

T
629.83
ROC



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

"Implementación de un Sistema de Control Digital para el
Modulo de Temperatura de la Planta de Procesos Industriales
de FIMCP"



CIB-ESPOL

TESIS DE GRADO

Previo la Obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Jorge Luis Roca García

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2004



CIB-ESPOL



CIB



D-33421

AGRADECIMIENTO

Agradezco la oportunidad que Dios y la vida me brindo para estudiar.



A mi director de tesis Ing. Eduardo Orcés y al Ing. Francis Loayza por su colaboración en esta tesis.



A todas aquellas personas que de una u otra forma ayudaron a la realización de esta tesis.



DEDICATORIA

A MIS PADRES

**JORGE ROCA Y MARIA E.
GARCÍA**

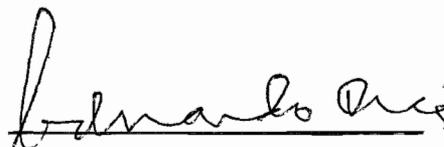
A MIS HERMANAS

SOFÍA Y FERNANDA ROCA

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Francisco Andrade S.
SUBDECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Ing. Eduardo Orcés P.
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Ernesto Martínez L.
VOCAL



CIB-ESPOL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Jorge Luis Roca García", is written over a horizontal line.

Jorge Luis Roca García

RESUMEN

El entorno en que vivimos y la rapidez con la que la tecnología avanza plantea la necesidad de mejorar y actualizar los conocimientos a favor de la sociedad, es por eso que necesitamos de herramientas que optimicen el tiempo de obtención de dicha información en el campo de la ingeniería o en cualquier otro.



CIB-ESPOL

Como parte del desarrollo tecnológico que la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencia de la Producción esta implementado en la actualidad, se plantea este proyecto de actualización del Modulo de Temperatura de la Planta de Procesos Industriales en el laboratorio de Procesos Industriales en la FIMCP, con la finalidad de que estudiantes de cualquier nivel tengan acceso a la tecnología de avanzada y a la vez tengan conocimientos básicos de los diferentes sistemas de control y adquisición que el modulo de temperatura la planta ofrece.

El estado del modulo de temperatura de la planta de procesos industriales es limitado, en vista de que solo se controla y adquiere información en forma neumática, este proyecto propone mejorarla aplicando tecnología nueva y de fácil uso que involucre al estudiante en el uso de la misma por medio de instrumentación virtual o control digital.

Para el mejoramiento y actualización del modulo de temperatura de la planta de procesos industriales primero se evaluara el estado del modulo para recuperar y calibrar los sensores transductores, válvulas neumáticas, y otros elementos que se encuentren en el modulo, luego se automatizara elementos tales como bombas, calentador y mezclador para ser controlados desde el modulo en la planta y también desde la computadora mediante instrumentos virtuales o controles digitales como Lab View, que es un programa de fácil uso y manejable desde la plataforma de Windows.

Se espera que el modulo de temperatura se controle digitalmente en forma automática mediante un controlador Proporcional Integral Derivativo desarrollado bajo el programa de Lab View, y con el cual realizar prácticas para los estudiantes en ajuste de controladores por el método de curva de reacción, y en esta forma involucrar al estudiante en el uso de herramientas modernas que pueden ser usadas diariamente en todo el entorno en que los ingenieros mecánicos se desarrollan diariamente.

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	IX
SÍMBOLOGIA.....	XIII
INDICE DE FIGURAS.....	XIV
INDICE DE TABLAS.....	XXI
INDICE DE PLANOS.....	XXII
INTRODUCCION.....	1

CAPITULO 1

1. MODULO DE TEMPERATURA.....	3
1.1 Introducción al modulo de temperatura.....	3
1.2 Descripción del modulo de temperatura.....	13
1.2.1 Descripción del transductor de corriente a presión I/P.....	27
1.2.2 Descripción del transductor de presión a corriente P/I.....	33
1.2.3 Descripción de la válvula de control.....	37
1.2.4 Descripción del sensor transductor de presión.....	39

1.2.5 Descripción del Calentador.....	52
1.2.6 Descripción del Tanque.....	52
1.2.7 Descripción del Controlador Neumático.....	53



CIB-ESPOL

CAPITULO 2

2. INTERFASE Y EQUIPOS PARA IMPLEMENTACION DEL CONTROL

DIGITAL.....	58
2.1. Controladores.....	58
2.1.1 Teoría.....	59
2.1.2 Tipos de Controladores.....	69
2.2. Programa de Lab View.....	104
2.2.1 Introducción a Lab View.....	104
2.2.2 Descripción de un instrumento virtual (VI).....	106
2.2.3 Descripción de un Sub VI's.....	117
2.2.4 Descripción de iconos.....	127
2.2.5 Ciclo y graficas de Barrido.....	127
2.2.6 Arreglos y Graficas.....	133
2.2.7 Estructuras Case y de secuencia.....	138
2.2.8 Configuración de VI's.....	141
2.2.8.1 Adquisición de Datos.....	141
2.2.8.2 Control de Instrumentos.....	144

2.3. Field Point.....	146
2.3.1 Introducción al Field Point.....	146
2.3.2 Configuración del FP 1000.....	151
2.3.3 Configuración del FP AI 110.....	163
2.3.4 Configuración del FP AO 200.....	176
2.4. Circuitos Auxiliares de Control.....	189
2.4.1 Encendido y Apagado de Bomba - Calentador.....	194
2.4.2 Encendido y Apagado del mezclador.....	199
2.4.3 Encendido y Apagado de Bomba de control de nivel.....	200

CAPITULO 3

3. PROGRAMACION DEL CONTROL DIGITAL.....	204
3.1. Rutinas y Subrutinas del Programa.....	205
3.2. Descripción del Controlador Virtual PID.....	206
3.3. Descripción del ciclo de adquisición y control.....	224
3.4. Descripción de las Subrutinas que mejoran los datos adquiridos.....	232

CAPITULO 4

4. DESARROLLO DE PRÁCTICAS PARA ESTUDIANTES.....	251
---	------------



4.1. Manejo general del equipo.....	252
4.2. Practicas de ajuste del controlador por el método de Curva de Reacción.....	260
4.2.1. Control de temperatura de entrada al tanque T1.....	261
4.2.1.1. Objetivo.....	261
4.2.1.2. Teoría.....	262
4.2.1.3. Procedimiento.....	277
4.2.1.4. Cálculos.....	281
4.2.2. Control de temperatura de salida del tanque T2 a media capacidad de llenado.....	294
4.2.2.1. Objetivo.....	294
4.2.2.2. Teoría.....	294
4.2.2.3. Procedimiento.....	294
4.2.2.4. Cálculos.....	295
4.2.3. Control de temperatura de salida del tanque T2 a toda capacidad de llenado	306
4.2.3.1. Objetivo.....	306
4.2.3.2. Teoría.....	306
4.2.3.3. Procedimiento.....	306
4.2.3.4. Cálculos.....	307



CAPITULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....317

APENDICES

BIBLIOGRAFIA

ABREVIATURAS

AIR SUPPLY	Suministro de aire.
A.C.	Corriente alterna.
ADC	Conversión de Analógica a Digital.
FCV1	Válvula de control de flujo 1 (elemento final de control)
UMA	Unidad de mantenimiento del regulador de presión de aire
#	Número (1,2, 3,...)
NV#	Válvula neumática de abre y cierre #
p	Presión
psi.	Libras fuerza por pulgada cuadrada de presión de aire
IN	Acceso a la señal de entrada
INPUT	Acceso a la señal de entrada
AIR SUPPLY	Suministro de aire
Amp	Amperio.

B.P.	Banda proporcional.	 CIB-ESPOL
bits	Bits.	
bits/s	Bits por segundo.	
cm	Centímetro.	
COM	Común.	
C	Bobina contactor.	
C#	Contacto de contactor.	
dB	Decibeles.	
D.C.	Corriente continua.	
d/dt	Pre-actuación y estabilización.	
e.a.	Error de angularidad.	
E/S	Entrada/Salida.	
FieldPoints	(Punto de Campo).	
FCV1	Válvula de control de flujo 1 (elemento final de control).	
Fuse	Fusible.	
G	Ganancia o Sensibilidad.	
Hz	Hertz.	
HV#	Válvula manual para regular el flujo de agua #.	
I/P	Convertidor o transductor de corriente a presión.	
IN	Acceso a la señal de entrada.	
INPUT	Acceso a la señal de entrada.	
KΩ	Kilo-ohmios de resistencia.	

Kbits/s	Kilo bits por segundo.
Kcu	Ganancia última.
L#	Línea de fuerza #.
lit/min	Litros por minuto.
min	Minutos.
mA	Miliamperios de corriente.
m ³ /s	Metros cúbicos por segundo.
N	Línea neutra.
OUT	Acceso a la señal de salida.
OUTPUT	Acceso a la señal de salida.
p	Presión.
psi.	Libras fuerza por pulgada cuadrada de presión de aire.
P/I1	Convertidor o transductor de presión a corriente 1
P/I2	Convertidor o transductor de presión a corriente 2
P.B.	Porcentaje de banda proporcional.
P	Proporcional.
PI	Proporcional más integral.
PD	Proporcional más derivativo.
PID	Proporcional más integral más derivativo.
Q	Flujo de agua en lit/min o m ³ /s.
Range	Campo de medida.
Reg. #	Regulador de presión de aire #.

Re#	Resistencia eléctrica #.
R#	Bobinas de relé.
R##	Contacto de relé.
rpm	Repeticiones por minuto.
seg	Segundos.
set-point	Punto de control.
span	Ajuste de multiplicación.
τ_i	Ajuste integral en rpm.
Td	Ajuste derivativo o tiempo derivativo en seg.
Tu	Tiempo o Período último en min o seg.
T0	Tiempo de transporte (tiempo muerto) #, en min o seg.
τ	Constante de tiempo #, en min o seg.
τ_d	Rapidez de derivación o Ajuste derivativo en seg.
zero	Ajuste de cero.
#	Número (1,2, 3,...).
A.C.	Corriente alterna
D.C.	Corriente continua

SIMBOLOGIA

A	Amperios de corriente
TIT1	Transmisor indicador neumático de temperatura 1
TIT2	Transmisor indicador neumático de temperatura 2
TRC	Controlador registrador neumático de temperatura
V	Tensión en voltios
Ω	Ohmios de resistencia
K Ω	Kilo-ohmios de resistencia
~	Señal de corriente alterna
—	Señal de corriente continua
+	Polo positivo de conexión eléctrica
-	Polo negativo de conexión eléctrica
\perp	Conexión eléctrica a tierra
L#	Línea de fuerza #
N	Línea neutra

ÍNDICE FIGURAS

FIGURA 1.1	Sistema a Controlar.....	9
FIGURA 1.2	Conexiones Neumáticas del Lazo de Control de Temperatura.....	10
FIGURA 1.3	Descripción, Designación Y Representación de los Elementos del Panel de Control de Temperatura.....	11
FIGURA 1.4	Conexiones eléctricas y electrónicas del lazo de control de temperatura.....	12
FIGURA 1.5	Diagrama esquemático del transductor I/P.....	29
FIGURA 1.6	Disposición de las conexiones eléctricas y neumáticas del convertidor I/P observadas desde la parte externa...	31
FIGURA 1.7	Diagrama y esquema de conexión eléctrica del convertidor I/P.....	32
FIGURA 1.8	Diagrama de conexión eléctrica del convertidor P/I.....	34
FIGURA 1.9	Montaje y conexión de las señales eléctricas y neumáticas del convertidor P/I.....	34
FIGURA 1.10	Operación del convertidor P/I.....	36
FIGURA 1.11	Termómetro industrial.....	41
FIGURA 1.12	Operación del transmisor neumático de temperatura.....	43
FIGURA 1.13	Diagrama esquemático del transmisor.....	46
FIGURA 1.14	Vista en perspectiva superior del transmisor indicador neumático de temperatura.....	47
FIGURA 1.15	Vista en perspectiva inferior del transmisor indicador neumático de temperatura.....	47
FIGURA 1.16	Vista en perspectiva lateral derecha del transmisor indicador neumático de temperatura.....	48
FIGURA 1.17	Vista en perspectiva lateral izquierda del transmisor indicador neumático de temperatura.....	49

FIGURA 1.18	Partes del módulo de temperatura de la planta de procesos industriales.....	50
FIGURA 1.19	Partes del módulo de temperatura de la planta de procesos industriales.....	51
FIGURA 1.20	Diagrama esquemático del controlador neumático Taylor (con alta Ganancia).....	57
FIGURA 2.1	Intercambiador de calor.....	60
FIGURA 2.2	Sistema de control del intercambiador de calor.....	63
FIGURA 2.3	(a) Característica de un controlador on-off ideal y modificaciones con (b) Zona muerta y (c) Histéresis....	70
FIGURA 2.4	Característica de un controlador proporcional. La entrada es el error de control e y la salida es la señal de control u	71
FIGURA 2.5	Característica estática del proceso. Muestra la salida del proceso y como una función de su entrada, bajo consideraciones estáticas.....	73
FIGURA 2.6	Determinación del equilibrio a partir de las características estáticas del proceso y del controlador..	74
FIGURA 2.7	Diagrama de bloques del sistema de control de un proceso.....	78
FIGURA 2.8	Diagrama de bloques de un lazo de realimentación simple.....	80
FIGURA 2.9	Simulación de un sistema de control en lazo cerrado con control proporcional.....	84
FIGURA 2.10	Implementación de la acción integral concebida como un reset automático, como también fue llamada.....	86
FIGURA 2.11	Simulación de un sistema en lazo cerrado con control proporcional e integral.....	88
FIGURA 2.12	Interpretación geométrica de la acción derivativa como un control predictivo, donde la predicción se obtiene mediante extrapolación lineal.....	90
FIGURA 2.13	Simulación de un sistema en lazo cerrado con control proporcional, integral y derivativo.....	91
FIGURA 2.14	Formas interactiva y no interactiva del algoritmo de control PID.....	93
FIGURA 2.15	Respuesta con respecto a cambios en la referencia, perturbaciones de carga y errores de medición para diferentes valores de la ponderación de la referencia b	100
FIGURA 2.16	Diagrama de bloques de un lazo de realimentación simple con un controlador PID que tiene una estructura de dos grados de libertad.....	102
FIGURA 2.17	Ejemplo de panel frontal de un VI.....	107

FIGURA 2.18	Ejemplo de diagrama de bloques para el VI temperatura.....	108
FIGURA 2.19	Icono y conectores para el VI temperature.....	109
FIGURA 2.20	Corrida y diagrama de barrido del VI temperatura.....	110
FIGURA 2.21	Ventana de entrada a LabView.....	112
FIGURA 2.22	Panel frontal y su programa asociado.....	114
FIGURA 2.23	Barra de herramientas del panel frontal.....	115
FIGURA 2.24	Barra de herramientas del diagrama de bloques.....	115
FIGURA 2.25	Paleta de herramientas y paleta de funciones.....	117
FIGURA 2.26	Sub VI con su icono propio (subrayado en un círculo).....	121
FIGURA 2.27	Ejemplo de un subvi en un diagrama de bloques.....	122
FIGURA 2.28	Ejemplo de un subvi con sus conectores.....	122
FIGURA 2.29	Ejemplo de abertura del menú del icono.....	123
FIGURA 2.30	Menú para entrar a los conectores.....	125
FIGURA 2.31	Muestra los diferentes conectores de entrada y salida.....	126
FIGURA 2.32	Ciclo WHILE.....	128
FIGURA 2.33	Grafica de barrido con múltiples trazos.....	129
FIGURA 2.34	Grafica de barrido con medición de tiempo.....	130
FIGURA 2.35	Registro de corrimiento.....	132
FIGURA 2.36	Ciclo FOR.....	133
FIGURA 2.37	Ilustración de un arreglo de una dimensión.....	134
FIGURA 2.38	Creación de un Arreglo.....	135
FIGURA 2.39	Subpaleta de funciones ARRAY.....	135
FIGURA 2.40	Ejemplo de indexamiento en ciclos FOR y WHILE.....	136
FIGURA 2.41	Ejemplo de la ayuda de LabView.....	137
FIGURA 2.42	Ejemplos de graficas de barrido.....	137
FIGURA 2.43	Diferentes tipos de estructuras case.....	139
FIGURA 2.44	Ejemplo de túnel en estructura case.....	139
FIGURA 2.45	Estructura de secuencia.....	140
FIGURA 2.46	Estructura de variables de secuencias.....	140
FIGURA 2.48	El nodo de fórmulas.....	141
FIGURA 2.49	Ventana del FIELDPOINT EXPLORER.....	150
FIGURA 2.50	MÓDULO FP-1000.....	151
FIGURA 2.51	Sujetador de carril DIN.....	152
FIGURA 2.52	Instalando el módulo de red en un carril DIN.....	152
FIGURA 2.53	Módulo de red FP 1000 instalado.....	153
FIGURA 2.54	Conector RS-232 del FP-1000.....	154
FIGURA 2.55	Conector RS-485.....	155
FIGURA 2.56	Conexiones de alimentación del FP-1000 y FP-1001.....	156
FIGURA 2.57	Dimensiones mecánicas.....	157
FIGURA 2.58	Pantalla de inicio.....	158
FIGURA 2.59	Añadiendo un recurso de comunicación al servidor.....	159

FIGURA 2.60	Ventana de configuración de los recursos de comunicación.....	160
FIGURA 2.61	Encontrando dispositivos.....	162
FIGURA 2.62	Mensaje de error.....	162
FIGURA 2.63	Jerarquía de dispositivos disponibles.....	163
FIGURA 2.64	Diagrama de instalación del módulo.....	165
FIGURA 2.65	Conexiones de campo básicas con dos canales mostrados.....	166
FIGURA 2.66	Indicadores de estado y etiqueta del Módulo FP-AI-110.....	168
FIGURA 2.67	Dimensiones mecánicas del módulo FP-AI-111.....	172
FIGURA 2.68	Editando el dispositivo FP-AI-111.....	168
FIGURA 2.69	Ventana de configuración de dispositivos del FP-AI-111.....	168
FIGURA 2.70	Ventana de configuración de canales del FP-AI-111.....	174
FIGURA 2.71	Configuración del ALL del FP-AI-111.....	175
FIGURA 2.72	Vista de la configuración del ALL del FP-AI-111.....	176
FIGURA 2.73	Diagrama de instalación del módulo.....	178
FIGURA 2.74	Conexiones básicas de campo (2 canales mostrados).....	180
FIGURA 2.75	Indicadores de estado y etiqueta del módulo FP-AO-200.....	182
FIGURA 2.76	Dimensiones mecánicas del módulo FP-AO-200.....	185
FIGURA 2.77	Editando el dispositivo FP-AO-200.....	186
FIGURA 2.78	Ventana de configuración de dispositivos del FP-AO-200.....	186
FIGURA 2.79	Ventana de configuración de canales del FP-AO-200.....	187
FIGURA 2.80	Configuración del ALL del FP-AO-200.....	188
FIGURA 2.81	Vista de la configuración del ALL del FP-AO-200.....	189
FIGURA 2.82	Caja de la interfase FIELD POINT.....	190
FIGURA 2.83	Caja de la interfase FIELD POINT.....	192
FIGURA 2.84	Diagrama de conexiones en interior de la interfase FIELD POINT.....	193
FIGURA 2.85	Panel principal de control.....	194
FIGURA 2.86	Muestra el diagrama unificar de control de encendido de bomba y calentador.....	196
FIGURA 2.87	Circuito de activación de reles de control a través del puerto LPT1.....	197
FIGURA 2.88	Muestra un diagrama esquemático de la tarjeta de la interfase y las conexiones como se encuentran en el panel de control.....	199
FIGURA 2.89	Vistas la tarjeta del mezclador y vistas inferior y superior del mezclador en el tanque.....	200

FIGURA 2.90	Vistas del interruptor de cantidad de agua procesada y vista de la tarjeta de control.....	201
FIGURA 2.91	Posición de bomba y sensores en el tanque de proceso.....	202
FIGURA 2.92	Tarjeta del control de nivel en el tanque de temperatura.....	203
FIGURA 3.1	Rutina o flujo del programa control de temperatura.vi de planta de procesos industriales de FIMCP.....	205
FIGURA 3.2	Subrutina o flujo del programa control proporcional integral derivativo o controlador pid del programa control de temperatura.vi de planta de procesos industriales de FIMCP.....	206
FIGURA 3.3	Panel principal del programa control de temperatura.vi del modulo de temperatura de la planta de procesos industriales de la FIMCP.....	209
FIGURA 3.4	Diagrama de bloques del programa control de temperatura.vi del modulo de temperatura de la planta de procesos industriales de la FIMCP.....	210
FIGURA 3.5	Icono del controlador PID.....	211
FIGURA 3.6	Panel principal y diagrama de bloques del controlador PID.....	212
FIGURA 3.7	Panel principal y del controlador PID.....	212
FIGURA 3.8	Panel de diagrama de bloques del controlador PID....	215
FIGURA 3.9.	Algoritmo matemático del controlador.....	216
FIGURA 3.10	Calculo del diferencial de tiempo.....	217
FIGURA 3.11	Calculo del error	219
FIGURA 3.12	Calculo del componente proporcional.....	220
FIGURA 3.13	Calculo del componente diferencial.....	221
FIGURA 3.14	Calculo del componente integral.....	223
FIGURA 3.15	Adquisición de datos en el lazo.....	224
FIGURA 3.16	FP OPEN.VI.....	225
FIGURA 3.17	FP Create Tag.VI.....	226
FIGURA 3.18	FP Read.VI.....	227
FIGURA 3.19	Envío de datos al FIELD POINT	227
FIGURA 3.20	FP OPEN.VI.....	228
FIGURA 3.21	FP CREATE TAG.VI.....	229
FIGURA 3.22	FP WRITE.VI.....	230
FIGURA 3.23	Interrupción y error de la comunicación	230
FIGURA 3.24	FP CLOSE.VI.....	231
FIGURA 3.25	GENERAL ERROR HANDLER.....	231
FIGURA 3.26	Panel frontal y diagrama de bloques del programa de control de temperatura.vi de la planta de procesos industriales de la FIMCP modulo de temperatura.....	233
FIGURA 3.27	Adquisición de valores por medio de LAB VIEW.....	234



FIGURA 3.28	Flujo de información de sensores hacia el control de temperatura. vi.....	235
FIGURA 3.29	Flujo de información desde la bomba y calentador hacia el programa control de temperatura. vi.....	237
FIGURA 3.30	Flujo de información desde el calentador hacia el programa control de temperatura. vi.....	239
FIGURA 3.31	Flujo de información desde el control de calentador hacia la elección de encendido y apagado del calentador.	241
FIGURA 3.32	mA to °C 1. vi o mA to °C 2. vi.....	242
FIGURA 3.33	Icono de cambiar temperatura mA. VI.....	242
FIGURA 3.34	Panel frontal y diagramas de bloques del cambiar temperatura mA. vi.....	243
FIGURA 3.35	RTD C ^a . VI.....	243
FIGURA 3.36	SELECTEMPFOCO. VI.....	244
FIGURA 3.37	CONTROL CALENTADOR-RTD. VI.....	244
FIGURA 3.38	BOMBA-ON. VI.....	245
FIGURA 3.39	Panel de diagrama de bloques BOMBA-ON. VI.....	245
FIGURA 3.40	BOMBA-OFF. VI.....	246
FIGURA 3.41	Panel de diagrama de bloques BOMBA-OFF. VI.....	246
FIGURA 3.42	CALENTADOR-ON. VI.....	247
FIGURA 3.43	Panel de diagrama de bloques CALENTADOR-ON. VI.....	248
FIGURA 3.44	BOMBA-OFF. VI.....	248
FIGURA 3.45	Panel de diagrama de bloques CALENTADOR-OFF. VI.....	249
FIGURA 3.46	Programación de elección de curva para válvula FCV1.....	250
FIGURA 4.1	Caja de disyuntores.....	254
FIGURA 4.2	Interruptor de la fuente de la interfase de encendido de bomba desde la computadora.....	255
FIGURA 4.3	Descripción del panel de control.....	253
FIGURA 4.4.	Conectores de los módulos a interfase.....	259
FIGURA 4.5.	Conectores de la computadora a interfase.....	259
FIGURA 4.6.	Curva de reacción del proceso o respuesta escalón del circuito abierto.....	269
FIGURA 4.7.	Diagrama de bloques para la prueba escalón con circuito abierto.....	271
FIGURA 4.8.	Respuesta escalón de un proceso de primer orden más tiempo muerto en la que se ilustra la definición gráfica de tiempo muerto, t_0 y constante de tiempo T.....	272
FIGURA 4.9.	Parámetros del modelo POMTM que se obtienen mediante el método 1.....	273

FIGURA 4.10.	Parámetros del modelo POMTM que se obtienen mediante el método 2.....	274
FIGURA 4.11.	Cambio de automático a manual.....	277
FIGURA 4.12.	Imagen de la parte de control y elección de proceso a controlar.....	278
FIGURA 4.13.	Respuesta de un sistema a un salto escalón.....	279
FIGURA 4.14.	Parámetros del modelo POMTM en la respuesta de un sistema a un salto escalón.....	280
FIGURA 4.15.	Respuesta del sistema de control de nivel a un salto escalón.....	282
FIGURA 4.16.	Salto escalón en la apertura de la válvula de control de 4 -13 mA.....	283
FIGURA 4.17.	Instante en el que se produce el salto escalón.....	285
FIGURA 4.18.	Observación grafica del momento del salto escalón al momento en que el sistema reacciona.....	286
FIGURA 4.19.	Parámetros del modelo POMTM en la respuesta del sistema del módulo de temperatura a un salto escalón.....	287
FIGURA 4.20.	Gráfica de la respuesta del sistema a variaciones en el punto de control.....	292
FIGURA 4.21.	Respuesta del sistema de control de nivel a un salto escalón de T2 a medio nivel.....	296
FIGURA 4.22.	Salto escalón en la apertura de la válvula de control de 4 -13 mA de T2 a medio nivel.....	296
FIGURA 4.23.	Instante en el que se produce el salto escalón en T2 a medio nivel.....	298
FIGURA 4.24.	Parámetros del modelo POMTM en la respuesta del sistema del módulo de temperatura a un salto escalón en T2 a medio nivel de tanque.....	299
FIGURA 4.25.	Gráfica de la respuesta del sistema a variaciones en el punto de control en T2 a medio nivel de tanque.....	304
FIGURA 4.26.	Respuesta del sistema de control de nivel a un salto escalón de T2 a nivel lleno de tanque.....	308
FIGURA 4.27.	Salto escalón en la apertura de la válvula de control de 4 -13 ma de T2 a nivel lleno de tanque.....	308
FIGURA 4.28.	Instante en el que se produce el salto escalón en T2 a nivel lleno del tanque.....	310
FIGURA 4.29.	Parámetros del modelo POMTM en la respuesta del sistema del módulo de temperatura a un salto escalón en T2 a nivel de tanque lleno.....	311
FIGURA 4.30	Gráfica de la respuesta del sistema a variaciones en el punto de control en T2 a nivel lleno de tanque.....	316

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1	Partes y equipos del lazo de temperatura.....26
Tabla 2	Especificaciones técnicas del módulo FP-1000..... 157
Tabla 3	Terminales Asignadas para el FP-AI-111..... 167
Tabla 4	Rango de señales de entrada (Seleccionado por medio del programa FieldPoint Explorer para cada canal).....170
Tabla 5	Fijación del filtro (Seleccionado por medio del programa FieldPoint Explorer para cada canal).....170
Tabla 6	Terminales Asignadas para el FP-AO-200.....180
Tabla 7	Formulas para ajuste de razón de asentamiento de un cuarto.....290

ÍNDICE DE PLANOS

- Plano 1 Diagrama de conexiones en interior de la interfase Field Point.
- Plano 2 Diagrama de bloques del programa control de temperatura.vi del modulo de temperatura de la planta de procesos industriales de la FIMCP.
- Plano 3 Diagrama de bloques del programa control de temperatura.vi del modulo de temperatura de la planta de procesos industriales de la FIMCP.

INTRODUCCIÓN

Como parte de la modernización de los Laboratorios de la FIMCP se crea la necesidad de restaurar y mejorar equipos, con las más nuevas tecnologías de control por computadoras y sistemas SCADA, mejorando tanto la eficiencia y precisión de estos equipos.

Dentro de este marco se propuso el proyecto de actualización de la planta de procesos del laboratorio de procesos industriales de la FIMCP, este proyecto propone la recuperación de la planta de procesos para convertirla en una herramienta de laboratorio para el estudio de los procesos más comunes en la industria y toda la instrumentación que conlleva.

Esta tesis abarca la recuperación de uno de los tres módulos que compone la planta de procesos, el módulo de temperatura, y la implementación de un control digital virtual que reemplace a los anteriores controladores neumáticos, mediante el uso de interfaces de control digital y la creación de software para el control del módulo desde un computador personal.

La facilidad de operación y la permanencia en la calibración de los controles digitales, convertirán al módulo de temperatura en una buena herramienta didáctica para la ejecución de prácticas de laboratorio.

El módulo de control de temperatura permitirá realizar prácticas de ajuste de controlador para el curso de sistemas de control, el controlador digital virtual es programado con las mismas características matemáticas de un controlador neumático, lo que permite que se puedan demostrar en el laboratorio las teorías expuestas en clase, durante la práctica los alumnos aprenderán las técnicas para el ajuste de un sistema de control, a pesar que en un futuro los controladores serán una simple pieza del sistema de control de procesos, las técnicas aquí expuestas seguirán siendo la base de la operación de dichos controladores.



CIB-ESPOL



CIB-ESP

CAPITULO 1

1. MODULO DE TEMPERATURA

1.1 Introducción al modulo de temperatura

El lazo de control de temperatura es el prototipo de un sistema de control que constituye la parte importante de muchas plantas industriales donde el principal objetivo es la optimización de operaciones y beneficios que el control automático ofrece. En tal virtud, se construyó este sistema para simular pruebas que pudieran ocurrir en la práctica, tener una idea de los problemas que se puedan presentar, estudiar la manera de enfrentarlos, para finalmente elegir la mejor solución.



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL

El **sistema total** mencionado lo constituyen el **sistema a controlar** y el **lazo de control en sí**.

El **sistema a controlar**, lo conforman todo el sistema "no inteligente" (sin control) desde la operación de bombeo en el suministro de agua hasta la operación de drenaje. El circuito lo conforman en su orden:

sac1) el suministro de agua con su tubería y válvulas manuales de compuerta,

sac2) el tanque de reserva con el elemento de proceso (agua),

sac3) la bomba de succión, instalada a continuación del tanque de reserva,

sac4) el tramo de tubería y válvula manual de compuerta para retorno al tanque de reserva del suministro de agua en sobrepresión,

sac5) los tramos de tuberías, válvulas (check, manuales: de compuerta y globo), y accesorios instalados antes de sac6,

sac6) el tanque calentador,

sac7) los tramos de tubería, válvulas (check, manuales: de compuerta y

globo) y accesorios antes del primer proceso a controlar, más el tramo de tubería y accesorios antes del segundo **proceso a controlar desde sac6,**

sac8) el primer proceso a controlar, que lo integran las tres opciones o vías de acceso por donde circulará el fluido de proceso. Dichas vías se presentan como serpentines, dos de los cuales tienen forma helicoidal y recta cuya finalidad es la de medir y comparar la respuesta en condiciones rápidas,

sac9) el segundo proceso a controlar, o tanque de proceso con su fluido de proceso en condiciones consideradas lentas,

sac10) los tramos de tuberías, accesorios y válvulas manuales de compuerta hasta la descarga al tanque de reserva o al ambiente desde sac9.



CIB-ESPOL

Cabe destacar que dentro de este sistema, se han instalado un termostato eléctrico de dos posiciones, a la salida del tanque calentador para seguridad del mismo para regular la cantidad de: agua caliente a la salida de la válvula de control.

El **lazo de control**, lo conforman todo el equipo de instrumentos,



[CIB-ESPOL



CIB-ESPOL

conexiones neumáticas, eléctricas, electrónicas y accesorios que hacen posible el control de los procesos dentro del sistema a controlar. Nace desde las fuentes de suministro neumáticas o electrónicas y eléctricas.

Si el **lazo de control de temperatura** es de tipo **neumático** la fuente de suministro utilizada es de naturaleza neumática y eléctrica. La fuente de suministro de aire es un compresor eléctrico, el cual proporciona el fluido o caudal y la presión de operación requeridos de acuerdo a la necesidad de cada uno de los instrumentos existentes en el lazo. La presión fijada en el compresor debe ser mucho mayor que la presión de operación de los instrumentos, para garantizar que en ellos obtendremos el suministro deseado, debido a las pérdidas que se producen en las cañerías y accesorios que forman el circuito. Además que, se debe considerar que las válvulas servo piloteadas trabajan a una presión de operación superior a la de suministro de los instrumentos. El circuito de control empieza desde el compresor hasta el cierre de dos válvulas neumáticas que impiden el paso de aire hacia los lazos de control de presión y caudal en el siguiente orden:

lz1) compresor de aire, con sus válvulas de drenaje,

lz2) tramos de tubería con sus accesorios hasta la entrada del laboratorio

de controles antes de la unidad de mantenimiento general, con su válvula de compuerta y drenaje antes de lz3,

lz3) A continuación, se construyó una bifurcación del suministro de aire hacia la entrada del lazo de control de nivel y caudal y hacia el lazo de control de temperatura,

lz4) tramos de tubería, cañería y accesorios con sus válvulas de paso cada uno hasta la entrada de los lazos de control mencionados en lz3,

lz5) tramo de cañería, filtro, accesorios y válvula neumática de bola, que permiten la toma de suministro general dentro del lazo de control de nivel y caudal y bloqueo del paso de aire hacia el lazo de control de presión,

lz6) tramos de cañería, válvula de paso neumática, filtro, y primer regulador de presión de aire con sus accesorios, que representan la primera toma de aire de suministro hacia algunos instrumentos de control que utilizaremos en el circuito,

lz7) tramos de cañería y segundo regulador de presión de aire con sus accesorios, que representan la segunda toma de aire de suministro hacia

los restantes instrumentos de control y toma del servo pilotaje de las válvulas que producirán las fallas en el circuito de control,

lz8) todos los instrumentos de control que son en su orden:

Transmisores, controlador y válvula que se utilizarán en el circuito eléctrico-neumático, más los convertidores de corriente a presión y viceversa que operarán en el circuito electro neumático con la computadora y el control electrónico. El estudio del circuito eléctrico-neumático será básicamente una de las herramientas para el objetivo de nuestras pruebas,

lz9) todos los otros tramos de cañerías, válvulas neumáticas servo piloteadas, válvulas de paso neumáticas y accesorios que servirán para cerrar el circuito de control. En ellos se incluyen los tramos de cañerías que llevan la señal de salida y de entrada entre los instrumentos.

Esquemas principales

Sistema a controlar

Referirse a la figura 1.1

Lazo de control

Referirse a la figura 1.2

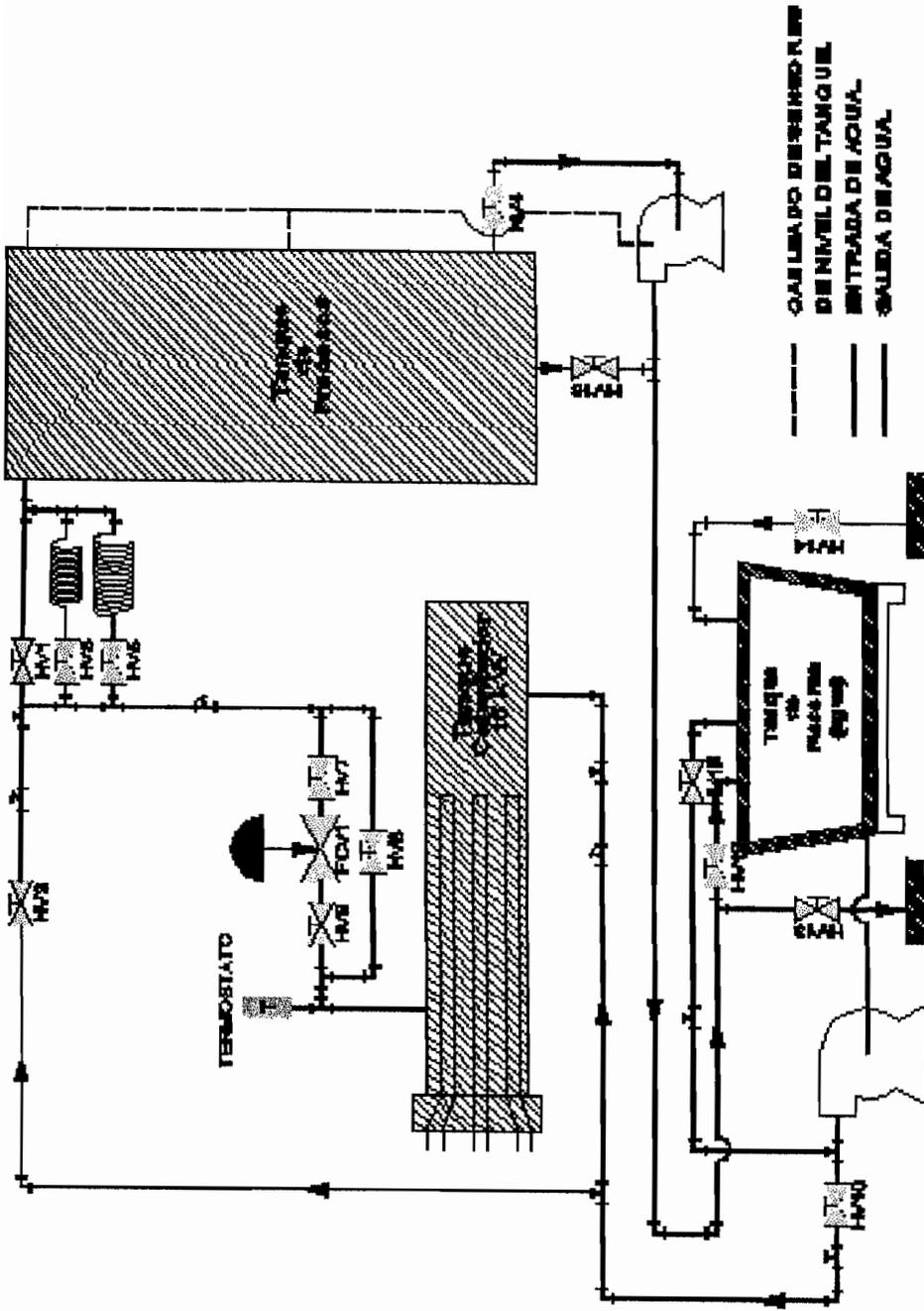


FIGURA 1.1 SISTEMA A CONTROLAR

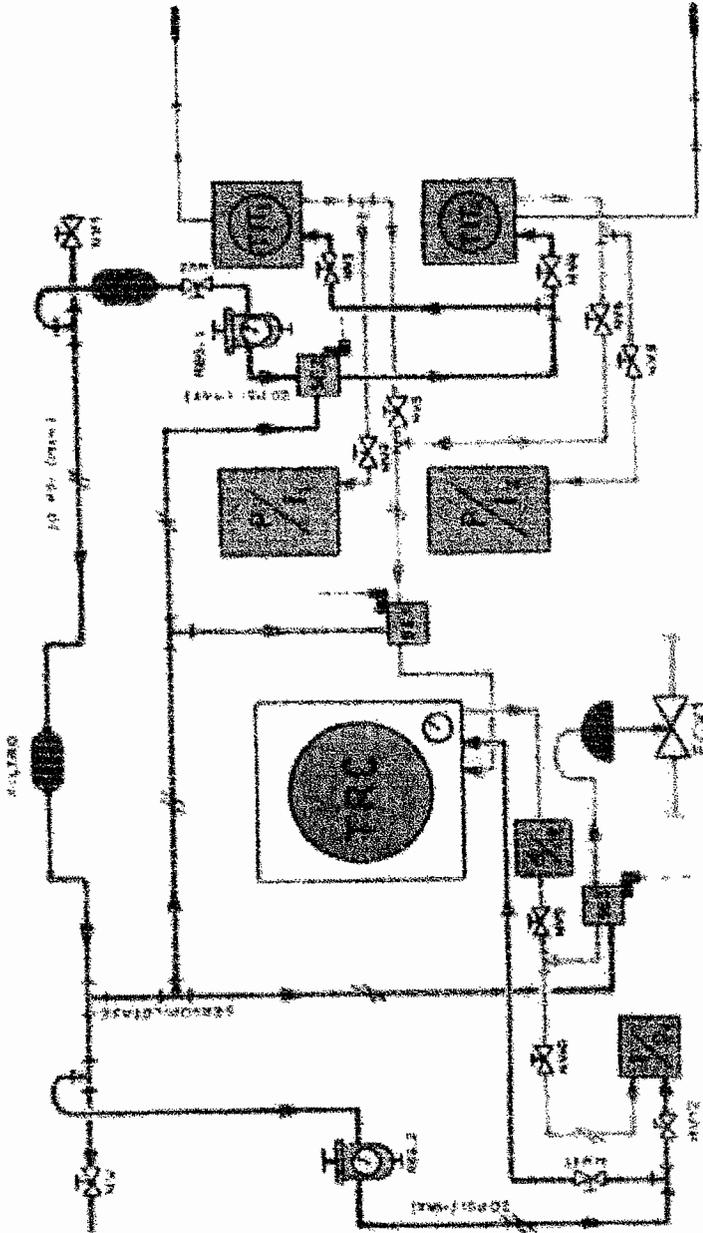


FIGURA 1.2 CONEXIONES NEUMATICAS DEL LAZO DE CONTROL DE TEMPERATURA.

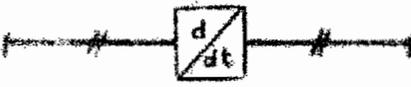
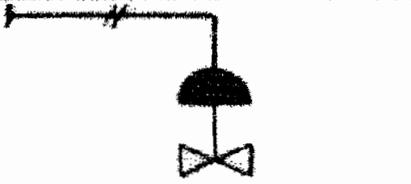
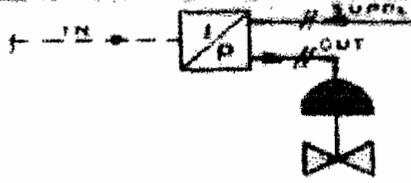
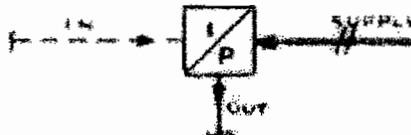
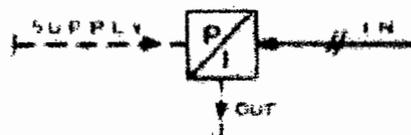
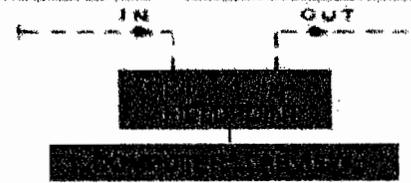
DESCRIPCION	DESIGNACION Y REPRESENTACION
PRE-ACTUADOR ESTABILIZADOR	
ELEMENTO FINAL DE CONTROL VALVULA DE CONTROL DE FLUJO DE ACCIONAMIENTO NEUMATICO FCV1	
ELEMENTO FINAL DE CONTROL OPCION DE CONTROL ELECTRONICA	
CONVERTIDOR DE CORRIENTE DC A PRESION NEUMATICA CON SUMINISTRO DE AIRE	
CONVERTIDOR DE PRESION NEUMATICA A CORRIENTE D.C. SUMINISTRO DE CORRIENTE A.C.	
CONTROLADOR ELECTRONICO DE CORRIENTE D.C.	

FIGURA 1.3 DESCRIPCION, DESIGNACION Y REPRESENTACION DE LOS ELEMENTOS DEL PANEL DE CONTROL DE TEMPERATURA.

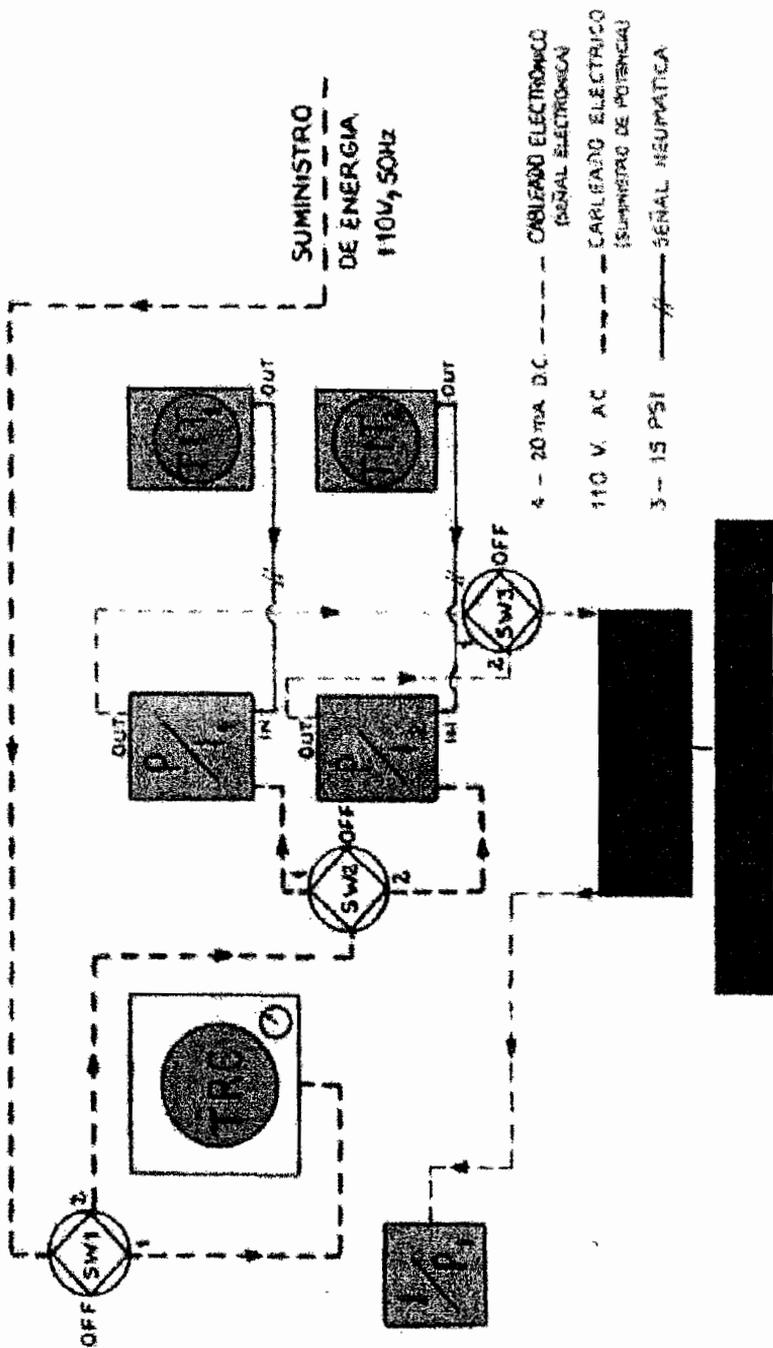


FIG.

FIGURA 1.4 CONEXIONES ELECTRICAS Y ELECTRONICAS DEL LAZO DE CONTROL DE TEMPERATURA.

1.2 Descripción del modulo de temperatura

Sistema a controlar

El sistema a controlar lo podemos definir de dos maneras:

a) de *circuito abierto*,

b) de *circuito cerrado*,

En **circuito abierto**, participan todos los elementos descritos en los literales sac del numeral 1.1, pero, funcionando con la **descarga a la calle** del fluido de proceso (no es recogido en el tanque de reserva). En **circuito cerrado**, también existe tal relación, pero, funcionando con la **descarga hacia el tanque de reserva**.

El sistema a controlar lo conforman los siguientes elementos armados en una estructura metálica de 251cm*200cm*51cm sobre cuatro carruchas soldadas, fabricada con ángulo de 4cm*2mm de espesor:

- 1) Bomba marca: Franklin Eléctrica!, de 0.5 HP, 3450 r.p.m y 115/230V.
- 2) Tanque de depósito (reserva) de Eternit, para almacenamiento de agua con capacidad de 1m³ de color azul,

3) Tanque calentador cilíndrico, construido con plancha de acero de 3 mm, de 16cm de diámetro y longitud 168.5 cm, con tres resistencias eléctricas internas en forma de "U", cuya capacidad es de 30 Kw., emperrado a la estructura y aislado térmicamente.

4) Recipiente de almacenamiento cilíndrico (llamado **proceso**), construido con plancha de acero de 2 mm de espesor, de 31.7 cm de diámetro y longitud 124.5 cm., soldado a la estructura; con sencilla tapa metálica circular, pedazo de tubo de pvc instalado en la carga del proceso, dos boquillas soldadas para colocar el control visual de nivel.

5) Válvulas de compuerta manuales de paso de flujo, para tubería de acero galvanizada, **HV**:

–nueve válvulas de Taiwán , de $\frac{1}{2}$ " de diámetro,

–cuatro válvulas marca: NIBCO, de $\frac{1}{2}$ " de diámetro, con las siguientes inscripciones: T-113, 125 SWP, 200 WOG,

–una válvula marca: NIBCO, de $\frac{3}{4}$ " de diámetro, con los siguientes registros: T-113, 125 SWP, 200 WOG,

–una válvula marca: NIBCO, de 1" de diámetro, con las siguientes inscripciones: T-113, 125 SWP, 200 WOG,

6) Válvulas de globo manuales, para tubería de acero galvanizada, **HV**, reguladoras de flujo: una de 1" y otra de ½".

