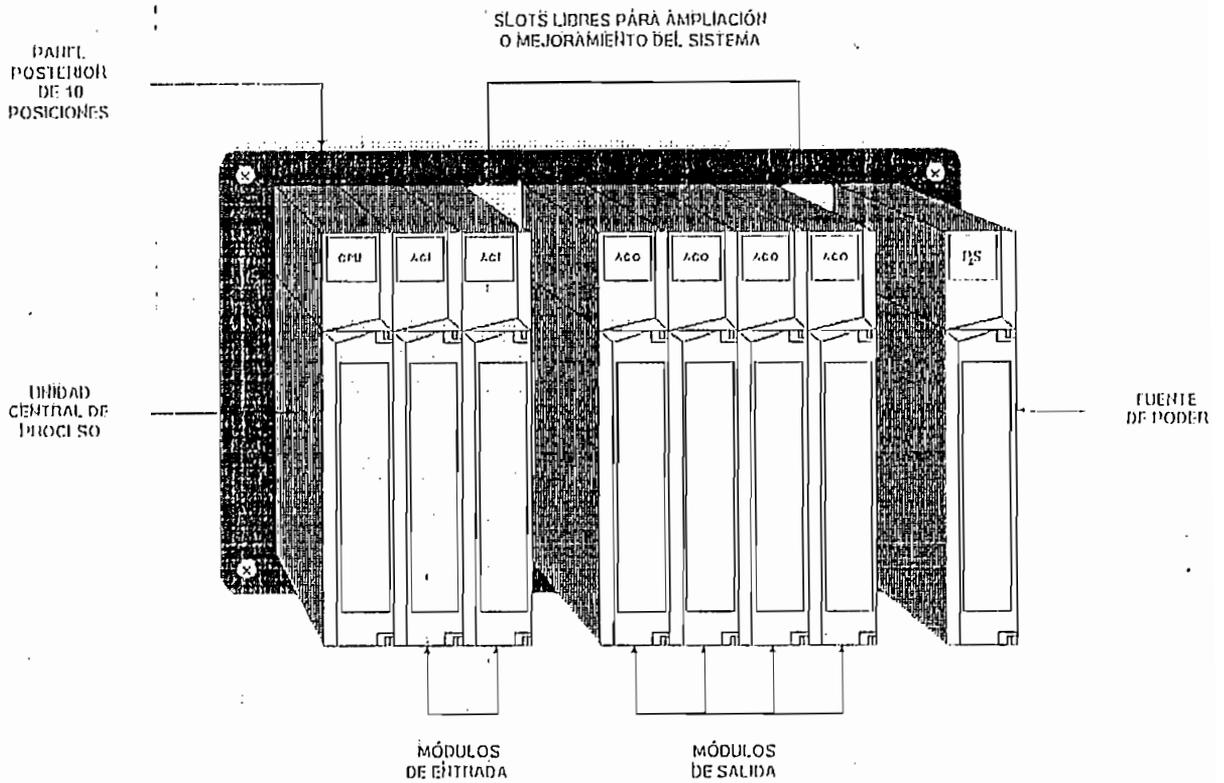


Figura 5.9. Entorno físico del PLC.

## 5.2. EQUIPOS DE CAMPO

En los procesos de acondicionamiento de aire, se encuentran un sinnúmero de elementos que efectúan operaciones automáticas en respuesta a la variación de una serie de parámetros físicos. En la detección de estas variables físicas, temperatura, humedad relativa y presión estática son utilizados sensores cuyos principios de funcionamiento cambian de acuerdo a las necesidades de la aplicación.

Los actuadores son los dispositivos encargados de ejecutar las acciones físicas ordenadas por el PLC, esta acción puede ser un movimiento lineal o según sea el caso.

### 5.2.1. TRANSMISORES (SENSORES)

Los sensores son dispositivos que cambian o generan una señal eléctrica en respuesta a un estímulo físico externo. Para el caso de esta aplicación se utilizan para la medición de las propiedades del aire, a través de una señal de corriente o voltaje, que representa tal parámetro.

Los sensores utilizados son del tipo analógicos. La señal de salida de los sensores analógicos, con respecto a la variable física a medir, puede ser lineal, logarítmica o simplemente, una función no lineal. En los casos en que la señal es no lineal, debe agregarse al sensor un circuito electrónico que haga la operación respectiva (acondicionador de señal), de tal forma que la respuesta sea lineal.

#### 5.2.1.1. SENSOR DE TEMPERATURA

En las dos unidades manejadoras de aire para suministrarlo a las cajas de soplado. Para medir la temperatura luego de sus respectivos Precalentadores, se colocan un termómetro de resistencia RTD de Platino que proporciona un valor de resistencia definido para cada valor temperatura dentro de su rango.

Prácticamente todos los termómetros de resistencia para aplicaciones industriales se montan en un tubo o pozo (termopozo) para protegerlos contra daños mecánicos y resguardarlos de la contaminación y una falla eventual. Los tubos de protección se usan a la presión atmosférica; cuando están equipados con un buje enroscado al tubo se pueden exponer a bajas y medianas presiones.

Una caja de unión a prueba de agua que permita el acoplamiento de los conductores del sensor al transmisor, se coloca en la parte alta del tubo, el transmisor Omega TX92-1 proporciona una señal de salida estándar de 4 – 20 mA, linealmente proporcional la temperatura del termómetro de resistencia, RTD100.

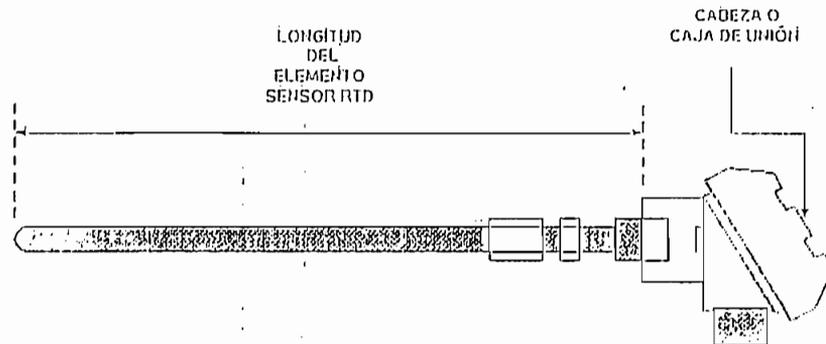


Figura 5.10. Termómetro de resistencia

El transmisor es alimentado con 24Vdc como se ve en la figura 5.11.

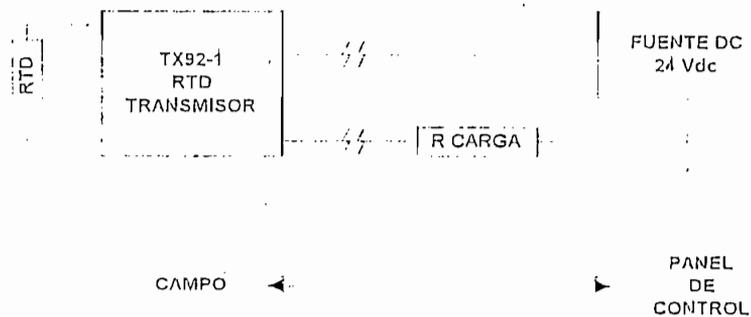


Figura 5.11. Conexión del transmisor de RTD TX92-1.

Las especificaciones del transmisor se presentan en el siguiente recuadro:

Descripción	Transmisor de RTD de 2-3 cables
Dimensiones	1.75in dia. x 1.125in alto (incluido la bornera)
Rango de ajuste cerollapso	±25%
Voltaje de alimentación	+12Vdc a +44Vdc, máximo 28 mA
Precisión	±0.1% de la escala completa (incluido efectos de histéresis, repetibilidad y linealidad proporcional al RTD)
Temperatura ambiente	-25°C a 85°C
Rango de temperatura de almacehamiento	-65°C a 89°C

Peso	0.05 kg.
Salida	
Lapso de corriente	4 – 20 mA
Límites de corriente	3 a 28 mA, normalmente
Resistencia máxima de lazo	$(V_{\text{suministrado}} - 12V)/0.020 \text{ A} = \text{---} \Omega$
Efecto de la resistencia de carga	0.05% del lapso por 300 $\Omega$ de cambio
Efecto de la fuente de poder	0.01% del lapso de salida por voltio
Entrada	
Sensor:	RTD de 2 o 3 cables
Corriente máxima de puente	2 mA

### 5.2.1.2. SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA EN EL DUCTO

El transmisor de temperatura y humedad relativa Omega HX96-2-C-D, ofrece una versatilidad, confiabilidad y rendimiento en un espacio reducido de montaje en el ducto. El transmisor debe ser instalado procurando colocar la punta de prueba en el centro del ducto.

Para facilitar el montaje y mantenimiento en el menor tiempo posible, tiene un diseño industrial pequeño y robusto, la base viene precableada y las clavijas electrónicas de la cubierta son instaladas rápidamente, solamente se colocan los cables externos que envían las señales en el bloque de terminales, y al colocar la cubierta o tapa las clavijas entran en el bloque con lo cual se conectan a la electrónica del sensor.

El HX96-2-C-D para sensar la humedad relativa utiliza una resistencia de polímero que cambia de valor proporcionalmente, este sensor no es afectado por la contaminación ambiental existente en el ducto, mientras que para apreciar la temperatura utiliza una delgada película de RTD de platino.

El transmisor puede ser calibrado con el Omega HX95-CAL, el cual tiene un plug que se conecta al jack del transmisor y automáticamente ajusta parámetros de temperatura y humedad relativa en menos de 60 segundos.

Las especificaciones técnicas son las siguientes:

Descripción	Transductor de temperatura/humedad relativa
Precisión a 25°C	RH $\pm 2\%$ desde 20 a 95%RH Temperatura: $\pm 3^\circ\text{C}$
Rango de operación	0 a 99%RH no condensado, -29 a 60°C
Estabilidad a largo plazo	Menor al 1% por cada año
Sensibilidad	0.1%RH
Repetibilidad	0.5%RH
Señales de salida selector	4 – 20 mA, 0 – 5 Vdc, 0 10 Vdc lineales (puente de rango de voltaje a la salida)
Suministro de voltaje	18 – 36 Vdc
Temperatura de almacehamiento	-65 a 70°C
Dimensiones	Observar diagrama
Peso	0.907 kg.

Dimensiones y diagrama de alambrado:

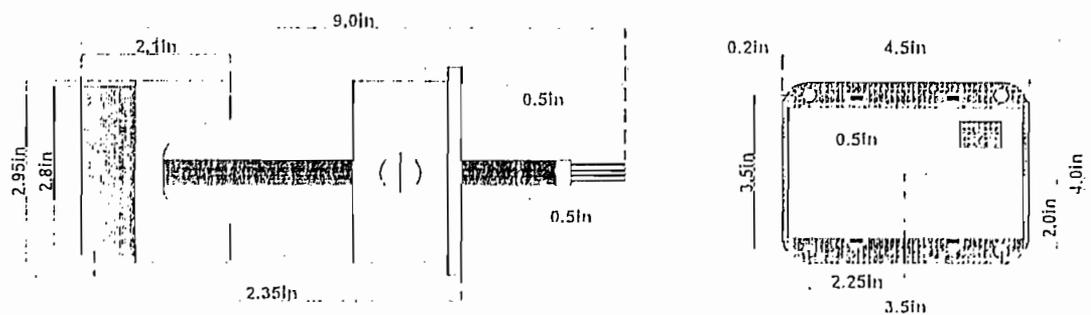


Figura 5.12. Diagrama de dimensiones del transmisor HX96-2-C-D

RH Y TEMPERATURA  
SALIDA DE CORRIENTE DUAL DE 4 - 20 mA

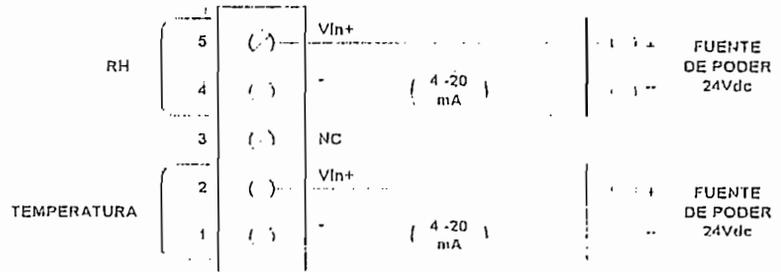


Figura 5.13. Diagrama de cableado del transmisor HX96-2-C-D.

### 5.2.1.3. SENSOR DE PRESIÓN ESTÁTICA EN EL DUCTO

Para precisar la presión estática que ejerce el aire en el ducto, utilizamos el transductor de presión Omega PX215. El mismo tiene las siguientes especificaciones técnicas:

Descripción	Transductor de presión, salida de corriente
Rango de voltaje a la entrada	24Vdc (12 a 36Vdc, protegido contra cambio de polaridad)
Rango de presión de entrada	0 a 15 PSI
Salida	4 a 20 mA (2 cables)
Precisión	±0.25% (linealidad, histéresis y repetibilidad)
Temperatura de operación	-20°C a +120°C
Tolerancia del lapso(span)	1% del fondo de escala
Resistencia máxima de lazo	50 x (Voltaje de la fuente de poder - 12)Ω
Cableado	Pines de conexión para dos cables
Balance de cero	1% del fondo de escala
Rango de temperatura de compensación	-20°C a +80°C
Efectos térmicos	1.5% del fondo de escala fuera de -20°C a 80°C
Presión de boca	¼ - 18 NPT
Presión de separación	400%, 17000 PSI máximo
A prueba de presión	150%
Vibración	Resiste un pico de 0.035 kg, 5 a 200 Hz
Tiempo de respuesta	1 ms
Caja	de acero inoxidable
Desgaste	100 millones de ciclos en fondo de escala
Peso	0.1 kg.

Las dimensiones y el cableado se pueden observar en la siguiente figura:

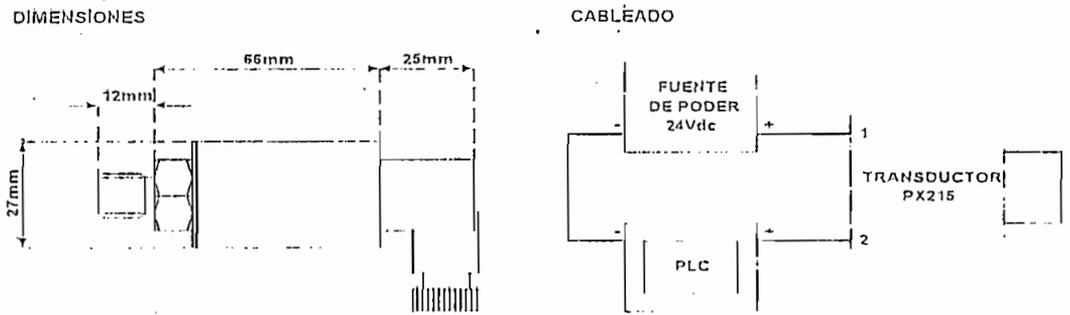


Figura 5.14. Dimensiones y cableado del transductor de presión PX215 de Omega.

#### 5.2.1.4. SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA AMBIENTE

Para determinar si son óptimas las condiciones del aire en la sala de Embobinado, el Omega HX93C es un transmisor de humedad relativa RH y temperatura que provee salidas lineales proporcionales para cada una de las variables. Un delgado capacitor de polímero se utiliza para sentir la humedad relativa; y el sensor de temperatura es una pequeña y delgada película de RTD. Los sensores están protegidos por un filtro inoxidable que puede ser fácilmente removido para limpieza y mantenimiento. La caja y los conectores cuentan con protección que los hace resistentes al agua, dando una protección adicional al proporcionado por el ajuste correcto de los tornillos de montaje.

En el HX93C, un lazo de corriente de 4 – 20 mA, proporciona una variación de flujo de corriente que depende de la humedad relativa y de la temperatura ambiente de la sala. La resistencia de lazo es la suma de la impedancia del medidor o medidores y la del cable conductor. La máxima resistencia de lazo permisible por el HX93C está dada por la siguiente fórmula:

$R_{\max} = (\text{Voltaje de la fuente de poder} - 6 \text{ voltios})/0.02$   
amperios.

Para nuestro caso, usamos una fuente de alimentación de 24Vdc:

$$R_{\max} = (24-6)/0.02 = 900 \Omega$$

Si el módulo de entrada del PLC se configura para aceptar señal de voltaje, entonces la corriente puede ser transformada a voltaje usando una resistencia de derivación y de bajo valor (voltaje = corriente x resistencia). Al instalar una resistencia de uno de los terminales hacia el otro, la entrada de voltaje será de 1 – 5 voltios.

En referencia a la figura 5.15, se tiene la disposición de los terminales de conexión:

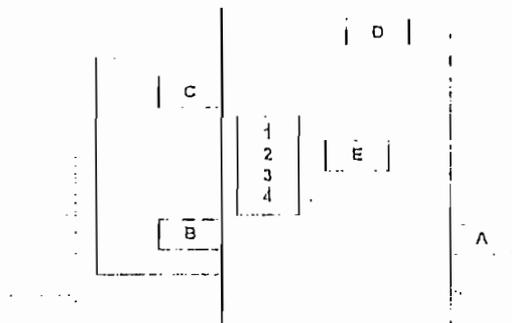


Figura 5.15. Terminales de conexión del transmisor HX93C

1. Negativo de RH
2. Positivo de RH
3. Negativo de temperatura
4. Positivo de temperatura

Potenciómetros de ajuste

- A. Cero de RH
- B. Fondo de escala de RH
- C. RH (ajustado de fábrica)
- D. Temperatura (ajustado de fábrica)
- E. Temperatura (ajustado de fábrica)

Seguidamente se muestra el diagrama de conexiones:

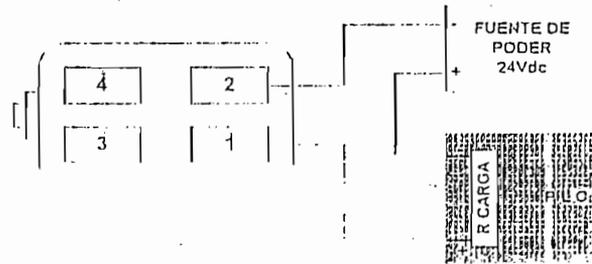


Figura 5.16. Conexión del HX93C.

Los pasos para el cálculo de la temperatura y humedad relativa son:

- Impedancia máxima de lazo:  $R_{max} = (24 - 6)/0.02 = 900 \Omega$
- Cálculo del %RH en base a la corriente en mA:  $\%RH = (I - I_0)/0.16$
- Cálculo de la temperatura en °C:  $^{\circ}C = (I - 4) \times (95/16) - 20$

Las especificaciones técnicas se presentan a continuación:

Descripción	Transmisor de temperatura y humedad relativa
<b><u>HUMEDAD RELATIVA</u></b>	
Rango de voltaje a la entrada	6 a 30 Vdc (protegido contra cambio de polaridad)
Rango RH	3%RH a 95%RH
Precisión	±2%RH
Rango de temperatura de compensación	-20°C a +75°C
Salida de RH	4 a 20 mA para 0 a 100%RH
Constante de tiempo RH	(a 90% de respuesta y 25°C; con el aire en movimiento, 1m/seg)
	<10 segundos, 10%RH a 90%RH
	<15 segundos, 90%RH a 10%RH

Repetibilidad	$\pm 1\%RH$
<u>TEMPERATURA</u>	
Rango de voltaje a la entrada	6 a 30 Vdc (protegido contra cambio de polaridad)
Rango de temperatura	$-20^{\circ}C$ a $+75^{\circ}C$
Precisión	$\pm 0.6^{\circ}C$
Salida de temperatura	4 a 20 mA para $-20^{\circ}C$ a $75^{\circ}C$
Constante de tiempo para temperatura	(para 90% de respuesta) $< 9$ segundos con aire en movimiento (1m/seg); $< 30$ segundos con aire inmóvil
Repetibilidad	$\pm 0.3^{\circ}C$
<u>MECÁNICAS</u>	
Almacenamiento	Cobertura plástica a prueba de agua
Conectores	Cuatro terminales internos, cables de 14 a 22 AWG
Dimensiones básicas	80mm x 82mm x 2.16mm
Peso	un máximo de 0.227 kg.

### 5.2.2. ACTUADORES

Son dispositivos de salida y se encuentran dispuestos en el campo. Convierten la señal de control en otro tipo de energía que es generalmente un movimiento mecánico.

En el proceso bajo control, la acción que se tiene que llevar a cabo y el instante en que ésta debe realizarse, son factores que influyen en la clase de actuador que se ha de utilizar para determinada función dentro del sistema automático. Los tipos de actuadores que encontramos en la industria son de tres clases: neumáticos, hidráulicos y eléctricos, o la combinación de los mismos.

Los actuadores neumáticos son los más comunes. Estos actuadores emplean aire a presión para producir el movimiento mecánico.

Los actuadores hidráulicos, normalmente se utilizan en procesos donde se requiere más fuerza para mover determinado dispositivo. En comparación con los

actuadores neumáticos, los hidráulicos del mismo tamaño son mucho más poderosos. El movimiento mecánico lo produce la fuerza de un líquido a presión.

Los actuadores eléctricos, podemos encontrarlos en ambos casos, cuando se necesite mucha y cuando se necesite poca fuerza. Una de las ventajas de este tipo de actuadores es su facilidad de instalación y mantenimiento, ya que todas las plantas industriales poseen energía eléctrica y es relativamente sencillo realizar las instalaciones necesarias.

Los actuadores eléctricos seleccionados para el proyecto, utilizan una alimentación de 24Vas para accionar el servomotor que producirá un movimiento mecánico. Los servomecanismos, son sistemas que actúan en forma automática de acuerdo a una referencia. Un servomotor, posee un sistema electrónico en el cual se detecta el movimiento efectuado y luego lo compara con la señal de control que contiene el movimiento deseado. Finalmente, con el resultado de esta comparación, denominado error, el servomotor corrige la posición automáticamente, con lo que se puede controlar proporcional y linealmente el paso de vapor o de agua fría a través de la respectiva tubería, así como también la posición de los dampers guía a la entrada del soplador de aire.

#### 5.2.2.1. FLUJO DE VAPOR A LOS CALENTADORES

Para controlar el flujo de vapor hacia los calentadores, en los sistemas de las Cajas de Soplado, como de la unidad de acondicionamiento de aire de la sala de Embobinado, se emplea el actuador eléctrico Samson 5822 con acción a prueba de falla, que está diseñado para válvulas de control utilizadas en sistemas de calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire, proporcionando el modo de conexión mecánica *force-locking* a la válvula controladora de flujo de vapor.

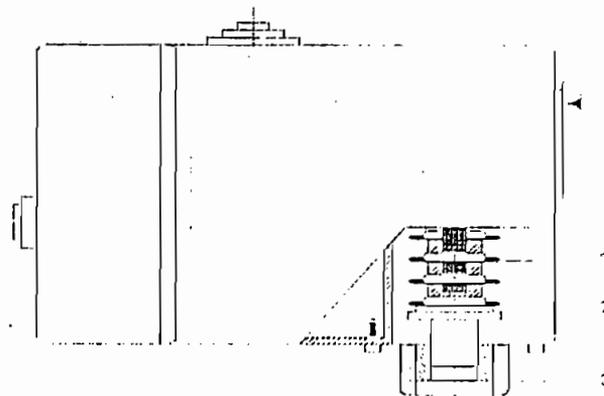
Este tipo de actuador es muy confiable ya que posee un motor sincrónico reversible, de imán permanente. El movimiento circular del motor es transmitido a la pieza que entra en el agujero del vástago de la válvula, a través de un mecanismo reductor. El actuador también incorpora la acción a prueba de falla, que consiste de un muelle y conectado como cerrojo de seguridad un electroimán. Siempre que se produce una falla en el voltaje de suministro o el circuito de control es interrumpido, el electroimán desacopla el embrague entre el mecanismo de reducción y el motor, y se libera el resorte.

La opción seleccionada trabaja con voltaje de alimentación de 24 V y frecuencia de 50 a 60 Hz. El equipamiento adicional que dispone es: dos interruptores de fin de carrera, un potenciómetro (0 a 1000 $\Omega$ ), y el dispositivo más importante el posicionador, que acepta señales de control 4 – 20 mA, 0 – 20 mA, 0 – 10 Vdc y otros rangos estándar. Este tipo de actuador no cuenta con un dispositivo mecánico para accionamiento manual.

El principio de funcionamiento es el siguiente:

El vástago del actuador (2) empuja al vástago de la válvula de control en la dirección de correspondiente al cerrado de la válvula. La dirección opuesta a este movimiento se da mediante el muelle de la válvula.

Cuando se alcanza el recorrido máximo, es decir, la posición final o cuando se bloquea la válvula, el motor se desconecta automáticamente por medio de los interruptores de impulso rotatorio. Además, tiene instalados dos interruptores de fin de carrera y son usados para señalar las posiciones tope en ambas direcciones.



1. Resorte o muelle para diseño force - locking.
2. Vástago del actuador.
3. Cabeza de unión.

Figura 5.17. Diagrama funcional del actuador eléctrico Samson 5822-60

Datos técnicos del actuador eléctrico:

Descripción	Actuador eléctrico tipo 5822-60 (force - locking)	
Accionamiento a prueba de falla	con	
Dirección de operación	Abrir	Cerrar
Recorrido	7.5mm	
Tiempo empleado para el recorrido	90 segundos	
Tiempo transcurrido en caso de falla	8 segundos	
Fuerza nominal	470 N	
Fuerza nominal del resorte de retorno	420 N	170 N
Conexión eléctrica	24 V, 50 o 60 Hz	
Potencia de consumo del motor	4 VA	
Temperatura ambiente permisible	0 a 50°C	
Temperatura de almacenamiento permisible	-20 a 70°C	
Temperatura del punto de conexión permisible	0 a 110°C	
Grado de protección	IP 42	
Peso	aproximadamente 1.5 Kg	
Equipamiento eléctrico adicional		
Interruptores de fin de carrera	Dos separados, se puede ajustar el límite de los contactos	
Carga permisible	Voltaje ac: 24 ó 250 V. 3A Voltaje dc: 24 V. 3A	

Potenciómetros	0 a 100Ω (aproximadamente 870Ω en el recorrido)
	Carga máxima permisible 0.5 W
Posicionador eléctrico	Únicamente suministro de 24Vac
Señal de control	4 – 20 mA, 0 – 20 mA, 0 – 10 Vdc
Operación a rangos intermedios	4...12 a 12...20 mA. 0...10 a 10...20 mA, 0...5 a 5..10 Vdc

Los accesorios eléctricos adicionales que dispone son: los dos interruptores de fin de carrera, que aseguran aún más el control del posicionador. Los discos de leva que pueden ser ajustados exteriormente. Un potenciómetro acoplado al mecanismo de reducción, que en un desplazamiento de 7.5 a 15 mm produce un cambio de resistencia desde 0 a 87% de su valor nominal.

El posicionador garantiza la correspondencia de la señal de control y la posición de la compuerta de la válvula. Este instrumento compara la señal de control estandarizada que envía el canal del respectivo módulo de salida desde PLC (4 – 20 mA) con el valor de salida del potenciómetro que es proporcional al desplazamiento y corrige la posición de acuerdo a la señal de error. El cero y el rango establecido de desplazamiento (apertura y cierre de la válvula) se ajustan de acuerdo a la señal de control, por consiguiente se pueden establecer rangos de operación que estén dentro del rango máximo.

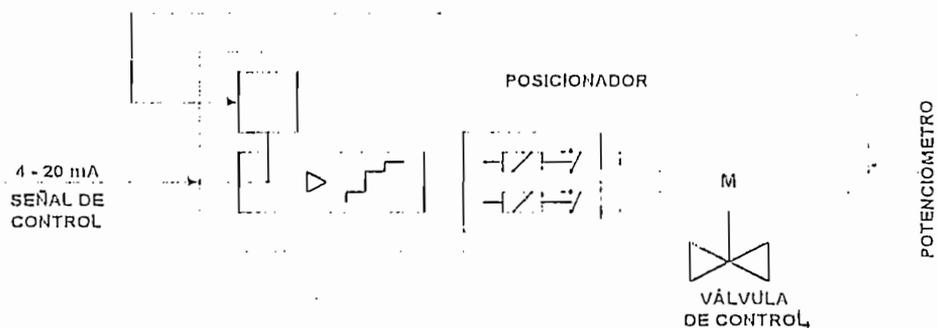
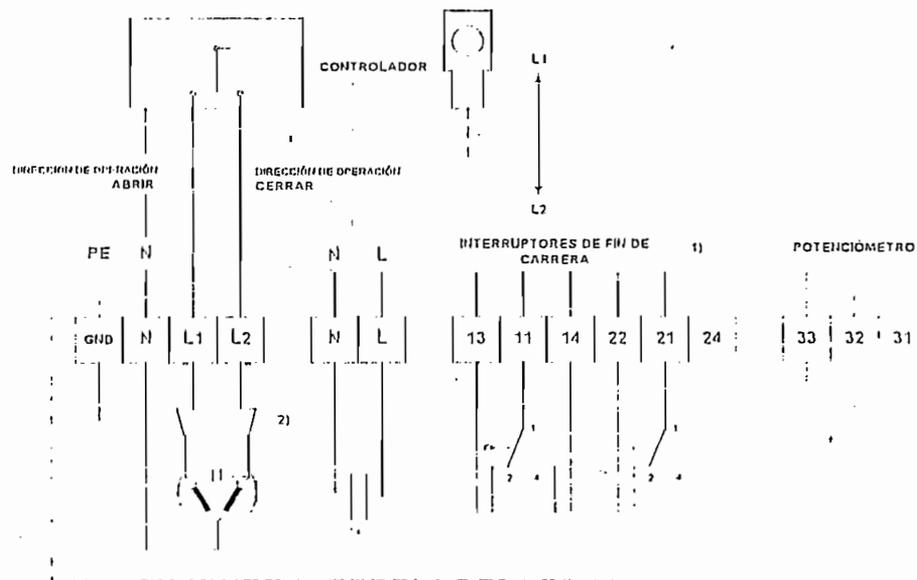


Figura 5.18. Diagrama funcional de la válvula de control

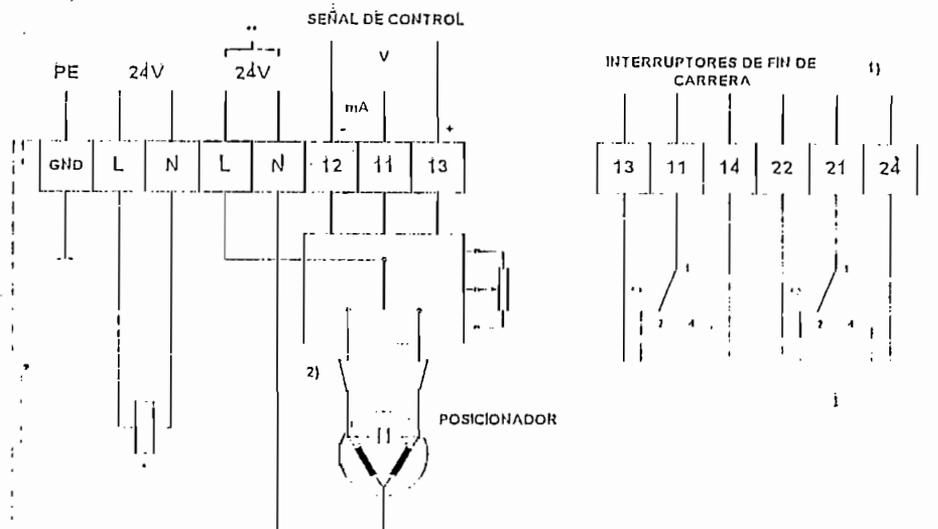
Las figuras 5.19 y 5.20 ilustran los diagramas de conexión tanto del actuador que no emplea posicionador como la del que sí lo hace. Para el primer caso las señales de salida del controlador están conectadas a los terminales L1 y L2, el motor del actuador mueve al vástago o a la barra conectada, en la operación ABRIR el vástago retrocede. En comparación, a la señal de control aplicada al terminal L1, el vástago o la barra en la operación CERRAR el vástago del actuador se extiende.



- \* Electroimán para conexión del circuito de cerrojo.
- 1) Interruptores de fin de carrera adicionales.
- 2) Interruptor de fin de carrera en el motor función - relación.

Figura 5.19. Diagrama de conexión del actuador Samson 5822 sin posicionador.

El diagrama de conexión que nos sirve de referencia es el de la figura 5.20, que incorpora el posicionador, la señal de control de  $I = 20 \text{ mA}$  es conectada a los terminales I1 y I2 respectivamente. La dirección de operación del posicionador es seleccionable.



\*\* Si el actuador está conectado y en servicio, los terminales N y L de la fuente de poder siempre deben estar conectados correctamente a los terminales N y L respectivos del actuador.

Figura 5. 20. Diagrama de conexión del actuador Samson 5822 con posicionador

#### 5.2.2.2. FLUJO DE AGUA HACIA LOS ENFRÍADORES

El control de flujo de agua fría en el proceso de acondicionamiento de aire para las cajas de Soplado F14\_F15 descrito anteriormente, se lo realiza empleando el actuador eléctrico lineal Samson 5802, el mismo que está diseñado como complemento ideal para el control de elementos utilizados en plantas industriales que requieren acondicionamiento de aire, está constituido de acuerdo a un ensamble modular y puede combinarse con un gran número de accesorios.

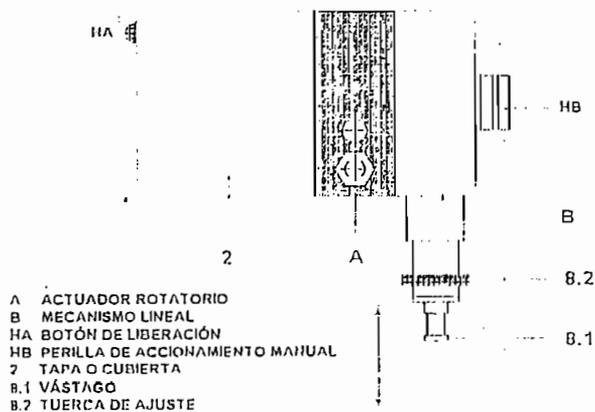
Las principales características son: alimentación de 24 Vac, y emplea un tiempo de 280 segundos para un desplazamiento nominal de 30mm.

Básicamente consiste de un actuador rotatorio y un mecanismo para transformar el movimiento circular en lineal, este tipo de actuador está especialmente diseñado para ser acoplado como complemento de una válvula de globo 3 vías, para tener un elemento denominado servoválvula.

La construcción modular del sistema se ilustra en la figura 5.21. El actuador rotativo (A) contiene un motor sincrónico de imán permanente, y una unidad adicional (mecanismo B), para convertirlo en un actuador lineal. Esta unidad está equipada con otras subunidades que contienen interruptores limitantes (S), potenciómetros (W) y relevadores (RE) en orden de disposición de acuerdo al tipo de control. Este dispositivo puede estar equipado con un máximo de 5 accesorios (posiciones 3 y 7).

El diseño mecánico del actuador permite acoplar perfectamente válvulas de control de dimensiones nominales DN15 a DN60. Para nuestro caso en particular se encuentra acoplado a una válvula DN50.

A ACTUADOR TIPO 5802  
MOVIMIENTO LINEAL Y PERILLA PARA OPERACIÓN MANUAL



- A ACTUADOR ROTATORIO
- B MECANISMO LINEAL
- HA BOTÓN DE LIBERACIÓN
- HB PERILLA DE ACCIONAMIENTO MANUAL
- 2 TAPA O CUBIERTA
- 8.1 VÁSTAGO
- 8.2 TUERCA DE AJUSTE

B DISPOSICIÓN DEL EQUIPO ADICIONAL



TABLA DE ACCESORIOS	
POSICIÓN	
7	S
6	S
5	S
4	S
3	S
2	CON INTERRUPTORES DE FIN DE CARRERA
1	CON INTERRUPTORES DE FIN DE CARRERA

C UNIDADES ELÉCTRICAS ADICIONALES

DESIGNACIÓN DIAGRAMA DE CONEXIONES

S INTERRUPTORES DE FIN DE CARRERA

W POTENCIÓMETRO

UNIDAD RELEVADORA CON UN RELEVADOR

RE UNIDAD RELEVADORA CON DOS RELEVADORES

Figura 5.21. Actuador eléctrico Samson 5802.

Para efectuar eficientemente el control de flujo, el actuador dispone de los siguientes accesorios: interruptores de fin de carrera que generan una señal de alarma siempre que se alcance el límite establecido para el recorrido, potenciómetros de realimentación en rangos de 0 a  $100\Omega$  ó 0 a  $1K\Omega$ , una resistencia de calefacción para evitar la formación de condensado, una unidad de relevador equipada con 1 ó 2 relevadores provistos de contactos de doble disparo que son utilizados principalmente para multiplicar los contactos de los interruptores de fin de carrera, y el elemento más importante un posicionador eléctrico para señales de control estándares de  $4 - 20\text{ mA}$ ,  $0 - 20\text{ mA}$ ,  $0 - 10\text{ V}$ , etc.

Los datos técnicos del actuador en mención, se presentan en el siguiente recuadro:

Descripción	Actuador eléctrico lineal tipo 5802
Tiempo empleado para el recorrido nominal	280 segundos
Fuerza nominal	1800 N
Conexión eléctrica	24 V, 50 ó 60 Hz
Consumo de potencia del motor	5 VA
Temperatura ambiente permisible	0 a $50^{\circ}\text{C}$
Grado de protección	IP 54 de acuerdo a DIN 40 050
Equipamiento eléctrico adicional	
Interruptores de fin de carrera	Carga permisible: 250V, 50 Hz, 10 A con carga resistiva
Potenciómetros	Resistencia: 0 a $100\Omega$ ó 0 a $1000\Omega$ Versión especial: 150, 200, 1500, 30-50-30, 10-100-10 $\Omega$ Carga máxima 2W
Relevadores	Bobina de 24V, 50 ó 60 Hz
Carga permisible en los contactos	Con 220V, 50Hz: 3A con carga resistiva, con 220Vdc: 0.2A
Resistencia de calefacción	220V, 50Hz, consumo de potencia, aproximadamente 3W

Posicionador eléctrico	Únicamente suministro de 24Vac y con potenciómetro versión 0 a 1000Ω
Señal de control	4 – 20 mA, 0 – 20 mA, 0 – 10 Vdc
Operación a rangos intermedios	4...12 a 12...20 mA. 0...10 a 10...20 mA, 0...5 a 5...10Vdc

Las señales de control pueden ser conectadas a los terminales 1 y 2. Si el voltaje es aplicado al terminal 1, el motor rota en sentido negativo (-) por ejemplo cerrando. Con la señal de voltaje aplicada al terminal 2, el motor gira en sentido positivo (+), es decir abriendo.

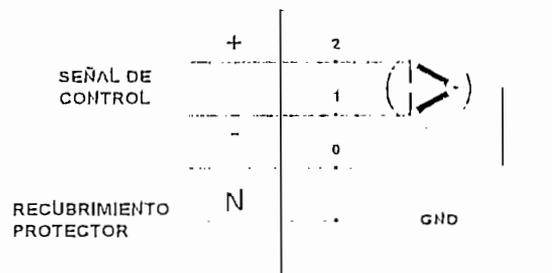


Figura 5. 22. Conexión eléctrica del actuador Samson 5802.

En tanto que, para el control del flujo de agua fría en los dos sistemas restantes, por estar en buenas condiciones de funcionamiento, se conservan las válvulas del sistema neumático original. En tal situación, la válvula es accionada por una presión neumática controlada por el convertidor de corriente a presión Samson I3-P1.

El modo de operación del transductor se sintetiza en el diagrama funcional de bloques de la figura 5.23.

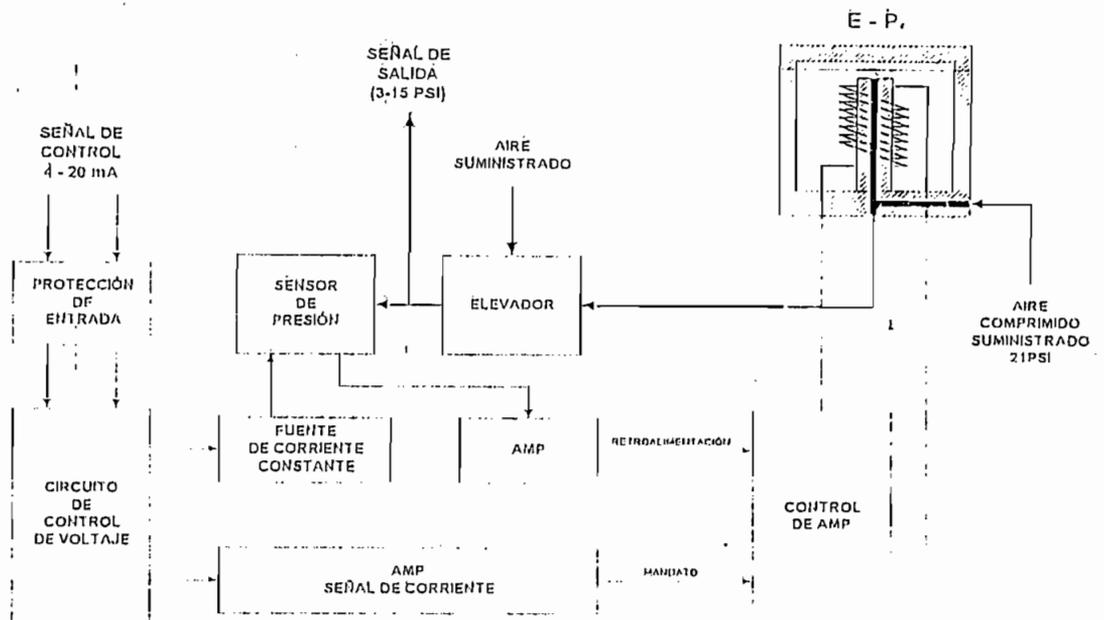


Figura 5.23. Diagrama funcional de bloques del transductor Samson E-Pi

La conversión eléctrica a neumática para controlar la válvula de control, se efectúa en la válvula "E-Pi". El acondicionamiento de la señal de entrada (4 - 20 mA) proporciona la corriente eléctrica a la bobina de "E-Pi". Esto produce el campo magnético que magnetiza la válvula, la magnetización es proporcional a la señal de corriente de entrada y posiciona la membrana/botón relativa al alojamiento de la válvula. La salida neumática (contra presión) es de este modo modulada de acuerdo a la corriente de entrada.

Un acondicionamiento adicional de la salida neumática se lleva a cabo en un elevador de volumen. Para garantizar que la señal neumática final a la salida del elevador sea precisa, se mide esta presión con un sensor, al mismo tiempo que proporciona la señal de realimentación para ser comparada con la corriente de la "E-Pi", de este modo se mantiene constante la relación lineal entre la señal de corriente entrada de 4 - 20 mA y la salida neumática.

La salida neumática de 3 a 15 PSI se aplica a la cámara del diafragma localizada encima del diafragma de la válvula de control. Esto ejerce una fuerza hacia abajo sobre el vástago, con lo cual se abre la válvula por el aumento de la presión del aire aplicada a su diafragma, a medida que el vástago se mueve hacia abajo, hace que el resorte de retorno ejerza una contrafuerza. Por tanto, la posición final del vástago de la válvula de control y por ende de la abertura misma de la válvula está determinada por la señal eléctrica de control (corriente 4 – 20 mA enviada por el PLC) al electroimán de “E-PI”.

Las especificaciones del transductor son las siguientes:

Descripción	Transductor de corriente a presión I/P Samson E-Pi
Entrada	4 – 20 mA
Salida	3 – 15 PSI
Precisión	$\pm 0.15\%$ del span de salida (3 – 15 PSI)
Repetibilidad	$\pm 0.05\%$ del span
Banda muerta	0.02% del span
Estabilidad/Reproducibilidad	0.5% del span/6 meses
Presión de posición	Medible con un manómetro opcional (rosca 0.25 in)
Vibración	< 0.25% desde 1 – 200 Hz/g
Respuesta en frecuencia	-3dB a 5 Hz
Resistencia de lazo	195 $\Omega$ máximo, a 20 mA
Corriente de operación	Rango máximo de 3.7 – 200 mA continuo a 50°C, 70 A último ciclo 1/120 segundos a 20°C
Presión suministrada	Recomendado 20 $\pm$ 2 PSI
Efecto de presión de entrada recomendable	No mensurable, se debe suministrar lo recomendable
Temperatura de operación	-40 a 66°C
Efecto de temperatura	$\pm 0.02\%/^{\circ}\text{C}$ del span (rango de -40 a 66°C)
Peso	aproximadamente 1.2 Kg

## 5.2.2.3. FLUJO DE VAPOR A LOS HUMIDIFICADORES

Los sistemas de humidificación por vapor Condair Esco de las unidades manejadoras de aire, vienen con un actuador eléctrico rotacional Condair CA 150, especialmente diseñado para estos sistemas. Está construido de metal, en su interior incorpora un resorte de retorno para casos de emergencia. Adicionalmente, tiene un interruptor de ajuste auxiliar, y puede ser utilizado para la rotación manual del actuador desde 5 y 25 a 80° respectivamente.

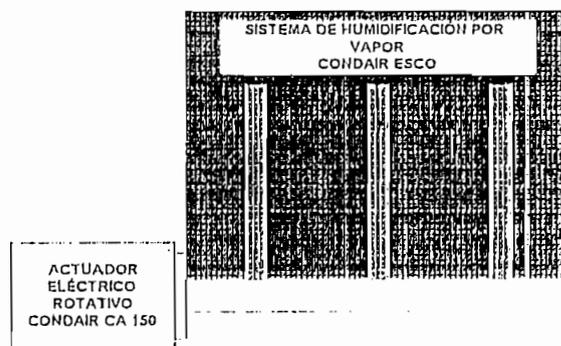


Figura 5.24. Acoplamiento del actuador Condair CA 150 al sistema de humidificación

Las especificaciones técnicas del actuador son las siguientes:

Descripción	Actuador eléctrico rotativo Condair CA 150
Suministro de voltaje	24 V / 50 ó 60 Hz / Consumo de potencia 10 VA
Señal de control Y:	Y1: 0 – 10 Vdc / Y2: 0 – 20 Vdc fase partida
Impedancia de entrada	Y1: 100 k $\Omega$ (0.1mA) / Y2: 8 k $\Omega$ (50 mW)
Rango de operación	Y1: 2 – 10 Vdc / Y2: 2 – 10 Vdc fase partida
Voltaje de medición U	2 – 10 Vdc (máximo 0.5 mA)
Torque / tiempo de recorrido	15 Nm / molor: 150 segundos, resorte de retorno: 16s
Clase de protección / sistema de protección	III (sobre voltaje) / CE / IP 42 (punto de prueba)
Indicador de posición	Mecánico
Máxima temperatura permisible del vapor	152°C
Temperatura ambiente	-30 – 50°C
Humedad ambiente	Clase D de acuerdo a DIN 40040
Peso	2.7 kg.

En tanto que el diagrama de la bornera de conexión eléctrica del actuador rotativo Condair CA 150 es el siguiente:

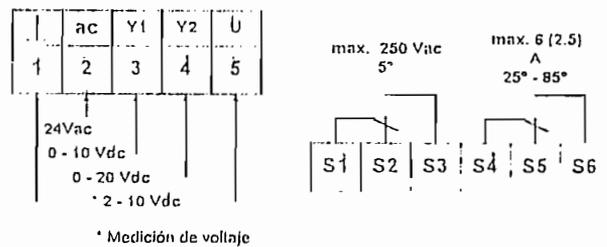


Figura 5.25. Diagrama de conexión del actuador eléctrico rotativo CA 150

#### 5.2.2.4. POSICIÓN DE LOS DAMPERS

Para controlar la posición de los dampers a la entrada del soplador, se emplea el controlador electrohidráulico Samson 3274, el cual está manejado por un controlador eléctrico, con señal de control enviada desde el respectivo módulo del PLC. También puede ser utilizado para operar válvulas, pero debido a que este tipo de actuador produce empujes arriba de 7300N y recorridos nominales entre 15 y 30 mm, preferiblemente sirve como posicionador.

Este tipo de actuador tiene una razón de posicionamiento constante, cuenta con válvulas piloto operadas por el controlador mediante la señal de control, regulando el flujo de aceite que acciona el pistón.

El actuador está provisto con un sistema a prueba de falla, que consiste de un mecanismo de resorte y una válvula solenoide adicional que se abre cuando la fuente de poder es interrumpida, este sistema reduce la presión del aceite en el compartimento correspondiente del cilindro. El resorte extiende o recoge el vástago, la dirección de operación (“abrir” ó “cerrar”) depende de la disposición mecánica del resorte.

La operación es confiable principalmente por la presencia de un interruptor que se cierra cuando alcanza la posición final, o también se acciona cuando se

produce una sobrecarga. Además cuenta con un posicionador y un potenciómetro para realimentación.

La bomba de alimentación de aceite es operada por un motor de polos separados que es accionado por un relevador integrado en el motor final y directamente conectado desde la fuente de poder.

Partiendo de la caja de cilindro 2 (figura 5.26), el cilindro (5.1), y el pistón (5.1), el cuerpo del actuador a prueba de presión (1), que también sirve como reservorio de aceite, contiene el motor (6.1), el mecanismo de la bomba (6.2), y las válvulas solenoide piloto (6.4). El cableado eléctrico del interior es a prueba de presión del aceite y son guiadas desde la caja terminal (3) del cuerpo del actuador.

El mecanismo de la bomba (6.2) que es operado por el motor (6.1) entrega el aceite por la vía de la válvula check (6.3) y por la correspondiente válvula piloto (6.4) a los compartimentos del cilindro. Las válvulas solenoide permanecen abiertas proporcionalmente a la señal de control generada y cerradas cuando la fuente de poder es interrumpida. El actuador está equipado por fuera con dos resortes de compresión (5.10, 5.11). La posición deseada del actuador y la fuerza que se obtiene, depende de la bomba, el motor y los resortes.

Cuando se alcanza el desplazamiento o recorrido máximo o cuando la fuerza nominal es excedida el motor se apaga automáticamente por medio del interruptor de fin de carrera (4.3 ó 4.4), dando protección ante eventuales fuerzas externas que incidán sobre el actuador.

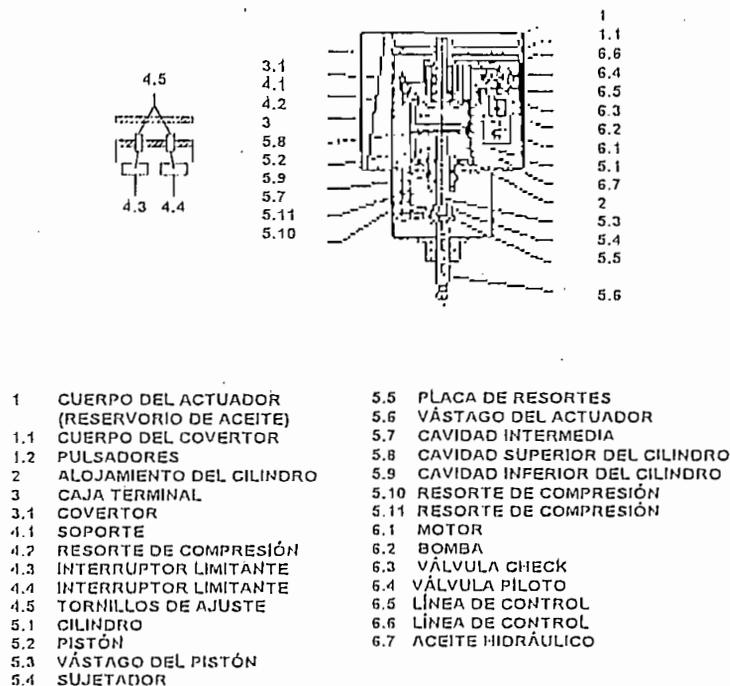


Figura 5.26. Diagrama funcional del actuador 3274

El actuador también viene equipado, con un sistema eléctrico de accionamiento manual, que consiste de dos pulsadores ubicados en la tapa (3.1) de la caja terminal (3), manipulando estos dos pulsadores el posicionador puede moverse a cualquier posición, sin hacer caso de la señal de control enviada por el PLC.

Cuando se deja de manipular los pulsadores, el actuador opera normalmente de acuerdo a la señal de control del PLC. Este sistema de accionamiento manual puede ser deshabilitado, desconectando el terminal S1 (figura 5.27 y 5.28).

Todo el equipamiento eléctrico adicional está situado al interior de la caja terminal (3) y puede accederse al él retirando la tapa (3.1). El cuerpo de la cubierta (1.1) está asegurado con tornillos especiales y nunca debe ser abierto. Los interruptores de fin de carrera y el potenciómetro de realimentación operan de

acuerdo al recorrido del vástago del actuador, los elementos eléctricos adicionales permiten el funcionamiento automático del actuador.

La parte fundamental del actuador lo constituye el posicionador eléctrico que compara la señal de control generada en el respectivo módulo de salida del PLC (4 – 20 mA) con el valor que realimenta el potenciómetro, este valor es proporcional al recorrido del vástago del actuador.

Para la operación dentro de los rangos estándares y rangos intermedios, el cero y el span pueden ser ajustados de acuerdo al recorrido y señal de control requeridos. La dirección de operación aumentando – aumentando, disminuyendo – aumentando pueden ser preestablecidas mediante microinterruptores.

También el posicionador cuenta con una salida para realimentación de su posición utilizando un transmisor de posición eléctrico opcional, es decir, puede estar provisto de un transmisor eléctrico de la posición del vástago del pistón.

El equipamiento máximo en cuanto a interruptores de fin de carrera, es de máximo 3, los cuales pueden ir colocados en los discos de leva.

El actuador preferiblemente debe ser montado en forma vertical.

Las figuras 5.27 y 5.28 ilustran las opciones de conexión eléctrica dependiendo de los accesorios eléctricos adicionales, conectados a los terminales de los actuadores. Los interruptores de fin de carrera físicamente son dos terminales de tornillo, están directamente conectados al controlador y no por medio de bloque de terminales.

La tolerancia del voltaje permisible es de  $\pm 10\%$  que se debe mantener constante especialmente en este tipo de actuador con 24 V, 50 – 60 Hz instalando líneas cuyas secciones cruzadas sean lo suficientemente largas.

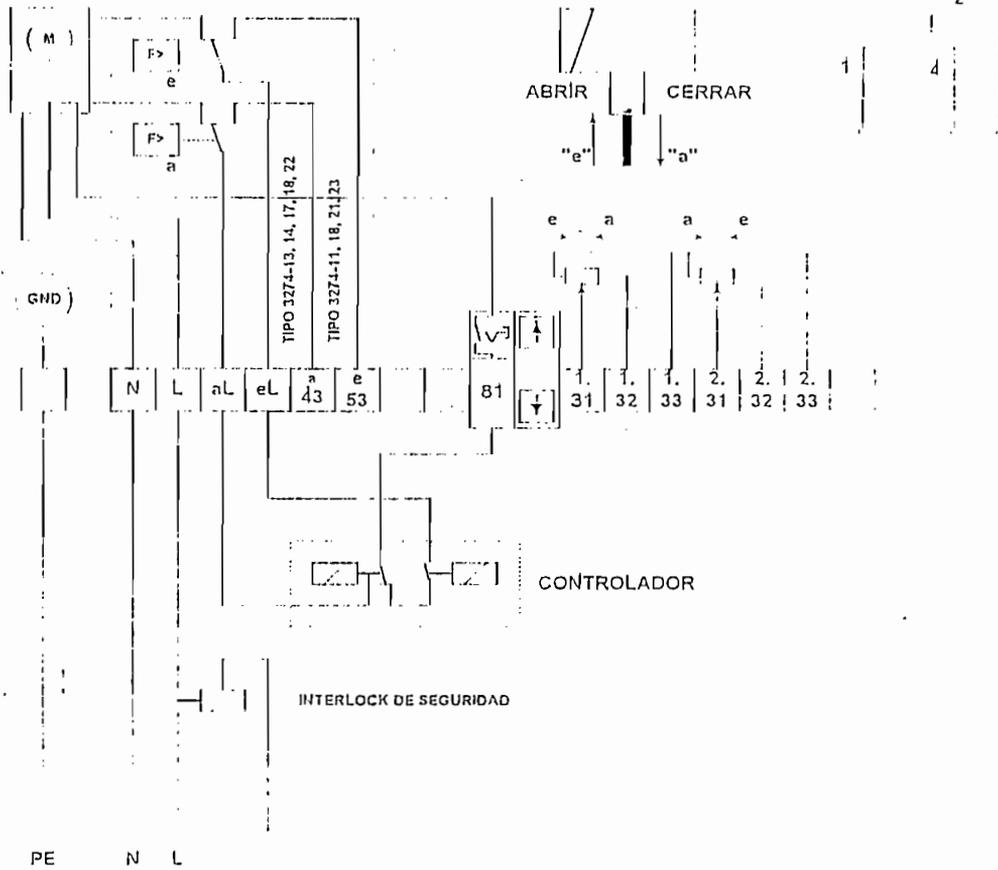


Figura 5.27. Diagrama de conexión para actuador Samson 3274 sin posicionador.

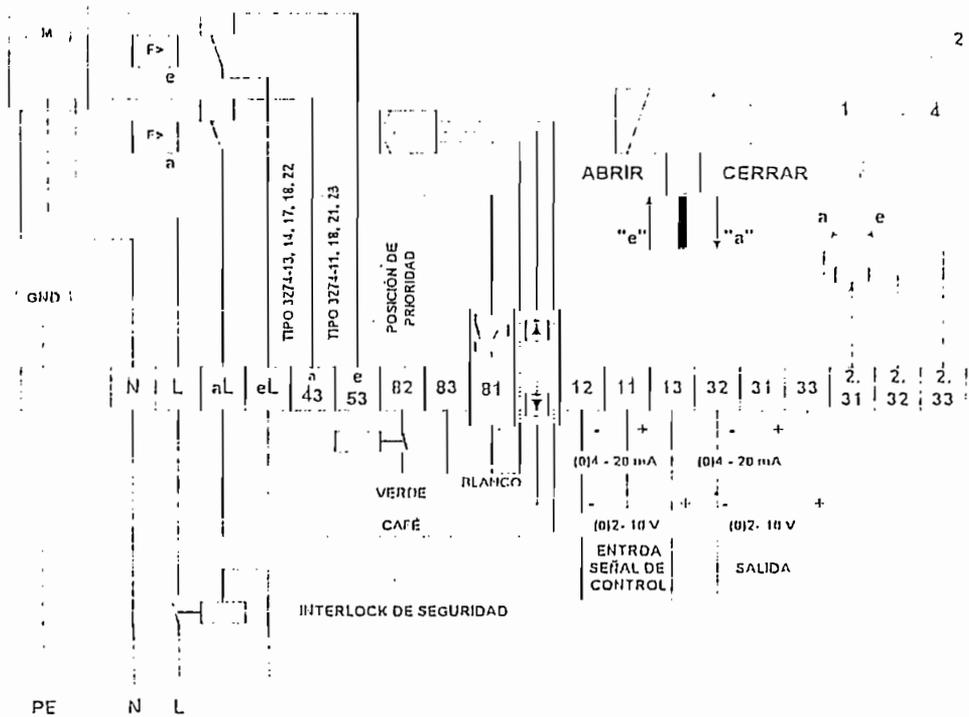


Figura 5.28. Diagrama de conexión para actuador Samson 3274 con posicionador.

## Datos técnicos:

Descripción	Actuador electrohidráulico lineal tipo 3274
Versión	Con mecanismo eléctrico para operación manual
Dispositivo de seguridad	Con
Dirección de operación	Cerrar (recogerse)
Recorrido nominal	30 mm
Tiempo empleado para el recorrido nominal	120 segundos
Velocidad del dispositivo de seguridad	0.7 mm/s
Fuerza nominal	
Extender	2100 N
Recoger	1800 N
Conexión eléctrica	24 Vac
Consumo de potencia del motor	8 VA
Temperatura ambiente permisible	-10 a 50°C
Temperatura de almacenamiento permisible	-25 a 70°C
Grado de protección	IP 65
Peso	12Kg
Equipamiento eléctrico adicional	
Posicionador eléctrico	Suministro de voltaje 24Vac
Señal de control	4 – 20 mA, 0 – 20 mA, 0 – 10 Vdc
Transporte nulo	0...100%
Cambio de rango	30...100%
Salida	4(0)...20 mA, $R < 200\Omega$ ; 0(2)...10V, $R \geq 2\text{ k}\Omega$
Potenciómetro	0...100 $\Omega$ , (0...80 $\Omega$ para el recorrido nominal); Carga permisible 0.5 W
Interruptores fin de carrera eléctricos	Máximo tres contactos separados ajustables
Carga permisible	250 Vac, 5 A
Interruptores fin de carrera inductivos	Tipo SJ 2 - N
Circuito de control	De acuerdo al relevador conectado

## 5.2.2.5. MOTOR ACOPLADO AL SOPLADOR

Para controlar el flujo volumétrico de aire en el ducto de distribución de la unidad F1\_1-F2\_1-F3, y consecuentemente la presión estática, se controla la

velocidad del motor del soplador mediante un variador de velocidad trifásico Magnetek GPD 505.

Cabe señalar que la explicación detallada del funcionamiento de este dispositivo, constituye una explicación que cae fuera de los objetivos de este trabajo, pero el interesado puede encontrar la información completa en el manual técnico, listado en la bibliografía.

Lo importante es destacar que este variador de velocidad ha sido programado, utilizando el teclado digital de programación que dispone para ingresar los parámetros tanto del motor a controlar, como del modo para hacerlo. Para que trabaje conforme a las características eléctricas del motor y a la señal de control que envía el respectivo módulo del PLC (señal de control 4 – 20 mA). Es decir la velocidad del motor está controlada de forma proporcional a la señal de control.

### 5.3. SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN DEL PLC

Para programar un PLC es necesario disponer de un PC y de un software especial que depende de la marca y el modelo del mismo, o bien de un programador manual, es decir, de un dispositivo similar a una calculadora que se puede adquirir con el PLC. La conexión física del PC al PLC se describirá en el Capítulo de Comunicaciones.