7) Tres válvulas check (paso en un solo sentido), para tubería de acero galvanizada de ½" de diámetro marca NIBCO, con las siguientes inscripciones:

- una válvula: 125 SWP, 200 WOG,
- dos válvulas: 300 SWP, 600 WOG.

8) Accesorios y tuberías de acero galvanizada en diámetros de:

- codos de 90° : 26 de ½", 2 de ¾" , 3 de 1", 2 de 2",
- T: 22 de ½", 4 de 1", 2 de ¾",
- Y: 1 de ½",
- uniones universales: 1 de 3/8", 13 de ½", 2 de 1", 1 de 2",
- reducciones: 1 de 1-1/2" a 1", 1 de 1" a ¾", 10 de 1" a ½", de ¾" a ½", 1 de ½" a 3/8".

Se instalaron accesorios "T de ½" con sus reducciones a ¼" y tapones, sirven para medir la presión de agua en determinados puntos donde eventualmente se colocarán dos manómetros con rosca de ¼".

9) Tuberías y cañerías en diámetros de:

- de ½". Long. aprox.: 23 m de ¾" . Long. aprox.: 0.4 m.
- de 1". Long. aprox.: 1. 7m.
- de 2". Long. aprox.: 0.3 m.
- 1 serpentín de cobre 5/16" O.D. Long. aprox.: 5.34 m. con sus conectores y reducciones desde tubería de ½".
- 1 serpentín de cobre 3/8" O.D. Long. aprox.: 6.62 m. con sus conectores y reducciones desde tubería de ½"

10) Aislamiento:

Pares de ½" canutos de lana de vidrio para tubería de ½" galvanizada en longitud de 4m y mantas del mismo material para el tanque calentador, de acuerdo al cálculo de espesor óptimo. En el montaje se utilizó como forro, retazos de lienzo pegado con cola blanca y capas de pintura de caucho color blanco hueso.

El sistema a controlar del lazo de Temperatura, dispone de 18 válvulas

manuales, entre las que se encuentran 2 válvulas de globo para regular el flujo de agua y 16 válvulas de compuerta de simple apertura y cierre. Aquellas, instaladas, enumeradas y codificadas en el tablero del panel principal. La simbología utilizada para su reconocimiento es HV#, donde el símbolo "#", se reemplazará por el número de la válvula que queremos describir; por ejemplo la válvula manual 1, se identificará como **HV1**, y así sucesivamente.

La descripción y funcionamiento de las válvulas en todos los lazos asociados, igual que aquellos, es independiente, trabajando uno a la vez. Esto, es apropiado para el entendimiento, no mecanizado de cada sistema. Las válvulas HV10 y HV15 son para tubería de 1", HV16 para tubería de $\frac{3}{4}$ " el resto para tubería de $\frac{1}{2}$ " de diámetro. HV10 y HV2 son las dos válvulas de globo reguladoras de flujo, la primera se encuentra instalada en el suministro de agua después de la bomba de 1" y la segunda, en la entrada de agua fría de mezcla, al primer proceso, con $\frac{1}{2}$ " de diámetro.

La ubicación de las válvulas check que son para evitar el retorno de agua, las sobrepresiones, y los choques térmicos, es la siguiente: en el retorno de agua caliente desde el calentador, en el retorno de agua caliente de mezcla desde el primer proceso (en su entrada), y a la entrada de agua fría de mezcla al primer proceso o retorno de agua fría.

Sobre las "T" galvanizadas, 11 son para tomar lecturas manométricas, 10 con sus reducciones de $\frac{1}{2}$ " a $\frac{1}{4}$ " de diámetro, con sus tapones de $\frac{1}{4}$ " y una con las siguientes reducciones: 1" a $\frac{3}{4}$ " de $\frac{3}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ " de $\frac{1}{2}$ " a $\frac{1}{4}$ ".

De las reducciones galvanizadas, 5 están soldadas al tanque de proceso, 2 soldadas al tanque calentador, 2 instaladas en el sistema de tuberías después de la válvula de suministro de agua de 1" de diámetro, 1 en el retorno al tanque de reserva cuando hay sobrepresión en la bomba.

En cuanto a la válvula neumática de control de flujo que pertenece al lazo de control y que enlaza el sistema a controlar será identificada en el tablero del panel como **FCV1 o TCV1**.

Funciones de las válvulas HV1 y FCV1

Válvula HV1: Permite o restringe la entrada de agua hacia la mezcla en el **primer proceso**, por la **Opción1** o serpentín R1 (se trata de tubería de $\frac{1}{2}$ " de diámetro, la misma que se encuentra aislada térmicamente).

En este punto o válvula se encuentran el agua fría y caliente que siguen por dos caminos diferentes.



Válvula HV2: Permite o restringe el paso de **agua fría**, única vía de llegada hacia la mezcla. Viene bifurcada hacia la tubería del tanque calentador y hacia la tubería de entrada a la mezcla a través de una "Y" que nace del tanque de suministro o de reserva, pasando por la bomba y por la válvula HV10.

Válvula HV3: Entrada del flujo de agua hacia la mezcla en el **primer proceso** en **R2**, o serpentín de enfriamiento de cobre de 5/16" de diámetro u **opción2**, según el tablero del panel central.

Válvula HV4: Salida del flujo de agua desde el tanque de procesos hacia la bomba para luego ir al desfogue o recirculación del flujo, manteniendo el nivel de agua requerido mediante sensores de nivel.

Válvula HV5: Podemos permitir o anular el paso de agua mezclada hacia el serpentín de enfriamiento de cobre **R3**, u **opción3**, de 3/8" de diámetro, perteneciente al **primer proceso**.

Agua mezclada circulará a través de las **3 opciones** del **primer proceso**, abriendo cualquiera de las válvulas correspondientes (una a la vez), la señal de entrada de temperatura será obtenida por el sensor del transmisor indicador neumático **TIT1**, información obtenida antes de ingresar el fluido al **segundo proceso**. El objeto de pasar el agua

mezclada a través de los serpentines es el de observar la respuesta a través de ellos.

Las válvulas HV1, HV3 y HV5 se definen como el punto de encuentro o punto de mezcla de aguas fría y caliente.

Válvula HV7: Cierra o abre el paso del flujo de agua caliente en la vía: calentador de agua - HV9 - FCV1- HV7, constituyéndose en la última válvula por donde circula el agua caliente por la vía de la válvula de control de flujo hacia el punto de mezcla.

Válvula HV8: Acceso de agua caliente directamente desde el calentador hacia el punto de mezcla sin pasar por la vía de la válvula de control FCV1. Puede desempeñar la función de una válvula no automática de las de globo, controlada manualmente de acuerdo al requerimiento detectado por la vista o el tacto. Se la puede utilizar cuando el sistema esté funcionando a través de ella, mientras se da mantenimiento, se calibra o desmonta FCV1; entre tanto, se encuentra en stand-by, cerrada.

Válvula HV9: Es parte de la unidad de mantenimiento que permite, ajustar, calibrar o desmontar la válvula FCV1 para ajuste mayor, y permite o restringe el flujo de agua caliente desde la salida del

calentador en la vía hacia la válvula de control.

Válvula HV10: Válvula regula flujo. A través de la cual suministramos agua fría al sistema, relativa al proceso, que será dirigida hacia la bifurcación por una "Y" de ½"galvanizada, la misma que entregará agua "fría" al calentador y a la entrada de los dos procesos. En resumen, regula el flujo de agua de suministro estabilizando el sistema. Se encuentra instalada en este orden: a continuación del retorno de agua para depresión de la bomba, la salida de esta y el tanque de reserva. Cuando trabajamos, con el lazo de temperatura o los lazos de presión, caudal y nivel, se deberán cerrar las válvulas para el acceso de agua de suministro hacia dichos lazos.

Válvula HV11: Permite o restringe el paso del flujo de agua de retorno que viene del tanque del segundo proceso y que pasa previamente por la válvula HV6, si el nivel en el tanque de proceso no ha alcanzado la altura del orificio practicado en la pared lateral del tanque o simplemente cuando queremos descargar el tanque, sin considerar el nivel en él. Aísla el sistema de control de caudal y nivel con el de temperatura, minimizando los errores de control del sistema primeramente citado, ya que por la descarga del mismo y por el principio de vasos comunicantes, cuando está en funcionamiento se descarga agua hacia el lazo de temperatura.

Válvula HV12: Entrega el agua de proceso al tanque de suministro. El agua que viene de los procesos es el retorno. El retorno podría llegar hasta el tanque de suministro como a la tubería de desagüe. Si el retorno es a la tubería de desagüe (a la calle), el sistema es de circuito abierto, en el otro caso es de circuito cerrado.

Válvula HV13: Entrega el agua de retorno desde el proceso directamente hacia el desagüe. Las válvulas HV12 y HV13 son de retorno de agua y están ubicadas a continuación de la válvula HV11 en el retorno. Estas pueden estar abiertas para descargar el agua del proceso a la calle o al tanque ó a la calle y al tanque de suministro.

Válvula HV14: Por cuyo intermedio, permitimos o cerramos el paso de agua fresca al tanque de suministro de acuerdo al requerimiento del sistema o la necesidad del caso. Se encuentra muy próxima al tanque de suministro.

Para efectos de evitar una posible sobrepresión en las tuberías o en el tanque calentador por estrangulamiento de flujo, debido al cierre de alguna válvula en el sistema ya que la bomba trabaja continuamente sin protección contra las altas presiones (presostato). Desahogamos el

sistema desde una bifurcación a continuación de la salida de la bomba de tal manera que parte del caudal bombeado regrese al tanque de reserva cuando ocurren estas sobrepresiones (otra salida emergente es abriendo la válvula HV8 si se cerrara permanentemente FCV1), y se controlan las presiones mediante *tomas* de presiones instaladas a lo largo del sistema. Aquello permite tener control de las presiones de operación, de las válvulas manuales de flujo y evitar que se dañen por golpeteo.

En nuestro caso se ha calibrado la válvula FCV1 para que nunca este completamente cerrada y tenga una abertura para evitar también la producción de vapores y sobrepresiones.

Al respecto de la bifurcación, es practicada en la línea de alimentación de agua en el lazo de control de temperatura, sin alimentación hacia los otros lazos de control y para retorno del exceso a la reserva. En tanto que, cuando se desee trabajarlos, la bomba envíe todo su caudal, cerrando la válvula de retorno y abriendo las correspondientes.

Se utilizan tres válvulas adicionales en el orden a la reserva. HV15,

HV16 y HV17. La primera, permite al flujo desde la bomba, dirigirse hacia el lazo de control de presión, siendo esta para tubería de 1" en diámetro. El flujo de agua hacia el citado lazo no se le debe permitir llegar al interior de su tanque de proceso, cuando es el requerimiento, por dicho motivo, se instaló la válvula HV16 para tubería de $\frac{3}{4}$ " en diámetro, que cierra el paso de suministro por dicha vía. A continuación, y antes de la instalación de la válvula precedente, se construyó otra bifurcación, que permite el retorno del agua desviada en primera instancia, hacia el tanque de reserva. Se instaló previamente, otra válvula para tubería de $\frac{1}{2}$ ". HV17 por si se requiere, no regresar el agua hacia la reserva y que continúe su marcha hacia el sistema de presión.

En todo caso si el objetivo es reducir el caudal para cualquiera de los lazos, la bifurcación practicada desahogará a la bomba, ya que siempre trabajará al caudal para la que fue diseñada y cualquier restricción en una válvula elevará la presión en la bomba y en las tuberías.

Válvula HV18: Del tipo de las de bola para tubería galvanizada de diámetro 1" permite o cierra el paso de flujo de agua hacia el sistema de caudal y nivel.

Con el objeto de optimizar el funcionamiento del sistema se instalaron tres válvulas check, para evitar retornos de agua caliente o fría que producirían eventuales errores de funcionamiento, choques térmicos bruscos, altas temperaturas y contrapresiones en mecanismos, en la siguiente disposición;

- 1) Antes de la entrada del flujo de agua fría al tanque calentador,
- 2) A la salida del agua caliente desde el calentador y antes de la entrada al punto de mezcla,
- 3) En la bifurcación del agua fría antes del encuentro con el punto de mezcla.

Lazo de control

La tabla 1, a continuación nos ayudará a identificar los instrumentos utilizados en el lazo de control de temperatura. Se escribirá el número, la descripción, la cantidad existente y su abreviatura según la bibliografía, lo conforman los siguientes instrumentos de la marca *Taylor*

TABLA 1
PARTES Y EQUIPOS DEL LAZO DE TEMPERATURA

Nº	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	ABREVIATURA
1.	Transmisor Indicador neumático de temperatura	2	TIT1 TIT2
2.	Controlador Registrador neumático de temperatura	1	TRC
3.	Transductor o convertidor de presión de aire a corriente	2	P/I1 P/I2
4.	Transductor o convertidor de corriente a presión de aire	1	I/P1
5.	Válvula neumática regula flujo para control de temperatura	1	FCV1 TCV1
6.	Regulador de presión de aire	2	Reg.1 Reg.2

Convertidores

La instrumentación industrial también utiliza los transductores llamados convertidores cuya función más importante es cambiar la naturaleza de la señal de entrada para convertirla en otra forma de energía equivalente a la señal de salida. Generalmente, estos instrumentos necesitan de una fuente energética llamada suministro de energía, el cual es de la misma naturaleza que la señal de salida. Con ellos podemos hacer una serie de combinaciones neumáticas y electro neumáticas que ayudarán a crear otras formas de control dentro de un lazo de control.

En un momento dado pueden llegarse a convertir en fuente de corriente directa en el rango de 4 a 20 miliamperios a partir de suministro de corriente alterna de 120 V. y entrada de aire de 3 a 15 psi, o fuente de presión de aire de 3 a 15 psi a partir de suministro de aire de 20 psi. y entrada de corriente directa de 4 a 20 miliamperios, escribiendo sobre los convertidores del lazo de control de temperatura

1.2.1 Descripción del transductor de corriente a presión.

Transductor que convierte la señal de entrada de corriente en el

rango 4 a 20 mA. d.c. en señal de salida de presión de aire en el rango de 3 a 15 psi, existiendo para esto un suministro de presión de aire de 20 psi., recomendados.

Descripción de funcionamiento u operación

El transductor es instrumento de balance de fuerzas que balancea una fuerza electromagnética contra una fuerza de realimentación neumática. Un diagrama esquemático del transductor es presentado en la Figura 1.5

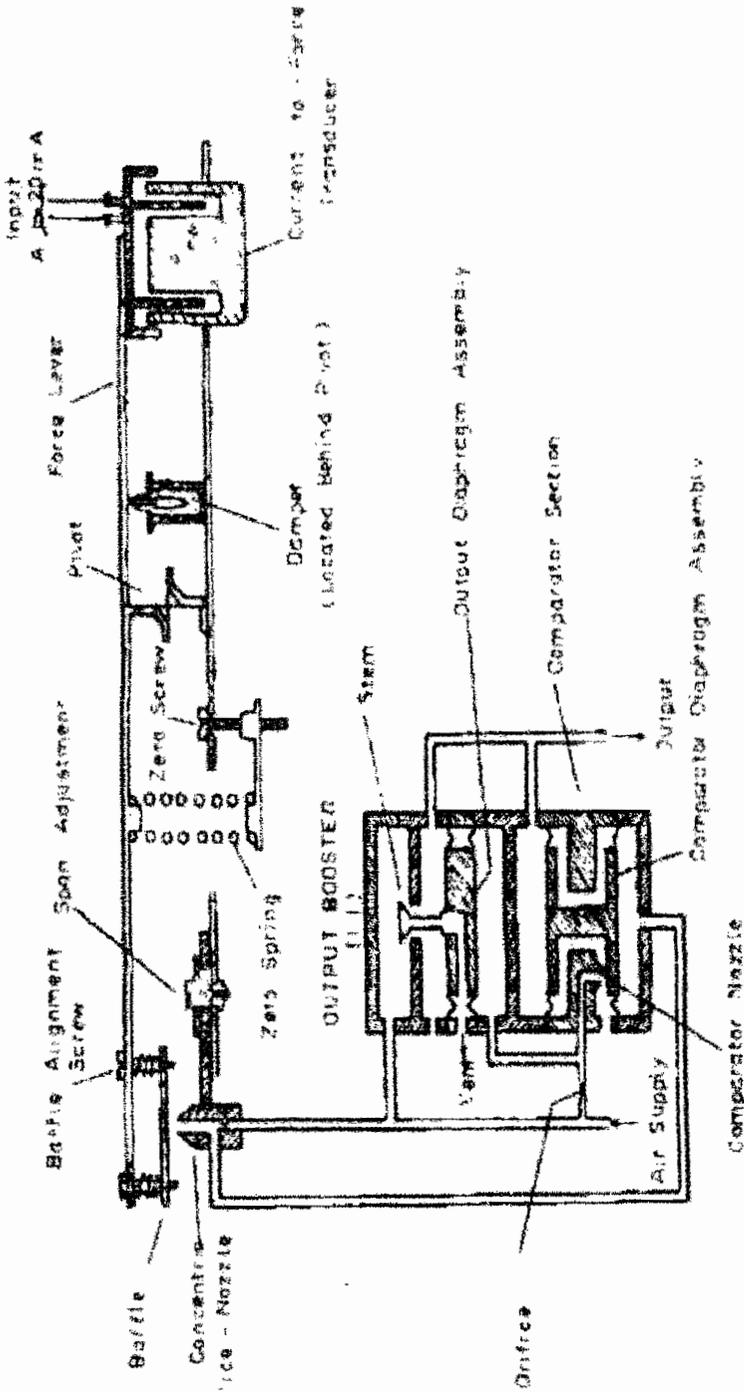


FIGURA 1.5. DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL TRANSDUCTOR I/P

La señal de entrada de corriente es aplicada al devanado del transductor de corriente a fuerza que es montada en un extremo de la palanca de fuerza. La palanca de fuerza pivotea sobre un elemento flexible. Un deflector ajustable es montado sobre el otro extremo de la palanca de fuerzas. La bobina del transductor es suspendida en el claro de un imán permanente. Como el flujo de corriente a través de la bobina del transductor aumenta, la bobina se mueve hacia arriba y afuera del claro del imán. Esto levanta a la bobina del brazo de la palanca de fuerza.

En el otro extremo del brazo de la palanca está el extremo del deflector con una boquilla ensamblada localizada debajo de él. La presión de aire desde la boquilla aplica una fuerza neumática al deflector que se opone a la fuerza electromagnética de la bobina del transductor. La presión trasera desde la boquilla es la presión de salida del transductor.

El ajuste de cero es un tornillo que comprime un resorte. El ajuste del rango es un par de destornilladores de ajuste de levas que posicionan la boquilla respecto al pivote de la palanca de fuerzas.

La señal de salida operará los demás instrumentos neumáticos.

Cuando mayor capacidad de aire es requerida, el impulsor de salida 1:1 es usado.

En la Fig. 1.6 se observa la disposición previa de las conexiones eléctricas y neumáticas del convertidor I/P, como se observa desde la parte externa y en la Fig. 1.7 se presenta la diagramación eléctrica del convertidor como se instala en la parte interna.

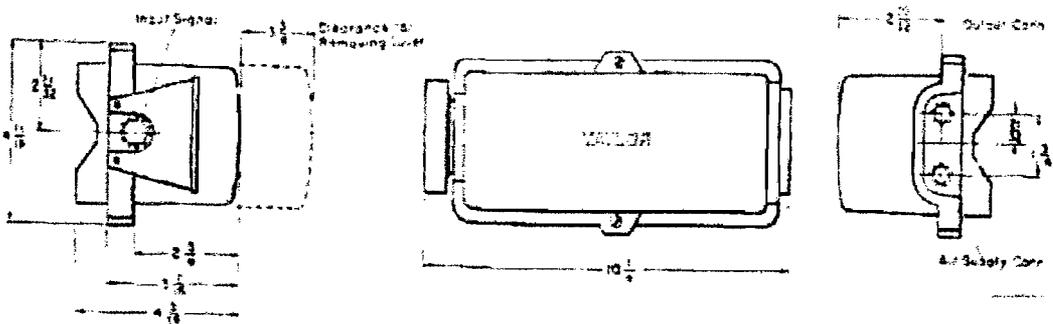
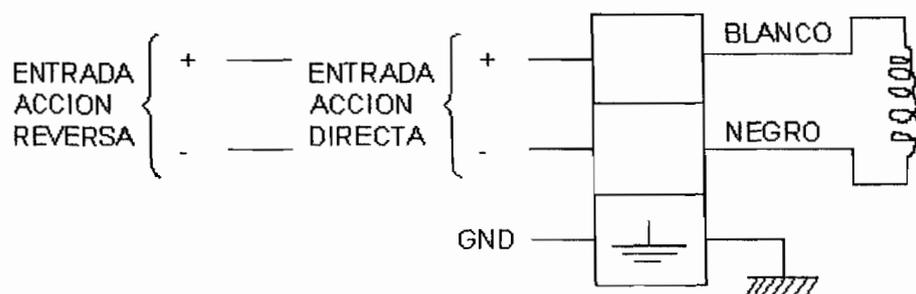


FIGURA 1.6 DISPOSICION DE LAS CONEXIONES ELECTRICAS Y NEUMATICAS DEL CONVERTIDOR I/P OBSERVADAS DESDE LA PARTE EXTERNA

**SEÑAL DE ENTRADA:**

- 4 A 20 mA d.c.
- 8 mA d.c. del span para dividir el rango de operación de la valvula; 1401T solamente

NOTAS:

1. Todos los cables de señal serán enlazados en pares.
2. Algun span de 6 mA entre los límites de 4 mA y 20 mA puede ser obtenido ajuste del tornillo de cero.

FIGURA 1.7 DIAGRAMA Y ESQUEMA DE CONEXIÓN ELECTRICA DEL CONVERTIDOR I/P

1.2.2 Descripción del transductor de presión a corriente P/I.

Pre-chequeo antes del arranque

Antes de poner el transductor en funcionamiento, asegurarse de instalar apropiadamente y en condición de operación para chequear lo siguiente:

1. El voltaje y la frecuencia están de acuerdo con los datos estampados en la placa de datos.
2. Las conexiones eléctricas son las correctas. Referirse al diagrama de conexión Fig. 1.8
3. La señal de entrada esté conectada en el puerto correcto Fig. 1.9 y no hay ninguna fuga.

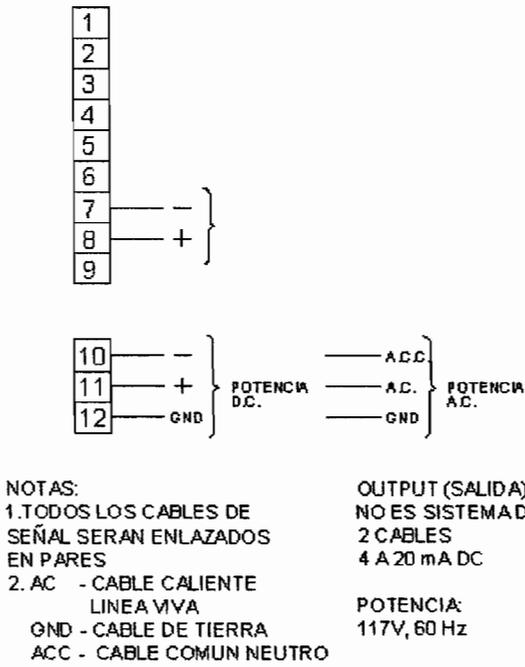


FIGURA 1.8 DIAGRAMA DE CONEXIÓN ELECTRICA DEL CONVERTIDOR P/I.

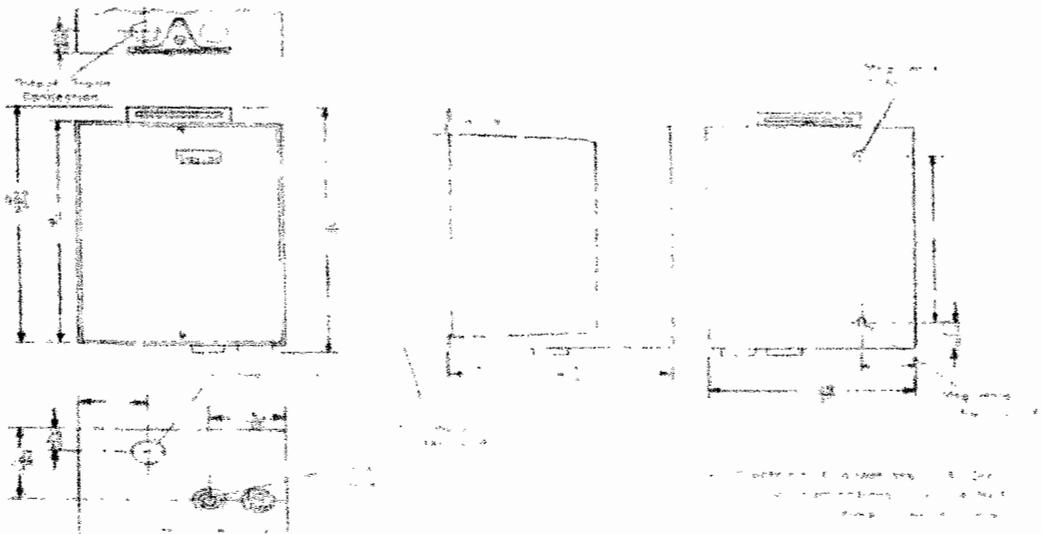


FIGURA 1.9 MONTAJE Y CONEXIÓN DE LAS SEÑALES ELECTRICAS Y NEUMATICAS DEL CONVERTIDOR P/I.

Descripción de funcionamiento u operación

El transductor opera en el principio de equilibrio de fuerzas. La fuerza desarrollada por los fuelles de entrada es equilibrada por la fuerza producida por la señal de salida de 4 a 20 mA. d actuando sobre el transductor complementario. Un diagrama esquemático del transductor se muestra en la Fig. 1.10.



CIB-ESPOL

Un incremento en la presión de los fuelles de entrada provoca que la palanca de fuerza pivotee.

Atado a la palanca de fuerza está el resorte de cero, la placa del detector y la bobina del transductor complementario.



CIB-ESPOL

El movimiento de la placa del detector varía la reluctancia del espacio de aire del detector.

Un oscilador excita el devanado primario del detector. La cantidad de esta energía que aparece en el devanado secundario del detector, depende de la densidad de flujo ligada a las bobinas y se relaciona directamente a la posición de la placa del detector. La señal del devanado secundario del detector es amplificada por



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL

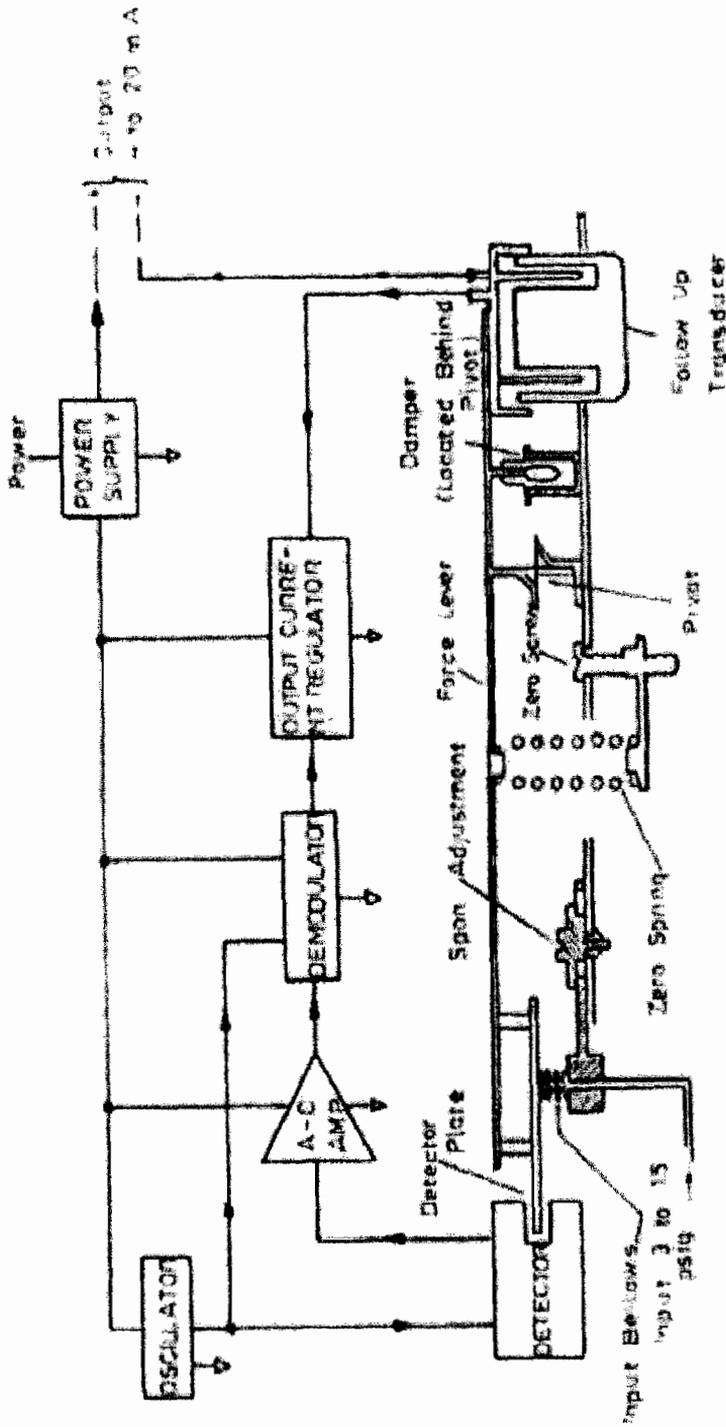


FIGURA 1.10 OPERACIÓN DEL CONVERTIDOR P/I

el amplificador a.c. y alimenta a la fase sensitiva del demodulador. El demodulador es hecho fase sensitiva por el oscilador. La señal de salida del demodulador determina la desviación o inclinación base de la corriente de salida del regulador, el cual regula la corriente de salida a través de su rango de 4 a 20 mA. d.c. La corriente de salida fluye a través del transductor complementario y hacia la carga de salida. La corriente de salida fluyendo a través del transductor complementario produce una fuerza suficiente para compensar la fuerza generada por los fuelles de entrada.

El tomillo de ajuste de cero comprime un resorte que inclina la palanca de fuerzas.

El rango es ajustado por un par de destornilladores de ajuste de levas. Estas levas posicionan los fuelles de entrada en la distancia requerida del pivote de la palanca de fuerzas.

1.2.3 Descripción de la Válvula de control.

De accionamiento directo para control de flujo neumática, de la marca Taylor, de aire para cerrar o normalmente abierta, es

conocida como elemento final de control. Se encuentra instalada entre las válvulas manuales que permiten su mantenimiento, cerrándolas, y abriendo la válvula HV8, que permite el paso normal de agua caliente en el sistema sin control automático.

La acción de la presión de aire que viene del controlador, debido a la corrección que este deberá realizar por el error detectado en la variable controlada, será transmitida a la válvula de control para abrir o cerrar el orificio a través del cuál circulará el agua caliente de acuerdo al flujo requerido para efectuar la corrección.

La velocidad de circulación del agua fría y en consecuencia indirectamente su temperatura se controla a través de la válvula manual HV2. La velocidad de circulación del agua caliente se regula por la válvula TCV1 o FCV1 bajo el control del computador con el software Lab View. Este control recibe una señal de alguno de los transmisores de temperatura TIT1 ó TIT2, dependiendo de la apertura de las válvulas de paso neumáticas de bronce NV5 ó NV6 respectivamente. El sensor de TIT1 está instalado en el fin de los serpentines R1. R2 y R3., que llevan la mezcla de agua caliente y fría justo antes de que esta entre en el recipiente C1 o tanque de proceso; mientras que el bulbo de TIT2 está instalado en el fondo del citado recipiente. Cuando se está trabajando con

TIT1 el efecto de variar los retardos de propagación se puede estudiar interponiendo una u otra de las tres longitudes de tubo entre el punto de encuentro del agua caliente y fría y TIT1. Cuando se está utilizando TIT2 tiene lugar un retardo de propagación como consecuencia del volumen de agua contenido en C1.

1.2.4 Descripción del transductor de presión

También llamado **transmisor indicador neumático de temperatura** su campo de medida se encuentra comprendido entre los 0°C hasta los 100°C y una resolución (mínima división) de 1°C, lo cual quiere decir que su alcance o Span es de 100°C, con acción directamente proporcional por efectos de la expansión del gas dentro del resorte Bourdon.

Seguidamente procedemos a describir la operación de los instrumentos más importantes que serán utilizados en el lazo de control de temperatura.

Preliminarmente identifique el instrumento que puede ser tal vez,

él más importante, por ser el primero en estar directamente ligado con el proceso, por su capacidad y velocidad de información de lo que ocurre con la variable de proceso $T_{1/2}$ a los cambios que se efectúan en un instante dado. Este instrumento es conocido con el nombre de termómetro.

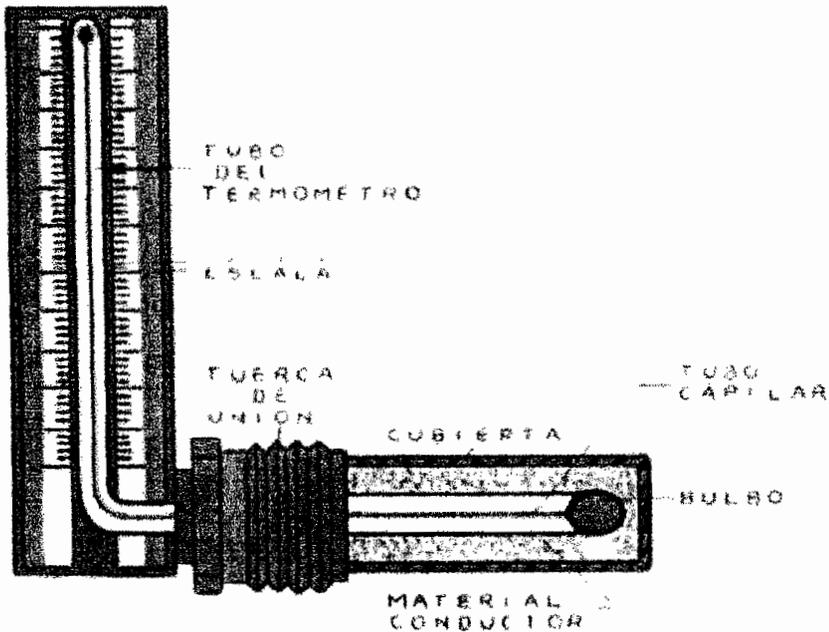
El termómetro industrial

El termómetro industrial utiliza básicamente, el principio de dilatación de un fluido dentro de un elemento sensor o bulbo como el de la Fig. 1.11 Otras aplicaciones industriales tienen el elemento de resorte de presión.

El fluido del bulbo puede ser sistema de mercurio, gas a presión como el nitrógeno, o un sistema de presión de vapor como un líquido volátil. Los sistemas de mercurio y de gas tienen escalas lineales, pero han de compensarse para evitar errores por la temperatura ambiente. El tubo capilar puede tener hasta 61 metros de longitud, pero con considerable reducción en la velocidad de respuesta.

Existe una consecuencia del termómetro de bulbo y que particularmente debe ser llamado termómetro industrial, es el

transmisor neumático de temperatura, que sirve para transmitir lecturas de temperatura de hasta 305 metros de



Q) TERMOMETRO DE CAJA METALICA

FIGURA 1.11 TERMOMETRO INDUSTRIAL

distancia como el de la Fig. 1.12. Este instrumento tiene las ventajas de ser muy rápido en las respuestas, es mas compacto, y

por lo regular posee mayor exactitud. Observe el bulbo lleno de gas a presión que actúa sobre un diafragma.

Un incremento en la temperatura del bulbo aumenta la fuerza hacia arriba que actúa sobre el brazo principal que tenderá a girar en sentido de las manecillas del reloj, lo que hace que la chapaleta o deflector se acerque mas a la tobera, aumentando la contrapresión en esta. Esta última, actúa sobre el piloto, originando un incremento en la presión de salida, la cual aumenta la fuerza ejercida por el fuelle de reacción. El sistema retorna al equilibrio cuando el aumento de la presión en el fuelle compensa exactamente la presión incrementada del diafragma. Como las relaciones de palanca son fijas, esto se traduce en una proporcionalidad directa entre la temperatura de la ampolla y la presión de salida de aire. Si se deseara precisión, se intercalan en el instrumento elementos compensadores que corrigen los efectos de las variaciones de la presión barométrica y de la temperatura ambiente.

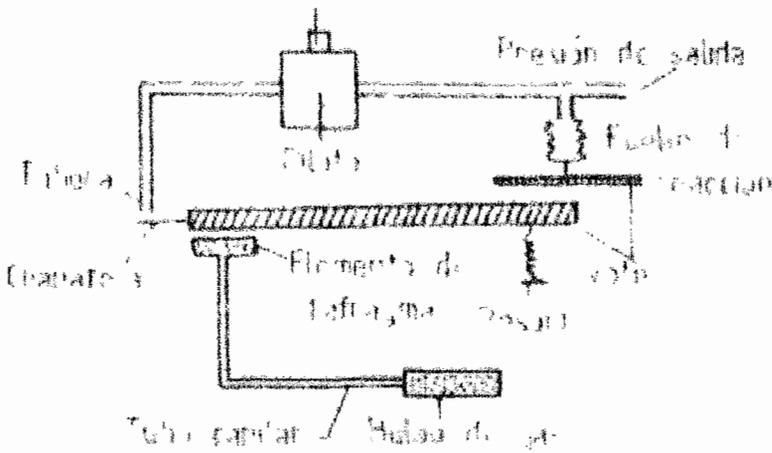


FIGURA 1.12 OPERACIÓN DEL TRANSMISOR NEUMÁTICO DE TEMPERATURA.

Dentro del lazo de control de temperatura, la aplicación del termómetro industrial está en el termostato instalado a la salida del flujo de agua caliente a continuación del calentador de resistencias y del transmisor indicador neumático de temperatura.

Transmisores indicadores neumáticos de temperatura

Su operación es similar a la de los transmisores neumáticos conocidos, con la diferencia que la información obtenida del valor de la variable de proceso (en este caso de temperatura T_0), es indicada en una carátula graduada por intermedio de una aguja de

acuerdo al rango definido por el diseñador o fabricante.

Como hemos visto, el transmisor, opera según el principio de balance o equilibrio de movimientos.

Con un sistema térmico o agente de proceso en contacto con el elemento primario o sensor (bulbo) del transmisor, se provoca un incremento o disminución de la temperatura del fluido de proceso, ocasionando que se desenrolle o envuelva el resorte del Bourdón con una rotación en contra o a favor del movimiento de las manecillas del reloj respectivamente. Acompañe la explicación con la Fig. 1.13.

Por medio de la conexión del eslabonamiento el deflector se mueve hacia abajo hasta disminuir el espacio boquilla – deflector (en aumento de la temperatura T_o). Esto incrementa la presión atrás de la boquilla en la cámara, encima del diafragma, y ocasiona que el tubo de la boquilla y el pistón se muevan hacia abajo. El movimiento hacia abajo, restaura el espacio boquilla – deflector, mientras la fuerza opositora del resorte iguala la fuerza de la presión trasera de la boquilla. Esta creciente fuerza del resorte mueve el fuelle de balance de fuerzas y la desembocadura de la cámara de aire del tubo hacia abajo abriendo la válvula

interior y aumentando la salida de presión.

La salida de presión del transmisor dentro del fuelle aumenta hasta que equilibre la fuerza de entrada actuando sobre el fuelle.

Cuando la temperatura del bulbo disminuye, la presión de salida disminuye por escape a través del orificio del tubo o salida de la cámara de aire.

El equilibrio es establecido cuando la presión de salida sea proporcional a la posición del deflector que es proporcional a la temperatura.

La aguja indicadora es manejada por un dispositivo de medida a través de un sector y una cinta conductora de movimiento.

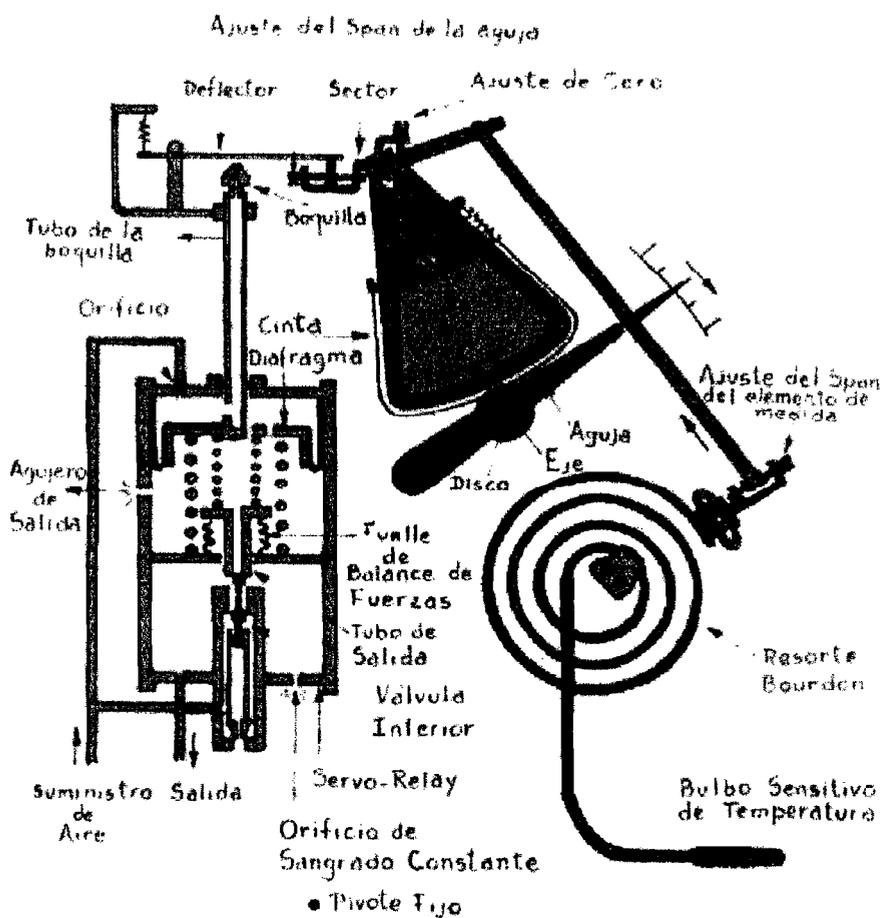


FIGURA 1.13 DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL TRANSMISOR.

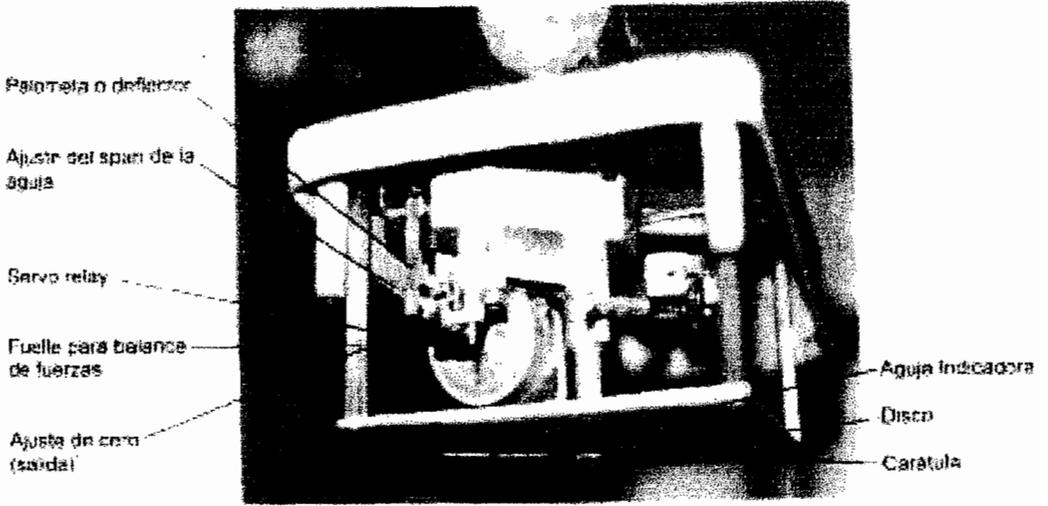


FIGURA 1.14 VISTA EN PERSPECTIVA SUPERIOR DEL TRANSMISOR INDICADOR NEUMATICO DE TEMPERATURA.

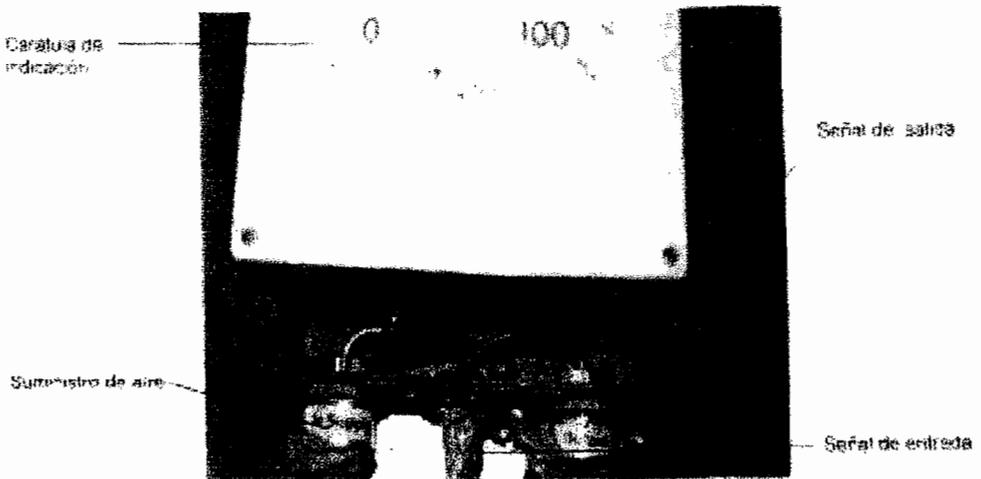


FIGURA 1.15 VISTA EN PERSPECTIVA INFERIOR DEL TRANSMISOR

INDICADOR NEUMATICO DE TEMPERATURA.