Corresponde tratar a continuación el software de programación Concept 2.0. No se pretende dar un curso completo del programa, pero sí, presentar una descripción de los aspectos más importantes para la programación del PLC.

Concept, es una aplicación integrada a un ambiente Windows y un conjunto de herramientas para el desarrollo rápido y efectivo de programas para múltiples e innumerables tareas involucradas en la ciencia de la automatización y control industrial, utilizando lenguajes de programación bajo la norma IEC 1131. Lo que en términos generales quiere decir que tiene la capacidad de proporcionar la elección de editores dotados de herramientas óptimas para la aplicación, usar funciones ya disponibles disminuyendo el tiempo de desarrollo de los programas y simplificar la estructura del programa reduciendo el tiempo de prueba y depuración.

Concept está diseñado para trabajar con un ambiente windows siendo una aplicación de manejo sencillo, y versátil e incorporando funciones comunes tales como: cortar, copiar y pegar; técnicas de ventana; herramientas de acercamiento y alejamiento; barra de herramientas, e iconos. Todo esto mediante el fácil manejo del mouse. La función de ayuda en línea, se ha desarrollado con gran cuidado de manera tal que ofrece un soporte en cualquier situación durante el desarrollo del programa con un simple *click* del mouse o presionando la tecla F1. Usar las

herramientas estándares de programación bajo la norma IEC-1131, implica la disponibilidad de trabajar con los lenguajes de programación siguientes:

- Diagrama de escalera LD.
- Carta de Función Secuencial SFC.
- Diagrama de Bloques de Función FBD.
- Texto Estructurado ST.
- Lista de Instrucciones IL.

Complementadas con herramientas opcionales NO IEC, como lo son:

- Lógica en escalera 984.
- Herramientas para generar librerías de bloques en CFC.
- Herramientas para edición, comunicación, configuración y diagnóstico.

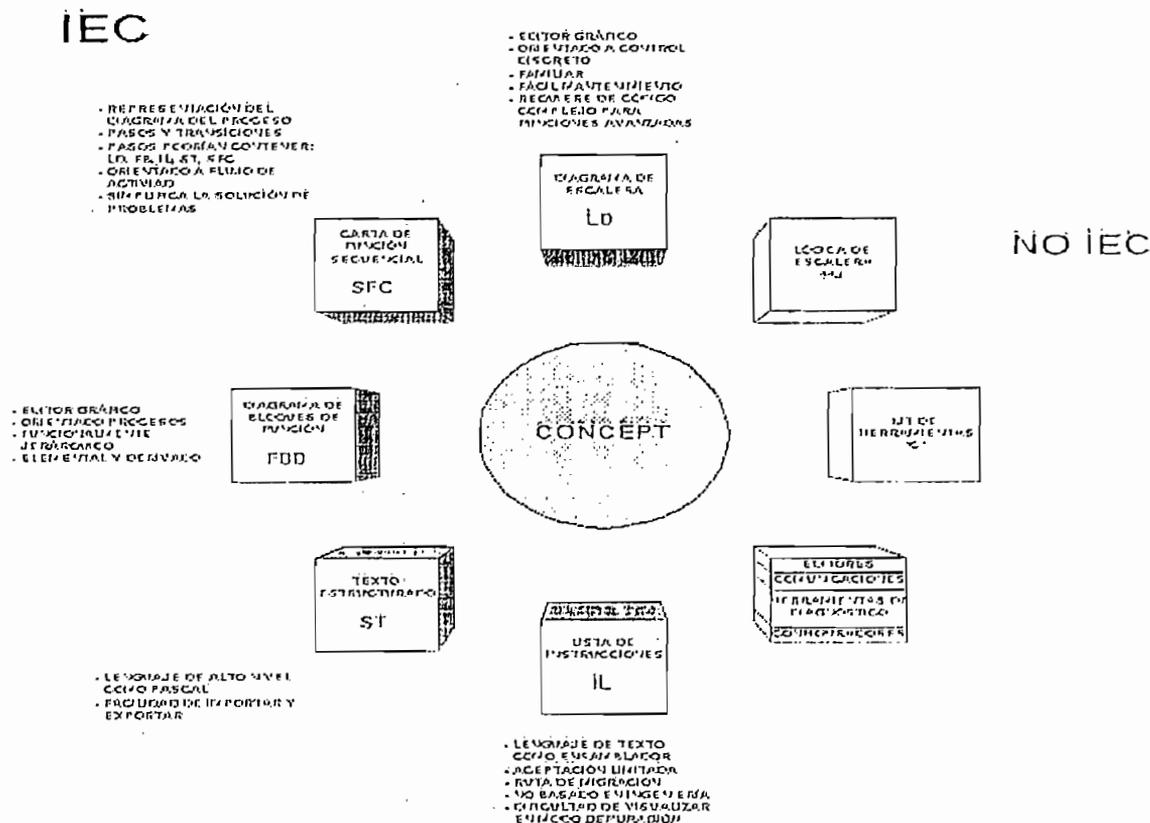


Figura 5.29. Herramientas de Concept.

Los lenguajes de programación, permiten el monitoreo en línea:

- Monitorear el flujo de poder en LLD.
- Monitorear el flujo de actividad en SIC.
- Monitorear el flujo de datos en FBD.
- Monitorear las variables del proceso.
- “Mirar dentro” de los bloques de función derivados.
- Supervisión de errores de ejecución.
- Actualizar los cambios con un respaldo en línea.
- Verificar el estado del controlador.
- Supervisión de los tiempos de aprendizaje.
- Recuperar y cargar 984 LL (Ladder Logic).

En resumen:

- Estandarización, familiaridad y reducción de costos y mantenimiento.
- Más que sólo editores IEC. Permite seleccionar el método óptimo de Programación.
- Integrado. Elimina la duplicación de esfuerzo.
- Ingeniería de control distribuida. Simplifica el desarrollo de aplicaciones complejas.
- Simulador integrado. Para pruebas y puesta a punto del programa sin PLC's.

Concept también cuenta con un sistema de seguridad, para 128 usuarios para diferentes derechos de acceso con nombre y clave individuales, que lo protegen contra accesos no autorizados. Los niveles de acceso comprenden:

1. Solamente lectura (read only).
2. *Plus* Cambio de dato (change data).
3. *Plus* Actualización (download).
4. *Plus* Cambio de programa (change program).
5. *Plus* Cambio de configuración (change configuration)
6. *Plus* Herramientas (DLB, Converter).
7. *Plus* Supervisor.

Particularmente el software adquirido para la programación del PLC es el Concept Basic II, con disponibilidad de programar en los lenguajes SFC, LD e IL. Para el desarrollo del programa se ha optado por el modo de programación en el lenguaje LD por su facilidad de operar y su uso común dentro proyectos de automatización basados en PLC's Modicon.

### 5.3.1. ESTRUCTURA DE PROGRAMACIÓN

La estructura del programa se denomina Proyecto. Un Proyecto representa el programa para el proceso completo, que ha de ser controlado por la CPU. Incluye archivos del programa, la configuración, bases de datos locales y globales.

El Proyecto puede estar dividido hasta en 32000 secciones. Siendo cada sección como el capítulo de un libro, esto permite la estructuración del Proyecto. Una sección puede ser usada para monitorear el estado del proceso en modo ON LINE. Cada sección puede ser habilitada o deshabilitada y también se puede definir el orden de ejecución de las secciones y bloques de funciones.

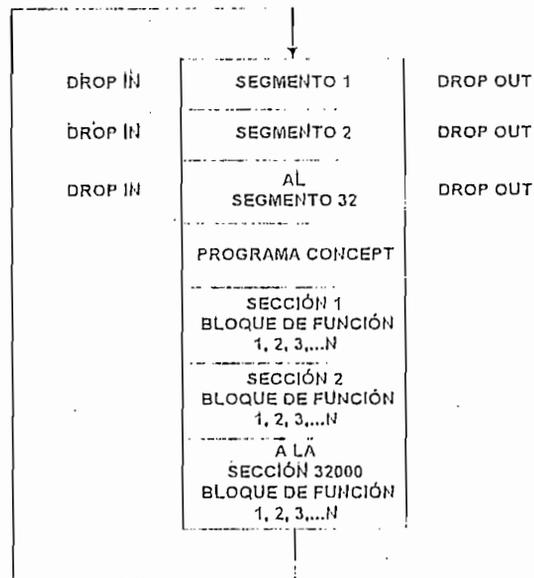


Figura 5.30. Ciclo de ejecución de un programa en Concept

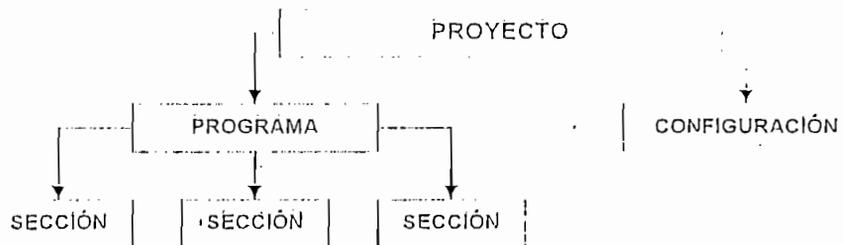


Figura 5.31. Estructura de un programa en Concept.

La estructura lógica del programa, es decir subdividirlo en secciones, permite que cada sección pueda ser mostrada por separado para su posterior revisión o imprimirlo en páginas individuales para la documentación. Cada sección puede ser identificada claramente por su nombre y su comentario respectivo.

### 5.3.2. CREACIÓN DE UN PROGRAMA EN CONCEPT

Para acceder a Concept previamente instalado en su PC, se selecciona Concept del respectivo grupo e inmediatamente se presenta la pantalla de inicio del programa:

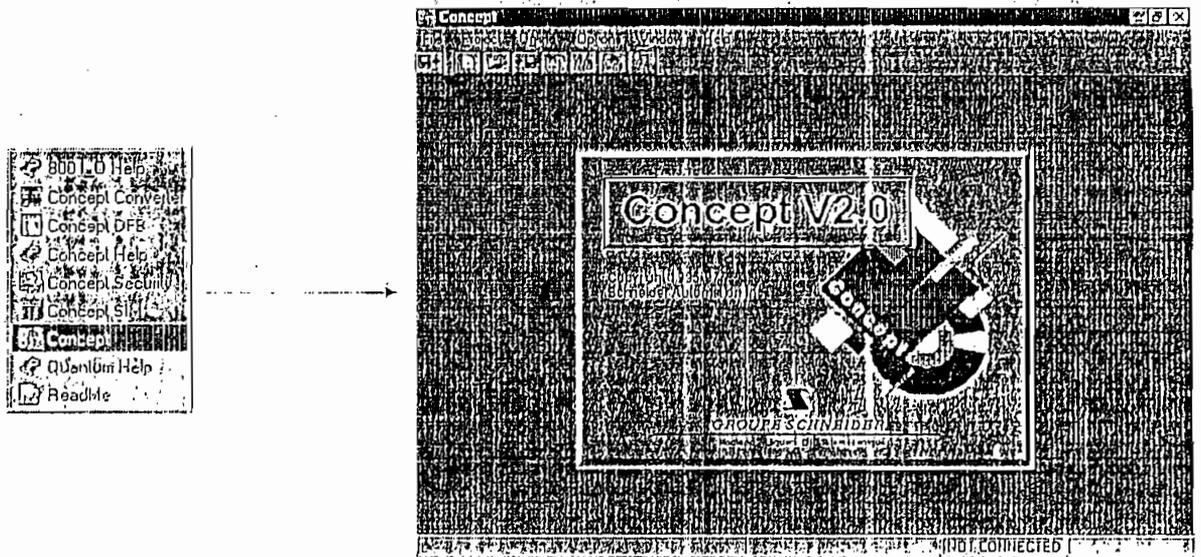


Figura 5.32. El grupo de programa Concept.

Una vez en Concept, para la creación de un programa se debe seguir los pasos descritos en el siguiente diagrama de bloques respetando la jerarquía de ejecución:

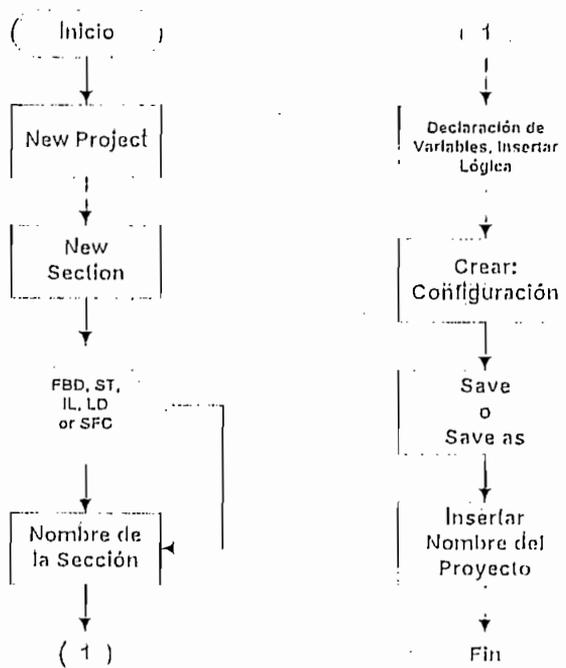


Figura 5.33. Estructura jerárquica de un programa en Concept

Para programar un PLC Modicon Quantum, es necesario realizar primero la configuración antes de establecer la comunicación y cargar el programa de

control, entonces usamos el PLC – Configurador del Concept, una vez en este archivo debemos saber que tipo de CPU es el que configuraremos ya que para cada tipo se debe cargar archivos propios denominados *Cargables (elementos del programa)*, estos archivos conforman las posibilidades con las que va a trabajar el CPU, además de ser usados para el intercambio de datos de acuerdo con el lenguaje de programación, en nuestro caso con el lenguaje genérico HEC. Todos los archivos cargables están disponibles en un archivo.DAT. En la Tabla 5.5 se presenta una guía del tipo de configuración que se puede realizar. La del tipo *stripped* es aquella configuración en la que se ofrece una mayor cantidad de memoria para la programación.

Tabla 5.5.

CPU – Tipo	Memoria	Cargable "Normal Exec"	Cargable "Stripped Exec"	Lógica RAM Max. palabras
113 02	256kB	-	120kB	8k
113 03	512kB	130kB	379kB	16k
213 04	768kB	140kB	-	32k o 64k
213 04	768kB	300kB	619kB	48k o 32k
424 02	2MB	465kB	-	64k

Nota: En el PLC - Configurador, el CPU - Type se identifica con una S añadida cuando es del tipo Stripped.

Para realizar la configuración arrancamos el archivo LOADER.EXE (C:\Concept\Dat\), seguidamente se nos muestra la pantalla siguiente:

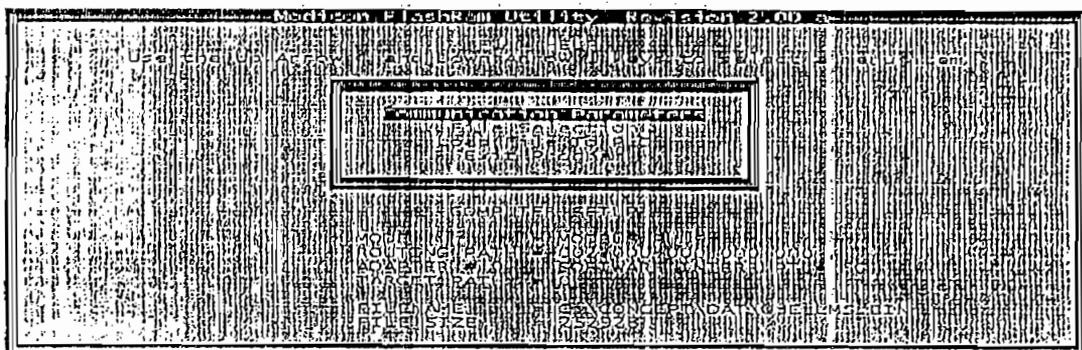


Figura 5.34. Pantalla del configurador Loader

Los parámetros que debemos seleccionar en las diferentes opciones del menú principal del configurador, son los que se indican a continuación, correspondientes al módulo Modicon 140 CPU 113 02S.

#### PÁRAMETROS DE CONFIGURACIÓN

- Mode: Modbus Plus
- Routing Path: (Dirección del nodo: CPU: 02)
- Adapter # 0 Software Interrupt: 5C
- Target Path: 0

#### ELECCIÓN DEL ARCHIVO A CARGAR

- CPU\_LMS.BIN para un normal EXEC.
- @3E\_LMS.BIN Stripped Exec para CPU sin procesador matemático (140 CPU 113 02S).
- @37\_LMS.BIN Stripped Exec para CPU con procesador matemático.
- LMS\_882.BIN Para CPU del tipo 424 02.
- CARGAR EL ARCHIVO AL CPU
- CARGA COMPLETA (SUCCESSFUL, THEN .....)
- SALIR DEL PROGRAMA
- INICIAR CONCEPT, PLC CONFIGURADOR

Posteriormente para crear la configuración, en el caso de que se disponga del PLC físico podemos conectarnos y trabajar directamente con él, si no disponemos trabajamos con el simulador. Para cualquiera de los dos casos los pasos a seguir son los siguientes:

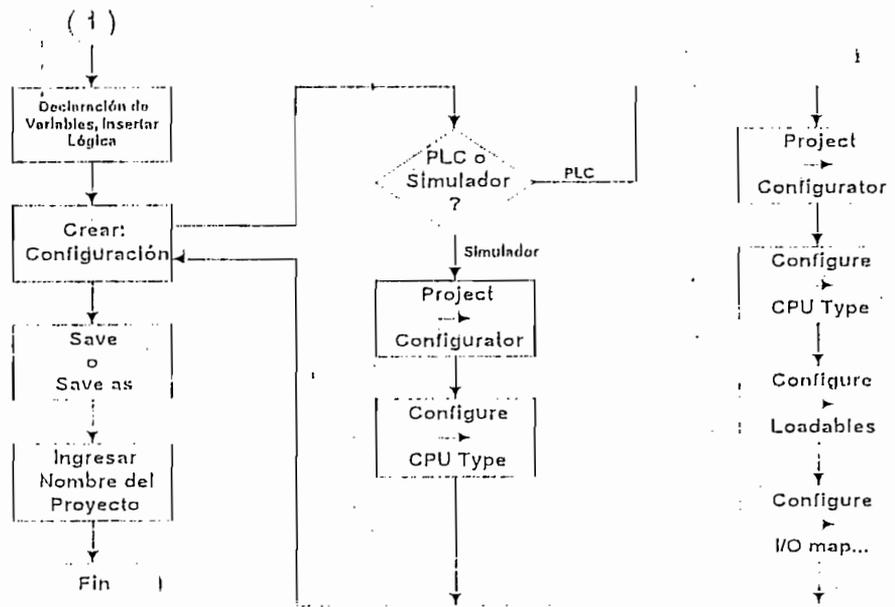


Figura 5.35. Diagrama de flujo para la configuración del PLC

La configuración del PLC es la que se muestra en la figura 5.36. Para cargar la configuración y el programa al CPU del PLC debemos conectarnos mediante el protocolo de comunicación Modbus o Modbus Plus al nodo que corresponda el CPU (nodo 2), la pantalla para la conexión es la que se muestra en la figura 5.37.

**concept (CAISOP) - (PLC Configuration)**

File Configure Project Online Options Window Help

PLC

Type:	140 CPU 113 02S	Full Logic Area:	6949
Exec Id:	872	Extended Memory:	—
Memory Size:	8K		

Ranges		Loadables	
Coils:	0:00001 - 0:01536	Number installed:	1
Discrete Inputs:	1:00001 - 1:00512		
Input Registers:	3:00001 - 3:00040		
Holding Registers:	4:00001 - 4:01872		

Specials		Segment Scheduler	
Battery Coil:	0:00100	Segments:	32
Timer Register:	4:01700		
Time of Day:	4:01710 - 4:01717		

Figura 5.36. Pantalla de configuración del PLC

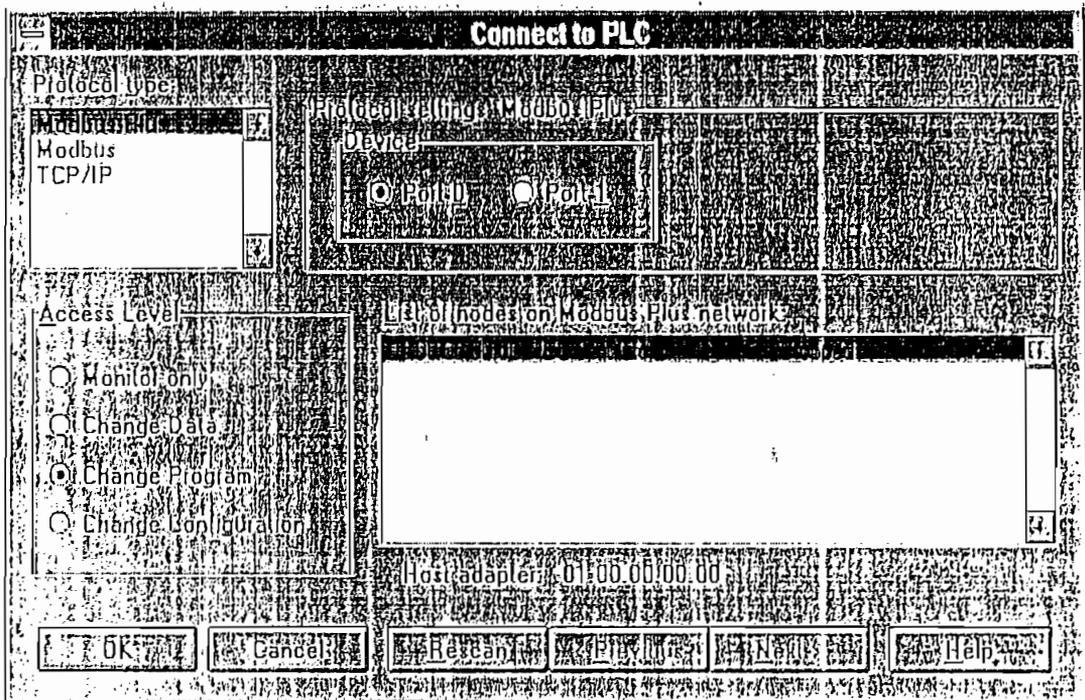


Figura 5.37. Pantalla de conexión al PLC.

Para cargar la configuración al PLC únicamente se realiza si el nivel de acceso del programador lo permite, en caso de permitirlo la comunicación se puede realizar por cualquiera de los dos puertos disponibles MB o MB+ siguiendo los siguientes pasos:

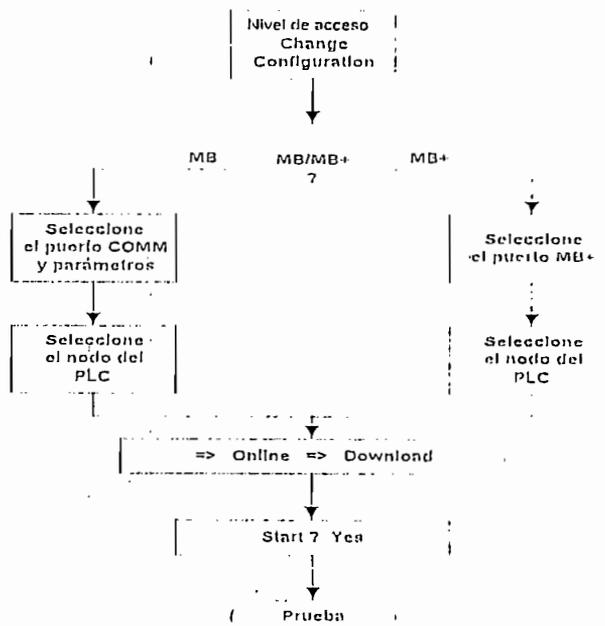


Figura 5.38. Diagrama de flujo para cargar e iniciar un programa

Para probar un programa podemos conectarnos al PLC y en línea observar el funcionamiento de las secciones que se desee, animar la sección completa, parte de la sección o animar únicamente las variables de tipo booleano. Para la prueba es necesario que la unidad programadora (PC) se encuentre conectada al PLC o al programa simulador, la operación de prueba se muestra a continuación en el flujoograma:

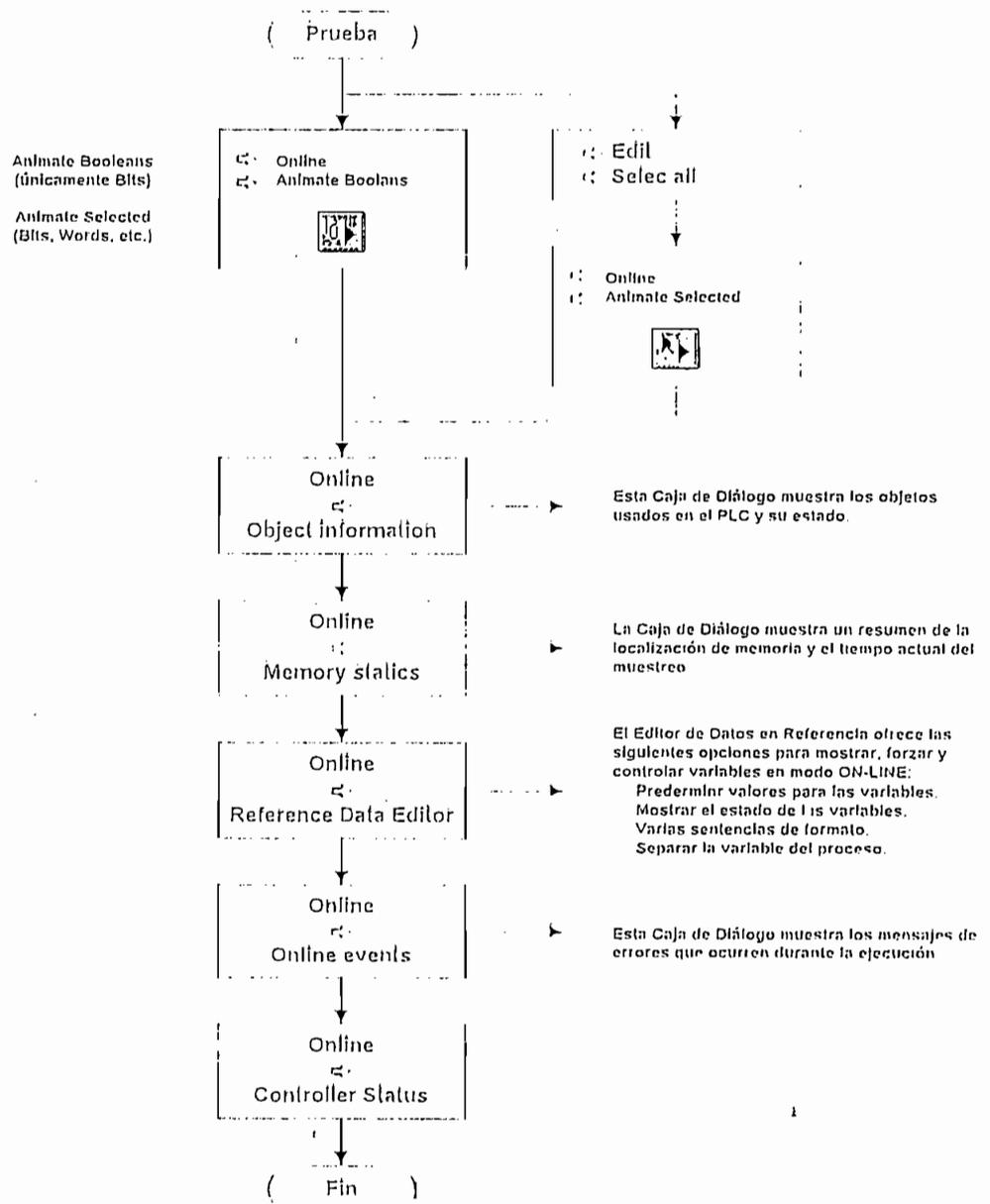


Figura 5.39. Diagrama de flujo para probar un programa.

Las posibilidades que disponemos dentro del modo de prueba son:

- Parámetros de los bloques de funciones.
- Muestra, modifica, carga valores iniciales y muestra valores actuales
- Doble click en los FIB's → Advanced → FIB parameter.

### 5.3.3. EDITOR DE VARIABLES

Para el intercambio de datos entre las secciones de un mismo programa se usan variables declaradas en el editor de variables. Como se muestra en el figura 5.40.

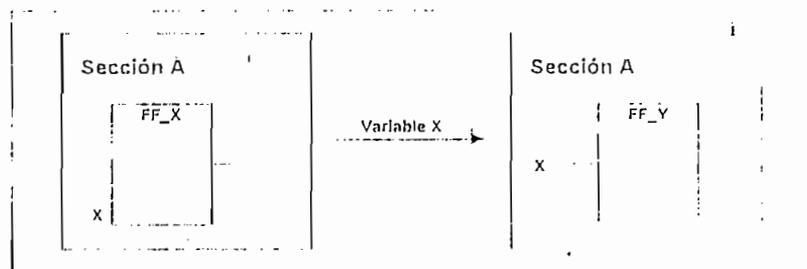


Figura 5.40. Intercambio de datos entre secciones a través de variables

Si la variable declarada tiene una dirección se denomina como *variable local* y si no se le asigna una dirección se denomina como *variable no local*, pueden ser constantes o literales.

Cada variable debe ser declarada en antes de ser usada en el programa. La declaración se puede hacer de dos maneras, la primera es entrando directamente al editor de variables por *Project* → *Variable declaration* o la segunda mediante un doble click en los pines de entrada o salida del bloque de función y luego eligiendo *Var Declaration*. Necesariamente cada variable tiene que ser asignada a un tipo de dato,

Concept provee tipos de datos elementales y derivados tales como: BOOL, BYTE, WORD, INT, DINT, UINT, UDINT, REAL, ANY, ANY\_BIT, ANY\_INT, etc.

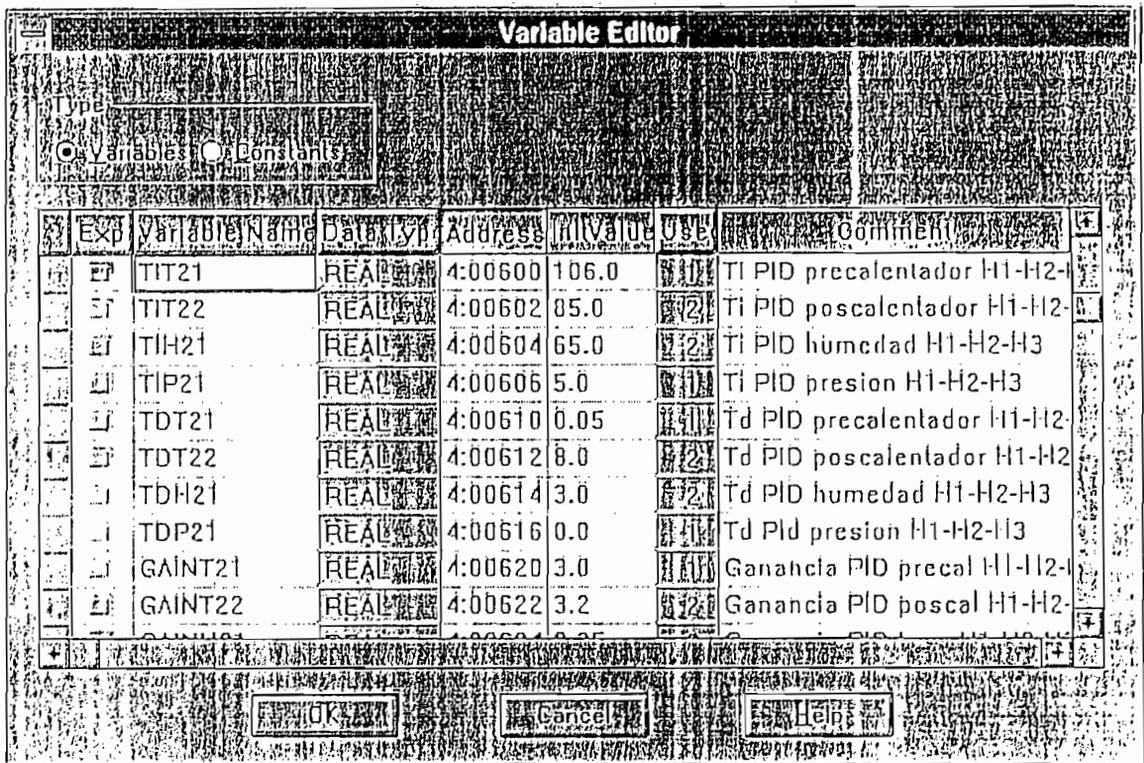


Figura 5.41. Pantalla DEL Editor de variables.

Dentro de una sección, las variables seleccionadas pueden ser reemplazadas y todas las variables reemplazadas (nuevo nombre de variable) deben ser declaradas antes de reemplazarse.

Para el direccionamiento, disponemos de los siguientes tipos:

Variables: Tienen una longitud máxima de 32 caracteres, y pueden ser:

- No localizadas. Es creada en el editor de variables o con declaración de variables, es una etiqueta sin dirección física, está implementada en el código, por lo tanto es más rápida que una localizada.

- Localizada. Es creada en el editor de variables o con declaración de variables, es una etiqueta con dirección física. No está implementada en el código y por tanto no es tan rápida como una no localizada.
- Entrada / Salida. Son usadas únicamente para definir pines internos de un DFB (Bloque de función derivado). Son asignados a direcciones de referencia.
- Constantes. Son para asignar un valor a una etiqueta, por ejemplo:  $\rho_i = 3.14$ , no son asignados a direcciones de referencia.
- Literales: 2, 8, 16, t, int, real, real + exp.
- 2 – literal:                    2#00000000000000000000 a 2#11111111111111111111
- 8 – literal:                    8#0000 a 8#7777
- 16 – literal:                  16#0000 a 16#FFFF
- int – literal:                - 32768, a 32767
- real – literal:                -12.0, +10.0, 0.0;            3.4x10exp(-38) a 3.4x10exp(38)
- real + exp – literal:        -12.0E-12, 10.0 E12;        3.4x10exp(-38) a 3.4x10exp(38)
- bool:                        falso, verdadero, 0, 1
- time:                        t#d5h3m10s3.6ms;            1ms a 24d20h31m23s647ms

Dependiendo del tipo de dato 2-, 8-, 16- e int-literales pueden tener una longitud de 16 o 32 bits. Los valores literales pueden ser cambiados en modo ON LINE.

#### Dirección directa: Referencias 0X,1X,3X,4X

- Cada dirección directa tiene una referencia que indica el rango del valor.
- Si esta es una dirección de entrada (read only) o una dirección de salida (read/write) de un bloque de función:

- Área 0X = bits de salida (discreta), por ejemplo 000001 es la salida discreta 1.
- Área 1X = bits de entrada (discreta), por ejemplo 100001 es la entrada discreta 1.
- Área 3X = registros de entrada, por ejemplo 300001 es el registro de entrada 1.
- Área 4X = registros de salida, por ejemplo 400001 es el registro de salida 1.

#### 5.3.4. FECHA Y HORA

Para la fijación de la fecha y la hora en el PLC se deben seguir los siguientes pasos:

- Debe estar en OFF LINE antes de fijar las variables para la fecha y la hora.
- Luego ingresar a → Project → PLC – Configurations → Specials, y activar la opción → Time Of Day por selección, entonces ingrese la dirección del registro, 8 registros para fecha y hora son reservados.
- Para fijar la fecha y la hora, se debe arrancar el PLC.
- Es decir, → Online → connect → Online control panel → Set clock.
- Ahora se puede fijar la fecha y la hora.
- El área Time Of Day muestra la fecha y la hora ingresada en Set clock. Si no ingresa nada en la caja de diálogo Set Controller's Time of Day Clock, el texto "clock no configured" aparecerá en el campo.

#### 5.3.5. BLOQUES DE FUNCIÓN DERIVADO DFB

Representa una invocación de un tipo de bloque de función derivada. Las invocaciones de DFB se muestran gráficamente con doble línea vertical. El cuerpo de un DFB puede ser diseñado usando lenguajes FBD, LD, ST y/o IL. Un

DFB asigna el valor inicial de 0 a los pines no conectados. Las variables son locales con respecto al DFB, en LD puede estar formado por LFB's y DFB's previamente creados, cada bloque creado consta de un número máximo de 32 entradas y 32 salidas, además de contar con el pin de polarización (EN) que ira conectado en la parte superior izquierda.

Para crear un DFB se deben cumplir los pasos mostrados en el siguiente diagrama de bloques.

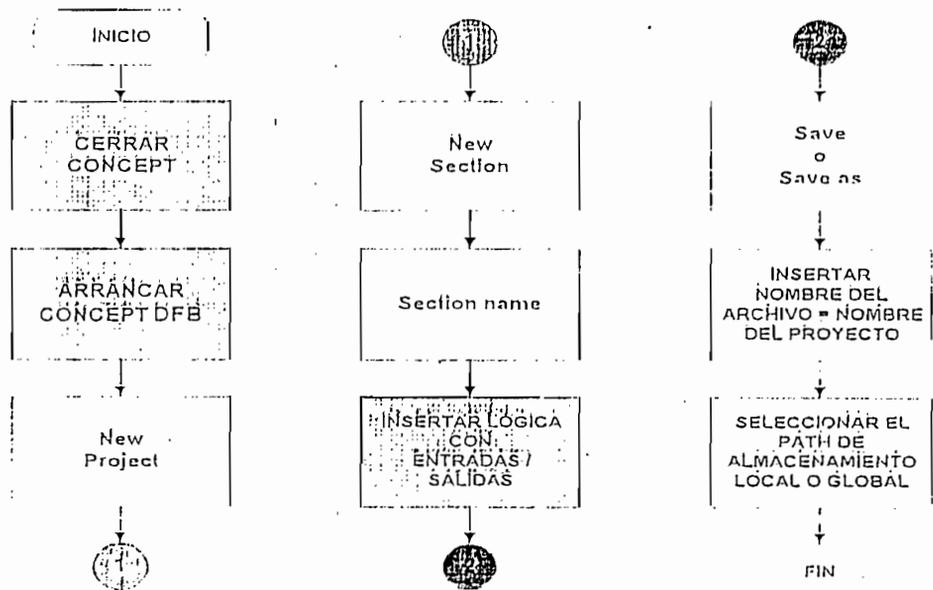
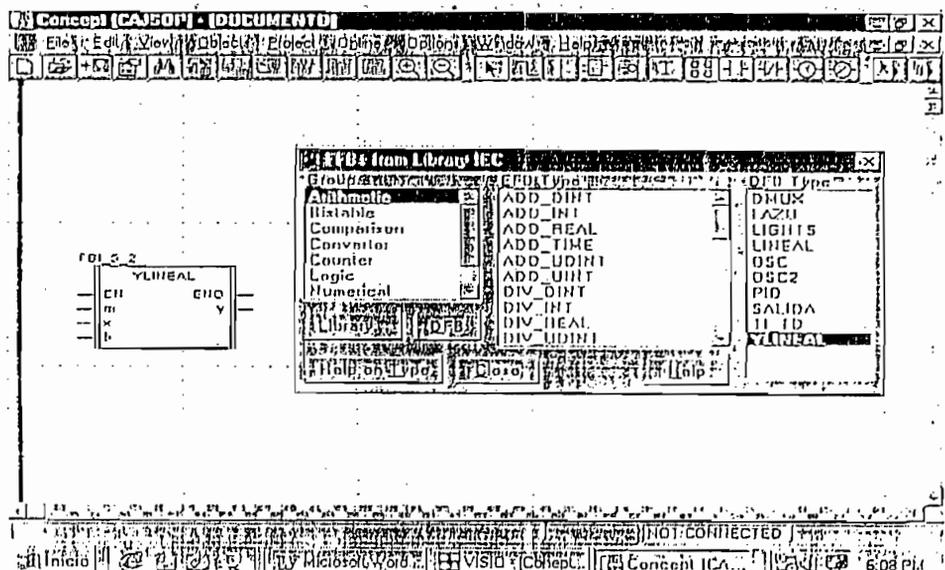


Figura 5.42. Diagrama de flujo para crear un DFB.

Y para insertarlo en el programa :



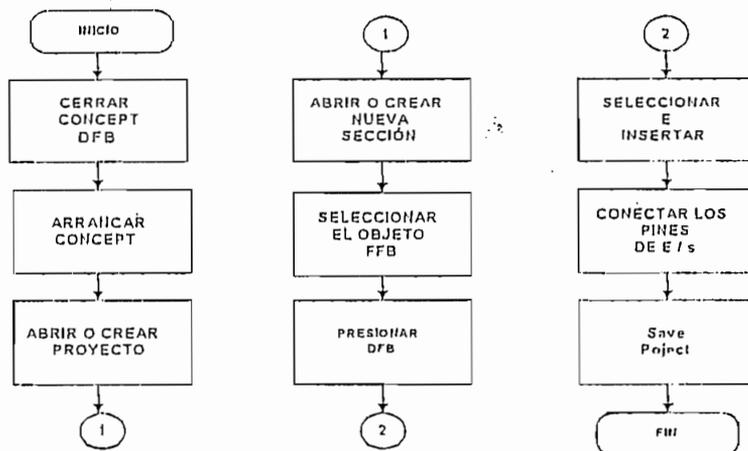


Figura 5.43. Diagrama de flujo para insertar un DFB en el proyecto

Si se modifica un DFB se debe tener en cuenta que todas las invocaciones en todos los proyectos usarán este DFB modificado, deberán ser cargados, a menos que se lo almacene como un DFB local; entonces solamente los de invocaciones locales serán cambiados.

En Concept se diferencian 4 clases de modificaciones:

- DFB no existe local, global o en el directorio del proyecto.
- DFB duplicados existe local, global o en el directorio del proyecto.
- DFB modificado internamente.
- DFB su interfaz ha sido modificado.

### 5.3.6. MODOS DE PROGRAMACION

En el lenguaje de programación de Diagrama de Escalera LD, el editor gráfico usa una disposición ordenada de elementos como son: funciones, bloques de funciones fundamentales (FFB's), elementos de contacto, bobinas, señales (variables) dentro de un diagrama en escalera que llegan a formar una unidad lógica entrelazada. Los elementos dentro del programa son enlazados mediante líneas

distribuidas a criterio del programador de acuerdo al diseño y no necesitan ser definidas. A los bloques de funciones FFB's, contactos, bobinas, variables se les puede adjuntar un comentario. Para señalización e identificación, se puede situar texto en cualquier punto dentro del gráfico. La transferencia de datos entre diferentes secciones se realiza mediante variables que son definidas en el editor de variables.

El diseño de una sección con el editor LD comprende a los peldaños formados por los *switchs* de telé o por FFB's, en el lado izquierdo se encuentra situada la denominada "barra conductora"; esta barra corresponde al conductor de poder de los peldaños. Los objetos son conectados directamente o a través de contactos a dicha barra. La barra conductora derecha corresponde al conductor neutral y ópticamente no está disponible, pero internamente cada elemento está conectado de tal manera de poder establecer el flujo de corriente.

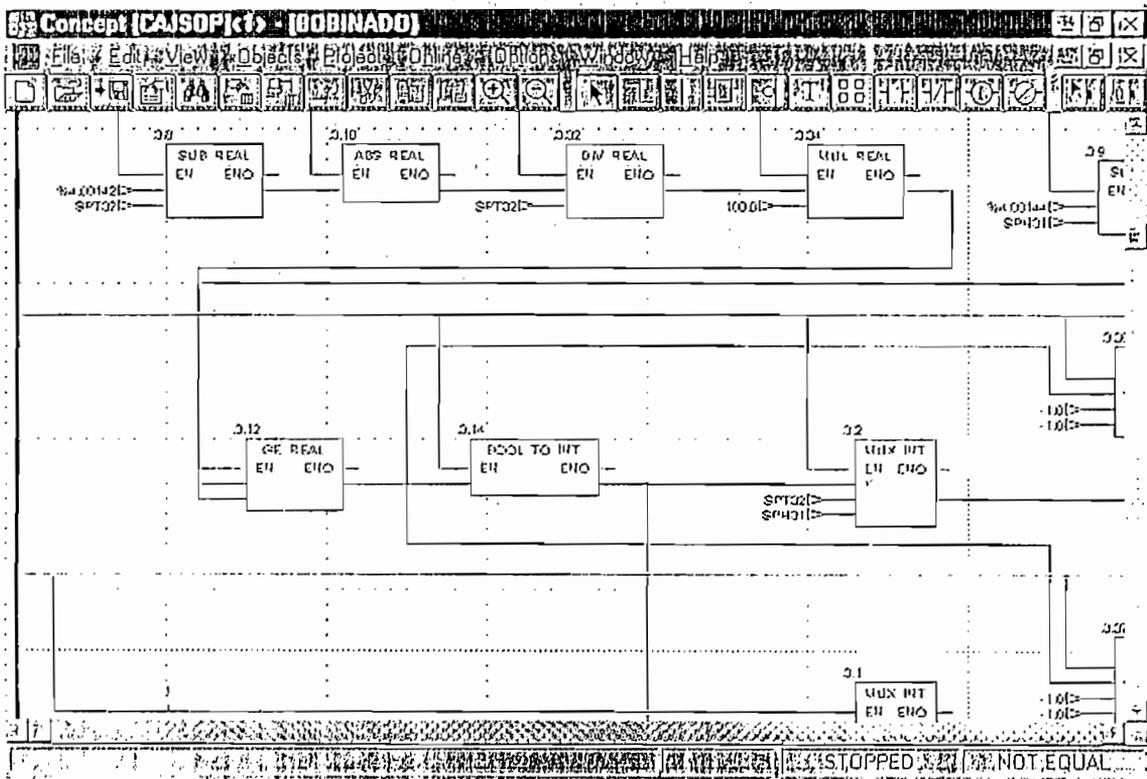


Figura 5.44. Programación en Diagrama de Escalera LD.

Cada bloque de función FFB o DFB está compuesto de una operación, los operadores que requiere la operación y el número de instancia/nombre de la función. Como se puede apreciar en la figura 5.45, tomando como ejemplo el bloque de función del temporizador ON DELAY:

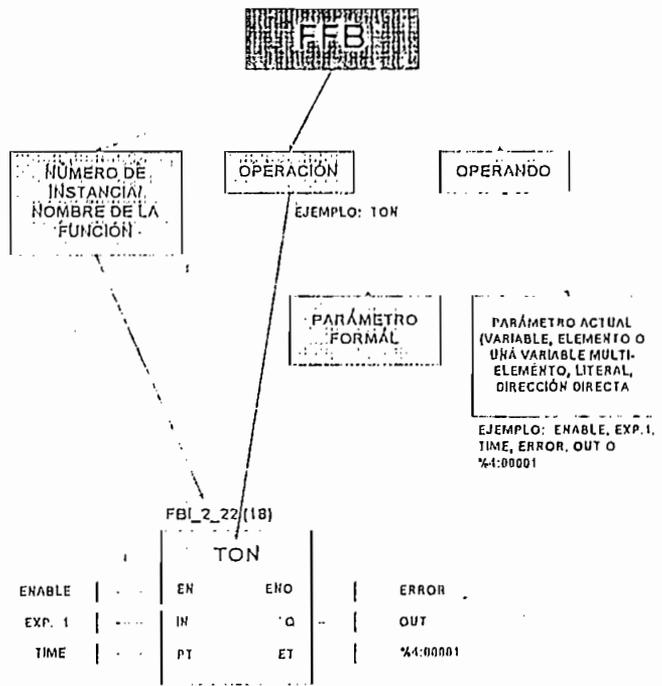


Figura 5.45. Asignamiento de parámetros tomando como ejemplo el bloque de función TON.

Cada FFB tiene la capacidad de llamada condicional o incondicional. La condición puede establecerse en el enlace de entrada EN.

- EN = ENABLE. Llamada condicional, el FFB puede está listo únicamente cuando ENABLE es setado en 1.
- EN Conectado a la línea de poder. Llamada incondicional, el FFB siempre está listo para trabajar.

Si la entrada EN no esta condicionada, siempre se la debe conectar a la línea de poder, de lo contrario el FFB nunca estará listo.

Para la programación en LD se dispone de una serie de librerías que proporcionan FFB's como se indica a continuación:

- ANA – IO Librería que contiene bloques para procesar valores analógicos.
- CLC Librería para control en lazo cerrado, dispone de controladores, diferenciadores, integradores, etc.
- COMM Librería usada para el intercambio de datos entre un PLC y otra unidad, mediante los puertos de comunicación Modbus o Modbus Plus.
- DIAGNO Esta librería se usa para diagnosticar el funcionamiento del programa.
- EXPERTS Contiene bloques de funciones para el uso de módulos expertos.
- IEC Contiene FFB's definidas por el Estándar Internacional IEC 1131 - 3 tales como operaciones matemáticas, contadores, temporizadores, comparadores, etc.
- SYSTEM Contiene FFB's para la utilización en el funcionamiento del sistema; por ejemplo bloques para determinar el tiempo de scaneo, generadores de ciclos de reloj, etc.

En el Editor de Variables se cuenta con algunos datos opcionales para la identificación y uso de las mismas, algunos de estos datos son:

- Tipo de variables (variables locales, variables no locales, etc.)
- Nombre simbólico
- Direccionamiento directo
- Comentario

Las variables pueden ser usadas en cualquier instancia del programa y dentro de cualquier sección.

El Editor de Datos de Referencia, ofrece una serie de opciones tales como mostrar, forzar y controlar variables en la conexión en modo de “en línea”, además dispone de:

- Valores predeterminados de las variables
- Muestra el estado de la variable
- Varios formatos del estado de la variable
- Separación de la variable del proceso

El editor de datos de referencia acepta los siguientes contextos desde el editor de variables:

- Nombre simbólico de la variable
- Tipo de datos
- Dirección directa

Para procesar una gran cantidad de variables, dispone de una serie de ayudas sencillas tales como:

- Clasificar
- Insertar
- Modificar
- Borrar

Todos los cambios pueden ser guardados en un archivo.

Después de la conexión de la unidad programadora con el PLC, una serie de funciones “en línea” son disponibles para corrección o mantenimiento del programa, tales funciones son:

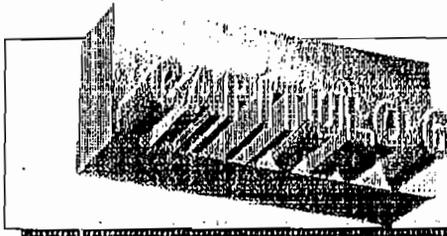
- Para la comunicación entre el PC y el PLC, y poder intercambiar información, el programa en la unidad de programación es comparado con el programa en el PLC, en el caso de no haber compatibilidad no es posible la comunicación.

- El PLC puede ser arrancado o parado.
- Se puede mostrar el estado de funcionamiento del PLC.
- Se puede cargar programas, las secciones pueden ser cambiadas y modificadas en línea.
- Puede mostrarse el programa en modo de animación.
- Los valores de las variables pueden ser modificados en línea.

Para el desarrollo del programa se trabaja básicamente en tres campos que son:

- Editor del tipo de datos
- Editor de variables
- Editor de datos de referencia.

En el Editor de tipo de datos se puede definir tipo de datos derivados, para esto se puede usar todos los bloques de funciones elementales o derivados que ya existieren. La definición de los tipos de datos es en forma textual, el texto es editado usando todas las propiedades que ofrece Windows, y el procesamiento de los datos se lo hace mediante algunos comandos que el editor dispone, se dispone también de la opción de supervisión de errores en línea y mediante el desarrollo del programa.



## COMUNICACIONES

En la era moderna, las comunicaciones se han desarrollado enormemente en muy poco tiempo. En la automatización de procesos industriales, se ha innovado de manera bastante rápida a tal punto que ya utilizamos redes mundiales para el control de la información de producción industrial.

Para empezar, uno de los sistemas de comunicación más conocidos en el mundo y en la industria es la comunicación serial. Un buen sistema de control, por elemental que sea, tiene incluido actualmente como mínimo un puerto serial destinado a recibir o enviar información que sea útil a otro sistema. Por medio de estos puertos podemos hacer que dispositivos de una marca puedan entablar comunicación con sistemas de otra marca, ya que se utilizan protocolos que son estándares.

Para comunicaciones entre PLC's, desde PLC a sistemas HMI, SCADA y MES, o desde PLC a un PC huésped, la serie de automatización Quantum proporciona dos tipos de comunicación serial; Modbus y Modbus Plus. Modbus está basado en el estándar RS-232 diseñado para redes primarias y comunicación a largas distancias utilizando módem. Mientras que Modbus Plus basado en el estándar RS-485, diseñado para obtener un alto rendimiento en la transmisión de datos principalmente en la arquitectura par a par. La combinación de estos dos

típos de comunicación, como también individualmente, proporcionan una elevada performance para dar soluciones integrales de automatización.

## 6.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN

Modbus Plus es una topología par a par bidireccional, permite 32 administradores/receptores y distancias cercanas a 1000m. Utiliza mínimo 2 cables, cable de par trenzado, el cual consta de dos conductores aislados que están retorcidos entre sí y con el cual se consigue una mayor inmunidad al ruido electromagnético; si el cable adicionalmente tiene una hoja conductora rodeándolo, se obtiene más inmunidad. Modbus plus ha sido desarrollada principalmente para redes del área local configuradas con elementos como PLC's, PC's huéspedes, programadores, e interfaces hombre – máquina a bajo costo y alto rendimiento. Posible a un Megabit por segundo para acceso rápido a datos del proceso con una mínima interrupción de rastreo.

La aplicación que se le da en el sistema incluye control centralizado, adquisición de datos, carga/descarga de programas, programación remota en línea, e interfaz hombre – máquina, es decir, la de un dispositivo huésped.

Cada dispositivo huésped representado en un nodo par de la red Modbus Plus, es manejado por una secuencia de asignación de direcciones, puede enviar o recibir mensajes de datos, recuperar estadísticas de red, y acceder a bases de datos globales de otras redes. La figura 6.1 muestra los dispositivos que conforman el sistema:

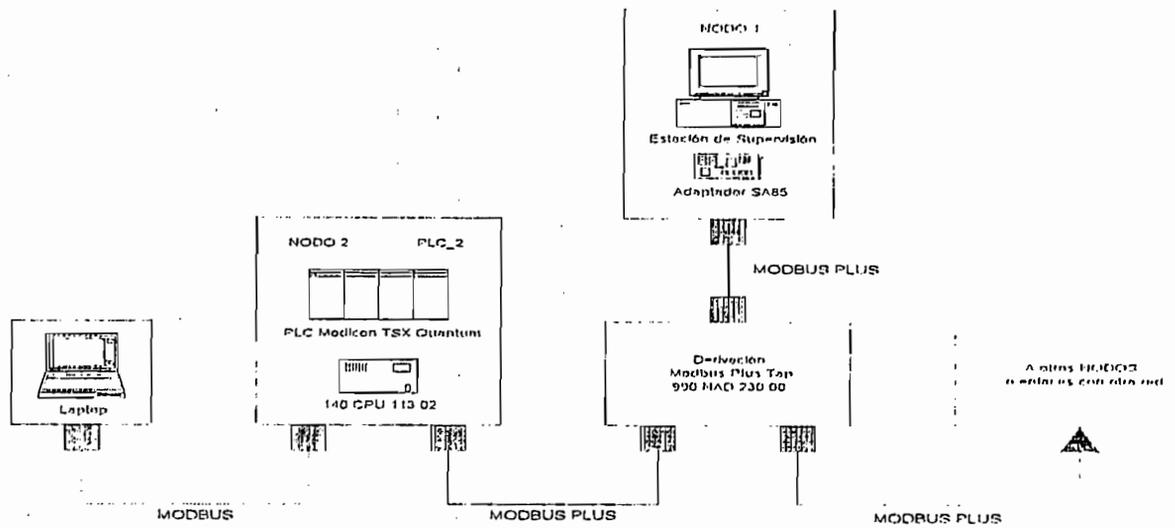


Figura 6.1. Visión general del sistema de comunicación.

El adaptador SA85 conecta el PC de la Estación de Supervisión a la red, vía Modbus Plus. Dicha estación incluye:

- Control, monitoreo, y reportes gráficos del proceso.
- Formateo e iniciación de la CPU del PLC.
- Carga y descarga del programa en la CPU del PLC.
- Verificación de la operación del PLC.
- Interfaz de usuarios.
- Enlace entre Modbus Plus y otros tipos de red.
- Prueba y depuración de programas de aplicación.
- Ejecución de programas de diagnóstico.

Cada dispositivo se establece como un nodo huésped dentro de la red, cada nodo es asignado con una única dirección entre 1 y 64, como vimos anteriormente para el PLC el nodo es nombrado mediante los interruptores del panel posterior de la CPU, de acuerdo a la planificación le corresponde el NODO 2.

La conexión entre el PC y el PLC se asegura por medio de dos conectores, un conector macho (9 – pin D – shell) para el puerto de red que dispone la CPU del

PLC y un conector hembra (9-pin D-shell) para el puerto de comunicación de la tarjeta, internamente estos conectores tienen una estructura y conexión siguiente:

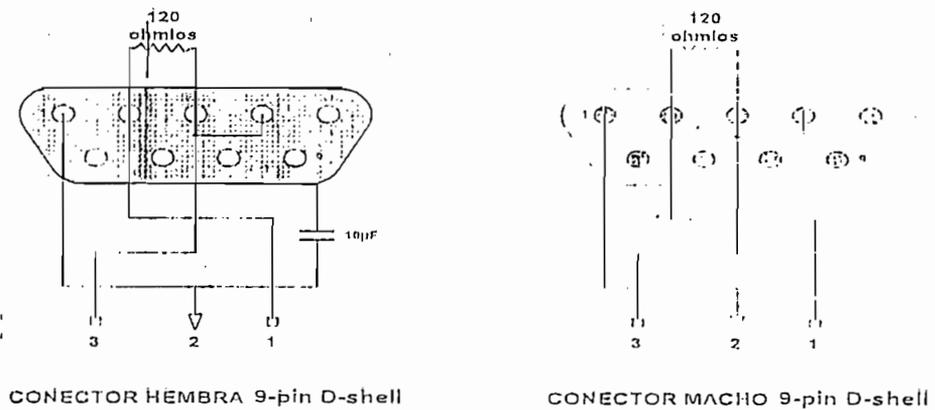


Figura 6.2. Estructura interna de conexión Modbus Plus

Mientras que el puerto Modbus de la CPU, es utilizado como opción para mantenimiento preventivo y correctivo del sistema si lo requiere, para revisar el correcto funcionamiento del programa, o para modificarlo, previniendo la ampliación del sistema.

## 6.2. EL ADAPTADOR DE RED MODBUS PLUS SA85

Antes de instalar la tarjeta SA85, se debe asignar una dirección al nodo que tendrá en la red y una dirección de base para el espacio de memoria, seteando los interruptores de la tarjeta. La dirección identifica a la tarjeta para la comunicación de archivos y mensajes dentro de la red Modbus Plus. La dirección de memoria define un espacio de 2kB en la computadora, que es reservada para la tarjeta y la respectiva aplicación. Se necesita también verificar el seteo de fábrica de la sección de puentes de la tarjeta. Se puede setear el único puente existente, los demás vienen preseteados de fábrica y no pueden ser configurados por el usuario.

Con estos antecedentes, se puede instalar la unidad en un slot disponible de la tarjeta madre del PC, y conectarlo al cable de red Modbus Plus.

Antes de utilizar la tarjeta para la aplicación, se debe instalar el dispositivo controlador (manejador-driver) en el disco duro, y luego añadir una línea de comando del archivo config.sys. Con el propósito de asignar un número al adaptador, la dirección de ventana de memoria base y la interrupción establecida para el driver.

Estos parámetros permiten identificar el adaptador como único dentro de la red, incluso si se estuviesen instaladas varias unidades en el mismo PC.

Al instalar el driver o controlador, se copian el código fuente, encabezados, y archivos de librería. Se puede revisar y compilar los archivos de librería usando el compilador de C++.

Dispone también de utilidades de diagnóstico de la red y programas de ejemplo donde se muestran métodos de acceso a los registros de control y bases de datos globales y locales. El siguiente diagrama de bloques, muestra el procedimiento a seguir para la configuración e instalación de la tarjeta en el PC.

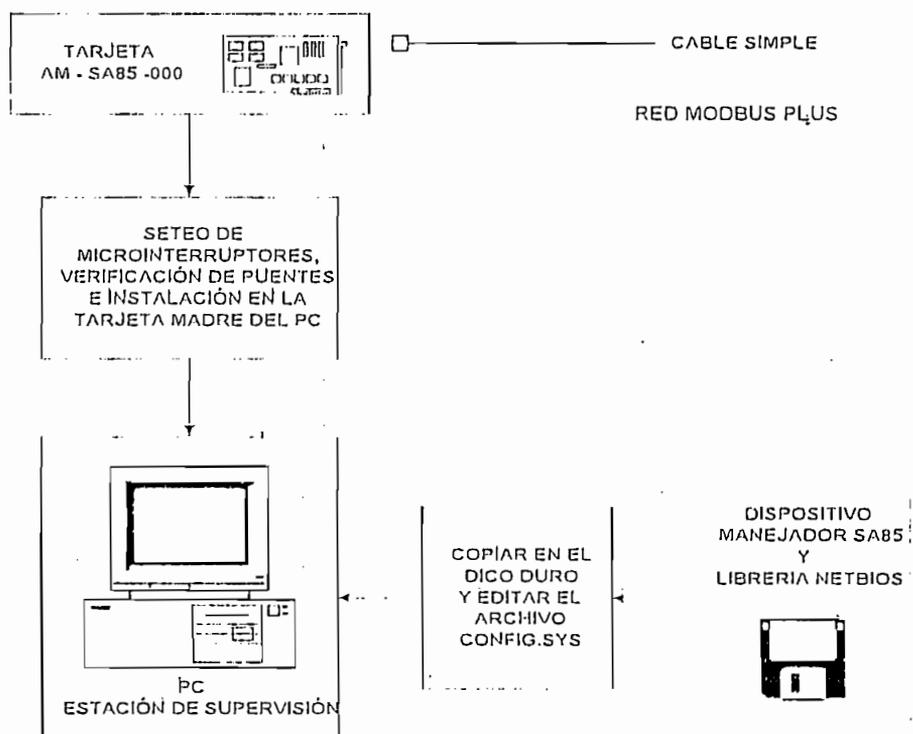


Figura 6.3. Diagrama de instalación y configuración de la tarjeta

### 6.2.1. VISIÓN GENERAL DE LA INSTALACIÓN

Para la instalación del adaptador de red, se siguen los siguientes pasos:

- Seteo de los microinterruptores de la dirección del adaptador.
- Seteo de los microinterruptores para la dirección base de ventana de memoria.
- Verificación de la posición de los puentes.
- Instalación de la tarjeta en el PC y conexión al cableado de red Modbus Plus.
- Instalación del software controlador, librerías, utilidades de diagnóstico y programas de ejemplo.