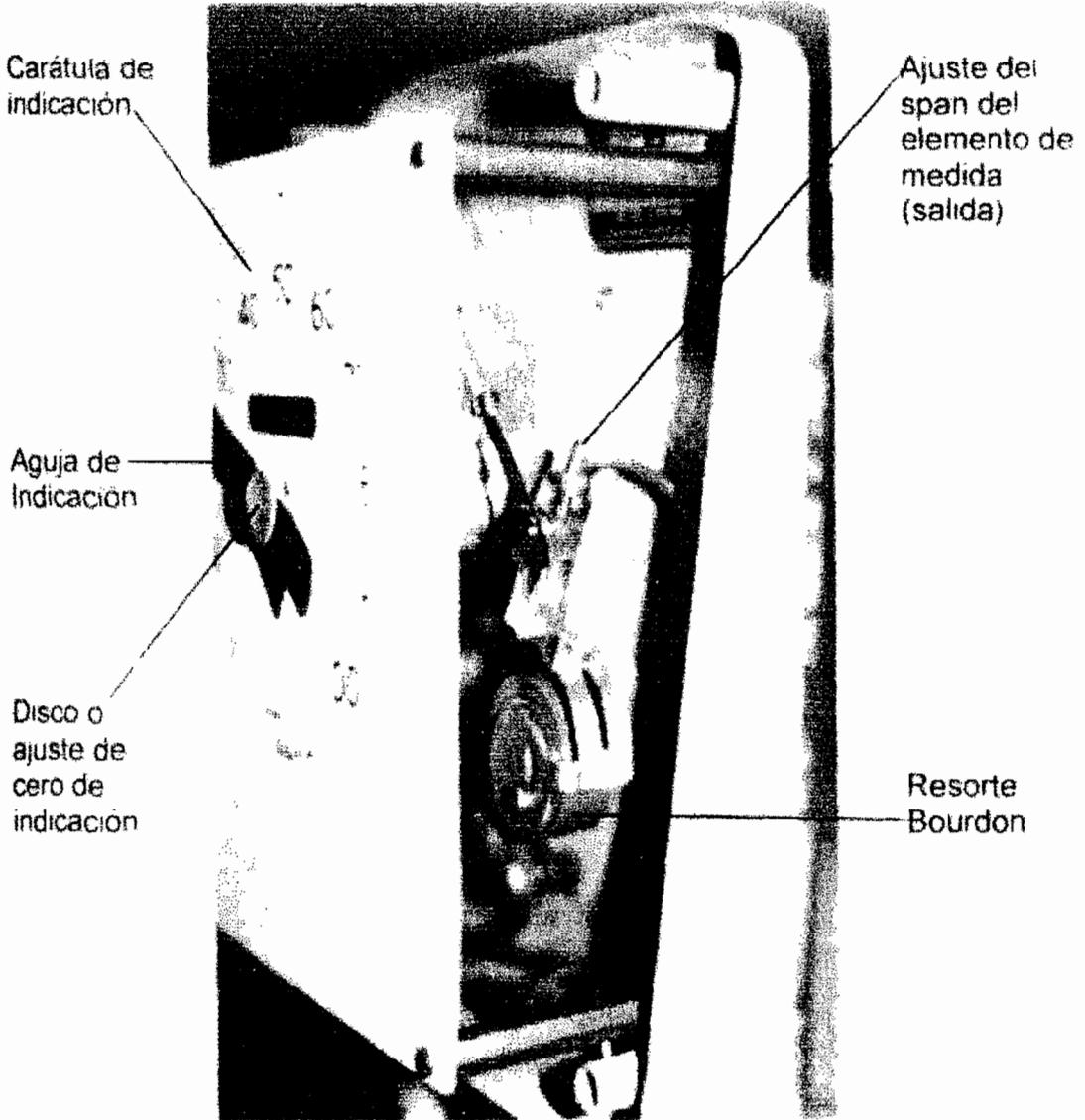
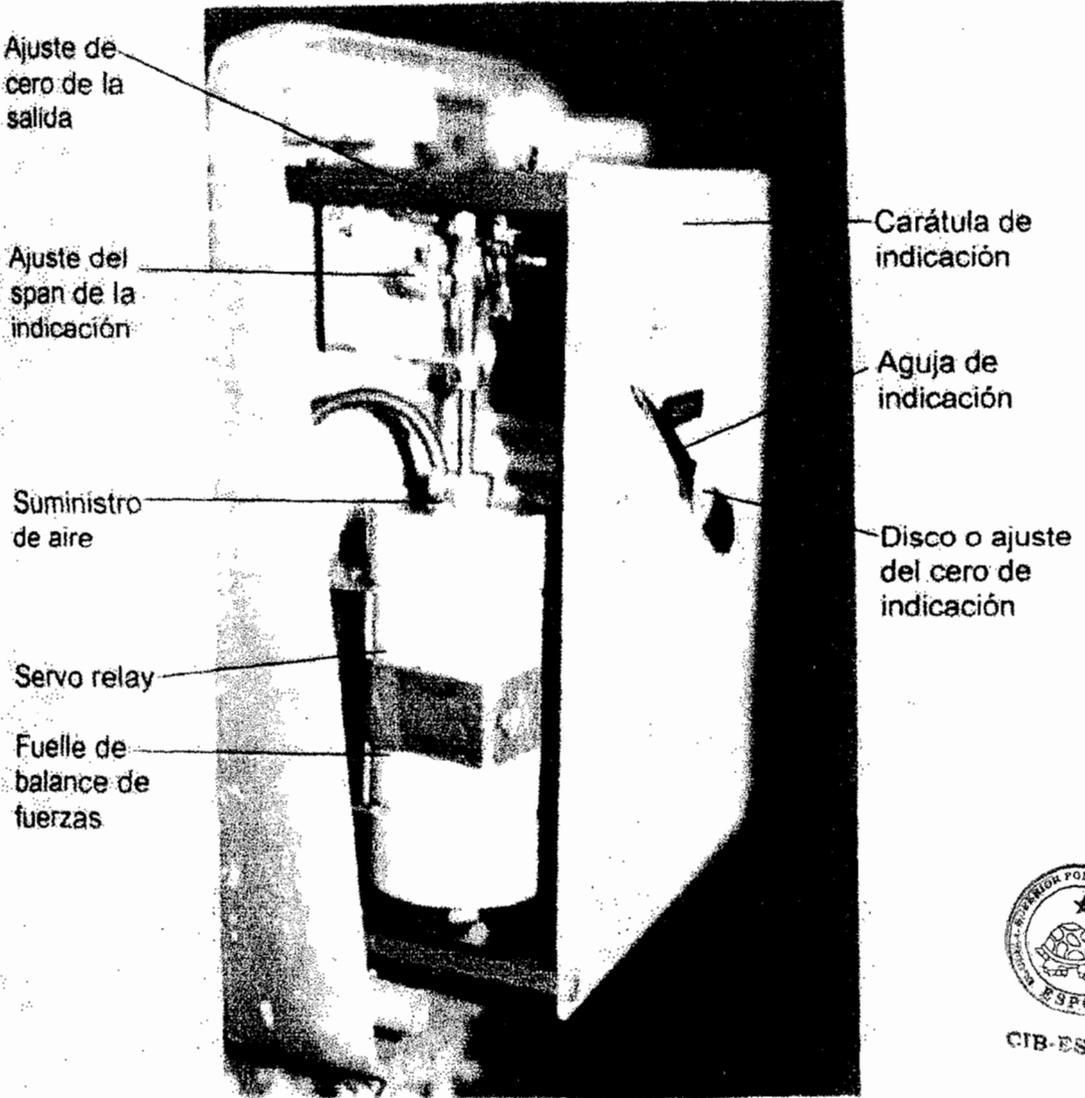


FIGURA 1.16 VISTA EN PERSPECTIVA LATERAL DERECHA DEL TRANSMISOR INDICADOR NEUMATICO DE TEMPERATURA.



CIB-ESPOL

FIGURA 1.17 VISTA EN PERSPECTIVA LATERAL IZQUIERDA DEL TRANSMISOR INDICADOR NEUMATICO DE TEMPERATURA.



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL

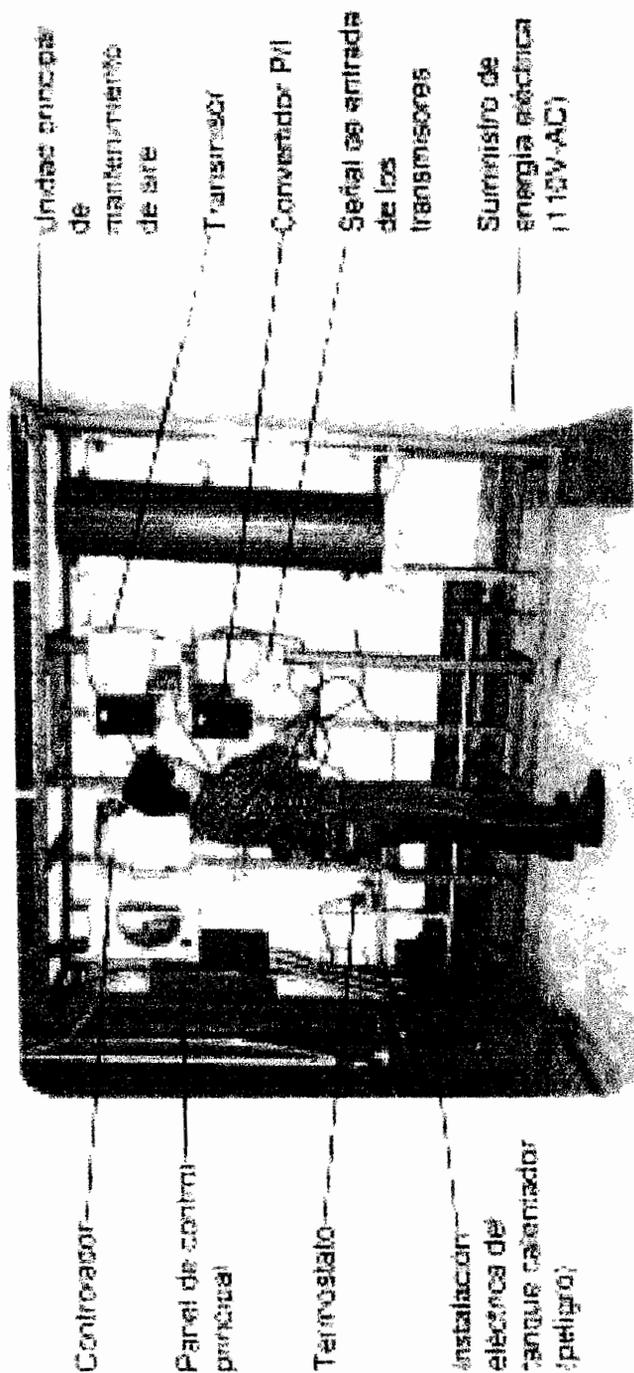


FIGURA 1.18 PARTES DEL MÓDULO DE TEMPERATURA DE LA PLANTA DE PROCESOS INDUSTRIALES.

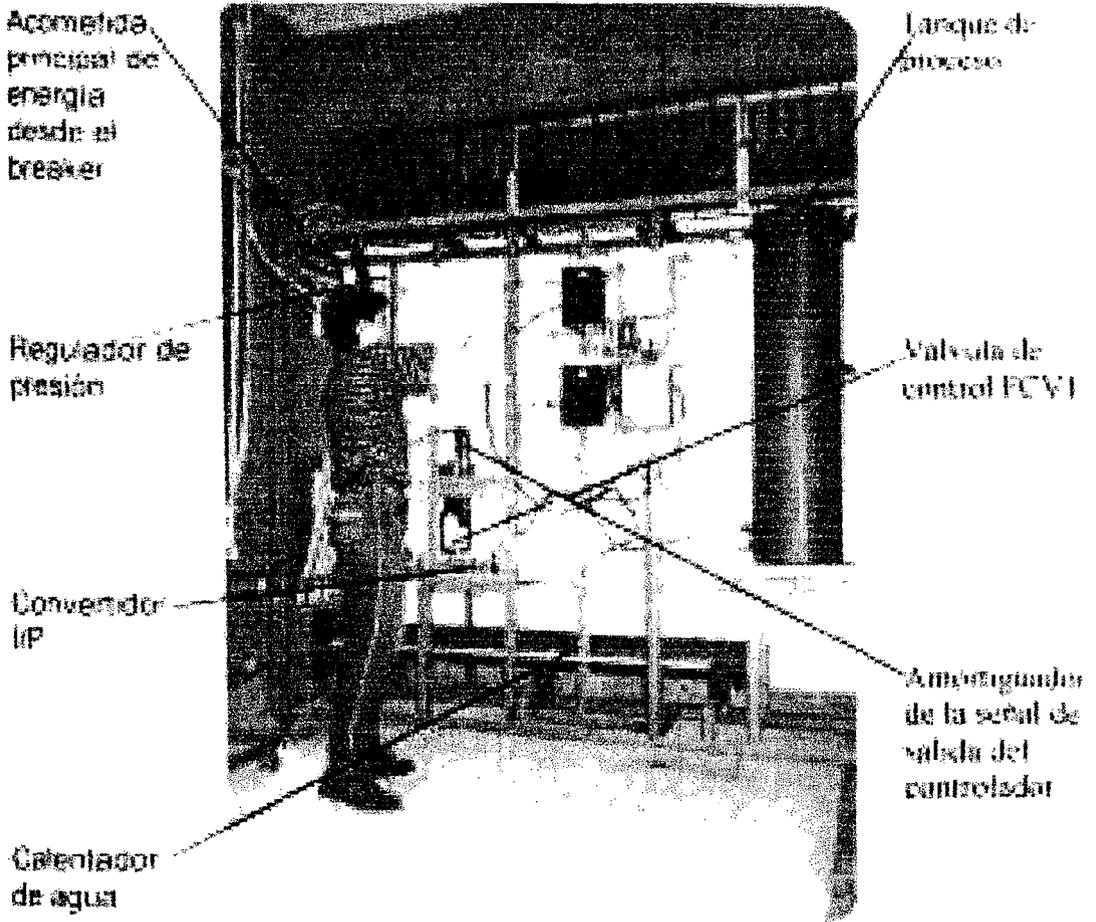


FIGURA 1.19 PARTES DEL MÓDULO DE TEMPERATURA DE LA PLANTA DE PROCESOS INDUSTRIALES.

1.2.5 Descripción del Calentador

Tanque calentador cilíndrico, construido con plancha de acero de 3 mm, de 16cm de diámetro y longitud 168.5 cm, con tres resistencias eléctricas internas en forma de "U", cuya capacidad es de 30 Kw., empernado a la estructura y aislado térmicamente.

Con respecto a este calentador se hizo una readecuación la cual fue cambiarlo de los 440 voltios que necesitaba con corriente trifásica se le cambio a 220 voltios los cuales hicieron que su capacidad bajara a 15 Kw. Pero que no afectaran al proceso ni las prácticas en si.

1.2.6 Descripción del Tanque

Recipiente de almacenamiento cilíndrico (llamado **proceso**), construido con plancha de acero de 2 mm de espesor, de 31.7 cm de diámetro y longitud 124.5 cm., soldado a la estructura; con sencilla tapa metálica circular, pedazo de tubo de pvc instalado en la carga del proceso, dos boquillas soldadas para colocar el control visual de nivel en el cual se utilizara una manguera de media transparente, aparte de lo que el tanque de proceso requiere también tenemos ciertas aditamentos que se le han puesto tales

como la mezcladora de agua cuyo fin es el de la temperatura del tanque se mezcle mas rápido para así apurar un poco el tiempo de las practicas y que la temperatura sea la misma en todo el tanque, adicional a la mezcladora se le agrego también una bomba de succión para mantener la altura de agua dependiendo la practica que se desarrolle, esta bomba se utiliza debido a que ensayos realizados en la planta siempre hubo derrames y paras en el proceso al tener un desfogue o salida de caudal de agua muy pequeño en comparación al caudal de entrada de la planta.

1.2.7 Descripción del Controlador Neumático.

En la industria se presentan diversos tipos de controladores de temperatura de acuerdo a la característica y personalidad del proceso a ajustar. Los controladores pueden ser de tipo neumático (Controlador registrador neumático de temperatura, **TRC**) Fig. 1.20, electrónica o los que se basan en microprocesadores que trabajan con un software como LabView y el enlace que cambia la señal análoga a digital como el fieldpoint.

El controlador de temperatura es el "cerebro" del circuito de control

que toma la decisión introducida por nosotros sobre el valor de la temperatura T_o fijo a la que queremos que el valor de la variable T_o se encuentre el medio de proceso.

El controlador de temperatura es el "cerebro" del circuito de control que toma la decisión introducida por nosotros sobre el valor de la temperatura T_o fijo a la que queremos que el valor de la variable T_o se encuentre el medio de proceso.

Controlador, registrador neumático de temperatura

Para seguir la acción de este controlador (TRC), asumimos que la unidad es arreglada como en la Fig. 1.20; se asume también que la señal de entrada la proporciona el sensor de temperatura instalado directamente al controlador, en vez de la señal de entrada neumática del transmisor.

Si un incremento en la señal que entra al controlador reacciona como un incremento en la señal que sale del mismo estamos frente a un controlador de acción directa, como es la acción que debe predominar en el controlador del lazo de control de temperatura para controlar el valor T_o del proceso, operando una válvula de diafragma de acción directa con aire para cerrar sobre una línea de

suministro de agua caliente. Asumimos primero que la temperatura en el aparato y del proceso está debajo de aquella para la cuál el controlador es fijado (La pluma (3) está detrás del set -pointer (4)).

Desde que la temperatura es baja, el elemento primario o bulbo (1), la sensa y arrolla el resorte de tubo de Bourdon (5), el movimiento es transmitido por la abrasadora (6) a la varilla de conexión (7), y esta última por un eslabonamiento al brazo articulado (10); el empuje del eslabón (7) al brazo (10) vence al mismo hacia el final izquierdo, y se pierde el contacto con el deflector circular (12), esto hace que el deflector descansa sobre la boquilla (14). El aire entrando al tubo de la boquilla (19), del suministro de aire (20 psi.), a través del orificio (21) no escapa libremente desde la boquilla (14) y por esa razón sube la presión en la cámara capsular (26), soplándola. El pin (25) es levantado por la cámara capsular y la bola relay (23) (que también es levantada) sostiene el aire contra la parte superior del asiento de la válvula (22). El disco de la válvula (29) permanece en su posición más alta, permitiendo el flujo total de vapor hacia el proceso.

Al efectuarse la corrección, la pluma (3) tiende a igualarse con la posición del set - pointer (4), debido a que la temperatura del proceso aumenta, la cuál es detectada por el bulbo, lo que provoca

que el Bourdon se desenrolle, jalando la varilla (7), transmitiendo el movimiento al brazo (10), retándolo en el sentido del movimiento de las agujas del reloj. Cuando la temperatura alcanza el punto fijo, el final izquierdo del brazo (10) levanta el deflector circular (12) que pivotea sobre el punto (16), lejos de la boquilla (14).

Aire escapa de la boquilla (14) y desinfla la cámara capsular (26) que baja la bola de relay (23) hacia el asiento inferior de la válvula (24). El máximo suministro de presión de aire entonces fluye hacia la válvula de diafragma cerrándola, y cuidando en mantener la temperatura del proceso en el punto deseado.



CIB-ES



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL

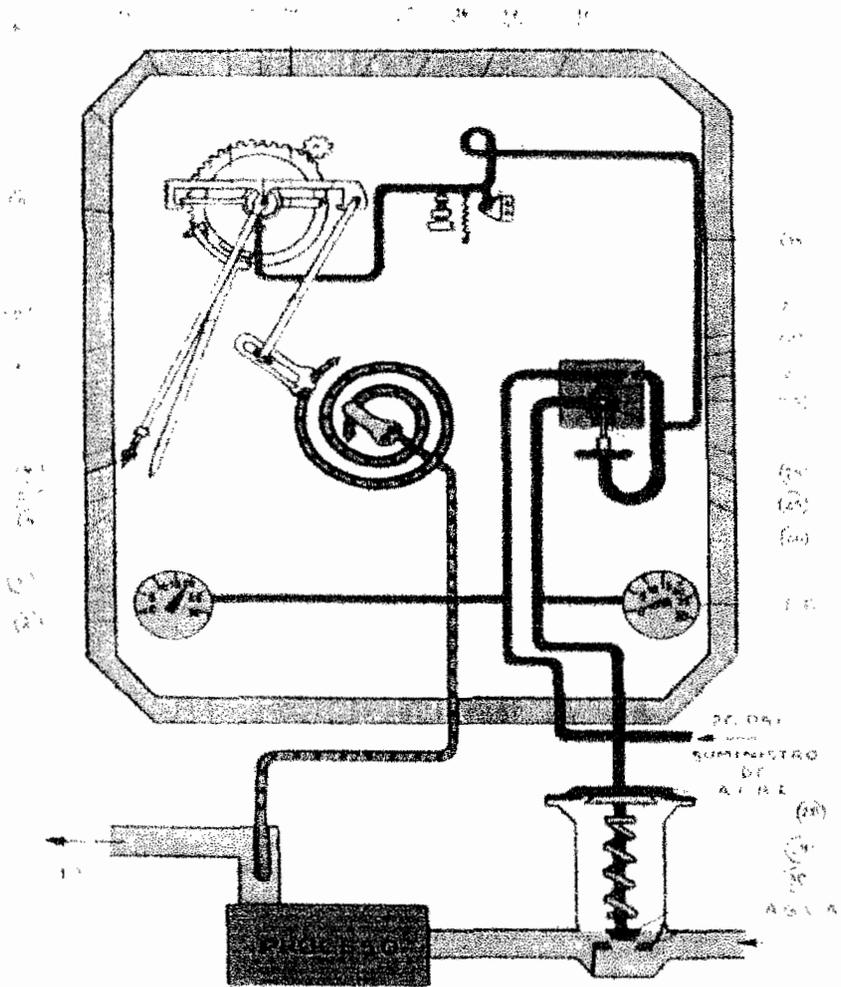


FIGURA 1.20 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL CONTROLADOR NEUMÁTICO TAYLOR (CON ALTA GANANCIA)

CAPITULO 2

2. INTERFASE Y EQUIPOS PARA IMPLEMENTACION DEL CONTROL DIGITAL

2.1. Controladores.

El propósito principal de este capítulo es demostrar al lector la necesidad del control automático de procesos y despertar su interés para que lo estudie. El objetivo del control automático de procesos es mantener en determinado valor de operación las variables del proceso tales como: temperaturas, presiones, flujos y compuestos. Como se verá en las páginas siguientes, los procesos son de

naturaleza dinámica, en ellos siempre ocurren cambios y si no se emprenden las acciones pertinentes, las variables importantes del proceso, es decir, aquellas que se relacionan con la seguridad, la calidad del producto y los índices de producción, no cumplirán con las condiciones de diseño.

En este capítulo se presentan asimismo, dos sistemas de control, se examinan algunos de sus componentes, se definen algunos de los términos que se usan en el campo del control de procesos y finalmente, se exponen las bases necesarias para su estudio.

2.1.1 Teoría

El sistema de control de procesos

Para aclarar más las ideas expuestas aquí, considérese un intercambiador de calor en el cual la corriente en proceso se calienta mediante vapor de condensación, como se ilustra en la Figura 2.1.

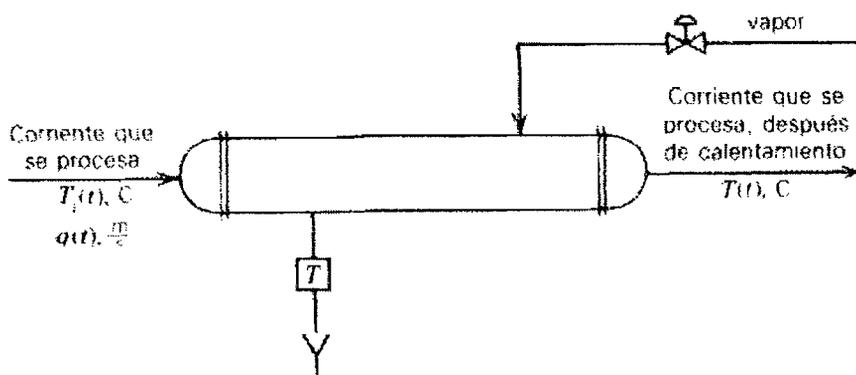


FIGURA 2.1. INTERCAMBIADOR DE CALOR

El propósito de la unidad es calentar el fluido que se procesa, de una temperatura dada de entrada $T_i(t)$, a cierta temperatura de salida, $T(t)$, que se desea. Como se dijo, el medio de calentamiento es vapor de condensación y la energía que gana el fluido en proceso es igual al calor que libera el vapor, siempre y cuando no haya pérdidas de calor en el entorno, esto es, el intercambiador de calor y la tubería tienen un aislamiento perfecto; en este caso, el calor que se libera es el calor latente en la condensación del vapor.

En este proceso existen muchas variables que pueden cambiar, lo cual ocasiona que la temperatura de salida se desvíe del valor deseado, si esto llega a suceder, se deben emprender algunas acciones para corregir la desviación; esto es, el

objetivo es controlar la temperatura de salida del proceso para mantenerla en el valor que se desea.

Una manera de lograr este objetivo es primero, medir la temperatura $T(t)$, después comparar ésta con el valor que se desea y, con base en la comparación, decidir qué se debe hacer para corregir cualquier desviación. Se puede usar el flujo del vapor para corregir la desviación, es decir, si la temperatura está por arriba del valor deseado, entonces se puede cerrar la válvula de vapor para cortar el flujo del mismo (energía) hacia el intercambiador de calor. Si la temperatura está por abajo del valor que se desea, entonces se puede abrir un poco más la válvula de vapor para aumentar el flujo de vapor (energía) hacia el intercambiador. Todo esto lo puede hacer manualmente el operador y puesto que el proceso es bastante sencillo no debe representar ningún problema. Sin embargo, en la mayoría de las plantas de proceso existen cientos de variables que se deben mantener en algún valor determinado y con este procedimiento de corrección se requeriría una cantidad tremenda de operarios, por ello, sería preferible realizar el control de manera automática, es decir, contar con instrumentos que controlen las variables sin necesidad de que

intervenga el operador. Esto es lo que significa el control automático de proceso.

Para lograr este objetivo se debe diseñar e implementar un sistema de control. En la Figura 2.2 se muestra un sistema de control y sus componentes básicos. (En el apéndice A se presentan los símbolos e identificación de los diferentes instrumentos utilizados en el sistema de control automático.) El primer paso es medir la temperatura de salida de la corriente del proceso, esto se hace mediante un *sensor* (termopar, dispositivo de resistencia térmica, termómetros de sistema lleno, termistores, etc.). El sensor se conecta físicamente al *transmisor*, el cual capta la salida del sensor y la convierte en una señal lo suficientemente intensa como para transmitirla al *controlador*. El controlador recibe la señal, que está en relación con la temperatura, la compara con el valor que se desea y, según el resultado de la comparación, decide qué hacer para mantener la temperatura en el valor deseado. Con base en la decisión, el controlador envía otra señal al *elemento final de control*, el cual, a su vez, maneja el flujo de vapor.

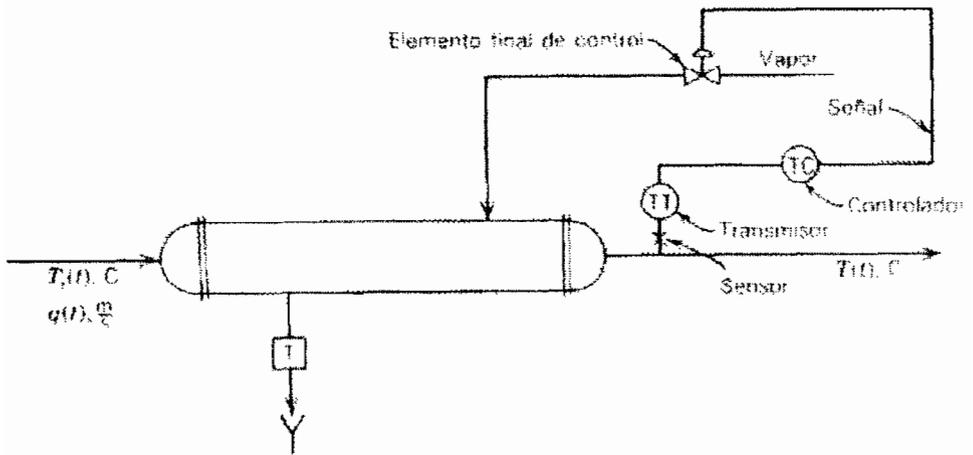


FIGURA 2.2. SISTEMA DE CONTROL DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

En el párrafo anterior se presentan los cuatro componentes básicos de todo sistema de control, estos son:

1. *Sensor*, que también se conoce como elemento primario.
2. *Transmisor*, el cual se conoce como elemento secundario.
3. *Controlador*, que es el "cerebro" del sistema de control.
4. *Elemento final de control*, frecuentemente se trata de una válvula de control aunque no siempre. Otros elementos finales de control comúnmente utilizadas son las bombas de velocidad variable, los transportadores y los motores eléctricos.

La importancia de estos componentes estriba en que *realizan las tres operaciones básicas* que deben estar presentes en *todo sistema de control*; estas operaciones son:

1. *Medición (M)*: la medición de la variable que se controla se hace generalmente mediante la combinación de sensor y transmisor.
2. *Decisión (D)*: con base en la medición, el controlador decide qué hacer para mantener la variable en el valor que se desea.
3. *Acción (A)*: como resultado de la decisión del controlador se debe efectuar una acción en el sistema, generalmente ésta es realizada por el elemento final de control.

Como se dijo, estas tres operaciones, M, D y A son obligatorias para *todo* sistema de control. En algunos sistemas, la toma de decisión es sencilla, mientras que en otros es más compleja; en este libro se estudian muchos de tales sistemas. El ingeniero que diseña el sistema de control debe asegurarse que las acciones que se emprendan tengan su efecto en la variable controlada, es decir, que la acción emprendida repercuta en el valor que se mide, de lo contrario el sistema no controla y puede ocasionar más perjuicio que beneficio.

Términos importantes y objetivo del control automático de proceso

Ahora es necesario definir algunos de los términos que se usan en el campo del control automático de proceso. El primer término es *variable controlada*, ésta es la variable que se debe mantener o controlar dentro de algún valor deseado. En el ejemplo precedente la variable controlada es la temperatura de salida del proceso $T(f)$. El segundo término es *punto de control*, el valor que se desea tenga la variable controlada. La *variable manipulada* es la variable que se utiliza para mantener a la variable controlada en el punto de control (punto de fijación o de régimen); en el ejemplo la variable manipulada es el flujo de vapor. Finalmente, cualquier variable que ocasiona que la variable de control se desvíe del punto de control se define como *perturbación o trastorno*; en la mayoría de los procesos existe una cantidad de perturbaciones diferentes, por ejemplo, en el intercambiador de calor que se muestra en la Fig. 2.2, las posibles perturbaciones son la temperatura de entrada en el proceso, $T_j(t)$, el flujo del proceso, $q(t)$, la calidad de la energía del vapor, las condiciones ambientales, la composición del

fluido que se procesa, la contaminación, etc. Aquí lo importante es comprender que en la industria de procesos, estas perturbaciones son la causa más común de que se requiera el control automático de proceso; si no hubiera alteraciones, prevalecerían las condiciones de operación del diseño y no se necesitaría supervisar continuamente el proceso.

Los siguientes términos también son importantes. *Circuito abierto o lazo abierto*, se refiere a la situación en la cual se desconecta el controlador del sistema, es decir, el controlador no realiza ninguna función relativa a cómo mantener la variable controlada en el punto de control; otro ejemplo en el que existe control de circuito abierto es cuando la acción (A) efectuada por el controlador no afecta a la medición (M). De hecho, ésta es una deficiencia fundamental del diseño del sistema de control. *Control de circuito cerrado* se refiere a la situación en la cual se conecta el controlador al proceso; el controlador compara el punto de control (la referencia) con la variable controlada y determina la acción correctiva.

Con la definición de estos términos, el objetivo del control automático de proceso se puede establecer como sigue:

“El objetivo del sistema de control automático de proceso es utilizar la variable manipulada para mantener a la variable



controlada en el punto de control a pesar de las perturbaciones”.

Razones principales para el control de proceso

En este capítulo se definió el control automático de proceso como "una manera de mantener la variable controlada en el punto de control, a pesar de las perturbaciones". Ahora es conveniente enumerar algunas de las "razones" por las cuales esto es importante, estas razones son producto de la experiencia industrial, tal vez no sean las únicas, pero sí las más importantes.

1. Evitar lesiones al personal de la planta o daño al equipo.
La *seguridad* siempre debe estar en la mente de todos, ésta es la consideración más importante.
2. Mantener la calidad del producto (composición, pureza, color, etc.) en un nivel continuo y con un costo mínimo.
3. Mantener la tasa de producción de la planta al costo mínimo.

Por tanto, se puede decir que las razones de la automatización de las plantas de proceso son proporcionar un entorno seguro y a la vez mantener la calidad deseada del producto y alta

eficiencia de la planta con reducción de la demanda de trabajo humano.

Clasificación de Sistemas de control

Los sistemas de control pueden clasificarse en sistemas que tienen retroalimentación y aquellos que no la tienen.

Sistema con retroalimentación o de lazo cerrado.- la variable controlada (también llamada salida o respuesta), es comparada con la variable de referencia (también llamada entrada, mando u orden) y cualquier diferencia que exista entre ambas (el error), es usada para reducir esta última. En términos más simples, un sistema de control retroalimentado compara lo que se está obteniendo con lo que se necesita y usa cualquier diferencia a fin de poner en correspondencia la entrada con la salida.

La característica más importante de un sistema de control retroalimentado es que establece una comparación, y esto es lo que hace que el sistema sea tan efectivo para propósitos de control.

Sistema de control sin retroalimentación o control de lazo abierto.- la variable controlada no tiene efecto sobre la acción de control, es decir en un sistema de control de lazo abierto la salida no se realimenta.

2.1.2 Tipos de Controladores.

Por retroalimentación

Control on-off

El mecanismo de realimentación más simple se puede describir matemáticamente como sigue:

$$u = \begin{cases} u_{\max} & e > 0 \\ u_{\min} & e < 0 \end{cases} \quad (1)$$

donde (diferencia entre la referencia especificada por el operador y la salida medida del proceso) es el denominado "*error de control*". Esta ley de control implica que siempre se usa la acción correctiva máxima. De esta manera, la variable manipulada tiene su valor más grande cuando el error es positivo y su valor más pequeño cuando el error es negativo. La realimentación de este tipo se llama "*control on-off*". Es simple y no tiene parámetros que configurar, aparte de las acciones mínima y máxima que se ejecutan en el cálculo de la señal

de control. El control on-off muchas veces es apropiado para mantener la variable controlada del proceso cerca del valor de la referencia que fue especificada, pero típicamente resulta en un sistema donde las variables oscilan.

Note en la ecuación (1) que la variable de control no está definida cuando el error es cero. Es común tener algunas modificaciones ya sea introduciendo histéresis o una zona muerta como se muestra en la Fig. 2.3.

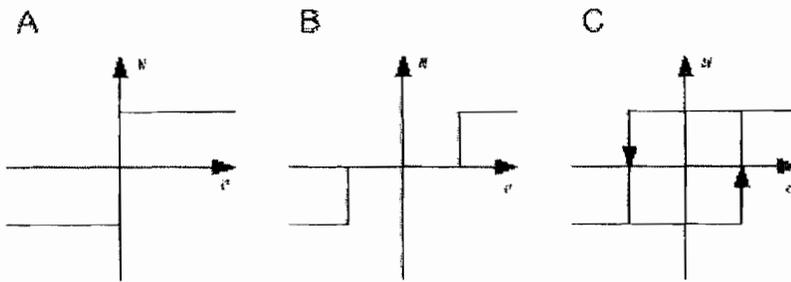


FIGURA. 2.3. (A) CARACTERÍSTICA DE UN CONTROLADOR ON-OFF IDEAL Y MODIFICACIONES CON (B) ZONA MUERTA Y (C) HISTÉRESIS.

Control proporcional

La razón por la que el control on-off resulta en oscilaciones es que el sistema sobreactúa cuando ocurre un pequeño cambio en el error que hace que la variable manipulada cambie sobre su rango completo. Este efecto se evita en el *control proporcional*, donde la característica del controlador es proporcional al error de control cuando éstos son pequeños. La Fig. 2.4 muestra la característica de

un controlador proporcional. De esta manera, el controlador está caracterizado por la función no lineal $u = f_c(e)$ dependiente del error de control, que se muestra en la figura.

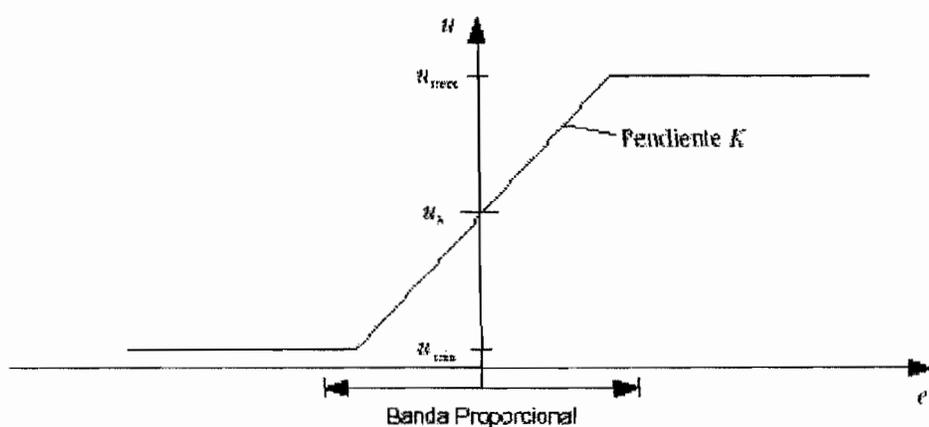


FIGURA 2.4. CARACTERÍSTICA DE UN CONTROLADOR PROPORCIONAL. LA ENTRADA ES EL ERROR DE CONTROL E Y LA SALIDA ES LA SEÑAL DE CONTROL U .

Para describir la característica del controlador proporcional se debe dar los límites u_{\max} y u_{\min} de la variable de control. El rango lineal puede ser especificado, ya sea, por la pendiente dada en la curva característica (ganancia K del controlador) o, bien, por el rango donde la curva característica es lineal (conocida como *banda proporcional* P_b). Este rango está normalmente centrado alrededor de la referencia. La banda proporcional y la ganancia del controlador están relacionadas a través de:

$$u_{\max} - u_{\min} = KP_b \quad (2)$$

Normalmente se asume que $u_{\max} - u_{\min} = 100\%$, lo cual implica que

$$K = \frac{100}{P_b} \quad (3)$$

Note que un controlador proporcional actúa como un controlador on-off cuando los errores de control son grandes.

Análisis estático de los sistemas retroalimentados

Algunas propiedades de un sistema de control se pueden comprender mediante un análisis estático simple. Para esto, se introduce la "*característica estática del proceso*", que es una curva que muestra el valor estacionario de su salida y como función de su entrada u (ver la Fig. 2.5). Note que la curva tiene una interpretación física sólo si el proceso es estable. La característica estática del proceso es importante para determinar el rango de las señales de control que son requeridas para cambiar la salida del proceso sobre un rango deseado. También es usada para dimensionar el

tamaño de los actuadores, seleccionar la resolución del sensor, así como para evaluar qué tan grandes son las variaciones en la ganancia estática. Todas estas consideraciones se deben tomar en cuenta a la hora de diseñar el sistema de control.

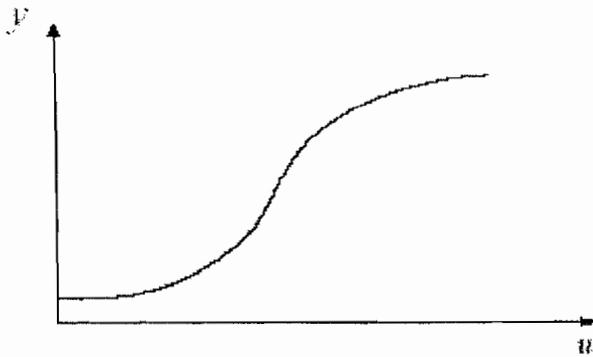


FIGURA 2.5. CARACTERÍSTICA ESTÁTICA DEL PROCESO. MUESTRA LA SALIDA DEL PROCESO Y COMO UNA FUNCIÓN DE SU ENTRADA, BAJO CONSIDERACIONES ESTÁTICAS.

Control Proporcional

Considere un proceso bajo control proporcional. Sea la característica del controlador dada por:

$$u = f_p(y_p - y)$$

Introduciendo la característica inversa del controlador f_c^{-1} , la ecuación (4) se puede escribir como:

$$y_{sp} - y = f_c^{-1}(u)$$

Más aún, introduciendo la característica estática del proceso,

$$y = f_p(u) \quad (5)$$

se encuentra que el valor de equilibrio de u satisface la ecuación:

$$y_{sp} - f_c^{-1}(u) = f_p(u) \quad (6)$$

Esta ecuación puede ser resuelta encontrando la intersección de las gráficas de las funciones $f_p(u)$ y $f_c^{-1}(u)$ como se muestra en la Fig. 2.6.

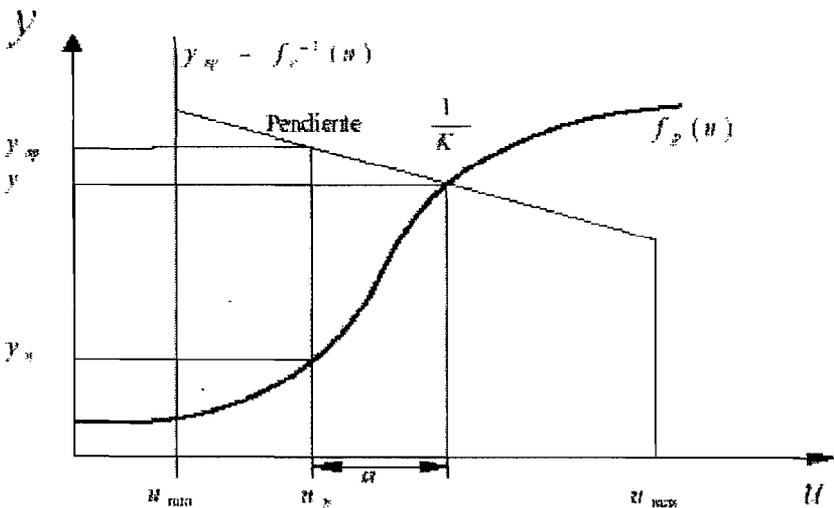


FIGURA 2.6. DETERMINACIÓN DEL EQUILIBRIO A PARTIR DE LAS CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS DEL PROCESO Y DEL CONTROLADOR.

La intersección es única si la característica estática es monótonica. El valor de equilibrio de la salida del proceso y se obtiene simplemente como la coordenada y de la intersección. En la construcción gráfica es fácil ver cómo el equilibrio está influenciado por la referencia y la ganancia del controlador. El equilibrio concuerda con la referencia sólo si:

$$y_{sp} = y_0 = f_p(y_n) \quad (7)$$

Para todos los valores de la referencia existirá una desviación. Si la característica del proceso se aproxima por una línea recta con pendiente K_p esta desviación puede ser calculada fácilmente. Introduciendo el parámetro a mostrado en la Fig. 2.6, se encuentra que:

$$y_{sp} - y_0 = \left(K_p + \frac{1}{K} \right) a$$

y

$$y_{sp} - y = \frac{1}{K} a$$

Esto implica que el error en estado estacionario está dado por:

$$e = y_w - y = \frac{1}{1 + K_p K} (y_w - y_0) \quad (8)$$

Note que, cuanto más pequeña es la desviación, más grande es la ganancia de lazo $K_p K$.

Control PID.

Introducción

El controlador PID, de lejos, es el algoritmo de control más común. Numerosos lazos de control utilizan este algoritmo, que puede ser implementado de diferentes maneras: como controlador stand-alone, como parte de un paquete de control digital directo o como parte de un sistema de control distribuido. Su estudio puede ser abordado desde múltiples puntos de vista. Puede ser tratado como un dispositivo que puede ser operado utilizando unas cuantas reglas prácticas, pero también puede ser estudiado analíticamente.

El principio de retroalimentación

La idea de la retroalimentación es bastante simple y muy poderosa. A lo largo de su historia, ha tenido una fuerte influencia en la evolución de la tecnología. Las aplicaciones del principio de realimentación han tenido éxito en los campos del control, comunicaciones e instrumentación. Para entender el concepto, asuma que el proceso es tal que cuando el valor de la variable manipulada se incrementa, entonces se incrementan los valores de las variables del proceso. Bajo este concepto simple, el principio de realimentación puede ser expresado como sigue:

“Incrementar la variable manipulada cuando la variable del proceso sea más pequeña que la referencia y disminuirla cuando ésta sea más grande”.

Este tipo de realimentación se llama “*realimentación negativa*” debido a que la variable manipulada se mueve en la dirección opuesta a la variable del proceso. El principio puede ser ilustrado por el diagrama de bloques que se muestra en la Fig. 2.7. En este diagrama el proceso y el controlador están representados por cajas negras y las

flechas denotan las entradas y salidas a cada bloque. Note que existe un símbolo especial que denota una suma de señales. El diagrama de bloques muestra que el proceso y el controlador están conectados en un lazo realimentado. La presencia del signo en el bloque de retorno indica que la realimentación es negativa.

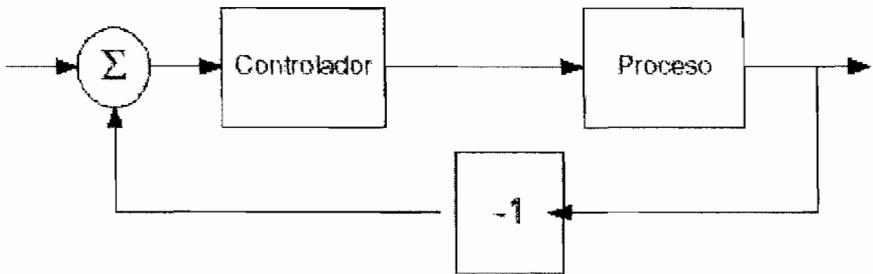


FIGURA 2.7. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE CONTROL DE UN PROCESO.

En la sección anterior se vio que el control proporcional tiene la desventaja de que, en la mayoría de los casos, resulta en un error estático o de estado estacionario diferente de cero. Los algoritmos de control usados en la práctica son, por tanto, normalmente más complejos que el del controlador proporcional. Se puede mostrar empíricamente que el llamado "*controlador PID*" es una estructura útil. Dentro de la banda proporcional el

comportamiento del algoritmo PID en su versión de “libro de texto” se puede describir como:

$$u(t) = K \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (9)$$

donde u es la variable de control y e es el error de control dado por $e = y_{sp} - y$. De esta manera, la variable de control es una suma de tres términos: el término P, que es proporcional al error; el término I, que es proporcional a la integral del error; y el término D, que es proporcional a la derivada del error. Los parámetros del controlador son: la ganancia proporcional K , el tiempo integral T_i y el tiempo derivativo T_d .

Acción proporcional

En el caso de un control proporcional puro, la ley de control de la ecuación (9) se reduce a

$$u(t) = Ke(t) + u_b \quad (10)$$

La acción de control es simplemente proporcional al error de control. La variable u_b es una señal de polarización o un reset. Cuando el error de control e es cero, la variable de control toma el valor $u(t) = u_b$. La polarización u_b a menudo

se la fija en $(u_{(\max)} + u_{(\min)})/2$, pero, algunas veces, puede ser ajustada manualmente de forma que el error de control en estado estacionario sea cero en una referencia dada.

Análisis estático

Muchas de las propiedades del control proporcional se pueden entender mediante el siguiente argumento, que está basado en consideraciones estáticas puras. Considere un lazo realimentado simple, como el mostrado en la Fig. 2.8, que consiste de un proceso y un controlador, sometidos a perturbaciones.

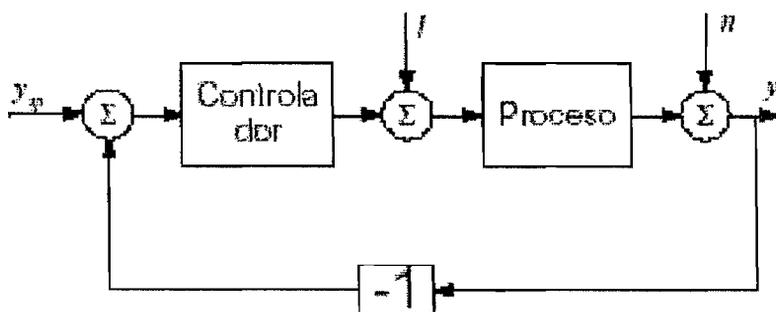


FIGURA 2.8. DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN LAZO DE REALIMENTACIÓN SIMPLE

Asuma que el controlador tiene acción proporcional y que el proceso está representado por un modelo estático:

$$x = K_p(u + l) \quad (11)$$

donde x es la variable del proceso, u es la variable de control, l es una perturbación de carga y K_p es la ganancia estática del proceso. Las siguientes ecuaciones se obtienen a partir del diagrama de bloques:

$$\begin{aligned} y &= x + n \\ x &= K_p(n + l) \\ n &= K(y_{sp} - y) + u_b \end{aligned} \quad (12)$$

La eliminación de las variables intermedias da la siguiente relación entre la variable del proceso x , la referencia y_{sp} , la perturbación de carga l y el ruido de medición n :

$$x = \frac{KK_p}{1 + KK_p}(y_{sp} - n) + \frac{K_p}{1 + KK_p}(l + u_b) \quad (13)$$

Compare con la ecuación (8) de la sección anterior. El producto KK_p es un número sin dimensiones llamado "ganancia de lazo". De la ecuación (13) se pueden leer muchas propiedades interesantes del sistema en lazo cerrado. Primero asuma que n y u_b son cero. La ganancia de lazo debe ser alta para asegurar que la salida del proceso x sea cercana a la referencia y_{sp} . Un valor alto de la ganancia de lazo permitirá hacer que el sistema sea insensible a la perturbación de carga l . Sin embargo, si n es diferente de

cero, de la ecuación (13) se sigue que el ruido de medición n influye sobre la salida del proceso de la misma forma que lo hace la referencia y_{sp} . Para evitar que el sistema sea sensible al ruido de medición, la ganancia de lazo no debe ser muy grande. Más aún, la polarización u_b del controlador influye en el sistema de la misma forma en que lo hace la perturbación de carga. Por tanto, es obvio que el diseño de la ganancia de lazo debe ser considerado como un compromiso entre dos objetivos de control diferentes, por lo que no existe una respuesta simple que permita encontrar una fórmula que determine la mejor ganancia de lazo a ser aplicada en el sistema. Esto dependerá de cuál objetivo de control es más importante para la aplicación en cuestión.

También, de la ecuación (13) se puede ver que el controlador proporcional normalmente producirá un error en estado estacionario. Esto puede ser deducido intuitivamente a partir de la observación de la ecuación (12), donde el error de control es cero sólo cuando $u = u(b)$ en estado estacionario. Por tanto, el error puede hacerse cero en una condición de operación dada manipulando la polarización u_b del controlador.



El análisis estático anterior está basado en la suposición de que el proceso se puede describir mediante un modelo estático. Cuando se considera la dinámica del sistema se introducen otras propiedades sobre el comportamiento del sistema en lazo cerrado. La más importante es que el sistema en lazo cerrado normalmente será inestable si se eligen altas ganancias de lazo. En la práctica, es la dinámica del sistema la que determina la máxima ganancia de lazo que puede ser utilizada.

Un ejemplo típico del control proporcional se ilustra en la Fig. 2.9. La figura muestra el comportamiento de la salida del proceso y de la señal de control, después de un cambio al escalón en la señal de referencia. El error en estado estacionario puede ser calculado a partir de la ecuación (13). El término de polarización u_p , la perturbación de carga l y el ruido de medición n son cero en la simulación. Con una ganancia del controlador $K=1$ y una ganancia estática del proceso $K_p=1$, se obtiene un error de control del 50%. La figura muestra que el error en estado estacionario decrece a medida que se incrementa la ganancia del controlador, tal como se predice en la ecuación (13). Note también que la

respuesta se vuelve más oscilatoria al incrementar la ganancia del controlador. Esto se debe a la dinámica del proceso.