Antes de la instalación de la tarjeta, se debe tener cuidado al manipularla, ya que los elementos de la tarjeta de circuito impreso son sumamente sensibles a la carga electrostática del cuerpo humano.

### 6.2.2. ADICIÓN O ELIMINACIÓN DE NODOS ACTIVOS

Si se reemplaza un dispositivo adaptador de red como la tarjeta SA85, que constituye un nodo activo en la red Modbus Plus, se puede desconectar el cable de dicho dispositivo y volver a conectarlo sin alterar los demás elementos de la red. El dispositivo desconectado, automáticamente será ignorado y derivará la reubicación del dispositivo y lo incluirá con su respectiva configuración cuando sea reconectado.

Antes de reemplazar un SA85 en futuras ampliaciones o mejoramiento del sistema, se verifica la posición de los microinterruptores de dirección de red, y de ventana de memoria, así como también los puentes.

Si se desconecta un nodo de la red, no es necesario colocar un conector terminal. El conector debería estar eléctricamente abierto. Pero es recomendable protegerlo para prevenir daños y contaminación de los pines.

### 6.2.3. LOCALIZACIÓN DE INTERRUPTORES

El diagrama esquemático de la tarjeta y la ubicación de los microinterruptores se muestra a continuación:

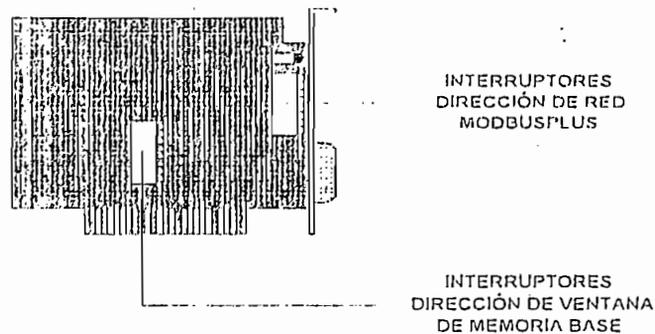


Figura 6.4. Localización de los interruptores en el adaptador AM - SA85 - 000.

Se observa la localización de los interruptores de seteo de dirección de red y los de seteo de la base de ventana de memoria.

### 6.2.4. SETEO DE LA DIRECCIÓN MODBUS PLUS

El establecimiento de la dirección del adaptador en la red, se lo realiza mediante los interruptores 1 a 6, los interruptores 7 y 8 no son usados. Cada nodo debe tener una dirección única. Como se presenta a continuación en la tabla 6.1, cada interruptor setea un valor binario 0 ó 1.

Aunque no es el caso, para sistemas extensos se recomienda, reservar la dirección 64 para futuros mantenimientos y ampliaciones de la red, la dirección que se usa por defecto es la dirección 1.

Tabla 6.1. Seleo de los interruptores de dirección del adaptador SA85 en la red Modbus Plus.



1 2 3 4 5 6 7 8

LA POSICIÓN MUESTRA EL SELEO DE DIRECCIÓN MB+ PARA LA AFILIACIÓN (DIRECCIÓN 1)

POSICIÓN DE LOS INTERRUPTORES

DIRECCIÓN	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0
3	0	1	0	0	0	0
4	1	1	0	0	0	0
5	0	0	1	0	0	0
6	1	0	1	0	0	0
7	0	1	1	0	0	0
8	1	1	1	0	0	0
9	0	0	0	1	0	0
10	1	0	0	1	0	0
11	0	1	0	1	0	0
12	1	1	0	1	0	0
13	0	0	1	1	0	0
14	1	0	1	1	0	0
15	0	1	1	1	0	0
16	1	1	1	1	0	0
17	0	0	0	0	1	0
18	1	0	0	0	1	0
19	0	1	0	0	1	0
20	1	1	0	0	1	0
21	0	0	1	0	1	0
22	1	0	1	0	1	0
23	0	1	1	0	1	0
24	1	1	1	0	1	0
25	0	0	0	1	1	0
26	1	0	0	1	1	0
27	0	1	0	1	1	0
28	1	1	0	1	1	0
29	0	0	1	1	1	0
30	1	0	1	1	1	0
31	0	1	1	1	1	0
32	1	1	1	1	1	0

POSICIÓN DE LOS INTERRUPTORES

DIRECCIÓN	1	2	3	4	5	6
33	0	0	0	0	0	1
34	1	0	0	0	0	1
35	0	1	0	0	0	1
36	1	1	0	0	0	1
37	0	0	1	0	0	1
38	1	0	1	0	0	1
39	0	1	1	0	0	1
40	1	1	1	0	0	1
41	0	0	0	1	0	1
42	1	0	0	1	0	1
43	0	1	0	1	0	1
44	1	1	0	1	0	1
45	0	0	1	1	0	1
46	1	0	1	1	0	1
47	0	1	1	1	0	1
48	1	1	1	1	0	1
49	0	0	0	0	1	1
50	1	0	0	0	1	1
51	0	1	0	0	1	1
52	1	1	0	0	1	1
53	0	0	1	0	1	1
54	1	0	1	0	1	1
55	0	1	1	0	1	1
56	1	1	1	0	1	1
57	0	0	0	1	1	1
58	1	0	0	1	1	1
59	0	1	0	1	1	1
60	1	1	0	1	1	1
61	0	0	1	1	1	1
62	1	0	1	1	1	1
63	0	1	1	1	1	1
64	1	1	1	1	1	1

### 6.2.5. SETEO DE LA DIRECCIÓN DE MEMORIA BASE

La tarjeta utiliza una superficie de memoria dentro del PC, para proteger el estado y la transmisión y recepción de mensajes, entonces se debe definir o configurar la base o inicio de la dirección de la ventana de memoria, con el propósito de evitar conflictos con otras tarjetas del PC.

El espacio válido para el seteo de dirección de ventana de memoria base va desde C0000 a EF800 hexadecimal. El área que utiliza la tarjeta es de 2kb, es decir 800 hexadecimal. Para determinar el área de memoria libre y disponible de un determinado PC se debe revisar el manual o utilizar las herramientas de Windows, para asegurarse de seleccionar un espacio de memoria donde no se produzcan problemas de sobre escritura con espacios de memoria totales o parciales utilizados por otras aplicaciones.

*Se debe recordar esta dirección para posteriormente editar la línea de comando del archivo config.sys.*

En la parte superior de la tabla 6.2, se muestra el rango del bus de direcciones desde todos ceros hasta todos unos, en correspondencia con el valor hexadecimal del inicio de la ventana de memoria base, que se pueden setear con los interruptores. La otra parte de la figura muestran los niveles altos y bajos (0 y 1) para una dirección de memoria en forma binaria y hexadecimal.

Tabla 6.2. Método para el direccionamiento de la ventana de memoria que requiere la tarjeta SA85.

POSICIÓN DE LOS INTERRUPTORES

		1 2 3 4 5 6 7																	
A19	A18	A17	A16	A15	A14	A13	A12	A11	A10	A9	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SEMI-RE I		COMPARANDO CON LOS INTERRUPTORES DE LA TARJETA							ESPACIO DE VENTANA DE MEMORIA 2kb										

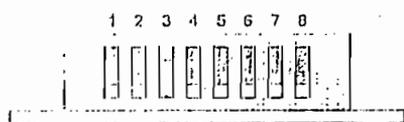
  

DIRECCIÓN BASE

C		0				0				0				0					
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E		F				8				0				0					

Al decodificar la dirección de memoria, la tarjeta compara los bits del bus de dirección A19 Y A18 con lógica positiva. Los bits A17 a A11 se comparan con el seteo establecido en la tarjeta. La tarjeta es seleccionada cuando una dirección es configurada en los bits A19 a A11. Los cuales definen la dirección base para la memoria a la que tendrá acceso el programa de aplicación (control y supervisión). Con una ventana o espacio de 2kB que están direccionados por los bits A10 a A0, mediante los interruptores que definen la base de la ventana. El interruptor No. 8 no es usado.

Tabla 6.3. Interruptores de seteo de la memoria base para el adaptador SA85.



LA POSICIÓN MUESTRA EL SEÍTO DE DIRECCIÓN BYCE PARA LA VENTANA DE MEMORIA (DIRECCIÓN BYCE 0000)

POSICIÓN DE LOS INTERRUPTORES

POSICIÓN DE LOS INTERRUPTORES

DIRECCIÓN BASE	1	2	3	4	5	6	7
C0000	0	0	0	0	0	0	0
C0800	0	0	0	0	0	0	1
C1000	0	0	0	0	0	1	0
C1800	0	0	0	0	0	1	1
C2000	0	0	0	0	1	0	0
C2800	0	0	0	0	1	0	1
C3000	0	0	0	0	1	1	0
C3800	0	0	0	0	1	1	1
C4000	0	0	0	1	0	0	0
C4800	0	0	0	1	0	0	1
C5000	0	0	0	1	0	1	0
C5800	0	0	0	1	0	1	1
C6000	0	0	0	1	1	0	0
C6800	0	0	0	1	1	0	1
C7000	0	0	0	1	1	1	0
C7800	0	0	0	1	1	1	1
C8000	0	0	1	0	0	0	0
C8800	0	0	1	0	0	0	1
C9000	0	0	1	0	0	1	0
C9800	0	0	1	0	0	1	1
C1000	0	0	1	0	1	0	0
C1800	0	0	1	0	1	0	1
C2000	0	0	1	0	1	1	0
C2800	0	0	1	0	1	1	1
C3000	0	0	1	1	0	0	0
C3800	0	0	1	1	0	0	1
C4000	0	0	1	1	0	1	0
C4800	0	0	1	1	0	1	1
C5000	0	0	1	1	1	0	0
C5800	0	0	1	1	1	0	1
C6000	0	0	1	1	1	1	0
C6800	0	0	1	1	1	1	1
C7000	0	1	0	0	0	0	0
C7800	0	1	0	0	0	1	0
C8000	0	1	0	0	0	1	1
C8800	0	1	0	0	0	1	1
C9000	0	1	0	0	0	1	0
C9800	0	1	0	0	0	1	1
D0000	0	1	0	0	1	0	0
D0800	0	1	0	0	0	0	1
D1000	0	1	0	0	0	1	0
D1800	0	1	0	0	0	1	1
D2000	0	1	0	0	1	0	0

DIRECCIÓN BASE	1	2	3	4	5	6	7
C2800	0	1	0	0	1	0	1
C3000	0	1	0	0	1	1	0
C3800	0	1	0	0	1	1	1
D1000	0	1	0	1	0	0	0
D1800	0	1	0	1	0	0	1
D6000	0	1	0	1	0	1	0
D5800	0	1	0	1	0	1	1
D6000	0	1	0	1	1	0	0
D6800	0	1	0	1	1	0	1
D7000	0	1	0	1	1	1	0
D7800	0	1	0	1	1	1	1
C8000	0	1	1	0	0	0	0
C8800	0	1	1	0	0	0	1
C9000	0	1	1	0	0	1	0
C9800	0	1	1	0	0	1	1
D1000	0	1	1	0	1	0	0
D1800	0	1	1	0	1	0	1
D2000	0	1	1	0	1	1	0
D2800	0	1	1	0	1	1	1
D3000	0	1	1	1	0	0	0
D3800	0	1	1	1	0	0	1
D4000	0	1	1	1	0	1	0
D4800	0	1	1	1	0	1	1
D5000	0	1	1	1	1	0	0
D5800	0	1	1	1	1	0	1
D6000	0	1	1	1	1	1	0
D6800	0	1	1	1	1	1	1
E0000	1	0	0	0	0	0	0
E0800	1	0	0	0	0	0	1
E1000	1	0	0	0	0	1	0
E1800	1	0	0	0	0	1	1
...	.	.	.	.	.	.	.
E8000	1	0	1	1	1	0	0
E8800	1	0	1	1	1	0	1
E9000	1	0	1	1	1	1	0
E9800	1	0	1	1	1	1	1

### 6.2.6. VERIFICACIÓN DE PUENTES

Antes de instalar la tarjeta SA85, se debe verificar la posición de los puentes. Ocho filas de pines para puentes, dos pines por fila, como se ve en la siguiente figura:

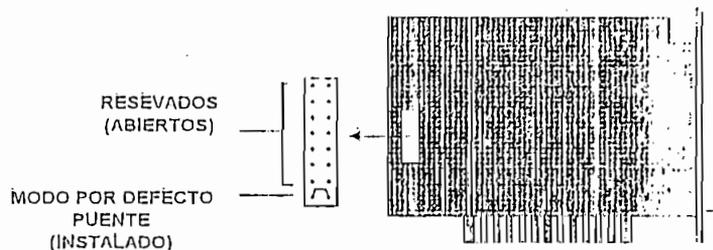


Figura 6.5. Seleto de puenles en el adaptador SA85

Se muestra la posición correcta de los puentes, para conseguir el modo de operación adecuado, el puente debe estar en la posición indicada por defecto, todos los demás puentes vienen seleto internamente de fábrica.

### 6.2.7. INSTALACIÓN DE LA TARJETA SA85

Para la instalación se recomienda seguir la siguiente guía:

- Si no se tiene configurada y verificada la dirección de red del adaptador, la dirección base de la ventana de memoria y los puentes, es el momento de hacerlo. La referencia para configuración se presentó anteriormente.
- Revisar la documentación de su computadora, colocar el interruptor de alimentación en apagado, y desconectar el cable de poder de la fuente.

- Retirar la cubierta de la CPU del PC. Colocar los tornillos y otros elementos de en un lugar seguro, ya que se necesitarán para el posterior ensamblaje.
- Localizar un slot libre en la tarjeta madre del PC. Desajustar el tornillo de seguridad para quitar la placa de protección correspondiente a ese slot, retirar la placa.
- Insertar la tarjeta SA85 en el conector del slot de expansión. Asegúrese de que la tarjeta quede instalada firmemente en el conector.
- Instalar el tornillo de seguridad de la tarjeta, es decir, el de la placa de protección que se sacó anteriormente.
- Además este tornillo proporciona la puesta a tierra de la tarjeta.
- Colocar nuevamente la cubierta del PC.
- Conectar el cable de red Modbus Plus ajustando los dos conectores, tanto el del cable, como el de la tarjeta. Luego para asegurar la correcta conexión, ajustar los dos tornillos del conector correspondiente.
- Conectar el cable de alimentación del PC. Y luego verificar el funcionamiento normal del PC, con la tarjeta ya instalada.
- Instalar el software de la tarjeta, es decir, el respectivo controlador para el sistema operativo (DOS), e instale los archivos restantes del software.

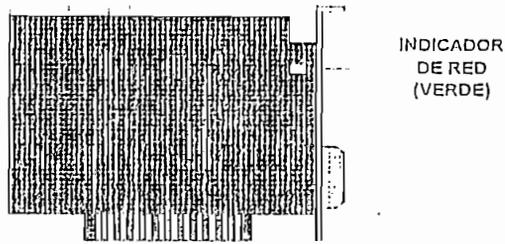
#### 6.2.8. LECTURA DEL LED INDICADOR

La tarjeta tiene un LED verde indicador, el cual muestra el estado de la comunicación del nodo asignado a la tarjeta en la red Modbus Plus. Este indicador,

muestra la información de acuerdo a la repetibilidad del destello o tiempo de encendido y apagado según la siguiente tabla:

Tabla 6.4. Lectura del indicador de red.

PATRÓN DE INDICACIÓN	INDICACIÓN
6 destellos/segundo	Estado de operación normal, envío y recepción de información satisfactorios. Todos los nodos que estén funcionando perfectamente mostrarán este patrón de destello.
1 destello/segundo	El nodo está fuera de línea, inmediatamente se que encendido o pasa al modo de 4 destellos/segundo. En este estado, el nodo monitorea la red y construye una tabla de nodos activos y nodos token-holding. Luego de permanecer en este estado por 5 segundos, el nodo retorna a sus estado de operación normal (6 destellos/segundo).
2 destellos/segundo, luego apagado por 2 segundos	El nodo está atento a pasar entre otros nodos, pero si no recibe información revisa si no representa un circuito abierto o un terminal defectuoso dentro de la red.
3 destellos/segundo, luego apagado por 1.7 segundos	El nodo no estará atento a pasar entre otros nodos. Se solicita periódicamente archivos, pero cuando lo encuentra en un nodo pasa al siguiente, revisa si no se trata de un circuito abierto o una terminación defectuosa.
4 destellos/segundo, luego apagado por 1.4 segundos	El nodo está atento a un mensaje válido desde un nodo con una dirección idéntica o con otra dirección usada en la red. Los nodos restantes en este estado, continúan atentos a la duplicación de una dirección. Si una dirección idéntica no es detectada en 5 segundos, el nodo cambia al modo 1 destello/segundo.



AM - 5A85 - 000

Figura 6.6. Ubicación del LED indicador en la tarjeta.

### 6.2.9. UTILIDADES DE DIAGNÓSTICO

Para evitar confusiones observando el LED indicador, se dispone de un software de diagnóstico conveniente, que viene con el driver de la tarjeta, se trata del programa MBPSATA1.EXE.

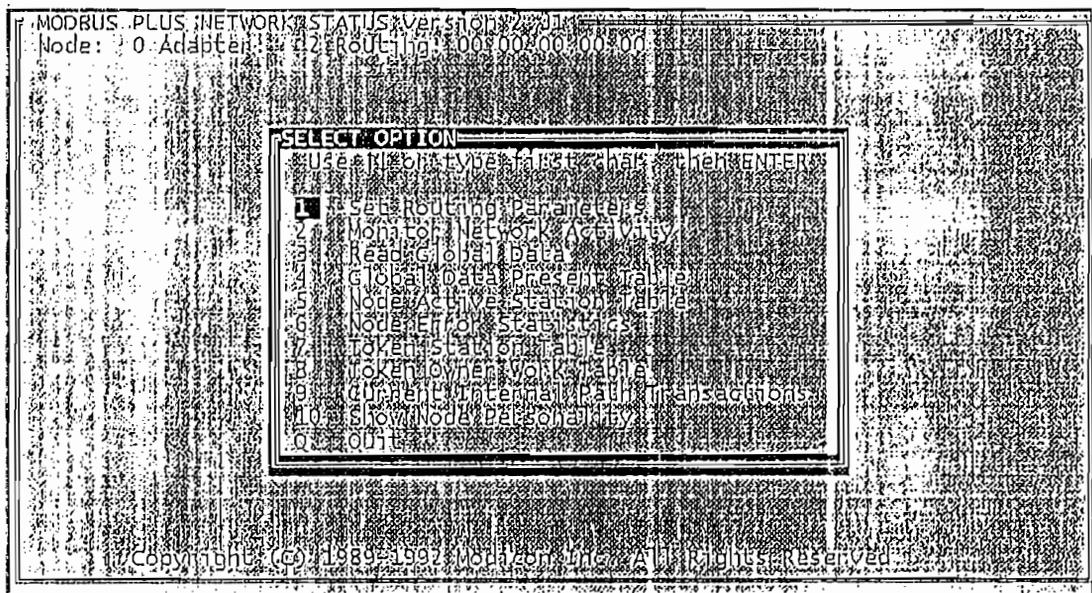


Figura 6.7. Pantalla principal del programa de diagnóstico MBPSTA1

Una descripción detallada del programa se muestra en el Anexo 3, así como la selección de las diferentes opciones de diagnóstico. Si se selecciona la opción 10, *Mostrar Nodo Personal*, se mostrará en la pantalla toda la información que se obtiene con los diferentes patrones de destello del LED indicador. Estado que se muestra

en la línea *Peer Status* de la pantalla del programa. De esta manera, utilizando este programa se obtiene la correspondencia respectiva a los patrones del indicador:

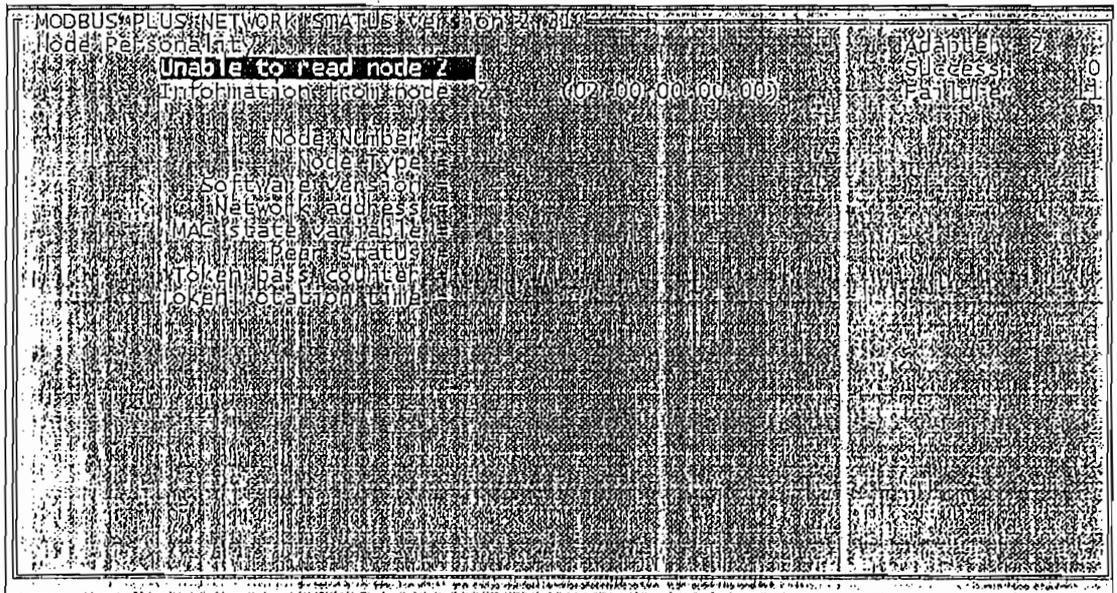


Figura 6.8. Pantalla de la opción No. 10 del programa MBPSTAT

### 6.2.10. DENOMINACIÓN DEL NODO MODBUS PLUS

Se cuenta con dos etiquetas para identificar claramente el número de la red Modbus Plus y la dirección asignada al nodo. Una de ellas debe ir pegada en la unidad cuando complete la conexión de la red, y de la otra se puede prescindir.

En la etiqueta, se escribe el número de la red Modbus Plus y la dirección del nodo que se asigna al adaptador SA85. Y finalmente se la coloca en el PC, en un lugar claramente visible. Para nuestro caso la tarjeta de identificación sería:

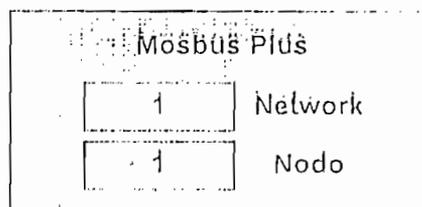


Figura 6.9. Etiqueta de nombramiento del puerto Modbus Plus

### 6.2.11. INICIACIÓN DEL ADAPTADOR SA85

Durante la instalación de la tarjeta, se establecen los parámetros necesarios y suficientes, a través de los interruptores.

Si se apaga, se reinicia el PC, se produce un corte de energía o se apaga casualmente, la tarjeta mantiene los parámetros establecidos previamente no serán afectados. Si se requiere cambiar todos o alguno de los parámetros, se debe apagar el PC, durante el reinicio, el dispositivo continuará como un nodo Modbus Plus activo, incluyendo el paso de archivos y la transmisión de datos que se estén enviando en ese momento.

## 6.3. INSTALACIÓN DEL SOFTWARE CONTROLADOR DE LA TARJETA

Previamente, se debe revisar la información del archivo *readme.doc*, incluido en el disco que viene con la tarjeta. En este archivo se lista cada uno de los programas y describe brevemente la función que realiza cada uno de ellos. Para la instalación es recomendable seguir los siguientes pasos:

- Copiar los archivos del dispositivo controlador en el disco duro primario del PC.
- Editar una línea de comando en el archivo *config.sys*.
- Reiniciar el PC, guardando previamente los cambios realizados en el *config.sys*.

### 6.3.1. ARCHIVO MBPHOST.SYS

Es el archivo controlador de la tarjeta. Se lo suministra en un disco flexible de 3½". Se debe copiar en el disco duro primario del PC, en un directorio que debe

ser claramente identificado (C:\SA85) para luego editar correctamente la línea de comando en el archivo config.sys.

### 6.3.2. EDICIÓN DEL ARCHIVO CONFIG.SYS

La edición de este archivo en el PC, es incluir una línea de comando, para manejar la tarjeta instalada previamente, cada dispositivo debe incluir una línea que determina el camino hacia el directorio que contiene el controlador. El formato de la línea de comando para cargar el controlador de la tarjeta es el siguiente:

DEVICE = C:\SA85\MBPHOST.SYS /Mnnnn /Nh /Shn /R2 /B

Tabla 6.5. Parámetros de la línea de comando editada en el archivo config.sys.

PARÁMETRO	SIGNIFICADO	POR DEFECTO	SETEO
/Mnnnn	Selecciona el inicio de la ventana de memoria	D0000	/MC800 = dirección C8000
/Nh	Selecciona un dispositivo específico (dirección del nodo en la red)	Dispositivo 0	/N1 = dispositivo 1
/Snn	Selecciona el vector de interrupción para el software	5C	/S5D = interrupción 5D
/R2	Define la versión del controlador	Ninguna	/R2 (ingreso requerido)
/B	Resetea los bloques de la tarjeta y los comandos SA85 OFF	Permitiendo	/B = no permite los comandos

- /M

Este argumento se usa para especificar la dirección en que está seteada físicamente la tarjeta, mediante los interruptores (dirección base de ventana de memoria). El argumento consiste de solamente 4 números hexadecimales, para

nuestro caso /MC800, si no se establece ningún número, se asume la dirección D0000.

- /N

Se usa este argumento para especificar el número único que el dispositivo, es decir, la dirección que el PC de la Estación de Supervisión tiene en la red Modbus Plus. Este argumento también puede identificar cada tarjeta, si se tienen instaladas más dos o más en un mismo PC, mediante la función `ncb-open()` del NetBIOS. Si no se especifica el valor, el dispositivo controlador lo asume como cero.

- /S

Este argumento localiza la interrupción de software del dispositivo controlador, evitando conflictos con otros dispositivos o fuentes de interrupción. El rango válido es de 00 a FF hexadecimal. Si se instalan múltiples dispositivos controladores en un patrón simple, necesariamente todas deben usar la interrupción 5C, que es la interrupción estándar del NetBIOS.

- /R2

Este argumento es requerido para la operación normal de la tarjeta. Especifica la versión del dispositivo controlador instalado, en nuestro caso corresponde a la versión 2.0.

- /B

Se usa este argumento para prevenir el reseteo de la tarjeta, los comandos de reinicio SA85 OI-F correspondientes a la aplicación. Si este comando no es usado, causará que se inicie la tarjeta y arranque el programa de diagnóstico.

Entonces, con lo expuesto, el archivo `config.sys` para nuestros propósitos debe incluir la siguiente línea de comando:

```
DEVICE=C:\SA85\MBPHOST.SYS /MC800 /N1 /S5D /R2
```

## 6.4. INICIACIÓN DEL PC

Luego de haber instalado el dispositivo controlador y editado correctamente el *config.sys*, reinicamos el PC, esto le permite arrancar al PC con los respectivos cambios realizados en el *config.sys*. Si el seteo básico del dispositivo patrón, instalación del adaptador, o la instalación del software controlador del mismo, son incorrectos, el PC no arrancará normalmente. En cuyo caso se debe revisar nuevamente todos los pasos de la instalación.

Después de completar satisfactoriamente la instalación de la tarjeta y del software controlador, la aplicación basada en este adaptador está lista para acceder a las funciones del NetBIOS requeridas tanto para el software de programación del PLC (Concept) como para el software SCADA (Intouch). Una descripción detallada de los archivos del NetBIOS, así como también de las librerías se proporciona en el anexo correspondiente a información complementaria.

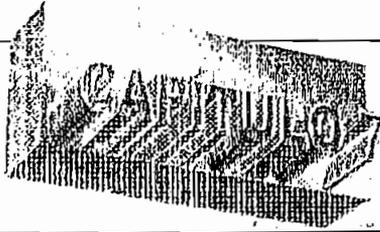
## 6.5. ESPECIFICACIONES DEL ADAPTADOR DE RED MODBUS PLUS SA85

Se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 6.6. Especificaciones del adaptador de red SA85.

DESCRIPCIÓN	NOMBRE	ADAPTADOR MODBUS PLUS SA85
	NÚMERO DE PARTE	AM-SA85-000
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	DIMENSIONES	Eslándar para slot de expansión PCI 5.2 x 4.2 in (132 x 107 mm)
	PESO	1.0 lb (0.45 kg) neto
		2.0 lb (0.9 kg) embalado
POTENCIA	CORRIENTE DE OPERACIÓN	Desde la tarjeta madre del PC, 500 mA a 5 Vdc máximo

CONDICIONES AMBIENTALES	TEMPERATURA	0 – 60 °C, operando
		-40 – 80 °C, almacenado
	HUMEDAD	0 – 95 %, no condensado
CONEXIÓN A RED	EMI, SUSCEPTIBILIDAD A RADIACIÓN	MIL STD 461B RS02, RS03
	EMI, SUSCEPTIBILIDAD A CONDUCCIÓN	MIL STD 461B CS02
	TÍPO DE CONECTOR	MODBUS PLUS DB9 hembra
SOFTWARE	SISTEMA OPERATIVO	MS – DOS 3.1 o superior OS/2 1.0 o superior
	LIBRERÍA C	Microsoft C 5.1 (modelo extendido)
	VERSIÓN	Versión 2.24



## ENSAMBLAJE DEL EQUIPO

### 7.1. IDENTIFICACIÓN, CONFIGURACIÓN Y CARACTERÍSTICAS METROLÓGICAS DE LOS EQUIPOS DE CAMPO.

Es un procedimiento que se aplica a todos los equipos del tipo EIME (equipos de inspección, medición y ensayo) que se encuentran ubicados en las diferentes áreas y máquinas de la planta, cuyo propósito de definir una forma estandarizada de identificación, definición de características metrológicas, modo de operar, almacenar y transportar los equipos de campo, a fin de facilitar su ubicación y garantizar su seguimiento.

En cuanto a la identificación, el nombre de los equipos consta de dos partes: la primera definida por dos o más letras que indican la función que realiza el equipo y la segunda parte definida con una cifra; cuando se trata de equipos estáticos instalados en la máquina, adicionalmente se la añade el código del proceso, que para Aire Acondicionado es el 871\_1.

Asimismo en el proceso han sido codificados los tres sistemas: Cajas de Soplado de Aire H4\_H5 con el 1, Cajas de Soplado de Aire H1\_H2\_H3 con el 2 y Acondicionamiento de Aire Sala de Embobinado con el 3. Adoptada conforme al orden de automatización, establecido de acuerdo a la programación de paro de la producción.

Las Letras y Símbolos de los Instrumentos, se agrupan en la norma usada por THE, W. KELLOGG CO.

La identificación de los equipos de campo conforme a lo expuesto es la siguiente:

AIRE ACONDICIONADO PARA CAJAS DE SOPLADO Y LA SALA DE EMBOBINADO: 871\_1

CAJAS DE SOPLADO DE AIRE H4\_H5: 1\_871\_1

SENSORES: Los sensores se marcan con una segunda letra "S" en la parte literal:

- TS1: SENSOR DE TEMPERATURA A CONTINUACIÓN DE PRECALENTADOR
- TS2: SENSOR DE TEMPERATURA EN EL DUCTO DE DISTRIBUCIÓN
- MS1: SENSOR DE HUMEDAD RELATIVA EN EL DUCTO DE DISTRIBUCIÓN
- PS1: SENSOR DE PRESIÓN ESTÁTICA EN EL DUCTO DE DISTRIBUCIÓN

ACTUADORES:

- FCRVE1: ELECTROVÁLVULA PROPORCIONAL CONTROLADORA DE FLUJO DE VAPOR HACIA EL PRECALENTADOR.
- FCRVE2: ELECTROVÁLVULA PROPORCIONAL CONTROLADORA DE FLUJO DE AGUA FRÍA HACIA EL ENFRIADOR
- FCRVE3: ELECTROVÁLVULA PROPORCIONAL CONTROLADORA DE FLUJO DE VAPOR HACIA EL HUMIDIFICADOR
- FCRVE4: ELECTROVÁLVULA PROPORCIONAL CONTROLADORA DE FLUJO DE VAPOR HACIA EL POSCALENTADOR

- PCRME1: MOTOR ELECTROHIDRÁULICO PROPORCIONAL CONTROLADOR DE POSICIÓN DE LOS DAMPERS

CAJAS DE SOPLADO DE AIRE H1\_H2\_H3: 2\_871\_1

SENSORES:

- TS1: SENSOR DE TEMPERATURA A CONTINUACIÓN DE PRECALENTADOR
- TS2: SENSOR DE TEMPERATURA EN EL DUCTO DE DISTRIBUCIÓN
- MS1: SENSOR DE HUMEDAD RELATIVA EN EL DUCTO DE DISTRIBUCIÓN
- PS1: SENSOR DE PRESIÓN ESTÁTICA EN EL DUCTO DE DISTRIBUCIÓN

ACTUADORES:

- FCRVE1: ELECTROVÁLVULA PROPORCIONAL CONTROLADORA DE FLUJO DE VAPOR HACIA EL PRECALENTADOR
- IP1: TRANSDUCTOR DE CORRIENTE A PRESIÓN
- FCRNV1: VÁLVULA NEUMÁTICA PROPORCIONAL CONTROLADORA DE FLUJO DE AGUA FRÍA HACIA EL ENFRIADOR
- FCRVE3: ELECTROVÁLVULA PROPORCIONAL CONTROLADORA DE FLUJO DE VAPOR HACIA EL HUMIDIFICADOR
- FCRVE4: ELECTROVÁLVULA PROPORCIONAL CONTROLADORA DE FLUJO DE VAPOR HACIA EL POSCALENTADOR:
- SICA1: INDICADOR CON ALARMA, CONTROLADOR DE VELOCIDAD DEL MOTOR DEL SOPLADOR

ACONDICIONAMIENTO DE AIRE SALA DE EMBOBINADO: 3\_871\_1

SENSORES:

- TS1: SENSOR DE TEMPERATURA AMBIENTE EN LA SALA DE EMBOBINADO
- MS1: SENSOR DE HUMEDAD RELATIVA AMBIENTE EN LA SALA DE EMBOBINADO

ACTUADORES:

- IP1: TRANSDUCTOR DE CORRIENTE A PRESIÓN
- FCRNV1: VÁLVULA NEUMÁTICA PROPORCIONAL CONTROLADORA DE FLUJO DE AGUA FRÍA HACIA LOS ENFRIADORES
- FCRVE2: ELECTROVÁLVULA PROPORCIONAL CONTROLADORA DE FLUJO DE VAPOR HACIA LOS CALENTADORES.
- FCRVE3: ELECTROVÁLVULA PROPORCIONAL CONTROLADORA DE FLUJO DE VAPOR HACIA LOS HUMIDIFICADORES.

Poniendo en claro que físicamente los sensores de temperatura y humedad relativa, están integrados en un mismo paquete, por esta razón la identificación sería TMS (Sensor de Temperatura y Humedad Relativa *Moisture*), es decir:

- TMS1\_1\_871\_1: SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA EN EL DUCTO DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE PARA LAS CAJAS DE SOPLADO H4\_H5.
- TMS1\_2\_871\_1: SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDA RELATIVA EN EL DUCTO DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE PARA LAS CAJAS DE SOPLADO H1\_H2\_H3.

▪ TMS1\_3\_871\_1: SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA AMBIENTE EN LA SALA DE EMBOBINADO.

Mediante esta forma de identificación se evitan confusiones entre equipos similares ubicados en otras áreas o procesos.

En cuanto a la definición de las características metrológicas, cada equipo de campo posee una ficha técnica. La ficha técnica describe las características metrológicas de los EIME, la cual contiene la información necesaria y suficiente para poder realizar un adecuado control de cada instrumento.

Todos los sensores vienen calibrados de fábrica, la correcta lectura y señal de corriente (4 – 20 mA) de los mismos se comprueba por medio de un patrón de contrastación y un multímetro (con capacidad de medir mA) respectivamente. La configuración de los actuadores fue realizada mediante el ajuste de los potenciómetros de span y cero, para garantizar el rango de operación correcto, y la selección del sentido de giro necesario para la función de la válvula. Esta configuración se realiza mediante una señal de control de 4 – 20 mA generada por una fuente corriente miliamperimétrica patrón y la contrastación con el miliamperímetro patrón.

Para la operación, almacenamiento y transporte, se toma como referencia el manual de operación de cada equipo y en caso de no existir se elabora un instructivo basado en la experiencia, considerando las condiciones necesarias para garantizar su funcionamiento, transporte y almacenamiento.

Todos los sensores y actuadores tienen su manual de operación, razón por la cual no es necesario elaborar el instructivo. De acuerdo con el manual de cada equipo se ha establecido el sistema de recibir, manejar, transportar y almacenar el

mismo, para evitar la alteración, el uso inadecuado, el daño y los cambios en las características funcionales.

En el manual se enunciaron los niveles permitidos de operación, y se han tomado las respectivas precauciones para asegurar que los equipos de campo funcionen con la mayor eficiencia posible sin exceder los niveles permitidos.

La identificación está colocada en el equipo.

## 7.2. TABLERO DE CONTROL

Está situado en el área de Aire Acondicionado (nivel 3m), en un lugar estratégico cercano a las tres unidades manejadoras de aire, como se puede apreciar en las figuras 7.1 y 7.2. Se encuentra situado fijamente en la pared de manera que no se vea afectado por la vibración.

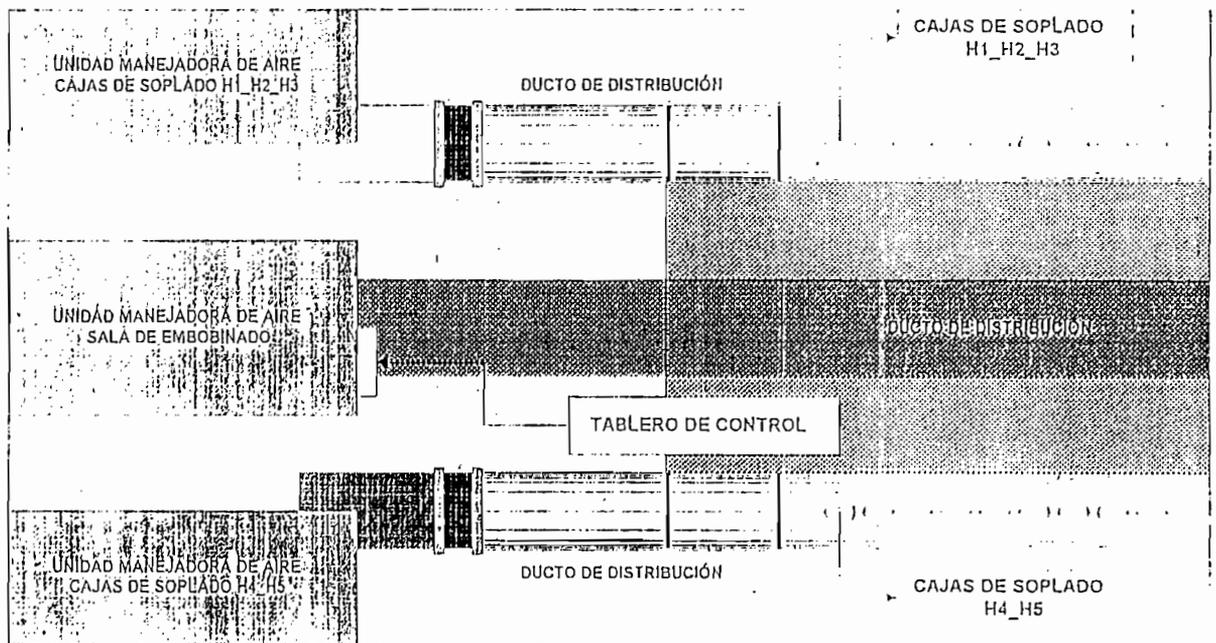


Figura 7.1: Vista superior del área de Aire Acondicionado y ubicación del tablero de control

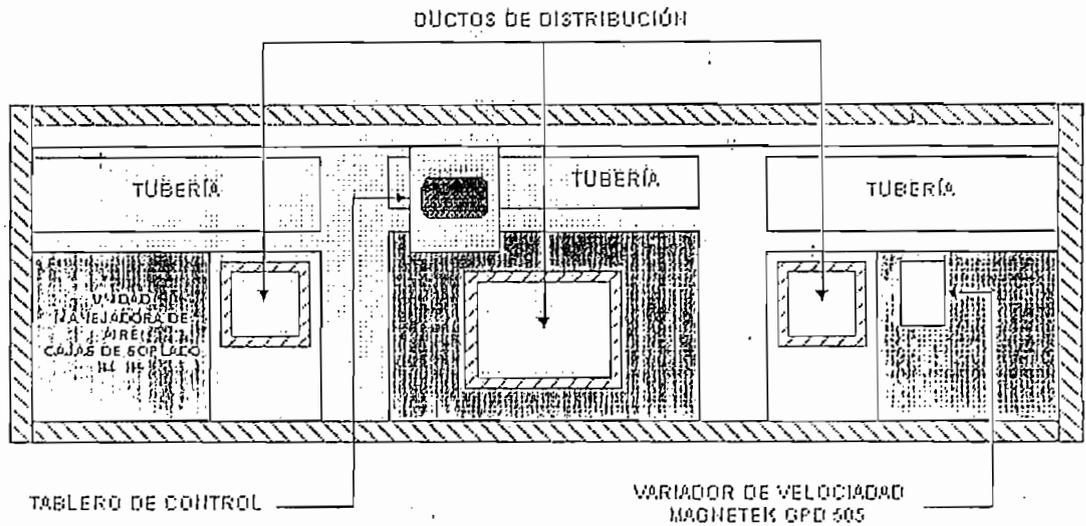


Figura 7.2. Vista frontal del área de Aire Acondicionado y ubicación del tablero de control

En la figura 7.3 se presentan las dimensiones del mismo. Está construido de acuerdo a las dimensiones de los elementos que guarda, es decir:

- PLC, Controlador Lógico Programable.
- Transformador, para cambiar la alimentación de 220Vac del tablero, a 110Vac para alimentar al PLC y al ventilador, y a 24Vac para alimentar a los actuadores.
- Fuente de poder. Para alimentar a los sensores.
- Protecciones (breaker, fusibles, tornillos de puesta a tierra), borneras y canaletas, para proteger el equipo, facilitar las conexiones y el mantenimiento.

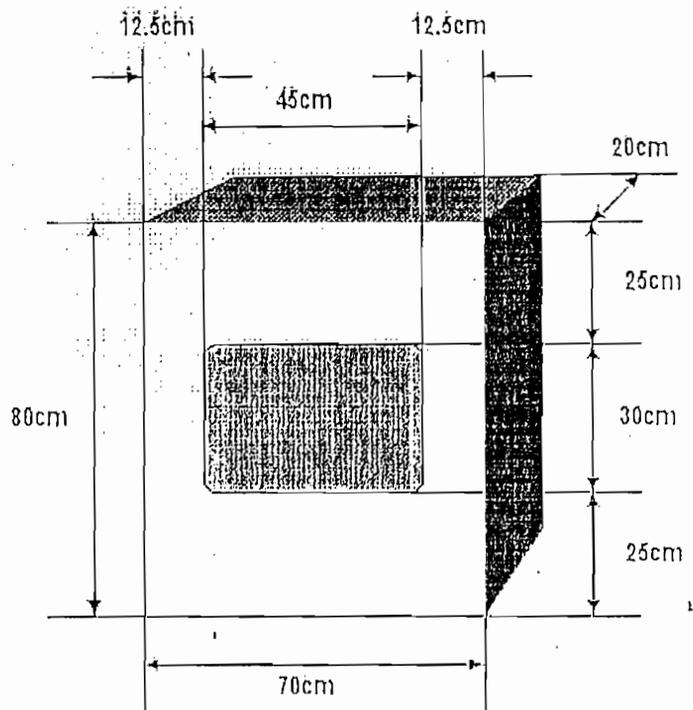


Figura 7.3. Dimensiones del tablero de control.

La disposición de los elementos en el tablero, es la que se muestra en la figura siguiente:

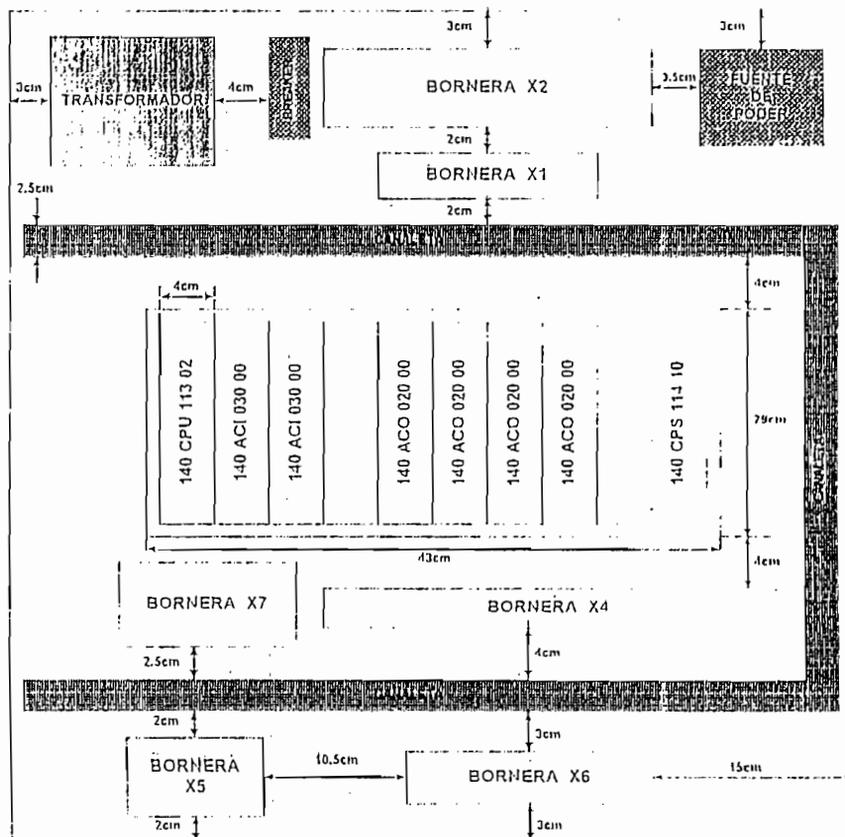


Figura 7.4. Disposición de los elementos en el tablero de control.

Tanto la conexión de los elementos del tablero, como también la de los instrumentos de campo se presenta en detalle en los diagramas del Anexo 1.

### 7.3. UBICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS

La mejor manera de explicar la ubicación de los instrumentos, es gráficamente.

Conforme al orden de implementación realizado y a la identificación de instrumentos descrita anteriormente, en las siguientes hojas contamos con el apoyo de tres figuras para cada uno de los respectivos sistemas, ahí se esquematiza la ubicación de los instrumentos:

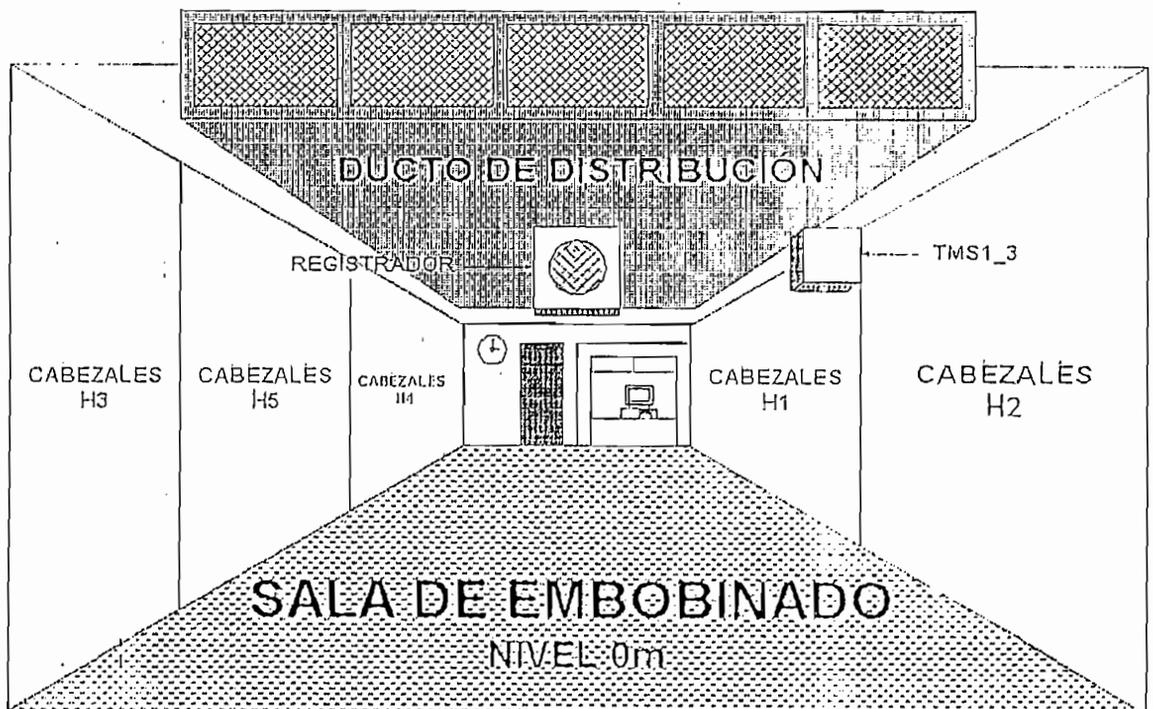


Figura 7.5. Diagrama esquemático de la ubicación de los instrumentos en la Sala de Embobinado.

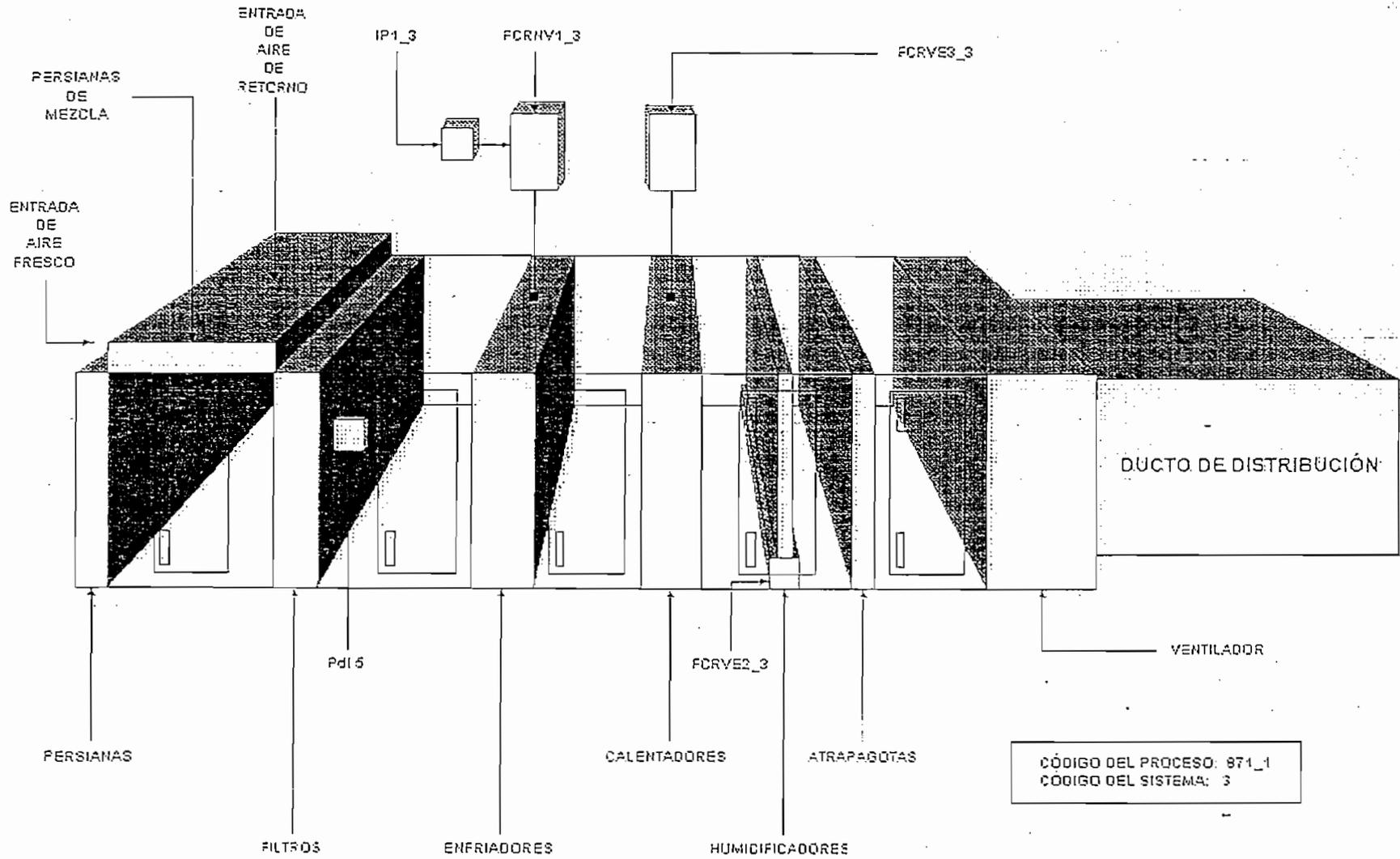


Figura 7.6. Diagrama esquemático de la ubicación de los instrumentos en la unidad manejadora de aire: Sala de Embobinado

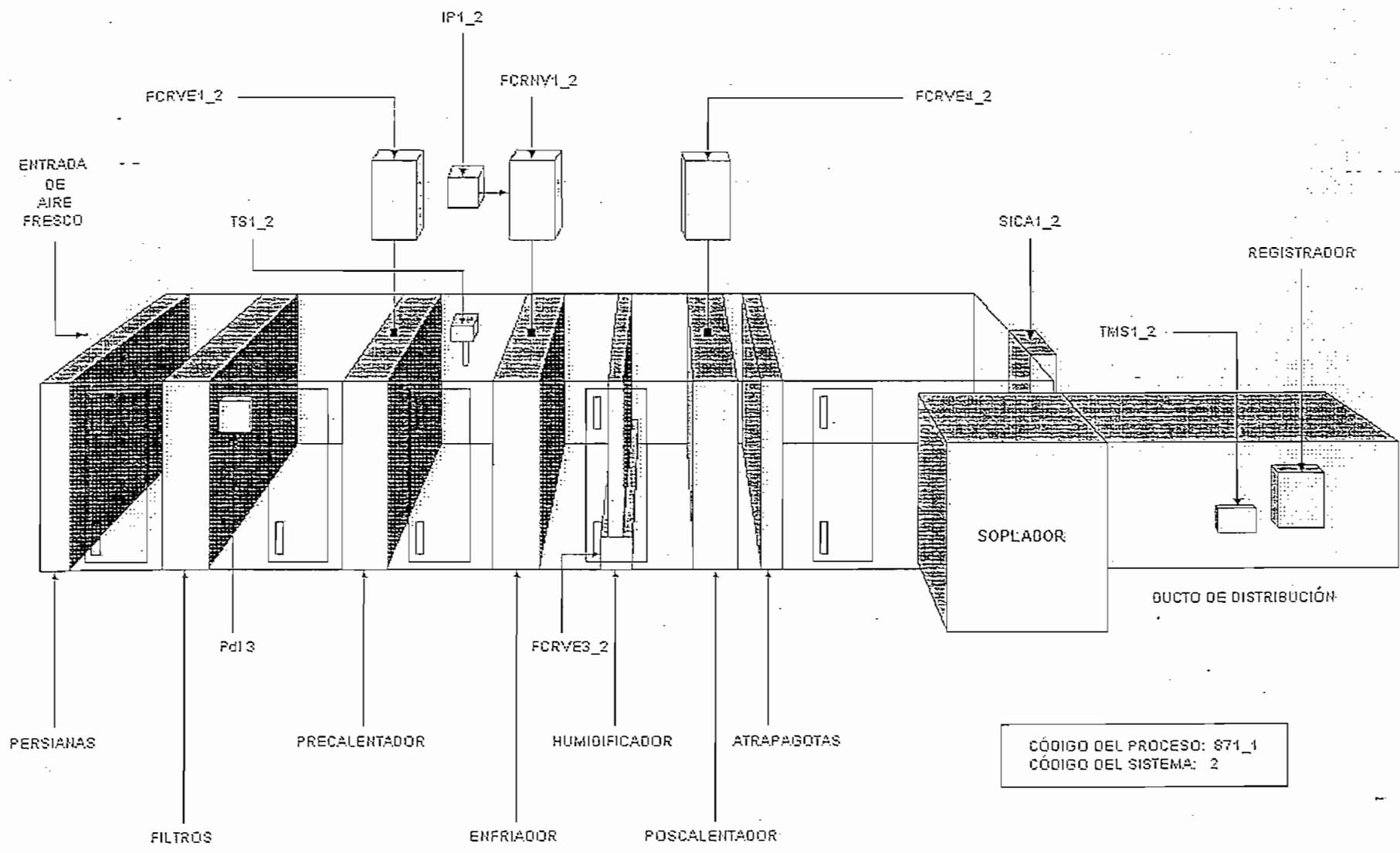
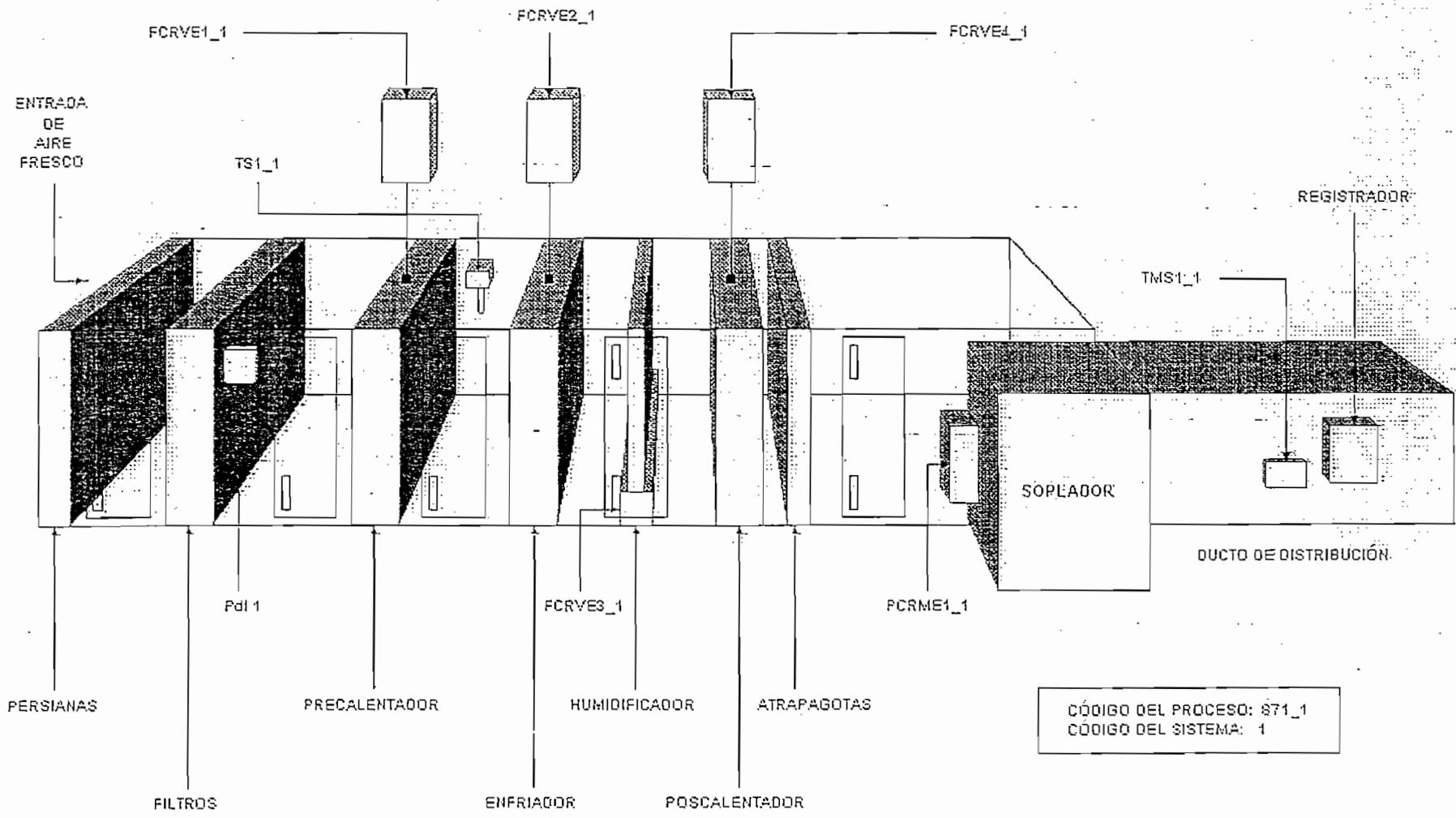


Figura 7.8. Diagrama esquemático de la ubicación de los instrumentos en la unidad manejadora de aire: Cajas de Soplado H1\_H2\_H3.



172

Figura 7.7. Diagrama esquemático de la ubicación de los instrumentos en la unidad manejadora de aire: Cajas de Soplado H4\_H5.



## SISTEMA DE SUPERVISIÓN, CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS (SCADA)

### 8.1. SOFTWARE DE SUPERVISIÓN, CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS (SCADA)

Se trata del software Intouch 7.0, el MMI líder mundial en visualización, perteneciente al sistema Factory Suite 2000 de la Wonderware Corporation. Un sistema MMI integrado y basado en componentes, con el cual se pretende a futuro tener acceso a toda la información necesaria para operar la fábrica. En la actualidad, no basta con disponer de una base de datos, ó un MMI, se necesita un sistema que integre todos los componentes – visualización, control de procesos, recolección de datos de una determinada sección de producción de la planta, almacenamiento y análisis de datos, así como también acceso vía Internet/Intranet – para hacer de la planta algo verdaderamente productivo.

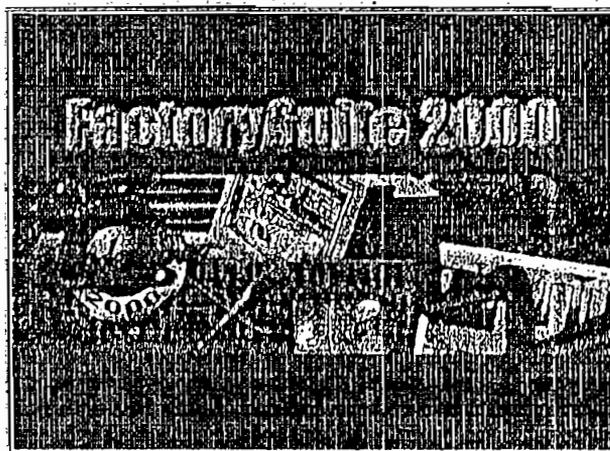


Figura 8.0. Sistema MMI Factory Suite 2000.

El presente proyecto constituye el punto de partida para conseguir a mediano plazo un poderoso sistema de supervisión y de administración de la información recibida y enviada de los procesos necesarios para obtener fibras sintéticas.

El software corre bajo sistema operativo Microsoft WindowsNT 4.0; pero para visualización y PC's configurados como clientes, corren también bajo Windows 95/98. Factory Suite establece un estándar en cuanto a lo que se espera de un sistema MMI integral. Uno de los componentes clave que ofrece funciones indispensables para la supervisión de cualquier proceso automatizado basándose en PLC's, principalmente los de la serie Modicon TSX Quantum, es Intouch versión 7.0.

Intouch, proporciona una visión integrada de todos los recursos de control e información. Permite desarrollar programas de acuerdo a los requerimientos de ingenieros, supervisores, administradores y operadores. es decir, permite visualizar e interactuar a través de la presentación gráfica con los procesos.

La versión 7.0 para Windows NT 4.0 y Windows 95/98 incluye una serie de características nuevas y actualizadas con respecto a las anteriores, que entre otras incluye la referenciación remota de Tags (etiquetas → variables), soporte a ActiveX, manejo de alarmas distribuidas, datos históricos distribuidos, interfaz de usuario actualizada, QuickFunctions y SuperTags. Adicionalmente, el ambiente de desarrollo de las aplicaciones para redes permite la implementación de sistemas para su uso en redes de PC's. La facilidad y potencia de Intouch reducen de manera considerable el costo y el tiempo asociados con el desarrollo y el mantenimiento de sistemas de interfaz para operador/SCADA. En la figura 8.1, se muestra la red de conexión entre el PLC, PC, PC temporal para cambios emergentes y los instrumentos de campo.

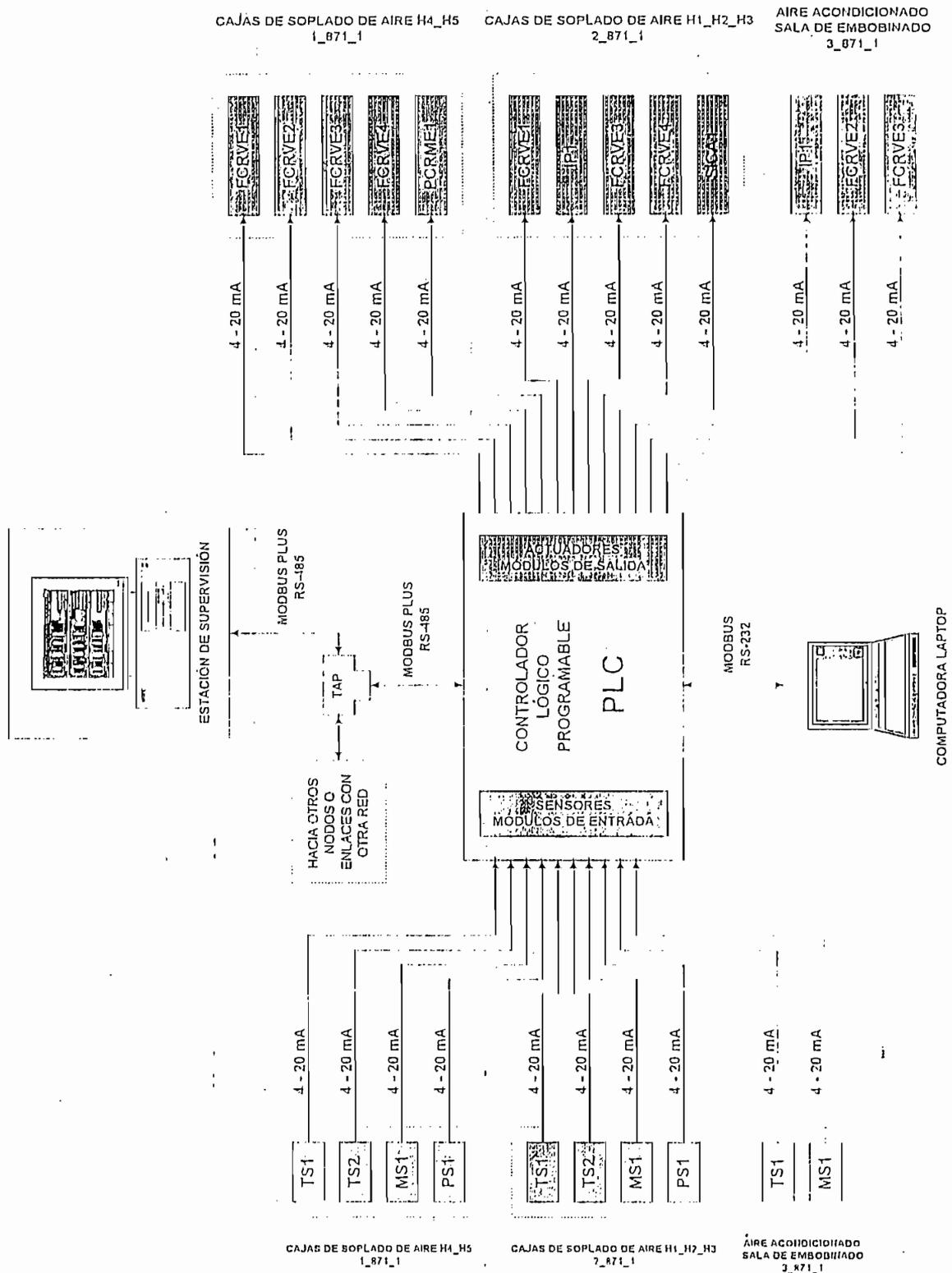


Figura 8.1. Vision general del Sistema de Control y Supervision.

La característica principal que ofrece este tipo de software, figura 8.2, es la posibilidad de diseñar y construir el dibujo o la representación gráfica del proceso en la pantalla del PC. Para nuestro caso en particular se puede ver por ejemplo, la planta completa vista lateralmente. Con solo hacer click con el mouse, se ingresa a la pantalla principal de los procesos de acondicionamiento de aire, figura 8.3, sin importar que el proceso se realice en una zona distante (nivel 3m) al sitio donde está instalada la computadora (nivel 6m) o Estación de Supervisión.

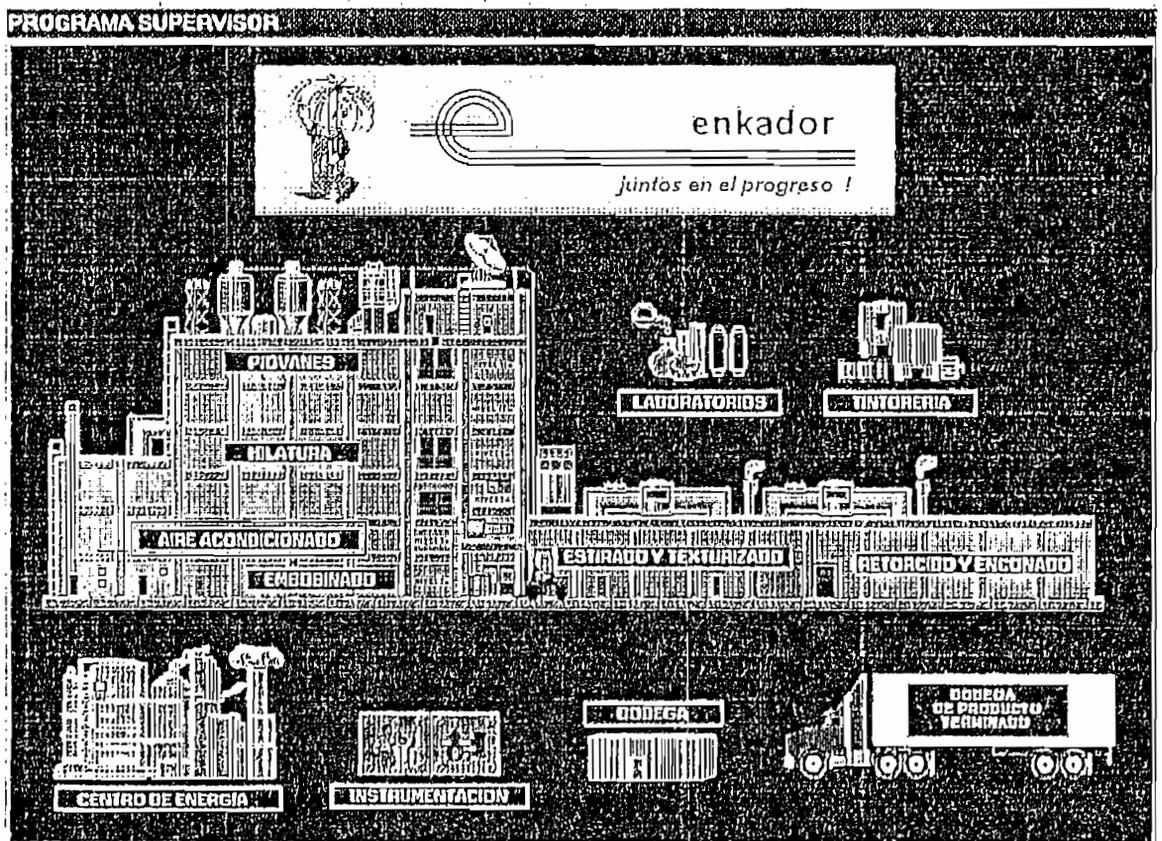


Figura 8.2. Dibujo de la planta vista lateralmente. Pantalla principal

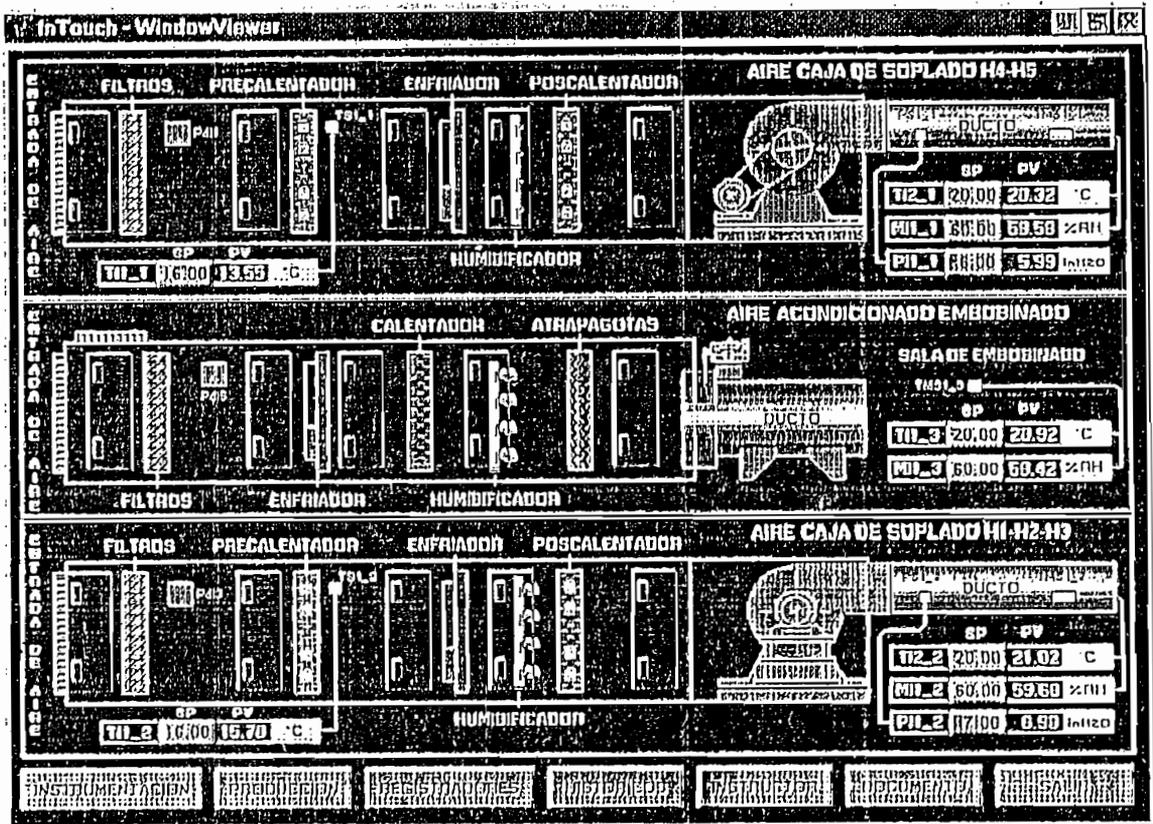


Figura 8.3. Dibujo de los procesos de acondicionamiento de aire.

Otra de las características del programa es la obtención de reportes gráficos impresos del comportamiento semanal de las variables, así como también, de sus respectivos valores prácticamente en tiempo real, asimismo, podemos pedir curvas de valores de determinada variable. Los datos obtenidos desde el sitio de proceso en la planta pueden ser impresos directamente en la impresora de red con que cuenta Enkador.

Otra de las características del control supervisor es la programación de alarmas. Si en determinado momento, un dispositivo o elemento del proceso funciona en forma anormal, o deja de funcionar, el sistema inmediatamente debe mostrar la respectiva alarma indicando el sistema y el dispositivo exacto donde se presente el problema, puesto que con la implementación de esta característica, se puede ahorrar tiempo y dinero ya que los fallos en los procesos automáticos de

acondicionamiento de aire generan pérdidas cuantiosas debido a la degradación del producto, en este caso filamentos y bobinas.

## 8.2. VISIÓN GENERAL DE LOS PARÁMETROS Y VARIABLES QUE INTERVIENEN

Los principales datos a visualizar en el programa, corresponden a los manejados por los departamentos involucrados y por ende por las personas responsables del correcto funcionamiento. Se pueden resumir en el diagrama de la figura 8.4, en el que se exponen las principales variables de entrada y salida, es decir, los valores que determinan las condiciones en que se efectúa cada uno de los tres procesos de acondicionamiento de aire, o sea, la lectura de la señal recibida de los sensores, y por otro lado el porcentaje de apertura o comportamiento de los actuadores, es decir, la señal de control transmitida. Todos se presentan prácticamente en tiempo real.

## 8.3. DESARROLLO DEL PROGRAMA DE APLICACIÓN

Al iniciar una sesión con Intouch 7.0, se dispone de dos ambientes de trabajo denominadas Window Maker y Window Viewer, que interactúan mediante un botón.

A diferencia de los lenguajes convencionales, las instrucciones lógicas se desarrollan por medio de objetos gráficos, en esta ventana de desarrollo se tiene una gran variedad de gráficos que permiten la programación se realice a través de una serie de objetos (ventanas y gráficos), y de enlaces lógicos que se establecen a través de instrucciones en cada objeto, permitiendo de esta manera el paso de datos de un bloque a otro.

La interfaz interactiva llamada Window Viewer, simula dinámicamente la parte desarrollada. La finalidad de este tipo de ventanas es la de tener una mejor actitud frente a las variables de entrada y salida pues al tener una ventana de desarrollo y una ventana de presentación, la enseñanza de algún proceso puede tomar menos tiempo, las decisiones lógicas pueden ser programadas oportunamente, y el tiempo en desarrollar la aplicación puede ser considerado como mínimo. Además, en la ventana de desarrollo se encuentran los indicadores y controles preconfigurados que el usuario requiere para la elaboración de complejas aplicaciones.

### 8.3.1. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PANTALLAS

Las diferentes pantallas que conforman el sistema, se construyen con facilidad, ya que en Intouch es posible mover, animar y modificar el tamaño de los objetos o grupos de objetos de manera rápida. Las poderosas herramientas de diseño gráfico orientado a objetos hacen que el dibujar, localizar, alinear, colocar objetos unos sobre otros, unos abajo de otros, espaciar, girar, invertir, duplicar, cortar, copiar, pegar y borrar objetos sea sumamente fácil. Además Intouch soporta cualquier resolución de vídeo soportada por Windows.

Los datos de operación recogidos de los instrumentos de campo se presentan al operador usando pantallas gráficas. Estas pantallas se describen a continuación:

El esquema principal es una visión lateral global de la planta en operación. En la pantalla de AIRE ACONDICIONADO se recibe la información de cada punto en el proceso: temperatura, humedad relativa y presión estática en cada uno de los sistemas. Se puede señalar cualquiera de los botones de la barra inferior empleando el mouse e iniciar las pantallas, tal como: INSTRUMENTACIÓN,

PRODUCCIÓN, REGISTRADORES, HISTÓRICOS, INSTRUCTOR y DOCUMENTO.

Para cada sistema de acondicionamiento de aire, se provee al operador un gráfico de funcionamiento del mismo, todos los datos medidos desde el respectivo sistema se muestran prácticamente en su posición física real. Facilitando de esta manera una visión general del estado de las variables en cada sistema, con lo cual el operador podrá claramente notar si el trabajo es normal.

### 8.3.1.1. PANTALLA PRINCIPAL

En esta pantalla se presenta un esquema general de la planta, denominada Linkador. Se destacan las áreas o secciones que serán modernizadas. Para acceder a cada una de ellas se ha creado un botón de acceso, es decir, dentro de esta pantalla los botones se irán habilitando a medida que se siga modernizando los diferentes procesos y sistemas. El operador luego de ingresar a cada opción, puede regresar a la pantalla principal, ir a la pantalla de cada sistema o ingresar a las opciones de cada uno de ellos. Esta pantalla es la que se presentó en la figura 8.2.

### 8.3.1.2. PANTALLA: AIRE ACONDICIONADO

En esta pantalla se muestra la operación y funcionamiento de las tres unidades manejadoras de aire (figura 8.3). Para cada uno de ellos se ha representado los respectivos instrumentos de medida y los componentes o elementos que conforman cada sistema.

Se observan los sensores de temperatura TSI\_1 y TSI\_2, mediante los cuales se conocerá la temperatura que tiene el aire luego de los PRECALENTADORES, estas temperaturas se expresan en °C. Se grafican también los indicadores de

presión diferencial Pd1 1, Pd1 3 y Pd1 5, estos indicadores son muy importantes ya que cada uno señala la diferencia de presión del aire existente antes y después de los filtros, que sirve para determinar el momento en serán reemplazados dichos filtros. Además para los tres sistemas se podrá observar las condiciones del aire suministrado, por medio de la lectura de los sensores de temperatura del aire en el ducto TS2\_1 y TS2\_2, sensores de humedad relativa del aire en el ducto MS1\_1 y MS1\_2, sensores de presión estática del aire PS1\_1 y PS1\_2, sensor de temperatura ambiente TS1\_3 y sensor de humedad relativa ambiente MS1\_3.

Adicionalmente, en forma de animaciones gráficas se muestra el funcionamiento de los intercambiadores de calor, así como también, de los motores a los cuales se acoplan los sopladores y el ventilador. Todos los intercambiadores variarán la intensidad del color en que han sido graficados de acuerdo al porcentaje de apertura de los actuadores.

Para el control completo de los tres sistemas de acondicionamiento de aire, como se mencionó anteriormente cada sensor cuenta con un bloque en el que se puede visualizar la temperatura, humedad relativa y presión estática respectivamente, en este bloque se podrá ajustar el SP (setpoint) del controlador PID, y también se indica valor correspondiente. El estado de los actuadores no se visualiza, aunque funcionarán de acuerdo al modo configurado en otra pantalla que se describirá más adelante.

En la parte inferior de esta pantalla y mediante botones controlados por el mouse, el operador tiene la opción de regresar a la pantalla principal o ingresar a las diferentes pantallas que se describen a continuación:

### 8.3.1.3. PANTALLA: INSTRUMENTACIÓN

Previo al ingreso a esta pantalla, se presenta una ventana de control de acceso (figura 8.5), seguidamente se muestra un menú para seleccionar el sistema (figura 8.6). A continuación se presenta una pantalla diseñada en forma de carpeta (figuras 8.7 y 8.8), la primera hoja se denomina SISTEMA DE CONTROL, y tiene las siguientes opciones: en la parte superior se pueden leer y modificar los parámetros de sintonización de los lazos de control implementados para el sistema escogido.

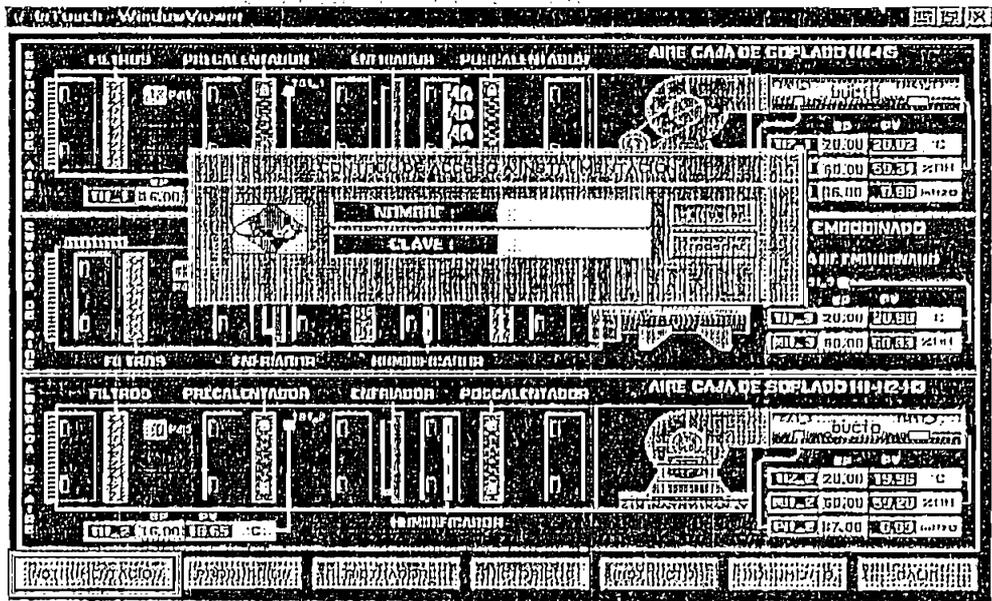


Figura 8.5. Ventana de control de acceso a Instrumentación

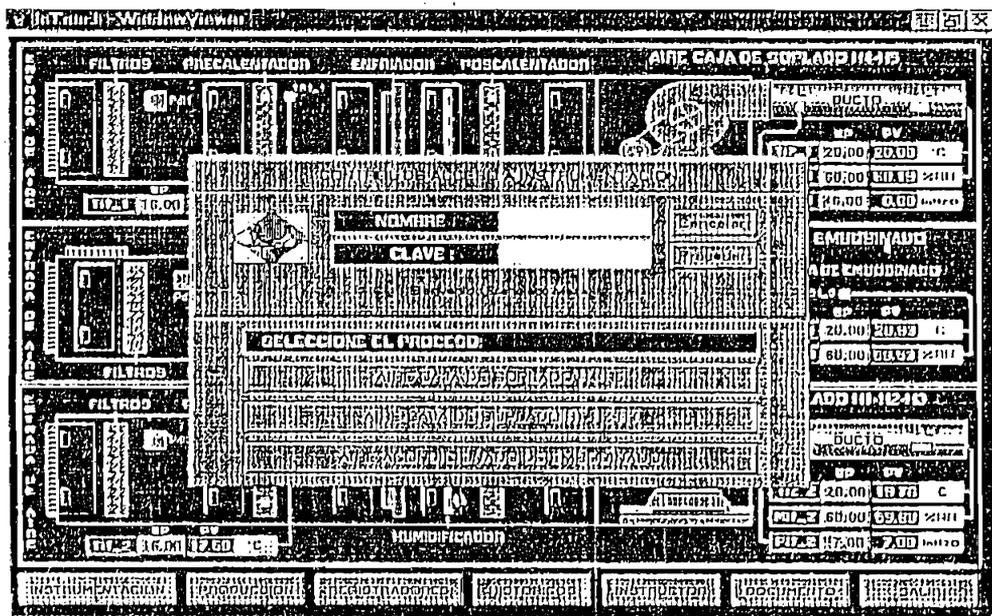


Figura 8.6. Ventana de selección del sistema.

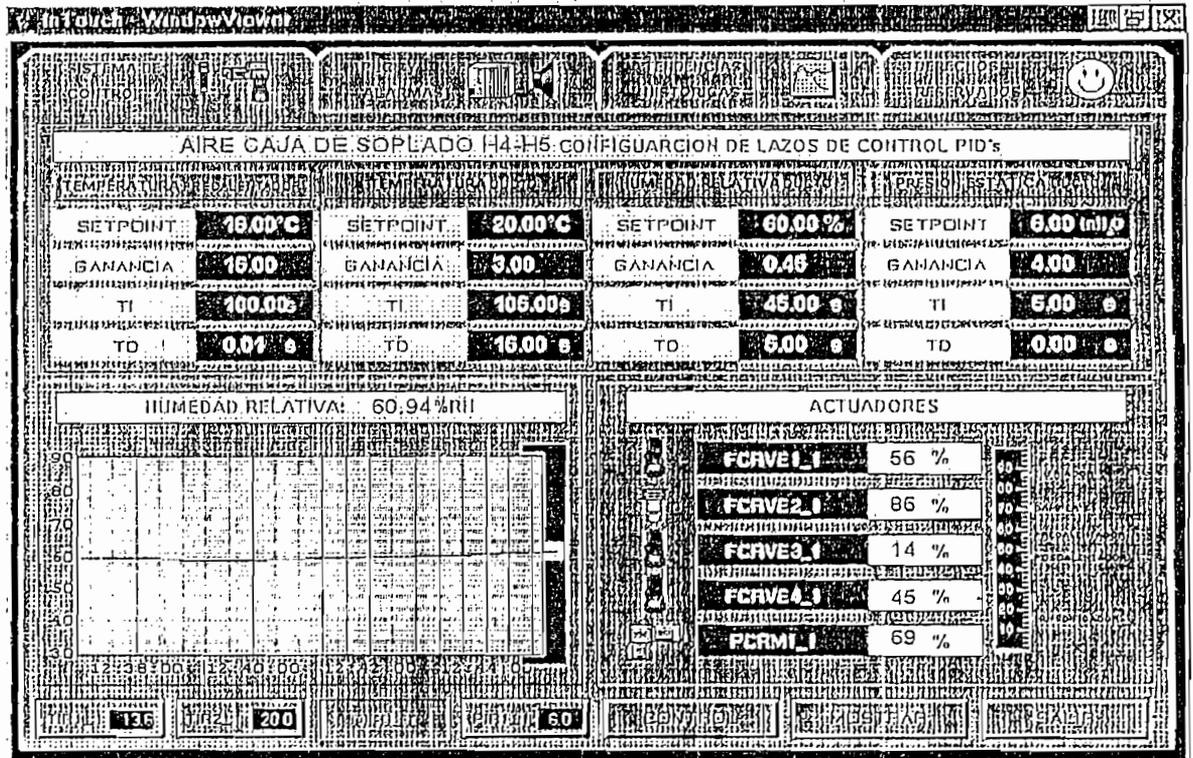


Figura 8.7. Ventana: SISTEMA DE CONTROL, CAJAS DE SOPLADO

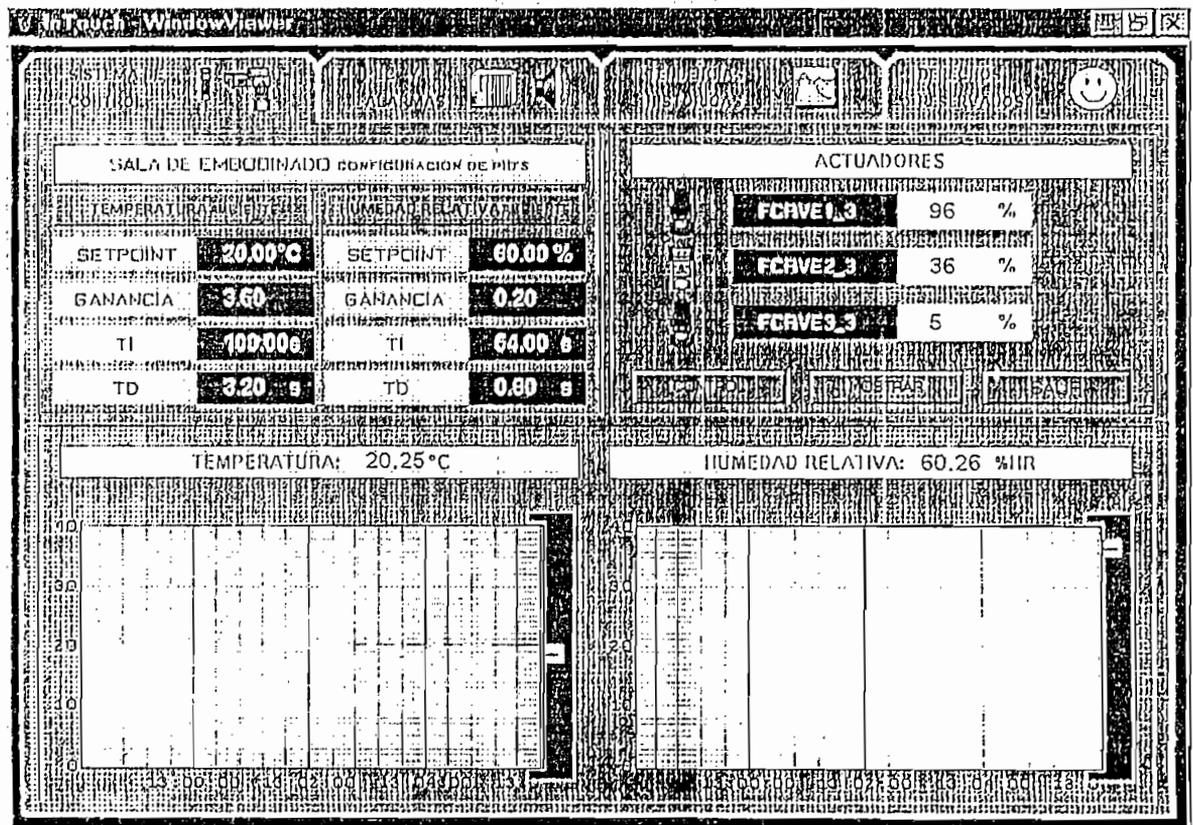


Figura 8.8. Ventana: SISTEMA DE CONTROL, EMOBINADO

En el cuadro de la parte inferior izquierda se dispone de registradores gráficos en tiempo real para cada variable, con los respectivos botones de selección. Finalmente en cuadro situado en la parte inferior derecha de esta pantalla se describe el estado de los actuadores, tanto de las servoválvulas como del posicionador, aquí también se encuentran los botones que permiten acceder a las ventanas para cambiar el modo de operación de los actuadores (figuras 8.9 y 8.10).

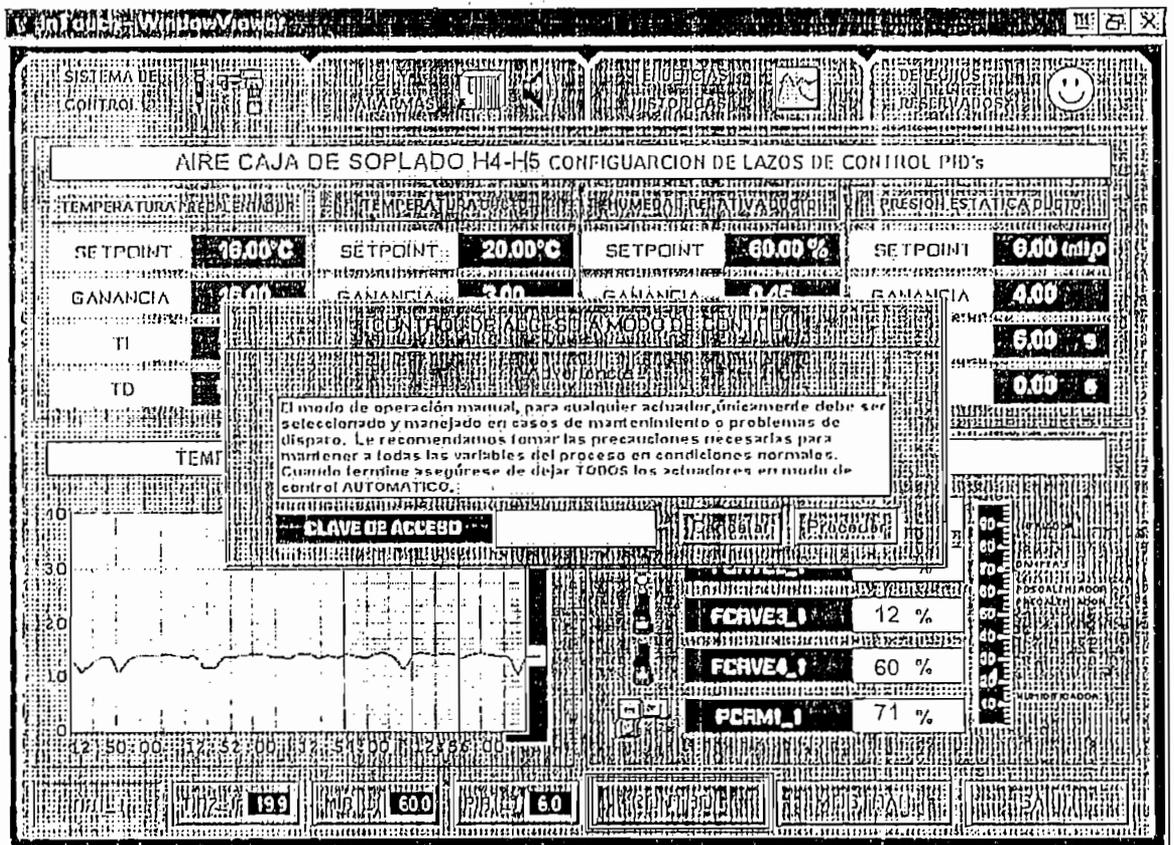


Fig 8.9. Ventana. ACCESO A MODO DE CONTROL

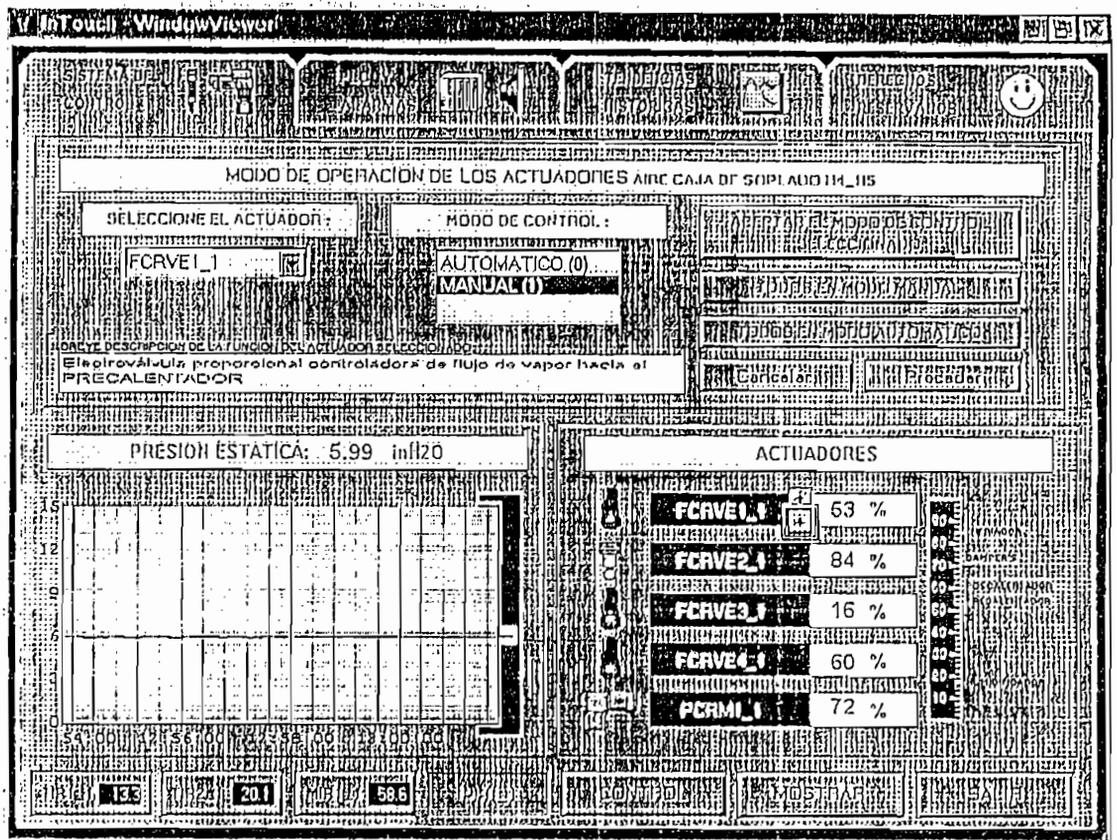


Fig 8.10. Ventana. MODO DE OPERACIÓN DE LOS ACTUADORES

En la segunda hoja (figura 8.11), es decir, la pantalla PLC Y ALARMAS, se describe: el estado de operación del PLC, módulo por módulo; el estado de la comunicación mediante la lectura de la salida de un oscilador implementado en el programa que almacena el PLC, con el propósito de prevenir roturas del cable de red Modbus Plus u otros problemas en el sistema de comunicación. En ambos casos los recuadros indicadores estarán en color verde si el estado del correspondiente módulo es óptimo y se pondrán en color rojo si presenta inconvenientes o es deshabilitado.

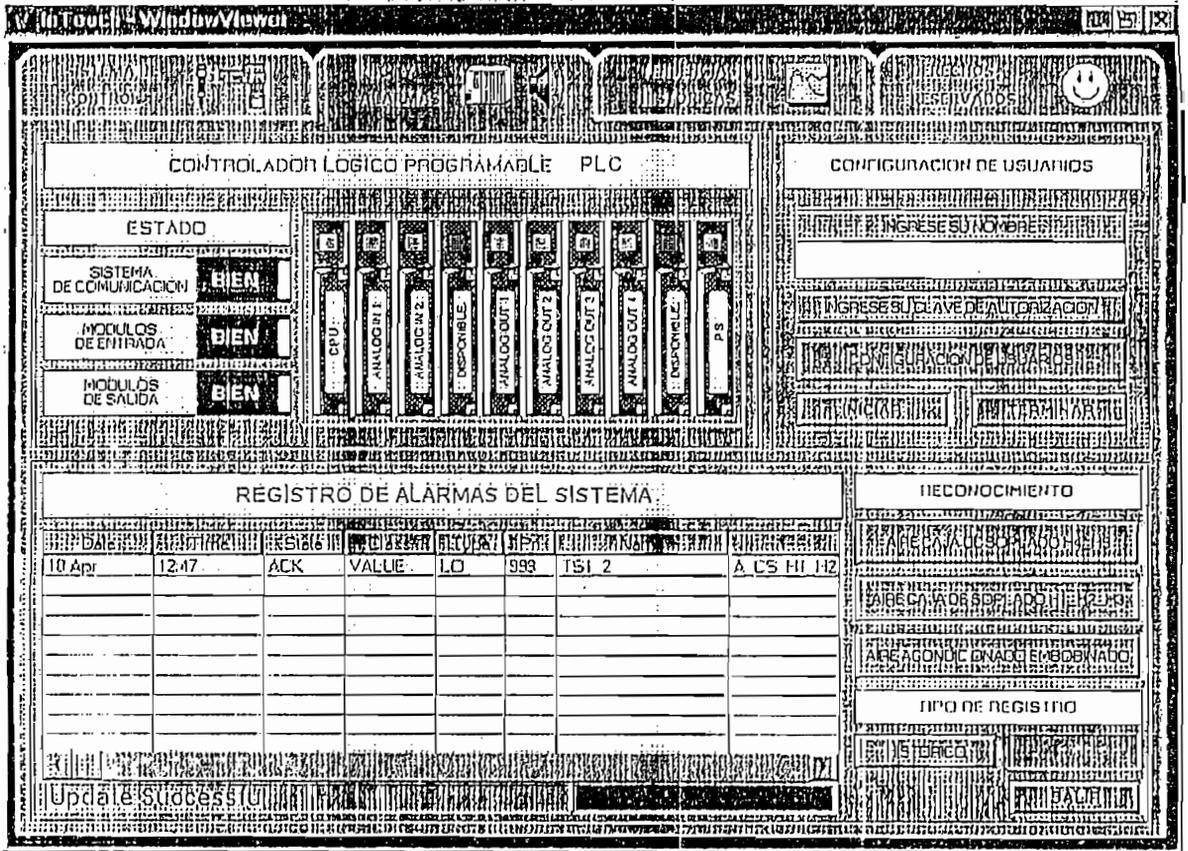


Figura 8.11. Pantalla: PLC Y ALARMAS

La pantalla tiene en su parte inferior un cuadro en donde se registran las alarmas, de acuerdo a los valores que entregan los sensores, se han establecido para cada variable, dos tipos de alarma HI y LO, en conformidad a los datos de operación normal de los procesos. En la parte derecha del cuadro se encuentran los botones de reconocimiento de las alarmas para cada uno de los tres sistemas, adicionalmente se tienen dos botones para seleccionar el tipo de registro a presentar, se puede mostrar en el cuadro un registro HISTÓRICO, o sea, las alarmas que se han producido durante las últimas 24 horas y registro tipo SUMARIO que muestra el último dato almacenado.

En la parte superior derecha de la pantalla se tiene la opción: configuración de usuarios, es accesible únicamente a personal autorizado del Departamento de Instrumentación Y Mantenimiento Eléctrico, mediante el ingreso del respectivo

nombre y clave, a partir de lo cual se presenta el menú de configuración estándar de Intouch.

En la hoja rotulada con: históricos (figura 8.12), se presenta los datos acutnulados pata cada variable en los últimos 7 días, al lado derecho de cada gráfico se encuentran identificadas las variables en correspondencia con el color de la línea representada en el histórico y los datos de la intersección de la curva de la variable con dos deslizadores.

Adicionalmente en esta pantalla en la parte inferior se tiene una barra de botones, se trata de herramientas que permiten configurar la presentación del gráfico.

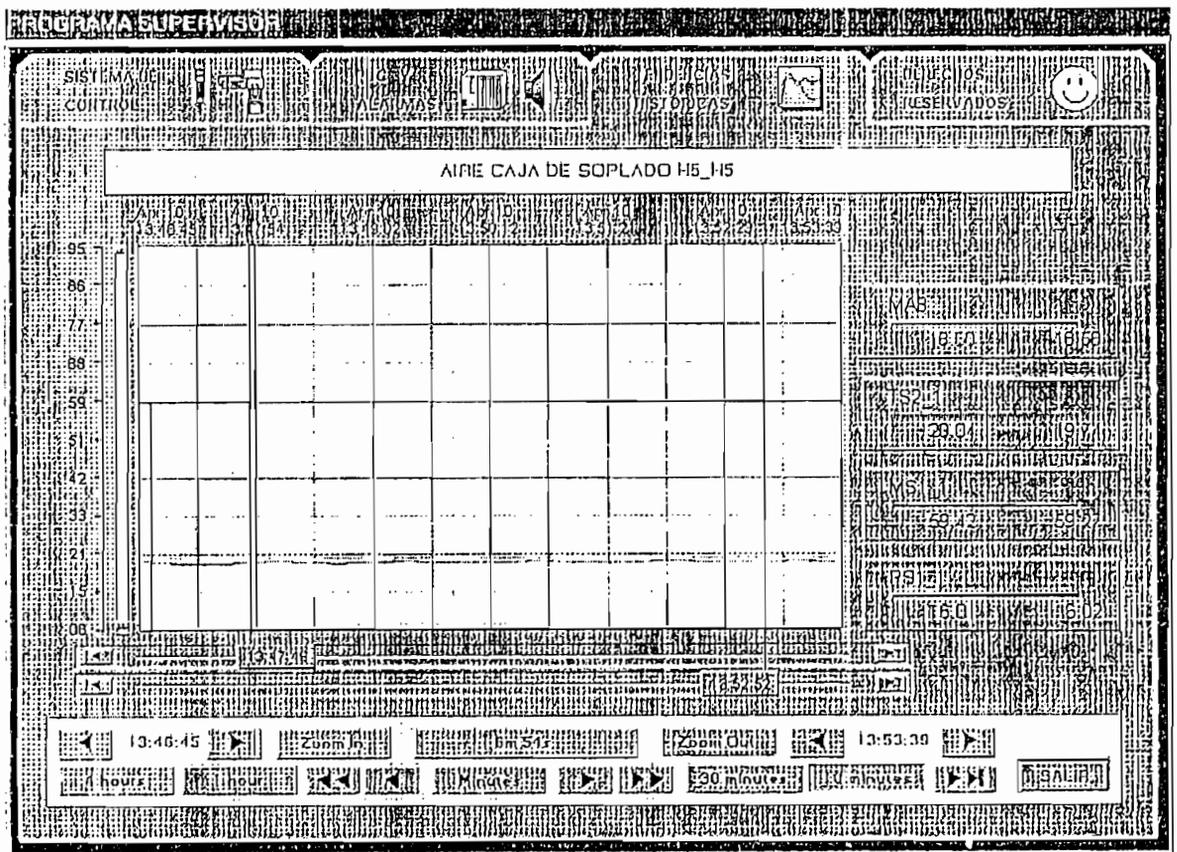


Figura 8.12. Hoja: HISTÓRICOS.



Figura 8.13. Hoja: DERECHOS RESERVADOS.

Para finalizar esta carpeta, en la última hoja: derechos reservados, se presenta una información general del proyecto principalmente en lo referente a los derechos de los autores, como se puede apreciar en la figura 8.13.

#### 8.3.1.4. PANTALLA: PRODUCCIÓN

Para permitir el cambio de condiciones en que se desarrolla uno de los tres procesos, no solamente por los miembros del Departamento de Instrumentación y Mantenimiento Eléctrico, sino también por el personal de Producción, se ha diseñado las siguientes pantallas:

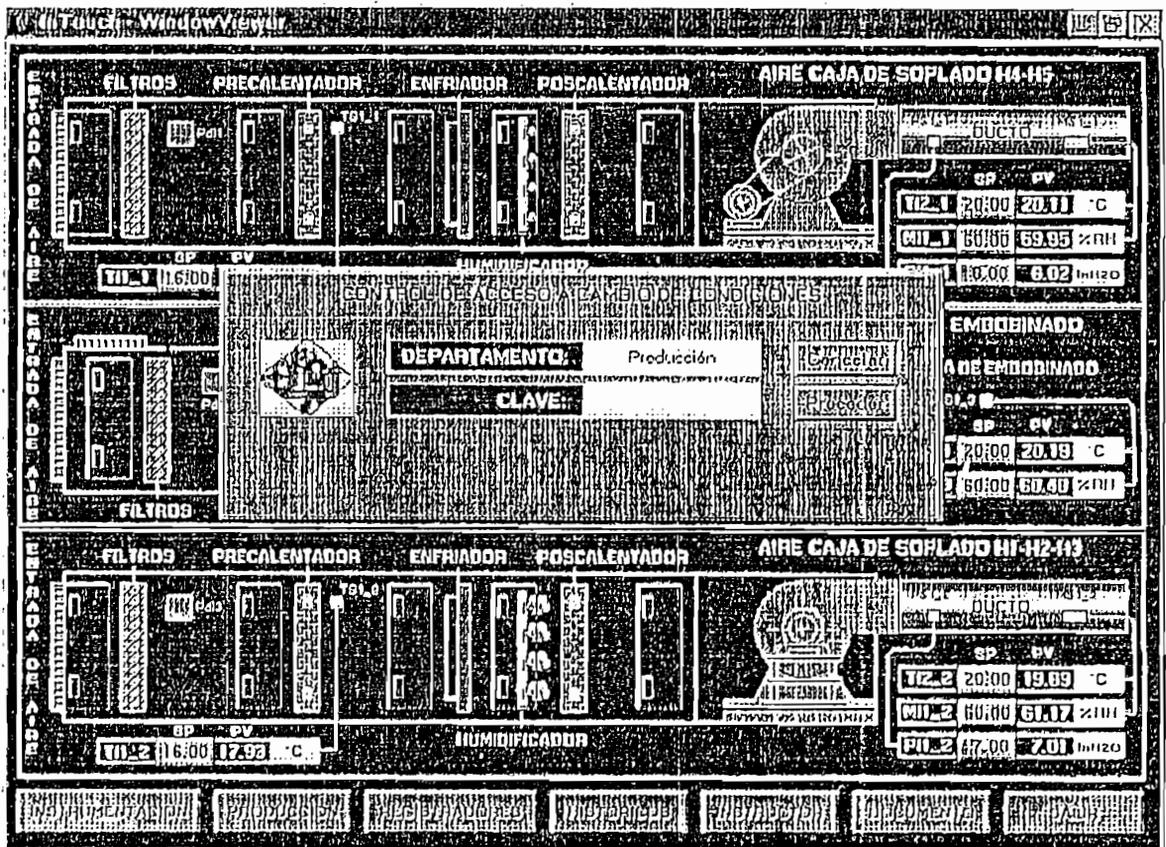


Figura 8.14. Ventana. CONTROL DE ACCESO A CAMBIO DE CONDICIONES

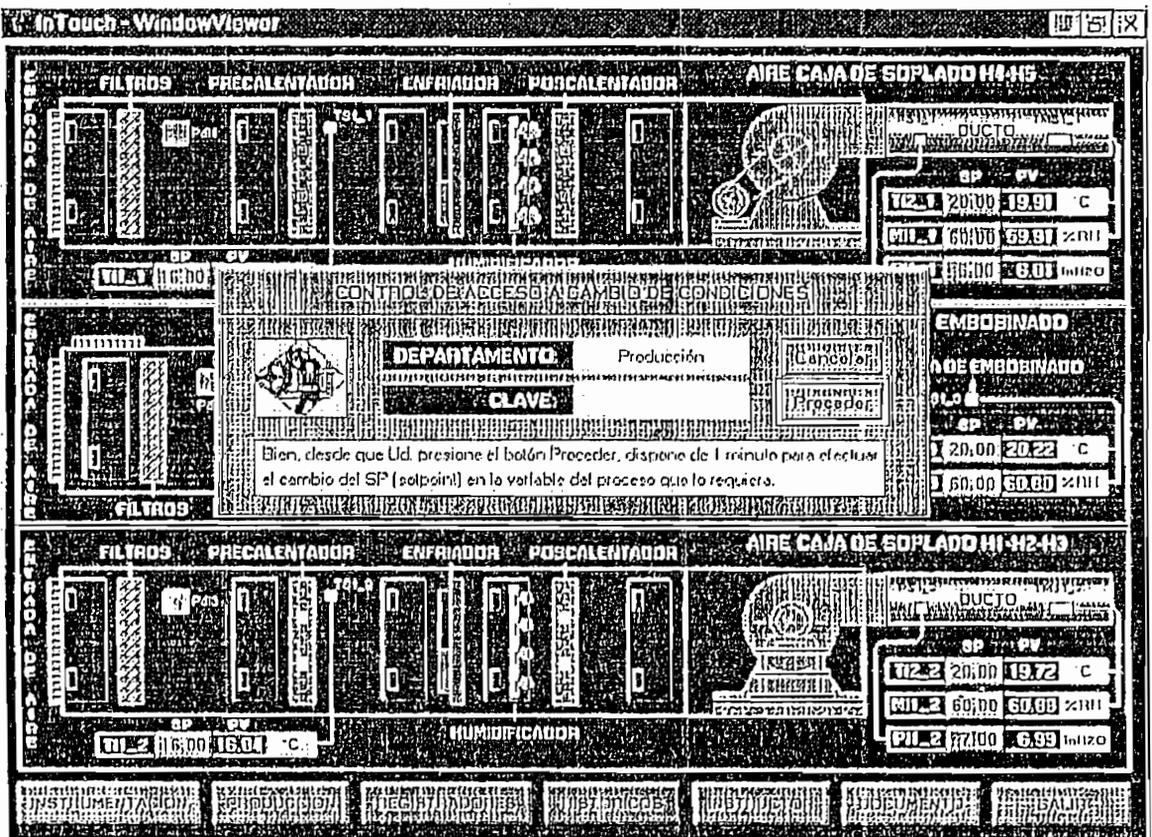


Figura 8.15. Mensaje luego de ingresar la clave correcta

Un cambio de este tipo implica la absoluta responsabilidad de garantizar el desarrollo de los procesos dentro de las normas preestablecidas, entonces, para asegurar el cumplimiento de esta condición, se ha diseñado una ventana de control de acceso (figura 8.14), que por medio del ingreso de una clave, permite que los botones de los setpoints se habiliten como entradas de nuevos datos (figura 8.16). Estos botones serán deshabilitados automáticamente, luego de consumirse un intervalo de tiempo promedio calculado para realizar el respectivo cambio, como se muestra en el mensaje de la figura 8.15.

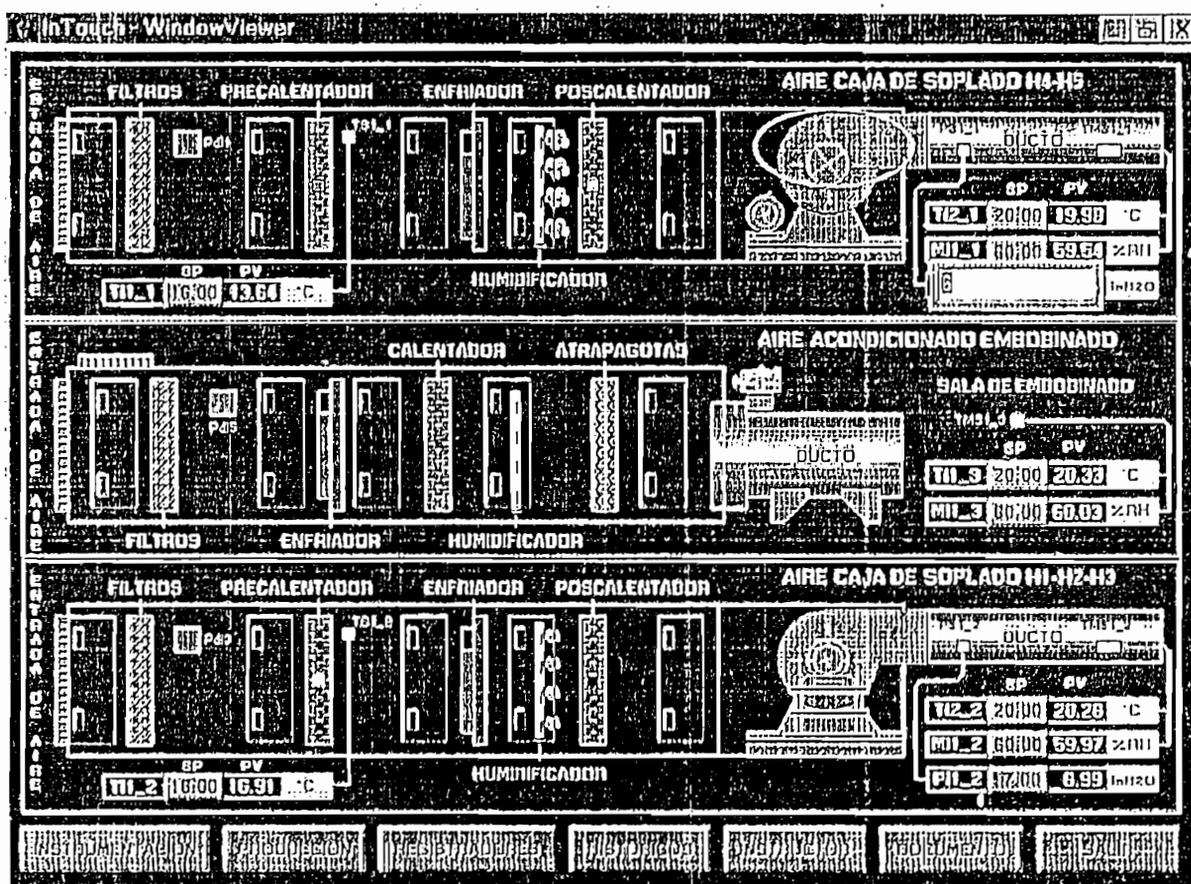


Figura 8.16. Ejemplo de habilitación de un botón SETPOINT para cambio de condiciones

### 8.3.1.5. PANTALLA: REGISTRADORES

En esta pantalla se muestran registradores gráficos prácticamente en tiempo real para todas las variables de cada sistema, igualmente se ha diseñado en forma de carpeta en donde cada hoja presenta los registradores del correspondiente sistema, como se puede apreciar en las figuras 8.17 y 8.18. Los valores que va tomando la respectiva variable se muestran como si el lápiz adjunto fuese anotando los datos continuamente.

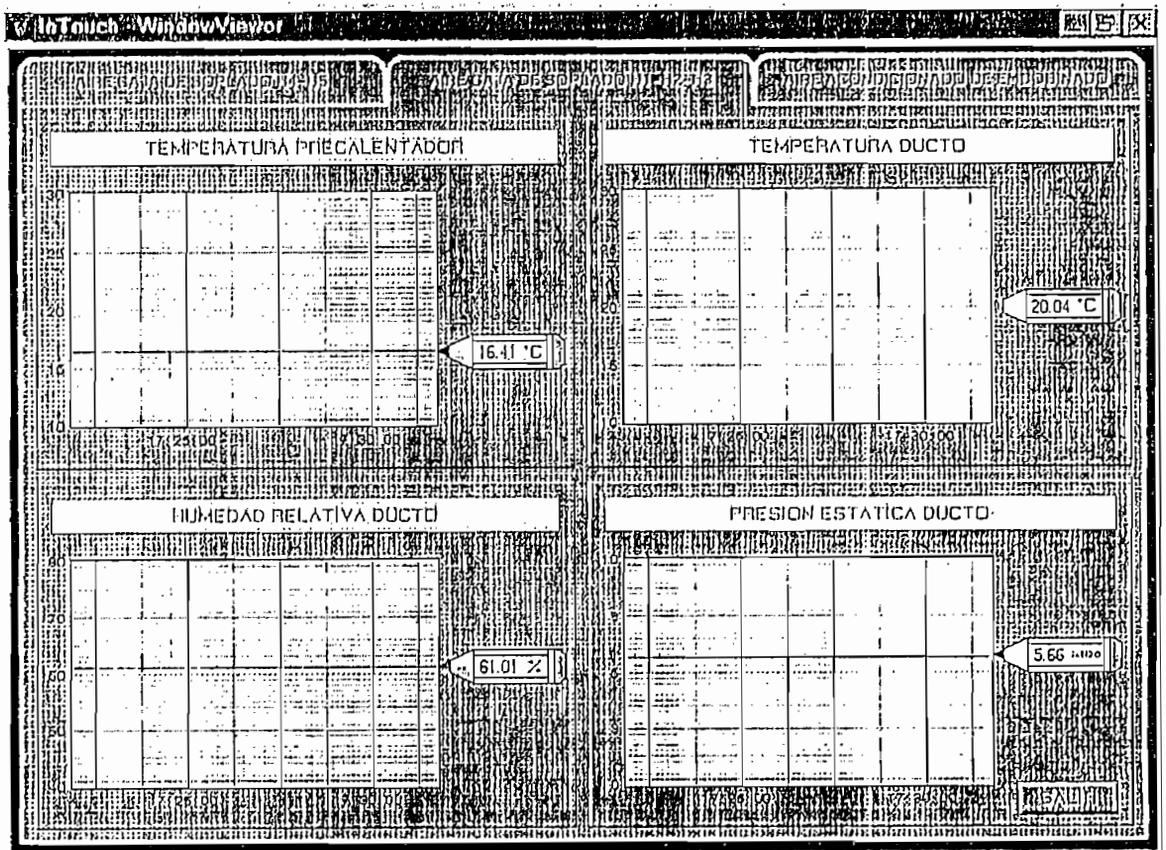


Figura 8.17

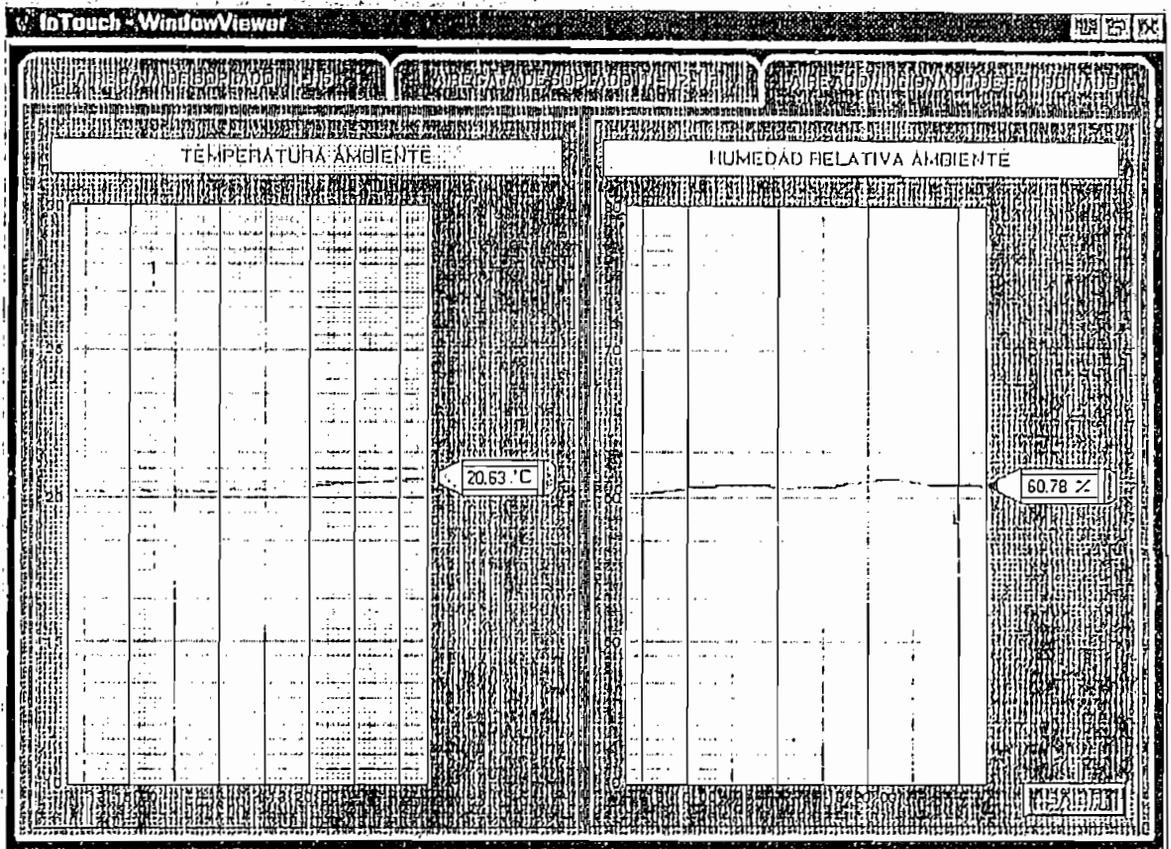


Figura 8.17 y 8.18. Pantallas REGISTRADORES CAJAS DE SOPLADO Y AIRE ACONDICIONADO LA SALA DE EMBOBINADO respectivamente.