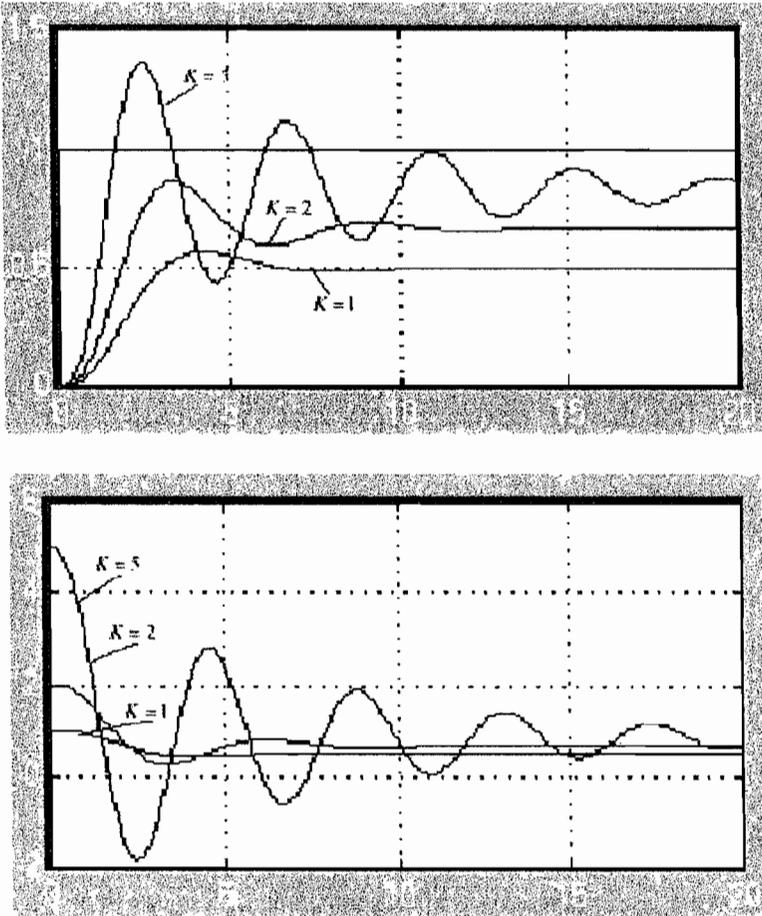


FIGURA 2.9. SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL EN LAZO CERRADO CON CONTROL PROPORCIONAL.

La función de transferencia del proceso es $G(s) = (s + 1)^{-3}$. El diagrama muestra la referencia $y_{sp} = 1$ y la salida del proceso y para diferentes valores de la ganancia del controlador K . El

diagrama inferior muestra la señal de control u para las respectivas ganancias del controlador.

Acción integral

La función principal de la acción integral es asegurar que la salida del proceso concuerde con la referencia en estado estacionario. Con el controlador proporcional, normalmente existiría un error en estado estacionario. Con la acción integral, un pequeño error positivo siempre producirá un incremento en la señal de control y, un error negativo siempre dará una señal decreciente sin importar cuán pequeño sea el error.

El siguiente argumento simple muestra que el error en estado estacionario siempre será cero con la acción integral. Asuma que el sistema está en estado estacionario con una señal de control constante, u_0 , y un error constante, e_0 . De la ecuación (9) se tiene que la señal de control está dada por:

$$u_0 = K \left(e_0 + \frac{e_0}{T_i} t \right)$$

Como se tiene que $e_0 \neq 0$, claramente se contradice el supuesto de que la señal de control u_0 se mantiene constante. Por tanto, como resultado de esto, un controlador con acción integral siempre dará un error en estado estacionario cero.

La acción integral también puede ser vista como un dispositivo que automáticamente restablece el término de polarización u_b de un controlador proporcional. Esto se ilustra en el diagrama de bloques de la Fig. 2.10, que muestra un controlador proporcional con un “reset” que se ajusta automáticamente. El ajuste se hace realimentando una señal, que es un valor filtrado de la salida del controlador, a un punto de suma. El “reset automático” fue el que dio origen a la acción integral del controlador del tipo PID.

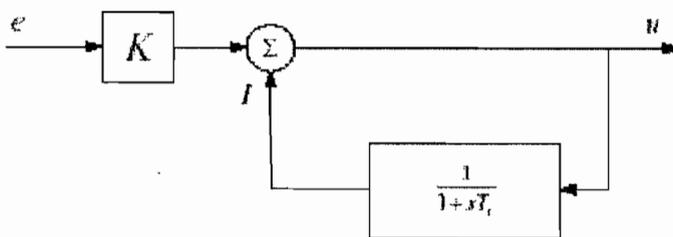


FIGURA 2.10. IMPLEMENTACIÓN DE LA ACCIÓN INTEGRAL CONCEBIDA COMO UN RESET AUTOMÁTICO, COMO TAMBIÉN FUE LLAMADA.

La implementación mostrada en la Fig. 2.10 todavía es usada por muchos fabricantes de controladores. Sin embargo, a partir del diagrama de bloques, se pueden deducir las siguientes ecuaciones:

$$u = Ke + I$$

$$T_i \frac{dI}{dt} + I = u$$

de donde, la eliminación de u entre estas ecuaciones produce:

$$T_i \frac{dI}{dt} + I = Ke + I$$

y, de aquí:

$$T_i \frac{dI}{dt} = Ke$$

que muestra que el controlador de la Fig. 2.10 es, en los hechos, un controlador del tipo PI. Las propiedades de la acción integral se ilustran en la Fig. 2.11, que muestra la simulación de un sistema de control PI. La ganancia proporcional es $K=1$ en todas las curvas. El caso $T_i = \infty$ corresponde a un control proporcional puro, que es idéntico al de $K=1$ de la Fig. 2.9, donde el error final es del 50%. El error es eliminado cuando T_i toma valores finitos. Para valores grandes de T_i , la respuesta se desliza lentamente hacia la referencia. El acercamiento es aproximadamente

exponencial con constante de tiempo T_i / KK_p y es más rápido para valores pequeños de T_i ; pero es, también, más oscilatorio.

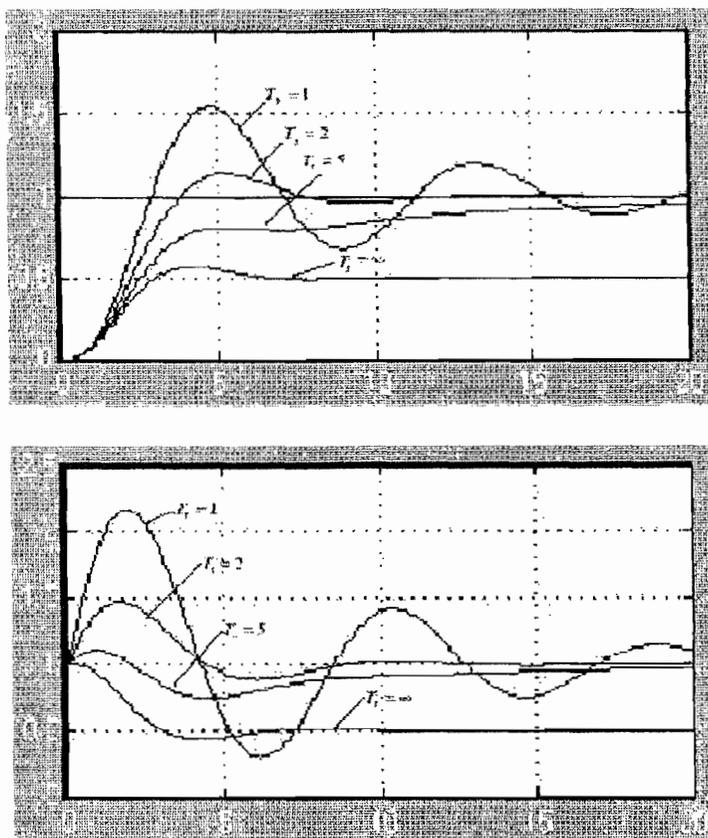


FIGURA 2.11. SIMULACIÓN DE UN SISTEMA EN LAZO CERRADO CON CONTROL PROPORCIONAL E INTEGRAL.

La función de transferencia del proceso es $G(s) = (s+1)^{-3}$, y la ganancia del controlador es $K=1$. El diagrama superior muestra la referencia y_{sp} y la salida del proceso y para

diferentes valores del tiempo integral T_i . El diagrama inferior muestra la señal de control u para los respectivos valores del tiempo integral.

Acción derivativa

El propósito de la acción derivativa es mejorar la estabilidad de lazo cerrado. El mecanismo de inestabilidad puede ser descrito intuitivamente como sigue. Debido a la dinámica del proceso, pasa algún tiempo antes de que la variable de control se note en la salida del proceso. De esta manera, el sistema de control tarda en corregir el error. La acción de un controlador con acción proporcional y derivativa puede ser interpretada como si el control proporcional fuese hecho para predecir la salida del proceso. La predicción se hace por la extrapolación del error de control en la dirección de la tangente a su curva respectiva, como se muestra en la Fig. 2.12.

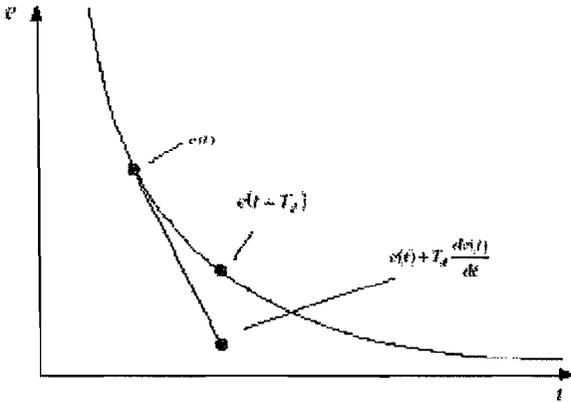


FIGURA 2.12. INTERPRETACIÓN GEOMÉTRICA DE LA ACCIÓN DERIVATIVA COMO UN CONTROL PREDICTIVO, DONDE LA PREDICCIÓN SE OBTIENE MEDIANTE EXTRAPOLACIÓN LINEAL.

La estructura básica de un controlador PD está dada por:

$$u(t) = K \left(e(t) + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$

La expansión en series de Taylor de $e(t + T_d)$ da:

$$e(t + T_d) \approx e(t) + T_d \frac{de(t)}{dt}$$

De esta manera, la señal de control es proporcional a un estimado del error de control en el un tiempo T_d hacia adelante, donde el estimado se obtiene mediante extrapolación lineal, como fue mostrado en la Fig. 2.12. Las propiedades de la acción derivativa se ilustran en la Fig. 2.13, que muestra la simulación de

un sistema con control PID. La ganancia del controlador y el tiempo de estimación se mantienen constantes con $K = 3$ y $T_i = 2$ y se varía el tiempo derivativo T_d . Para $T_d = 0$ se tiene un control PI puro. El sistema de lazo cerrado es oscilatorio con los parámetros elegidos. Inicialmente el amortiguamiento se incrementa con el incremento del tiempo derivativo, pero disminuye cuando el tiempo derivativo se vuelve más grande.

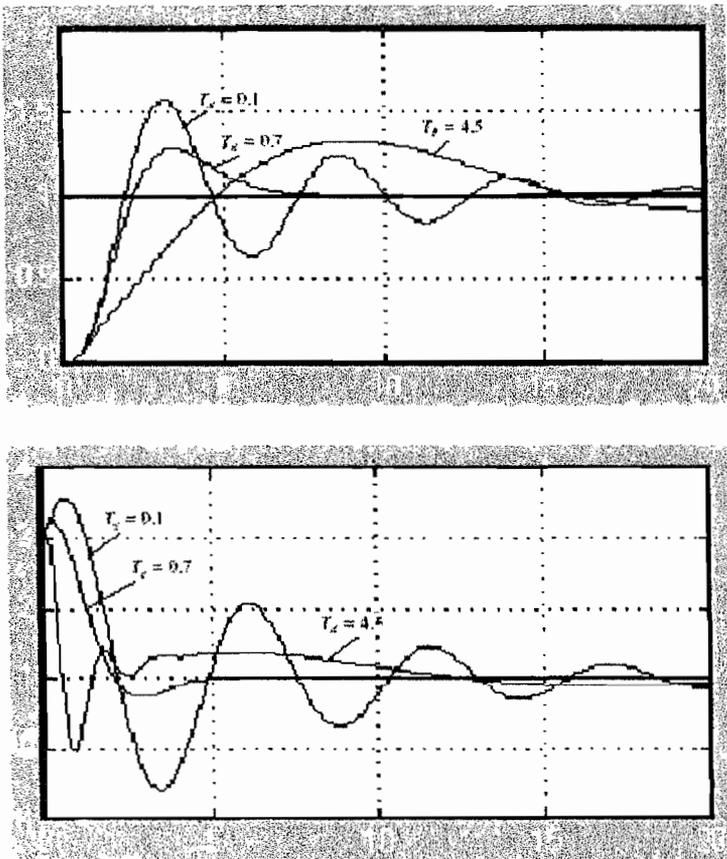


FIGURA 2.13. SIMULACIÓN DE UN SISTEMA EN LAZO CERRADO CON CONTROL PROPORCIONAL, INTEGRAL Y DERIVATIVO.

La función de transferencia del proceso es $G(s) = (s + 1)^{-3}$, la ganancia del controlador es $K = 3$ y el tiempo integral es $T_i = 2$. El diagrama superior muestra la referencia $y_{sp} = 1$ y la salida del proceso y para diferentes valores del tiempo derivativo T_d . El diagrama inferior muestra la señal de control u para los respectivos valores del tiempo derivativo.

Modificaciones del algoritmo PID

El algoritmo PID fue dado en la ecuación (9) en la sección anterior. Este algoritmo de “libro de texto” no es muy usado en la práctica debido a que se puede obtener un mejor funcionamiento mediante las modificaciones que se discuten en esta sección.

Representaciones alternativas

El algoritmo dado en la ecuación (9) puede ser representado por la siguiente función de transferencia:

$$G(s) = K \left(1 + \frac{1}{sT_i} + sT_d \right) \quad (14)$$

Una versión ligeramente diferente es más común en muchos controladores comerciales. Este controlador está descrito por:

$$G'(s) = K' \left(1 + \frac{1}{sT_i'} \right) (1 + sT_d') \quad (15)$$

Las dos estructuras del controlador son presentadas en forma de diagrama de bloques en la Fig. 2.14. El controlador dado por la ecuación (14) se llama “no interactivo” y el dado por la ecuación (15) “interactivo”. La razón para esta nomenclatura es que en el controlador (14) el tiempo integral T_i no influye en la parte derivativa, y el tiempo derivativo T_d no influye en la parte integral y, de esta forma, las partes no interactúan entre sí. En el controlador interactivo, el tiempo derivativo T_d' influye en la parte integral. Por tanto, las partes son interactivas.

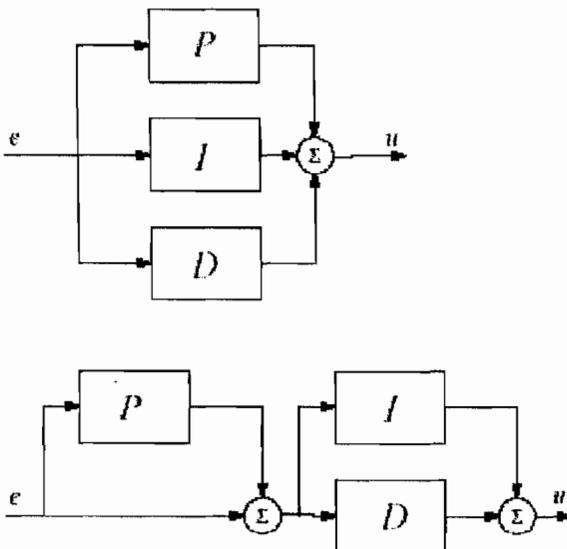


FIGURA 2.14. FORMAS INTERACTIVA Y NO INTERACTIVA DEL ALGORITMO DE CONTROL PID.

El controlador interactivo de la ecuación (15), se puede representar siempre como un controlador no interactivo. En este caso, sus coeficientes están dados por:

$$\begin{aligned} K &= K' \frac{T_i + T_d}{T_i} \\ T_i &= T_i + T_d \\ T_d &= \frac{T_i T_d}{T_i + T_d} \end{aligned} \quad (16)$$

Un controlador interactivo de la forma (15), que corresponde a un controlador no interactivo (14) se puede encontrar sólo si:

$$T_i \geq 4T_d$$

Entonces

$$\begin{aligned} K' &= \frac{K}{2} \left(1 + \sqrt{1 - 4T_d / T_i} \right) \\ T_i' &= \frac{T_i}{2} \left(1 + \sqrt{1 - 4T_d / T_i} \right) \\ T_d' &= \frac{T_i}{2} \left(1 - \sqrt{1 - 4T_d / T_i} \right) \end{aligned} \quad (17)$$

El controlador no interactivo dado por la ecuación (14) es más general. Sin embargo, se dice que el controlador interactivo es más fácil de ajustar manualmente.

Existe también una razón histórica para la preferencia del controlador interactivo. Los primeros controladores neumáticos fueron más fáciles de construir usando la forma

interactiva. Cuando los fabricantes de controladores cambiaron de tecnología mantuvieron esta forma por razones de tipo comercial. Como consecuencia, es más común entre los controladores de un solo lazo.

Es importante tener en mente que los diferentes controladores tienen diferentes estructuras. Esto significa que en un cierto lazo de control, donde el controlador de un cierto tipo, se reemplaza por otro tipo de controlador, los valores de los parámetros del nuevo controlador deben ser nuevamente ajustados de acuerdo a la dinámica del proceso. Note, sin embargo, que las formas interactivas y no interactivas son diferentes sólo cuando las partes I y D del controlador son usadas. Si sólo se usa el controlador como un P, PI o PD, las dos formas son equivalentes. Otra representación muy popular del algoritmo PID está dada por la siguiente ecuación:

$$G''(s) = k + \frac{k_i}{s} + s k_d \quad (18)$$

Los parámetros están relacionados con la forma estándar a través de las siguientes ecuaciones:

$$k = K$$

$$k_i = \frac{K}{T_i}$$

$$k_d = K T_d$$

La representación (18) es equivalente a la forma estándar, pero los valores de los parámetros son bastante diferentes. Esto puede causar grandes dificultades para cualquiera que no perciba las diferencias, particularmente si el parámetro $1/k_i$ es llamado tiempo integral y k_d tiempo derivativo. La forma dada por la ecuación (18) a menudo es útil en cálculos analíticos, debido a que los parámetros aparecen en forma lineal. La representación también tiene la ventaja de que es posible obtener acciones proporcionales, integral o derivativa puras mediante valores finitos de los parámetros. Resumiendo lo anterior, se puede ver que existen tres formas diferentes al considerar un controlador del tipo PID:

- La forma estándar o no interactiva dada por la ecuación (14).
- La forma serie o interactiva dada por la ecuación (15).
- La forma paralela dada por la ecuación (18).

La forma estándar algunas veces es llamada "*algoritmo ISA*", o "*algoritmo ideal*". Las acciones proporcional, integral y derivativas son no interactivas en el dominio del tiempo.

Este algoritmo admite ceros complejos, lo que es útil cuando se controla sistemas con polos oscilatorios.

La forma serie es también llamada forma clásica. Esta representación es obtenida fácilmente cuando el controlador es implementado como un dispositivo analógico, basado en un sistema neumático. El nombre "clásico" refleja este hecho. La forma serie tiene una interpretación atractiva en el dominio de la frecuencia, ya que los ceros corresponden a los valores inversos de los tiempos derivativo e integral. Todos los ceros del controlador son reales. Las acciones integral o proporcional puras no pueden ser obtenidas con valores finitos de los parámetros del controlador. La mayoría de los controladores usan esta forma.

La forma paralela es la más general, debido a que se pueden obtener acciones proporcionales, integrales y derivativas puras con parámetros finitos. El controlador puede también tener ceros complejos, siendo, por tanto, la forma más flexible. Sin embargo, es también la forma donde los parámetros tienen poca interpretación física.

Ponderación de la referencia

Un esquema común de un sistema de control se muestra en la Fig. 2.8. El sistema está caracterizado por la formación de

un error, que es la diferencia entre la referencia y la salida del proceso. El controlador genera una señal de control que se obtiene mediante el procesamiento del error y es aplicada luego al proceso. Este sistema es llamado “*sistema con error realimentado*” debido a que el controlador opera sobre la señal de error. Una estructura más flexible se obtiene mediante el tratamiento de la referencia y de la salida del proceso de manera separada. Un controlador PID de esta forma está dado por:

$$u(t) = K \left(e_p + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(s) ds + T_d \frac{de_d}{dt} \right) \quad (19)$$

donde el error en la parte proporcional es:

$$e_p = b y_{sp} - y \quad (20)$$

y el error en la parte derivativa es:

$$e_d = c y_{sp} - y \quad (21)$$

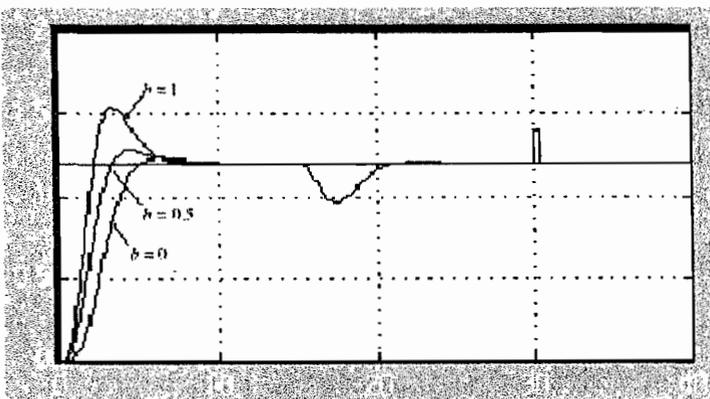
Para evitar errores de control en estado estacionario, el error en la parte integral debe ser el verdadero error de control:

$$e = y_{sp} - y$$

Los controladores obtenidos para diferentes valores de b y c responden a perturbaciones de carga y ruido de medición de manera similar. La respuesta a los cambios en la referencia



dependerá, sin embargo, de dichos valores. Esto se ilustra en la Fig. 2.15, que muestra la respuesta de un controlador PID con respecto a cambios en la referencia, perturbaciones de carga y errores de medición, para diferentes valores de b . La figura muestra claramente el efecto de cambiar b . El sobrepaso con respecto a los cambios en la referencia es más pequeño para $b = 0$, que es el caso donde la referencia sólo es introducida en el término integral y se incrementa cuando se incrementa b . Note que una simulación como la de la Fig. 2.15 es muy útil para hacer una rápida evaluación de las respuestas del sistema en lazo cerrado con respecto a los cambios en la referencia, las perturbaciones de carga y los errores de medición.



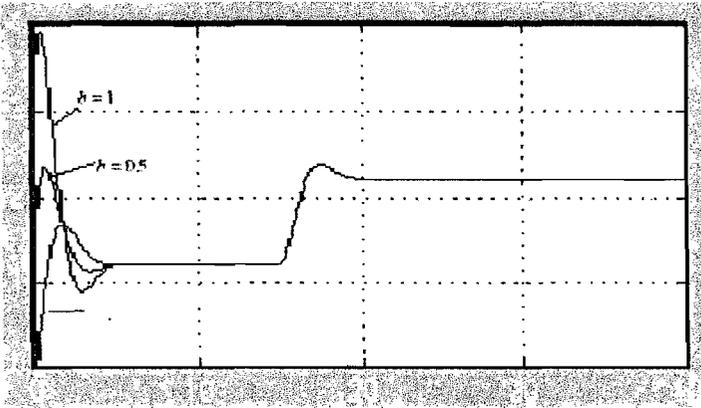


FIGURA 2.15. RESPUESTA CON RESPECTO A CAMBIOS EN LA REFERENCIA, PERTURBACIONES DE CARGA Y ERRORES DE MEDICIÓN PARA DIFERENTES VALORES DE LA PONDERACIÓN DE LA REFERENCIA b

El parámetro c normalmente se elige igual a cero para evitar grandes transitorios en la señal de control debido a cambios repentinos en la referencia. Una excepción es cuando el controlador es el controlador secundario en un acoplamiento en cascada. En este caso, la referencia cambia suavemente, debido a que es dada por la salida del controlador primario. El controlador con $b = 0$ y $c = 0$ se llama algunas veces controlador I-PD y el controlador con $b = 1$ y $c = 0$ se llama algunas veces controlador PI-D. En general, se prefiere el genérico uso de PID y dar los parámetros de b y c . En

general, un sistema de control tiene diferentes requerimientos. Se debe tener una buena respuesta transitoria con respecto a cambios en la referencia y rechazar las perturbaciones de carga y el ruido de medición. Un sistema con solamente error retroalimentado, que pretende satisfacer todas las demandas en el mismo mecanismo, se le conoce como "*sistema de un grado de libertad*". Teniendo trayectos diferentes para las señales de referencia y salida del proceso se consigue una mayor flexibilidad para satisfacer el compromiso de diseño. A estos últimos se los conoce como "*sistemas de dos grados de libertad*". Este tipo de sistemas se implementan mucho más en sistemas de control más sofisticados. En el diagrama de bloques de la Fig. 2.8, la salida del controlador es generada a partir del error $e = y_{sp} - y$. Note que este diagrama ya no es válido cuando se usan la ley de control dada por la ecuación (19) y las definiciones de error de las ecuaciones (20) y (21). Un diagrama de bloques para un sistema con control PID se muestra ahora en la Fig. 2.16.

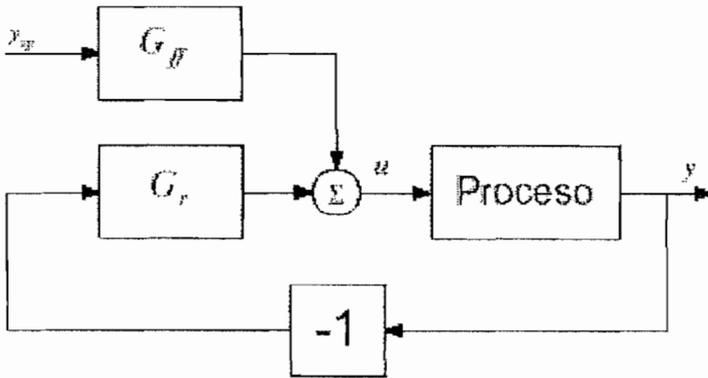


FIGURA 2.16. DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN LAZO DE REALIMENTACIÓN SIMPLE CON UN CONTROLADOR PID QUE TIENE UNA ESTRUCTURA DE DOS GRADOS DE LIBERTAD.

Note que la función de transferencia desde la referencia sp y a la señal de control u está dada por:

$$G_{ff} = K \left(b + \frac{1}{sT_i} + csT_d \right)$$

y que la función de transferencia desde la variable del proceso y a la variable de control u está dada por:

$$G_r = K \left(1 + \frac{1}{sT_i} + sT_d \right)$$

Note, también, que ambas funciones de transferencia son diferentes.

Limitación de la ganancia derivativa

La acción derivativa puede producir en dificultades, si existe ruido de medición de alta frecuencia. Un ruido de medición senoidal:

$$n = a \sin(\omega t)$$

da la siguiente contribución al término derivativo de la señal de control:

$$u_n = KT_d \frac{dn}{dt} = aKT_d \omega \cos(\omega t)$$

De esta manera, la amplitud de la señal de control puede ser arbitrariamente grande si el ruido tiene una frecuencia suficientemente alta. La ganancia de alta frecuencia del término derivativo, por tanto, debe ser limitada, para evitar esta dificultad. Esto se puede hacer implementando el término derivativo como se describe en la siguiente ecuación:

$$D = -\frac{T_d}{N} \frac{dD}{dt} - KT_d \frac{dy}{dt} \quad (22)$$

De esta ecuación se deduce que el término derivativo modificado puede ser implementado como sigue:

$$D = -\frac{sKT_d}{1 + sT_d/N} y$$

La modificación puede ser interpretada como la derivada filtrada por un sistema de primer orden con constante de tiempo Td/N . La aproximación actúa como una derivada para componentes de baja frecuencia de la señal. La ganancia, sin embargo, está limitada a KN . Esto significa que el ruido de medición de alta frecuencia es amplificado a lo más por este factor. Los valores típicos de N son 8 a 20. Note también que el término D puede ser implementado sin derivadores.

2.2. Programa de Lab View.

2.2.1 Introducción a Lab View.

LabVIEW™ (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) es un lenguaje poderoso de instrumentación y análisis para PCs que corre bajo sistemas Microsoft Windows, estaciones Sun SPARCstations, computadoras Apple Macintosh, PowerMax concurrente y estaciones de trabajo HP-UX. LabVIEW se distingue de la naturaleza secuencial de los lenguajes tradicionales de programación y provee un ambiente de programación gráfico con todas las herramientas necesarias



para la adquisición, análisis y presentación de datos. Con este lenguaje gráfico de programación llamado "G", se puede programar utilizando una notación de diagramas de bloques, que es la notación de diseño natural para los ingenieros y científicos. Después de que se ha creado el programa con diagramas de bloques, LabVIEW lo compila en código de máquina.

LabVIEW integra la adquisición, el análisis y la presentación de datos en un solo sistema. Para adquirir datos y controlar instrumentos, LabVIEW tiene funciones de RS-232/485, IEEE 488 (GPIB). VXI, y VISA (Virtual Instrument Software Architecture); y también soporta tarjetas insertables de adquisición de datos, DAQ. Existe una librería de instrumentos que contiene manejadores para cientos de instrumentos y simplifica las aplicaciones de control de instrumentos. Para analizar datos, la extensa librería de Análisis contiene funciones para generación de señales, filtros de procesamiento de señales, ventanas, estadística, regresión, álgebra lineal y aritmética de arreglos. Debido a que LabVIEW es un lenguaje gráfico por naturaleza, es inherentemente un paquete de presentación de datos. LabVIEW puede generar gráficas, gráficas de barrido y gráficas definidas por el usuario.

2.2.2 Descripción de un instrumento virtual (VI).

Los programas de LabVIEW son llamados instrumentos virtuales (VIs). Los VIs tienen tres partes principales: el panel frontal, el diagrama de bloques, y el icono/conector.

El panel frontal permite dar valores de entrada y ver los valores de salida del diagrama de bloques del VI. Dado que el panel frontal es análogo al panel frontal de un instrumento, las entradas son llamadas controles y las salidas son llamadas indicadores. Usted puede utilizar una gran variedad de controles e indicadores como perillas, interruptores, botones, graficas, etc. Los controles e indicadores ayudan a que el panel frontal sea fácil de entender y a que sus elementos se identifiquen rápidamente. A continuación se muestra en la Fig. 2.17 un ejemplo del panel frontal de un VI:

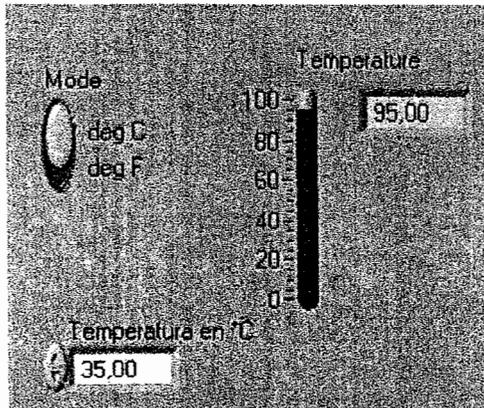


FIGURA 2.17. EJEMPLO DE PANEL FRONTAL DE UN VI.

Cada panel frontal es acompañado de un diagrama de bloques que es el programa del VI. Usted puede construir un diagrama de bloques utilizando el lenguaje de programación grafica G. Se puede pensar que el diagrama de bloques es el código fuente de su programa. Los componentes del diagrama de bloques representan los nodos del programa: por ejemplo, ciclos For, estructuras case, y funciones aritméticas. Los componentes se “conectan” para definir el flujo de datos dentro del diagrama de bloques. El diagrama de bloques para el VI Temperature se muestra en la Fig. 2.18.

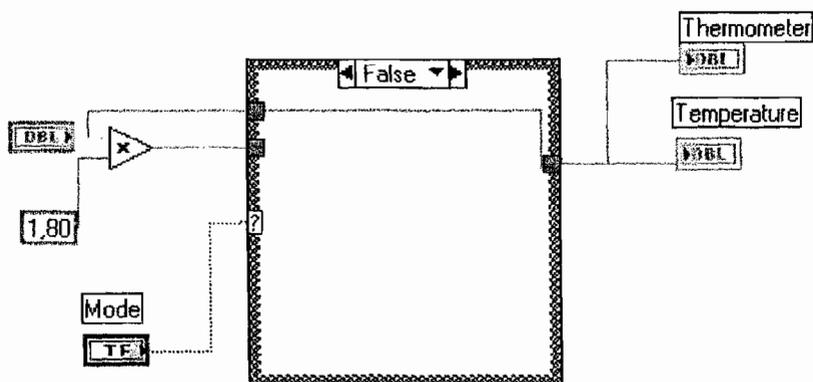


FIGURA 2.18. EJEMPLO DE DIAGRAMA DE BLOQUES PARA EL VI TEMPERATURA.

Para convertir un VI en un objeto (subVI) se utiliza el icono/conector. Un subVI se puede utilizar como una "subrutina" dentro de los diagramas de bloques de otros VIs. El icono representa gráficamente al VI dentro del diagrama de bloques y lo diferencia de otros VIs. El conector de las terminales determina en dónde se deben alambrear las entradas y salidas del icono. Las terminales son análogas a los parámetros de una subrutina y corresponden a los controles e indicadores del panel frontal del VI. La siguiente Fig. 2.19 muestra el icono y el conector para el VI Temperature. Usualmente, el conector permanece escondido debajo del icono hasta que usted elija verlo.

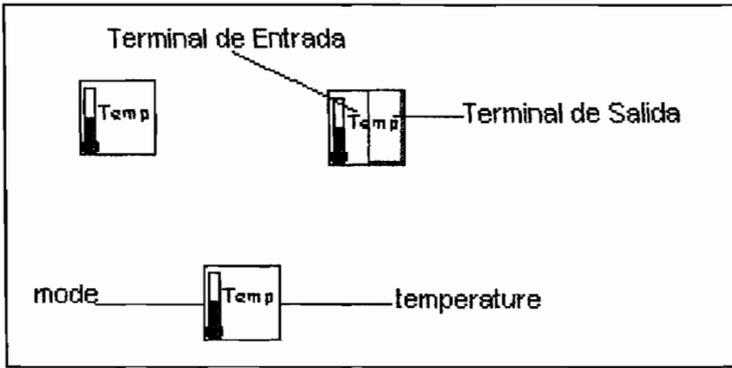


FIGURA 2.19. ICONO Y CONECTORES PARA EL VI TEMPERATURE.

El poder de LabVIEW reside en la naturaleza jerárquica de un VI. Después de crear un VI, se puede utilizarlo como un subVI en el diagrama de bloques de un VI de nivel más alto. No existe un límite en el número de jerarquías.

Como ejemplo, veamos el VI que utiliza el VI Temperature como un subVI en su diagrama de bloques. El panel frontal del VI de nivel superior se muestra en la figura siguiente. Al ser utilizado como un subVI, el VI Temperature, recolecta la información, y después el VI de alto nivel gráfica los resultados. Usted puede especificar el número de mediciones y el lapso de tiempo entre cada medida en el panel frontal del VI de alto nivel.



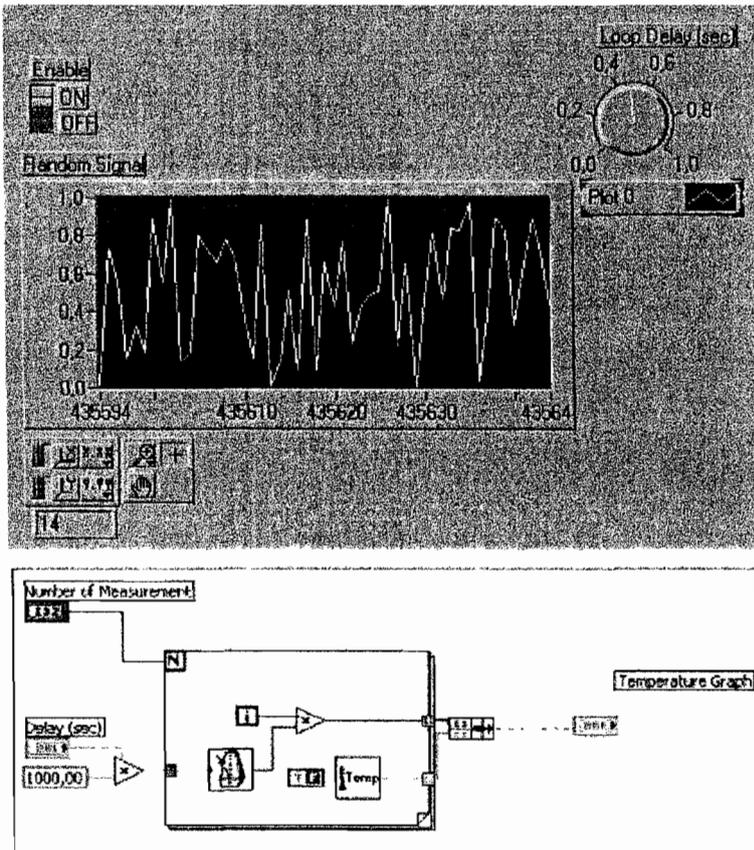


FIGURA 2.20. CORRIDA Y DIAGRAMA DE BARRIDO DEL VI TEMPERATURA.

El diagrama de bloques del VI de alto nivel muestra el VI Temperature dentro de un ciclo. El VI recolecta las mediciones durante cada iteración del ciclo. Después de que dicho ciclo se ejecuta un número específico de veces, el VI pasa la información al icono que se encarga de graficar los datos en el

panel frontal del VI de alto nivel. Discutiremos los iconos mas adelante.

En LabVIEW, usted puede utilizar un VI como un subVI. Esta característica hace que los diagramas de bloques sean modulares y fáciles de depurar, entender y mantener.

El Ambiente de Programación de LabVIEW

En el medio ambiente de Windows, la ventana/menú de LabVIEW contiene iconos. El icono del programa de LabVIEW inicia la operación de LabVIEW. El icono de LabVIEW Uninstall inicia una utilidad que remueve LabVIEW y sus archivos asociados de la computadora. Además, el instalador de LabVIEW instala automáticamente NI-DAQ Configuration Utility en el grupo de programas de LabVIEW.

La ventana de inicio de Lab View

La siguiente ventana de inicio de LabView aparece al oprimir dos veces el botón del mouse sobre el icono de LabVIEW:

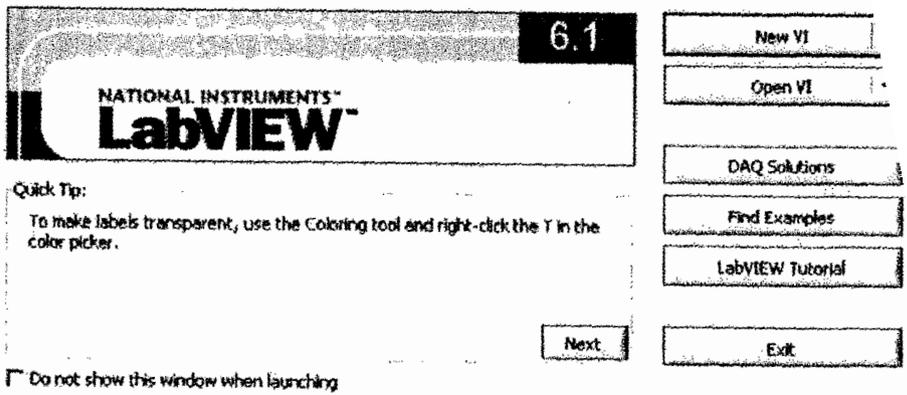


FIGURA 2.21. VENTANA DE ENTRADA A LABVIEW.

New VI.- Crea un VI nuevo.

Open VI.- Abre un VI existente.

DAQ Solution Wizard.- Ejecuta una utilidad interactiva que permite crear aplicaciones de adquisición de datos.

Search Examples.- Abre una utilidad que lista y abre los VIs de ejemplo de LabVIEW que Usted seleccione.

LabVIEW Tutorial.- Abre el tutorial interactivo de LabVIEW. El tutorial tiene una duración de 15 minutos. Si la computadora tiene una tarjeta de sonido, esta será detectada automáticamente y se utilizará en el tutorial para hacer una presentación verbal de la información.

Exit (Quit en Maquintosh).- Esta pantalla también incluye sugerencias rápidas. Es posible ver más sugerencias seleccionando el botón Next. El interruptor que se encuentra

en la parte inferior de la ventana permite elegir entre la versión completa o la versión abreviada de la ventana de inicio de LabVIEW. La versión abreviada contiene opciones para salir de LabVIEW, abrir un VI existente, o crear un nuevo VI.

Ventanas de Panel y de Diagrama

Al seleccionar NEW VI de la ventana de inicio de LabVIEW, una nueva ventana de panel sin título aparece en la pantalla. La ventana del panel despliega el panel frontal de su VI; ésta es una de las dos ventanas que se utilizan en LabVIEW para construir un VI. La otra ventana, la ventana de diagrama, contiene el diagrama de bloques.

Los paneles frontales y el diagrama de bloques están constituidos por una colección de objetos gráficos que son los elementos programables de LabVIEW. Los paneles frontales contienen varios tipos de controles e indicadores. Los diagramas de bloques consisten en terminales que corresponden a los controles e indicadores del panel frontal, así como constantes, funciones, subVIs, estructuras, y cables que transportan datos de un objeto a otro. La Fig. 2.22 muestra un panel frontal y su programa asociado.

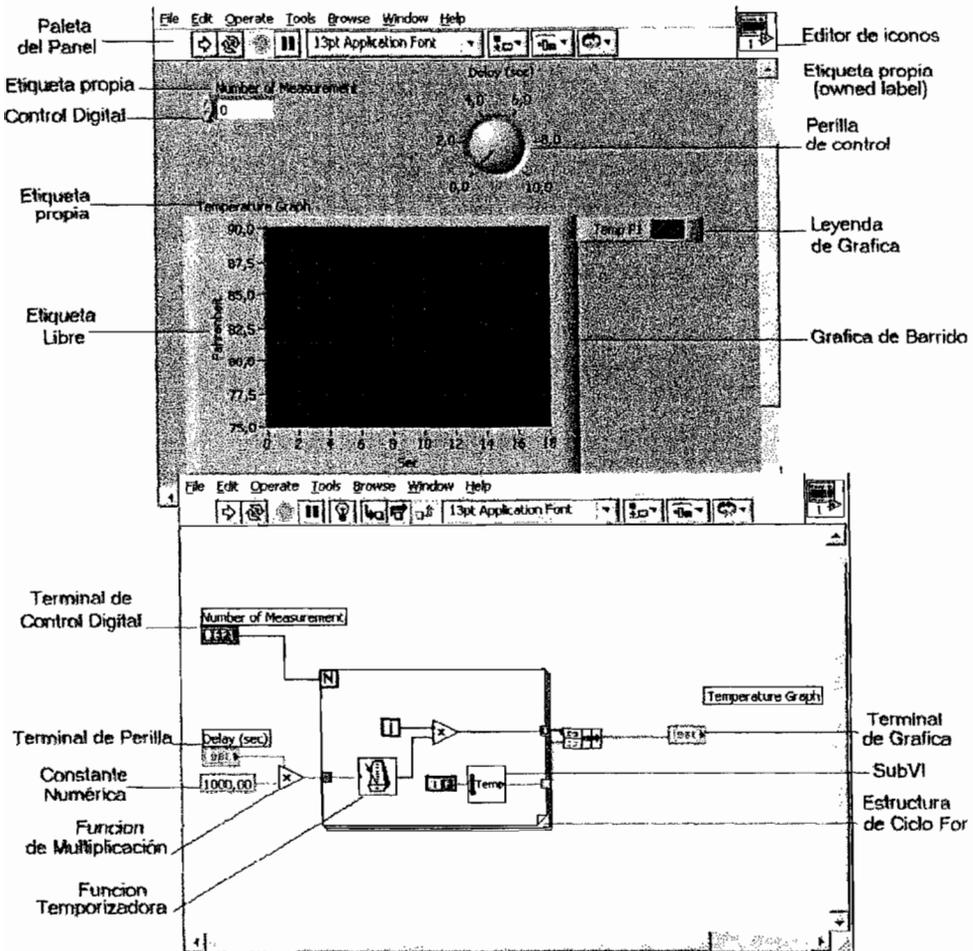


FIGURA 2.22. PANEL FRONTAL Y SU PROGRAMA ASOCIADO.

Barra de Herramientas del Panel Frontal

Las ventanas de panel y de diagrama contienen una barra de herramientas con botones de comando e indicadores de estado

que se utilizan para controlar el VI. Dependiendo de si esta trabajando en la ventana del panel del diagrama, una de las dos barras de herramientas esta disponible. La siguiente barra de herramientas aparece en la parte superior de la ventana de panel.

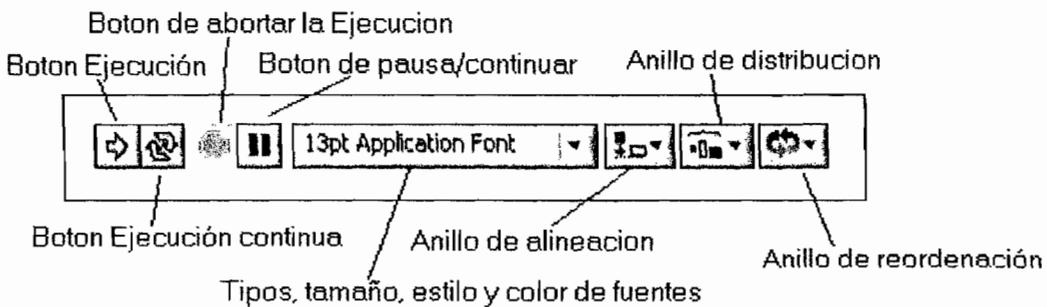


FIGURA 2.23. BARRA DE HERRAMIENTAS DEL PANEL FRONTAL.

Barra de Herramientas del Diagrama de Bloques

La barra de herramientas del diagrama de bloques contiene casi los mismos botones que la barra de herramientas del panel frontal, pero además tiene cuatro herramientas útiles para depuración.

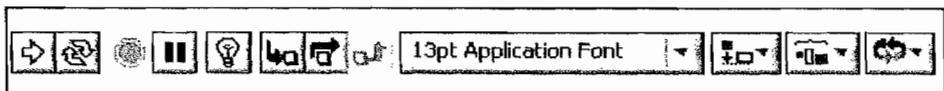


FIGURA 2.24. BARRA DE HERRAMIENTAS DEL DIAGRAMA

DE BLOQUES.



El botón de Animación de la ejecución. Presione este botón con el botón izquierdo del mouse para habilitar la Animación de la Ejecución.



En este modo el botón cambia al icono que se muestra a la izquierda. Este modo permite ver el flujo de los datos a través del diagrama de bloques



El botón de Pasar Sobre. Oprima este botón con el botón izquierdo del mouse para habilitar el modo paso a paso, este modo permite parar en cada uno de los nodos del VI. Este modo hace que los nodos parpadeen para denotar que están listos para ejecutarse. Presione en el botón de Pasar Sobre con el botón izquierdo del mouse si desea saltarse un ciclo. subVI. etc. Al saltarse un nodo, éste no se ejecutara paso a paso.



El botón de Entrar A. Oprima el botón izquierdo del mouse sobre en el botón de Entrar A para entrar a un ciclo, subVI, etc. Al entrar en el nodo, Usted está listo para hacer ejecución paso a paso dentro del nodo.

Paleta de Herramientas y Paleta de funciones

En la Fig. 2.25 vemos el cuadro esquemático de las paletas de herramientas y funciones. La paleta de Control esta disponible únicamente cuando la ventana del panel esta activa y la paleta de funciones únicamente esta disponible cuando la ventana de diagramas esta activa.

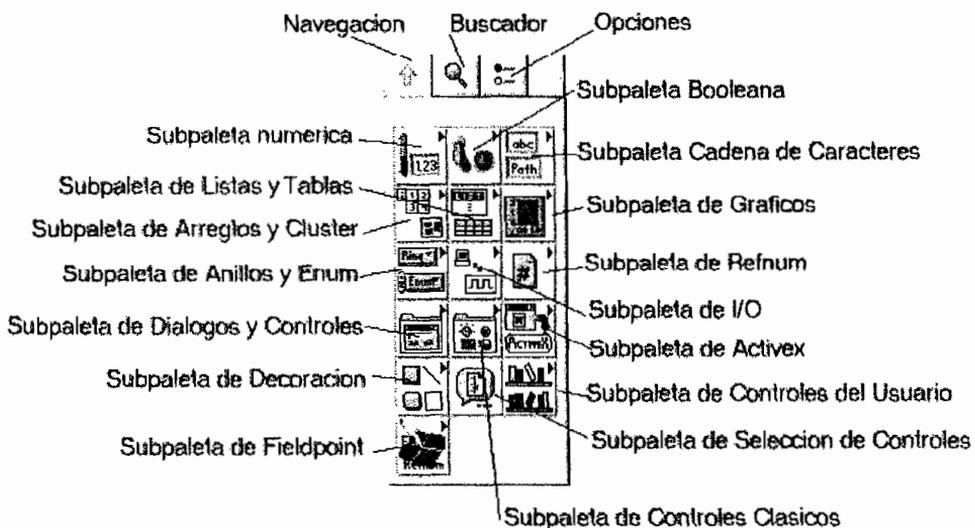


FIGURA 2.25. PALETA DE HERRAMIENTAS Y PALETA DE FUNCIONES

2.2.3 Descripción de un Sub VI's.

Para entender lo que es un Sub VI's hay que entender lo que



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL

es un VI o lo que es lo mismo un instrumento virtual para eso hay que saber que los VIs tienen tres partes principales: el panel frontal, el diagrama de bloques, y el icono/conector.