### 8.3.1.6. PANTALLA: HISTÓRICOS

Diseñada y construida también en forma de carpeta, cada hoja es una pantalla similar a su análoga implementada en la carpeta de INSTRUMENTACIÓN, con la diferencia de que adicionalmente a las opciones de manipulación del gráfico que ofrece la barra de botones ubicada en la parte inferior, permite la impresión de reportes gráficos directamente en la impresora de red instalada en la planta.



Figura 8.19. Pantalla: Carpeta de HISTÓRICOS.

### 8.3.1.7. PANTALLA: INSTRUCTOR

En esta pantalla se enumeran y describen brevemente los pasos para realizar un cambio de condiciones, y es la siguiente:

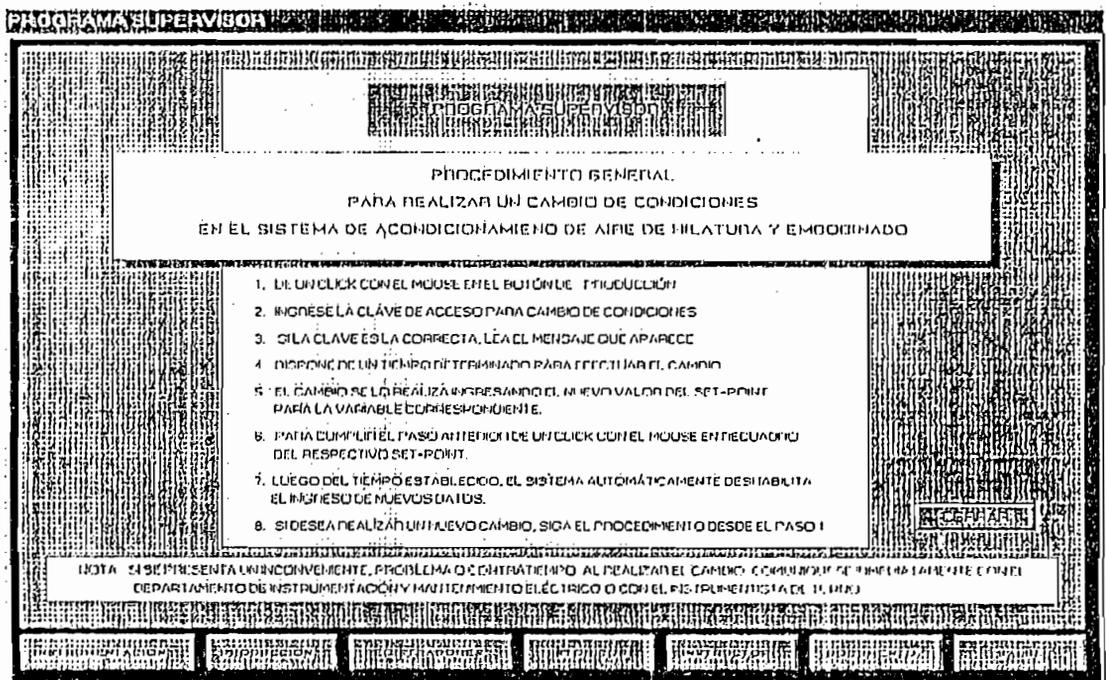


Figura 8.19. Pantalla: INSTRUCTOR.

## 8.3.1.8. PANTALLA: DOCUMENTO

El botón correspondiente a esta opción se ha dejado como un adicional para requerimientos posteriores de mantenimiento o ampliación del sistema, donde se pretenderá presentar una guía para el uso del programa supervisor, para no dejarlo deshabilitado, al presionar este botón se presenta un recuadro a manera de "acercar de", donde muestra los nombres de los autores del proyecto y la institución educativa de donde proviene.

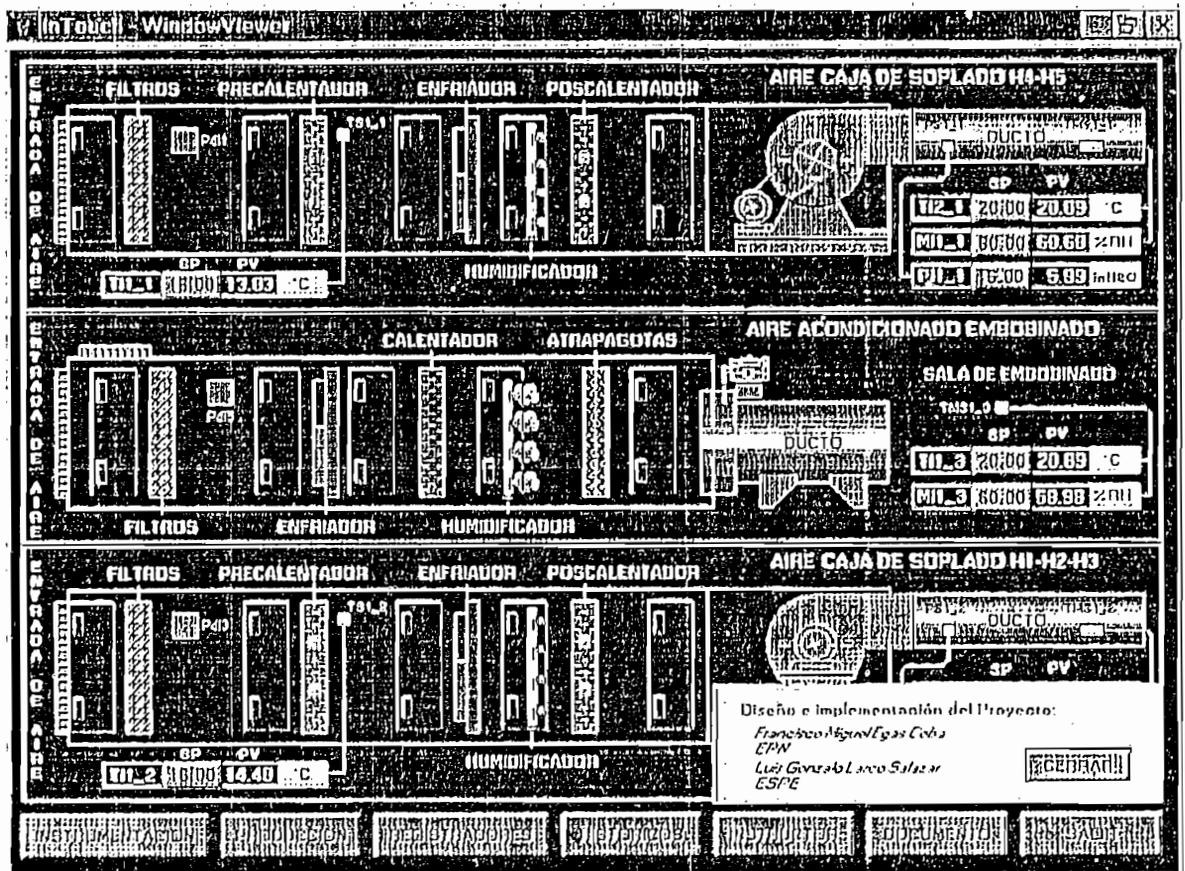


Figura 8.20. Recuadro: DOCUMENTO.

## 8.3.1.9. PANTALLA: POR DEFECTO

Finalmente luego transcurrir un determinado tiempo de que el PC de la Estación de Supervisión no se detecte ninguna operación con el mouse o el teclado, se presenta una pantalla que se le a denominado "por defecto" que muestra tres

registradores gráficos en los cuales se puede observar el comportamiento de las variables en las últimas dos horas. En la parte derecha de cada registrador se muestra el valor que va tomando la respectiva variable prácticamente en tiempo real, así como también una guía de identificación de la curva respectiva.

En la parte inferior derecha se tiene el botón que permite regresar al menú principal o a la pantalla de AIRE ACONDICIONADO si fuera el caso.

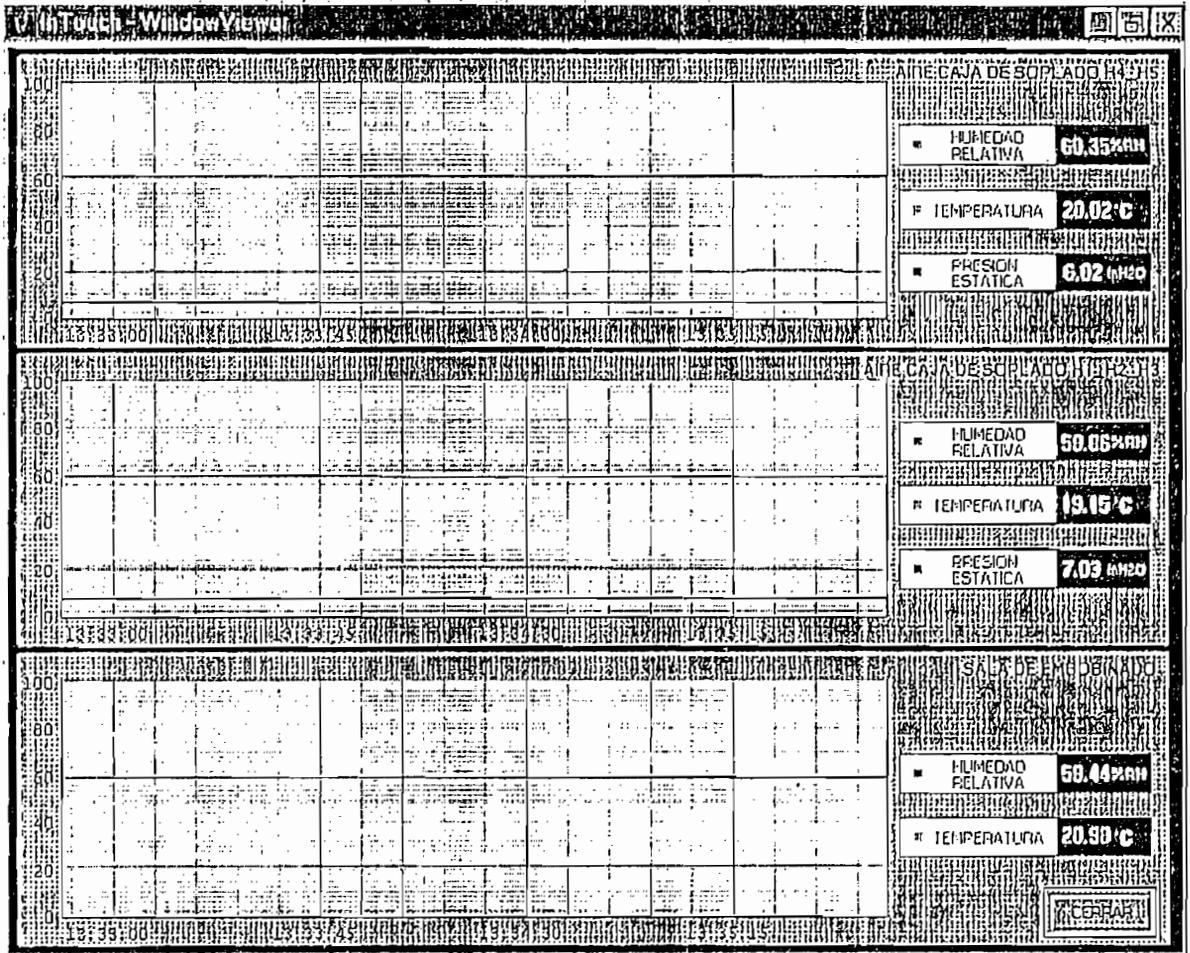


Figura 8.21. Pantalla por defecto.

### 8.3.2. NIVELES DE ACCESO

Intouch utiliza extensivamente la seguridad, a fin de evitar el uso de determinada opción o pantalla de la aplicación por personal no autorizado. Esta característica es muy importante especialmente hoy en día que los sistemas SCADA

pueden operar dentro del concepto cliente – servidor con acceso remoto de múltiples usuarios y además con conexión a otras redes como Ineternets o Intranets.

Para mantener la seguridad del sistema Intouch provee niveles configurables de seguridad, niveles de control, asignaciones por área, por departamento o por sección. Los mismos que pueden ser configurados individualmente para cada operador, por puntos individuales en la base de datos o alternativamente para cada estación operadora. Hasta en 9000 niveles de seguridad que limitan el acceso a las funciones implementadas en el sistema que solo puede ser utilizadas por personal autorizado.

El perfil individual de los operadores, incluyendo sus niveles de seguridad, niveles de control y tareas se activan cuando el nombre y la clave de acceso coinciden con las almacenadas en la base de datos del sistema.

Para esta aplicación en particular, se cuenta con tres niveles de seguridad. Dichos niveles aparecen en la siguiente tabla en orden ascendente.

Tabla 8.1. Niveles de seguridad.

NIVEL DE SEGURIDAD	DEPARTAMENTO	FUNCIÓN
0	TODOS	SOLO LECTURA
>1000, <2000	PRODUCCIÓN	LECTURA + CAMBIO DE CONDICIONES
> 9000	INSTRUMENTACIÓN	ACCESO TOTAL

Los niveles de seguridad pueden ser asignados a las funciones de los servidores, cuando se tenga la supervisión y el control de toda la planta desde un solo PC configurado como servidor. A fin de usar la función u opción, el nivel de seguridad utilizado para operar la respectiva Estación de Supervisión debe ser igual o mayor que el nivel de seguridad asignado a dicha función.

Pero concretamente en este caso los niveles de seguridad son utilizados para habilitar o deshabilitar ventanas, botones u opciones del sistema. Principalmente destinado a garantizar el correcto funcionamiento de cada uno de los sistemas de acondicionamiento de aire, ya que se trata de procesos continuos y constantes, que cualquier desviación fuera de las normas preestablecidas durante implica una degradación directa del producto.

#### 8.4. OPERACIONES REALIZADAS ENTRE EL PLC Y LA ESTACIÓN DE SUPERVISIÓN

Las operaciones realizadas entre los equipos de campo, el PLC y la Estación de Supervisión, básicamente son las siguientes:

- Control automático normal
- Control manual de los actuadores
- Operaciones especiales (sintonización)
- Visualización y análisis de datos
- Reportes

En la figura 8.22 se muestra un diagrama de flujo donde se expone un resumen de las operaciones que se realizan entre los equipos de campo, el PLC y la estación de Supervisión; y constituyen una ayuda para comprender el sistema, que implica la programación del PLC y la supervisión, control y adquisición de datos SCADA.

En el sistema de supervisión se maneja tres tipos de datos, que representan los tipos de valores. Estos son:

- Booleanos (BOOL)
- Enteros (INT)

- Reales (REAL).

Los principales parámetros son:

- Variable del proceso PV
- Salida Y
- Punto de referencia o fijación SP (setpoint)
- Modo de operación de los actuadores MAN
- Parámetros de sintonización

La variable del proceso PV representan la lectura actual (en unidades de ingeniería) del componente de campo o proceso. Las PV's son frecuentemente utilizadas para hacer referencia a la variable del proceso de un lazo de control. La definición de los parámetros en el programa incluye también especificar los límites superior e inferior para la variable, con el propósito de que el proceso se desarrolle conforme a las condiciones preestablecidas o dentro del vocabulario utilizado en la planta: en norma.

Otra de las características es la de modificación de puntos de fijación SP (setpoint). Ya que al definir este punto, se puede establecer la variación entre los límites mencionados en el punto anterior, por ejemplo para la temperatura en el ducto el setpoint es de 20°C, la variación máxima que debe tener la temperatura es de  $\pm 2^\circ\text{C}$ , o sea, dentro del rango de 18 a 22°C. La selección de este rango causa que si se produce una lectura superior o inferior altere las condiciones e inmediatamente se indica el equipo y lugar exacto dónde se produjo el inconveniente.

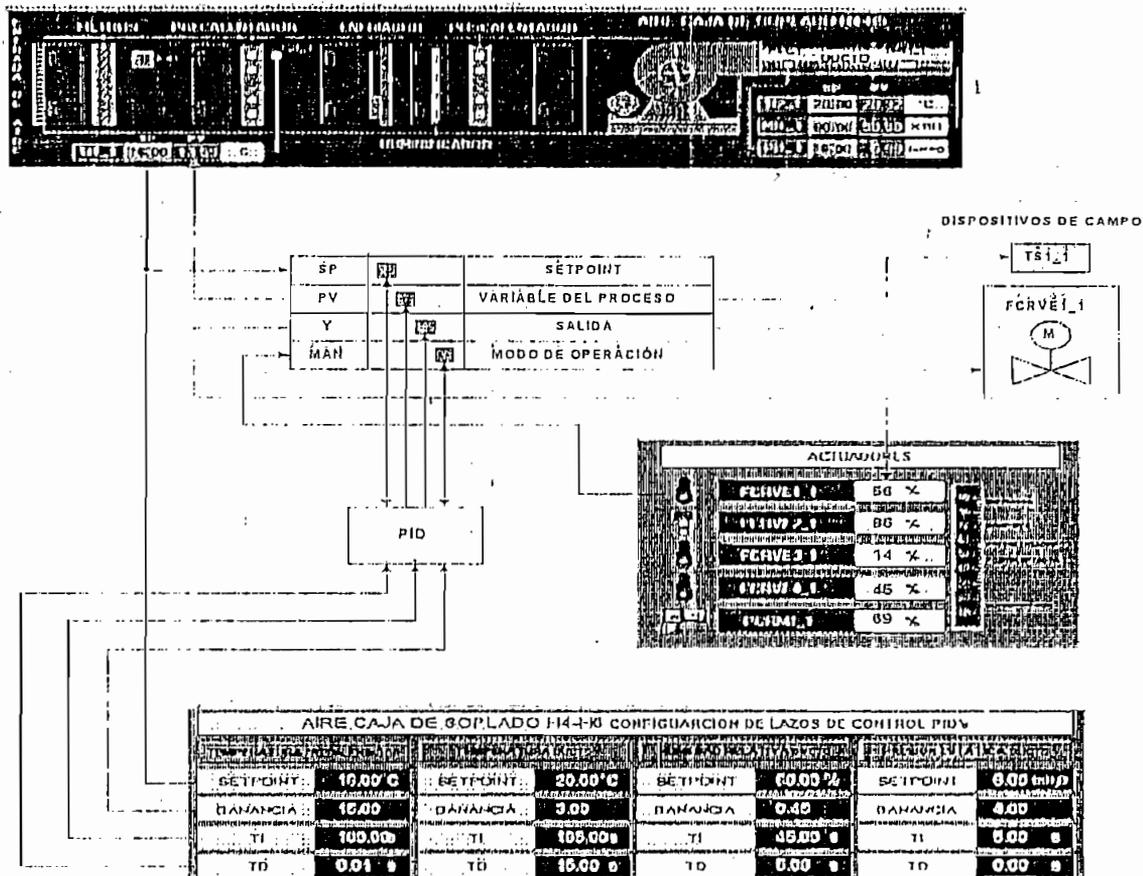


Figura 8.22. Representación en diagrama de supervisión y control de una variable

La salida Y se puede usar para leer y escribir un valor entero. Solo puede ser cambiando a modo manual por un operador autorizado. Es un valor entero porque cada salida se representa como un valor de porcentaje de apertura y es usada frecuentemente para representar rangos de valores, los cuales pueden ser controlados por un operador para un actuador dado, es decir la salida del lazo de control.

Por ejemplo para el punto de salida representado en el diagrama, se puede establecer el porcentaje de apertura de FCRVE1\_1 lo cual se traduce en una elevación de la temperatura del aire luego del PRECALENTADOR 1, controlado por un operador.

El modo MAN se utiliza únicamente para operaciones especiales, como por ejemplo mantenimiento del equipo, es usado para determinar si un operador puede

o no controlar un actuador mediante la escritura del valor de salida. Por ser un proceso continuo y constante el modo normal de operación es el modo automático, establecido para todos los actuadores, es decir, se puede operar los actuadores de los dos modos posibles (manual y automático).

El punto de referencia o fijación SP (setpoint) se usa para leer y escribir un valor analógico real en el controlador. Los puntos fijos están representados en las mismas unidades de ingeniería que las PV's y son usados para representar el valor de operación ideal para el proceso, o sea, el punto de referencia establecido para el respectivo lazo de control.

Este parámetro forma parte del grupo de valores considerados como auxiliares, que son cuatro para cada lazo de control PID, en el programa se pueden leer y escribir.

Además del SETPOINT los valores auxiliares son la GANANCIA, TI y TD, considerados como parámetros de sintonización, los que son utilizados por el personal que tenga el adecuado nivel de acceso (instrumentación) de tal manera que se pueda optimizar el proceso.

## 8.5. INTERCAMBIO DINÁMICO DE DATOS (DDE)

Para establecer un DDE (Dynamic Data Exchange), es decir, un Intercambio Dinámico de Datos, mediante la red Modicon Modbus Plus entre el PC de la Estación de Supervisión y el PLC. El controlador DDE Modicon Modbus Plus requiere necesariamente del adaptador de red Modbus Plus, que para este caso es el SA85, pero también acepta adaptadores tales como el SM85, AT984 o MC984. Es necesario también la instalación de los controladores (software controlador) para

este tipo de comunicación, los mismos que vienen en el paquete del sistema Factory Suite 2000.

DDE es un protocolo de comunicación diseñado por Microsoft para permitir el funcionamiento de aplicaciones en ambiente Windows, principalmente para envío/recepción de datos e instrucciones hacia/desde cada dispositivo(nodo).

Para obtener información desde alguna aplicación el programa cliente abre un canal a la aplicación en el servidor mediante dos parámetros: *application name* y *topic name*. Una vez que el canal es abierto, los ítems o puntos (tags) del respectivo tópico se pueden leer o escribir. En Intouch, el nombre de la aplicación es el Programa Supervisor. Cuando se lee o escribe un *tagname* (etiqueta) en la base de datos, el nombre del tópico es siempre la palabra "tagname". El *item name* (nombre del ítem) corresponde al respectivo *tagname* definido en la base de datos de Intouch. Al implementar una conexión cliente – servidor entre dos aplicaciones que corren simultáneamente. La aplicación servidor proporciona los datos y acepta peticiones desde otras aplicaciones interesadas en estos datos. Las aplicaciones que solicitan datos se denominan clientes. Algunas aplicaciones tales como Intouch y Microsoft Excel pueden simultáneamente ser ambas un cliente y un servidor.

Cuando el cliente necesita de un enlace para efectuar un DDE, el servidor comunica al cliente exactamente con la dirección especificada o requerida. Es decir se establece una comunicación o conversación entre el cliente y el servidor, garantizando así la correcta lectura y escritura.

Intouch utiliza el DDE para comunicarse con los dispositivos de campo de entrada y salida por medio del PLC. También puede comunicarse con otros programas de aplicación DDE.

El protocolo DDE identifica un elemento de información utilizando la denominación de tres partes:

- Nombre de la aplicación                      application name
- Nombre del tópico                              topic name
- Nombre del ítem                                item name

Para este proyecto la correspondencia para las tres partes es la siguiente:

Nombre de la aplicación	application name	MBPLUS
Nombre del tópico	topic name	PLC_2
Nombre del ítem	item name	NOMBRE DEL RESPECTIVO PUNTO

El Servidor Modicon Modbus Plus soporta nombres de ítems/puntos que concuerdan con el nombramiento del punto usado por el PLC Modicon TSX Quantum. El PLC soporta los siguientes rangos de dirección:

Tabla 8.2. Nombre de los ítems DDE.

TIPO DE PLC	TIPO DE PUNTO	RANGO	TIPO DE TAG DDE	ACCESO
6 DIGITOS	BOBINA	1-65536	DISCRETO	R/W
	CONTACTO	100001-165536	DISCRETO	R
	REGISTRO DE ENTRADA	300001-365536	ANALÓGICO	R
	REGISTRO DE CONTROL	400001-465536	ANALÓGICO	R/W

Nota: Los tagnames analógicos pueden ser enteros o reales (INT o REAL).

Para el manejo especial de los datos desde el PLC se acogen las siguientes convenciones:

- REGISTROS CON SIGNO

El Servidor Modicon Modbus Plus DDE normalmente permite registrar valores en el rango de 0 a 65535. Permite registrar 16-bits de cantidades con signo que tienen valores entre -32,768 y 32,767.

- ENTERO EXTENSO

Pares de registros pueden ser tratados como enteros con signo de 32 bits.

Para hacer esto añadimos un espacio en blanco y la letra L luego del nombre del ítem. Por ejemplo: 400001 L.

- PUNTO FLOTANTE

Pares de registros pueden ser tratados como números de punto flotante de 32 bits. Para esto luego del nombre o dirección del ítem respectivo se añade un espacio en blanco y luego la letra F. Por ejemplo 400001 F.

- BITS EN REGISTROS

Se puede dar lectura en un registro de un determinado bit como tag discreto usando la notación: rrrr:b. Donde rrrr especifica un registro de entrada válido o registro de control y b especifica la posición del bit entre 1 y 16 (1 especifica el bit más significativo del registro).

Ejemplos:

400001:1 Lectura del bit más significativo del primer registro de control.

300008:16 Lectura del bit menos significativo de un registro de entrada.

En resumen, los ítems o puntos correspondientes a bobinas y contactos son normalmente tratados como variables discretas y los registros para lectura y control son normalmente tratados como enteros. Esto puede ser modificado para registros específicos añadiendo un espacio en blanco y una de las siguientes letras dependiendo del nombre del punto:

L	LONG	EXTENSO
F	FLOAT	FLOTANTE
I	INTEGER	ENTERO
M	MESSAGE(CADENA ASCII)	MENSAJE (CADENA DE CARACTERES)

Conforme a los expuesto anteriormente la manera de establecer un DDE entre el PLC y el PC de la Estación de Supervisión mediante Intouch se detalla en la tabla 8.3. Para las principales variables, puntos o ítems del programa Supervisor de acuerdo a las necesidades del proceso:

Tabla 8.3. Principales variables que intervienen en el Sistema SCADA.

CODIGO	DIRECCIÓN	TIPO	RANGO	UNIDAD	ACCESOR	NOMBRE DEL PUNTO EN INTOUCH
<b>CAJAS DE SOPLADO DE AIRE H4_H5</b>						
<b>SENSORES</b>						
TS1_1	400100	REAL	0-100	°C	R	400100 F
TS2_1	400102	REAL	0-100	°C	R	400102 F
MS1_1	400108	REAL	5-95	%RH	R	400108 F
PS1_1	400106	REAL	0-15	PSI	R	400106 F
<b>ACTUADORES</b>						
FCRVE1_1	400530	INT	0-100	%	R/W	400530
FCRVE2_1	400532	INT	0-100	%	R/W	400532
FCRVE3_1	400536	INT	0-100	%	R/W	400536
FCRVE4_1	400534	INT	0-100	%	R/W	400534
PCRME1_4	400538	INT	0-100	%	R/W	400538
<b>SETPOINTS</b>						
TSP1_1	401000	REAL	0-100	°C	R/W	401000 F
TSP2_1	401002	REAL	0-100	°C	R/W	401002 F
MSP1_1	401004	REAL	5-95	%RH	R/W	401004 F
PSP1_1	401006	REAL	0-15	PSI	R/W	401006 F
<b>CONFIGURACIÓN DE LAZOS DE CONTROL PIDs</b>						
<b>TEMPERATURA LUEGO DEL PRECALENTADOR</b>						
TG1_1	400520	REAL	0-500	adimensional	R/W	400520 F
TTI1_1	400500	REAL	0-500	s	R/W	400500 F
TTD1_1	400510	REAL	0-500	s	R/W	400510 F
<b>TEMPERATURA EN EL DUCTO</b>						
TG2_1	400522	REAL	0-500	adimensional	R/W	400522 F
TTI2_1	400502	REAL	0-500	s	R/W	400502 F
TTD2_1	400512	REAL	0-500	s	R/W	400512 F
<b>HUMEDAD REALTIVA EN EL DUCTO</b>						
MG1_1	400524	REAL	0-500	adimensional	R/W	400524 F
MTI1_1	400504	REAL	0-500	s	R/W	400504 F
MTD1_1	400514	REAL	0-500	s	R/W	400514 F
<b>PRESIÓN ESTÁTICA EN EL DUCTO</b>						
PG1_1	400526	REAL	0-500	adimensional	R/W	400526 F
PTI1_1	400506	REAL	0-500	s	R/W	400506 F
PTD1_1	400516	REAL	0-500	s	R/W	400516 F

CODIGO	DIRECCION	TIPO	RANGO	UNIDAD	ACCESO	NOMBRE DEL ITEM
--------	-----------	------	-------	--------	--------	-----------------

CAJAS DE SOPLADO DE AIRE H1 H2 H3

SENSORES

TIPO	CANTIDAD	CODIGO	TIPO	RANGO	UNIDAD	ACCESO	NOMBRE DEL ITEM
TS1	2	400120	REAL	0-100	°C	R	400120 F
TS2	1	400122	REAL	0-100	°C	R	400122 F
MS1	2	400128	REAL	5-95	%RH	R	400128 F
PS1	2	400126	REAL	0-15	PSI	R	400126 F

ACTUADORES

TIPO	CANTIDAD	CODIGO	TIPO	RANGO	UNIDAD	ACCESO	NOMBRE DEL ITEM
FCRVE1	2	400630	INT	0-100	%	R/W	400630
FCRVE2	2	400632	INT	0-100	%	R/W	400632
FCRVE3	2	400636	INT	0-100	%	R/W	400636
FCRVE4	2	400634	INT	0-100	%	R/W	400634
SICA1	2	400638	INT	0-100	%	R/W	400638

SETPOINTS

TIPO	CANTIDAD	CODIGO	TIPO	RANGO	UNIDAD	ACCESO	NOMBRE DEL ITEM
TSP1	2	401020	REAL	0-100	°C	R/W	401020 F
TSP2	2	401022	REAL	0-100	°C	R/W	401022 F
MSP1	2	401024	REAL	5-95	%RH	R/W	401024 F
PSP1	2	401026	REAL	0-15	PSI	R/W	401026 F

CONFIGURACIÓN DE LAZOS DE CONTROL PIDs

TEMPERATURA LUEGO DEL PRECALENTADOR

TIPO	CANTIDAD	CODIGO	TIPO	RANGO	UNIDAD	ACCESO	NOMBRE DEL ITEM
TG1	2	400620	REAL	0-500	adimensional	R/W	400620 F
TT1	2	400600	REAL	0-500	s	R/W	400600 F
TTD1	2	400610	REAL	0-500	s	R/W	400610 F

TEMPERATURA EN EL DUCTO

TIPO	CANTIDAD	CODIGO	TIPO	RANGO	UNIDAD	ACCESO	NOMBRE DEL ITEM
TG2	2	400622	REAL	0-500	adimensional	R/W	400622 F
TT2	2	400602	REAL	0-500	s	R/W	400602 F
TTD2	2	400606	REAL	0-500	s	R/W	400606 F

HUMEDAD REALTIVA EN EL DUCTO

TIPO	CANTIDAD	CODIGO	TIPO	RANGO	UNIDAD	ACCESO	NOMBRE DEL ITEM
MG1	2	400624	REAL	0-500	adimensional	R/W	400624 F
MT1	2	400604	REAL	0-500	s	R/W	400604 F
MTD1	2	400614	REAL	0-500	s	R/W	400614 F

PRÉSÍON ESTÁTICA EN EL DUCTO

TIPO	CANTIDAD	CODIGO	TIPO	RANGO	UNIDAD	ACCESO	NOMBRE DEL ITEM
PG1	2	400626	REAL	0-500	adimensional	R/W	400626 F
PT1	2	400606	REAL	0-500	s	R/W	400606 F
PTD1	2	400616	REAL	0-500	s	R/W	400616 F

CODIGO	DIRECCION	TIPO	RANGO	UNIDAD	ACCESO	NOMBRE DEL ITEM
--------	-----------	------	-------	--------	--------	-----------------

ACONDICIONAMIENTO DE AIRE SALA DE EMBOBINADO

SENSORES

TIPO	CANTIDAD	CODIGO	TIPO	RANGO	UNIDAD	ACCESO	NOMBRE DEL ITEM
TS1	3	400142	REAL	0-100	°C	R	400142 F
MS1	3	400146	REAL	0-100	%RH	R	400146 F

ACTUADORES

TIPO	CANTIDAD	CODIGO	TIPO	RANGO	UNIDAD	ACCESO	NOMBRE DEL ITEM
FCRVE1	3	400732	INT	0-100	%	R/W	400732
FCRVE2	3	400736	INT	0-100	%	R/W	400736
FCRVE3	3	400734	INT	0-100	%	R/W	400734

SETPOINTS

TIPO	CANTIDAD	CODIGO	TIPO	RANGO	UNIDAD	ACCESO	NOMBRE DEL ITEM
TSP1	3	401032	REAL	0-100	°C	R/W	401032 F
MSP1	3	401034	REAL	5-95	%RH	R/W	401034 F

CONFIGURACIÓN DE LAZOS DE CONTROL PIDs

TEMPERATURA AMBIENTE EN LA SALA

TIPO	CANTIDAD	CODIGO	TIPO	RANGO	UNIDAD	ACCESO	NOMBRE DEL ITEM
TG1	3	400722	REAL	0-500	adimensional	R/W	400722 F
TT1	3	400702	REAL	0-500	s	R/W	400702 F
TTD1	3	400712	REAL	0-500	s	R/W	400712 F

HUMEDAD REALTIVA AMBIENTE EN LA SALA

TIPO	CANTIDAD	CODIGO	TIPO	RANGO	UNIDAD	ACCESO	NOMBRE DEL ITEM
MG1	3	400724	REAL	0-500	adimensional	R/W	400724 F
MT1	3	400704	REAL	0-500	s	R/W	400704 F
MTD1	3	400714	REAL	0-500	s	R/W	400714 F

CÓDIGO	DIRECCIÓN	TIPO	RANGO	UNIDAD	ACCESO	NOMBRE DE TEMPERATURA
--------	-----------	------	-------	--------	--------	-----------------------

MODO DE OPERACIÓN DE LOS ACTUADORES

CAJAS DE SOPALDO DE AIRE H4\_H5

HABILITACIÓN

CM_FCRVE1_1	401200	INT	0-1	adimensional	R/W	401200
CM_FCRVE2_1	401204	INT	0-1	adimensional	R/W	401204
CM_FCRVE3_1	400208	INT	0-1	adimensional	R/W	400208
CM_FCRVE4_1	401212	INT	0-1	adimensional	R/W	401212
CM_PCRME1_1	401216	INT	0-1	adimensional	R/W	401216

SALIDA

Y_FCRVE1_1	401202	REAL	0-100	% de apertura	R/W	401202 F
Y_FCRVE2_1	401206	REAL	0-100	% de apertura	R/W	401206 F
Y_FCRVE3_1	401210	REAL	0-100	% de apertura	R/W	401210 F
Y_FCRVE4_1	401214	REAL	0-100	% de apertura	R/W	401214 F
Y_PCRME1_1	401218	REAL	0-100	% de apertura	R/W	401218 F

CAJAS DE SOPLADO DE AIRE H1\_H2\_H3

HABILITACIÓN

CM_FCRVE1_2	401230	INT	0-1	adimensional	R/W	401230
CM_FCRVE2_2	401234	INT	0-1	adimensional	R/W	401234
CM_FCRVE3_2	401238	INT	0-1	adimensional	R/W	401238
CM_FCRVE4_2	401242	INT	0-1	adimensional	R/W	401242
CM_SICA1_2	401246	INT	0-1	adimensional	R/W	401246

SALIDA

Y_FCRVE1_2	401232	REAL	0-100	% de apertura	R/W	401232 F
Y_FCRVE2_2	401236	REAL	0-100	% de apertura	R/W	401236 F
Y_FCRVE3_2	401240	REAL	0-100	% de apertura	R/W	401240 F
Y_FCRVE4_2	401244	REAL	0-100	% de apertura	R/W	401244 F
Y_SICA1_2	401248	REAL	0-100	% de apertura	R/W	401248 F

ACONDICIONAMIENTO DE AIRE DE LA SALA DE EMBOBINADO

HABILITACIÓN

CM_FCRVE1_3	401260	INT	0-1	adimensional	R/W	401260
CM_FCRVE2_3	401264	INT	0-2	adimensional	R/W	401264
CM_FCRVE3_3	401268	INT	0-3	adimensional	R/W	401268

SALIDA

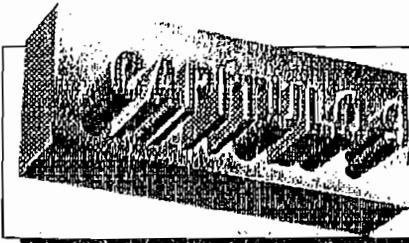
Y_FCRVE1_3	401262	REAL	0-100	% de apertura	R/W	401262 F
Y_FCRVE2_3	401266	REAL	0-101	% de apertura	R/W	401266 F
Y_FCRVE3_3	401270	REAL	0-102	% de apertura	R/W	401270 F

Nota: Con excepción de la lectura de los sensores de presión estática, todas se efectúan de manera directa, sin escalamiento (escalamiento 1:1), los correspondientes escalamientos se encuentran en el programa que almacena el módulo de CPU del PLC.

## 8.6. PROCEDIMIENTO DE INICIACIÓN

Para el correcto establecimiento de la comunicación, es decir, el enlace para DDE, previo al arranque de la aplicación desarrollada en Intouch (Programa Supervisor) se debe arrancar primero el controlador del Servidor de Entrada/Salida Modbus Plus. Para esto se debe implementar un mecanismo que permita arrancar a

todo el personal responsable del proceso, el sistema SCADA sin inconvenientes y de la manera más sencilla posible. Entonces, como el PC utiliza el sistema operativo Windows 95/98 se debe incluir en el "Inicio" a dicho programa controlador, con lo cual arranca automáticamente luego de resetear o apagar el PC, deliberada o accidentalmente. Y finalmente se da un doble click en el ícono diseñado y rotulado con programa Supervisor. Ya que siempre se debe programar esta jerarquía de arranque, puesto que si se arranca el controlador después de la aplicación, no se obtendrá el esperado Intercambio Dinámico de datos DDE y los valores visualizados serán siempre los dados por el límite inferior. Además se debe tener cuidado de no cerrar el programa controlador o configurar el Programa de Supervisión para que siempre esté maximizado y no se pueda cerrar, debido a que cuando se cierra dicho programa la aplicación SCADA se queda colgada visualizando continuamente los últimos valores leídos, es decir no se produce ningún DDE, sino que en la pantalla siempre se mostrarán los mismos valores, sin observar ningún cambio cada intervalo de tiempo de escaneo.



## DESCRIPCIÓN DE LOS BLOQUES DE CONTROL, SINTONIZACIÓN Y CURVAS DE RESPUESTA

### 9.1. DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES BLOQUES QUE ESTRUCTURAN LOS LAZOS DE CONTROL

Efectuar eficientemente el control de los elementos de las unidades manejadoras de aire para controlar y mantener las condiciones en que se efectúan los procesos, implica la implementación de un algoritmo de control que cumpla cabalmente las características del diseño descrito oportunamente.

Estructuralmente el proyecto está dividido en cuatro secciones como se muestra en la figura 9.1.

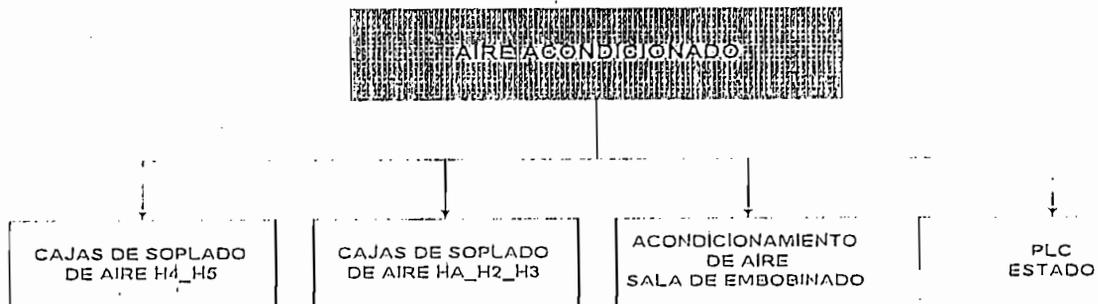


Figura 9.1. Estructura del programa. El Proyecto

Como se puede apreciar, se tiene una sección para cada uno de los sistemas, los que son idénticos en su presentación y en la estructura de los lazos de control, habiendo ciertos cambios en los direccionamientos de las variables y en los valores que éstas toman.

- Controlador PID.- Este es el bloque principal dentro del lazo de control, el mismo que es sintonizado dependiendo de la variable que maneje. El FFB PID se apoya en una desviación ERR (error) generada conforme el valor del SP (set point) y el de la variable del proceso PV. Esta desviación ERR causa un cambio en la variable manipulada Y.

Este bloque de función tiene las siguientes características específicas:

- Controlador PID real, con la capacidad de habilitar ingresar independientemente la ganancia, banda integral y banda derivativa (GAIN, TI, TD).
- Modo de operación manual, automático y estático.
- Pin para selección de modo manual o automático (discreto).
- Limitación de la variable manipulada.
- Habilitación individual de las bandas proporcional, integral y derivativa.
- Imposible de reiniciar.
- No realiza mediciones cuando únicamente se haya activado la banda integral.
- Retardo de tiempo definible para la acción derivativa
- Permite escoger entre la variable del proceso PV o el ERR para la acción derivativa.

El símbolo es el siguiente:

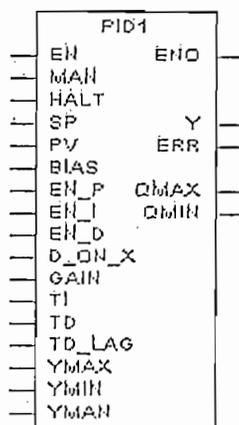
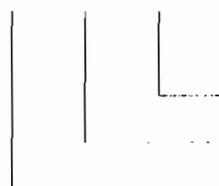


Figura 9.2. Símbolo del controlador PID1 de Concept.

Fórmula:

$$Y = Y_P + Y_I + Y_D + \text{BIAS}$$



DISTURBIO  
BANDA - D  
BANDA - I  
BANDA - P

Luego de sumar todas las partes que conforman el controlador PID, la variable manipulada puede operar bajo un límite que toma lugar en la siguiente expresión:

$$Y_{\text{MIN}} \leq Y \leq Y_{\text{MAX}}$$

Dependiendo del establecimiento del estado de las entradas EN\_P, EN\_I, y EN\_D las diferentes partes del control PID se calculan como sigue:

- Para los modos de operación manual, automático y estático la parte proporcional actúa de la siguiente manera:

Si EN\_P = 1 entonces  $Y_P = \text{GAIN} \times \text{ERR}$

Si EN\_P = 0 entonces  $Y_P = 0$

- YI para el modo automático:

Sí EN\_I = 1 entonces,

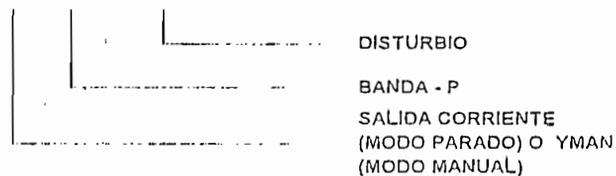
$$YI_{(new)} = YI_{(old)} + GAIN \times \frac{dt}{TI} \times \frac{ERR_{(new)} + ERR_{(old)}}{2}$$

Sí EN\_I = 0 entonces YI = 0

- YI para el modo manual o modo estático:

Sí EN\_I = 1 entonces:

$$YI = Y + YP + BIAS$$



Sí EN\_I = 0 entonces YI = 0

- YD para el modo automático:

Sí EN\_D = 1 y D\_ON\_X = 0:

$$YD_{(new)} = \frac{YD_{(old)} \times TD\_LAG + TD \times GAIN \times (ERR_{(new)} - ERR_{(old)})}{dt + TD\_LAG}$$

Sí EN\_D = 0 y D\_ON\_X = 0:

$$YD_{(new)} = \frac{YD_{(old)} \times TD\_LAG + TD \times GAIN \times (PV_{(old)} - PV_{(new)})}{dt + TD\_LAG}$$

Sí EN\_D = 0 entonces YD = 0

- YD para el modo manual y estático

$$YD = 0$$

Explicación:

- ERR es la desviación del sistema (SP - PV)
- ERR<sub>(NEW)</sub> es el valor de la desviación en el último escaneo.
- ERR<sub>(OLD)</sub> es el valor de la desviación en el escaneo previo.
- PV<sub>(NEW)</sub> es el valor de la variable de proceso en el último escaneo.
- PV<sub>(OLD)</sub> es el valor de la variable de proceso en el escaneo previo.
- dt es la diferencia de tiempo entre el último ciclo y el previo.

La configuración del controlador PID se indica en la figura 5.51. Los diferentes parámetros del bloque de función pueden ser activados por el seteo de los pines del PID; normalmente, mediante la banda proporcional GAIN, el tiempo de reseteo o banda integral TI y el tiempo de la acción derivativa TD. La función de transferencia viene dada por la expresión característica de un controlador PID, es decir:

$$G(s) = \text{GAIN} \times \left[ 1 + \frac{1}{\text{TI} \times s} + \frac{\text{TD} \times s}{1 + \text{TD\_LAG} \times s} \right]$$

EN\_D = 1  
 EN\_I = 1  
 EN\_P = 1

La descripción de los parámetros se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 9.1.

Parámetro	Tipo de dato	Significado
MAN	BOOL	"1" = modo manual
HALT	BOOL	"1" = modo colgado
SP	REAL	Entrada del valor del <i>set point</i>
PV	REAL	Variable del proceso
BIAS	REAL	Entrada del valor de disturbio
EN_P	BOOL	"1" = Habilitación banda proporcional
EN_I	BOOL	"1" = Habilitación banda integral
EN_D	BOOL	"1" = Habilitación banda derivativa
D_ON_X	BOOL	"1" = Banda derivativa según variable de proceso "0" = Banda derivativa según sistema de desviación
GAIN	REAL	Ganancia, banda proporcional
TI	TIME	Tiempo integral
TD	TIME	Tiempo derivativo
TD_LAG	TIME	Retardo para la acción de la banda derivativa
YMAX	REAL	Límite superior del control
YMIN	REAL	Límite inferior del control
YMAN	REAL	Variable manipulada manualmente
ERR	REAL	Salida del valor de desviación
Y	REAL	Variable manipulada
QMAX	BOOL	"1" = Y ha sobrepasado el límite superior Ymax
QMIN	BOOL	"1" = Y ha sobrepasado el límite inferior Ymin

La parte derivativa es retardada con un tiempo establecido en el parámetro  $TD\_LAG$ . La razón  $TD/TD\_LAG$  es la llamada ganancia de diferenciación  $VD$ . La banda derivativa puede actuar de acuerdo al cálculo de la desviación del sistema  $ERR$ , si el parámetro  $D\_ON\_X = 0$ , o basándose en la variable de proceso  $PV$  si  $D\_ON\_X = 1$ . Si la banda derivativa actúa conforme a la variable del proceso  $PV$ , tenemos ciertas ventajas en el control, una de ellas, es que la banda derivativa no va a detectar saltos o cambios bruscos cuando la variable de referencia se altera, (cambios en la entrada del

SP). Principalmente la batida derivativa actuará únicamente cuando se detecten cambios o variaciones en el proceso.

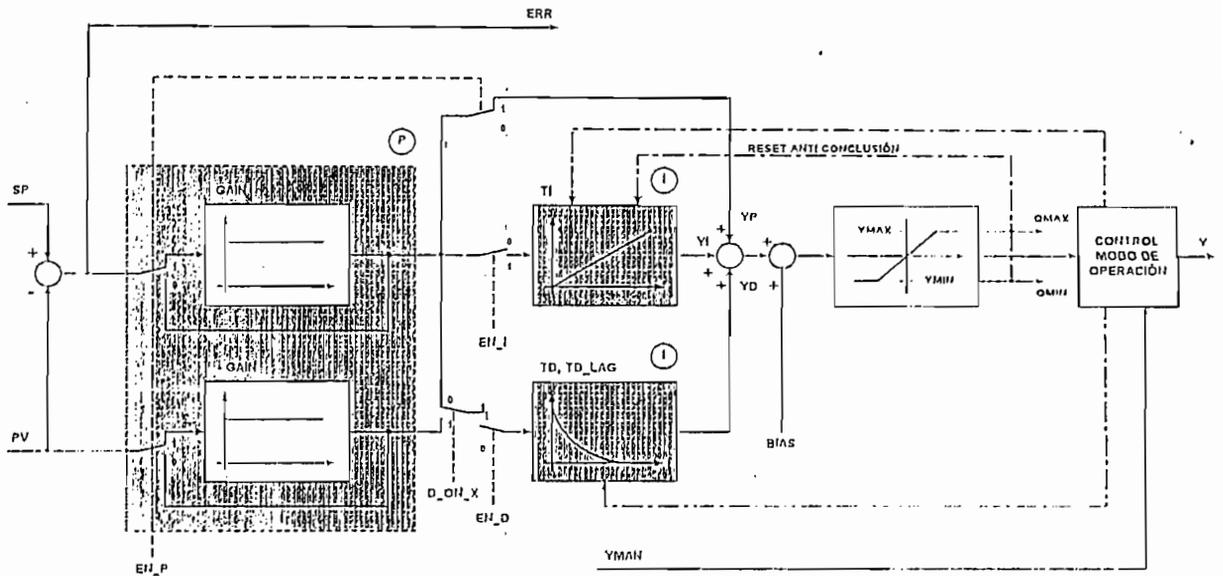


Figura 9.3. Diagrama de configuración del controlador PID.

Con el signo del valor de la ganancia podemos desarrollar un control del tipo directo o indirecto, es decir, si la ganancia tiene un valor positivo, el controlador causará un incremento en la variable de salida dando lugar a un cambio positivo, caso contrario si la ganancia tiene un signo negativo, causará un decremento en la variable de salida dando lugar a un cambio negativo. Esto se define según la dinámica del sistema que se vaya a controlar.

- Bloque de escalamiento.- Para trabajar con datos aproximados a la realidad en el PID, y mantener los valores permisibles de las variables del proceso, contamos con el apoyo de los bloques de escalamiento, los cuales como dice su nombre, escalan la señal enviada por los sensores, es decir la corriente eléctrica (-) 20 mA, en valores reales de la respectiva variable física de acuerdo al rango de operación

del sensor. Y la señal de control enviada a los actuadores en una correspondencia de 4 – 20 mA con 0 – 100 % de apertura de los actuadores, es decir, 0% totalmente cerrado y 100% totalmente abierto.

Para el primer caso, cada uno de los bloques tiene las siguientes características:

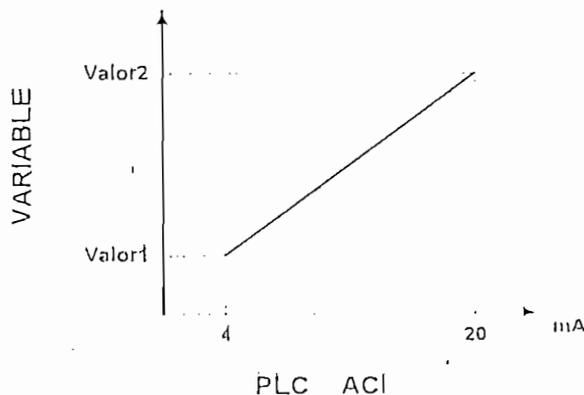


Figura 9.4. Escalamiento de entrada

$$Y = mX + b$$

Como el módulo de entrada es de 12 bits:

$$4 \text{ mA} \rightarrow 000000000000 \rightarrow 0$$

$$20 \text{ mA} \rightarrow 111111111111 \rightarrow 4096$$

Entonces:

$$m = (\text{Valor 2} - \text{Valor 1}) / (4096 - 0)$$

Cuando  $X = 0$ :

$$Y = b$$

$$b = \text{Valor 1}$$

La ecuación final del bloque se configura en un DFB de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Y = \frac{[\text{Valor 2} - \text{Valor 1}]}{4096} X + \text{Valor 1}$$

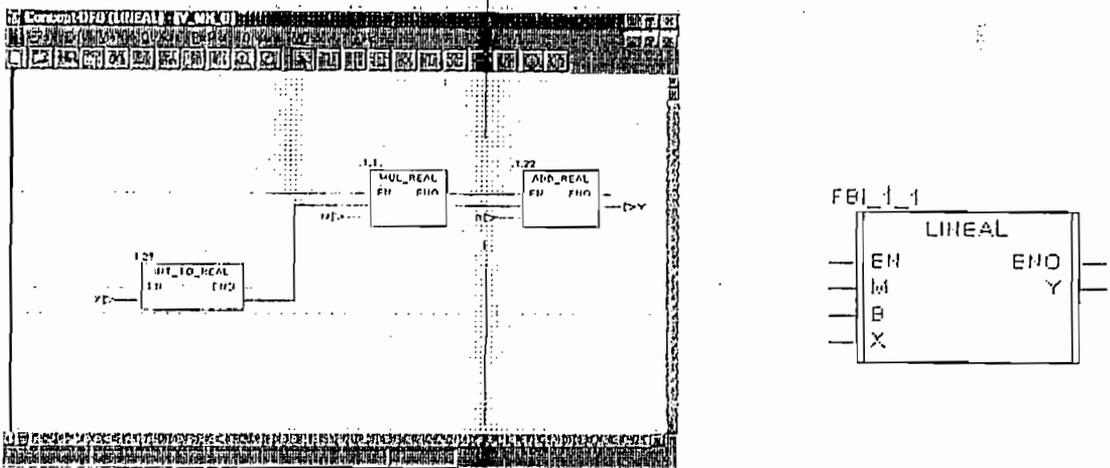


Figura 9.5. DBF para escalamiento a la entrada, estructura y simbolo

Donde:

Y = Variable a controlada y medida en las unidades correspondientes (°C, %RH, PSI), el rango depende de las especificaciones técnicas del respectivo sensor.

X = Señal de corriente (4 – 20 mA) linealmente proporcional al valor de la variable.

El segundo caso, sirve para obtener las señales analógicas de corriente que controlan a los actuadores (electroválvulas, HP's, variador). Puesto que trabajamos con valores reales en cada bloque PID, necesitamos de manera análoga a la anterior, escalar la señal de salida de cada uno de estos bloques, es decir, proporcionar valores entre 0 y 4096, a los módulos, ya que también tienen una resolución de 12 bits. El respectivo módulo se encargará de convertirlos en una señal de corriente de salida (4 – 20 mA) en forma linealmente proporcional.

El escalamiento tiene las siguientes características:

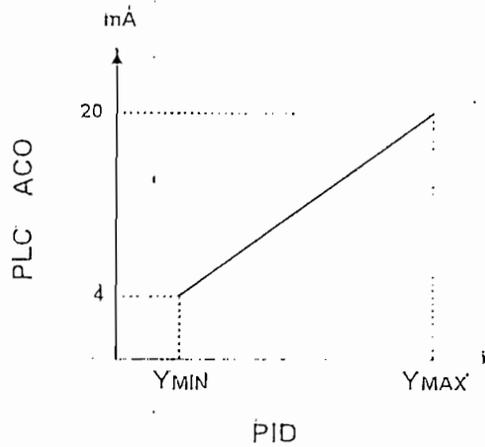


Figura 9.6. Escalamiento de salida.

$$Y = mX + b$$

$$OUT = mY + b$$

Como el módulo de salida también es de 12 bits:

$$4 \text{ mA} \rightarrow 000000000000 \rightarrow 0$$

$$20 \text{ mA} \rightarrow 111111111111 \rightarrow 4096$$

Entonces:

$$m = (4096 - 0) / (Y_{MAX} - Y_{MIN})$$

Cuando  $X = 0$ :

$$OUT = b$$

$$b = 4096 / (1 - Y_{MAX}/Y_{MIN})$$

Esto se configura de acuerdo a cada actuador, en un DFB de conforme a la siguiente ecuación:

$$OUT = \left[ \frac{4096}{Y_{MAX} - Y_{MIN}} \right] Y + \frac{1}{1 - \frac{Y_{MAX}}{Y_{MIN}}}$$

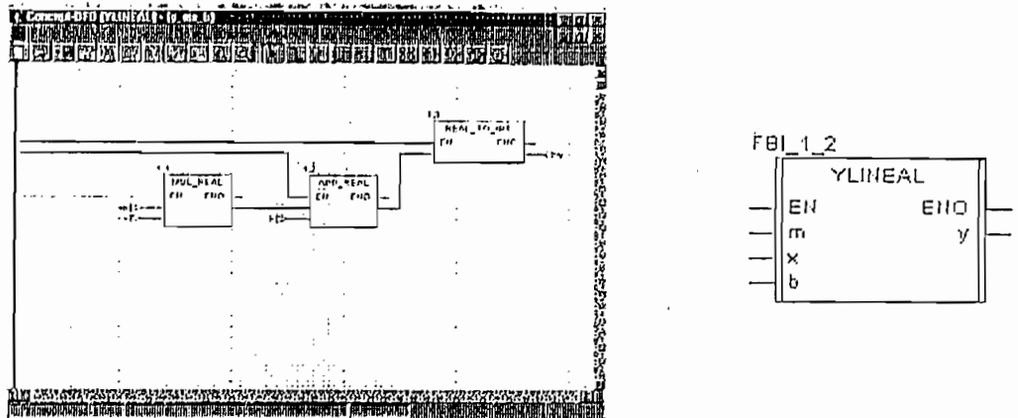


Figura 9.7 DBF para escalamiento a la salida, estructura y simbolo

Donde:

$Y$  = Es la señal que proporciona el controlador PID y sus valores se encuentran en un rango seleccionado por el programador, en las variables  $Y_{MAX}$  y  $Y_{MIN}$  del PID.

$OUT$  = Son los valores entre 0 a 4096 que son escritos en los módulos de salida, el valor determina la corriente de salida (-I a 20 mA) que controla a los actuadores.

La cuarta sección: PLC, contiene una pequeña estructura desarrollada para el monitoreo continuo del estado de los módulos, establecimiento de comunicación, para prevenir inconvenientes y eventuales problemas de disparo, tanto del PLC como de la comunicación.

El programa completo de todo el proyecto implementado en el PLC se documenta en el Anexo 2. Contiene entre otros datos complementarios, la configuración, los bloques DBBs desarrollados y mapa de direcciones para las variables.

- Bloque de amortiguamiento (LAG1).- Es un bloque que filtra o amortigua la señal de entrada para efectos de eliminar las interferencias externas al sistema. Este bloque implementa un limitador en tiempo de primer grado (filtro pasa bajos). Los modos de funcionamiento del bloque contempla la operación manual, estática y automática.