Panel Frontal

El panel frontal de un VI se construye con una combinación de controles e indicadores. Los controles son el medio para suplir datos al VI. Los indicadores despliegan los datos generados por el VI. Hay varios tipos de controles e indicadores tales como:

Los numéricos del tipo control e indicador digital.

Los controles e indicadores del tipo booleanos que se utilizan para dar y recibir valores booleanos (verdadero – falso).

El diagrama de Bloques

El diagrama de Bloques esta compuesto de nodos, terminales y cables.

Nodos.- Los nodos son elementos de ejecución del programa. Los nodos son análogos a estatutos, funciones y subrutinas en los lenguajes de programación basados en texto. Existen cuatro tipos de nodos:

1. Funciones que están preconstruidas en los nodos y

realizan funciones elementales como sumar dos números, entrada/salida de archivos, o dar formato a cadena de caracteres.

2. Nodos de sub VI's, que fueron diseñados previamente y son llamados desde otro VI.
3. Estructuras tales como Ciclos For y While controlan el flujo del programa.
4. Nodos de de Interfaz de Código.

Terminales.- Las terminales son puertos a través de los cuales los datos pasan entre los nodos del diagrama de bloques. Las terminales son análogas a parámetros y constantes. Hay dos tipos de terminales terminales de control o indicadores y terminales de nodo.

Cableado.- Los cables son rutas de datos entre terminales. Son análogos a las variables en los lenguajes de programación convencionales. El flujo de datos es unidireccional, desde la terminal de origen hasta una o varias terminales de destino. Existen diferentes patrones de cable para representar los diferentes tipos de dato. En un monitor a color, cada tipo de datos tiene un color diferente.

Icono/ conector

En si esta parte corresponde a la edición del icono que por principio esta en la parte superior derecha del panel frontal y que será explicada mejor en la creación de un sub VI, con sus respectivos conectores.

Ideas básicas en la creación de un SubVI.

La clave para crear aplicaciones en LabVIEW es entender y utilizar la naturaleza jerárquica del VI. Esto es, una vez que un VI es creado, este se puede utilizar como un subVI, en el diagrama de bloques de un VI de un nivel más alto. Si un diagrama de bloques tiene muchos iconos, Se puede agruparlos en un VI de bajo nivel para mantener la simplicidad del diagrama de bloques. Este procedimiento modular hace que las aplicaciones sean fáciles de depurar, entender, y mantener. Esto se lo puede observar en la Fig. 2.26

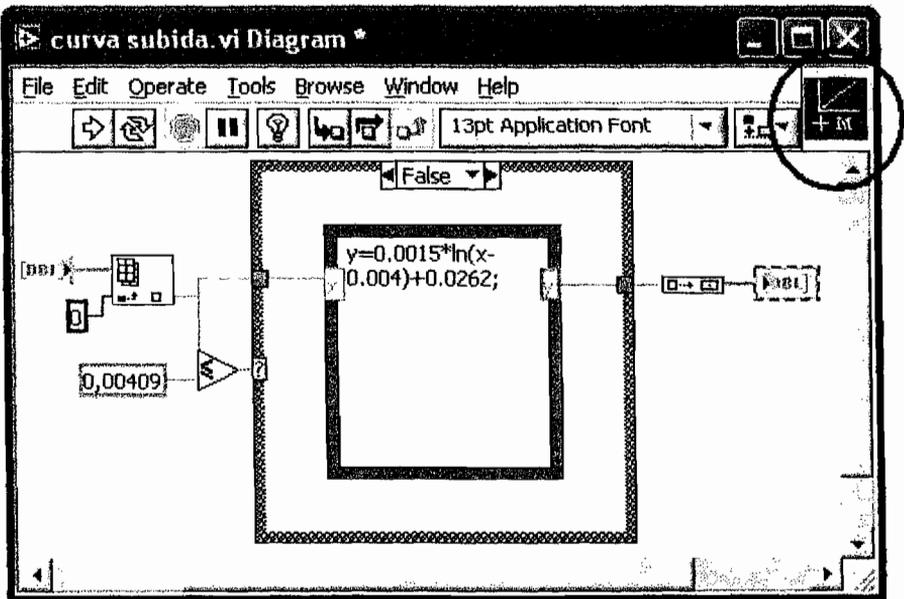


FIGURA 2.26. SUB VI CON SU ICONO PROPIO (SUBRAYADO EN UN CÍRCULO).

Creando el icono y el conector

EL VI que se va a utilizar como subVI necesita un icono para ser representado en el diagrama de bloques del VI de nivel superior que lo esta llamando como se ve en el ejemplo de diagrama de bloques en la Fig. 2.27. El subVI también debe tener un conector con terminales para pasar datos desde y hacia los VI's de nivel superior como se ve en el ejemplo en la Fig. 2.28.

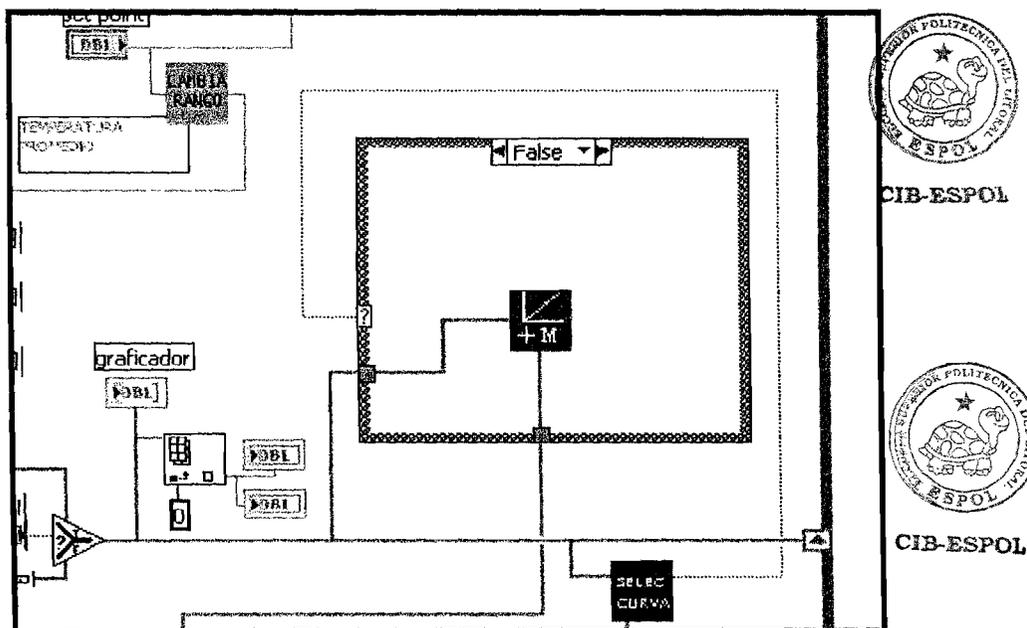


FIGURA 2.27. EJEMPLO DE UN SUBVI EN UN DIAGRAMA DE BLOQUES.

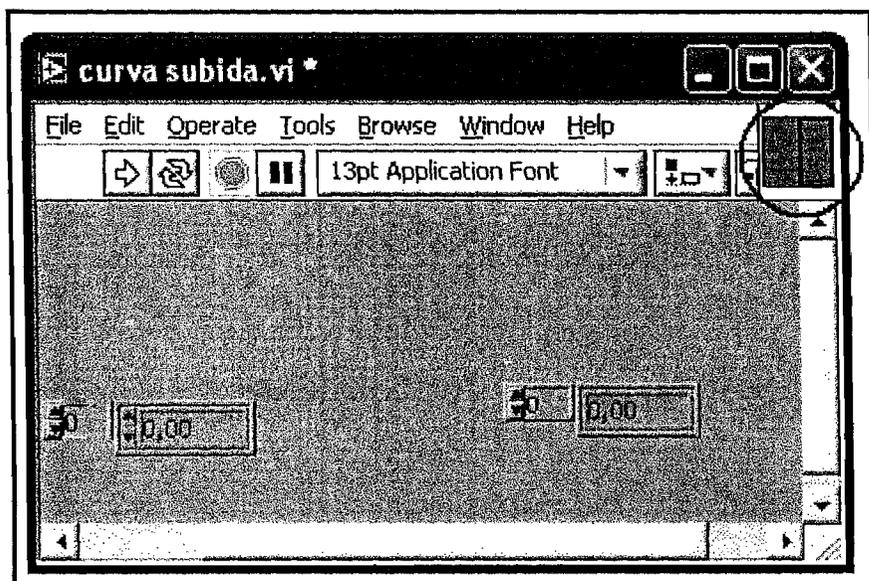


FIGURA 2.28. EJEMPLO DE UN SUBVI CON SUS CONECTORES.

Icono.- Todo VI tiene un icono predeterminado que es desplegado en la esquina superior derecha de la ventana de diagrama y de panel. El icono asignado a los VIs por default es el logo de LabVIEW y un número indicando cuántos VIs nuevos se han abierto desde la ejecución de LabVIEW. El editor de Iconos se utiliza para diseñar el icono al prender y apagar sus diferentes píxeles. Para activar el Editor de Iconos, oprima el botón derecho del mouse sobre la esquina superior derecha de la ventana del Panel y seleccione Edit Icon como se muestra en la Fig. 2.29.

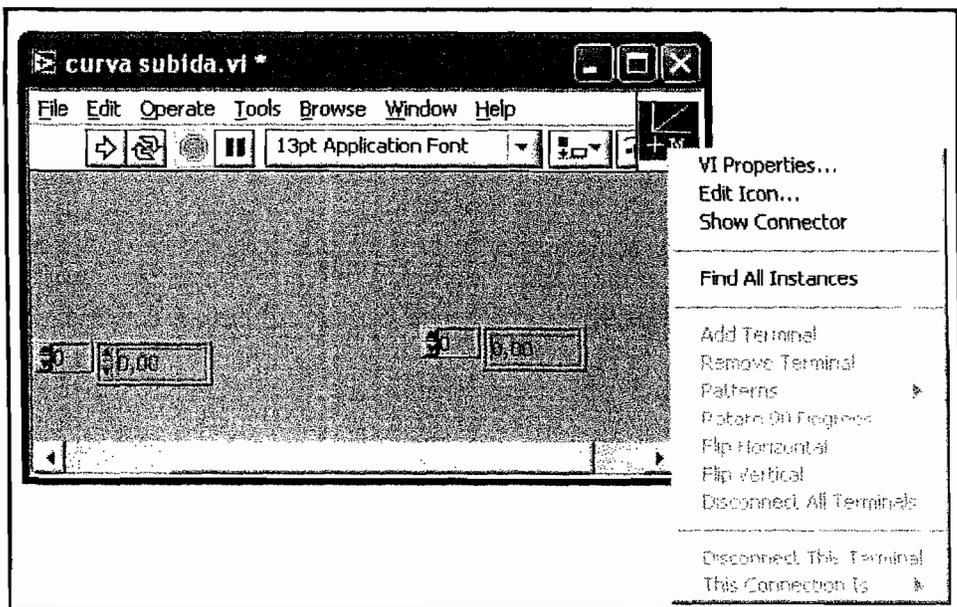


FIGURA 2.29. EJEMPLO DE ABERTURA DEL MENÚ DEL ICONO.

Al seleccionar Edit icon, aparecerá la siguiente ventana. Usted puede utilizar las herramientas de la izquierda para crear el diseño del icono en el área de edición de píxeles. Una imagen del tamaño real del icono aparece en una de las cajas que están a la derecha del área de edición.

Conector.-El conector la interfaz programática de un VI. Si usted utiliza los controles o indicadores del panel para pasar datos desde y hacia subVIs, estos requieren de terminales en el panel de conexiones al escoger el numero de terminales que quiere utilizar para ese VI y al asignarles un control o indicador en el panel frontal.

Para definir un conector, selecciones Show Connector (Mostrar Conector) del menú que se despliega al oprimir el botón derecho del mouse sobre la ventana del panel (ver Fig. 2.30). La ventana de diagrama no tiene un panel de conexiones.

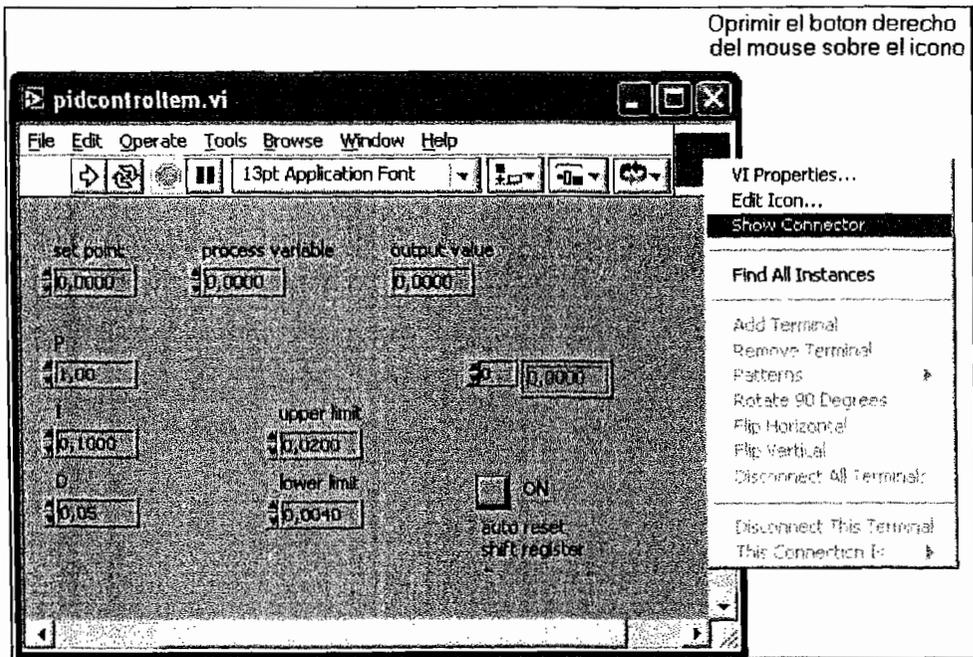


FIGURA 2.30. MENÚ PARA ENTRAR A LOS CONECTORES.

El conector reemplaza al icono que se encuentra en la esquina superior derecha de la ventana del Panel. LabVIEW selecciona el patrón apropiado para su VI con controles en el lado izquierdo del panel de conexiones e indicadores en el lado derecho. El número de terminales seleccionadas depende del número de controles e indicadores que existen en el panel frontal.

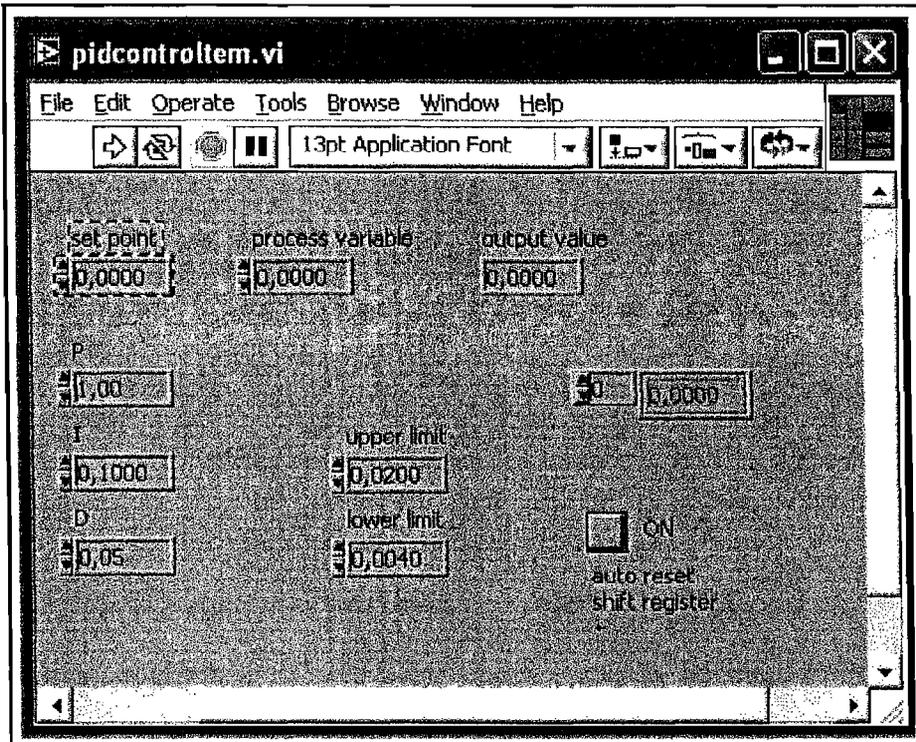


FIGURA 2.31. MUESTRA LOS DIFERENTES CONECTORES DE ENTRADA Y SALIDA

En la Fig. 2.31 en la parte superior derecha cada rectángulo en el conector representa un área terminal, y usted puede utilizar los rectángulos para entrada o salida del VI. Si es necesario. Usted puede seleccionar un patrón de terminales diferente para su VI.

2.2.4 Descripción de iconos.

En la programación de LabView se van a utilizar un número grande de iconos que pueden y son del tipo funciones como suma, resta, multiplicación, etc. Pero lo que mas se encuentra en la programación dentro del diagrama de bloques son los iconos que son del tipo SubVís y VÍ's que ya llevan dentro una programación básica y que dependiendo del uso que se les dará serán usados. Para no dilatar y teniendo en cuenta que el uso de cada uno es en si un curso llamado labView Básico I manual del curso, que lo da la compañía Nacional Instrument en la tesis solo se hablara estrictamente del los SubVÍ's y VÍ's hechos para la planta en el Capitulo 3, mas adelante.

2.2.5 Ciclos y graficas de Barrido.

Introducción

Las estructuras controlan el flujo de datos de un VI. LabVIEW tiene cuatro estructuras que controlan el flujo del programa: el Ciclo While, el Ciclo For, la estructura Case, y la estructura de

Secuencia. Esta lección cubre dos estructuras—el Ciclo While y el Ciclo For—así como a las gráficas de onda y los registros de corrimiento.

Ciclo While

Un Ciclo While repite una parte del código del diagrama de bloques múltiple veces (Fig.2.32 Ciclo While).

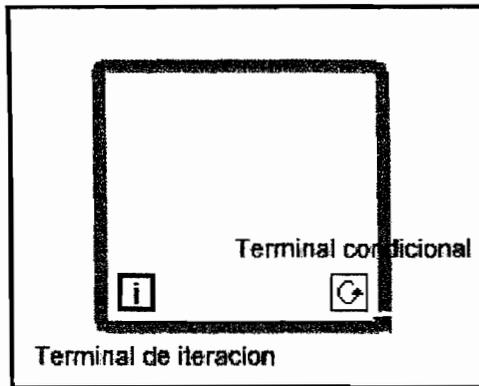


FIGURA 2.32. CICLO WHILE

El Ciclo While es una caja redimensionable. Usted puede añadir elementos del diagrama de bloques a su ciclo While al arrastrarlos con el mouse y soltarlos dentro de los límites del área definida por dicha estructura o ciclo.

El VI repite el código dentro del Ciclo While hasta que el valor Booleano pasado a la terminal condicional (una terminal de entrada) sea FALSO. El VI revisa la terminal condicional al final de cada iteración; por lo tanto, el Ciclo While siempre se ejecuta una vez. La terminal de iteración es una terminal numérica de

salida que contiene el número de veces que el ciclo se ha ejecutado, comenzando desde cero. (Esto es, durante la primera ejecución del ciclo, la terminal de iteración contiene el número cero).

Gráficas de Barrido.- La gráfica de barrido es un indicador numérico especial que despliega una o más graficas. La grafica de barrido se encuentra en la subpaleta Graph de la paleta de Controls. Las graficas de barrido pueden desplegar uno o múltiples. Un ejemplo de una grafica con múltiples trazos se muestra en la siguiente Fig.2.33.

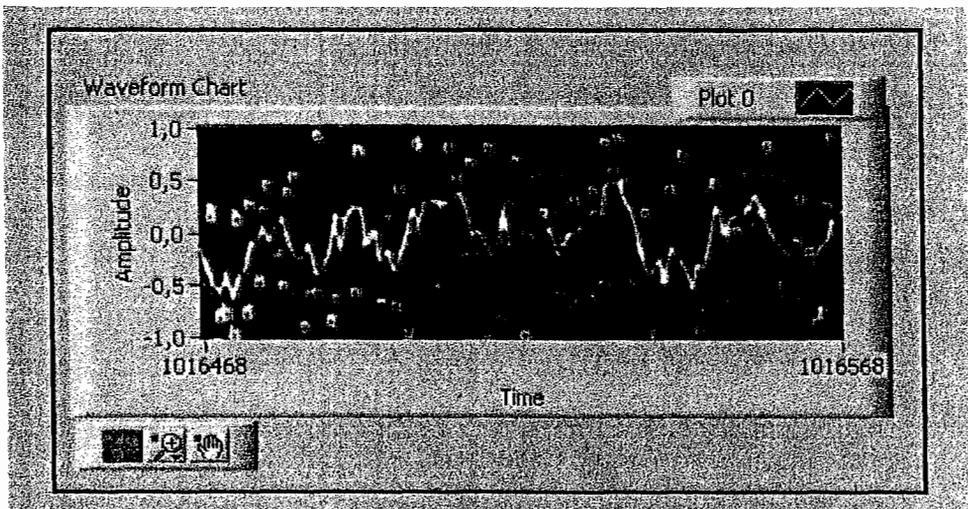


FIGURA2.33. GRAFICA DE BARRIDO CON MÚLTIPLES TRAZOS.

La grafica de barrido tiene tres modos de actualización *Strip*

Chart (barrido), *scope chart* (barrido fijo), y *sweep chart* (alcance).

La grafica de barrido despliega el trazo de manera similar a un papel sismografito. Los modos de actualización *scope chart* y *sweep chart* despliegan los trazos de forma similar a un osciloscopio.

Agregando Medición de Tiempo.- Al ejecutar el ciclo While se ejecuto tan rápido como fue posible. Sin embargo, es posible que usted necesite adquirir los datos en ciertos intervalos de tiempo, quizá una vez por segundo o una vez por minuto.

Puede controlar el tiempo de los ciclos utilizando la función WAIT Until Next ms Múltiple (subpaleta Time & Dialog). Esta función se asegura que ninguna iteración tenga menor duración que el número de milisegundos especificados, como se ve en la Fig.2.34.

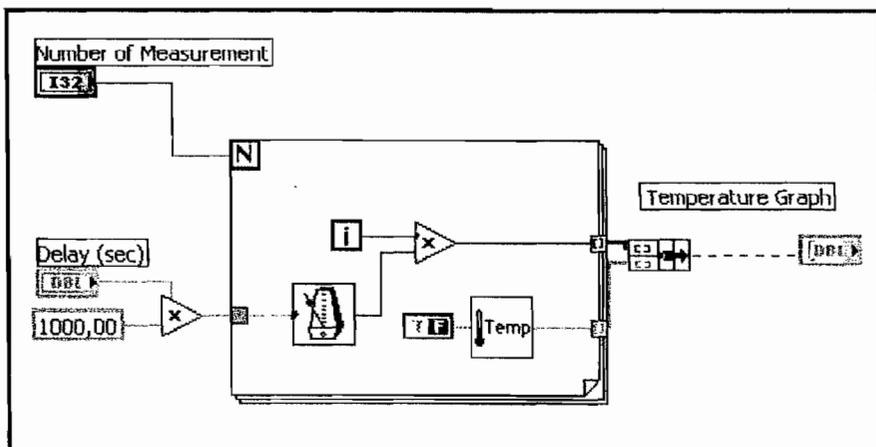


FIGURA 2.34. GRAFICA DE BARRIDO CON MEDICIÓN DE



TIEMPO.

Registros de Corrimiento.- Los Registros de Corrimiento (disponibles en Ciclos While y For) se utilizan para pasar de valores de una Iteración a la siguiente iteración. Para crear un registro de corrimiento, oprima el botón derecho del mouse sobre el borde izquierdo o derecho del ciclo y seleccione Add Shift Register del menú.

El registro de corrimiento contiene un par de terminales que se encuentran en el borde izquierdo y derecho del ciclo.

La terminal derecha almacena los datos hasta que la iteración termina. Al final de la iteración, los datos se pasan a la terminal izquierda para que se puedan utilizar al principio de la siguiente iteración (vea la Fig. 2.35). Un registro de corrimiento puede almacenar cualquier tipo de datos—numérico, Booleano, cadena de caracteres, arreglo, etc. El registro de corrimiento se adapta automáticamente al tipo de datos del primer objeto que se cablea al registro de corrimiento.

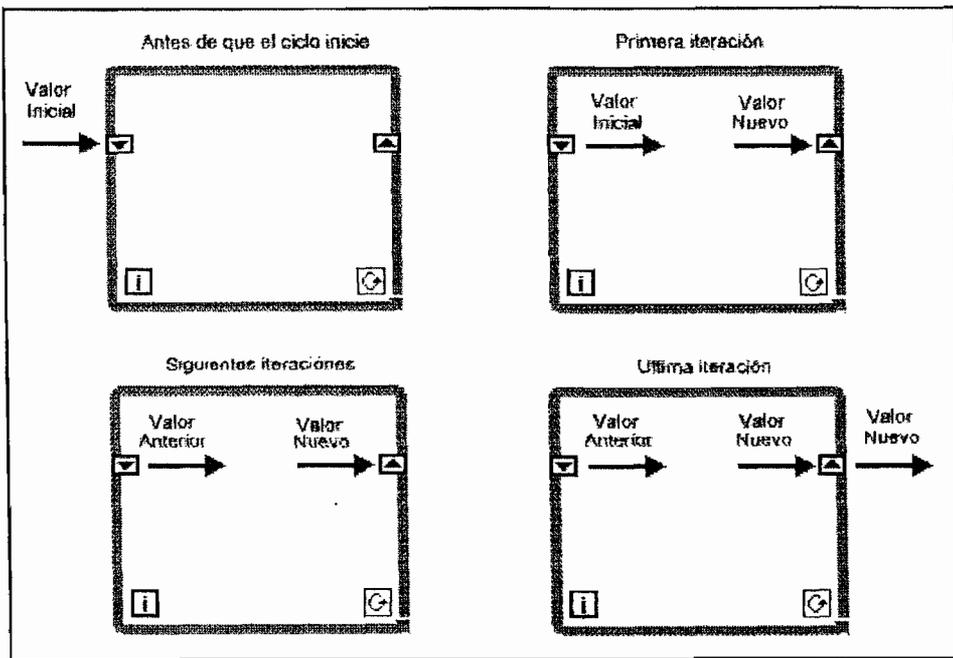


FIGURA 2.35. REGISTRO DE CORRIMIENTO.

Ciclo For

Un Ciclo For repite parte del código del diagrama de bloques un número predeterminado de veces. Para utilizar un Ciclo For, hay que seleccionarlo de la subpaleta Structures de la paleta Functions, y después encerrar el código que se va a repetir dentro de los límites del Ciclo For. Un Ciclo For (que se muestra en la Fig. 2.36) es una caja redimensionable. El Ciclo For tiene dos terminales: la terminal de cuenta (una terminal de entrada) y la terminal de iteración (una terminal de salida). La terminal de cuenta especifica el número de veces que se va a

ejecutar el ciclo, La terminal de iteración contiene el número de veces que se ha ejecutado el ciclo.

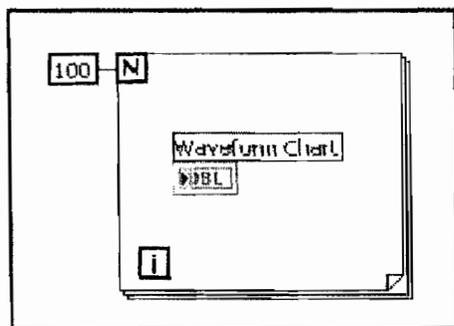


FIGURA 2.36. CICLO FOR

La diferencia entre el ciclo For y el ciclo While es que el ciclo For se ejecuta un número predeterminado de veces. Un ciclo While deja de repetir el código que esta encerrado dentro de sus límites únicamente si el valor de la terminal condicional es FALSO.

2.2.6 Arreglos y Graficas.

Arreglos

Un arreglo es una colección de datos del mismo tipo. Los arreglos pueden ser de cualquier tipo: numérico, booleano, cadena de caracteres o cluster. El arreglo de una dimensión (1D) que se muestra en la Fig. 2.37 ilustra esta estructura.

Los arreglos en LabVIEW pueden ser de cualquier tipo. Sin embargo, no se pueden tener arreglos de arreglos, arreglos de graficas o de graficas de barrido.

indice	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
arreglo de 10 elementos	12	32	82	80	48	51	60	10	25	17

FIGURA 2.37. ILUSTRACIÓN DE UN ARREGLO DE UNA DIMENSIÓN.

Recuerde que los arreglos son indexados en cero, es decir, el índice que representa el primer elemento del arreglo tiene un valor de cero.

La terminal del arreglo aparecerá negra con un corchete vacío si el objeto de datos no es asignado.

Usted puede crear un arreglo en la ventana del Panel siguiendo dos pasos: primero, necesita poner una estructura de un arreglo (Subpaleta Array & Cluster) en la ventana, y después necesita añadir el control o indicador deseado en la estructura. Como se ve en la Fig. 2.38

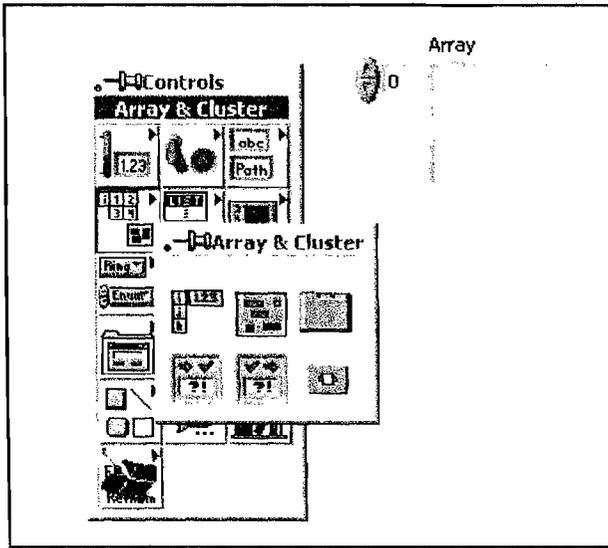


FIGURA 2.38. CREACIÓN DE UN ARREGLO.

La subpaleta Array contiene funciones para manipular arreglos, tales como Build Array e index Array. Esto se ve en la Fig.2.39.

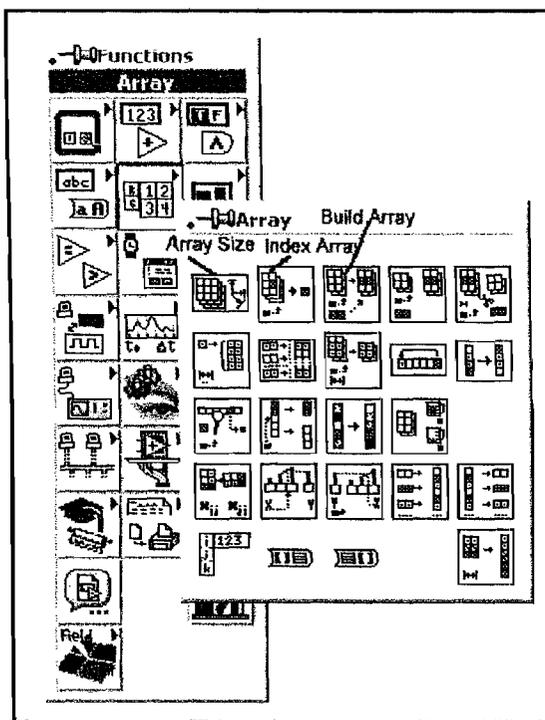


FIGURA 2.39. SUBPALETA DE FUNCIONES ARRAY

El Ciclo For y el Ciclo While pueden procesar y acumular arreglos en sus bordes. Esto se logra habilitando el auto-indexado en los túneles de ciclo.

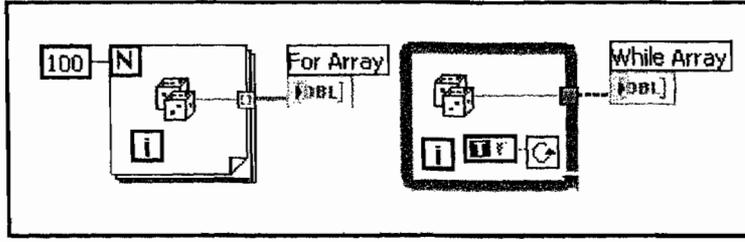


FIGURA 2.40 EJEMPLO DE INDEXAMIENTO EN CICLOS FOR Y WHILE

Por default LabVIEW habilita el auto indexado en los ciclos For y deshabilita auto-indexamiento en los ciclos While.

Graficas

La primera vez que se utilizan gráficas de onda y gráficas de barrido en LabVIEW, puede ser complicado saber qué tipo de datos se les deben conectar. ¿Se debe utilizar la función Build Array, la función Bundle, o las dos?, ¿Qué orden se debe utilizar en las terminales de entrada? Recuerde que la ventana de Help de LabVIEW contiene información valiosa—especialmente cuando se utilizan gráficas de onda y gráficas de

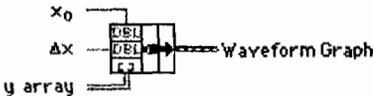
barrido. Por ejemplo, si selecciona Show Help del menú help y pone el cursor sobre una gráfica de onda del diagrama de bloques, podrá ver la siguiente información:

Waveform Graphs:

Wire data directly to waveform graph:

Y Array	Resulting Graph
1D	Single Plot
WDT	Single Plot
2D	Multiplot

WDT (Waveform Data Type) includes timing info. Others default to 0 for x_0 and 1 for Δx .
Combine timing information using a bundle node:



See the example: **Waveform Graph.vi**

FIGURA 2.41 EJEMPLO DE LA AYUDA DE LABVIEW.

La ventana de ayuda muestra los tipos de datos que se deben conectar a la gráfica de onda, cómo especificar el espaciado de los puntos con la función bundle, y qué ejemplo puede utilizar para ver las diferentes maneras en que se puede utilizar la gráfica de onda.

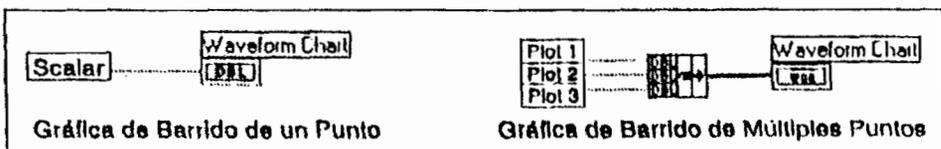


FIGURA 2.42 EJEMPLOS DE GRAFICAS DE BARRIDO.

2.2.7 Estructuras Case y de secuencia.

LabVIEW tiene dos estructuras para controlar el flujo de datos; la estructura Case y la estructura de Secuencia. LabVIEW despliega ambas estructuras como un conjunto de cartas; únicamente un caso es visible a la vez.

La estructura Case se utiliza para seleccionar entre distintos diagramas dependiendo de la entrada conectada a la terminal de Selección. Los subdiagramas se colocan dentro de la estructura Case. Los datos de entrada a la Terminal de Selección pueden ser Booleanos (2 casos), cadenas de caracteres o numéricos ($2^{31}-1$ casos). LabVIEW determina automáticamente el tipo de la terminal de Selección cuando se le conecta un control ya sea de tipo entero, Booleano o de cadena de caracteres.

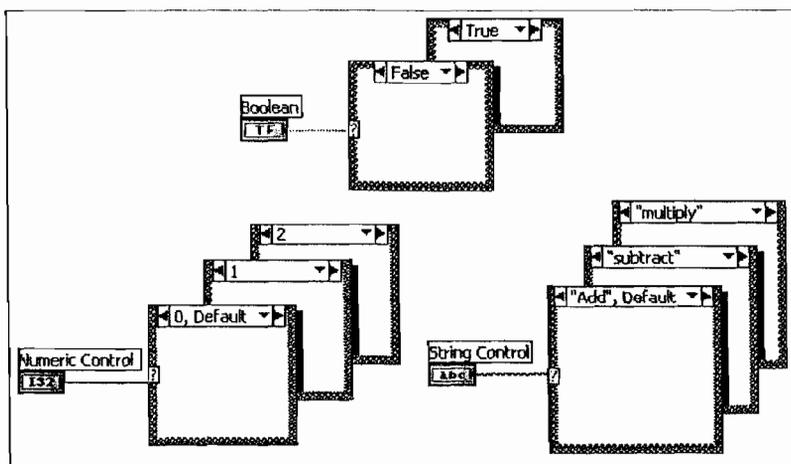


FIGURA 2.43. DIFERENTES TIPOS DE ESTRUCTURAS CASE.

Si conecta un valor desde la estructura Case hacia afuera, debe conectar algo a ese túnel para cada caso de la estructura.

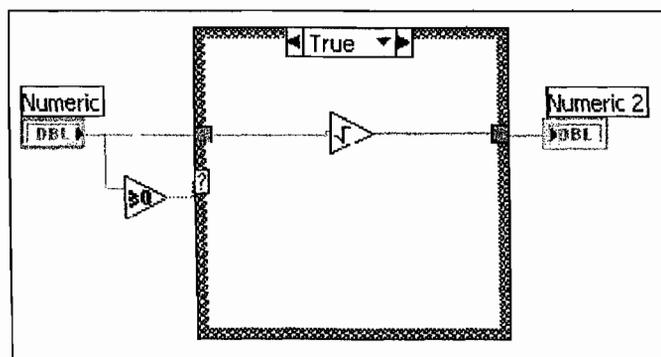


FIGURA 2.44. EJEMPLO DE TÚNEL EN ESTRUCTURA CASE

La estructura de Secuencia se utiliza para ejecutar el diagrama de bloques en un orden específico. La porción del diagrama que se coloca dentro del primer marco se ejecuta primero, el diagrama que se coloca dentro del segundo marco se ejecuta en segundo lugar, y así sucesivamente.

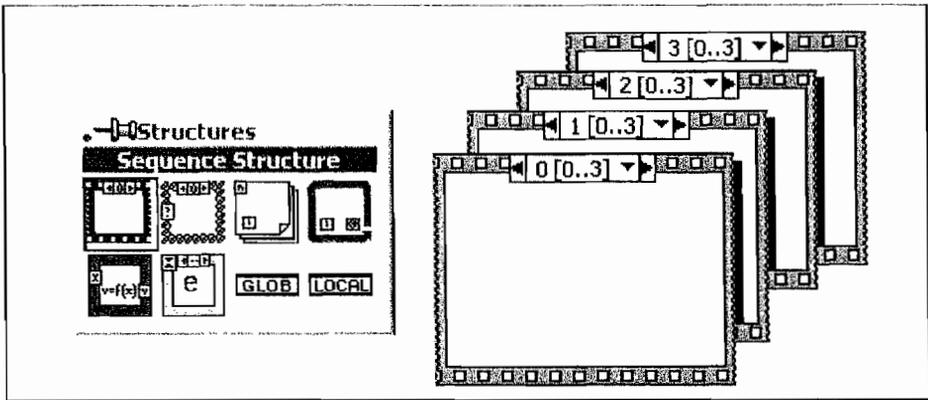


FIGURA 2.45. ESTRUCTURA DE SECUENCIA

Las variables de Secuencia se utilizan para pasar valores entre los marcos de la estructura de Secuencia. Los datos que se pasan a través de una variable de Secuencia están disponibles únicamente en marcos subsecuentes al marco donde se creó la variable de Secuencia (no están disponibles en marcos que preceden el marco donde se definió la variable de Secuencia).

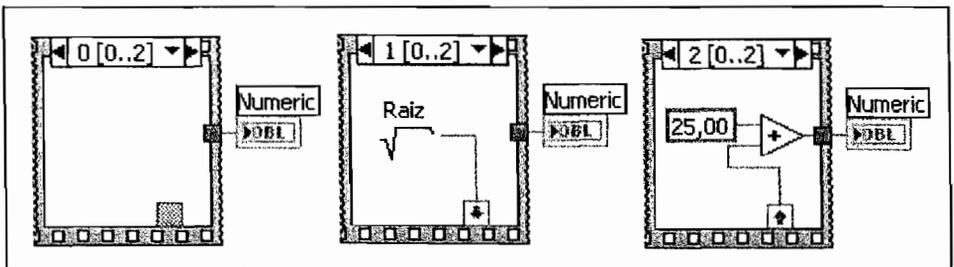


FIGURA 2.46. ESTRUCTURA DE VARIABLES DE SECUENCIAS

Con el Nodo de Fórmulas, Usted puede escribir fórmulas directamente en el diagrama de bloques. Esta opción es extremadamente útil cuando las ecuaciones tienen cierta

complejidad o están compuestas de muchas variables. Recuerde que los nombres de las variables son sensibles a minúsculas y a mayúsculas y que cada fórmula debe de terminar con un punto y coma (;).

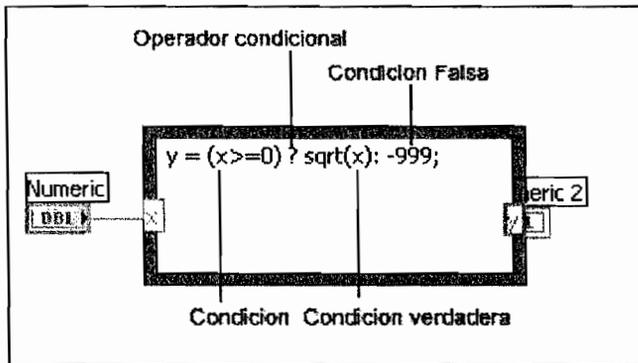


FIGURA 2.48. EL NODO DE FÓRMULAS.

2.2.8 Configuración de VIs.

2.2.8.1 Adquisición de Datos.

La librería data Acquisition de LabVIEW contiene VIs para controlar las tarjetas DAQ de National Instruments. Usualmente, una tarjeta puede realizar una variedad de funciones conversión analógico-digital (A/D), digital analógico, entrada/salida digital y

operaciones del contador/temporizador. Cada tarjeta trabaja con diferentes velocidades de adquisición de datos y de generación de señales. También, cada tarjeta DAQ esta diseñada para trabajar en una plataforma de hardware y sistema operativo específicos. Para ver un listado completo de las tarjetas DAQ y sus características, consulte el catálogo de National Instruments.

La tarea fundamental de un sistema DAQ es la medición y generación de señales físicas del mundo real. Antes de que un sistema basado en computadoras pueda medir una señal física, un sensor o transductor deberá convertir las señales físicas en una señal eléctrica, como voltaje o corriente. Normalmente, las tarjetas insertables DAQ se consideraban como un sistema DAQ completo; sin embargo, la tarjeta es sólo uno de los componentes del sistema. A diferencia de la mayoría de los instrumentos independientes, no se pueden conectar señales directamente a una tarjeta DAQ. Algún accesorio para acondicionamiento de señales debe acondicionar la señal antes que la tarjeta la convierta en información

digital. Finalmente, el software controla el sistema—adquiriendo los datos, analizándolos y presentando los resultados.

La figura anterior muestra dos opciones para un sistema DAQ. En la opción A, la tarjeta DAQ se encuentra dentro de la computadora. En la opción U, la tarjeta DAQ está afuera de la computadora. Con este método, puede se pueden construir sistemas DAQ utilizando computadoras que no tengan ranuras disponibles (como computadoras portátiles). La computadora y el módulo DAQ se comunican a través de varios buses, como el puerto paralelo o PCMICA. Este tipo de sistemas son prácticos para adquisición remota de datos y aplicaciones de control.

Entrada Analógica.- Cuando se miden señales analógicas con una tarjeta DAQ, se deben considerar los siguientes factores que afectan la calidad de la señal digitalizada: modo (terminal común y diferencial), resolución, rango, frecuencia de muestreo y ruido.

Las entradas de *terminal común (single-ended)* están referenciadas u un punto de tierra común. Puede utilizar estas entradas cuando las señales son altas

(más de 1 V), los cables que corren desde la fuente de la señal hacia el hardware de entrada analógica sean cortos (menos de 4.5 m) y todas las entradas compartan una referencia de tierra común. Si las señales no cumplen con estas condiciones, utilice las entradas diferenciales. Con *entradas diferenciales*, cada entrada tiene diferentes potenciales con respecto a tierra. Las entradas diferenciales también reducen o eliminan los errores causados por ruido, ya que el ruido adquirido en modo común por las señales se cancela. La *Resolución* es el número de bit; que el convertidor analógico a digital (ADC) utiliza para representar la señal analógica. Mientras mayor sea la resolución, mayor es el número de divisiones entre las cuales se divide el rango y, por lo tanto, menor es el cambio detectable en el voltaje.

2.2.8.2 Control de Instrumentos.

El control de instrumentos se da por medio del software y todo lo aplicado en los capítulos anteriores ya que



hasta este punto se ha aprendido a manejar un instrumento virtual así que solo se necesita la forma de unir estos instrumentos virtuales a la parte mecánica o física de la planta o industria, y para este propósito existen en National Instrument una gran cantidad de hardware para la traducción de señales analógicas o digitales dadas por los sensores y pasarlas a señales de bits o digitales que sean comprendidas por la computadora. Con este propósito LabVIEW ofrece SubVIs que facilitan el uso de tarjetas DAQ y si no es de esa forma también existen puentes como es el caso del Fielpoint que realizan lo mismo que una tarjeta DAQ con la diferencia que sus hardware es externo a la computadora u su enlace a la computadora es por medio de un cable a un puerto serial.



CIB-ESPOL



CIB FSPOL

3. Field Point.



2.3.1 Introducción al Field Point.

Descripción de los módulos de adquisición de datos (Field Points).- El FieldPoint (Punto de campo), es un sistema modular distribuido de entradas y salidas al cual puede adaptarse una variedad de módulos tanto analógicos como digitales. Los módulos utilizados en el presente trabajo son: para enviar señales análogas FP-AO-200, y el FP-AI-111 para adquirir señales analógicas de corriente, las mismas que se traducen al lenguaje binario y se comunican al computador por medio del protocolo RS-232. Estas señales entonces pueden ser monitoreadas desde el programa FieldPoint Explorer del que se hablará más adelante y a su vez desde el mismo programa configurar los rangos de amplitud y tipos de señales que reciben cada módulo.

El Sistema FieldPoint consta de tres componentes que lo hacen configurable a cualquier aplicación estos son:

- Módulo de entradas y salidas,
- Bases que contienen terminales para conectar los cables que vienen del campo, estas bases son universales y pueden aceptar cualquier módulo FieldPoint. Estos componentes se conectan a unos carriles DIN normalizados y sirven como un soporte para los módulos (E/S) y el cableado.
- Módulos de red que proveen conexión entre la red industrial y los módulos de Entradas/Salidas (E/S). El módulo de red se comunica con los módulos locales de Entradas/Salidas (E/S) por medio del bus local formado por las bases de terminales conectadas. Actualmente, se pueden tener hasta 9 módulos en un banco y hasta 25 bancos en una red de FieldPoints. Las opciones actuales para módulos de red incluyen protocolos de comunicación RS-232 y RS-485, Ethernet, y Fieldbus.

En el presente trabajo se optó por escoger el protocolo de comunicación RS-232, el RS-232 es un conector muy comúnmente utilizado en mini computadoras, impresoras, módems y equipos de adquisición de datos.

El RS-232 fue originalmente especificado para comunicaciones de datos entre un dispositivo controlador y un dispositivo receptor con distancias de hasta 15 metros (50 pies) y con velocidades de hasta 19,200 bits/seg. Estas distancias y velocidades límites han demostrado ser conservadoras; el RS-232 es ahora frecuentemente usado a velocidades de 115-230 Kbits/seg. El RS-232 está siendo también operado a distancias mayores de 25 metros. La habilidad para alcanzar esos parámetros de operación depende del ambiente y la calidad del cableado usado. Generalmente hablando, un sistema no puede proveer al mismo tiempo velocidades y distancias máximas.

El conector RS-232 tradicional fue un diseño D-Shell con 25 pines- Sin embargo, algunos productos seriales ahora incluyen puertos seriales de 9 pines con (o en lugar de) la versión de 25 pines. Ambos tipos de puertos contienen las mismas 9 líneas de señales, aunque el número de los pines para especificar señales es diferente. Una conexión RS-232 completa incluye: Tx (transmite), Rx (recibe), señal de tierra y algunas líneas adicionales.

FieldPoint Explorer.- FieldPoint Explorer es un programa basado en Windows que el operador puede utilizar para configurar tanto del módulo FP-1000, FP-AI-111 y FP-AO-200 y verificar su operación.