Fórmulas:

$$Y = Y_{(old)} + \frac{dt}{lag + dt} \left[ gain \frac{X_{(old)} + X_{(new)}}{2} - Y_{(old)} \right]$$

donde:

- X(old) : Es el valor X de la entrada en un ciclo previo
- X (new) : Es el último valor de la entrada X
- Y(old): Es el valor Y de bla salida de un ciclo previo
- Y : Valor de salida
- dt: Es la diferencia de tiempo entre el cilo previo y el ciclo actual

Representación y diagrama de funcionamiento

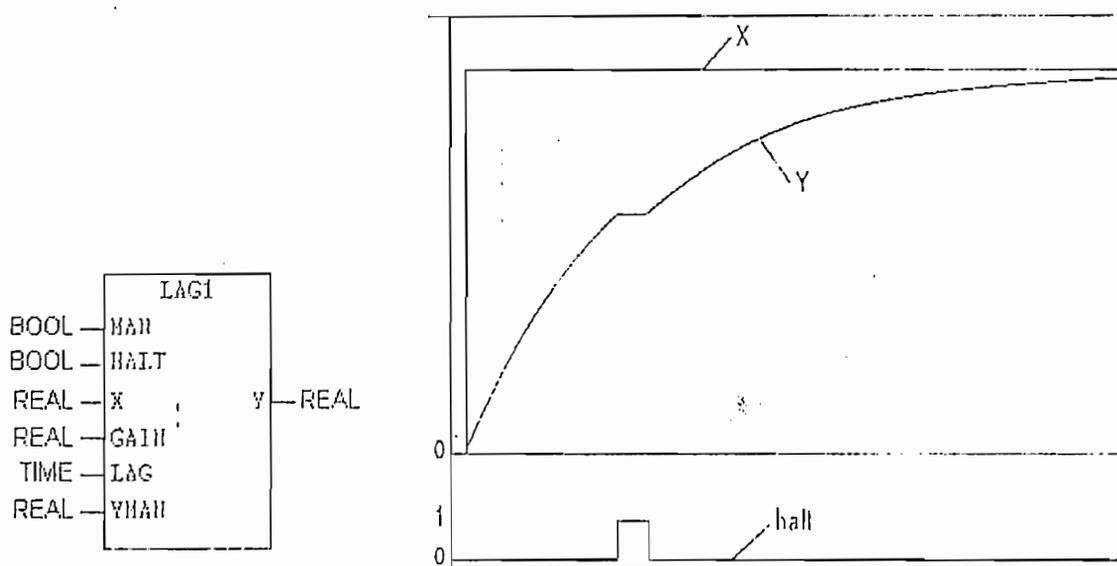


Figura 9.8. DBF para filtro de la señal de entrada , estructura y simbolo.

Parámetros del filtro

Parámetro	Tipo de dato	Significado
MAN	BOOL	"1" = Modo manual
HALT	BOOL	"1" = Modo colgado
X	REAL	Valor de entrada
GAIN	REAL	Ganancia
LAG	TIME	Constante de tiempo de retardo
YMAN	REAL	Valor de control manual
Y	REAL	Salida

9.2. MODO DE EJECUCION DEL CONTROL

El programa que ejecuta el PLC trabaja en forma de escaneo, es decir, ejecuta secuencialmente las órdenes, verifica el último estado que se observó en las entradas (sensores), realiza el proceso con los datos obtenidos y con el programa cargado, finalmente actualiza el estado de las salidas físicas (actuadores).

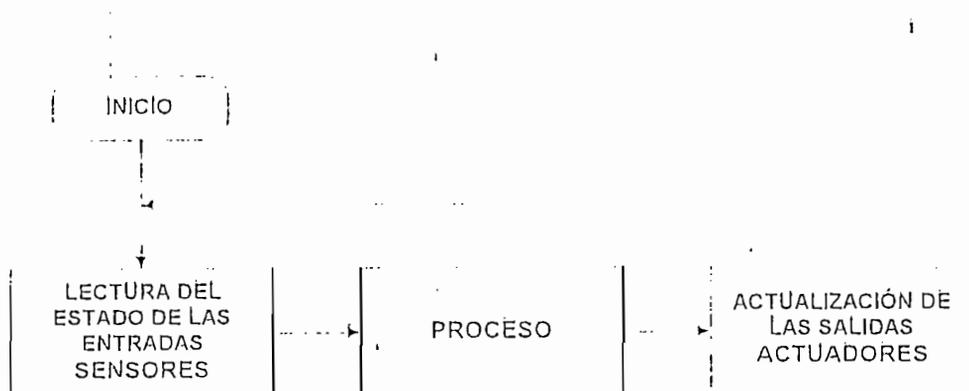


Figura 9.9. Secuencia de proceso del PLC.

La forma en que se actualiza el estado de las salidas durante el proceso de ejecución del programa. Veamos los tres pasos:

Lectura del estado de las entradas. Lo primero que hace el PLC es verificar el estado de las entradas y asociarlo a las variables que serán utilizadas durante el resto del programa, de acuerdo al estado del sensor que se encuentre conectado a dicha entrada, es decir, la lectura de la variable.

Proceso. Una vez que se han leído las entradas, el PLC ejecuta las órdenes de acuerdo al programa almacenado en la memoria de la CPU. Durante este paso se ejecutan las operaciones descritas en el punto anterior y se toman las decisiones que finalmente han de llegar a los módulos de salida.

Actualización de salidas. Una vez que haya concluido el proceso a través del programa cargado en memoria, la CPU ordena la actualización de los valores que deben tener las salidas, es decir, la apertura o cierre de las servoválvulas, o una corriente proporcional.

### 9.3. LAZOS DE CONTROL PARA EL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO

Los lazos de control del sistema de aire acondicionado, tanto de las cajas de soplado como de la sala de embobinado, se dedujeron en base al comportamiento que presentaban las variables de temperatura y humedad relativa, así como también a la estructura física de los sistemas y a las indicaciones de funcionamiento del sistema de control neumático primitivo.

#### 9.3.1. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE CONTROL

Los tres sistemas de control del aire básicamente operan bajo el mismo flujo de control como se ve en las figuras 9.10, 9.11 y 9.12, con la única diferencia para

*TESIS DE GRADO*

el sistema de control de aire para la sala de embobinado que carece del control de presión estática y del control de temperatura en el precalentador.

» . . . !

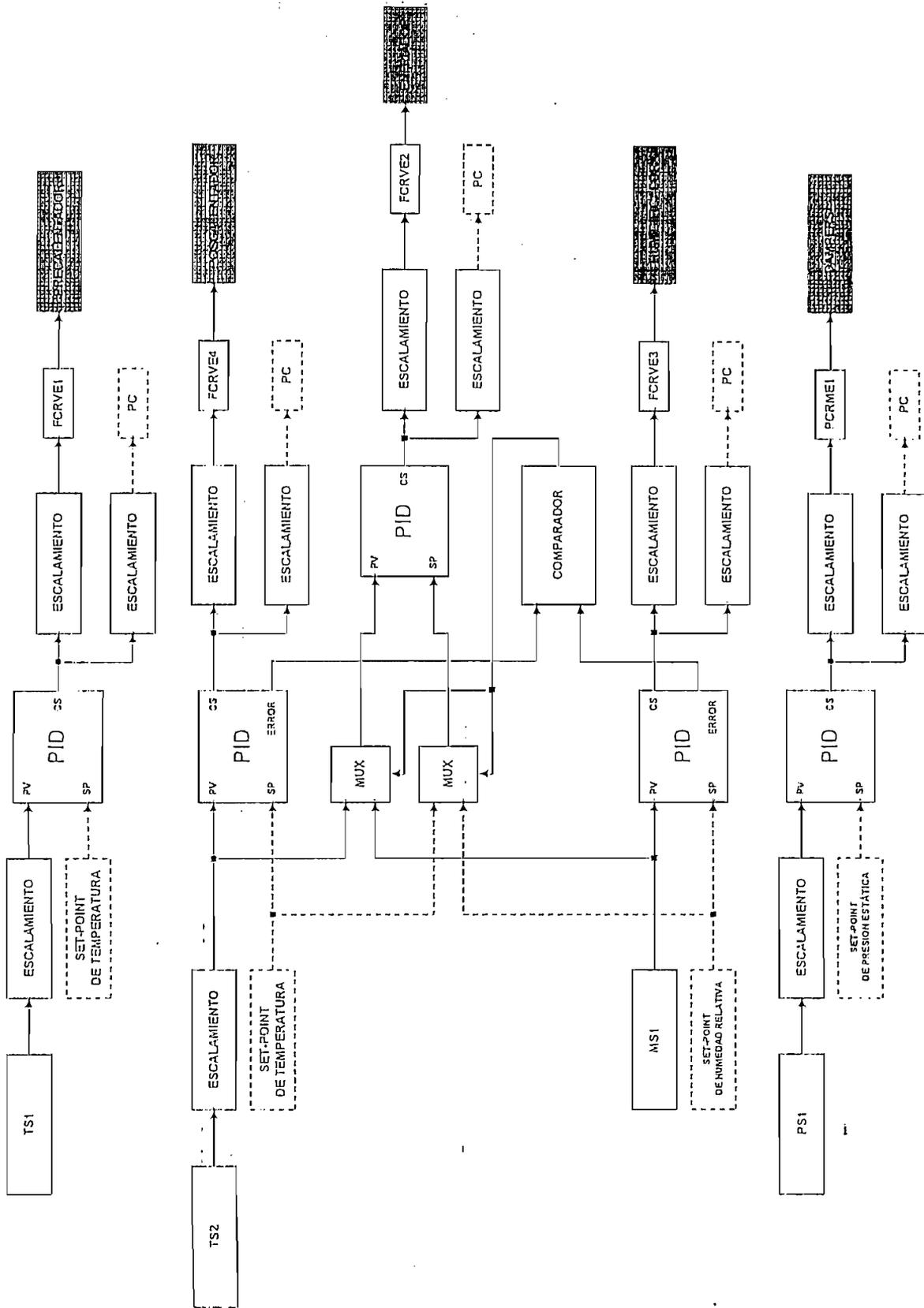


Figura 9.13. Diagrama funcional de bloques del programa de control: CAJAS DE SOPLADO DE AIRE H4\_H5.

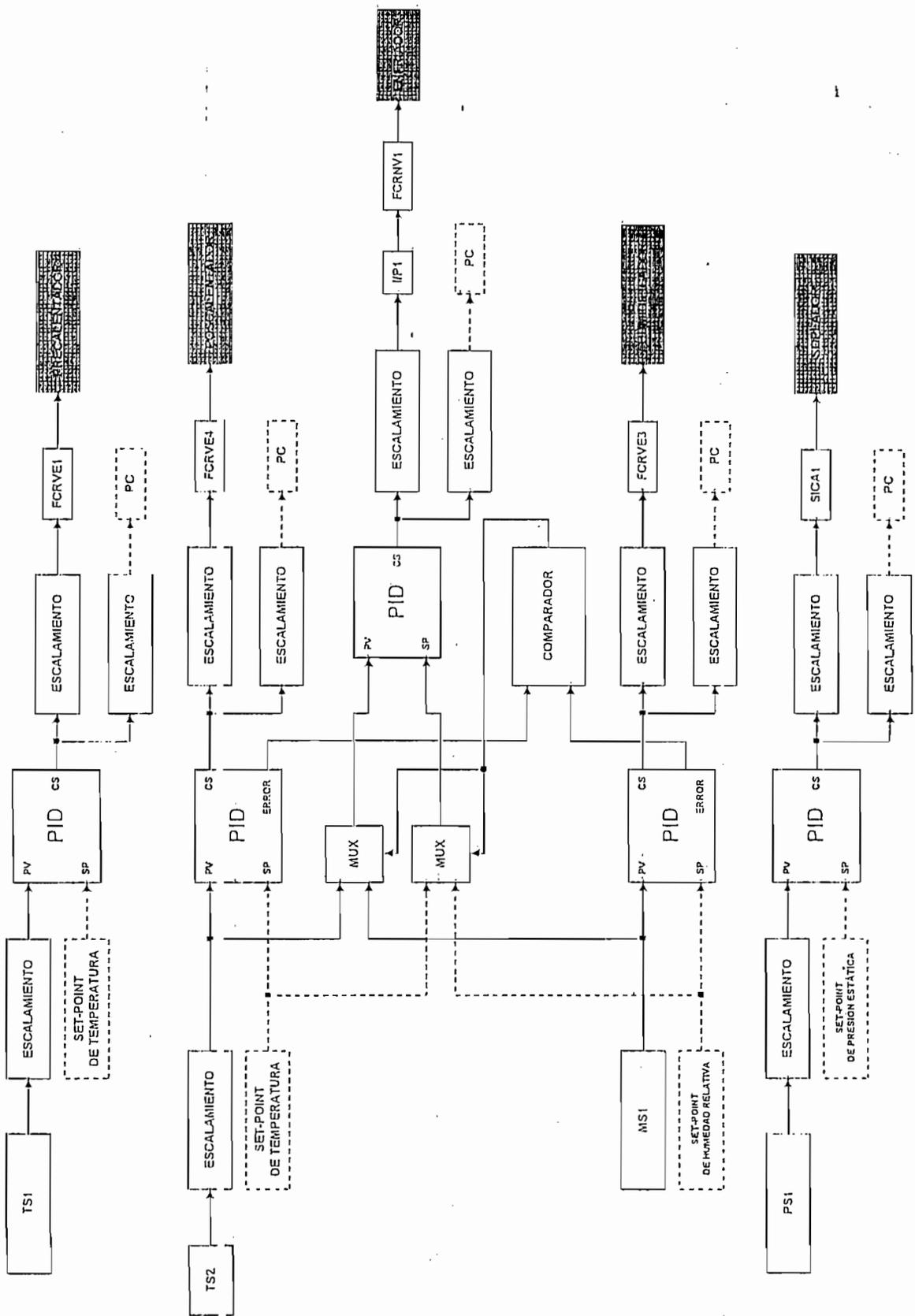


Figura 9.14. Diagrama funcional de bloques del programa de control: CAJAS DE SOPLADO DE AIRE H1\_H2\_H3.



#### 9.4. SÍNTONIZACIÓN

Todos los controladores de los sistemas de acondicionamiento de aire son del tipo PID los que fueron sintonizados por métodos experimentales y basándonos en recomendaciones de fabricantes de equipos semejantes. Con la ayuda de los registros históricos y tendencias en tiempo real, implementados en la aplicación para la supervisión del sistema a través del programa de interfase hombre - máquina, Intouch, se facilitó verificar si las variables controladas respondían adecuadamente ante perturbaciones externas al sistema; además de comprobar si los valores medidos de las variables se mantenían dentro de los límites ajustados.

Para la sintonización básicamente se hizo uso del método experimental basado en la observación y análisis de las curvas de respuesta guardadas en las tendencias en tiempo real e históricas de la aplicación de supervisión, de donde se obtuvo la información necesaria para poder realizar las acciones correctivas que convenían.

Para empezar con la sintonización, se partió de valores recomendados para este tipo de sistemas, realizando cambios suaves en las bandas se logró llegar a los valores definitivos, estos cambios fueron basados en la reacción que presentaban las variables; así por ejemplo, para el control de temperatura que es una variable de respuesta muy lenta, ya que depende básicamente de la inercia de los equipos como son los radiadores y las electroválvulas proporcionales controladoras del flujo de vapor, fué necesario valores de la banda proporcional bastante altos con el fin de que el único retardo que se presente en el momento de una corrección no se deba al controlador

(PID) sino al tiempo normal de respuesta de los equipos. Caso contrario ocurre con el control de humedad relativa, donde el sistema es muy susceptible a cambios por contar con una inercia mucho menor que los sistemas que usan los intercambiadores, el control de esta variable se lo hace entregando directamente vapor saturado al flujo de aire, que depende también de los cambios de la temperatura; así por ejemplo, ante un cambio de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  alrededor del SP de temperatura ( $20^{\circ}\text{C}$ ) produce un cambio de  $\pm 4$  %RH, de acuerdo a la curva psicrométrica calibrada a la altitud de la ciudad de Quito, que se muestra en el anexo -I. Bajo estos principios lo primero que se trató fue de estabilizar la temperatura alrededor del SP, para luego sintonizar el controlador de humedad relativa, se destaca además, que el incremento de la humedad relativa mediante la entrega de vapor saturado directamente al ambiente, se entiende como un proceso isotérmico; es decir, que la temperatura no es alterada.

Para la sintonización de los controladores principalmente los de humedad relativa, se tomó en consideración los aspectos físicos importantes del sistema, como son los tiempos de respuesta de los controladores y de las electroválvulas, etc. Se consideró también las perturbaciones que ocurren inesperadamente con los cambios de presión en las tuberías de vapor saturado, esto ocasiona “picos” en la señal de humedad relativa que no pueden ser evitados por el control debido al corto tiempo de duración, e impiden que el actuador responda instantáneamente, esto provoca que la válvula actúe con un tiempo de retardo, lo que da lugar a inestabilizar el sistema cuando la perturbación ya había concluido. Al analizar la influencia que este efecto causa en el producto, se concluyó que no contribuía al desmejoramiento de la calidad ya que el aire debía recorrer una distancia considerable desde el punto en que se toma la señal

(sensor de humedad relativa) hasta cuando toma contacto con el hilo, lo que hace que el aire llegue con una mezcla más homogénea en la que los “picos” pierden fuerza. Para resolver este problema en el sistema de control se resolvió filtrar la señal de humedad relativa de tal manera que las perturbaciones de corto tiempo de pacen desapercibidas por el control, evitando de esta forma desestabilizaciones por este motivo.

Los parámetros generales que influyen en la sintonización de los controladores son:

- La capacidad de las válvulas controladoras reguladoras de flujo de vapor. ( 10/9 (Pisco) con capacidad de entregar 6.1.1 g/s a 3.5 bar de presión).
- La presión del vapor saturado, (3.5 bar).
- El caudal de aire transportado, (16500 m<sup>3</sup>/h en cajas de soplado y 24000 m<sup>3</sup>/h en la sala de embobinado).
- Las curvas psicrométrico, (altura de 2800 m.s.n.m.).
- Las condiciones de operación, (20 °C y 60 %Rh, lo que da una humedad absoluta de 11g/Kg).
- La velocidad de respuesta de las electroválvulas controladoras de flujo, (150s de 0 a 100% de apertura). Lo que da un incremento o decremento de máximo 0.458 g/s de vapor.
- La velocidad del aire en el ducto, (3.06 m/s).
- La dependencia de la humedad relativa dependiente de la humedad absoluta y de la temperatura.

- La dependencia de la humedad relativa de las alteraciones externas como variaciones de presión en las tuberías de vapor.

Después de hacer uso de estos criterios y luego de varias jornadas de observación y cambios en diferentes circunstancias ambientales (tarde, noche, madrugada, etc) los parámetros más adecuados para el control son los siguientes:

Sistema 111 - 115	Parámetros	Temp. 1_1 Precalentador	Temp. 1_2 Ducto	Hum. 1_1 Ducto	Pres. 1_1 Ducto
	SP	16	20	60	6
	Gain	4	3	0.45	1
	TI	100	105	45	5
	TD	0.2	15	5	0
Sistema 111 - 112 - 113	Parámetros	Temp. 2_1 Precalentador	Temp. 2_2 Ducto	Hum. 2_1 Ducto	Pres. 2_1 Ducto
	SP	15	20	60	7
	Gain	4	3.2	0.35	2
	TI	100	85	65	5
	TD	0.2	8	3	0
Sistema Sala Embobinado	Parámetros	Temp. 3_1 Sala		Hum. 3_1 Sala	
	SP	20		60	
	Gain	3.5		0.75	
	TI	100		5.1	
	TD	3.2		0.8	

## 9.5. CURVAS DE RESPUESTA

Los análisis corresponden únicamente a las dos variables más influyentes dentro del sistema, temperatura en el ducto y humedad relativa en el ducto. Las pruebas se logró realizar en el sistema de aire de soplado I14-I15, aprovechando de un paro de las máquinas en hilatura por motivo de falla en la producción. Las curvas de respuesta corresponden a cambios en el SP en pasos discretos, así en la humedad relativa se provocó un cambio de 20% RH, un incremento en el SP de 55%RH a 75%RH; en la temperatura el SP se alteró en 5°C, de 20°C a 25°C, como se muestra en las figuras 9.1.3 y 9.1.4.

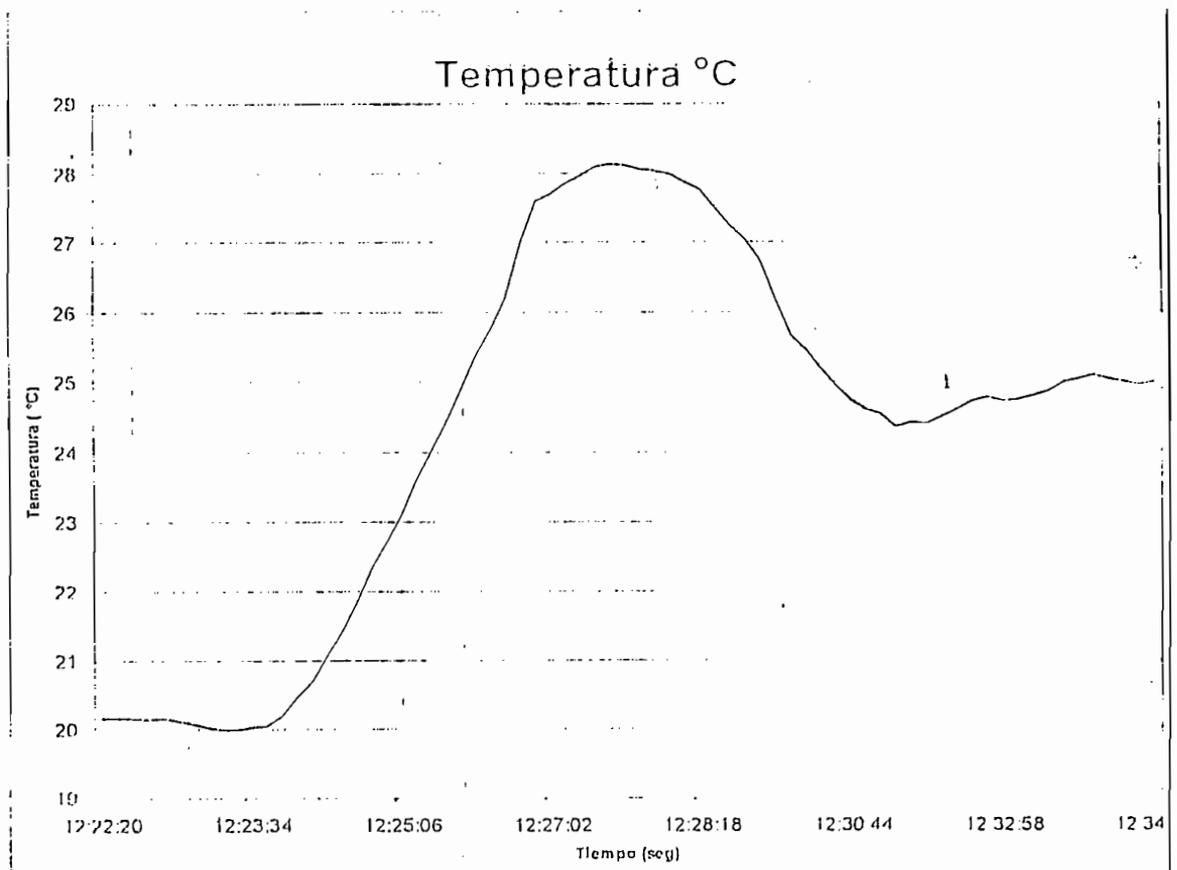


Figura 3.13 Curva de respuesta de la temperatura en el ducto cambio de 20°C a 25°C

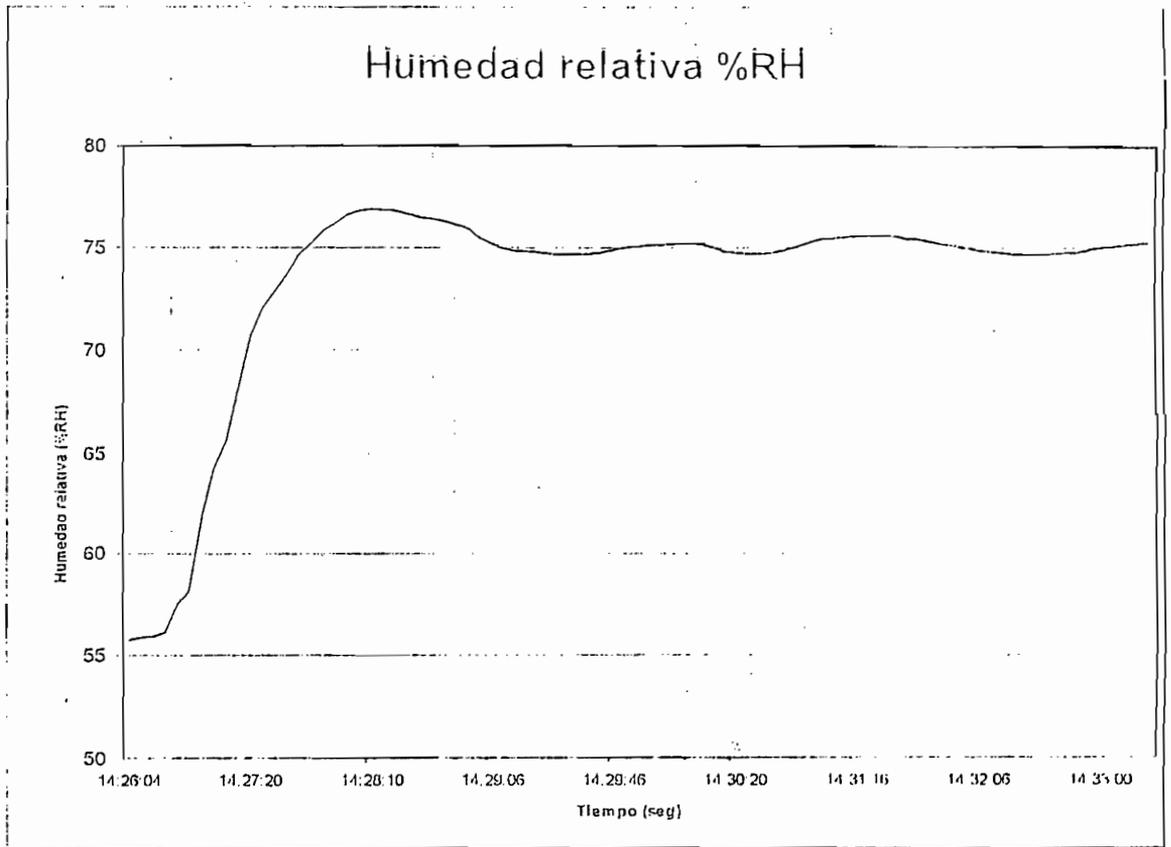


Figura 3.14 Curva de respuesta de la humedad relativa en el ducto, cambio 55RH a 75RH

Análisis:

Para el análisis de las curvas de respuesta nos centramos en tres aspectos importantes: el sobreimpulso (pico máximo), tiempo de establecimiento y el error en estado estable.

- Temperatura en el ducto: variación en el SP 5°C (20°C a 25°C)
  - Máximo pico  $M_p$ : 28.13 °C  $\Rightarrow$  12.52%
  - Tiempo de establecimiento  $T_s$ : 11: 23"  $\Rightarrow$  11.23 min.
  - Error en estado estable:  $25.8 - 24.9 = \pm 0.13$  °C

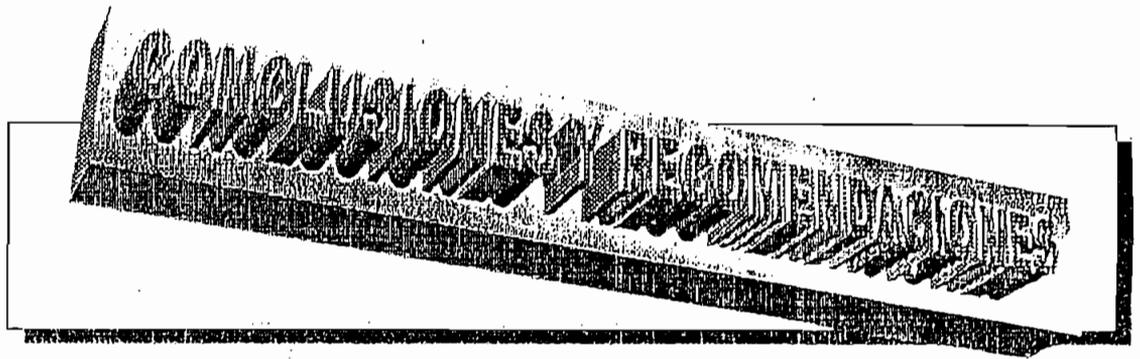
- Humedad relativa en el ducto: variación en el SP 20%RH (55%RH a 75%RH)

Máximo pico Mp: 76.89 %RH  $\Rightarrow$  2.52%

Tiempo de establecimiento Ts: 2: 52"  $\Rightarrow$  2.917 min.

Error en estado estable: 74.62 - 75.6 =  $\pm$  0.49% RH.

De acuerdo a los parámetros calculados, de las curvas de respuesta se puede observar que los sistema funcionan de acuerdo a las normas que rigen los sistemas de control. Los valores del máximo pico (12.52% en la temperatura y 2.52% en la humedad relativa) se encuentra muy cercanos a la norma que nos dice que no sobrepase del 10% lo que es muy aceptable. El tiempo de establecimiento un poco prolongado se debe a que estos sistemas contemplan elementos muy grandes donde la velocidad de respuesta y las inercias son considerables. Los errores en estado estable son valores muy inferiores a los permisibles por la técnicas de fabricación ( $\pm 1^{\circ}\text{C}$  y  $\pm 3\% \text{RH}$ ), por lo que el sistema se encuentra en un correcto funcionamiento. Cabe recalcar que el sistema no sufre cambios tan pronunciados en los valores del SP durante el proceso de fabricación, ni tampoco los cambios de temperatura y humedad relativa del exterior son bruscos, por lo que el sistema responde satisfactoriamente.



## CONCLUSIONES

- La tecnología empleada para realizar el control en el sistema de aire acondicionado es moderna y abierta a cambios e implementaciones adicionales que fueran necesarios en el desarrollo de la planta. Los equipos están respaldados por marcas de renombre con alta confiabilidad para realizar el trabajo continuo e ininterrumpido las 24 horas del día.
- Los equipos seleccionados para el sistema de control cumplen de inmejorable manera su función correspondiente: Los sensores permiten realimentar los lazos de control con datos exactos y reales. El PLC brinda las mejores características de trabajo, y permite la ejecución completa de los procesos de manera automática. El equipo de actuadores efectúa eficientemente las acciones ordenadas por el PLC. En resumen el sistema de control mantiene en norma todas las variables que intervienen, lo que se puede comprobar conforme a los datos de los registradores gráficos obtenidos antes y después de la implementación del proyecto.
- El paquete Concept V2.0 que fue usado en la programación del PLC, dispone de herramientas que le convierten en un medio óptimo para realizar un control continuo, necesario para mantener constantes variables lógicas como son la temperatura y la humedad relativa. El PLC marca Modicon de la serie

Quantum, usado en el proyecto, es muy recomendable para este tipo de control, por su avanzado procesador que permite la inserción de bloques para el desarrollo del control continuo como es el PID. Dispone además de módulos especializados para recibir y enviar señales continuas analógicas.

- Haciendo uso de las herramientas que brinda el software de supervisión Intouch, se logra operar los sistemas desde un computador o una red de computadoras enlazadas al sistema, de esta forma se evita la intervención directa del operador, además, que se dispone de registros que facilitan realizar un seguimiento hasta lograr una optimización del proceso, además se pretende integrar a la planta en el campo del control electrónico esencial en el mundo tecnológico de hoy.

- Con el correcto desempeño del sistema se logró mejorar los índices de calidad del hilo que produce Enkador, lo que implica incrementar la rentabilidad y mantener el prestigio ganado en el mercado.

- El sistema está diseñado para un trabajo continuo, cuenta con la capacidad necesaria de tal forma de seguir operando sin desviarse de los rangos permitidos aún en las condiciones ambientales más severas que se pudieran dar en el sector.

- El trabajo está enfocado también como una ayuda para cualquier persona que se relacione con el tema y necesite de la información que aquí se presenta, en particular sobre el tipo de equipos e instrumentos que se utilizan en proyectos de este tipo. Se presenta también una información básica sobre los modos de control y métodos de sintonización más comúnmente usados.

- Se ha dotado tanto a la universidad como a la empresa, de un documento o material de referencia para el estudio del proyecto, el mismo que permite a las personas interesadas examinarlo, mantenerlo, mejorarlo o adaptarlo a procesos relacionados o similares

## RECOMENDACIONES

- El sistema está diseñado con la posibilidad de poder incrementar el ingreso de nuevas variables y realizar nuevos lazos de control, para esto la inserción de los nuevos equipos se realizaría sin necesidad de alterar el hardware existente, si es el caso, se recomienda seguir los lineamientos establecidos en el proyecto que están debidamente documentados.

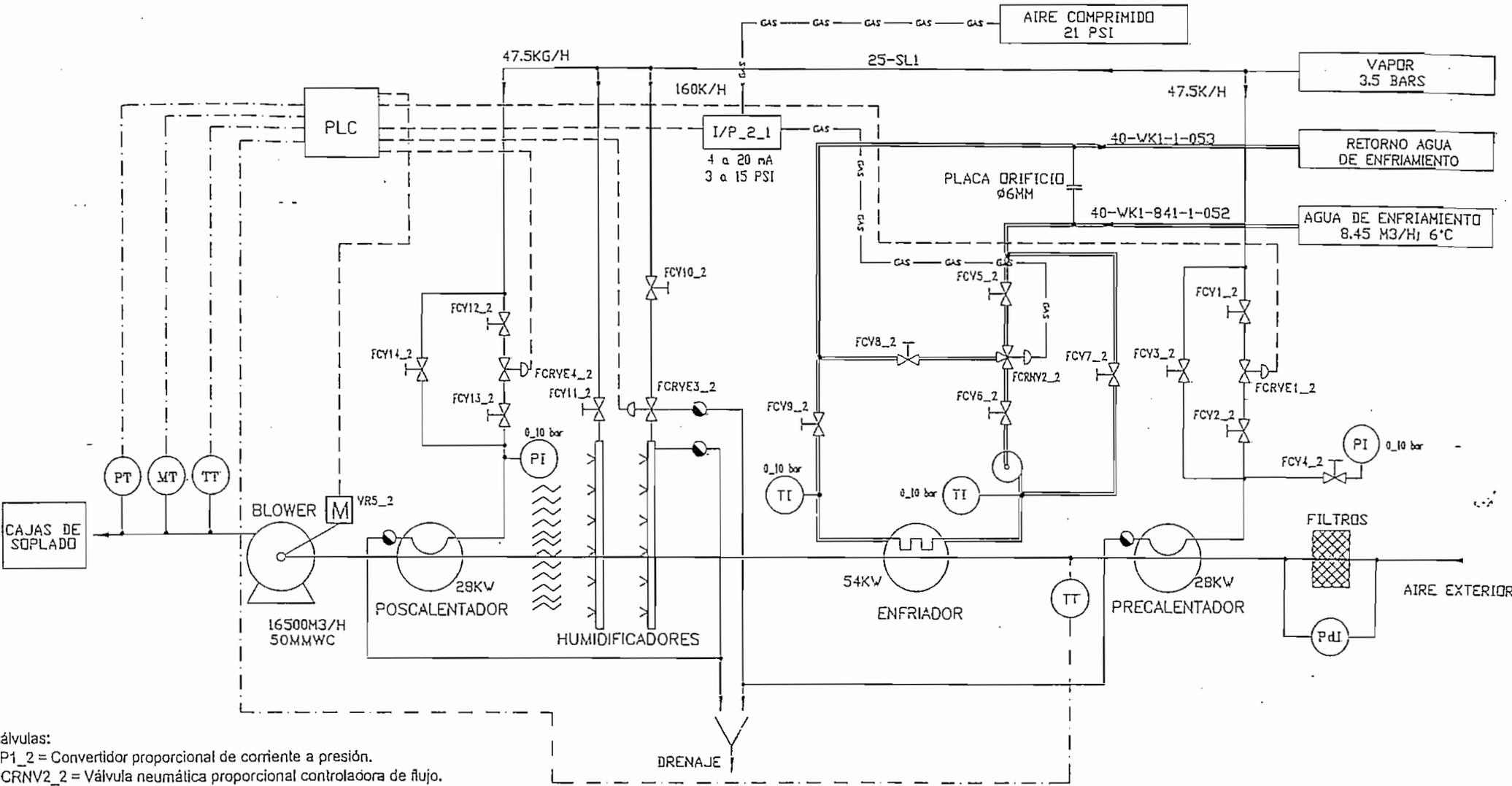
- Para la incorporación de nuevos proyectos al sistema de supervisión Intouch, se debe tratar de optimizar el uso de tagnames, ya que en el número de estos se basa el costo del sistema. No hay que perder de vista que la sencillez y practicidad de las aplicaciones, facilitan la operación y reflejan una mayor confiabilidad del sistema.

- Para la implementación de nuevas pantallas es importante seguir con el diseño original del sistema, esto facilitará al operador el manejo y supervisión de los nuevos proyectos sin necesidad de recibir instrucciones adicionales.

- Si existiera la necesidad de realizar cambios en los parámetros de los controladores implementados en el PLC, se recomienda que sea únicamente el personal con los conocimientos necesarios quien lo haga, caso contrario se corre el riesgo de perder la estabilidad y desmejorar la calidad del producto.



# *DIAGRAMAS Y PLANOS*



válvulas:  
 P1\_2 = Convertidor proporcional de corriente a presión.  
 CRNV2\_2 = Válvula neumática proporcional controladora de flujo.  
 vías DN50, enfriador  
 CRVE3\_2 = Electroválvula proporcional controladora de flujo. Lineal  
 a disco DN40, humidificador  
 CRVE1\_2 = Electroválvula proporcional controladora de flujo. 2 vías  
 DN40, precalentador  
 CRVE4\_2 = Electroválvula proporcional controladora de flujo. 2 vías  
 DN40, poscalentador  
 ICA5\_2 = Regulador de velocidad. Inversor trifásico regulador de la  
 velocidad del motor del blower  
 sensores:  
 T, MT, PT = Transmisoras de temperatura, humedad relativa y  
 presión estática respectivamente

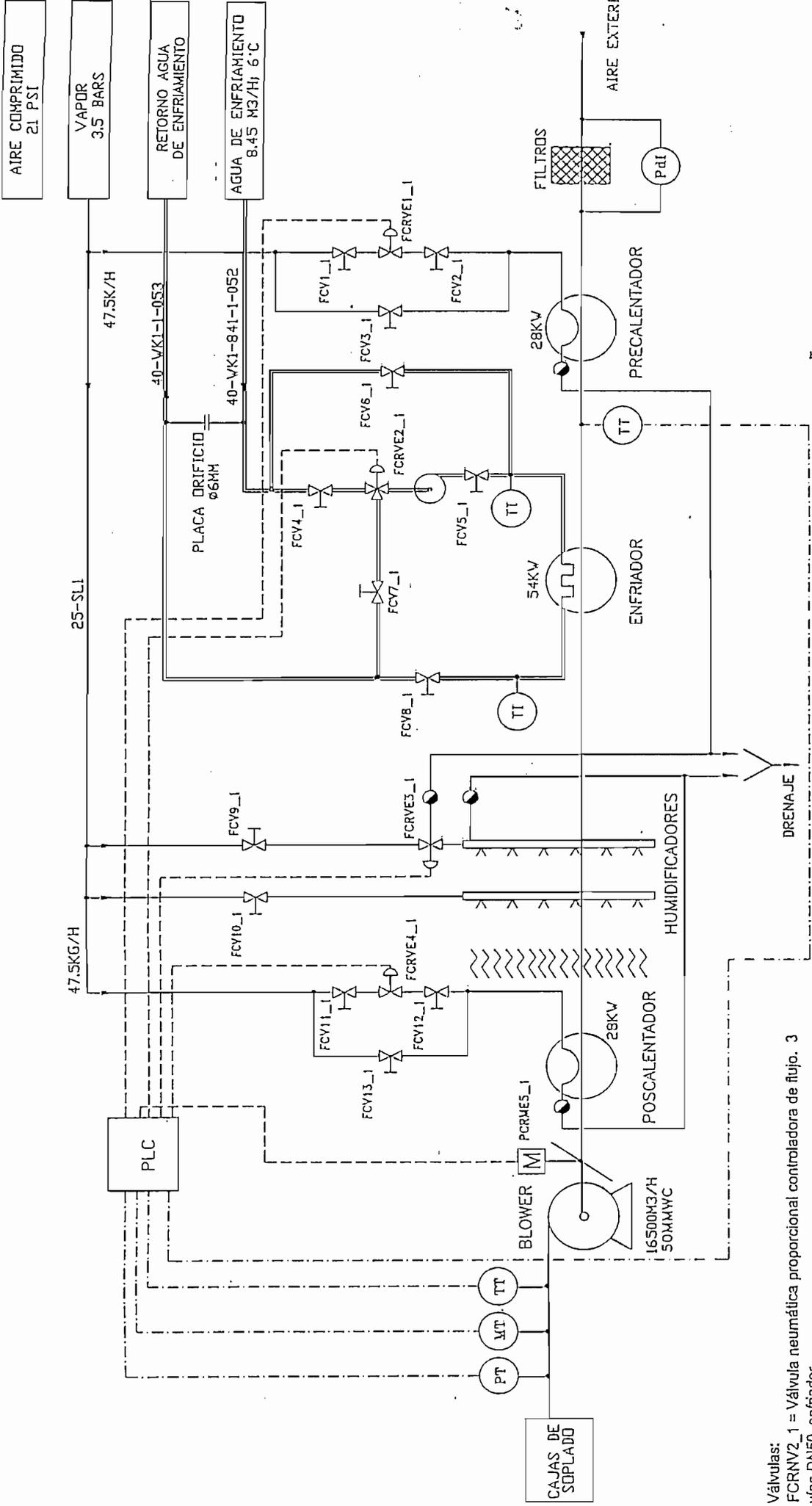
- - - - - Cable de transmisores  
 - - - - - Cable de actuadores  
 ———— Línea de vapor  
 = = = = Línea de agua fría  
 — GAS — Línea de aire comprimido

DEPARTAMENTO DE INSTRUMENTACION - ENKADOR      Area: 871-1  
 AIRE ACONDICIONADO

# DIAGRAMA UNIFILAR

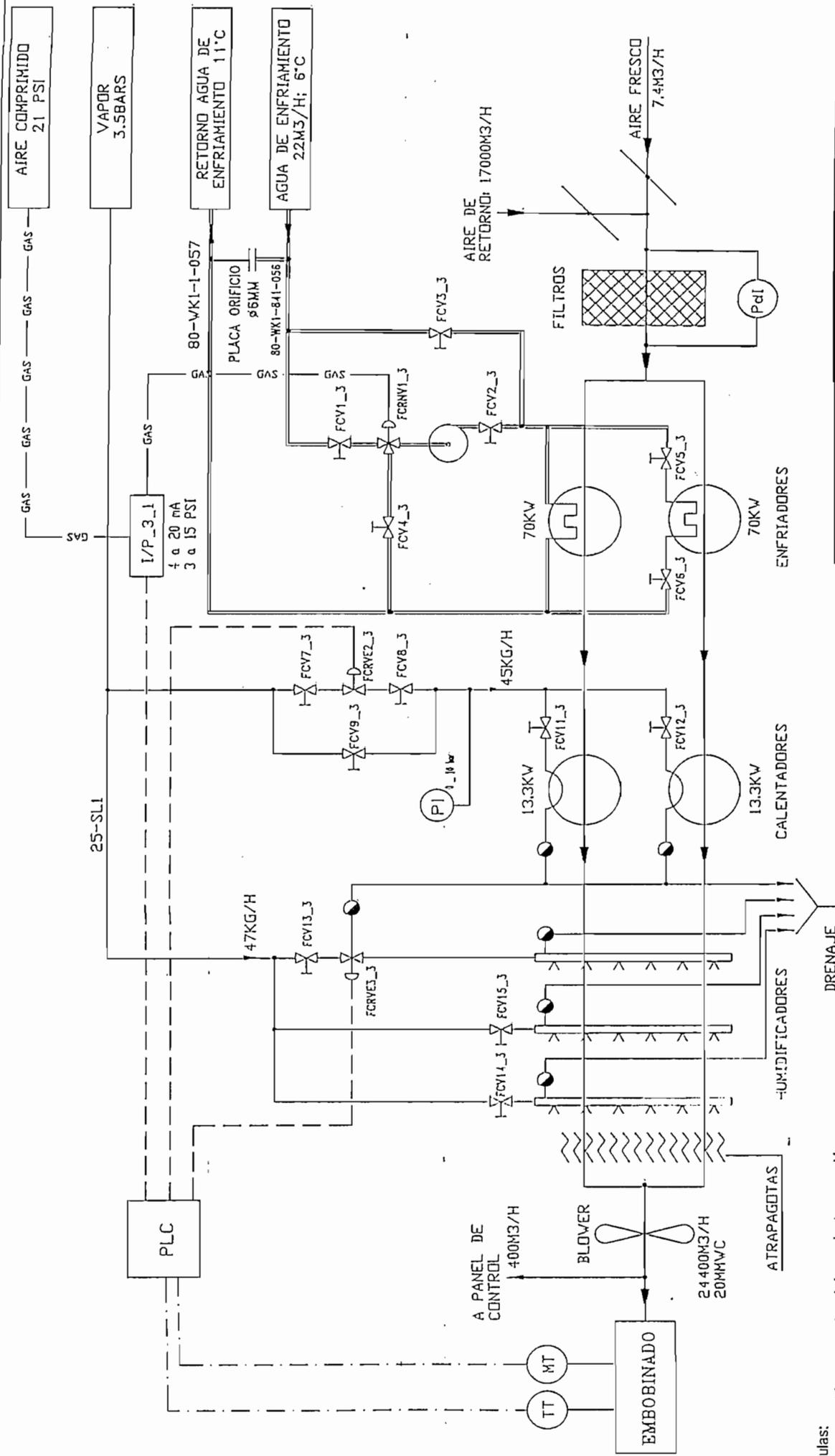
Rev. por:      Esc: S/E      Diseñado por: LARCO G. / EGAS F

CAJAS DE SOPLADO 41- 42- 43      Fecha: 02/00/00      Rev. 1 de



--- Cable de transmisores  
 --- Cable de actuadores  
 --- Línea de vapor  
 --- Línea de agua fría  
 --- Línea de aire comprimido

**Válvulas:**  
 FCRNV2\_1 = Válvula neumática proporcional controladora de flujo. 3 vías DN50, enfriador.  
 FCRVE3\_1 = Electroválvula proporcional controladora de flujo. Línea de disco DN40, humidificador.  
 FCRVE1\_1 = Electroválvula proporcional controladora de flujo. 2 vías DN40, precalentador.  
 FCRVE4\_1 = Electroválvula proporcional controladora de flujo. 2 vías DN40, poscalentador.  
 PCRME5\_1 = Electromotor proporcional controlador de posición. Motor electrohidráulico de los dampers.  
**Sensores:**  
 TT, MT, PT = Transmisores de temperatura, humedad relativa y presión estática respectivamente.



DEPARTAMENTO DE INSTRUMENTACION - ENKADOR

Area: 871-1  
AIRE ACONDICIONADO

# DIAGRAMA UNIFILAR

Rev. por: Esc: S/E | Diseñado por: LARCO G. / EGAS F.

SALA DE EMBOBINADO Fecha: 92/09/22 | Pag: 1 de 1

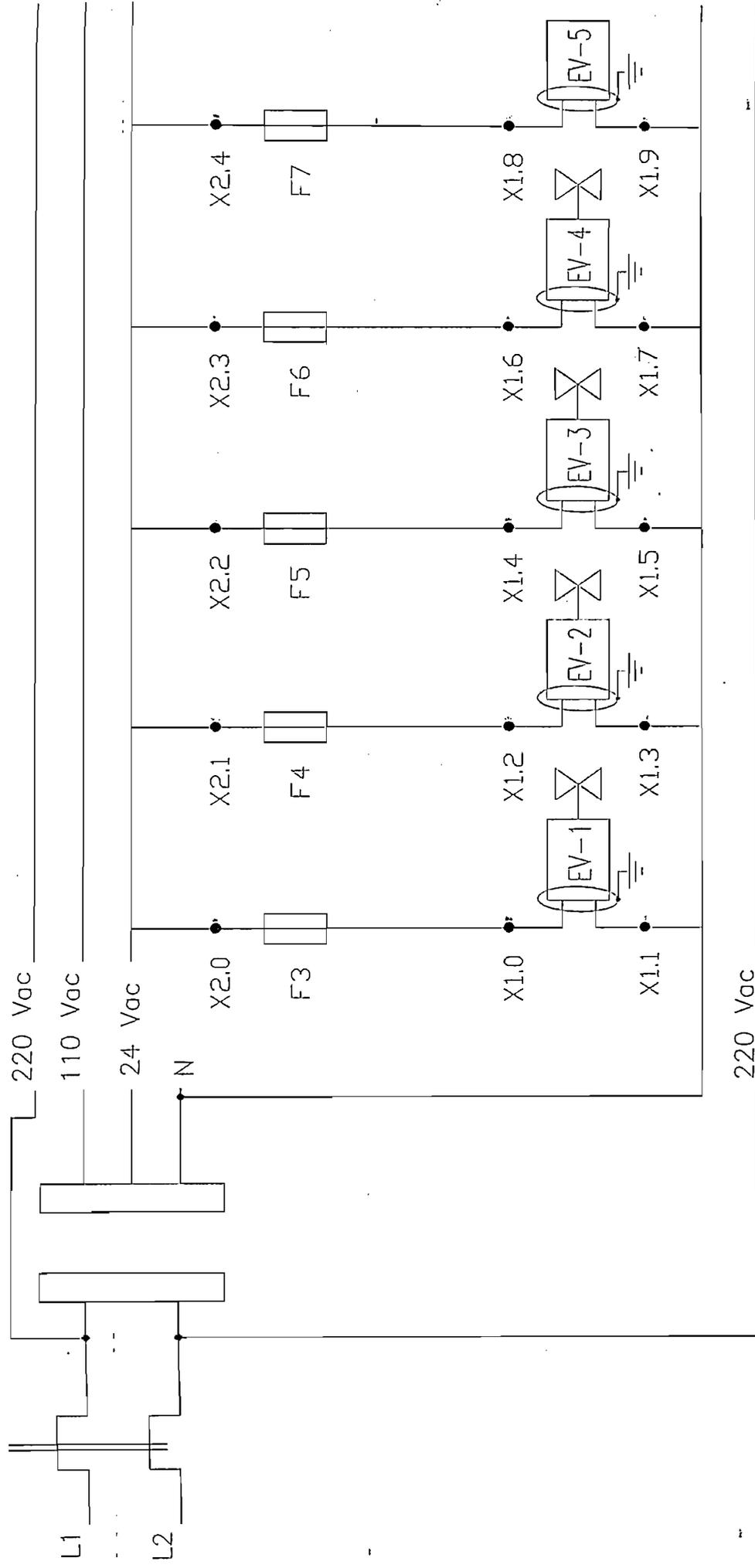
- - - - - Cable de transmisores
- \_\_\_\_\_ Cable de actuadores
- ===== Línea de vapor
- ===== Línea de agua fría
- ===== Línea de aire comprimido

**Válvulas:**  
 IP = Convertidor proporcional de corriente a presión.  
 FCRN1\_3 = Válvula neumática reguladora - controladora de flujo. 3 vías DN80, enfriador.  
 FCRV3\_3 = Electroválvula proporcional controladora de flujo. Línea de disco DN32, humidificador  
 FCRV2\_3 = Electroválvula proporcional controladora de flujo. 2 vías DN25, calentador

**Sensores:**  
 TT, MT = Transmisores de temperatura y humedad relativa respectivamente.

Transformador  
220/110/24 Vac.  
500 VA.

S1 15A



- EV-1: Electroválvula del precalentador
- EV-2: Electroválvula del enfriador
- EV-3: Electroválvula del humidificador
- EV-4: Electroválvula del poscalentador
- EV-5: Posicionador electrohidráulico de los dampers
- F3,4,5,6: Fusibles de vidrio 1A 5x25mm.
- F7 : Fusible de vidrio 4A 5x25mm.

DEPARTAMENTO DE INSTRUMENTACION - ENKADOR

Área:  
AIRE ACONDICIONADA

## POLARIZACION ELECTROVALVULAS

Rev. por:

Esc:

Diseñado por:

LARCO G. / EGAS

CAJA DE SOPLADO H4 - H5

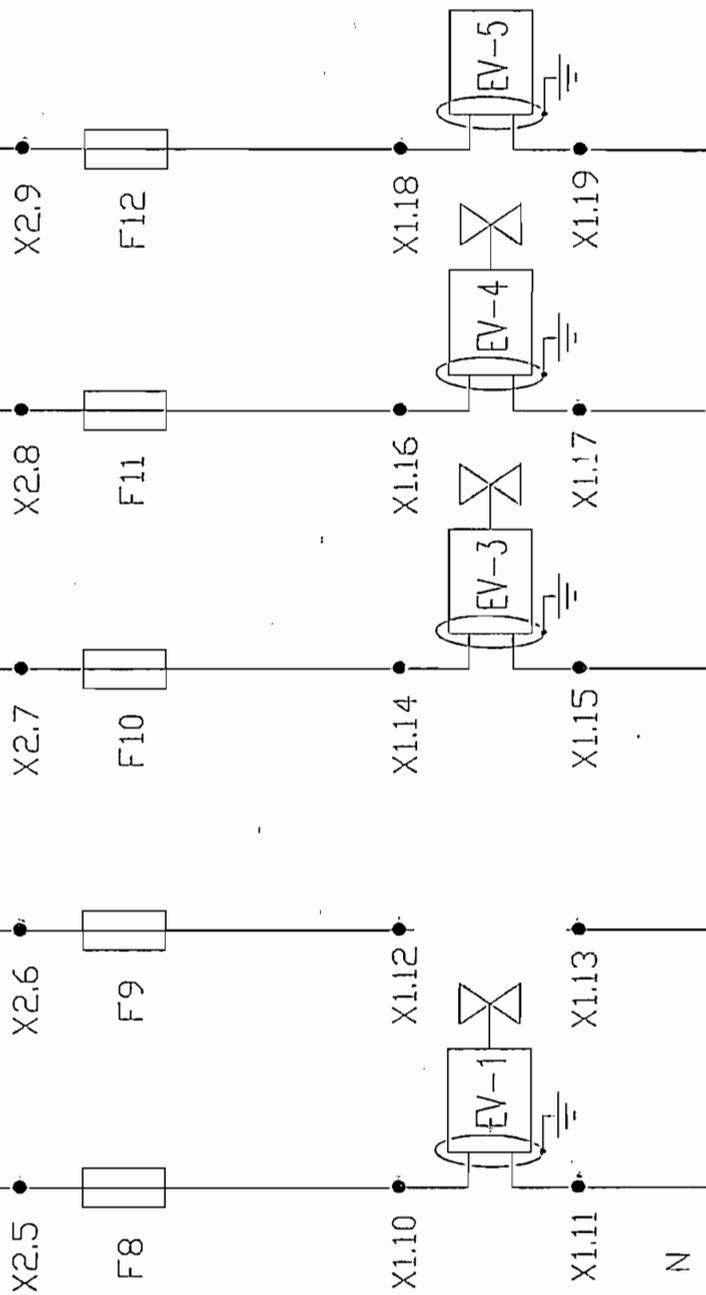
Fecha: 98/09/22

Pag: 1 de

220 Vac

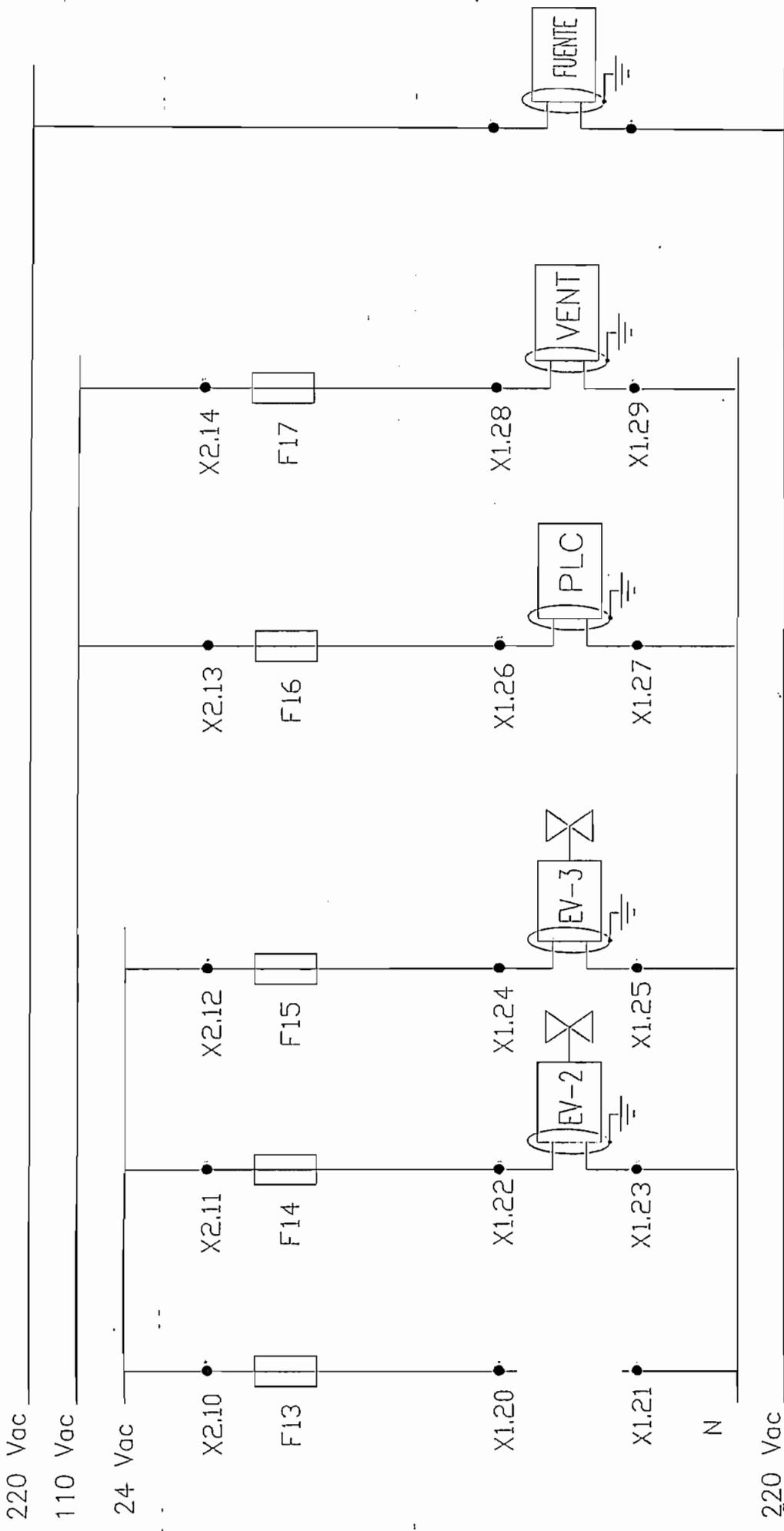
110 Vac

24 Vac



220 Vac

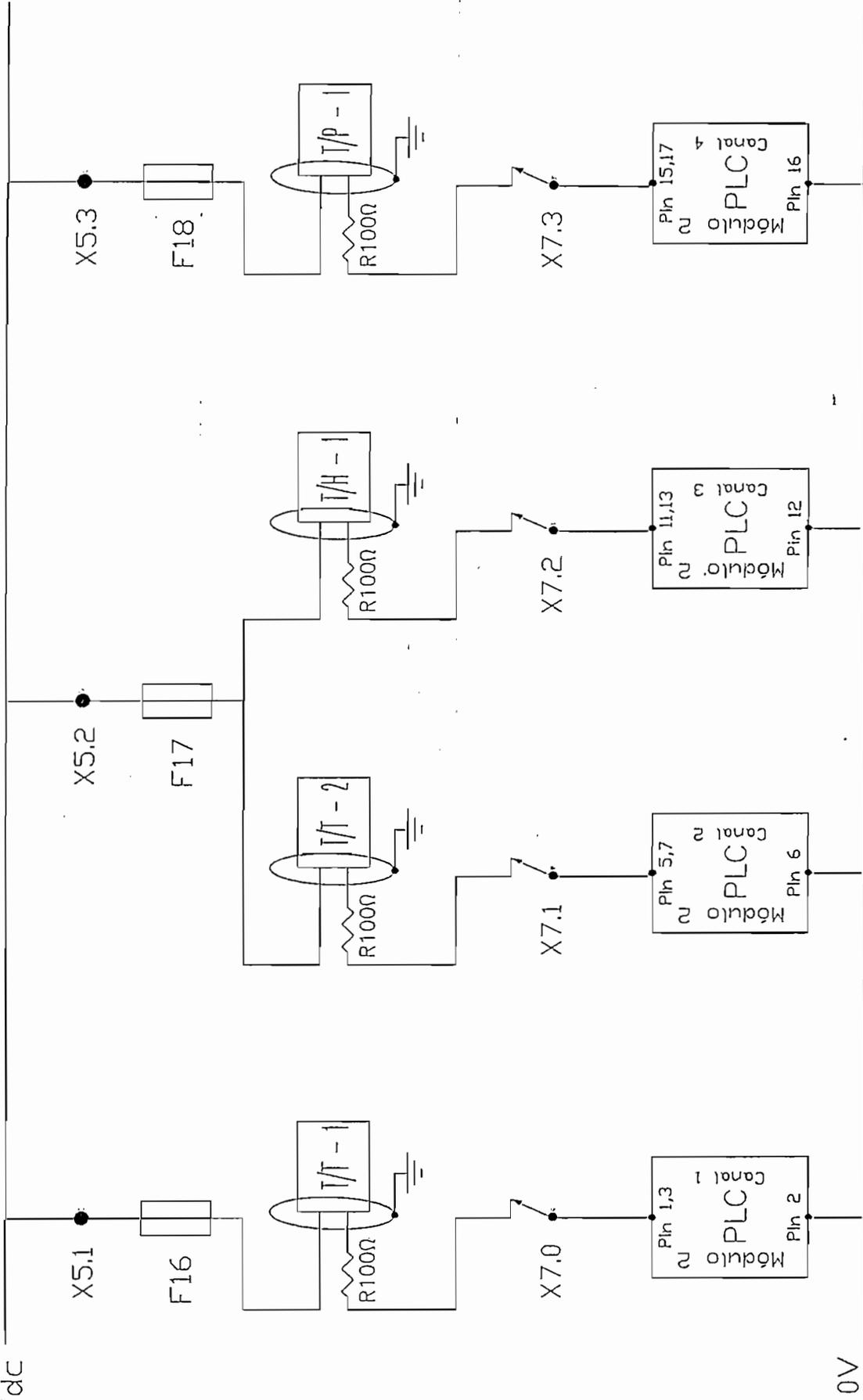
- EV-1: Electroválvula del precalentador
- EV-3: Electroválvula del humidificador
- EV-4: Electroválvula del poscalentador
- EV-5: Posicionador electrohidráulico de los dampers
- F8,9,10,11: Fusibles de vidrio 1A 5x25mm.
- F12 : Fusible de vidrio 4A 5x25mm.



EV-2: Electroválvula del calentador  
 EV-4: Electroválvula del humidificador  
 PLC: Controlador lógico programable  
 VENT.: Ventilador del panel  
 FUENTE: Fuente de 24 Vdc.  
 F13,14,15,17: Fusibles de vidrio 1A 5x25mm.  
 F16 : Fusible de vidrio 2A 5x25mm.

DEPARTAMENTO DE INSTRUMENTACION - ENKADOR	Área: AIRE ACONDICIONADA	
POLARIZACIÓN DE ELECTROVÁLVULAS, PLC, FUENTE Y VENTILADO		
Rev. por:	Esc:	Diseñado por: LARCO G. / EGAS
BOBINADO Y TABLERO		Fecha: 98/09/22   Pág: 3 de

+24 Vdc



- T/T-1: Transmisor de temperatura despues del precalentador
- T/T-2: Transmisor de tmeperatura en el blower
- T/H-1: Transmisor de humedad relativa en el blower
- T/P-1: Transmisor de presión estática en el blower

DEPARTAMENTO DE INSTRUMENTACION - ENKADOR

Area: AIRE ACONDICIONAL

# CONEXIÓN TRANSMISORES - PLC

Rev. por:

Esc:

Diseñado por: LARCO G. / EGAS

+24 Vdc

X5.4

F19

X5.5

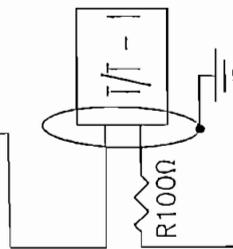
F20

X5.6

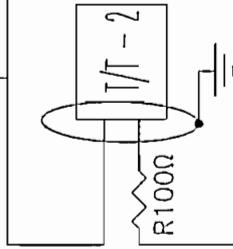
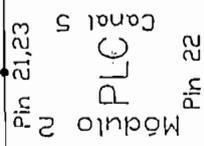
F21

X5.7

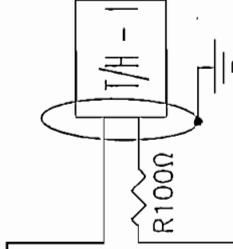
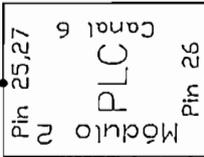
F22



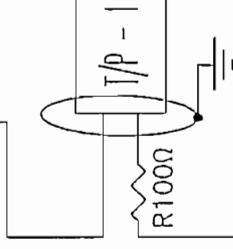
X7.4



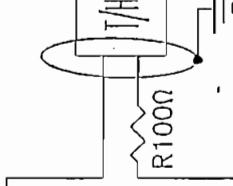
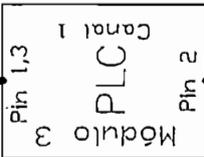
X7.5



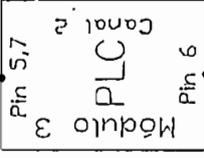
X7.7



X7.8



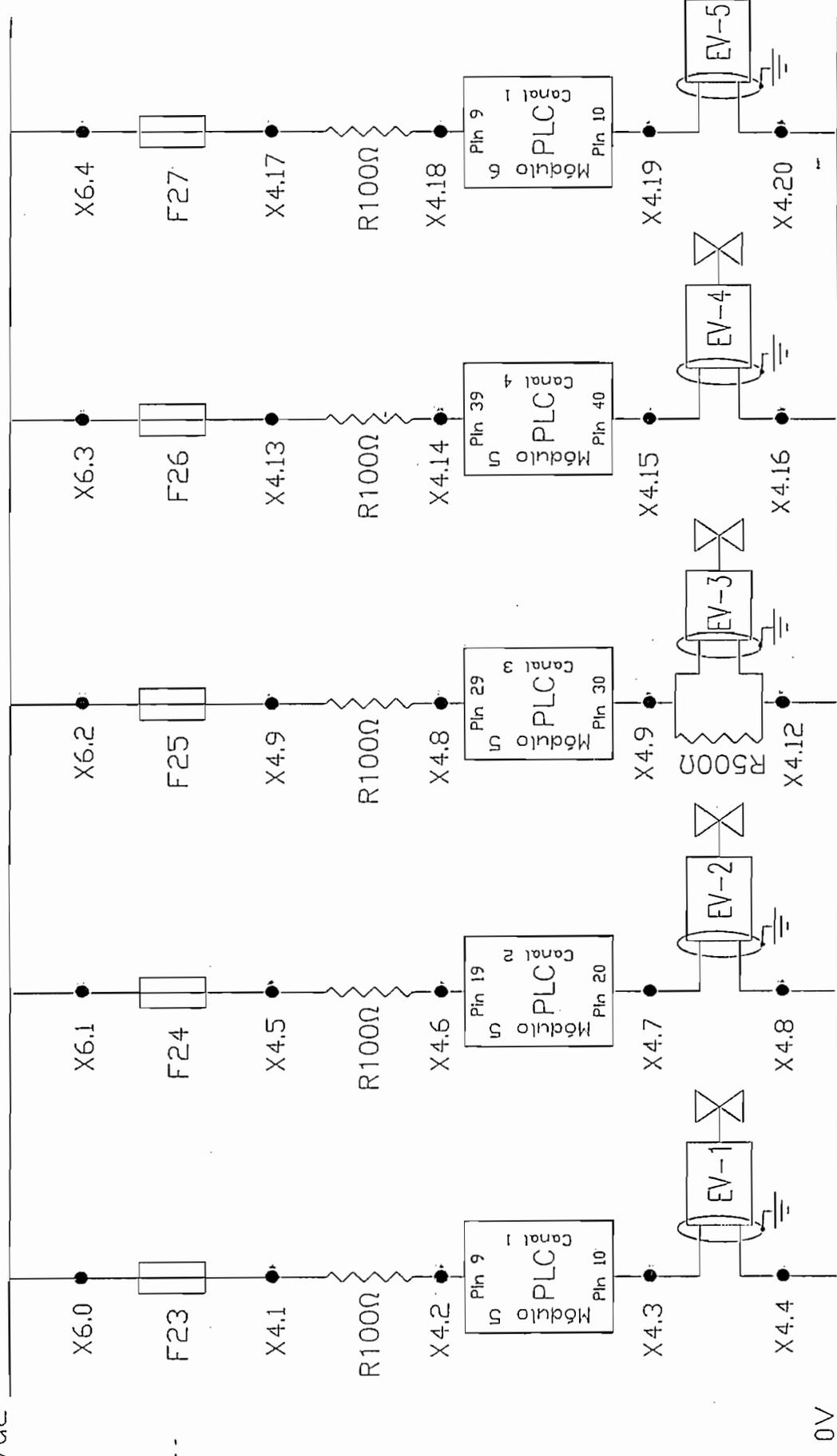
X7.9



0V

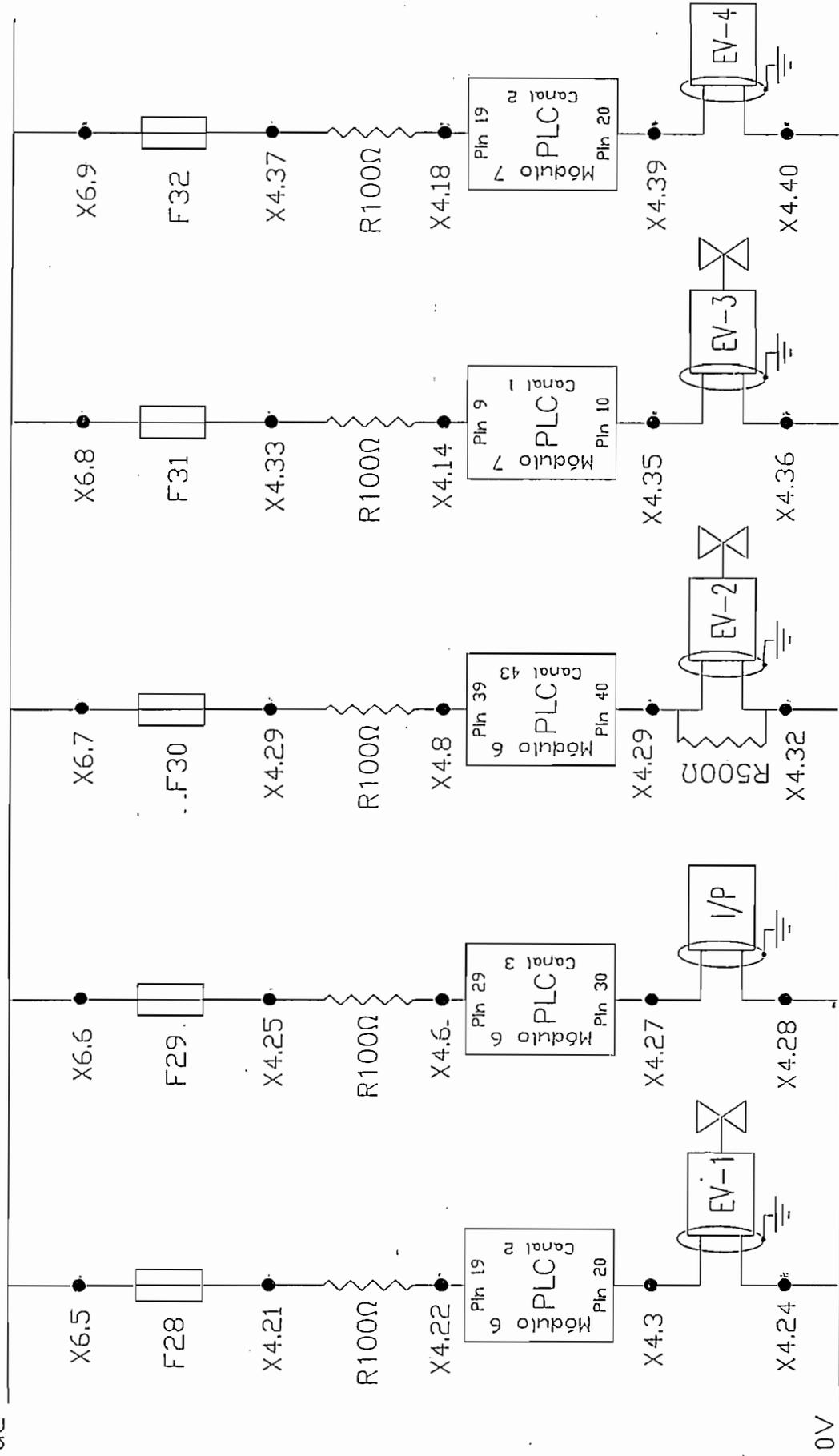
- T/T-1: Transmisor de temperatura después del precalentador
- T/T-2: Transmisor de temperatura en el blower
- T/H-1: Transmisor de humedad relativa en el blower
- T/P-1: Transmisor de presión estática en el blower
- T/T-3: Transmisor de temperatura en la sala de bobinado
- T/H-2: Transmisor de humedad relativa en la sala de bobinado.

+24 Vdc



- EV-1: Electroválvula del precalentador
- EV-2: Electroválvula del enfriador
- EV-3: Electroválvula del humidificador
- EV-4: Electroválvula del poscalentador
- EV-5: Posicionador electrohidráulico de los dampers

+24 Vdc



0V

- EV-1: Electroválvula del precalentador
- EV-2: Electroválvula del humidificador
- EV-3: Electroválvula del poscalentador
- EV-4: Posicionador electrohidráulico de los dampers

I/P.: Convertidor de corriente a presión neumática para el enfriador

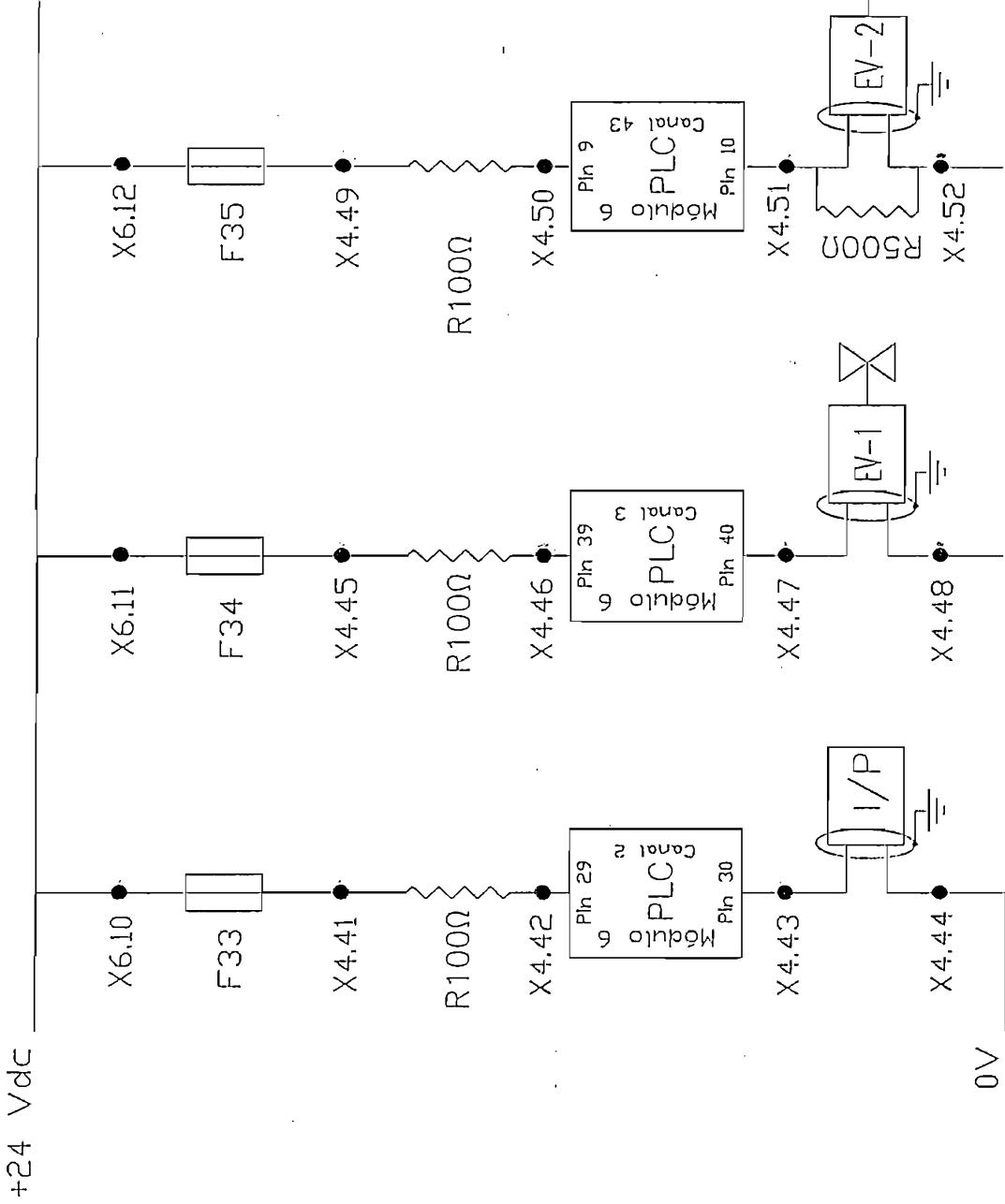
DEPARTAMENTO DE INSTRUMENTACION - ENKADOR

Area: AIRE ACONDICIONADA

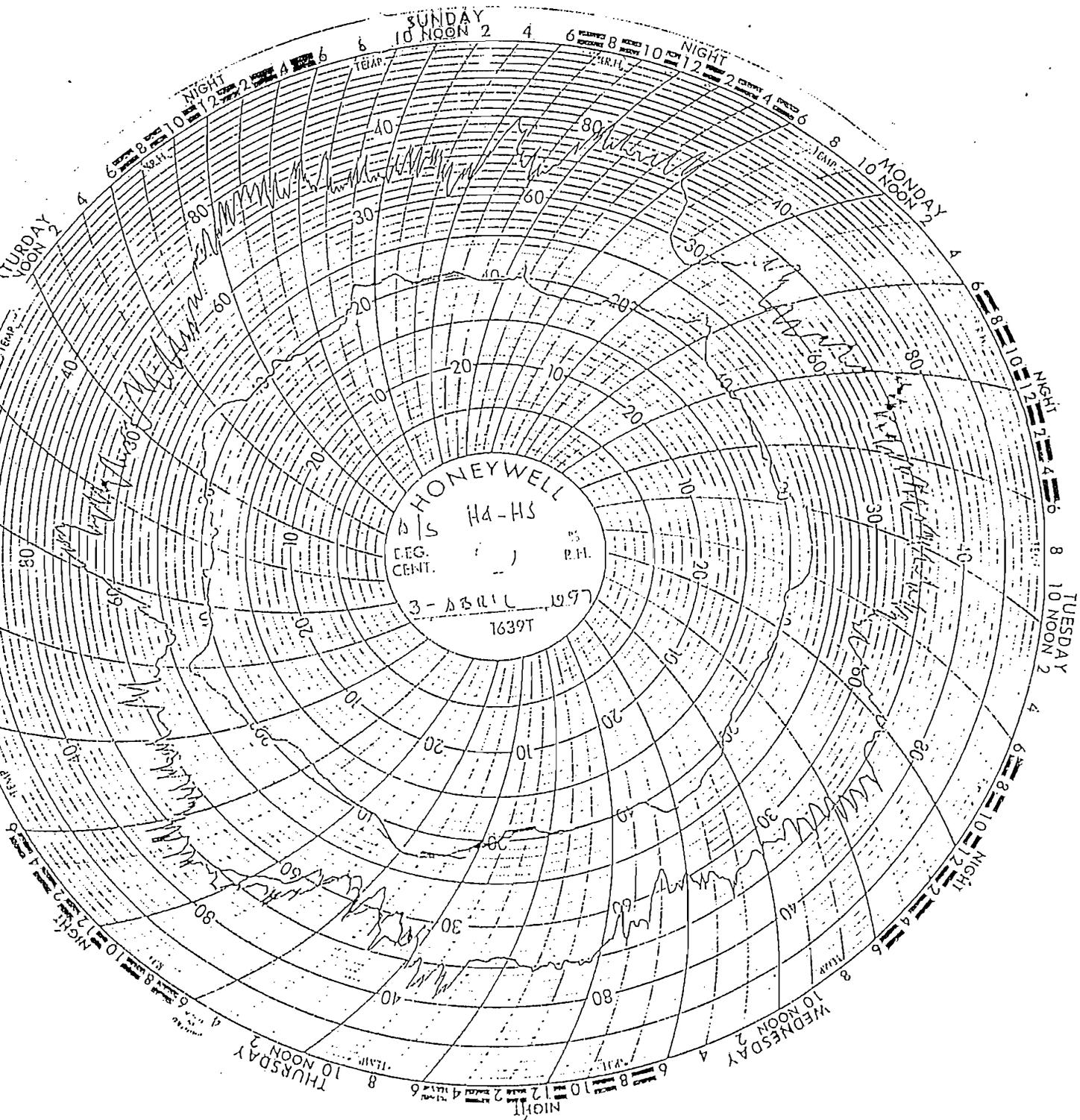
# CONEXIÓN ELECTROVÁLVULAS - PLC

Rev. por: Esc:

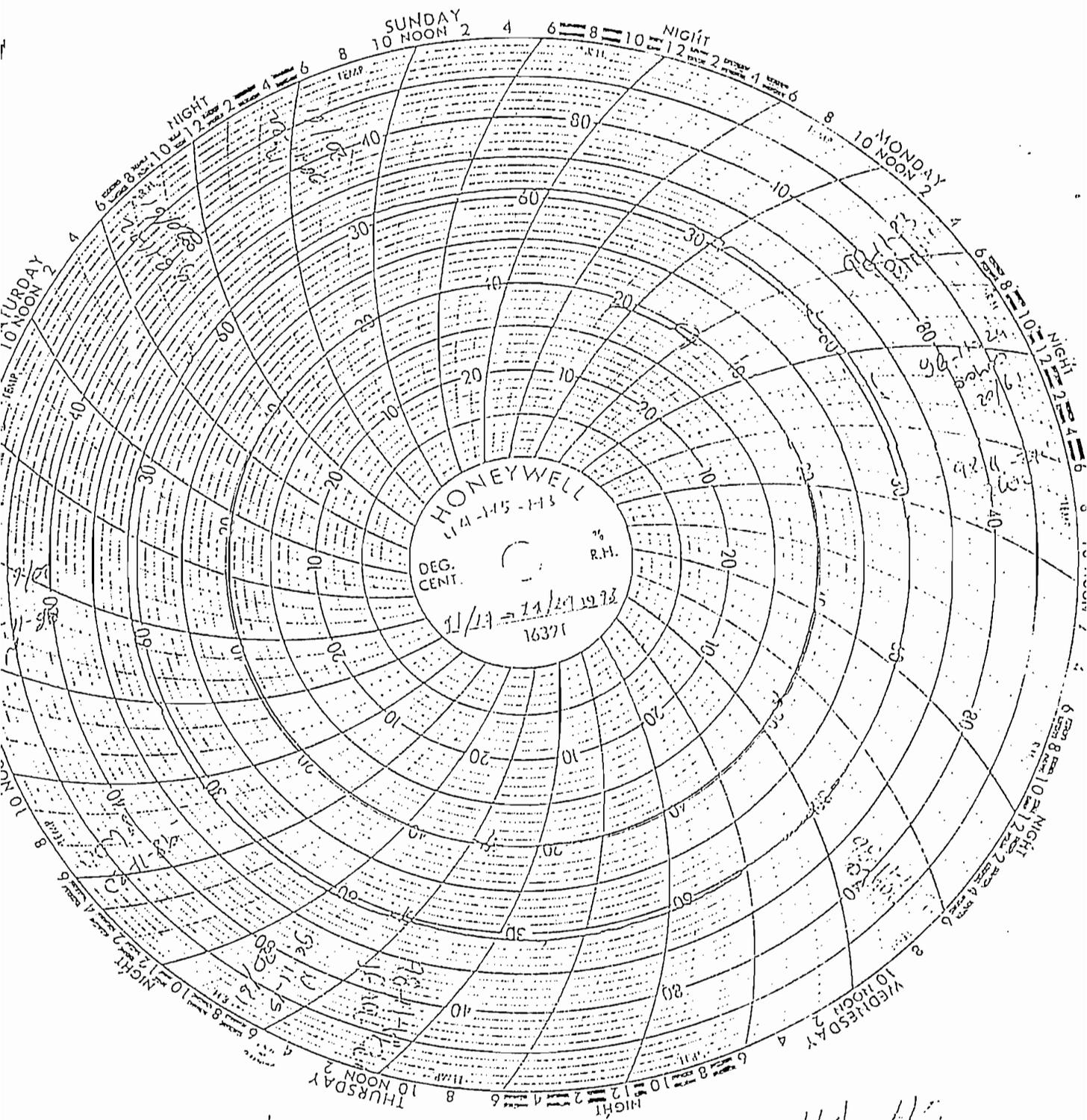
Diseñado por: LARCO G. / EGAS



EV-1: Electroválvula del calentador  
 EV-2: Electroválvula del humidificador  
 I/P. : Convertidor de corriente a presión neumática para el enfriador



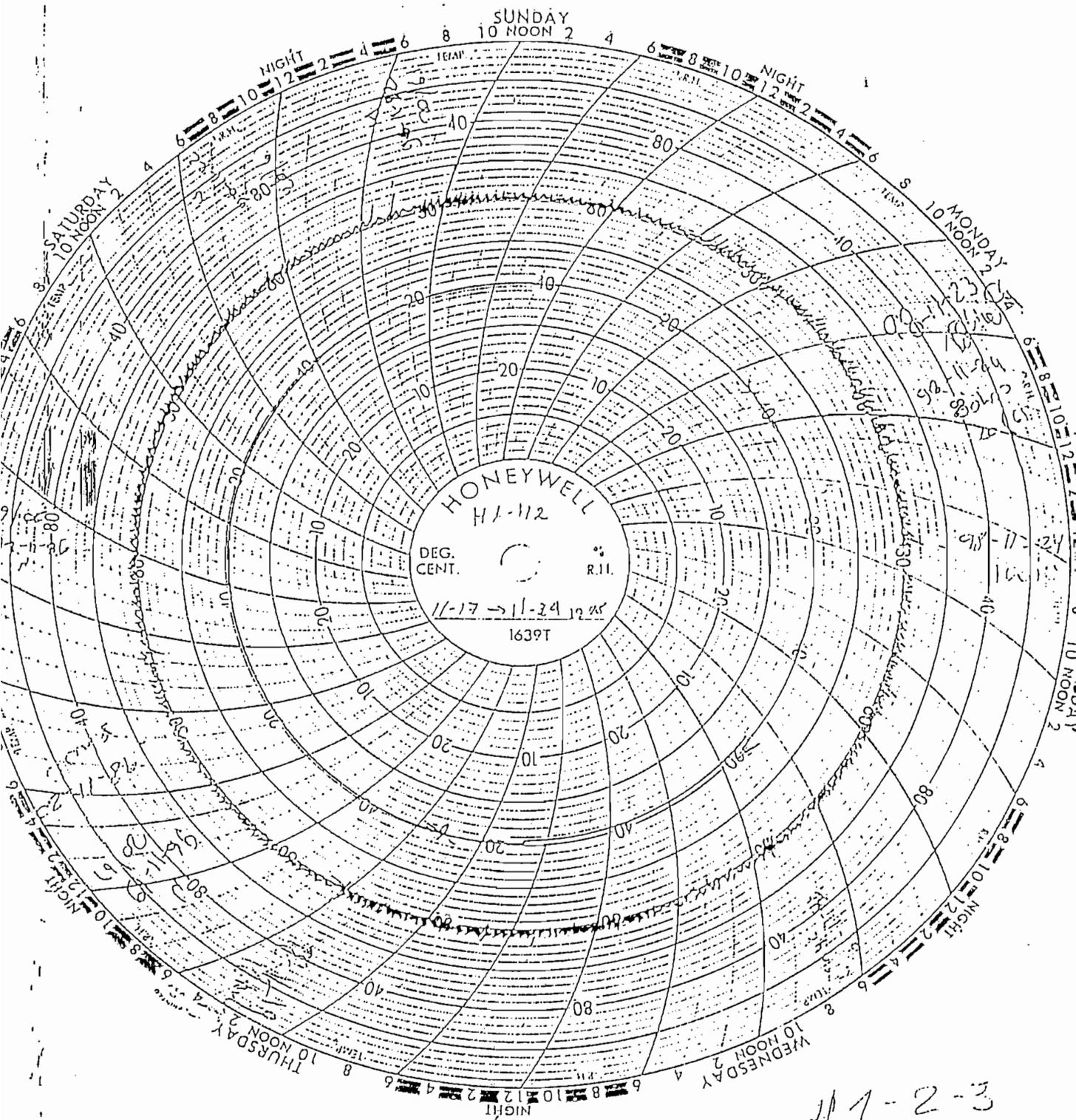
Registro histórico semanal, sistema antiguo.



11/11 - 11/13  
 SANTA CRUZ  
 PORTO RICO

Registro histórico semanal, sistema moderno.





11-1-2-3  
 NOVEMBER 17  
 24

Registró histórico semanal, sistema modetno.



Sychrometer-Diagramm

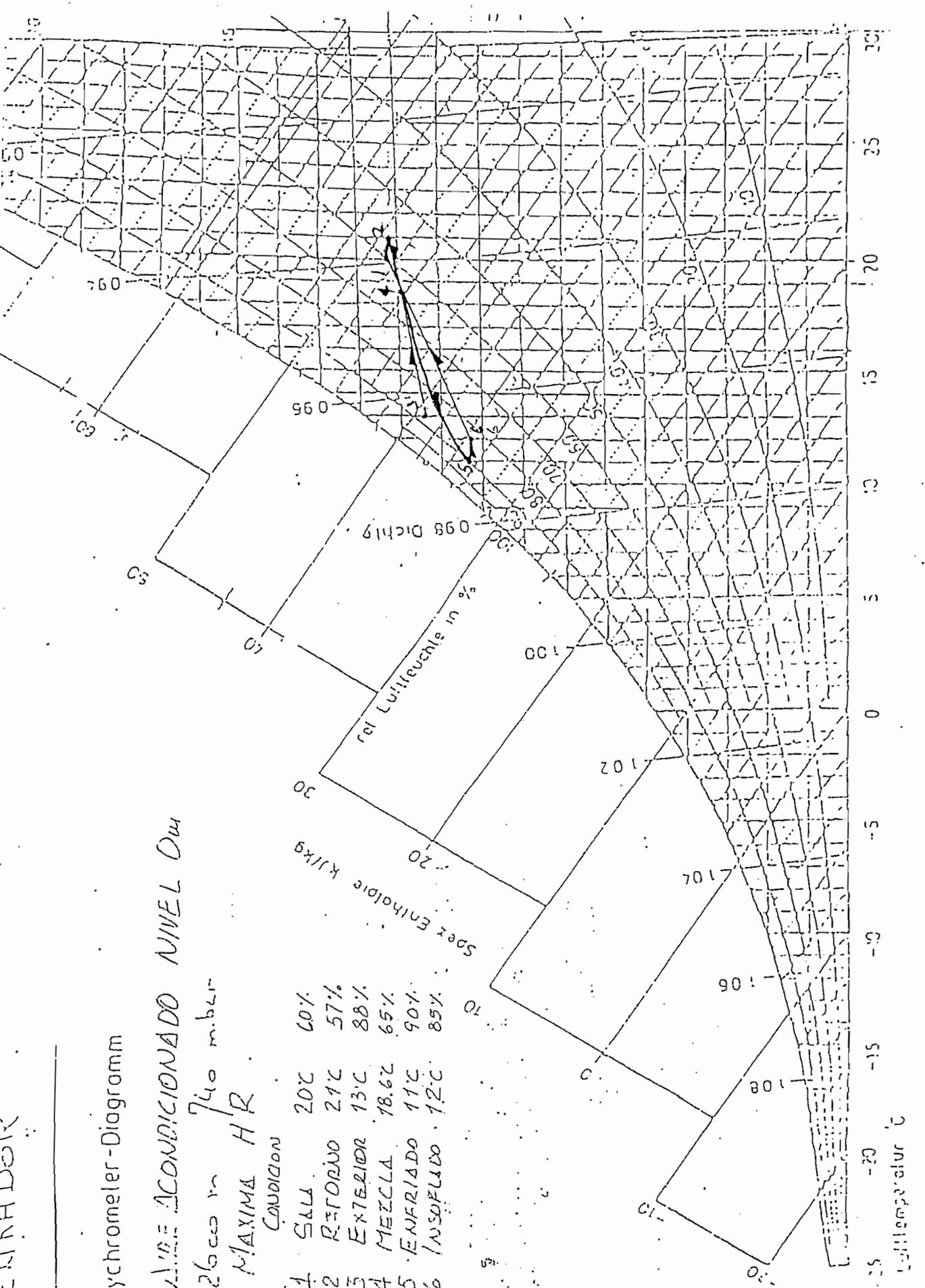
ALERE ACONDICIONADO NIVEL Du

2600 m 740 m.ber

MAXIMA HR

CONDICION

1	SALA	20°C	60%
2	REFORMA	21°C	57%
3	EXTERIOR	13°C	88%
4	MEZCLA	18.6°C	65%
5	ENFRIADO	11°C	90%
6	INSUFLADO	12°C	85%



ENKADOR

Psychrometer-Diagramm

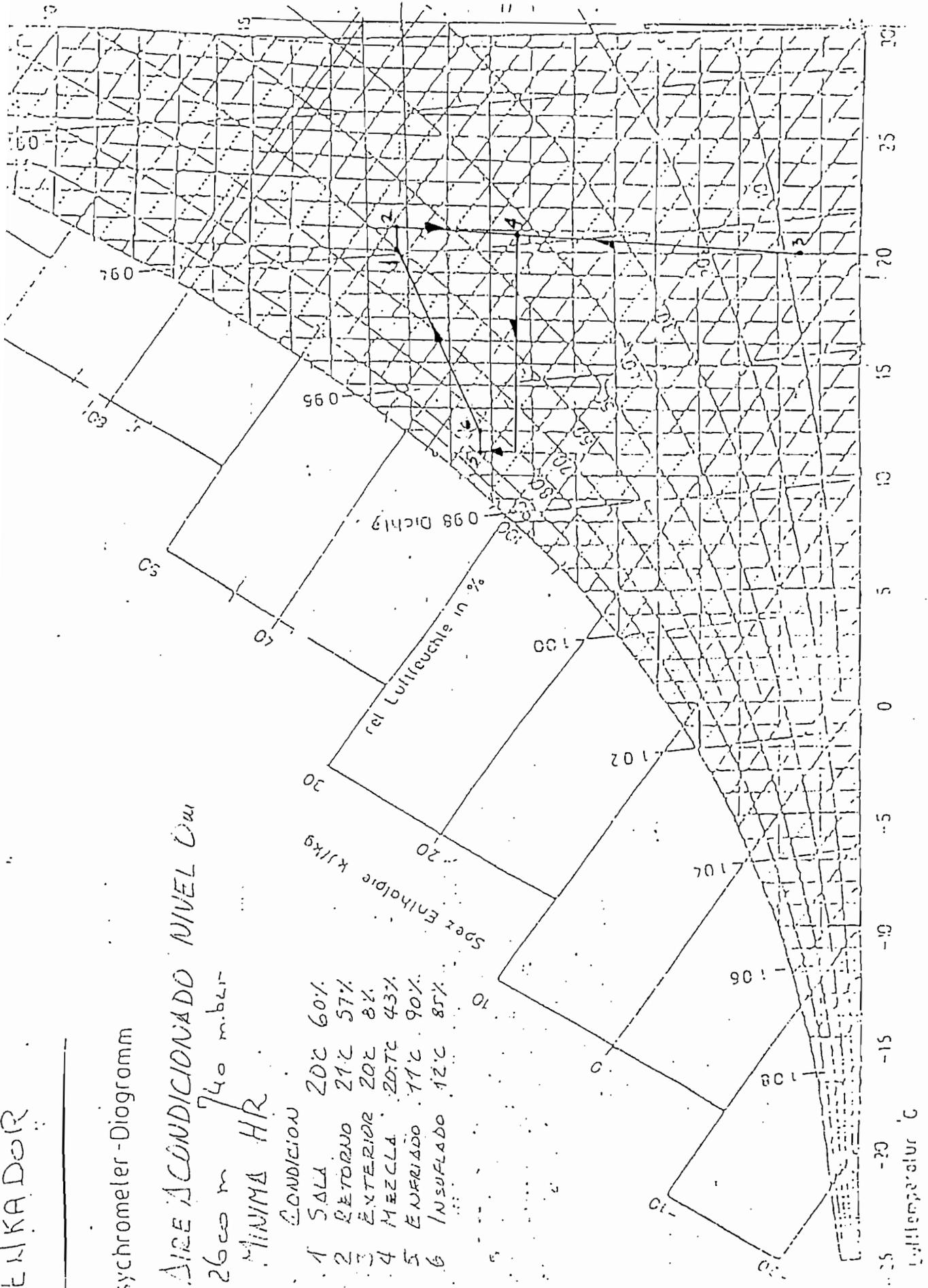
AIRE ACONDICIONADO NIVEL Du

2600 m 740 m bar

MINIMA HR

CONDICION

- 1 SALA 20°C 60%
- 2 RETORNO 21°C 57%
- 3 EXTERIOR 20°C 8%
- 4 MEZCLA 20.7°C 43%
- 5 ENFRIADO 11°C 90%
- 6 INSUFLADO 12°C 85%





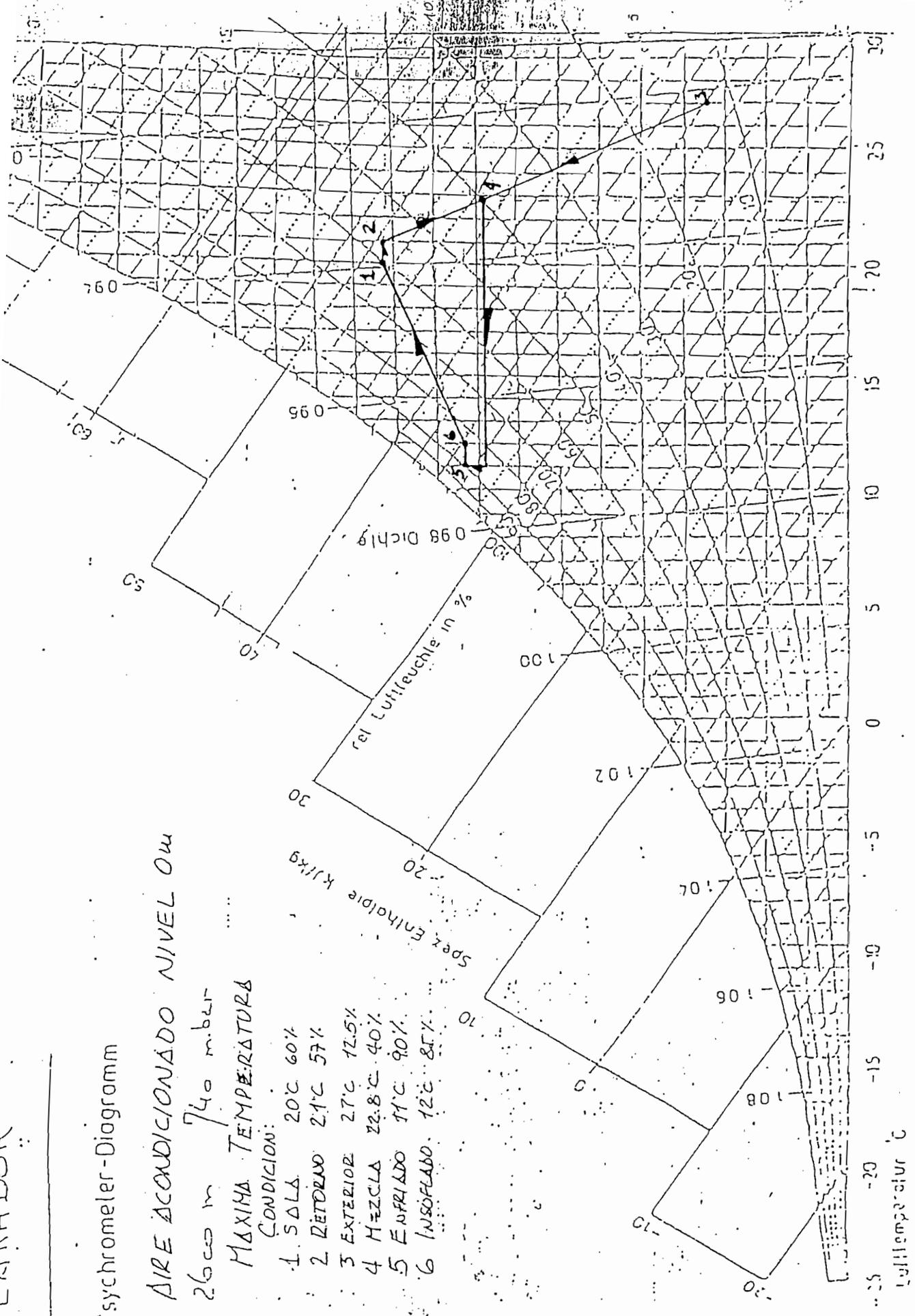
ENRADOR

Psychrometer-Diagramm

AIRE ACONDICIONADO NIVEL 0m  
2600 m 740 mbar

MAXIMA TEMPERATURA

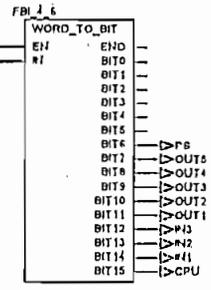
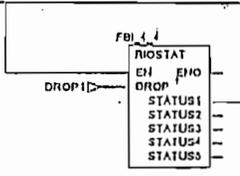
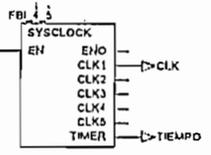
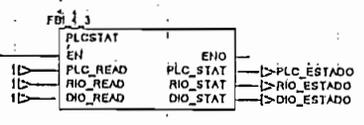
- CONDICION:
- 1. SALA 20°C 60%
  - 2. DETORNO 21°C 57%
  - 3. EXTERIOR 27°C 12.5%
  - 4. MEZCLA 22.8°C 40%
  - 5. ENFRIADO 11°C 90%
  - 6. INSOFIADO 12°C 85%





*DOCUMENTACIÓN,  
PROGRAMA DEL PLC*





## Variable list (Type: All, DataType: All, sorted by: name)

Variable name	Type	DType	Address	Initial value	Comment	Used
BIASE11	VAR	REAL				1
BIASE21	VAR	REAL				1
BIASE31	VAR	REAL				1
BIASH11	VAR	REAL				1
BIASH21	VAR	REAL				1
BIASH31	VAR	REAL				1
BIASP11	VAR	REAL				1
BIASP21	VAR	REAL				1
BIAST11	VAR	REAL				1
BIAST12	VAR	REAL				1
BIAST21	VAR	REAL				1
BIAST22	VAR	REAL				1
BIAST32	VAR	REAL				1
BOBINADO	VAR	SECT_CTRL				0
CAJAS_H1_H2_H3	VAR	SECT_CTRL				0
CAJAS_H4_H5	VAR	SECT_CTRL				0
CLK	VAR	BOOL	000800			1
CPU	VAR	BOOL	000802			1
CTEH11	CONST	REAL		0.0		1
CTEH21	CONST	REAL		0.0		1
CTEH31	CONST	REAL		-11.0		1
CTEP11	CONST	REAL		0.0		1
CTEP21	CONST	REAL		0.0		1
CTET11	CONST	REAL		-40.0		1
CTET12	CONST	REAL		-29.0		1
CTET21	CONST	REAL		-40.0		1
CTET22	CONST	REAL		-29.0		1
CTET32	CONST	REAL		-31.0		1
DIO_ESTADO	VAR	DIOSTATE				1
DONXE11	VAR	BOOL				1
DONXE21	VAR	BOOL				1
DONXE31	VAR	BOOL				1
DONXH11	VAR	BOOL				1
DONXH21	VAR	BOOL				1
DONXH31	VAR	BOOL				1
DONXP11	VAR	BOOL				1
DONXP21	VAR	BOOL				1
DONXT11	VAR	BOOL				1
DONXT12	VAR	BOOL				1
DONXT21	VAR	BOOL				1
DONXT22	VAR	BOOL				1
DONXT32	VAR	BOOL				1
DROP1	VAR	UINT	400800	1		1
ENDE11	VAR	BOOL		1		1
ENDE21	VAR	BOOL		1		1
ENDE31	VAR	BOOL		1		1
ENDH11	VAR	BOOL		1		1
ENDH21	VAR	BOOL		1		1
ENDH31	VAR	BOOL		1		1
ENDP11	VAR	BOOL		1		1
ENDP21	VAR	BOOL		1		1
ENDT11	VAR	BOOL		1		1

## Variable list (Type: All, DataType: All, sorted by: name)

Variable name	Type	DType	Address	Initial value	Comment	Used
ENDT12	VAR	BOOL		1		1
ENDT21	VAR	BOOL		1		1
ENDT22	VAR	BOOL		1		1
ENDT32	VAR	BOOL		1		1
ENIE11	VAR	BOOL		1		1
ENIE21	VAR	BOOL		1		1
ENIE31	VAR	BOOL		1		1
ENIH11	VAR	BOOL		1		1
ENIH21	VAR	BOOL		1		1
ENIH31	VAR	BOOL		1		1
ENIP11	VAR	BOOL		1		1
ENIP21	VAR	BOOL		1		1
ENIT11	VAR	BOOL		1		1
ENIT12	VAR	BOOL		1		1
ENIT21	VAR	BOOL		1		1
ENIT22	VAR	BOOL		1		1
ENIT32	VAR	BOOL		1		1
ENPE11	VAR	BOOL		1		1
ENPE21	VAR	BOOL		1		1
ENPE31	VAR	BOOL		1		1
ENPH11	VAR	BOOL		1		1
ENPH21	VAR	BOOL		1		1
ENPH31	VAR	BOOL		1		1
ENPP11	VAR	BOOL		1		1
ENPP21	VAR	BOOL		1		1
ENPT11	VAR	BOOL		1		1
ENPT12	VAR	BOOL		1		1
ENPT21	VAR	BOOL		1		1
ENPT22	VAR	BOOL		1		1
ENPT32	VAR	BOOL		1		1
ERRORH11	VAR	REAL				1
ERRORH21	VAR	REAL				1
ERRORH31	VAR	REAL				1
ERRORP11	VAR	REAL				1
ERRORP21	VAR	REAL				1
ERRORT11	VAR	REAL				1
ERRORT12	VAR	REAL				1
ERRORT21	VAR	REAL				1
ERRORT22	VAR	REAL				1
ERRORT32	VAR	REAL				1
EVCAL_1_1	VAR	INT	400534			1
EVCAL_2_1	VAR	INT	400634			1
EVCAL_3_1	VAR	INT	400734			1
EVENF_1_1	VAR	INT	400532			1
EVENF_2_1	VAR	INT	400632			1
EVENF_3_1	VAR	INT	400732			1
EVFLA_1_1	VAR	INT	400536			1
EVFLA_2_1	VAR	INT	400636			1
EVFLA_3_1	VAR	INT	400736			1
EVPRE_1_1	VAR	INT	400530			1
EVPRE_2_1	VAR	INT	400630			1

Variable list (Type: All, DataType: All, sorted by: name)

Variable name	Type	DType	Address	Initial value	Comment	Used
GAINH11	VAR	REAL	400524	0.45		2
GAINH21	VAR	REAL	400624	0.35		2
GAINH31	VAR	REAL	400724	0.75		2
GAINP11	VAR	REAL	400526	4.0		1
GAINP21	VAR	REAL	400626	0.25		1
GAINT11	VAR	REAL	400520	15.0		1
GAINT12	VAR	REAL	400522	3.0		2
GAINT21	VAR	REAL	400620	3.0		1
GAINT22	VAR	REAL	400622	3.2		2
GAINT32	VAR	REAL	400722	3.5		2
HALTE11	VAR	BOOL				1
HALTE21	VAR	BOOL				1
HALTE31	VAR	BOOL				1
HALTH11	VAR	BOOL				2
HALTH21	VAR	BOOL				2
HALTH31	VAR	BOOL				2
HALTP11	VAR	BOOL				1
HALTP21	VAR	BOOL				1
HALTT11	VAR	BOOL				1
HALTT12	VAR	BOOL				2
HALTT21	VAR	BOOL				1
HALTT22	VAR	BOOL				2
HALTT32	VAR	BOOL				2
HUM11	VAR	INT	300003			1
HUM21	VAR	INT	300007			1
HUM31	VAR	INT	300011			1
IN1	VAR	BOOL	000804			1
IN2	VAR	BOOL	000806			1
IN3	VAR	BOOL	000808			1
LAGFILH11	VAR	TIME		t#120s		1
LAGFILH21	VAR	TIME		t#120s		1
LAGFILH31	VAR	TIME		t#40s		1
MANE11	VAR	INT	401204	0		1
MANE21	VAR	INT	401234	0		1
MANE31	VAR	INT	401260	0		1
MANH11	VAR	INT	401208	0		1
MANH21	VAR	INT	401238	0		1
MANH31	VAR	INT	401268	0		1
MANP11	VAR	INT	401216	0		1
MANP21	VAR	INT	401246	0		1
MANT11	VAR	INT	401200	0		1
MANT12	VAR	INT	401212	0		1
MANT21	VAR	INT	401230	0		1
MANT22	VAR	INT	401242	0		1
MANT32	VAR	INT	401264	0		1
MOTORD_1_1	VAR	INT	400538			1
MOTORD_2_1	VAR	INT	400638			1
OUT1	VAR	BOOL	000810			1
OUT2	VAR	BOOL	000812			1
OUT3	VAR	BOOL	000814			1
OUT4	VAR	BOOL	000816			1

## Variable list (Type: All, DataType: All, sorted by: name)

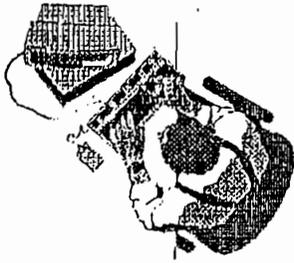
Variable name	Type	DType	Address	Initial value	Comment	Used
OUT5	VAR	BOOL	000818			1
PENDH11	CONST	REAL		0.02414		1
PENDH21	CONST	REAL		0.02414		1
PENDH31	CONST	REAL		0.03		1
PENDP11	CONST	REAL		0.00365		1
PENDP21	CONST	REAL		0.00365		1
PENDT11	CONST	REAL		0.02168		1
PENDT12	CONST	REAL		0.0217		1
PENDT21	CONST	REAL		0.02168		1
PENDT22	CONST	REAL		0.0217		1
PENDT32	CONST	REAL		0.0293		1
PLC	VAR	SECT_CTRL				0
PLC_ESTADO	VAR	PLCSTATE				1
PRES11	VAR	INT	300004			1
PRES21	VAR	INT	300008			1
PS	VAR	BOOL	000820			1
RIO_ESTADO	VAR	RIOSTATE				1
SPH11	VAR	REAL	401004	60.0		4
SPH21	VAR	REAL	401024	60.0		4
SPH31	VAR	REAL	401034	60.0		4
SPP11	VAR	REAL	401006	0.3		1
SPP21	VAR	REAL	401026	0.18		1
SPT11	VAR	REAL	401000	16.0		1
SPT12	VAR	REAL	401002	20.0		4
SPT21	VAR	REAL	401020	16.0		1
SPT22	VAR	REAL	401022	20.0		4
SPT32	VAR	REAL	401032	20.0		4
TDH11	VAR	REAL	400514	5.0		2
TDH21	VAR	REAL	400614	3.0		2
TDH31	VAR	REAL	400714	0.8		2
TDLAGH11	VAR	TIME				2
TDLAGH21	VAR	TIME				2
TDLAGH31	VAR	TIME				2
TDLAGP11	VAR	TIME				1
TDLAGP21	VAR	TIME				1
TDLAGT11	VAR	TIME				1
TDLAGT12	VAR	TIME				2
TDLAGT21	VAR	TIME				1
TDLAGT22	VAR	TIME				2
TDLAGT32	VAR	TIME				2
TDP11	VAR	REAL	400516	0.0		1
TDP21	VAR	REAL	400616	0.0		1
TDT11	VAR	REAL	400510	0.01		1
TDT12	VAR	REAL	400512	15.0		2
TDT21	VAR	REAL	400610	0.05		1
TDT22	VAR	REAL	400612	8.0		2
TDT32	VAR	REAL	400712	3.2		2
TEMP11	VAR	INT	300001			1
TEMP12	VAR	INT	300002			1
TEMP21	VAR	INT	300005			1
TEMP22	VAR	INT	300006			1

## Variable list (Type: All, DataType: All, sorted by: name)

Variable name	Type	DType	Address	Initial value	Comment	Used
TEMP32	VAR	INT	300010			1
TIEMPO	VAR	TIME				1
TIH11	VAR	REAL	400504	45.0		2
TIH21	VAR	REAL	400604	65.0		2
TIH31	VAR	REAL	400704	54.0		2
TIP11	VAR	REAL	400506	5.0		1
TIP21	VAR	REAL	400606	5.0		1
TIT11	VAR	REAL	400500	100.0		1
TIT12	VAR	REAL	400502	105.0		2
TIT21	VAR	REAL	400600	106.0		1
TIT22	VAR	REAL	400602	85.0		2
TIT32	VAR	REAL	400702	100.0		2
YMANE11	VAR	REAL	401206			3
YMANE21	VAR	REAL	401236			3
YMANE31	VAR	REAL	401262			3
YMANH11	VAR	REAL	401210			3
YMANH21	VAR	REAL	401240			3
YMANH31	VAR	REAL	401270			3
YMANP11	VAR	REAL	401218			3
YMANP21	VAR	REAL	401248			3
YMANP31	VAR	REAL	401202			3
YMANP12	VAR	REAL	401214			3
YMANP22	VAR	REAL	401232			3
YMANP32	VAR	REAL	401244			3
YMAXH11	VAR	REAL		95.0		1
YMAXH21	VAR	REAL		95.0		1
YMAXH31	VAR	REAL		95.0		1
YMAXP11	VAR	REAL		15.0		1
YMAXP21	VAR	REAL		15.0		1
YMAXT11	VAR	REAL		89.0		1
YMAXT12	VAR	REAL		100.0		2
YMAXT21	VAR	REAL		89.0		1
YMAXT22	VAR	REAL		100.0		2
YMAXT32	VAR	REAL		100.0		2
YMAXV11	VAR	REAL		50.0		1
YMAXV21	VAR	REAL		50.0		1
YMAXV31	VAR	REAL		95.0		1
YMINH11	VAR	REAL		5.0		1
YMINH21	VAR	REAL		5.0		1
YMINH31	VAR	REAL		5.0		1
YMINP11	VAR	REAL		0.0		1
YMINP21	VAR	REAL		0.0		1
YMINP31	VAR	REAL		0.0		1
YMINP12	VAR	REAL		0.0		2
YMINP22	VAR	REAL		0.0		2
YMINP32	VAR	REAL		0.0		2
YMINV11	VAR	REAL		5.0		1
YMINV21	VAR	REAL		5.0		1
YMINV31	VAR	REAL		5.0		1



*PROGRAMA DE SUPERVISIÓN,  
MANUAL DE USUARIO*



## PROGRAMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL, PROCESOS DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE DE HILATURA Y ENBOBINADO Enkador

El software de Supervisión Control y Adquisición de Datos (SCADA), permite al personal responsable del proceso, supervisarlo y controlarlo completamente. Buscando en el futuro controlar toda la planta desde un solo PC. El programa es completamente compatible con el PC instalado en el nivel 6m, es decir en la sección de Hilatura, y funciona bajo el sistema operativo Windows 95/98.

La característica principal del programa, es la de tener el dibujo del proceso en la pantalla, o sea, el dibujo de las unidades manejadoras de aire. En estos mímicos podemos ver por ejemplo, la lectura y el valor de referencia de todas las variables (setpoint). Con solo hacer click con el mouse, se puede abrir o cerrar las válvulas de control de flujo sin importar que se encuentren en zonas distantes al sitio donde está instalado el PC.

También se puede obtener reportes gráficos del comportamiento de todas las variables o del valor que toman prácticamente en tiempo real, asimismo, podemos tener en pantalla registradores gráficos de determinada variable. Los datos obtenidos (reportes gráficos) desde el sitio de los procesos pueden ser impresos directamente en la impresora de red instalada en la planta.

Otra de las características del sistema es la programación de alarmas. Si en determinado momento, una de las variables presenta un comportamiento anormal, o el PLC o un dispositivo de campo deja de funcionar, el sistema inmediatamente muestra la alarma indicando el sitio, la variable, o el dispositivo exacto donde se presenta el problema. Con esta característica, la fábrica puede ahorrar mucho dinero ya que los fallos en los procesos donde influye de manera directa el acondicionamiento de aire generan pérdidas cuantiosas de tiempo y dinero.

Para ingresar al programa se ha implementado un mecanismo de acceso directo, esto es dando un doble click en el icono rotulado con Programa Supervisor:



Figura 1. Icono de acceso directo al programa.

El funcionamiento del programa es sencillo, no se requiere una capacitación especial, se necesita únicamente conocimientos básicos de computación y de las técnicas elementales de Windows.

La interfaz interactiva diseñada como pantalla principal, simula el funcionamiento de la planta vista de lateralmente, detallando las partes que integraran el proyecto completo, como se puede ver en la figura 2.

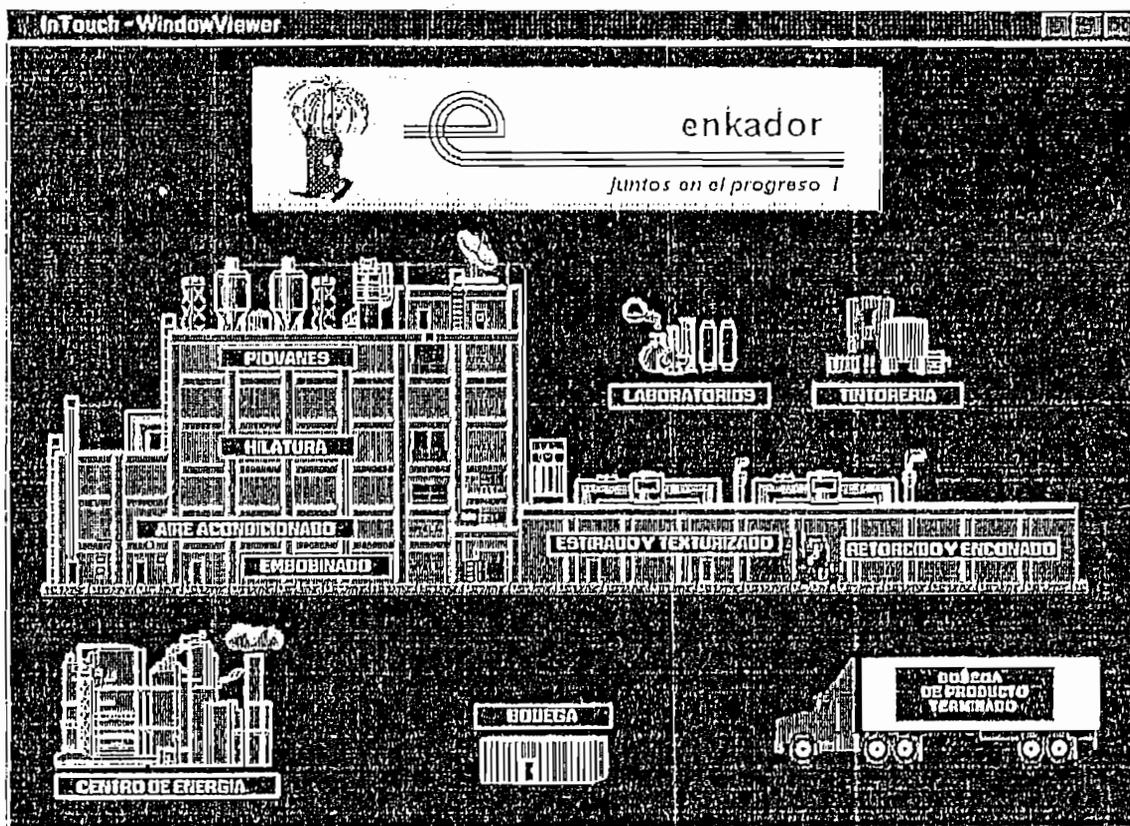


Figura 2. Pantalla Principal.

Se aprecia claramente en la misma, todas las áreas de la planta que podrían ser modernizadas. De las cuales la que nos interesa a nosotros es la de AIRE ACONDICIONADO. Específicamente los procesos de ACONDICIONAMIENTO DE AIRE LA SALA DE EMBOBINADO Y CAJAS DE SOPLADO DE LA SECCIÓN DE HILATURA.

Para acceder a la sección de **AIRE ACONDICIONADO** se presiona el botón dando un click con el mouse dentro del recuadro con el mismo nombre, con esta acción se presenta la pantalla de la figura 3. Los

botones para acceder a las demás secciones serán habilitados conforme avance la modernización de los respectivos procesos.

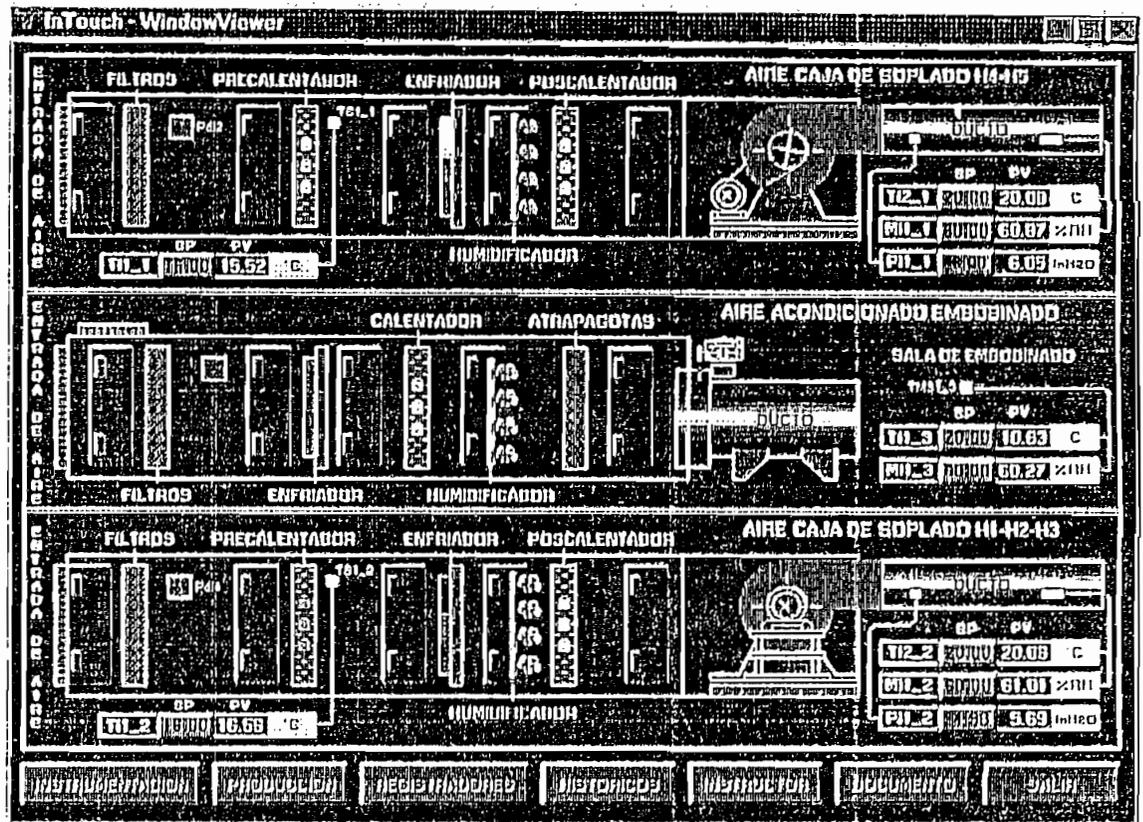


Figura 3. Pantalla de los procesos de Aire Acondicionado de Hilatura y Embobinado.