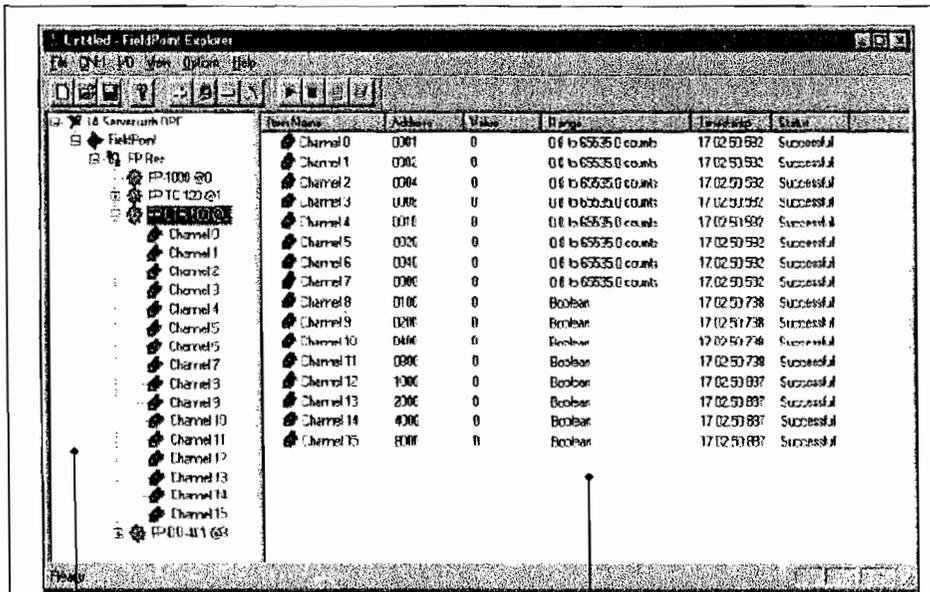
Descripción general

Es una herramienta para configurar dispositivos varios, esto es, tanto para el programa como para los elementos físicos del sistema FieldPoint (software y hardware). Se puede usar el FieldPoint Explorer para llevar a cabo las siguientes tareas:

1. Fijar de manera interactiva todos los parámetros configurables de los módulos FieldPoint incluyendo rangos de entrada, estados de poder, y fijar la "vigilancia" (watchdog settings), valores de poder de los módulos de salida.
2. Configurar las características y elementos físicos (hardware) de un dispositivo FieldPoint de red.
3. Definir y Configurar el espacio de etiqueta de nombre y elementos de Entrada/Salida (los cuales representan uno o más canales físicos de E/S) de los servidores de FieldPoint.
4. Escribir y leer valores de entrada y salida a y desde el

equipo de FieldPoint para verificar que el Sistema FieldPoint ha sido correctamente instalado y configurado.

Desde luego, el primer paso para usar el programa de FieldPoint es ejecutar el FieldPoint Explorer. En la Figura 2.49 se muestran las partes de la ventana del FieldPoint



Ventana de jerarquía de dispositivo de Red (DNH) muestra una vista de árbol del sistema FieldPoint que consiste del: Servidor, Recursos de comunicación, Dispositivos y Módulos de E/S.

Ventana de lista que muestra detalles del grupo de objetos seleccionados en la ventana DNH

FIGURA 2.49. VENTANA DEL FIELDPOINT EXPLORER.

2.3.2 Configuración del FP 1000.

Características generales del módulo FP-1000.- Es un módulo de red para el sistema FieldPoint, el mismo que proporciona una conexión a una red RS-232 usando un sencillo protocolo ASCII. Además, tiene un repetidor aislado RS-485 incorporado para transparentemente añadir hasta 24 módulos de red FP-1001 al mismo puerto serial de la computadora.



FIGURA 2.50. MÓDULO FP-1000

Instalación del módulo FP-1000.- El FP-1000 tiene un sencillo carril sujetador para montarse apropiadamente en un carril de 35 mm fabricado según la Norma DIN. Para instalar el módulo FP-1000 al carril DIN, se deben seguir los siguientes pasos:

1. Con un destornillador plano cambiar a la posición de

abierto el sujetador del carril, como se muestra en la Fig. 2.51.



FIGURA 2.51. SUJETADOR DE CARRIL DIN.

- Enganchar la parte de abajo del módulo FP-1000 a la parte superior del carril DIN. Como se muestra en la Fig. 2.52.

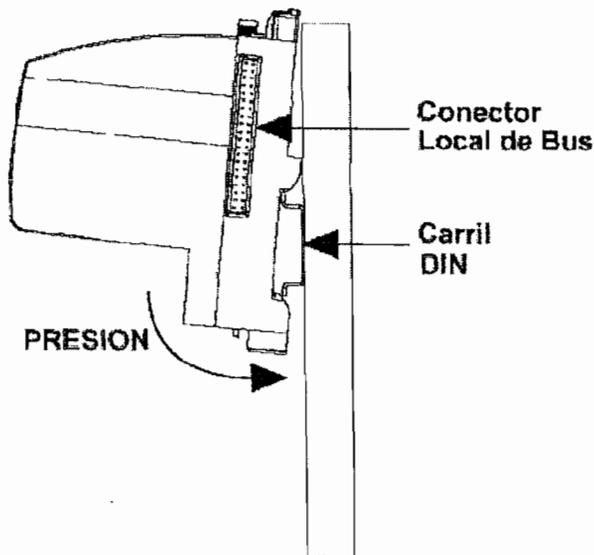


FIGURA 2.52. INSTALANDO EL MÓDULO DE RED EN UN CARRIL DIN.

- Deslizar el FP-1000 a la posición deseada a lo largo del

carril DIN. Luego de que el FP-1000 este en posición, asegurarlo al carril DIN presionando el sujetador del carril.

4. Añadir las bases terminales al carril DIN con sus conectores locales firmemente empatados al conector local del FP-1000. El FP-1000 viene con una cubierta protectora sobre el conector local. Remover esta cubierta protectora, y colocarla sobre el conector local de la última base de terminales en el conjunto. La Fig. 2.53 muestra un módulo FP-1000 instalado.

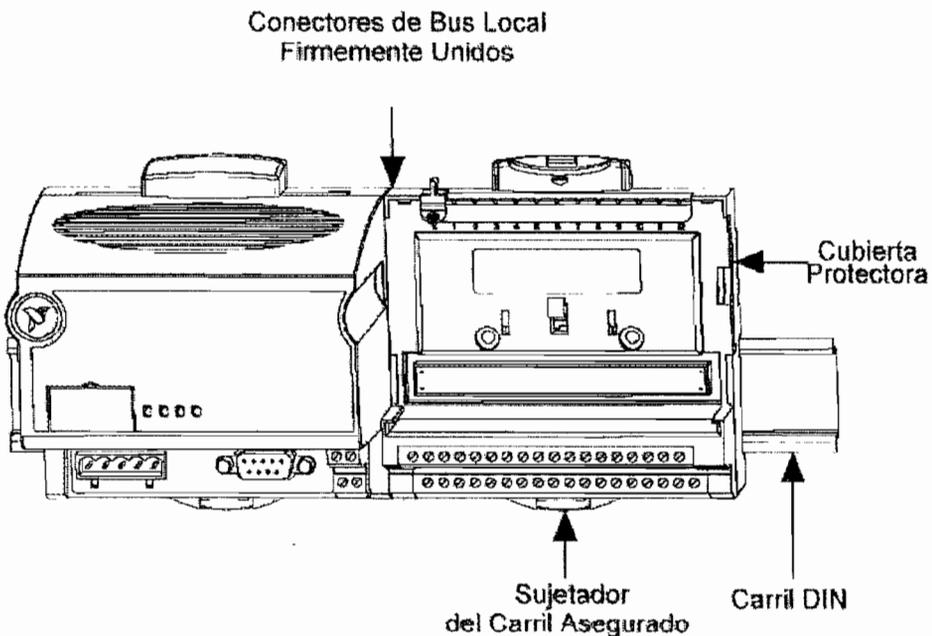
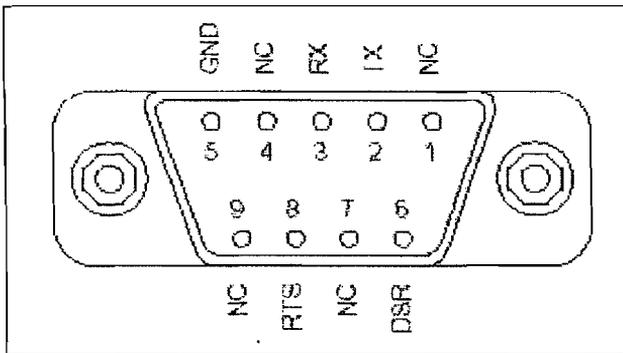


FIGURA 2.53. MÓDULO DE RED FP 1000 INSTALADO

Conexión a Red.- Conectar el FP-1000 a la computadora usando el conector RS-232 de 9 pines que se encuentra en el FP-1000. Conectar el puerto RS-232 del FP-1000 al puerto RS-232 de la computadora usando un cable hembra a macho. A continuación en la Fig. 2.54 se muestran los pines de salida del conector RS-232 del FP-1000.



Leyenda:

NC: No Conectado	TX: Transmite
GND: Tierra	RTS: Petición de envío
RX: Recibe	DSR: Conjunto de datos listos

FIGURA 2.54. CONECTOR RS-232 DEL FP-1000

Hasta 24 módulos de red FP-1001 adicionales se pueden conectar a este módulo FP-1000 usando el repetidor empotrado RS-485. Este repetidor hace que el puerto RS-485 del FP-1000 aparente a los módulos adicionales FP-1001 como si hubiera

un puerto RS-485 en la computadora. Los pines de salida del RS-485 se muestran en la siguiente Fig. 2.55.

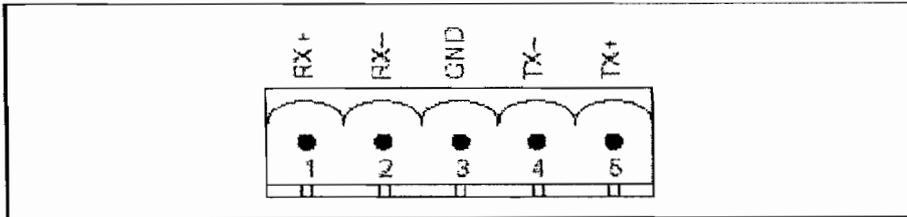


FIGURA 2.55. CONECTOR RS-485.

Alimentación del FP-1000

Se requiere una fuente de alimentación de 11-30 VDC para cada conjunto de FieldPoints.

El FP-1000 filtra y regula esta alimentación suministrada y provee energía para todos los módulos de Entrada/Salida (I/O) del conjunto. Por lo tanto no es necesario proveer alimentación separadamente para cada módulo del conjunto. Si el dispositivo Entrada/Salida de campo necesita ser alimentado separadamente, se pueden usar terminales suministradas en cada base de terminales para aquellas conexiones de suministro de poder. El conectar de alimentación es un terminal conector de 4 pines tipo tomillo. Estos pines se muestran en la Fig. 2.56

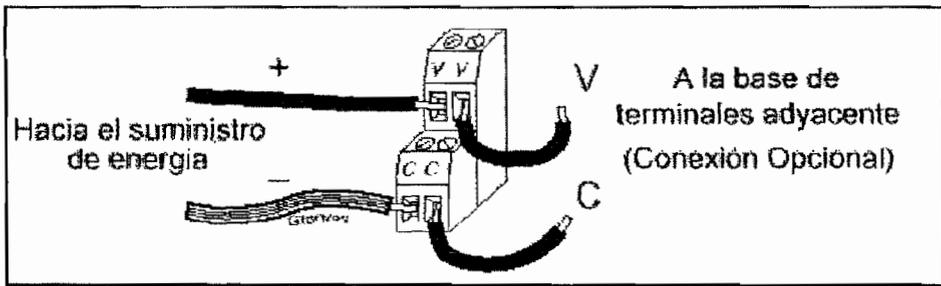


FIGURA 2.56. CONEXIONES DE ALIMENTACIÓN DEL FP-1000 Y FP-1001.

Los dos terminales etiquetados V están internamente conectados al módulo de red, así como lo están los dos terminales etiquetados C. Para la operación del sistema FieldPoint la energía debe ser aplicada a un par V y C.

Si se desea alimentar los dispositivos E/S desde la misma fuente de alimentación, el segundo par V y C provee un recurso conveniente para conectar la alimentación a los terminales V y C de una base de terminales adyacentes. La Fig. 2.56 muestra la conexión opcional.

NOTA: Las bases de Terminales deben estar conectadas al FP-1000, y el interruptor de velocidad de baudios debe estar fijado, antes de alimentar al FP-1000.

TABLA 2

Especificaciones técnicas del módulo FP-1000.

Puertos de red.....	1 Puerto RS-232 ,1 puerto repetidor RS-485
Velocidad de Baudios.....	300,1200, 2400, 9600,19200, 38400, 57600,115200 (seleccionable por interruptores)
Parámetros de comunicación.....	1 bit de inicio, 8 bits de datos, 1 bit parada. Sin paridad.
Aislamiento del RS-485.....	2500 Vrms colapso. 250 Vrms operacional
Consumo de Potencia.....	1 W + 1.15* Σ (requerimientos de potencia de tos módulos E/S)
Temperatura de operación.....	-40° C a +70° C
Temperatura de almacenamiento.....	-55° C a +100° C
Humedad Relativa.....	5% a 90% sin condensación.
Peso.....	250 g (8.7 oz.)

Dimensiones Mecánicas

En la Fig. 2.57 se muestran las dimensiones mecánicas del FP-1000.

Dimensiones estan dadas en pulgadas y [milímetros]

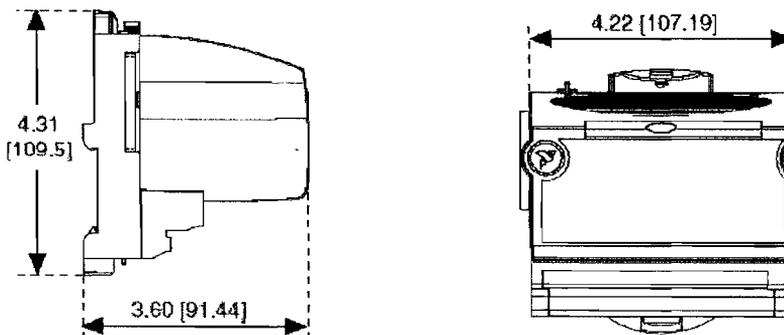


FIGURA 2.57. DIMENSIONES MECÁNICAS.

Configuración del FP 1000.

Verifique que el sistema FieldPoint esta enchufado y que los módulos tienen encendidos sus LEDs **READY**.

Abrir el Programa FieldPoint Explorer seleccionando **Inicio» Programas» National Instruments FieldPoint» FieldPoint Explorer**. Cuando aparezca la pantalla de inicio (Fig. 2.58), abra su archivo con extensión .iak seleccionando **File»Open**.

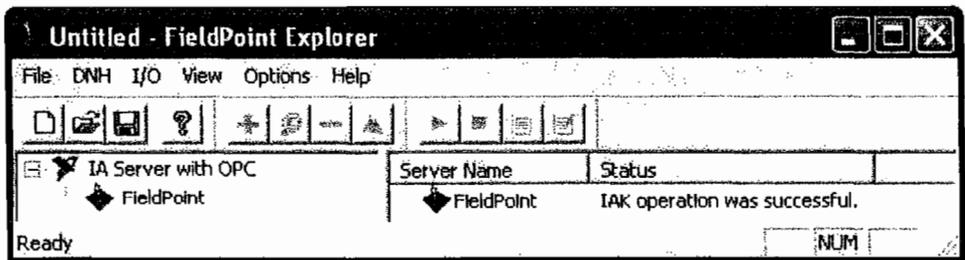


FIGURA 2.58. PANTALLA DE INICIO.

Para añadir un recurso de comunicaciones, expandir el menú, haciendo un click en el símbolo + que se encuentra junto a **IA Server with OPC** en la ventana de la Jerarquía de Dispositivos de Red (Device Network Hierarchy -DNH). Haga click derecho

en la palabra **FieldPoint** en la vista de árbol y seleccione **Add a comm resource to this server...** (Figura 2.59) y aparecerá la caja de diálogo de recursos de comunicaciones (communications resource dialog box), como se muestra en la

Figura 2.60.

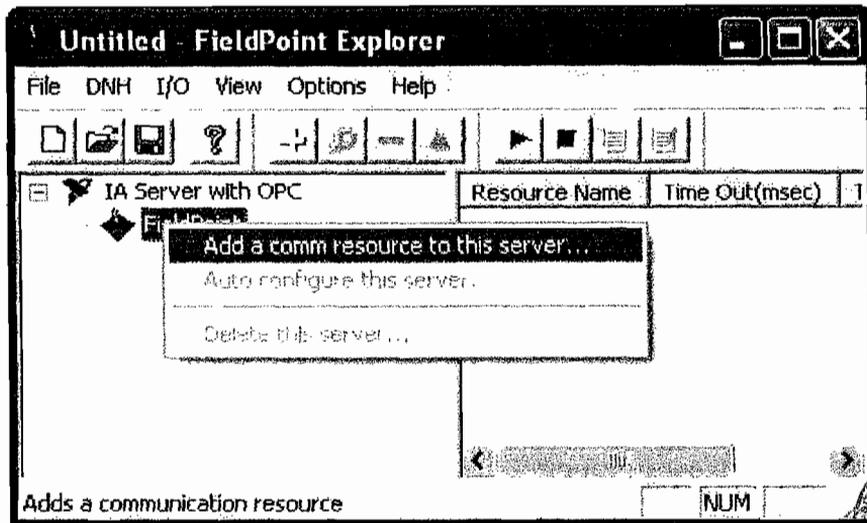


FIGURA 2.59. AÑADIENDO UN RECURSO DE COMUNICACIÓN AL SERVIDOR

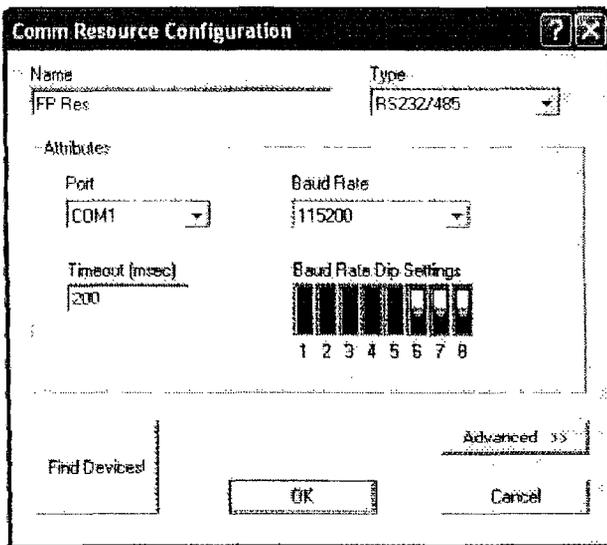


FIGURA 2.60. VENTANA DE CONFIGURACIÓN DE LOS RECURSOS DE COMUNICACIÓN.

El recurso comm (comm resource) representa el camino a través del cual el Servidor Fieldpoint accesa a la red de dispositivos FieldPoint. En este caso el recurso comm representa el puerto serial en la computadora. Seleccionar de la lista Port, el puerto COM de la computadora al se ha cableado el Sistema FieldPoint. El módulo de red FP-1000 está preconfigurado para una velocidad de transmisión en baudios (baud rate) de 115200 kbps; así, no se tiene que cambiar la velocidad de transmisión en baudios o el tiempo de retardo fijado, a menos que se hayan modificado los interruptores de velocidad en baudios en el módulo de red. El nombre por defecto del puerto COM es FP Res.

Haga click en el botón **Find Devices!**. El FieldPoint Explorer encontrará todos los módulos FieldPoint conectados al recurso comm configurado y los añadirá al archivo de configuración con extensión *.iak. Si no se encuentran dispositivos, asegurarse de que el equipo FieldPoint esta encendido, y de que se seleccionó el puerto de comunicaciones al que se conectó el sistema FieldPoint. Asegúrese también de que la fijación de los interruptores para la velocidad de transmisión en baudios hecha en la ventana de Configuración de Recursos de Comunicación coincida con la que se realizó en el módulo y de que dos módulos de red conectados al mismo puerto de comunicaciones no tengan fijado los mismos interruptores de dirección. Si el FieldPoint Explorer reporta que este no pudo enlazarse con el puerto COM, como se muestra en la Figura 2.62, asegúrese de que se ha seleccionado un puerto COM que esta apropiadamente configurado en su computadora y de que no esta siendo usado por otro programa.

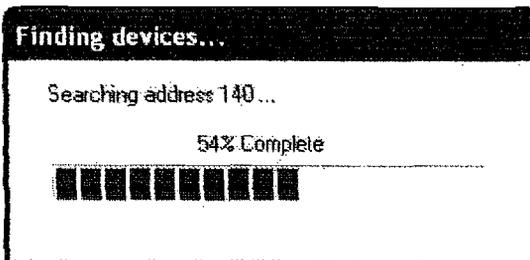


FIGURA 2.61. ENCONTRANDO DISPOSITIVOS.

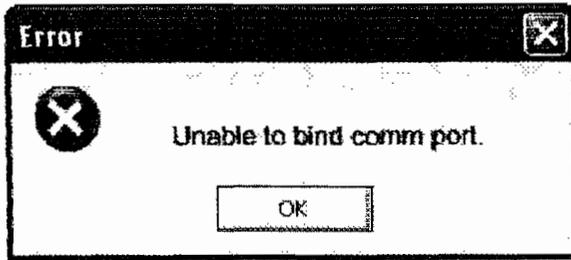


FIGURA 2.62. MENSAJE DE ERROR.

Una vez que se han encontrado los módulos FieldPoint haga click en el signo + junto a **FP Res** en la ventana DNH para expandir la jerarquía de dispositivos y mostrar los módulos encontrados en la red. La jerarquía debe incluir todo los módulos que están conectados al puerto de comunicaciones. La Figura 2.63 muestra un ejemplo de una jerarquía de dispositivos expandida. El nombre por defecto de cada dispositivo encontrado incluye el número de modelo del módulo FieldPoint, seguido por el símbolo @, luego la dirección del módulo-por ejemplo, "FP-1000 @0". Para cada módulo de E/S encontrado, se crea un elemento de E/S para cada canal del módulo, y además, se crea un elemento para representar colectivamente todos los canales de ese módulo.

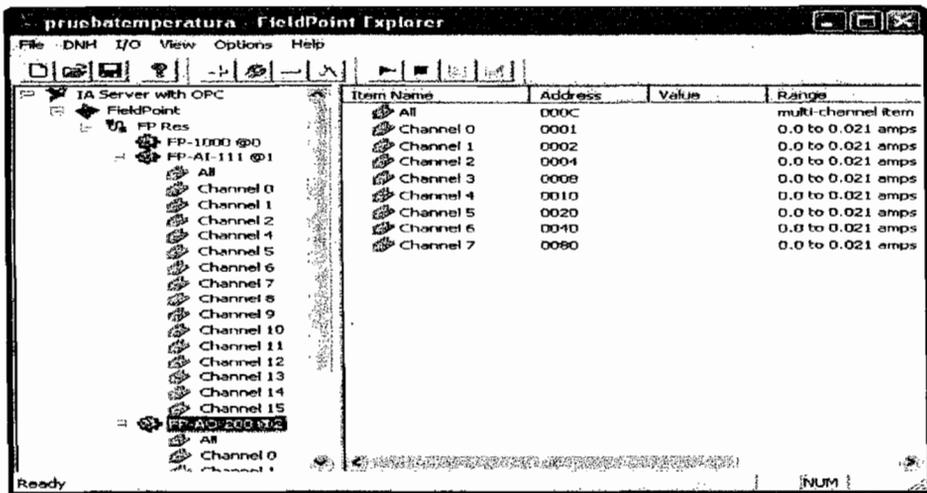


FIGURA 2.63. JERARQUÍA DE DISPOSITIVOS DISPONIBLES.

2.3.3 Configuración del FP AI 111.

Características generales del módulo FP-AI-111.

Los FP-AI-111 son módulos FieldPoint de entrada analógica con los siguientes rasgos:

- 16 entradas analógicas
- 3 rangos de entrada: ± 20 mA, 0-20 mA, 4-20 mA,
- Tres configuraciones de filtro: 50 Hz, 60 Hz, y 500 Hz
- 16-bit resolución

- Operación hot plug and play
- 3,000 V de rendimiento en aislamiento de entrada y salida
- Aislamiento doble para 250 V de funcionamiento seguro de voltaje
- -40 a +70 °C operación

Esta sección cubre solo instrucciones básicas de operación como son: la instalación, importancia, y características del FP AI -111. Para más detalles en cuanto a configuración y acceso del FP-AI-111 a través de una red, refiérase al manual del usuario del FP-1000.

Instalación y cableado del módulo FP-AI-111.

El FP-AI-111 se monta sobre una base de terminales Field Point (FP-TB-01). La operación hot plug and play del FP-AI-111 permite instalarlo sobre una base de terminales alimentada sin perturbar la operación de otros módulos o bases de terminales. El FP-AI-111 recibe la energía para su operación desde la base de terminales.

Para instalar el FP-AI-111, vea la Figura 2.64 y siga los siguientes pasos:

1. Deslice la clavija de la base de terminales a la posición X (usada para cualquier módulo) o a la posición 1 (usada para el módulo FP-AI-111).
2. Hacer coincidir las ranuras de alineación del FP-AI-111 con los carriles guías en las bases de terminales.
3. Presionar firmemente para asentar el FP-AI-111 sobre la base de terminales. Cuando este es firmemente asentado, el pestillo de la base de terminales asegura la posición del FP-AI-111.

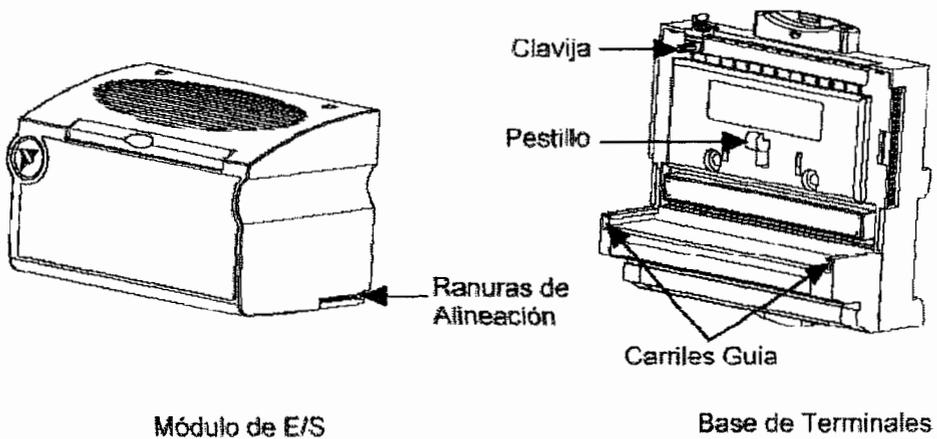


FIGURA 2.64. DIAGRAMA DE INSTALACIÓN DEL MÓDULO.

Cableado

La base de terminales provee conexiones para cada uno de los dieciséis canales de entrada y un suministro externo para energizar dispositivos de campo. Cada canal tiene un terminal

separado tanto para entradas de voltaje (V_{in}) o entradas de corriente (I_{in}). Ambas entradas (de voltaje y corriente) están referenciadas a las terminales COM.

Se puede conectar una fuente externa para alimentar dispositivos de campo conectándola a las terminales V y C de la base de terminales. Si se usa una fuente externa esta energía estará disponible para los dispositivos de campo en las terminales V_{sup} y COM en cada canal. Las Figura 2.65 a y b muestran ejemplos de conexiones básicas con y sin fuente de alimentación externa respectivamente.

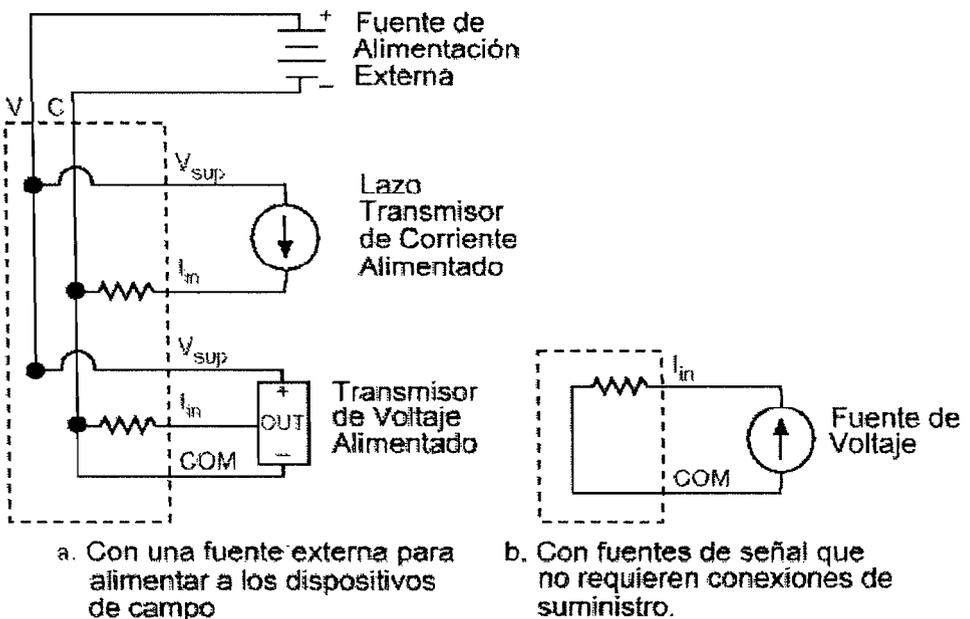


FIGURA 2.65. CONEXIONES DE CAMPO BÁSICAS CON DOS CANALES MOSTRADOS.

La Tabla 3 muestra una lista de las terminales asignadas para cada canal.

TABLA 3

Terminales Asignadas para el FP-AI-111

Canal	Numero de terminal		
	I_{in}	V_{sup}	COM
0	1	17	18
1	2	17	18
2	3	19	20
3	4	19	20
4	5	21	22
5	6	21	22
6	7	23	24
7	8	23	24
8	9	25	26
9	10	25	26
10	11	27	28
11	12	27	28
12	13	29	30
13	14	29	30
14	15	31	32
15	16	31	32

Entradas de corriente

Las entradas de corriente deben ser conectadas a las terminales I_{in} y referenciadas a las terminales COM o C. La corriente que fluye hacia la terminal I_{in} es leída como positiva

por el FP-AI-111; la corriente que fluye hacia fuera de la terminal es leída como negativa. La corriente fluye desde la terminal I_{in} , a través de una resistencia de 100 Ohm, y sale por las terminales COM o C. La Figura 2.65 muestra diferentes métodos para conectar fuentes de corriente. Los rangos de entrada para fuentes de corriente son 0-20 mA, 4-20 mA, y ± 20 mA.

Indicadores de estado

La Figura 2.66 muestra la etiqueta del módulo y los indicadores de estado. Se puede remover la etiqueta insertable para ver los diagramas de cableado para los canales de entrada.

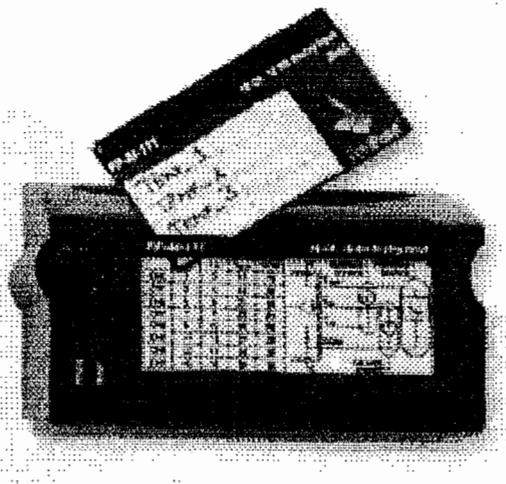


FIGURA 2.66. INDICADORES DE ESTADO Y ETIQUETA DEL

MÓDULO FP-AI-110.

Después de que el módulo ha sido insertado en la base de terminales (y suministrada la energía), el indicador de PODER de color verde (POWER) se enciende y el FP-AI-111 informa al módulo de red de su presencia. Cuando el módulo de red reconoce al FP-AI-111, envía una información inicial de configuración al FP-AI-111. Después de recibir la información inicial, el indicador de color verde LISTO (READY) se enciende y el FP-AI-111 esta en su modo de operación normal.

Especificaciones técnicas del módulo FP-AI-111.

Las siguientes especificaciones son típicas para temperaturas entre -40°C y 70°C .

Características de entrada

Número de canales.....	16
Resolución ADC.....	16 bits
Tipo de ADC.....	Delta-sigma
Aislamiento.....	3,000 Vrms
Aislamiento de seguridad, voltaje de operación	250 Vrms, diseñados para IEC, 1010 como doble aislamiento

TABLA 4

Rango de señales de entrada (Seleccionado por medio del programa FieldPoint Explorer para cada canal).

Rango nominal de entrada		Con sobre-rango	Resolución efectiva*
Corriente	4-20 mA	3.5-21 mA	0.5 μ A
	0-20 mA	0-21 mA	0.5 μ A
	\pm 20 mA	\pm 21 mA	0.7 μ A
*La resolución efectiva incluye errores de cuantización y ruido rms con filtro fijado a 50 o 60 Hz.			

TABLA 5

Fijación del filtro (Seleccionado por medio del programa FieldPoint Explorer para cada canal):

Características	Filtro		
	50 Hz	60 Hz	500 Hz
Tiempo de Actualización*	1.23 s	1.05 s	0.29 s
Ancho de banda de entrada (-3dB)	13 Hz	16 Hz	130 Hz
*El tiempo de actualización enlistado se aplica cuando todos los ocho canales están fijados al mismo filtro.			

NMR (@ 50/60 Hz).....	95 dB (con 50/60 Hz filtro)
Non-linealidad.....	0.0015% (garantizado por encima del rango temperatura de operación.)

Entrada de Corriente

Impedancia de Entrada.....	100 Ohm
Protección de sobre corriente.....	± 40 mA
Ruido de entrada (50 o 60 Hz filtro).....	0.3 µA rms
Error de desplazamiento.....	± 0.1 µA
Fluctuación del error de desplazamiento.....	± 20 nA/°C
Error Ganancia (25 °C).....	± 0.03%
(-40 a +70°C).....	± 0.2%
Fluctuación del error de desplazamiento.....	± 40 ppm/°C

Física

Indicadores	Indicador verdes PODER Y LISTO
Peso	140 g. (4.8 oz.)

Requerimientos de Potencia

Potencia requerida desde el módulo de red	250 mW.
---	---------

Ambiente

Temperatura de Operación.....	-40 a +70°C
Temperatura de almacenamiento.....	-55 a +100 °C
Humedad relativa.....	5% a 90% no condensado

Dimensiones Mecánicas

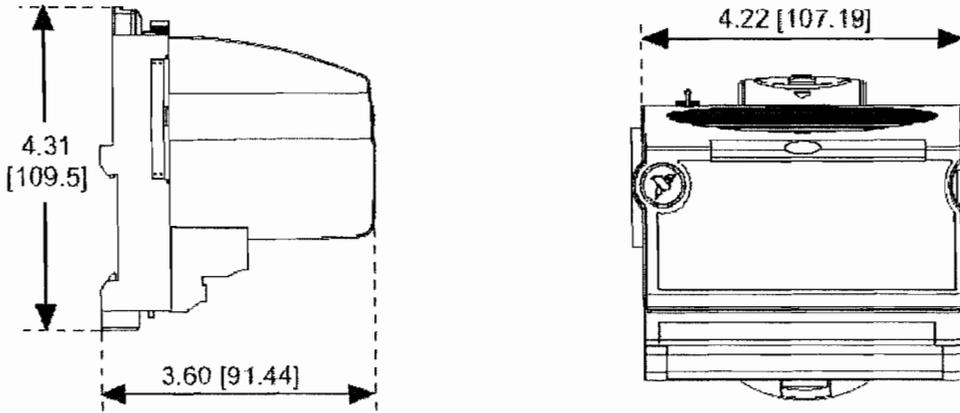


FIGURA 2.67. DIMENSIONES MECÁNICAS DEL MÓDULO FP-AI-111

Configuración del módulo FP-AI-111.

Para configurar los valores de los elementos físicos (hardware settings) del módulo FP-AI-111, seleccione el dispositivo en la ventana DNH.

Haga click derecho en el nombre del dispositivo FP-AI-111 y seleccione **Edit this device** del menú desplegable (Fig. 2.68) y aparecerá la caja de diálogo de configuración de dispositivos (Fig. 2.69).

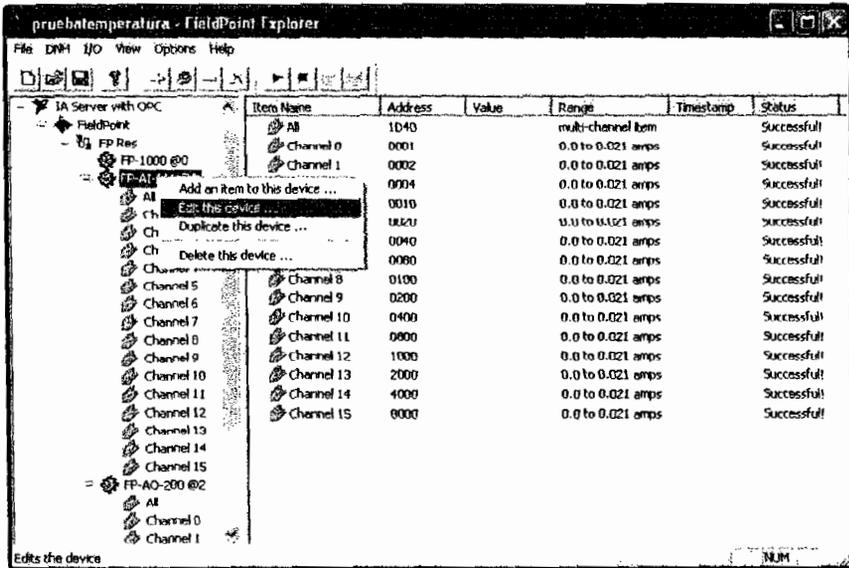


FIGURA 2.68. EDITANDO EL DISPOSITIVO FP-AI-111

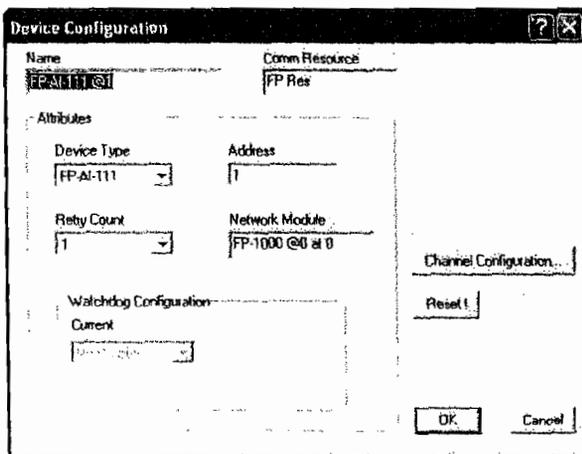


FIGURA 2.69. Ventana de configuración de dispositivos del FP-AI-111.

Haga click en el botón **Channel Configuration** y aparecerá la

siguiente caja de diálogo.

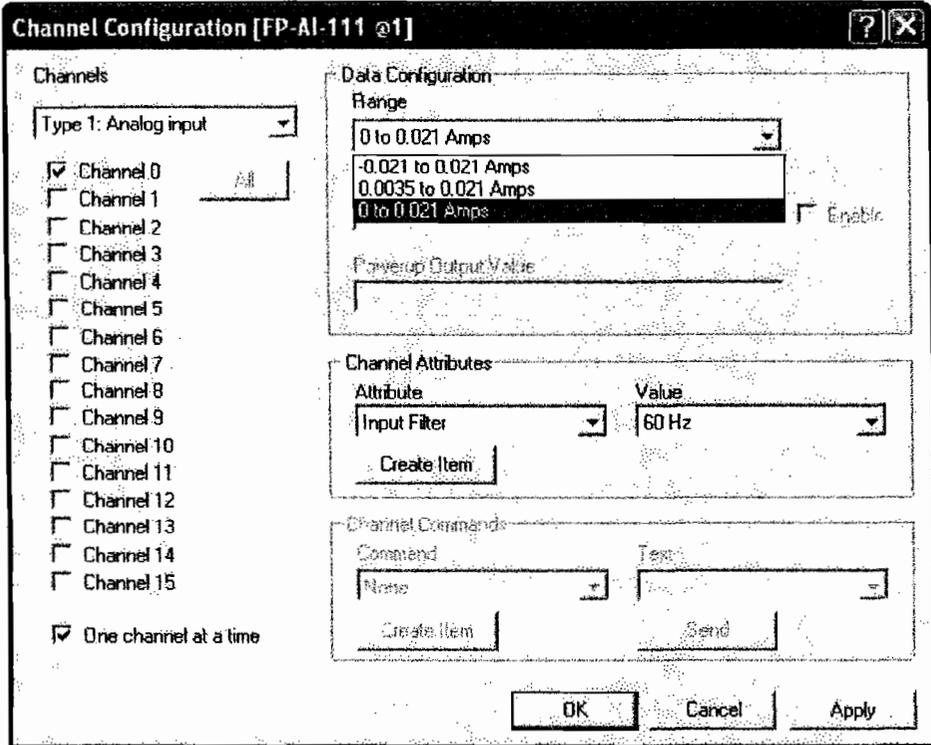


FIGURA 2.70. VENTANA DE CONFIGURACIÓN DE CANALES DEL FP-AI-111.

Para configurar un canal seleccione el número del canal de la lista que aparece en la izquierda de la caja de diálogo, si se desactiva la casilla de verificación **One channel at a time** se podrá seleccionar y configurar múltiples canales al mismo tiempo.

Cambie el rango del canal donde se ha conectado los medidores de temperatura seleccionando en la lista de Rango (Range), el rango que va desde 0 to 0.21Amps (Fig. 2.70).

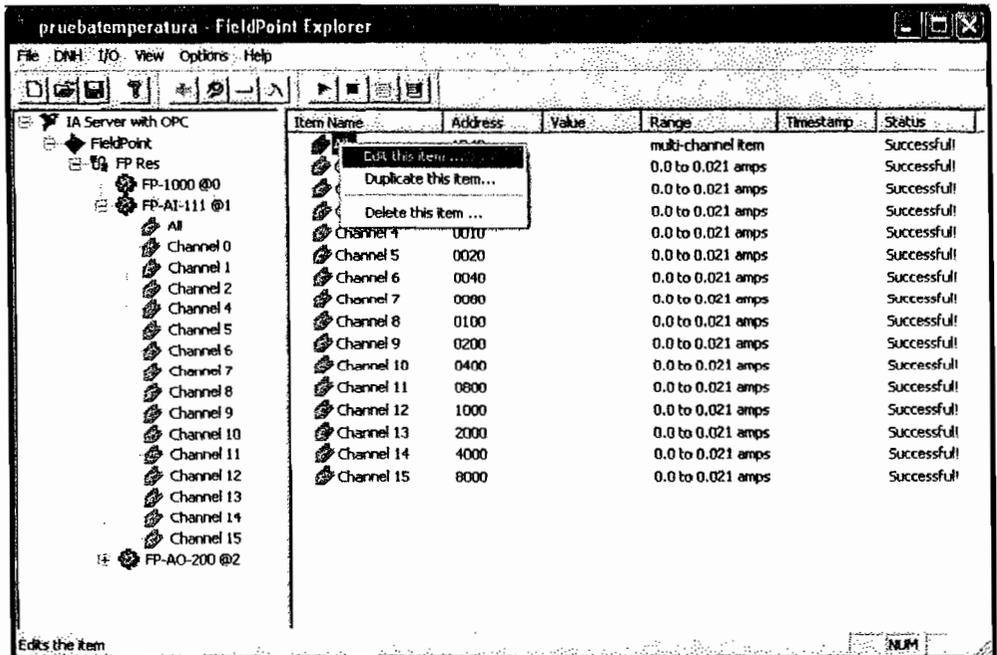


FIGURA 2.71. CONFIGURACIÓN DEL ALL DEL FP-AI-111.

En el caso nuestro configuraremos el botón **All** Haga click en el botón **OK**, cuando haya terminado de configurar los canales que va a utilizar. Haga clic en el botón **YES** (SI) cuando le pregunte el programa si desea escribir estos valores al dispositivo.

Una vez terminada la configuración de **All** del módulo FP-AI-111 debe aparecer una pantalla como la que se muestra a continuación:

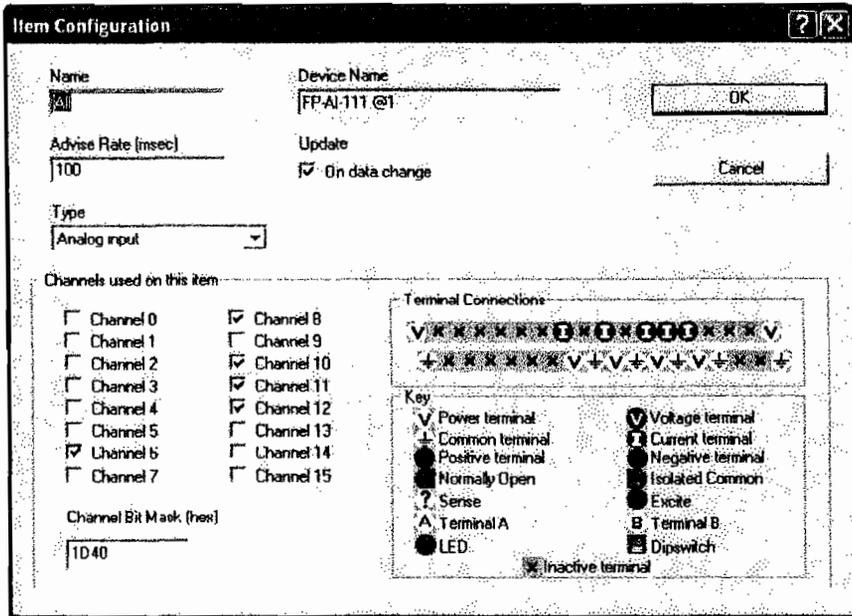


FIGURA 2.72. VISTA DE LA CONFIGURACIÓN DEL ALL DEL FP-AI-111.

2.3.4 Configuración del FP AO 200.

Características generales del módulo FP-AO-200.

Los FP-AO-200 son módulos FieldPoint de salidas analógicas con los siguientes rasgos:

- 8 salidas analógicas de 0-20 mA, 4-20 mA
- 0.5 mA de sobre rango
- 12-bit de resolución DACs
- Indicadores de lazo de corriente abierta
- Operación hot plug and play
- 3,000 V de rendimiento en aislamiento de entrada y salida
- Aislamiento doble para 250 V de funcionamiento seguro de voltaje
- Arriba de 1 kOhm de carga de impedancia (con 24 V lazo de suplemento)
- Pequeño circuito de protección
- -40 a +70 °C operación

Esta sección cubre solo instrucciones básicas de operación como son: la instalación, importancia, y características del FP-AO - 200. Para más detalles en cuanto a configuración y acceso del FP-AO-200 a través de una red, refiérase al manual del usuario del FP-1000.

Instalación y cableado del módulo FP-AO-200.

El FP AO – 200 se monta sobre una base de terminales Field

Point (FP-TB-01). La operación hot plug and play del FP AO – 200 permite instalarlo sobre una base de terminales alimentada sin perturbar la operación de otros módulos o bases de terminales. El FP -AO - 200 recibe la energía para su operación desde la base de terminales.

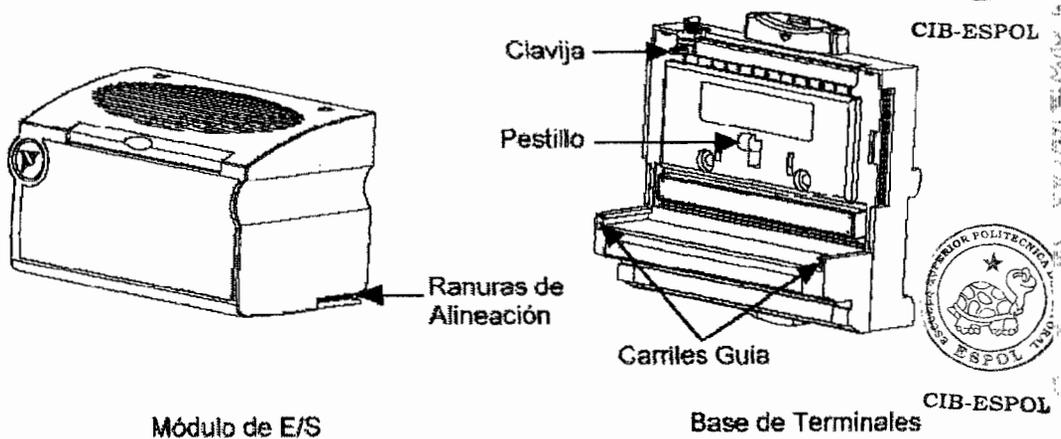


FIGURA 2.73. DIAGRAMA DE INSTALACIÓN DEL MÓDULO.