La pantalla está dividida en cuatro bloques, que son:

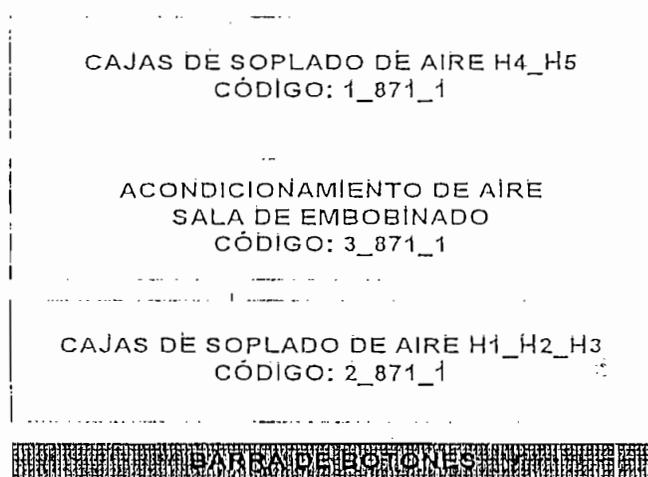


Figura 4. Diagrama esquemático de los bloques que integran la pantalla de Aire Acondicionado.

Configuración diseñada de acuerdo a la estructura física. Un diseño gráfico con el cual se representa de la mejor manera posible las diferentes etapas que componen las respectivas unidades manejadoras de aire para los tres sistemas, acompañados de amigables y agradables animaciones de los elementos más sobresalientes.

Además se presenta la identificación adecuada:

- El rótulo de cada sistema se encuentra en la esquina superior derecha del respectivo recuadro.
- Las etapas e intercambiadores de cada sistema están identificadas con letras resaltadas.
- La entrada de aire fresco desde el exterior se representa en lado izquierdo de la pantalla, dando la orientación del recorrido del aire a través de las unidades.
- La identificación de cada uno de los sensores y por ende de las variables, se ha realizado conforme a las normas establecidas para los equipos EIMJE (equipos de inspección, medición y ensayo), es decir, como se expone en la siguiente figura:

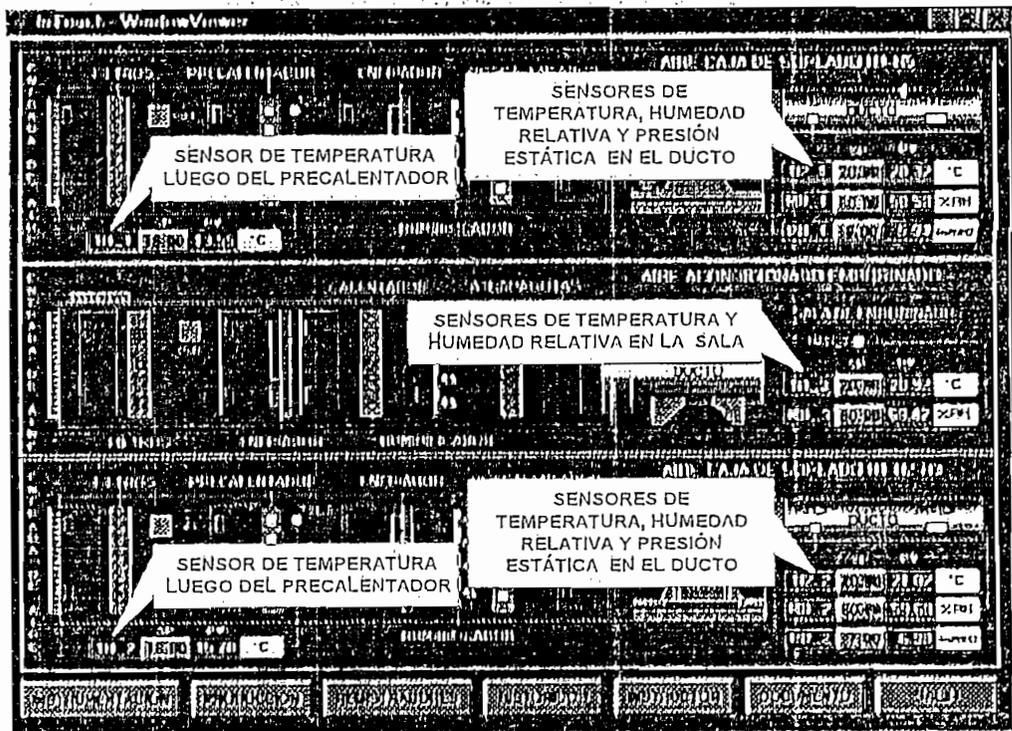


Figura 4. Ubicación de sensores en la pantalla.

- La ubicación física de los sensores es prácticamente la misma que se representa en el dibujo. El bloque asociado a cada sensor, proporciona la siguiente información:
  - Identificación de cada uno de los sensores conforme a la norma establecida en Enkador.
  - Lectura de la variable del proceso PV, en tiempo real.
  - Visualización del respectivo setpoint SP.

- Unidad de medida.

En resumen:

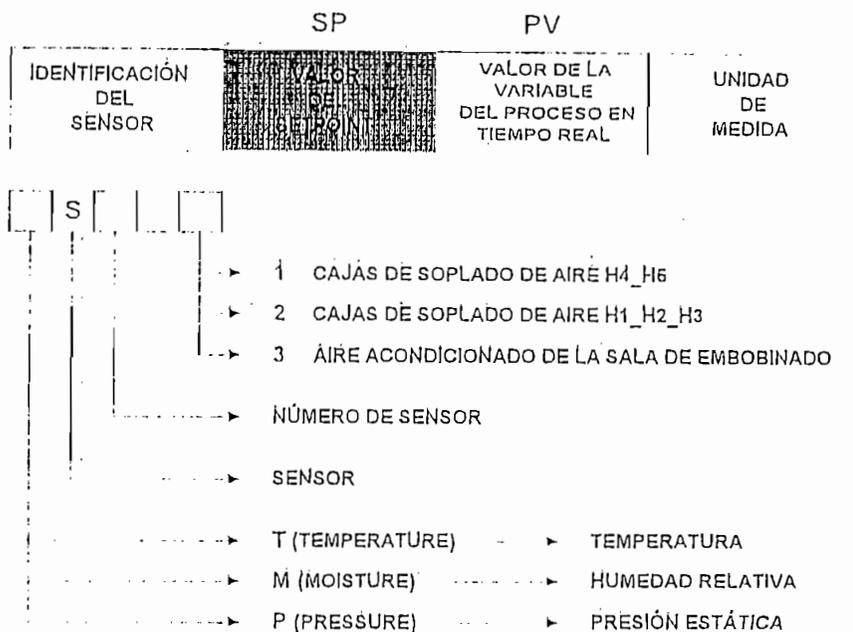


Figura 5. Bloque de información para cada sensor.

Excepto por el botón **SALIDA**, que al presionarlo permite regresar a la pantalla principal del programa. La barra de botones se ha diseñado para acceder a otras ventanas, es decir, dando un click con el mouse en el botón de la opción seleccionada se presentará en la pantalla la ventana respectiva. Las pantallas están diseñadas en forma de carpetas, que son muy comunes en programas basados en Windows. Las alternativas que ofrece y el funcionamiento de cada una de estas ventanas se describe seguidamente:

La barra permite la entrada a las siguientes opciones:

- INSTRUMENTACIÓN
- PRODUCCIÓN
- REGISTRADORES
- HISTÓRICOS
- INSTRUCTOR
- DOCUMENTO
- SALIR

**INSTRUMENTACIÓN**

Previo al acceso a esta pantalla se muestra una ventana de control (ingresar nombre y clave), es decir, el acceso está restringido únicamente a personas pertenecientes al Departamento de Instrumentación y Mantenimiento Eléctrico, ya que en esta pantalla principalmente existe la posibilidad de modificación de los parámetros de sintonización para los lazos de control, y la selección del modo de operación de los actuadores (manual o automático). Debido a la importancia que reviste el manejo de las opciones en esta pantalla, se recomienda conocer previamente el funcionamiento de todo el sistema.

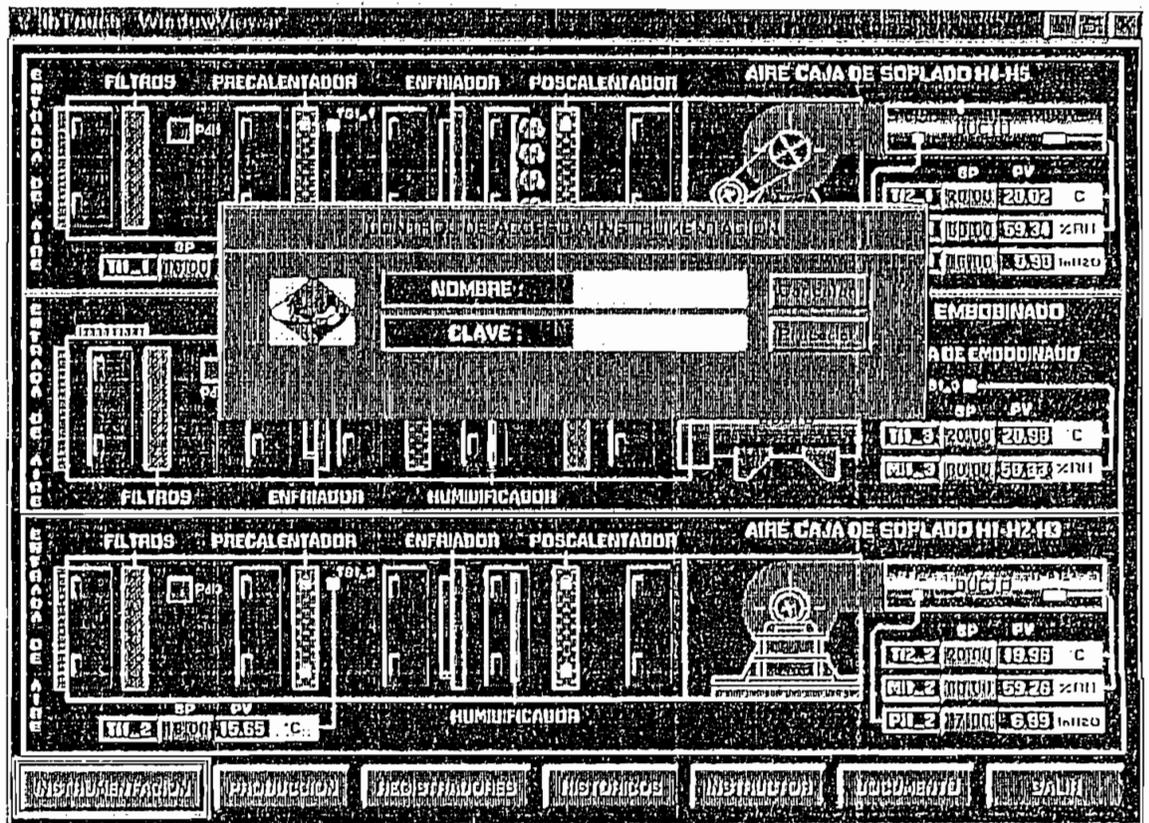


Figura 7. Vista de control de acceso a la carpeta de INSTRUMENTACIÓN

La ventana de control de acceso es la que se muestra en la figura 7, si el nombre y la clave digitados en el respectivo cuadro son correctos, se despliega a continuación otra ventana, en la que se selecciona el sistema al que se desea entrar, dando un click con el mouse en el botón respectivo como se muestra en la figura 8.

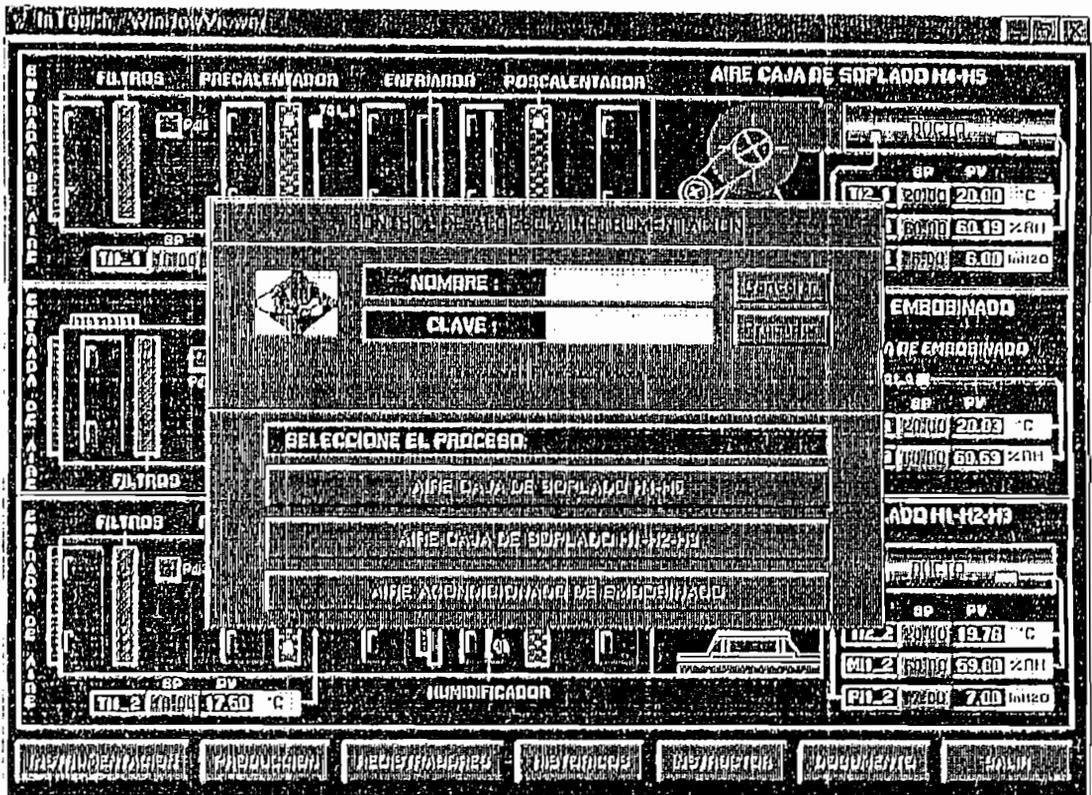


Figura 8. Ventana de selección del sistema a supervisar y controlar.

Cada sistema consta de las opciones que se muestran en la siguiente figura:

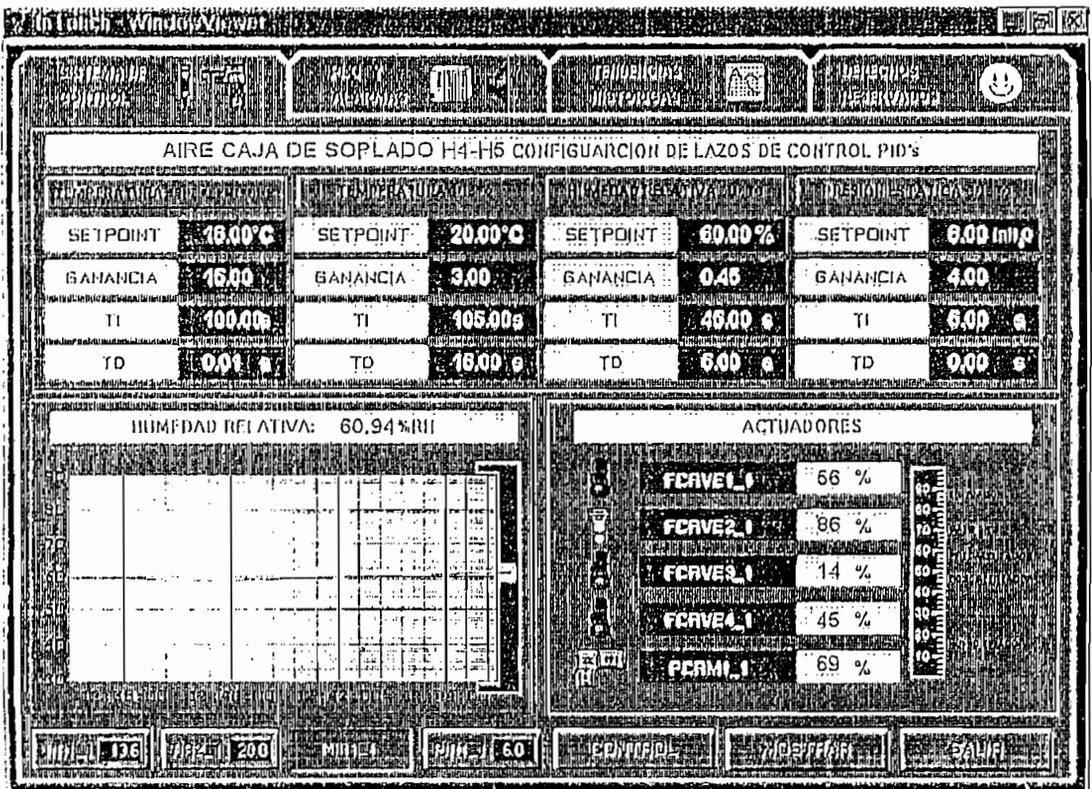


Figura 9. Pantalla principal de SUPERVISIÓN Y CONTROL para uno de los sistemas.

Es decir; la carpeta de contiene las siguientes hojas:

- SISTEMA DE CONTROL
- PLC Y ALARMAS
- TENDENCIAS HISTÓRICAS
- DERECHOS RESERVADOS

## SISTEMA DE CONTROL

Constituye la pantalla más importante. La parte superior muestra los parámetros de sintonización de los lazos de control para cada variable del proceso, cada uno de éstos puede ser modificado dando un click en el respectivo cuadro azul que acompaña al parámetro e ingresando el nuevo valor. En la parte inferior izquierda se presenta gráficamente el comportamiento todas las variables en tiempo real (una a la vez), mediante registradores individuales que se están actualizando continuamente, para escoger la variable a monitorear presionamos con un click del mouse el botón respectivo, además el valor de la variable se presenta en la parte superior del gráfico con su respectiva identificación y unidad; mientras que las variables no seleccionadas muestran el valor que van tomando, en un pequeño recuadro que forma parte del mismo botón; el botón de la variable que se esté visualizando en el registrador, denota la apariencia de estar presionado y oculta la lectura del dato para no presentarlo dos veces. Finalmente en la parte inferior derecha (actuadores), se visualiza el porcentaje de apertura para cada uno de los actuadores (0% cerrado, 100% abierto), acompañados de una regla que hace referencia al equipo de acondicionamiento de aire controlado, evitando de esta manera confusiones.

Los botones restantes: **CONTROL** y **MOSTRAR**, sirven para acceder a la ventana donde se pueda configurar el modo de operación que tendrán los actuadores, sea este manual o automático. El botón **SALIR** sirve para retornar a la pantalla que muestra los tres sistemas.

Para salvaguardar la integridad y garantizar la correcta operación de todos los actuadores, se ha diseñado una ventana de acceso adicional, la misma que compara la cadena de caracteres ingresada en el campo CLAVE DE ACCESO, con una cadena patrón. Dicha ventana es la de la figura 10.

Si la clave es correcta se habilita el botón **Proceder**, el mismo que al presionarlo despliega el cuadro que se muestra en la figura 11, en el primer recuadro se puede seleccionar el actuador a controlar, en el recuadro de abajo se da una breve indicación de la función que cumple el actuador seleccionado en el sistema, seguidamente a la derecha se escoge el modo de operación que deseamos que tenga el actuador, y finalmente más a la derecha tenemos tres botones de confirmación, el primero acepta el modo de control seleccionado, el segundo coloca todos los actuadores en modo manual y el tercero todos en modo

automático. Luego de escoger y confirmar el actuador o actuadores con su respectivo modo de operación, se presiona el botón **Proceder**, caso contrario presionamos **Cancelar**. Puesto que se trata de un proceso continuo y constante, el modo de operación manual se utiliza únicamente en casos de emergencia, mantenimiento preventivo o mantenimiento correctivo.

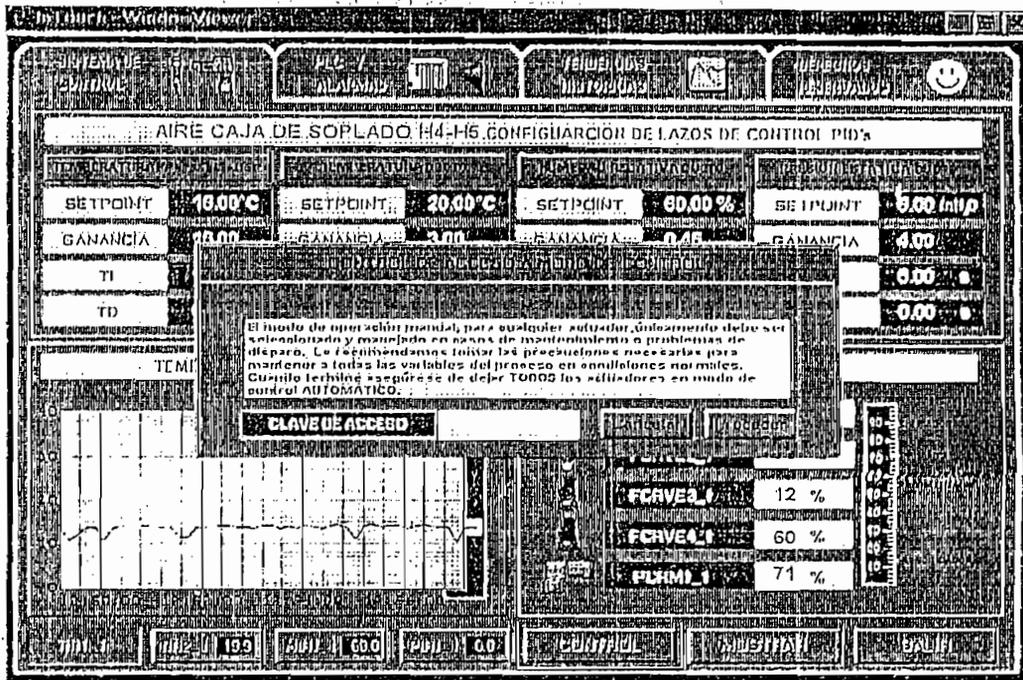


Figura 10. Ventana de control de acceso a modo de operación de los actuadores

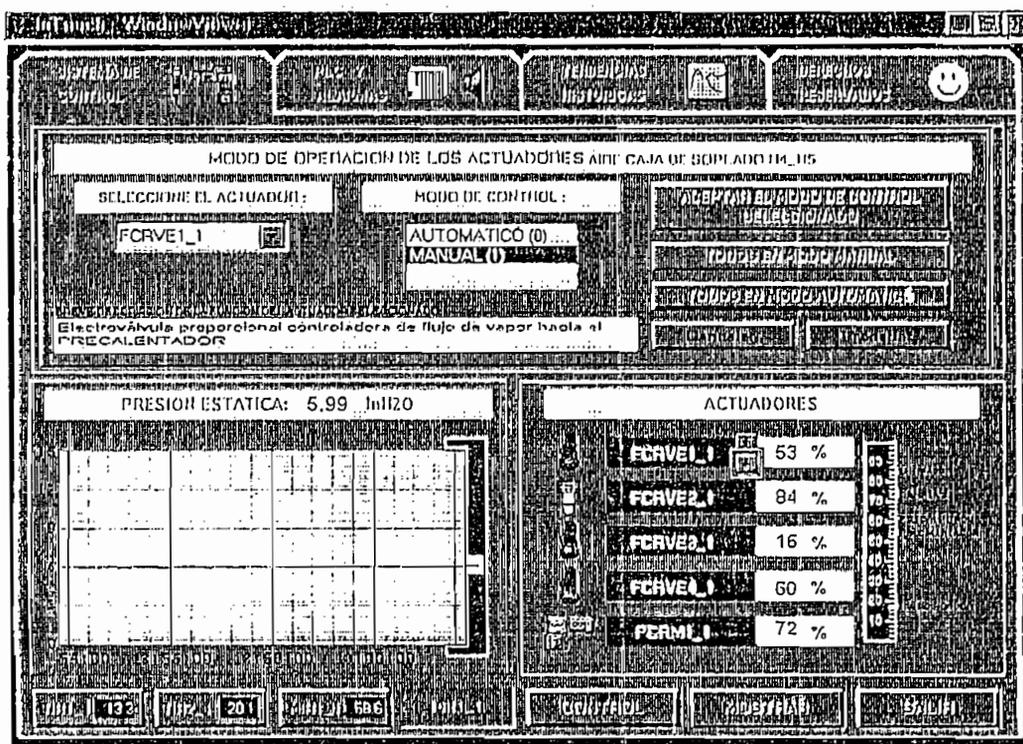


Figura 11. Ventana de modo de operación de los actuadores y ejemplo de control manual para uno de ellos.

La operación del actuador en modo manual está dada por las flechas que aparecen junto al él, las mismas permiten abrir o cerrar las electroválvulas, abrir o cerrar los dampers, aumentar o disminuir la velocidad del soplador, según sea el caso y la función que cumple el actuador en el sistema.

Para evitar ingresar dos veces la clave de acceso al modo de operación de los actuadores, una vez que ya se ingreso, **Mostrar** permite acceder nuevamente a la ventana en cuestión, siempre y cuando en dicha ventana no se presionara previamente el botón **Cancelar**, entonces si se debe escribir nuevamente la clave.

Luego de manejar las estas opciones del modo de operación de los actuadores, es recomendable dejar a todos en modo automático, para evitar desviaciones considerables de las variables y asegurar que el proceso se desarrolle conforme a las normas establecidas.

## PLC Y ALARMAS

La pantalla para esta hoja es la siguiente:

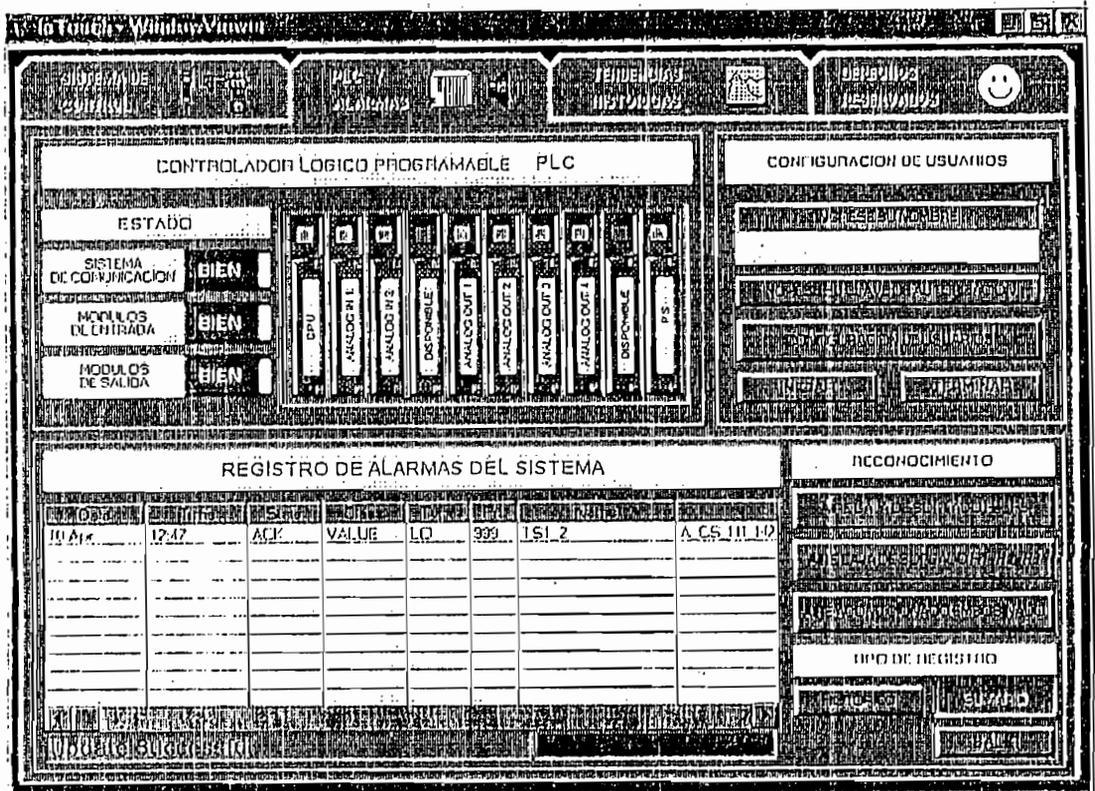


Figura 12. Pantalla de PLC Y ALARMAS.

Dispone de las siguientes opciones:

- CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE PLC
- CONFIGURACIÓN DE USUARIOS
- ALÁRMAS DEL SISTEMA

La primera representada por el cuadro ubicado en la parte superior izquierda de la pantalla, permite visualizar el estado de cada uno de los módulos que conforman el PLC, así como también el sistema de comunicación entre el PC y el PLC. Un funcionamiento sin inconvenientes viene dado por el pequeño cuadrado con fondo verde, situado en cada módulo, en cambio si se produce alguna falla el cuadrado tendrá fondo de color rojo. Mientras que para el sistema de comunicación se sigue la misma norma para el rectángulo situado junto al rótulo, agregándose animación en cuanto al tamaño del mismo.

El cuadro de la parte superior derecha representa a la segunda, en el mismo se puede configurar los usuarios del programa, es decir, se puede agregar o eliminar nombres, claves de acceso y su respectivo nivel jerárquico. También se puede modificar la clave de acceso para un determinado usuario. Para acceder a esta opción se debe ingresar el nombre y la clave del usuario perteneciente al Departamento de Instrumentación y Mantenimiento Eléctrico, ya que únicamente este personal está autorizado a manejar esta opción. Luego de ingresar los correspondientes datos se presenta el menú característico de touch para la configuración de usuarios.

Las alarmas del sistema se registran en una tabla, la misma que almacena los datos de las alarmas producidas en las últimas 24 horas presionando el botón **HISTÓRICO**, o presenta también un resumen de las últimas alarmas registradas mediante el botón **SUMARIO**, es decir deja escoger el tipo de registro requerido. En ambos casos los datos de las alarmas no reconocidas se presentan en color rojo y al reconocerlas cambian a color azul. Estos datos incluyen el instante en que se produjo la alarma (año, mes, día y hora), el tipo de alarma (de bajo o de alto HI o LO) y el grupo o sistema donde ocurrió. Para el reconocimiento de las alarmas en el proceso, se cuenta con un botón para cada uno de los tres sistemas, la activación respectiva de acuerdo al grupo o sistema, permite reconocer las alarmas. Luego de revisar y reconocer las alarmas, y por lo tanto conocer el sitio o el equipo donde o por el cual se produjo, se debe coordinar y realizar las acciones necesarias para evitar que vuelvan a ocurrir.

## TENDENCIAS HISTÓRICAS

En esta pantalla se puede observar la representación gráfica de los datos que han tomado las variables en los últimos siete días. Los cuadros del lado derecho están identificados claramente y muestran el color de la línea utilizada para cada variable y los datos correspondientes al corte de la curva construida con los datos de la variable en función del tiempo, con una fina línea vertical resaltada muda a cada uno de los dos deslizadores, los mismos que se pueden desplazar libremente en el eje del tiempo arrastrándolos con el

mouse, los datos de la izquierda corresponden al deslizador izquierdo, y los datos de la derecha al otro. Los deslizadores nunca pueden cruzarse y cambiar la posición del uno con respecto al otro, siempre conservan el orden de su posición.

Además dando un click con el mouse dentro del cuadro correspondiente, automáticamente se modifica la escala en que se presenta cada variable de acuerdo al sensor, esto se puede confirmar observando como cambia de color la barra que representa a la escala, situada en el lado izquierdo del gráfico.

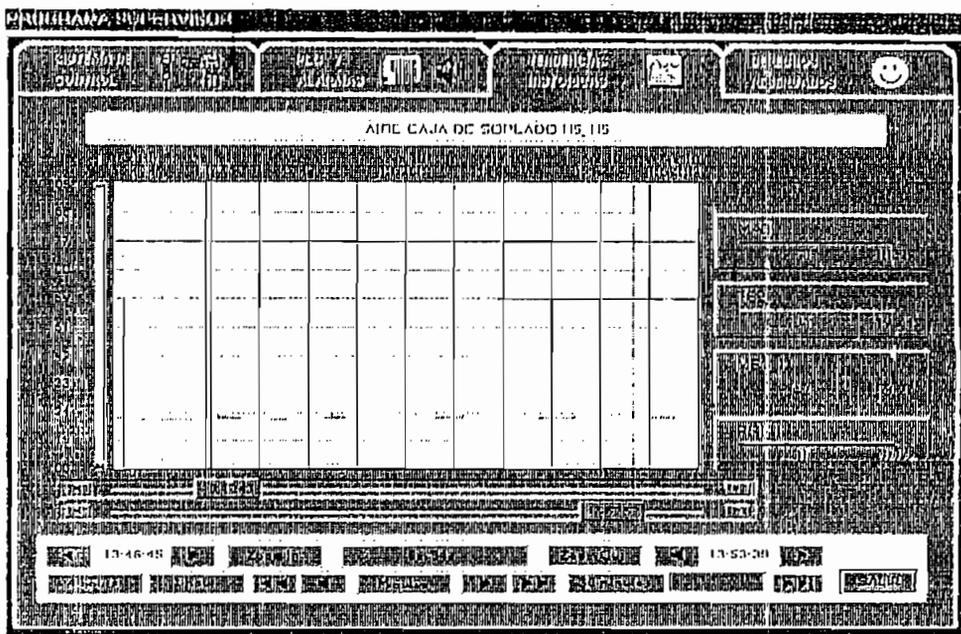


Figura 13. Pantalla de TENDENCIAS HISTÓRICAS.

Los deslizadores también permiten establecer el espacio del gráfico que será visualizado con aumento o disminución de la escala del tiempo, mediante los botones de la barra inferior. La función de cada uno de estos botones se resume en el siguiente esquema:

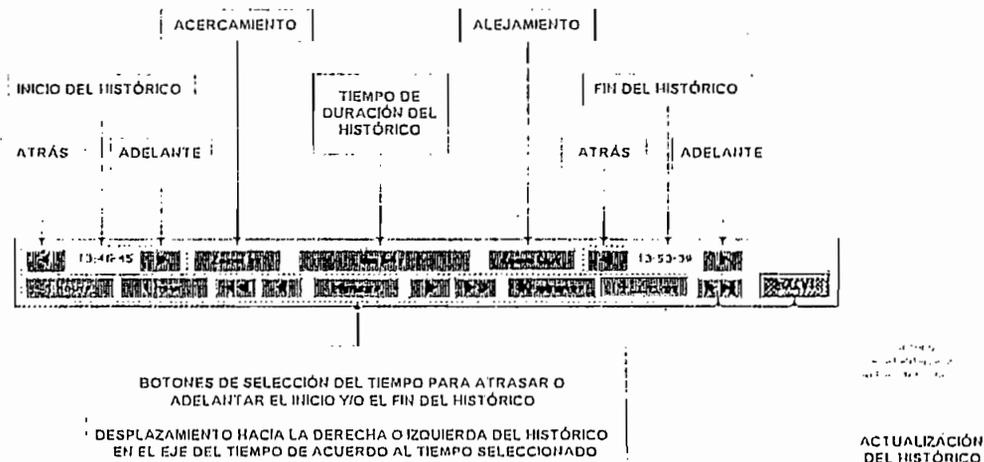


Figura 14. Función que cumplen los botones situados en la barra inferior de la ventana de TENDENCIAS HISTÓRICAS

DERECHOS RESERVADOS

Finalmente se presenta una pantalla en la que se da información general en torno al proyecto, siendo la más importante la correspondiente a los Derechos Reservados de los autores del mismo.

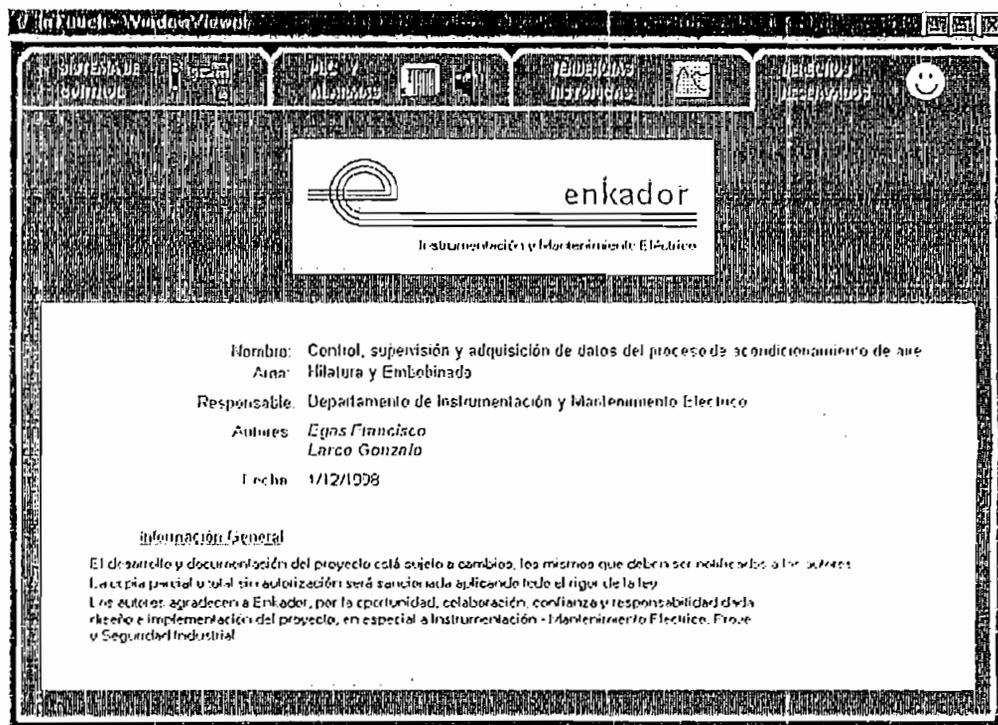


Figura 15. Pantalla de DERECHOS RESERVADOS.

PRODUCCIÓN

Mediante este botón se puede realizar lo que se conoce comúnmente en la planta como: cambio de condiciones del proceso, es decir, modificar el valor del setpoint SP en cualquiera de las variables. Pero un cambio de este tipo, se lo hace conforme al trabajo del Departamento de Programación y lo pueden hacer únicamente personas autorizadas ya sea del Departamento de Producción o en su defecto, del Departamento de Instrumentación y Mantenimiento Eléctrico.

Es importante indicar que un cambio de condiciones en cualquiera de las variables para cualquiera de los sistemas, influye de manera directa en la calidad del producto obtenido al final del proceso, es decir filamentos y bobinas respectivamente.

La venta de control para cambio de condiciones se sobrepone a la ventana principal, y tiene el siguiente aspecto:

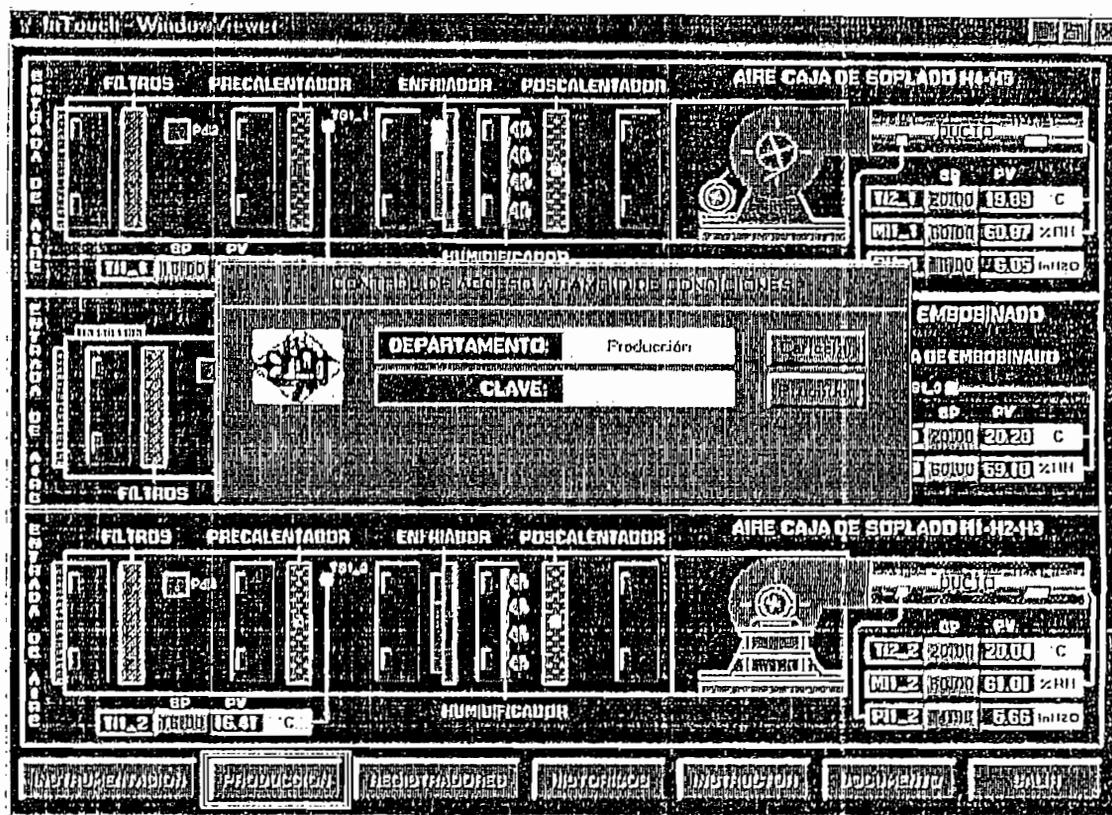


Figura 16. Ventana de control de acceso a PRODUCCIÓN (cambio de condiciones)

Para hacer más breve el control de acceso, solamente se debe ingresar la clave correcta. En principio la clave única es conocida estrictamente por las personas involucradas con el proceso y responsables del cambio. Pero existe la posibilidad de almacenar y proporcionar una clave de acceso para cada usuario autorizado para realizar un cambio de condiciones (opción que puede ser implementada únicamente por el Departamento de Instrumentación y Mantenimiento Eléctrico), como se verá más adelante.

Si se presiona accidentalmente o casualmente el botón **PRODUCCIÓN** o la operación no fue la correcta, y desea inmediatamente trabajar en el programa, se da un click en **Cancelar** para cerrar la ventana. Caso contrario la ventana se cerrará automáticamente luego de un corto intervalo de tiempo. Pero si lo que se desea es realizar un cambio de condiciones, se debe habilitar el botón **Proceder** ingresando la clave de acceso, es decir, si la clave de acceso no es correcta este botón permanece deshabilitado. Para garantizar la responsabilidad y evitar el descubrimiento de la clave por personas no autorizadas, la cadena que se ingresa a través del teclado, no se presenta en el cuadro de diálogo, pero el programa internamente realiza la comparación de caracteres.

Cuando la clave de acceso es la correcta, se presenta en la misma ventana el siguiente mensaje enmarcado:

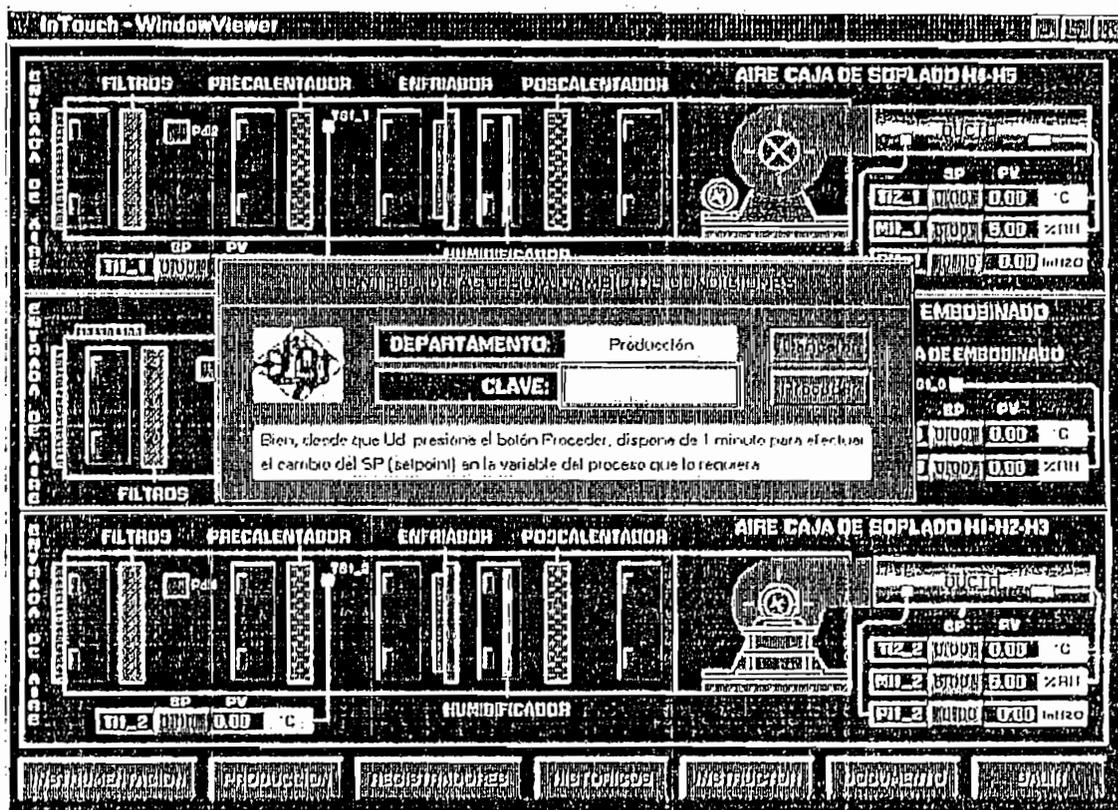


Figura 17. Ventana que se presenta cuando la clave para efectuar el cambio es correcta

Hecho esto, se tiene 1 minuto de tiempo para realizar el cambio, el mismo que se inicia al presionar el botón **Proceder**. Para realizar el respectivo cambio de condiciones, se habilitan como entradas de datos los botones correspondientes a los *setpoints*, en donde dando un click con el mouse, se puede ingresar el nuevo valor, como se puede apreciar en la figura siguiente:



Figura 18. Ejemplo de cambio de SP (cambio de condiciones).

Después de realizar el cambio correspondiente, los botones de los setpoints se desactivan automáticamente luego de haberse consumido el tiempo establecido. Permaneciendo el sistema en modo de lectura, por lo que necesariamente se debe seguir una vez más todo procedimiento para realizar un nuevo cambio.

### REGISTRADORES

Presionando este botón se accede a la carpeta de registradores gráficos en tiempo real, para seleccionar el sistema de un click en la hoja con el nombre respectivo, para las Cajas de Soplado tendrá una pantalla como esta:

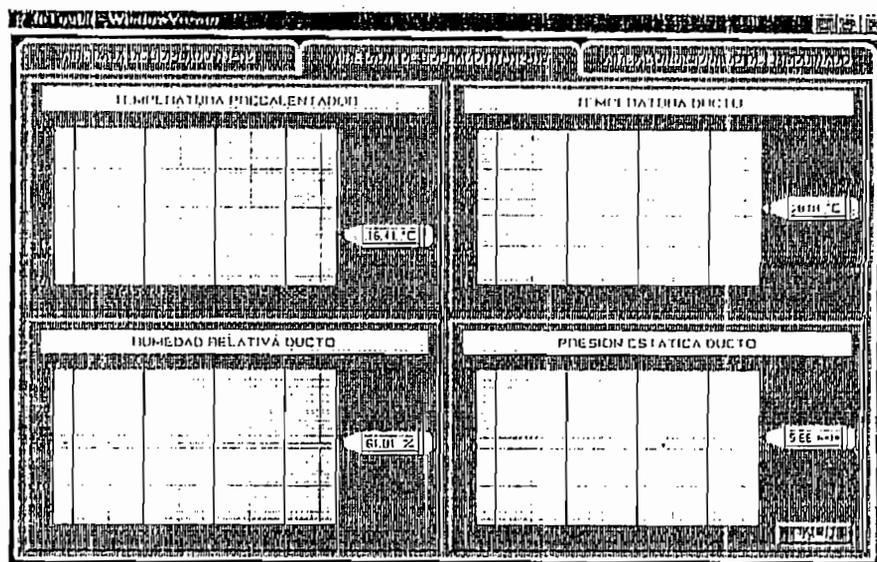


Figura 19. Registradores en tiempo real para las Cajas de Soplado de Aire

Mientras que para la Sala de Embobinado esta otra:

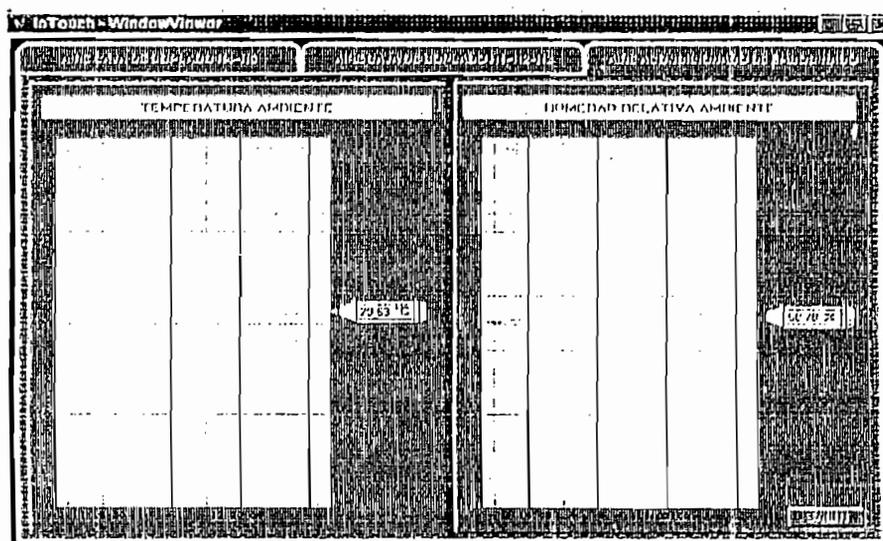


Figura 20. Registradores en tiempo real para la Sala de Embobinado

**HISTÓRICOS**

Dando un click con el mouse en este botón, se presenta la carpeta de históricos, muy similar a la de tendencias históricas de la carpeta de Instrumentación. Es decir, tiene las siguientes opciones:

- Visualización gráfica de datos históricos de todas las variables.
- Visualización del tiempo de inicio, duración y fin del histórico (fecha, hora, minutos y segundos).
- Dando un click en el cuadro del gráfico se puede configurar: el inicio y la duración del histórico, el porcentaje de escalamiento, el tipo de gráfico (línea continua, por puntos y área bajo la curva) y la selección de las variables a ser graficadas.
- Visualización del estado de la actualización de los datos antes de ser presentados en la pantalla.
- Deslizadores en el tiempo y visualización instantánea de los valores de las variables en el punto de intersección con su respectiva curva.
- Opciones de acercamiento y alejamiento (zoom).
- Impresión de reportes.

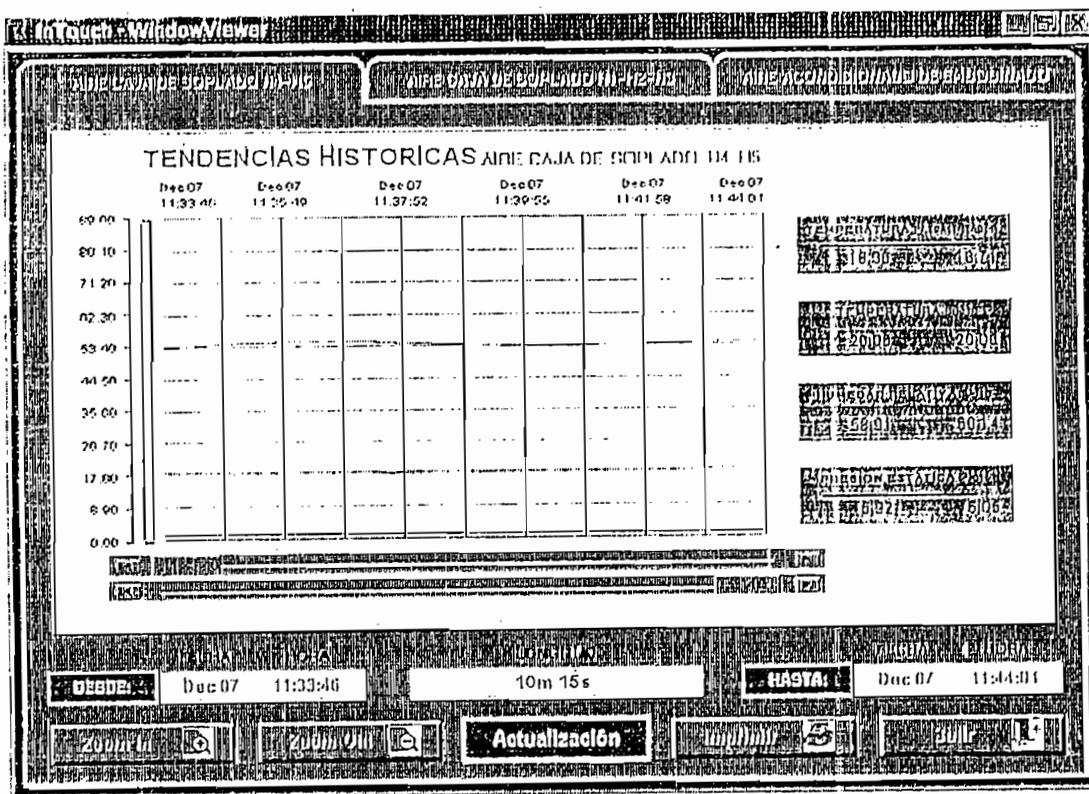


Figura 21. Carpeta de HISTÓRICOS

Para salir de esta carpeta se presiona el botón **Salir**.

**INSTRUCTOR**

Es una ventana en la cual se enumeran y detallan brevemente los pasos a seguir para efectuar un cambio de condiciones. Para salir de esta ventana presionamos **CERRAR** ubicado en la esquina inferior derecha, como se puede ver en la figura siguiente:

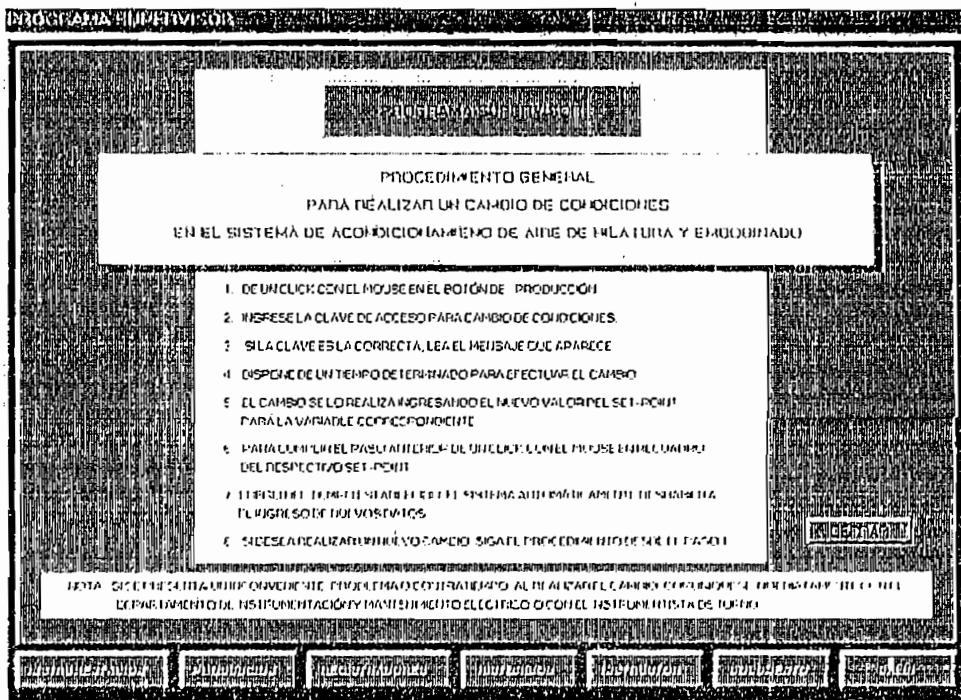


Figura 22. Ventana de ayuda para cambio de condiciones: INSTRUCTOR.

**DOCUMENTO**

Al presionar este botón se presenta un pequeño recuadro que hace referencia a los autores del Sistema de Supervisión y Control del Aire Acondicionado de la Sala de Embobinado y cajas de Soplado de Aire de la Sección de Hilatura. El mencionado cuadro es el siguiente:

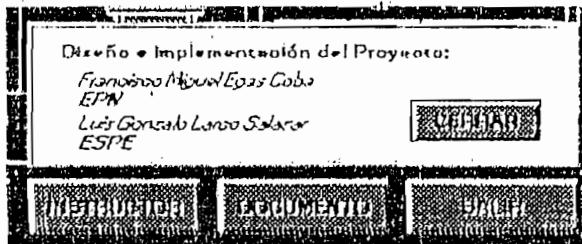


Figura 23. Pantalla a la que se accede presionando el botón **DOCUMENTO**.

Para finalizar cabe indicar que la pantalla que aparece por defecto en el monitor del PC, es la que se muestra seguidamente:

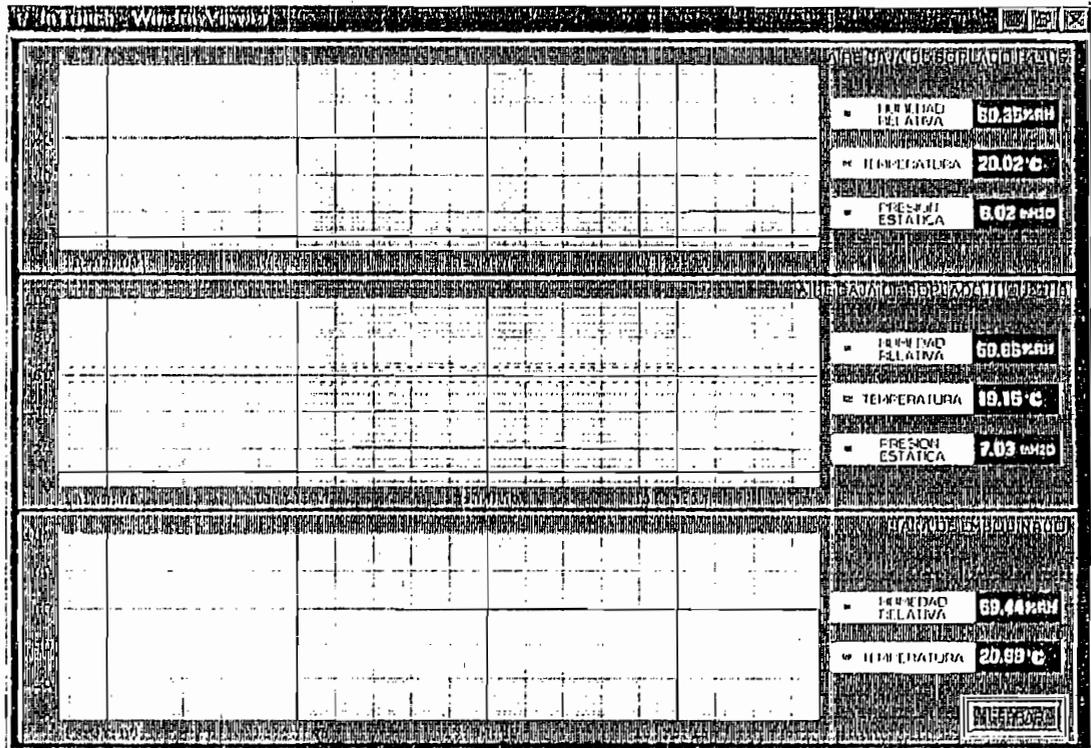


Figura 24. Pantalla que se muestra por defecto en el PC.

Esta pantalla muestra tres registradores gráficos en tiempo real, los cuales muestran el comportamiento de todas y cada una de las variables durante las últimas dos horas.

Se ha implementado con el propósito de cumplir el requerimiento del Departamento de Producción, el cual consiste en presentar en la pantalla del PC los datos del proceso mientras no se esté manejando el programa, para que el responsable de turno, visualice inmediatamente cualquier tendencia anormal o fuera de norma. Para la temperatura se acepta una desviación de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  y para la humedad relativa de  $\pm 1.5\%$  RH.

Esta diseñada a manera de protector de pantalla, es decir, aparece luego transcurrido un lapso de tiempo, en el que no se manipula el mouse y el teclado. Para entrar a la pantalla principal del programa cerramos esta venta presionando el botón **CERRAR**.

Con la información que contiene este manual se puede manejar el Programa Supervisor sin contratiempos, pero si tiene problemas para manejarlo o se produce una falla durante el funcionamiento, contáctese inmediatamente con el Departamento de Instrumentación y Mantenimiento Eléctrico.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ENKADOR, "Airconditioning and Ventilation Equipment in Polyester Plant in Ecuador", Asselbergs & Nachenius B. V. Breda
- AKZO ENGINEERING BV, "Calculation Airconditioning Spinnig Building, 1986
- AKZO ENGINEERING BV, "Extension and modifications Airconditioning. Spinnig Building", 1986
- SCHNEIDER AUTOMATION INC. Modicon TSX Quantum Hardware Reference Guide / / 1997
- GUETTING STARTED GUIDE / SCHNEIDER AUTOMATION INC., "Modicon TSX Quantum Automation Series Master Index", 1997
- SCHNEIDER AUTOMATION INC., "Modicon TSX Quantum Automation Series – Documentation Library", 1997
- SCHNEIDER AUTOMATION INC., "Modicon TSX Quantum Automation Series Distributed I/O System Planning Guide", 1997
- SCHNEIDER AUTOMATION INC., "Modicon Catalog & Specifier's Guide", 1997