Para instalar el F-AO-200, vea la Figura 2.73 y siga los siguientes pasos:

1. Deslice la clavija de la base de terminales a la posición X (usada para cualquier módulo) o a la posición 2 (usada para el módulo FP-AO-200).
2. Hacer coincidir las ranuras de alineación del FP-AO-200 con los carriles guías en las bases de terminales.

3. Presionar firmemente para asentar el FP-AO-200 sobre la base de terminales. Cuando este es firmemente asentado, el pistillo de la base de terminales asegura la posición del FP-AO-200.
4. Conecte adecuadamente la corriente suministrada a los terminales V y C de la base.

Cableado

Los FP-AO-200 reciben su energía de una fuente externa de carga(o dispositivo de campo). La base terminal proporciona suministro a ambos, los ocho canales de salida y a la corriente de suministro externa.

Figuras 2.74a y 2.74b muestran ejemplos básicos de la conexión eléctrica. El terminal positivo del suministro de corriente se conecta al terminal V; el negativo (o común) se conecta al terminal C. Cada canal tiene un terminal de salida, I_{out} ; terminal común, COM (internamente conectado al terminal C); y un terminal de suministro, V_{sup} (internamente conectado al terminal V). Como muestra las figuras, las conexiones al C y al COM no se requieren pero pueden usarse para simplificar la conexión. Se puede usar conexiones a la terminal V_{sub} hacia la ruta de energía desde el terminal V para los dispositivos que requieren poder suplementario.

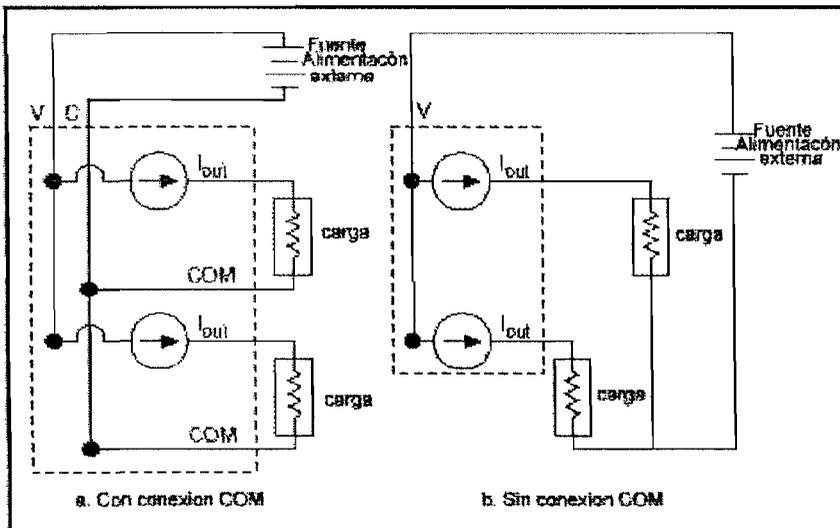


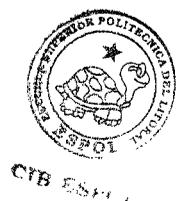
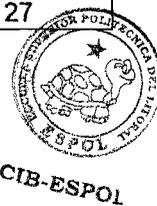
FIGURA 2.74. CONEXIONES BÁSICAS DE CAMPO (2 CANALES MOSTRADOS).

La Tabla 6 muestra una lista de las terminales asignadas para cada canal.

TABLA 6

Terminales Asignadas para el FP-AO-200

Canal	Numero de terminal		
	Iout	COM	Vsub
0	1	2,18	17
1	3	4,20	19
2	5	6,22	21
3	7	8,24	23
4	9	10,26	25
5	11	12,28	27



6	13	14,30	29
7	15	16,32	31

Fuera de Rango.

Se pueden configurar independientemente cada canal de salida con su respectivo rango de salida que puede ser de 0-20 mA, 4-20 mA de operación. El FP-AO-200 fue construido con una capacidad de sobre rango de 0.5 mA ya sea a la baja o a la alta, esto quiere decir 3.5 mA o 20.5 mA, errores que se pueden dar en la ganancia o la sensibilidad de los sensores a usarse.

Detección de lazo abierto.

Este se da cuando cada canal monitorea la corriente anterior con la corriente actual deseada y al haber un desfase ósea una corriente no deseada el botón de estado se pone en rojo.

Indicadores de estado

La Figura 2.75 muestra la etiqueta del módulo y los indicadores de estado. Se puede remover la etiqueta insertable para ver los diagramas de cableado para los canales de entrada.

Características de salida

Número de canales.....	8 terminal-sencillo
Resolución.....	12 bits, 1 en 4,096 (~6 mA/bit)
Aislamiento.....	3,000 Vrms, entrada a salida
Aislamiento de seguridad, voltaje de operación	250 Vrms de tierra a canal, diseñado para IEC 1010

Corriente de salida

Rango de Salida.....	0-20 mA o 4-20 mA, programable (0-21 mA o 3.5-21 mA con sobre-rango)
Tipo.....	Corriente actual, de poder requerido por lazo externo
Lazo externo de poder.....	5 a 24 VDC
Carga resistiva.....	Arriba de 1 kOhm con 24 V Suministro de lazo, arriba de 100 Ohm con 5 V de suministro
Voltaje de caída.....	3 V
Protección.....	Corto circuito y circuito abierto
Predefinido estado de poder	0 mA

Exactitud

Exactitud absoluta.....	0.2% FSR
Monotoneidad.....	Garantía de sobre

	temperatura
Coeficiente de desplazamiento de temperatura	50 nA/°C
Coeficiente de ganancia de temperatura	40 ppm/°C

Características Dinámicas

Máxima tasa de conversión	200 Actualizaciones/s
Taza de espera.....	0.4 mA/ms

Características Físicas

Indicadores.....	Verde indicadores de PODER y LISTO , 8 indicadores rojos de circuito abierto
Peso.....	140 g (4.8 oz.)

Requerimientos de Energía

Energía desde el módulo de Red	350 mW
--------------------------------	--------

Ambiente

Temperatura de Operación	-40 a +70 °C
Temperatura de Almacenamiento	-55 a +100 °C
Humedad relativa	5% a 90% no condensado

Dimensiones Mecánicas

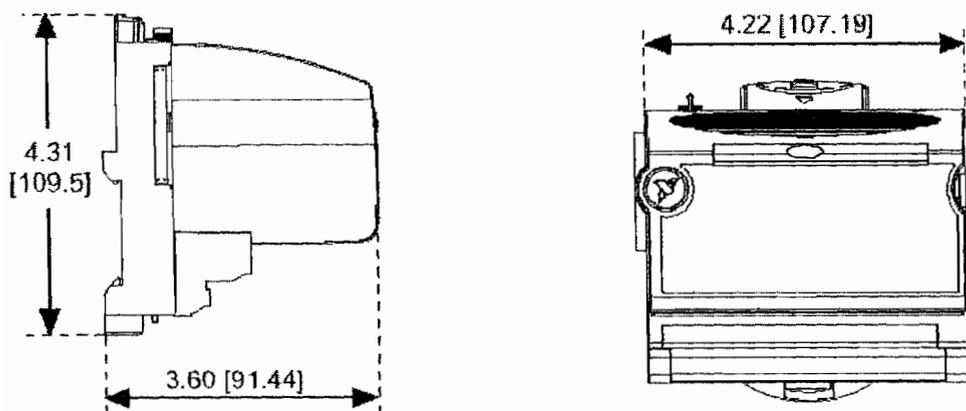


FIGURA 2.76. DIMENSIONES MECÁNICAS DEL MÓDULO FP-AO-200

Configuración del módulo FP-AO-200.

Para configurar los valores de los elementos físicos (hardware settings) del módulo FP-AO-200, seleccione el dispositivo en la ventana DNH.

Haga click derecho en el nombre del dispositivo FP-AO-200 y seleccione **Edit this device** del menú desplegable (Fig. 2.77) y aparecerá la caja de diálogo de configuración de dispositivos (Fig. 2.78).

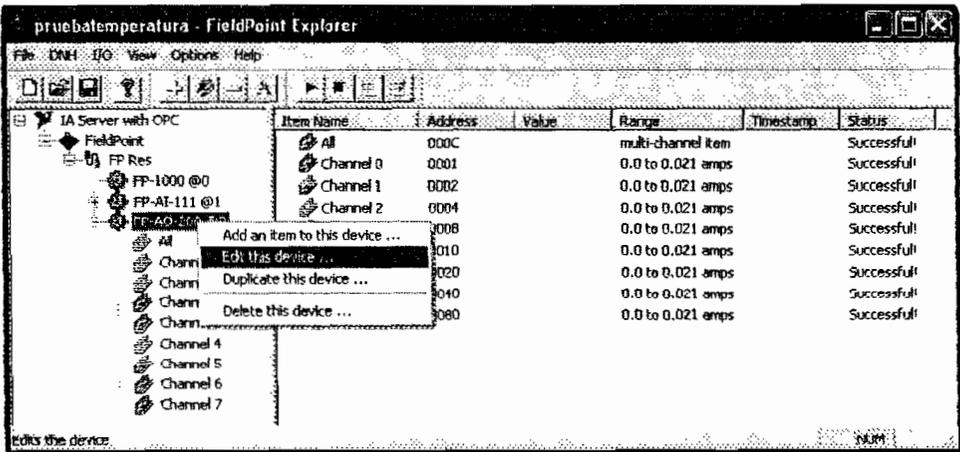


FIGURA 2.77. EDITANDO EL DISPOSITIVO FP-AO-200

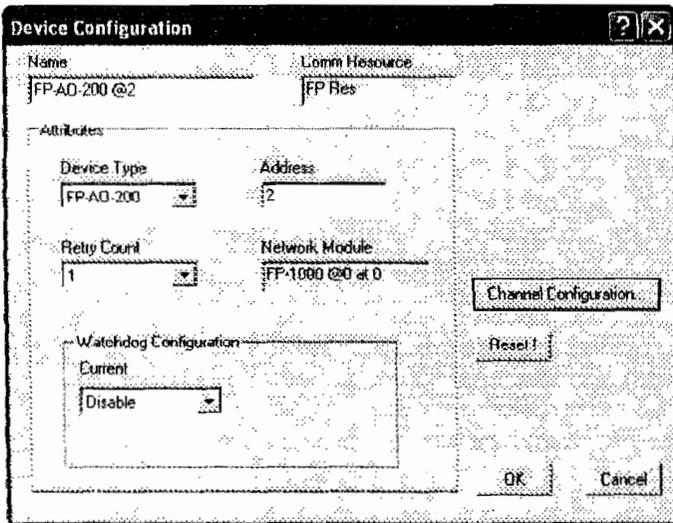


FIGURA 2.78. VENTANA DE CONFIGURACIÓN DE DISPOSITIVOS DEL FP-AO-200

Haga click en el botón **Channel Configuration** y aparecerá la siguiente caja de diálogo.

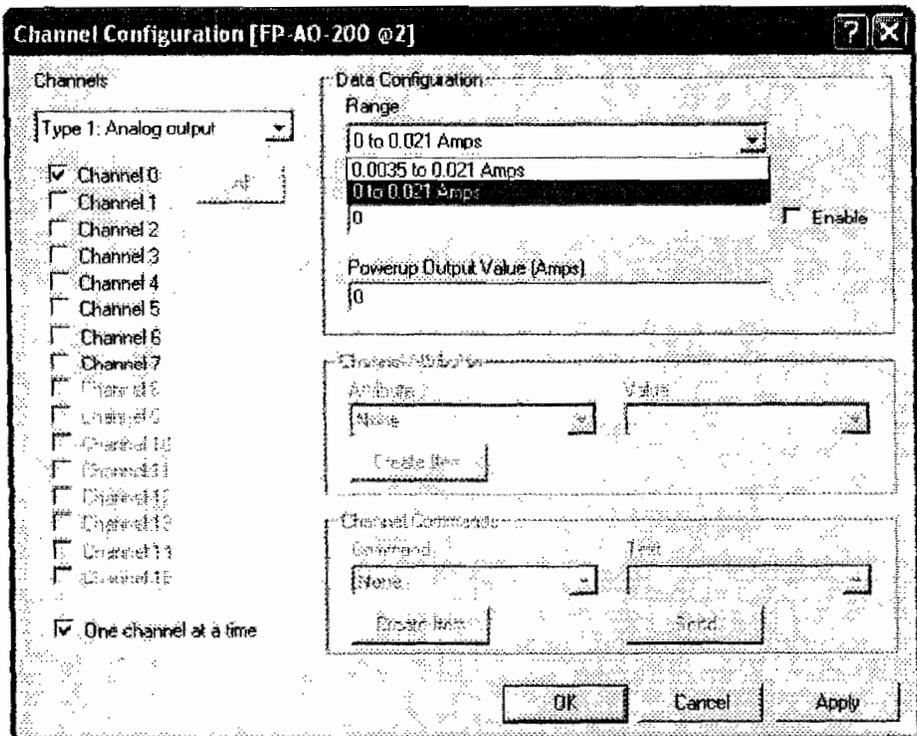


FIGURA 2.79. VENTANA DE CONFIGURACIÓN DE CANALES DEL FP-AO-200.

Para configurar un canal seleccione el número del canal de la lista que aparece en la izquierda de la caja de diálogo, si se desactiva la casilla de verificación **One channel at a time** se podrá seleccionar y configurar múltiples canales al mismo tiempo.

Cambie el rango del canal donde se ha conectado el medidor de fuerza seleccionando en la lista de Rango (Range), el rango

que va desde 0 to 0.21Amps (Fig. 2.79).

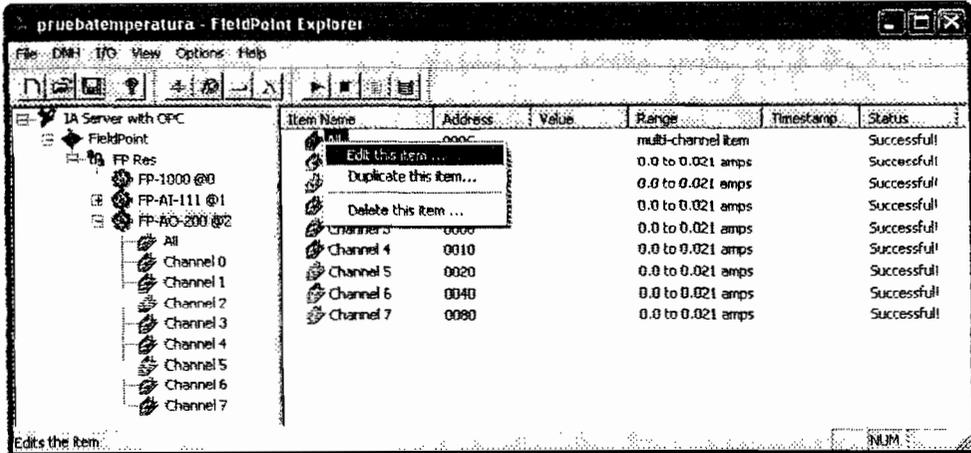


FIGURA 2.80. CONFIGURACIÓN DEL ALL DEL FP-AO-200.

En el caso nuestro configuraremos el botón **All** Haga click en el botón **OK**, cuando haya terminado de configurar los canales que va a utilizar. Haga clic en el botón **YES** (SI) cuando le pregunte el programa si desea escribir estos valores al dispositivo.

Una vez terminada la configuración de **All** del módulo FP-AO-200 debe aparecer una pantalla como la que se muestra a continuación:

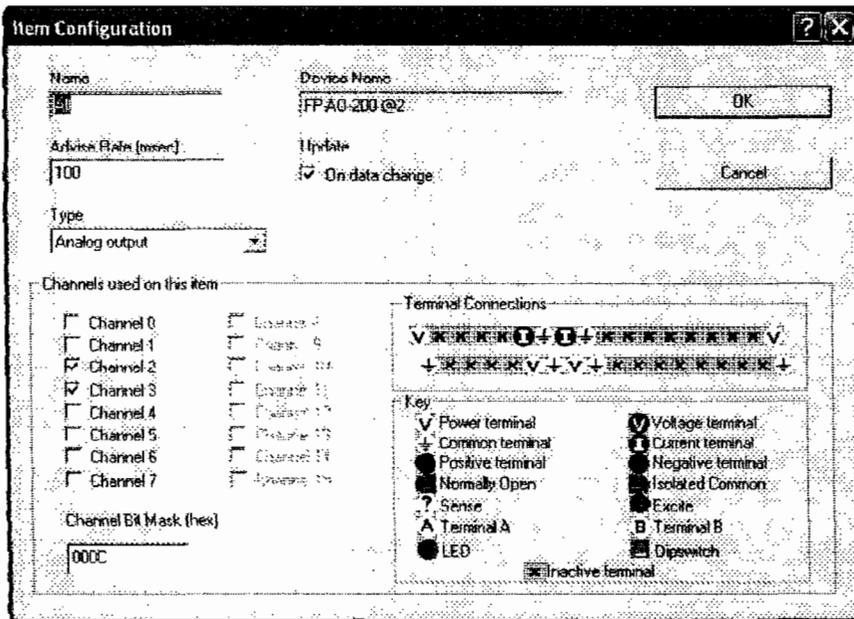


FIGURA 2.81. VISTA DE LA CONFIGURACIÓN DEL ALL DEL FP-AO-200.

I. Circuitos Auxiliares de Control.

Para entrar en este capítulo hay que comprender que la Planta de Procesos Industriales fue construida mucho antes de las facilidades tecnológicas que tenemos en estos momentos y por lo tanto en esta tesis se ha tratado de automatizar el manejo de la misma y para esto se usó una interfase como Field Point y además se produjeron tarjetas o circuitos electrónicos para poder manejar el módulo de

temperatura ya sea desde la comodidad de una computadora o desde el mismo lugar de la planta, es así que ha continuación hablamos de cada uno y del mas importante que es la caja de interfase Field Point con su respectiva tarjeta de circuitos.

Caja de la Interfase Field Point

Esta parte del equipo fue construida para ofrecer seguridad y protección contra el medio a la interfase Fiel Point, fue construido en aluminio y cuenta con una compuerta de acrílico transparente que permite la inspección de la interfase sin necesidad de abrir la compuerta.

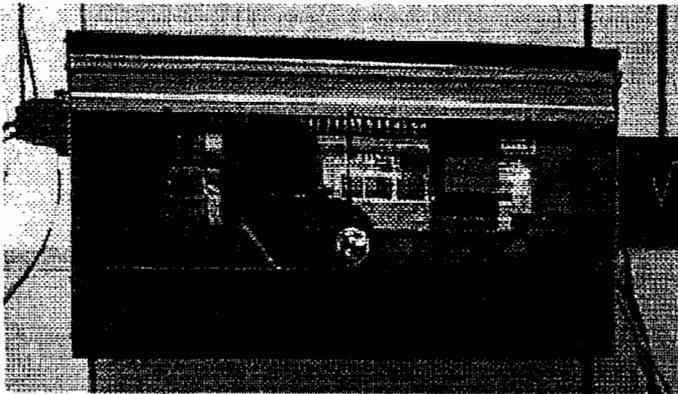


FIGURA 2.82. CAJA DE LA INTERFASE FIELD POINT

La caja de la interfase cuenta con dos conectores DB 25, uno para el módulo de control de caudal y nivel y otro para el módulo de control de temperatura de la Planta de Procesos, a través de estos conectores viajan tanto las señales de los sensores como las señales para control de los actuadores, estos conectores permiten conectarse de modo rápido y seguro a la planta de procesos.

En el interior de la caja de la interfase Field Point, se encuentra la fuente de alimentación tanto para la interfase como para los sensores y actuadores de la planta, además de una tarjeta que contiene toda la circuitería impresa para los sensores y actuadores, también cuenta con fusibles para protección en caso de una sobre corriente, en el módulo de entradas de corriente FP-AI-111, estos fusibles son de 100 mA.

De la caja de la interfase Field Point únicamente salen dos cables para ser conectados a la computadora un cable con conector serial SR-232 el cual comunica la interfase Field Point con la computadora a través del puerto serial y un cable con conector DB-25 al puerto paralelo de la computadora, este permite el control del panel principal y operar tanto bomba como calentador.

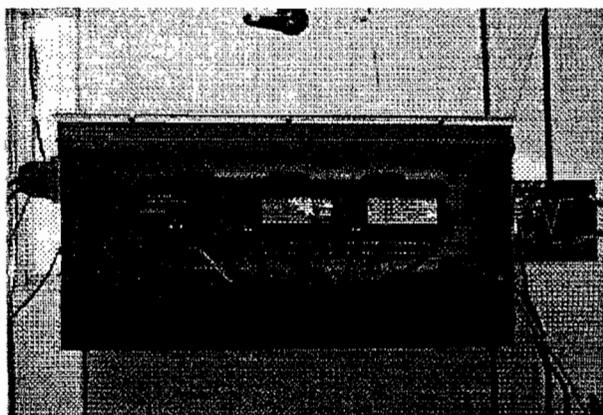


FIGURA 2.83. CAJA DE LA INTERFASE FIELD POINT

El diagrama de la Figura 2.84 muestra las conexiones en el interior de la caja de la interfase Field Point desde los conectores de cada módulo, pasando por la tarjeta de fusibles hasta las conexiones en las borneras de las bases terminales de los módulos Field Point tanto de entrada como de salida de corriente.

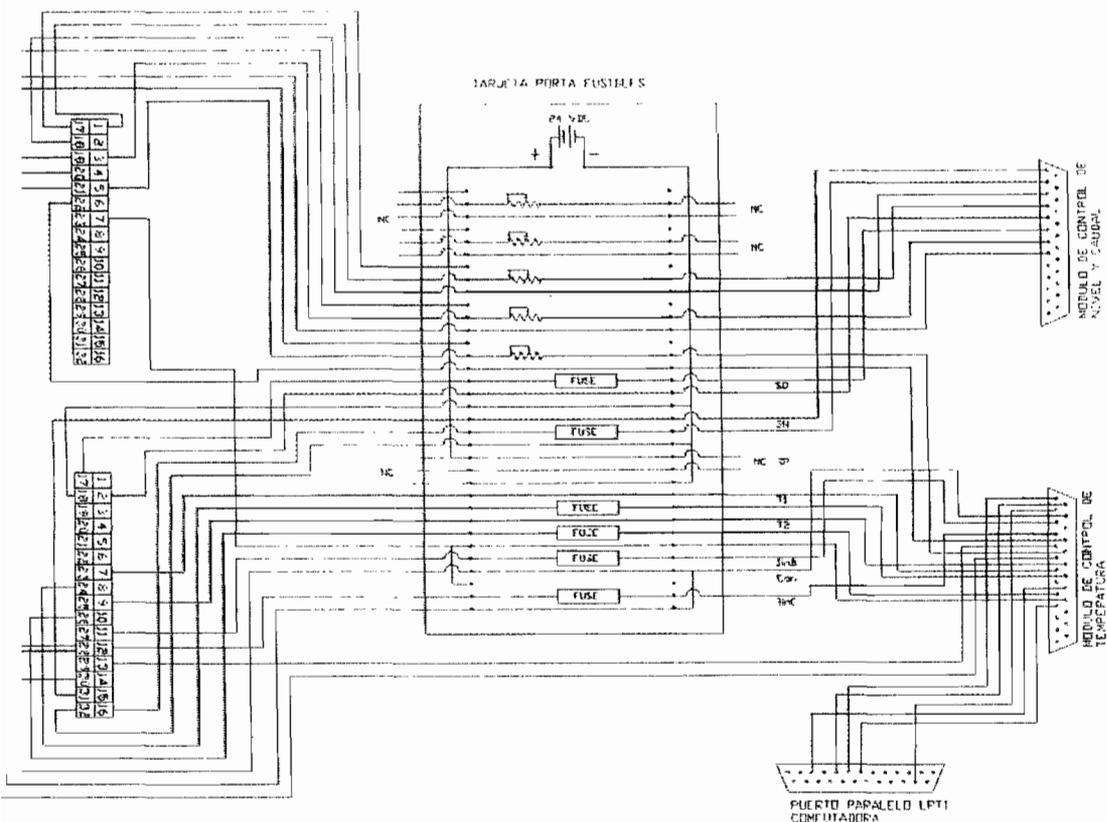
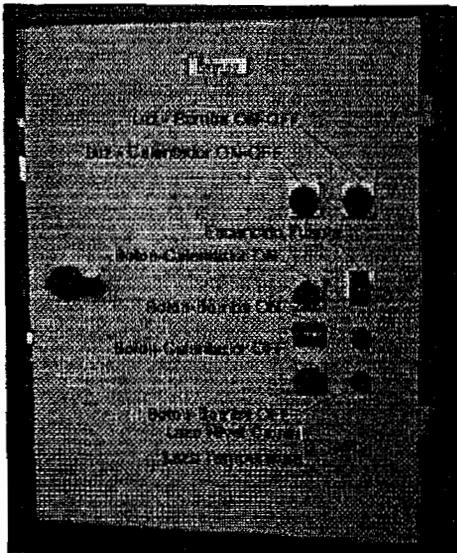


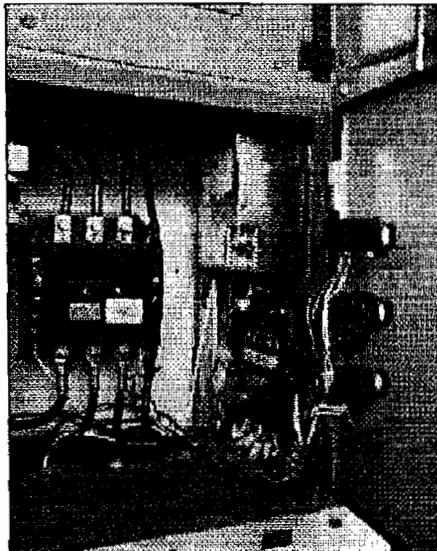
FIGURA 2.84. DIAGRAMA DE CONEXIONES EN INTERIOR DE LA INTERFASE FIELD POINT

2.4.1 Encendido y Apagado de Bomba – Calentador.

El uso y creación de esta interfase para el control, obedece al interés de modernizar y automatizar la mayor parte de las funciones de la Planta de Procesos, la interfase Field Point a pesar de contar con la capacidad de ejecutar las funciones de encendido y apagado de la bomba y el calentador no se la utilizo con este propósito con el fin de no agotar su capacidad para futuros usos en la Planta de Procesos.



Vista Frontal



Vista Interior

FIGURA 2.85. PANEL PRINCIPAL DE CONTROL.

Esta interfase opera mediante el puerto paralelo LPT1 de la computadora, y es comandada a través del programa de control del módulo de Temperatura. Se encuentra instalada en el interior del panel principal de control de la Planta de Procesos, opera de modo dual con los controles instalados para la bomba en el panel principal de control, es decir que es posible activar la bomba tanto desde el panel principal de control como desde la computadora y de igual modo es posible desactivar la bomba principal tanto desde el panel de control como desde la computadora a través de la del puerto paralelo LPT1 y la interfase. Cuando la bomba es activada una señal de corriente es enviada desde la interfase del panel principal de control hacia la interfase Field Point en donde son interpretadas y en el programa de control del módulo de temperatura un indicador en forma de luz piloto se enciende, indicando que la bomba principal esta operando.

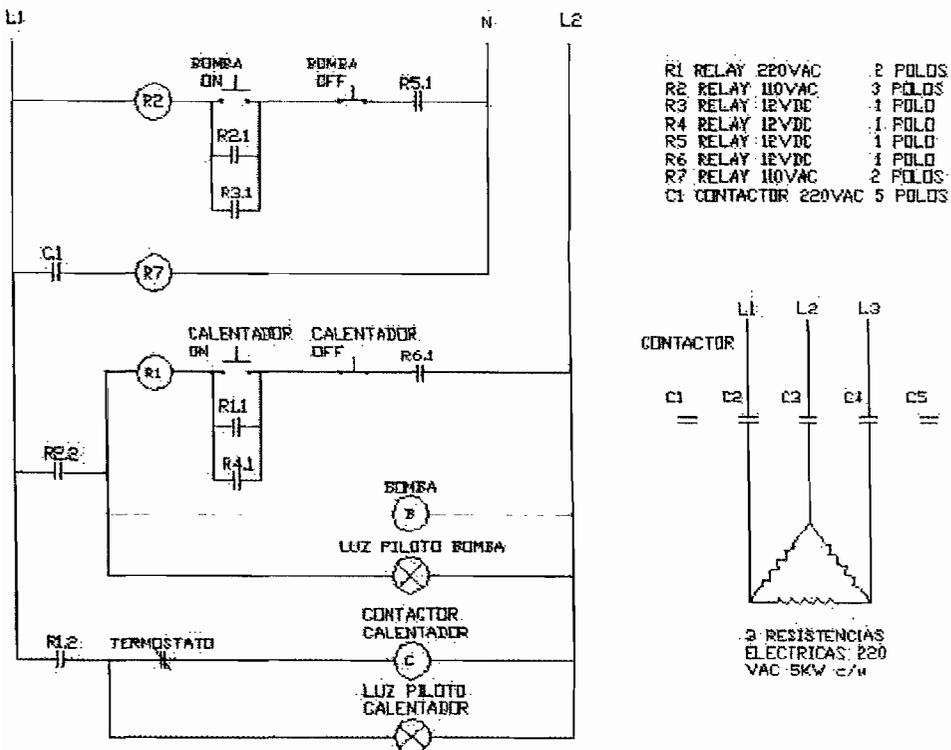


FIGURA 2.86. MUESTRA EL DIAGRAMA UNIFICAR DE CONTROL DE ENCENDIDO DE BOMBA Y CALENTADOR.

En este diagrama se presenta los pulsadores de encendido y apagado de bomba y calentador, en paralelo con los contactos de rele activados por la computadora a través del puerto LPT1, esto permite activar y desactivar bomba y calentador tanto desde la computadora como desde el panel de control. Las resistencias eléctricas del calentador, fueron construidas para operar siempre inmersas en agua de lo contrario, al estar expuestas al aire fuera del agua su temperatura se eleva y

terminan fundiéndose. Por seguridad las resistencias eléctricas del calentador no pueden ser encendidas sin antes haber encendido la bomba, con esto se asegura la presencia de agua dentro del calentador.

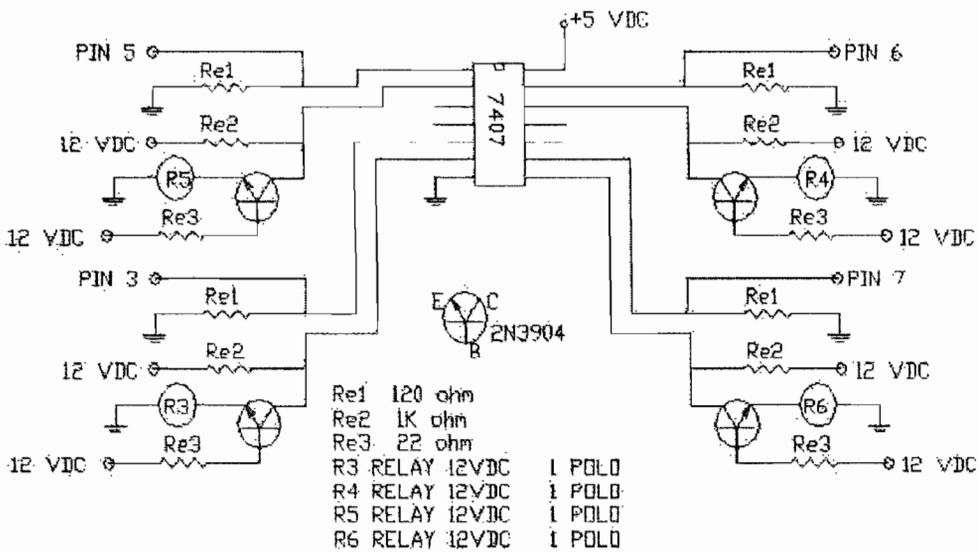


FIGURA 2.87. CIRCUITO DE ACTIVACIÓN DE RELES DE CONTROL A TRAVÉS DEL PUERTO LPT1

La Figura 2.87 muestra la circuitería interna de la tarjeta impresa de la interfase, este circuito es de control para los relees que encienden el circuito de potencia para control de la bomba y calentador.

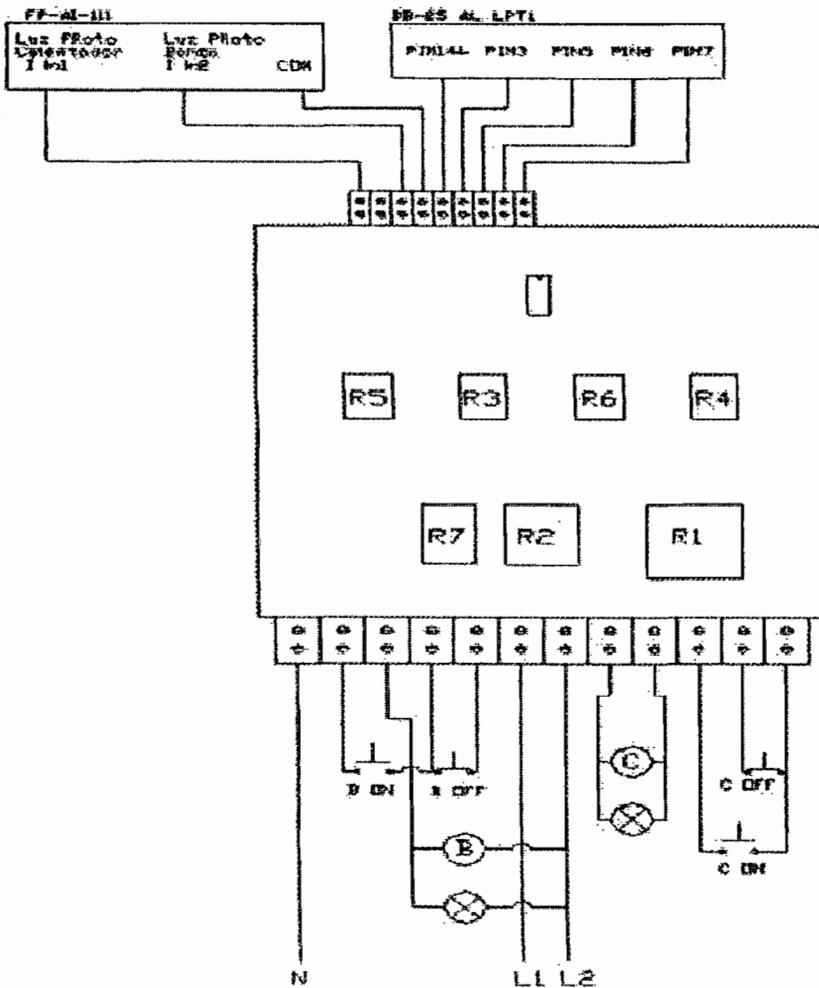


FIGURA 2.88 MUESTRA UN DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LA TARJETA DE LA INTERFASE Y LAS CONEXIONES COMO SE ENCUENTRAN EN EL PANEL DE CONTROL.

Esta tarjeta integra tanto el circuito de control a través del puerto LPT1 como el circuito de potencia para la activación y desactivación de la bomba y calentador.

2.4.2 Encendido y Apagado del mezclador.

Para el encendido y apagado del mezclador se tuvo en consideración que al no estar debidamente toda la masa de agua a una misma temperatura producían errores lo que se traducía en tiempos muertos en el proceso fue así como se determino que para mejorar el proceso se tenía que utilizar un mezclador que iguale la temperatura de toda la masa de agua en el menor tiempo. Es así como se construyo un circuito de encendido y apagado que debidamente manejado desde la computadora mediante Lab View y el Fielpoint se prende y se apaga al hacer llegar 20 mA para el encendido y 0 mA para el apagado. En la figura 2.89 se observa la tarjeta que se agrego a la tarjeta principal para encender el mezclador.

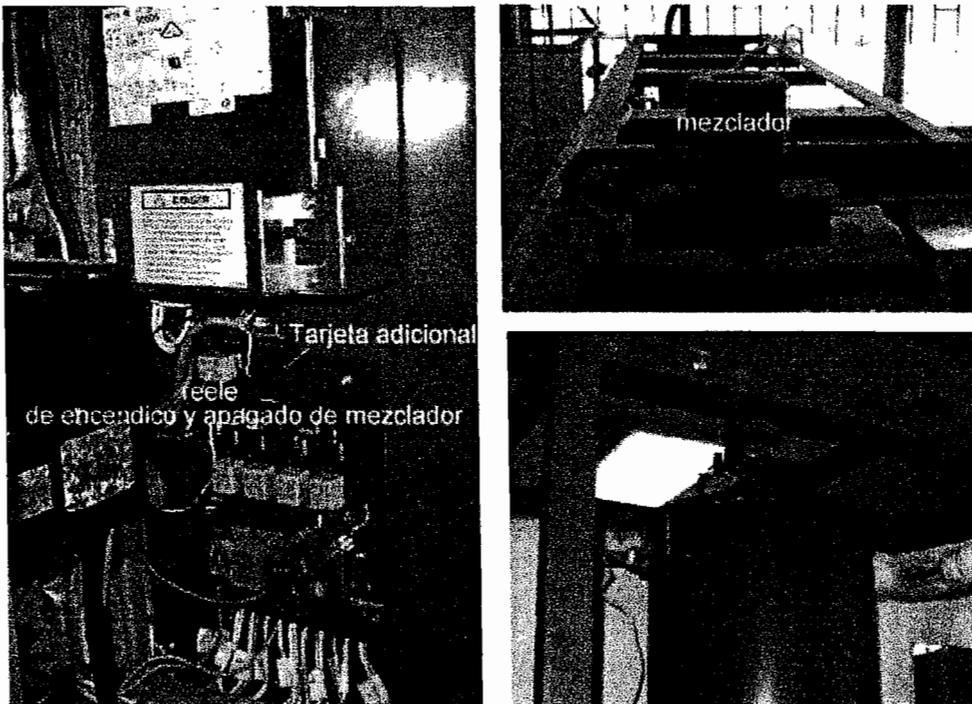


FIGURA 2.89. VISTAS LA TARJETA DEL MEZCLADOR Y VISTAS INFERIOR Y SUPERIOR DEL MEZCLADOR EN EL TANQUE.

2.4.3 Encendido y Apagado de Bomba de control de nivel.

Para la creación de esta interfase se tomo en cuenta que al experimentar o al tratar de realizar las practicas para la que la planta fue diseñada, el desfogue o salida del agua procesada por la planta no cumplía los requerimientos de que el caudal a su máxima entrada sea el mismo que a la salida, ya sea por un

mal dimensionamiento de las tuberías de desfuegos o un sobredimensionamiento de los caudales de entrada, cualquiera haya sido el problema la solución fue conectarle una bomba que succione el agua que iba quedando y así mantener los niveles para los que fue diseñada la planta.

Pero al conectar la bomba nos encontramos con el problema de que la bomba succionaba mas de lo que debía ya que el proceso de calentar y mantener la temperatura del agua se basa en la cantidad de agua que pasa por el calentador y esta varia de acuerdo a la necesidad de la planta, debido a todo esto se opto por implementar un circuito de encendido y apagado a la bomba que ese observa en la figura a continuación.

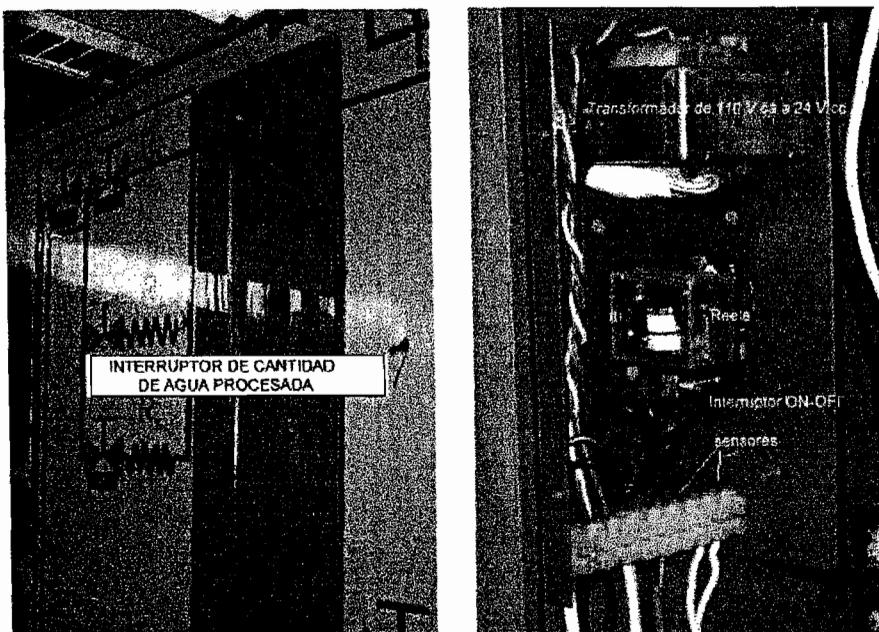


FIGURA 2.90. VISTAS DEL INTERRUPTOR DE CANTIDAD

DE AGUA PROCESADA Y VISTA DE LA TARJETA DE CONTROL.

En la figura 2.90 observamos en que lugar de la planta se maneja manualmente la posición se debe poner al interruptor para la cantidad de agua procesada que en nuestro caso es tanque lleno o medio tanque y una posición de apagado para cuando no se necesite de la bomba.

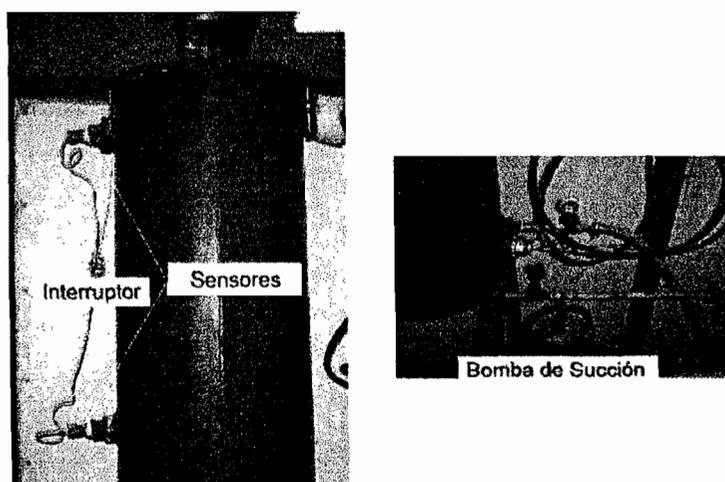


FIGURA 2.91. POSICION DE BOMBA Y SENSORES EN EL TANQUE DE PROCESO.

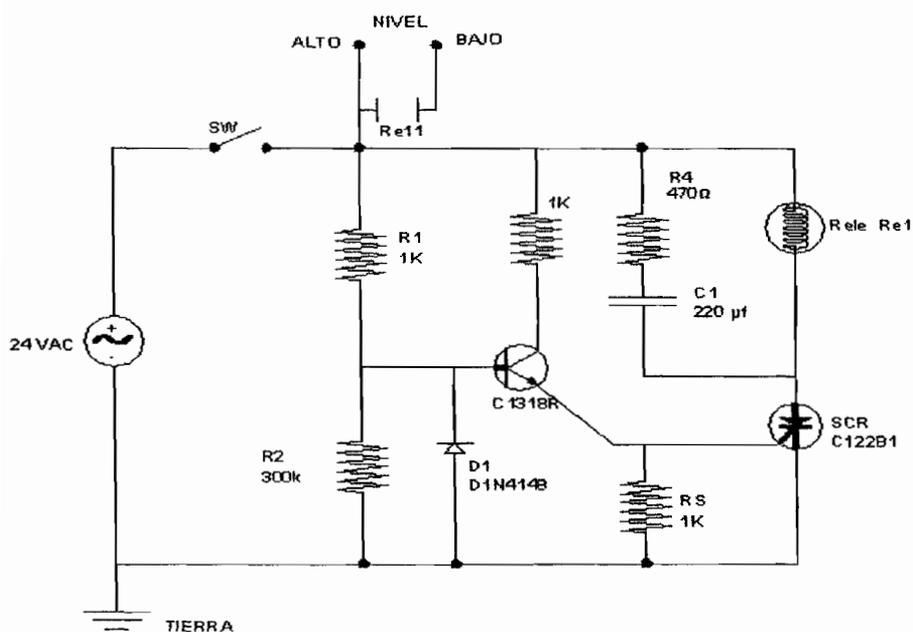


FIGURA 2.92. TARJETA DEL CONTROL DE NIVEL EN EL TANQUE DE TEMPERATURA.

CAPITULO 3

PROGRAMACION DEL CONTROL DIGITAL

En este capitulo se hablara mas de cerca de lo que en si es nuestra solución al problema de cómo controlar la planta de procesos industriales por medio del programa Lab View , como solucionamos problemas que se fueron dando al tratar de controlarla y una descripción exacta de cada elemento empleado en la programación.

3.1. Rutinas y Subrutinas del Programa.

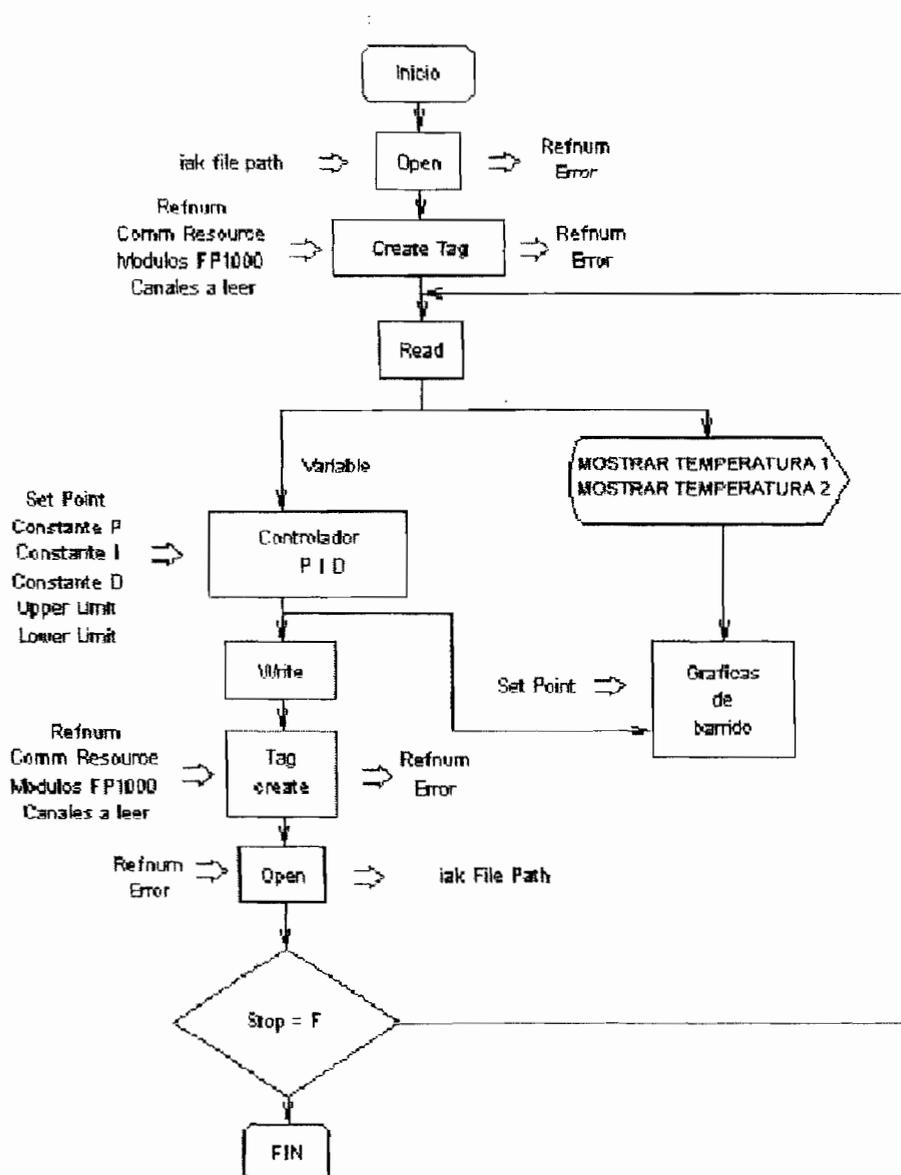


FIGURA 3.1. RUTINA O FLUJO DEL PROGRAMA CONTROL DE TEMPERATURA.VI DE PLANTA DE PROCESOS INDUSTRIALES DE FIMCP.

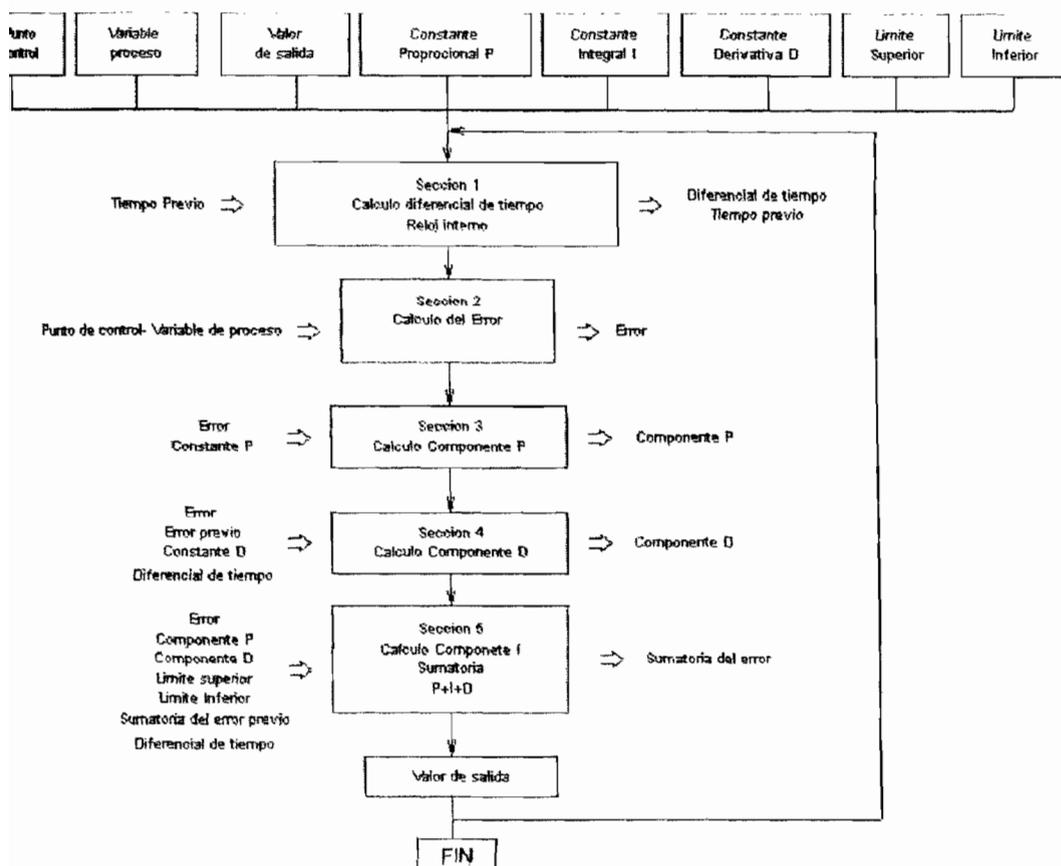


FIGURA 3.2. SUBROUTINA O FLUJO DEL PROGRAMA CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO O CONTROLADOR PID DEL PROGRAMA CONTROL DE TEMPERATURA.VI DE PLANTA DE PROCESOS INDUSTRIALES DE FIMCP.

3.2. Descripción del Controlador Virtual PID.

En el desarrollo del proyecto de actualización de la planta de

procesos industriales de la FIMCP se decidió sustituir los controladores neumáticos deteriorados, por controladores virtuales creados bajo el software Lab View, dicho software nos permite crear aplicaciones para computadora, usando programación grafica como se trato en el capitulo dos.

Estos controladores nos dan una ventaja amplia en comparación con los controladores neumáticos, por su fácil manejo, la permanencia en la calibración, y sobre todo la capacidad de adaptarse a cualquier requerimiento de un sistema de control, alterando o cambiando su programación en función de los parámetros que rigen el sistema. Adaptar un controlador virtual también representa una ventaja económica debido que cualquier reajuste o traducción de una variable se puede conseguir mediante la programación y no se requiere comprar instrumentos aparte que traduzcan o manipulen las variables para luego introducirlas en el controlador, además se elimina la necesidad de adquirir registradores para los procesos ya que se descartan al programar registradores virtuales para las variables controladas.

El programa creado bajo Lab View para controlar los procesos del Lazo de temperatura de la planta, contiene integrado un controlador **PID** dentro de un lazo principal de adquisición de datos y control, el alma del programa es este controlador virtual, fue construido con

los mismos parámetros de un controlador neumático es decir que obedece a los mismo principios matemáticos, de igual modo opera comparando la variable de entrada contra un punto de control, estableciendo un error ente estos y tratando de corregirlo mediante la variable de salida del controlador.

El controlador virtual fue creado bajo las teorías de controladores, se le dedico especial énfasis a respetar los algoritmos matemáticos que permiten su operación y de este modo garantizar funcionabilidad bajo operación normal y al exponerlo a perturbaciones del sistema y esperar que las controle. Además se espera que el controlador virtual permita realizar las prácticas de ajuste de controlador para el módulo de control de temperatura, según la teoría, y adaptarse a los procedimientos de la práctica, para lo cual debería responder como un controlador convencional. Se puede catalogar a este controlador virtual dentro de los controladores digitales por residir dentro de una computadora que opera en un medio digital, pero físicamente el controlador no existe, ya que es un software, lo que lo convierte en virtual. A continuación se muestra en las Figuras 3.3 y 3.4 el panel principal de control y el panel de diagrama de bloques del modulo de control de Temperatura.

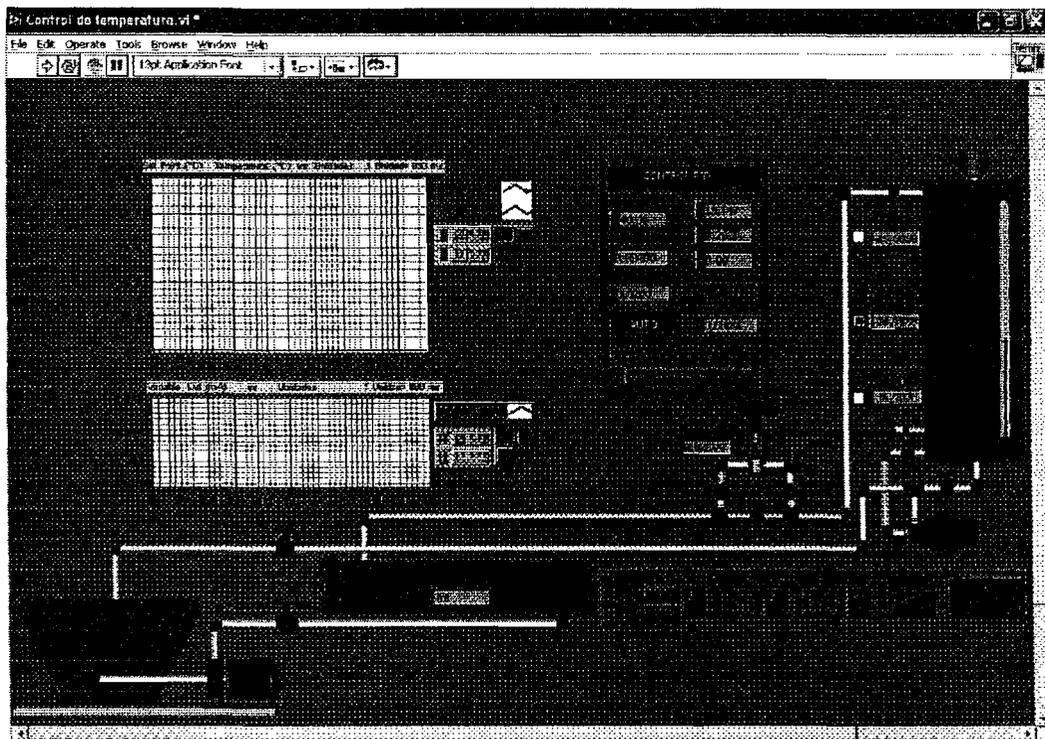


FIGURA 3.3. PANEL PRINCIPAL DEL PROGRAMA CONTROL DE TEMPERATURA.VI DEL MODULO DE TEMPERATURA DE LA PLANTA DE PROCESOS INDUSTRIALES DE LA FIMCP.

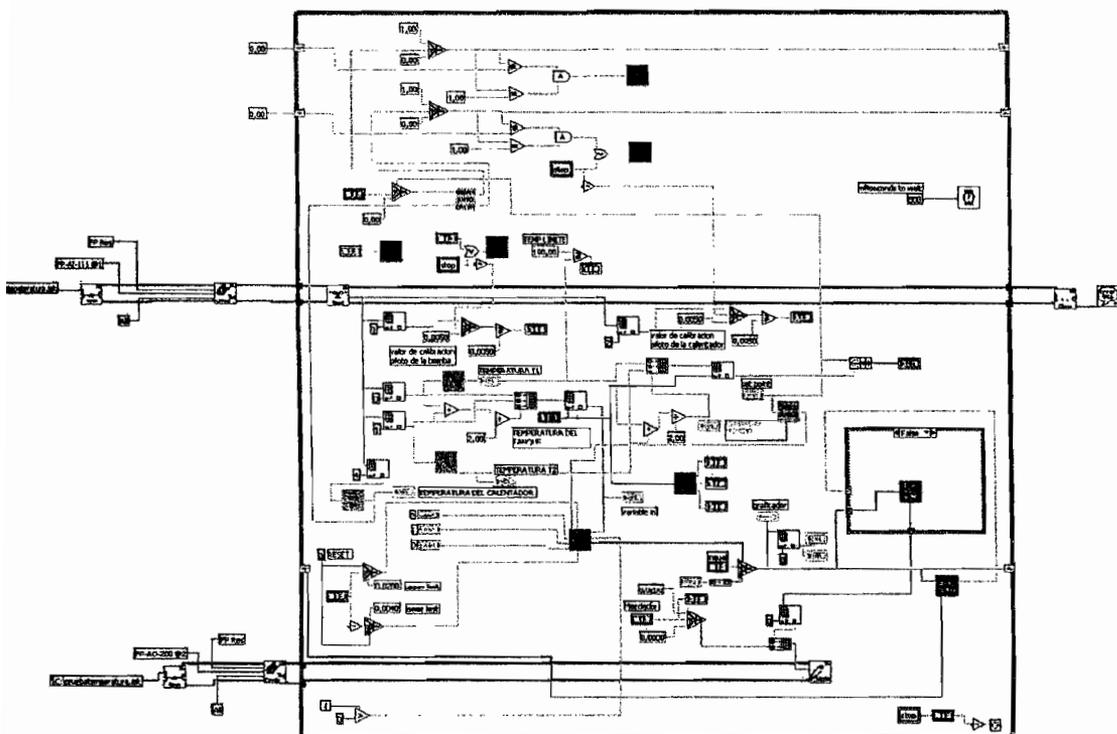


FIGURA 3.4. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROGRAMA CONTROL DE TEMPERATURA.VI DEL MODULO DE TEMPERATURA DE LA PLANTA DE PROCESOS INDUSTRIALES DE LA FIMCP.

Dentro del panel de programación o el panel de diagrama de bloques, de la Figura 3.3 y Figura 3.4 se destaca el icono que representa el controlador PID, este icono se lo conoce como un subprograma, debido a que fue creado como un instrumento virtual aparte y luego insertado en el programa principal para ser enlazado con las entradas y salidas de cada sistema.

En la Figura 3.5 se representa el icono del controlador **PID**, en las dos formas que se puede visualizar dentro de Lab VIEW , solo mostrando el icono y mostrando sus conexiones, este subVI tiene por nombre `pidcontrol.vi`.

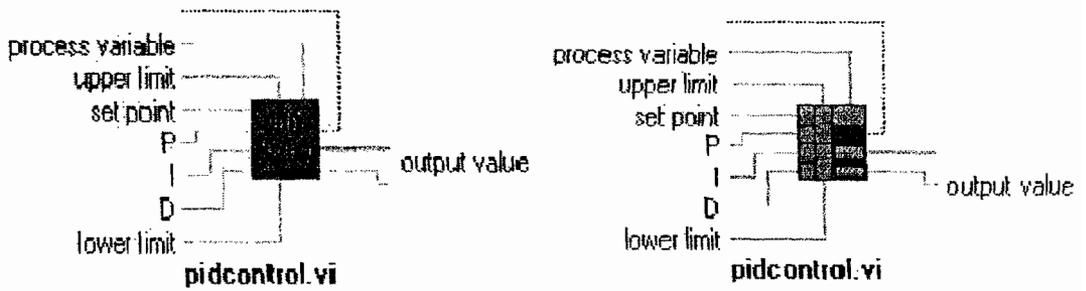


FIGURA 3.5. ICONO DEL CONTROLADOR PID

Al ejecutar este icono dándole doble clic o al abrirlo directamente desde Lab VIEW, buscándolo por su nombre `pidcontrol.vi` se abre el panel frontal de este programa y su correspondiente panel de diagrama de bloques como se muestra en la Figura 3.6.

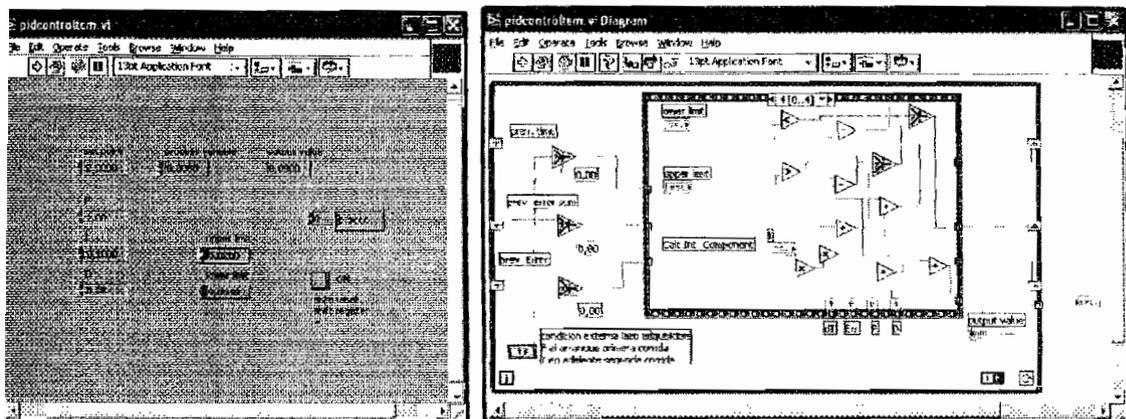


FIGURA 3.6. PANEL PRINCIPAL Y DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CONTROLADOR PID.

A continuación se describirá de manera detallada cada uno de los controles e indicadores que se usaron para la creación del controlador virtual `pidcontrol.vi`, dentro del panel frontal.

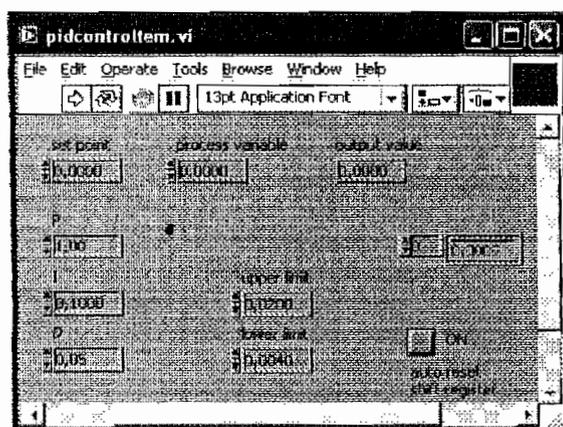
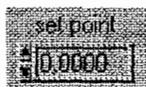
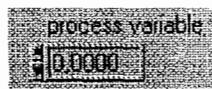


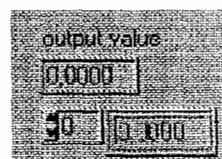
FIGURA 3.7. PANEL PRINCIPAL Y DEL CONTROLADOR PID.



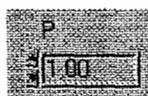
Punto de Control: desde este controlador se introduce al controlador virtual PID el valor a controlar.



Variable de proceso: desde este controlador se introduce la variable del proceso que se quiere controlar.



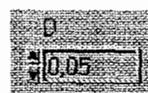
Valor de salida: desde este indicador el controlador PID muestra y envía el valor con el que se contrarresta el error entre el punto de control y la variable de proceso, con el fin de corregir dicho error.



Valor proporcional o la ganancia: desde este controlador se introduce esta constante para el ajuste de controlador PID.

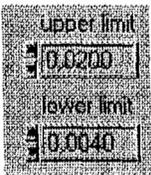


Valor integral: desde este controlador se introduce esta constante para el ajuste de controlador PID.

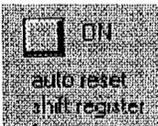


Valor derivativo: desde este controlador se introduce esta constante para el ajuste de controlador PID.

Estas tres constantes son utilizadas en los cálculos internos del controlador, de su ajuste o calibración depende la eficiencia del controlador en el proceso.



Valores de salida límites: desde estos controles se introducen los valores máximos y mínimos de operación del controlador PID.



Botón de encendido: desde este botón se encera los registros de memoria del controlador PID.

A continuación se describirá de manera detallada cada uno de los pasos que se siguieron para la creación del controlador virtual `pidcontrol.vi`, dentro del panel de diagramas de bloques.

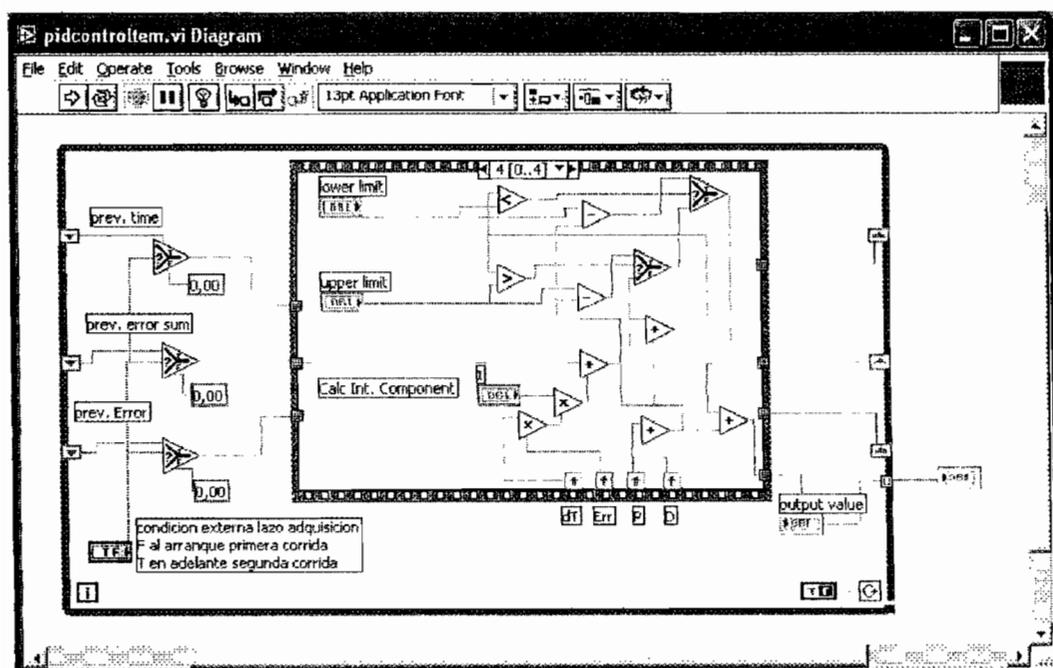


FIGURA 3.8. PANEL DE DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CONTROLADOR PID.

El controlador virtual se basa en una estructura de lazo que se repite indefinidamente (While loop), esto nos permite realizar los cálculos mediante iteraciones. En la estructura While loop se cargan registros de corrimiento (Shift Register), que se utilizan para almacenar datos después de un ciclo y compararlos en el siguiente ciclo, de este modo se utiliza esta estructura para realizar operaciones numéricas como derivación e integración.

Estos registros son encerrados cada vez que el controlador es

corrido mediante el botón de encendido del panel frontal, para evitar que los viejos registros interfieran con los nuevos cálculos del controlador PID, este enceramiento se realiza de modo automático dentro del programa cada vez que este arranca.

Para el controlador PID se utilizó el siguiente algoritmo matemático, que como indica la teoría, operan en base al error entre el punto de control y la variable del proceso, el controlador virtual que se creó responde a dichas teorías, la ecuación 3.1 describe la operación del controlador PID.

$$m(t) = K_c e(t) + \frac{K_c}{\tau_I} \int e(t) dt + K_c \tau_D \frac{de(t)}{dt} \quad 3.1$$

La salida del controlador en el tiempo o $m(t)$, esta conformada por la sumatoria de las tres partes de esta ecuación, como se muestra en la Figura 3.9.

$$m(t) = \underbrace{K_c e(t)}_{\text{P Componente}} + \underbrace{\frac{K_c}{\tau_I} \int e(t) dt}_{\text{I Componente}} + \underbrace{K_c \tau_D \frac{de(t)}{dt}}_{\text{D Componente}}$$

FIGURA 3.9. ALGORITMO MATEMÁTICO DEL CONTROLADOR

Estas tres partes principales de la ecuación 3.2 se programaron dentro de una estructura de secuencia (Sequence Structure), esta estructura se encuentra dentro del lazo (While loop), el modo de

operación de esta estructura es ejecutar secuencialmente cada cuadro de programación, para el controlador virtual se cuenta con cinco cuadros, en los cuales se ha separado la ecuación 3.1.

$$m(t) = \bar{m} + K_c (r(t) - c(t)) \quad 3.2$$

Cálculo del diferencial de tiempo

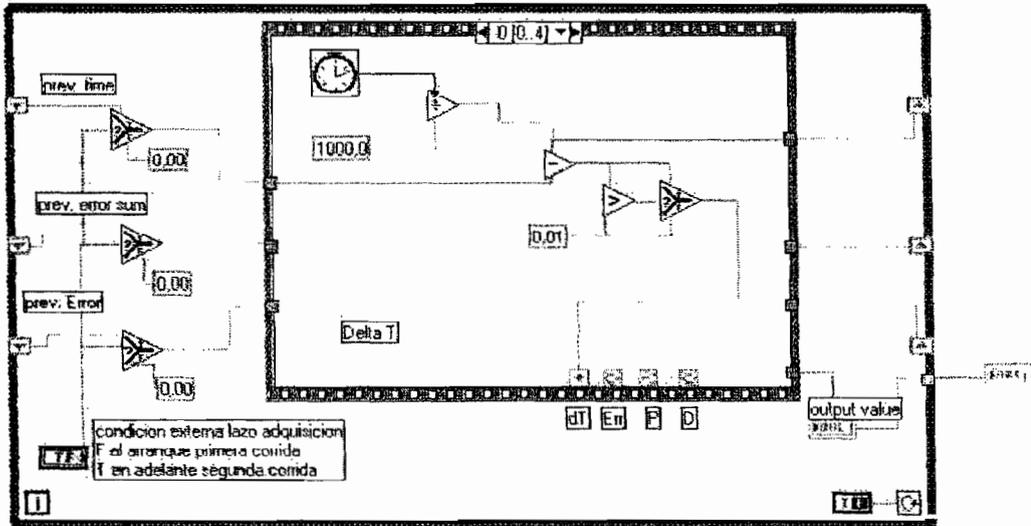


FIGURA 3.10. CALCULO DEL DIFERENCIAL DE TIEMPO

En la figura 3.10 se muestra el primer cuadro 0[0..4] de secuencia de funcionamiento del controlador virtual. Dentro de este cuadro se calcula el diferencial de tiempo o dt para los cálculos de las partes derivativa e integral, en base al reloj interno de la computadora, el

diferencial se logra luego de la segunda corrida del lazo (While loop), el programa calcula la diferencia entre el tiempo de la presente corrida y la anterior, este valor es guardado en un registro de memoria, para ser utilizado luego en los demás cuadros de programación de la estructura secuencial.

Cálculo del error.

En la figura 3.11 se muestra el segundo cuadro 1[0..4], de secuencia de funcionamiento del controlador virtual. Dentro de este cuadro se calcula el error entre el punto de control y la variable del proceso, para el cálculo de las partes proporcional, derivativo e integral, este valor es guardado en un registro de memoria Err, para ser utilizado luego en los demás cuadros de programación de la estructura secuencial.

Además es cargado en un registro de corrimiento de memoria llamado prev Error, dentro del lazo (While loop), luego se usara en la parte derivativa.

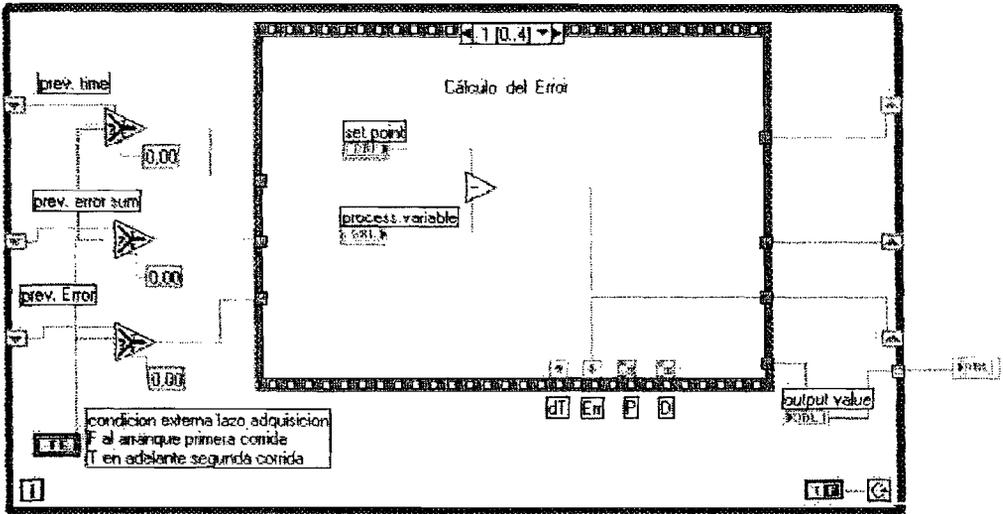


FIGURA 3.11. CALCULO DEL ERROR

Cálculo del componente proporcional

En la figura 3.12 se muestra el tercer cuadro 2[0..4], de secuencia de funcionamiento del controlador virtual. Dentro de este cuadro se calcula el componente proporcional, se extrae el valor del error del registro de memoria Err y se multiplica directamente con la constante del valor proporcional dada desde el panel frontal del PID, este valor es guardado en un registro de memoria P, para ser utilizado luego en los demás cuadros de programación de la estructura secuencial.

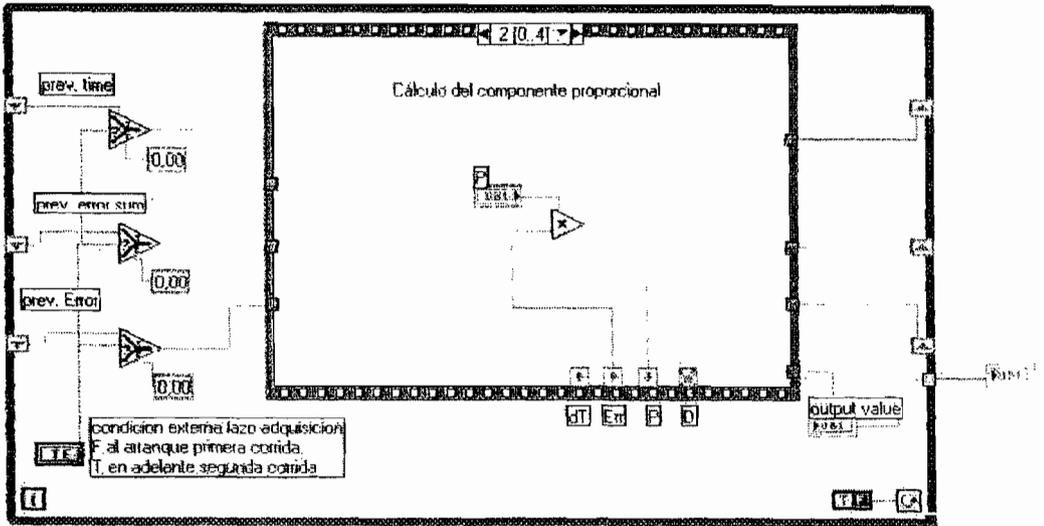


FIGURA 3.12. CALCULO DEL COMPONENTE PROPORCIONAL

Cálculo del componente derivativo.

En la figura 3.13 se muestra el cuarto cuadro 3[0..4], de secuencia de funcionamiento del controlador virtual. Dentro de este cuadro se calcula el componente derivativo, se calcula el diferencial del error dE , para esto se extrae del registro de memoria el valor Err y se resta del registro de corrimiento de memoria $prev\ Error$ del lazo (While loop), este diferencial de error es dividido para el valor del registro de memoria dT , luego se multiplica directamente con la constante del valor diferencial dada desde el panel frontal del PID. El valor de la componente diferencial luego es guardado en el registro de memoria D , para ser utilizado luego en los demás

de integración dando como resultado la componente de integración. El valor de esta componente es cargado al registro de memoria prev. Error. Sum del lazo (While loop), y de este modo se incrementa la sumatoria y se obtiene una integración numérica. El valor de la componente diferencial es extraído del registro de memoria D y el valor de la componente proporcional también es extraído del registro de memoria P, estas dos componentes se suman con la componente de integración y se crea la respuesta de un controlador **PID**.

Para terminar con la descripción del controlador **PID** faltaría la función de las constantes limite bajo (lower limit) y Limite alto (upper limit) las cuales se encargan de limitar los máximos y mínimos valores de salida del controlador para nuestro caso el rango máximo es de 4 a 20 mA .

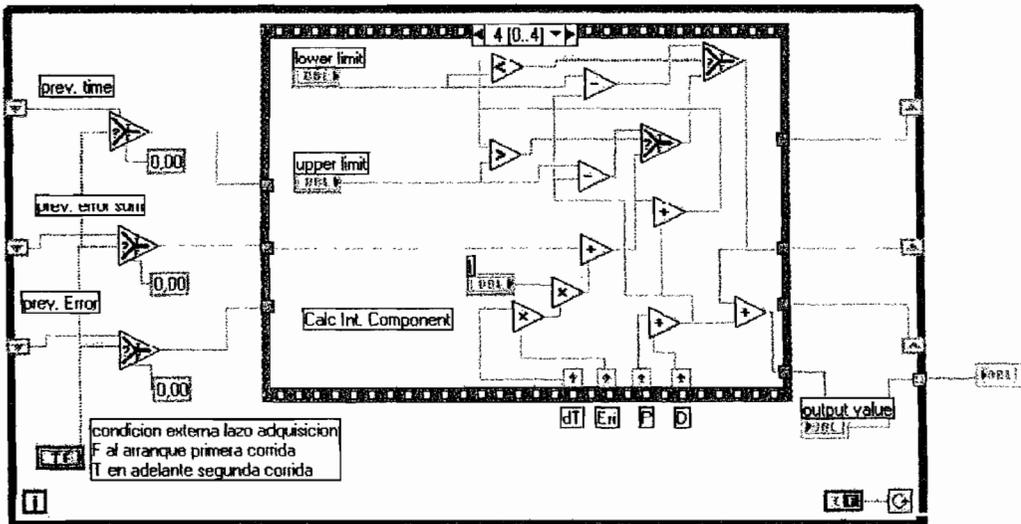


FIGURA 3.14. CALCULO DEL COMPONENTE INTEGRAL

El valor de salida de la estructura de secuencia es de tipo numérico, pero se requiere cambiarlo a una notación matricial a la salida del lazo (While loop) para ser utilizado posteriormente en programa principal, el total de la suma de las tres componentes es cargado en el valor de salida (output value) y opera dentro de los rangos fijados de 4 a 20 mA.

Como se puede apreciar el controlador PID virtual que se creó se ajusta ciertamente a la teoría de controladores por retroalimentación.

archivo de configuración IAK, de de la interfase Field Point, el resultado final es la adquisición directa desde la Interfase Field Point y el programa de control.

A continuación detallaremos cada uno de los iconos que se utilizan para la adquisición desde la interfase Field Point.

FP Open.vi

El FP Open.vi abre una sesión de comunicación con el servidor de Field Point y un archivo de la configuración especificado iak. Si el iak Archivo de Configuración de entrada queda vacío o sin escribir, se usará el último archivo iak que se abrió en Explorador de Field Point automáticamente. Sin embargo, siempre debe escribirse la dirección exacta del archivo iak que se quiere usar (C:\pruebatempeteratura.iak).

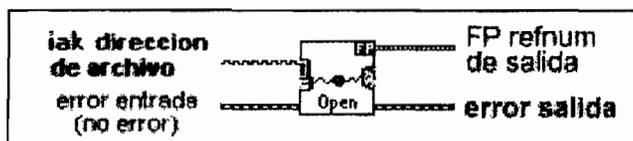


FIGURA. 3.16. FP OPEN.VI

FP Create Tag.vi

Este VI crea una etiqueta de referencia para los datos del dispositivo especificado en el y recurso del comunicación que son accedidos por la sesión de comunicación del FP refnum. Los valores para el Recurso de Comunicación (FP RES), Nombre del Dispositivo (FP-AI-111 @1), y Nombre del ítem deben ser exactos para los ítems nombrados en el archivo de configuración IAK (All). Un FP Create Tag.vi debe usarse para cada ítem eso se supervisará o se controlará en el programa.

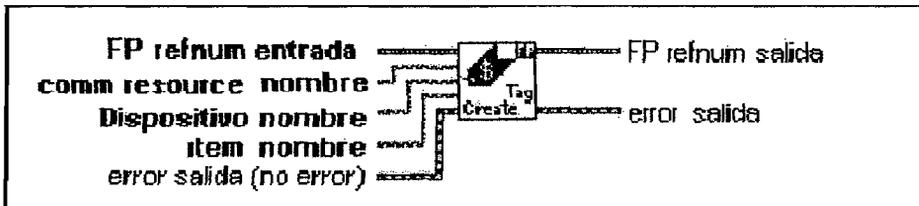


FIGURA 3.17. FP Create Tag.VI

FP Read.vi

El FP Read.vi realiza una sincronización de lectura con el módulo. Este VI lee un solo juego de valores de la etiqueta (tag) especificada por el FP refnum. Los valores leídos son enviados dentro de una configuración de arreglo o matricial.

La programación que se muestra fuera del lazo (While loop) es la que se encarga de establecer comunicación entre el programa y el archivo de configuración *pruebatemperatura.iak*, de la interfase Field Point, el resultado final es el envío directo desde el programa de control datos a la Interfase Field Point para los elementos de control final.

A continuación describiremos cada uno de los iconos que se utilizan para la envío y control desde el programa hasta la interfase Field Point.

FP Open.vi

El FP Open.vi abre una sesión de comunicación con el servidor de Field Point y un archivo de la configuración especificado *iak*., siempre debe escribirse la dirección exacta del archivo de *iak* se quiere usar (C:\pruebatempeteratura.iak).

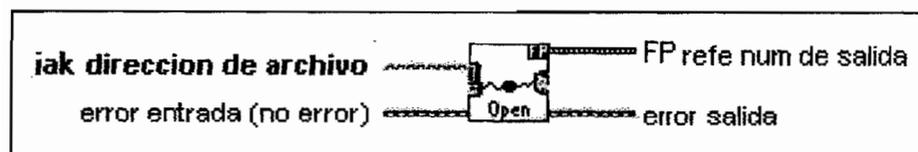


FIGURA 3.20. FP OPEN.VI

FP Create Tag.vi

Este VI crea una etiqueta de referencia para los datos del dispositivo especificado en el y recurso del comunicación que son accedidos por la sesión de comunicación del FP refnum. Los valores para el Recurso de Comunicación (FP RES), Nombre del Dispositivo (FP-AO-200 @2), y Nombre del ítem deben ser exactos para los ítems nombrados en el archivo configuración iak (All). Un FP Create Tag.vi debe usarse para cada ítem eso se supervisará o se controlará en el programa.

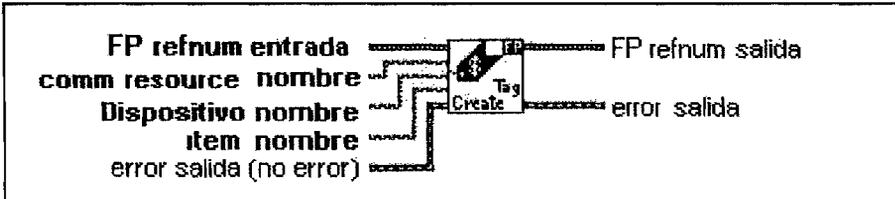


FIGURA 3.21. FP CREATE TAG.VI

FP Write.vi

Este VI escribe a una etiqueta (Tag) especificada por el FP refnum. El FP Write.vi realiza una sincronización de escritura a la interfase Field Point. Envía los valores de una matriz cargada directamente de los valores de salida del controlador PID virtual a la interfase Field

Point y al módulo de salida FP-AO-200 para el mando de los elementos finales de control.

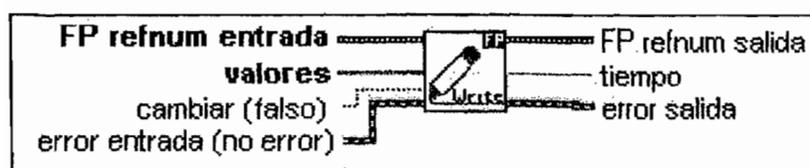


FIGURA 3.22. FP WRITE.VI

La programación para la interfase Field Point requiere una salida para un posible error en la adquisición o control y para finalizar la comunicación. La figura 3.23 muestra la programación para finalizar la comunicación con la interfase Field Point. Solo se requiere un FP Close para el programa.

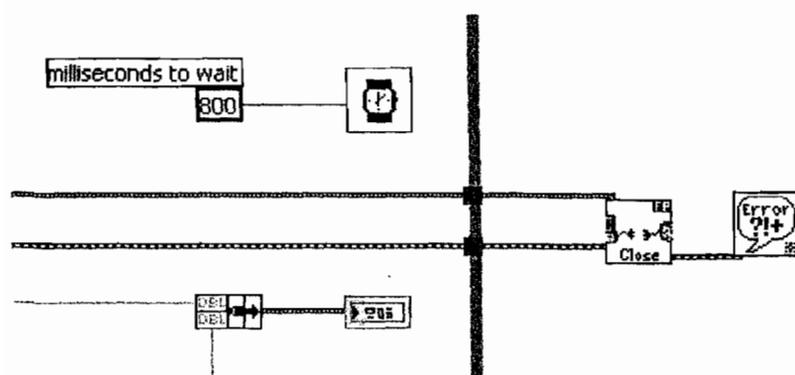


FIGURA 3.23. INTERRUPCIÓN Y ERROR DE LA COMUNICACIÓN

FP Close.vi

El FP Close.vi cierra una sesión de comunicación con el servidor de Field Point. Sólo un FP Close.vi se necesita en un programa. Una vez un FP Close.vi se ha procesado, todos los FP refnums que fueron creados por el FP Open.vi se vuelven inactivos.

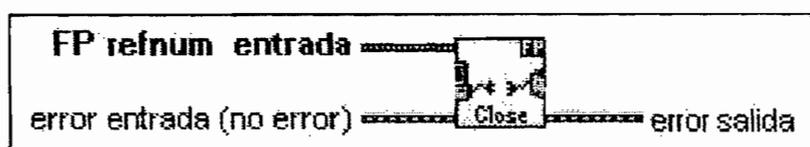


FIGURA 3.24. FP CLOSE.VI

General Error Handler

Indica si un error ocurrió. Si un error ocurriera, este VI retorna una descripción del error y opcionalmente despliega una caja del diálogo.

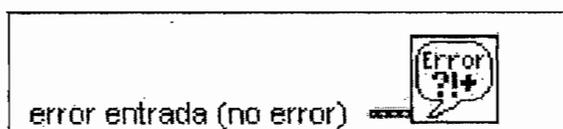


FIGURA 3.25. GENERAL ERROR HANDLER

3.4. Descripción de las Subrutinas que mejoran los datos adquiridos.

En la programación interna del programa temperatura.vi de la planta de procesos industriales en el modulo de Temperatura, veremos que dentro de este se encuentran todos los SubVI's que se encargan de acondicionar las señales adquiridas a través de la parte sensora, para mostrarlas en el panel frontal en las unidades correspondientes. También existen SubVI's que facilitan el manejo de los controles de la bomba principal, calentador, mezclador, desde el panel frontal, además de la programación que introduce las variables de control en controlador PID virtual, también se cuenta con subrutinas que mejoran el control de sobre temperatura en el calentador apagándolo si fuera necesario.

TEMPERATURA.

Adquisición de información de los sensores de temperatura T1 y T2.

Como se explica en el capítulo 3.3, el programa Lab View entabla comunicación con los sensores por medio de Field Point pero al llegar esta información al programa llega en forma de arreglos debido a la cantidad de información que se puede adquirir de esta manera es así que por medio de los iconos propios del programa como index array (ver capítulo 2.2.6) se elige que valores vamos a utilizar. Así como se aprecia en la figura 3.27.

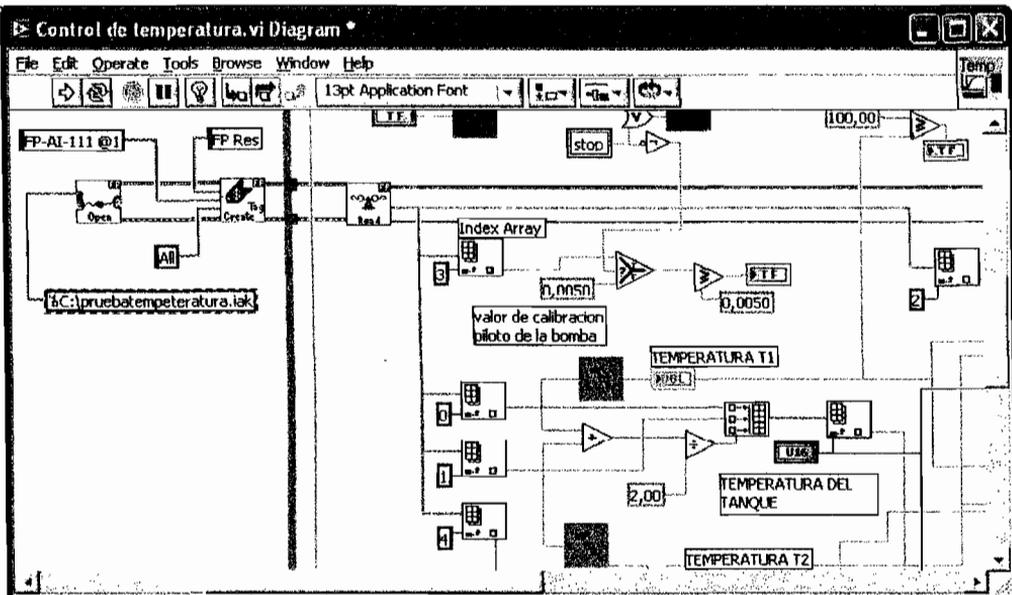


FIGURA 3.27. ADQUISICIÓN DE VALORES POR MEDIO DE LAB VIEW.

A continuación hablaremos de la ruta que sigue cada información adquirida

Una vez que llega la información en forma de arreglo se elige los index o índices de los arreglo 0 y 1 como se observa en la figura 3.28.

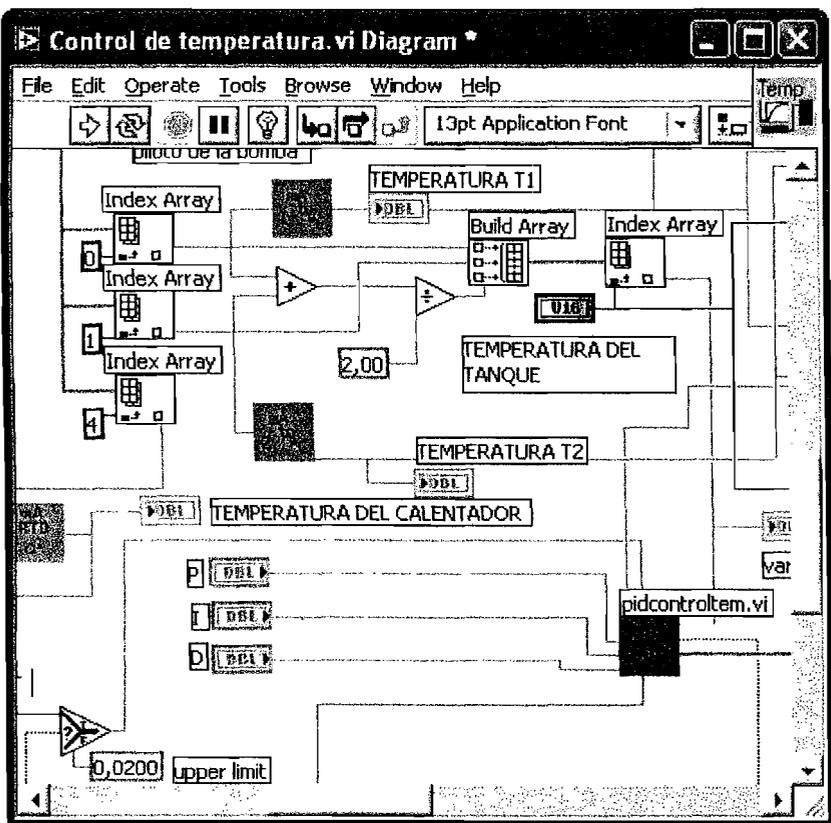


FIGURA 3.28. FLUJO DE INFORMACIÓN DE SENSORES HACIA

PIDCONTROLTEMP.VI.

Como se observa en la figura 3.28 tenemos dos valores temperatura de entrada T1 y temperatura de salida T2, para cuestiones de practicas si se requiere hemos calculado un valor promedio , con estos valores no se puede entrar directamente al controlador PID es por eso que se tiene que hacer una elección de cual valor adquirido entra, para esto se construye un arreglo con el VI del programa build array ya como arreglo se introduce esa información dentro de un index array para luego hacer una elección de T1, T2 o T promedio desde el panel frontal por medio de un selector de Set Point U16. Es así que el controlador PID recibe el valor en mA que se necesita y de igual forma estos valores son enviados al display en el Panel Frontal.

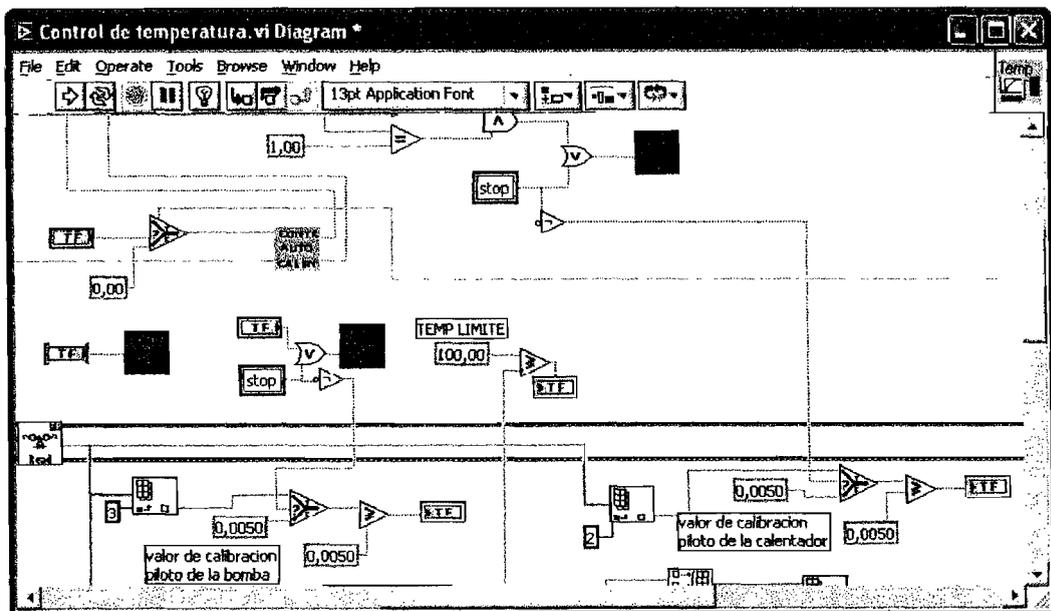


FIGURA 3.29. FLUJO DE INFORMACIÓN DESDE LA BOMBA Y CALENTADOR HACIA EL PROGRAMA CONTROL DE TEMPERATURA.VI

Foco de encendido de calentador.

El LED indicador adquiere su señal de encendido a partir del index array con index número 2, al programa llegan valores de 0 o 10 mA para apagado y encendido respectivamente pero al tener señales de corriente remanente en valores bajos se le programo una seguridad de 5 mA o lo que es lo mismo a valores por debajo de 5mA para el programa será 0 mA y por consiguiente se apagara el LED. Para la programación de este VI se uso la función select de la

subpaleta comparison, que es usada para que por medio de un valor true o false elija cual valor numérico deje pasar de acuerdo a la necesidad de programa. Ver figura 3.29.

Foco de encendido de la Bomba.

El LED indicador adquiere su señal de encendido a partir del index array con index número 3, al programa llegan valores de 0 o 10 mA para apagado y encendido respectivamente pero al tener señales de corriente remanente en valores bajos se le programo una seguridad de 5 mA o lo que es lo mismo a valores por debajo de 5mA para el programa será 0 mA y por consiguiente se apagara. Para la programación de este VI se uso la función select de la subpaleta comparison, que es usada para que por medio de un valor true o false elija cual valor numérico deje pasar de acuerdo a la necesidad de programa. Ver figura 3.29.

Adquisición de Temperatura a la salida del calentador.

El programa Control de Temperatura.vi adquiere los valores análogos del sensor, que esta a la salida del calentador, de la misma forma que los sensores anteriores es decir por medio de un index array con index numero 4. Al entrar este valor toma dos

rumbos diferentes; uno va directamente al display en el calentador, grafico que esta en el panel frontal, el otro valor se lo utiliza en el controlador del calentador. Este valor pasa por un filtro para reacondicionar la señal esto es lo cambia de un valor en miliamperios a grados centígrados y es así que trabaja en el controlador del calentador y en el display respectivamente. Ver figura 3.30

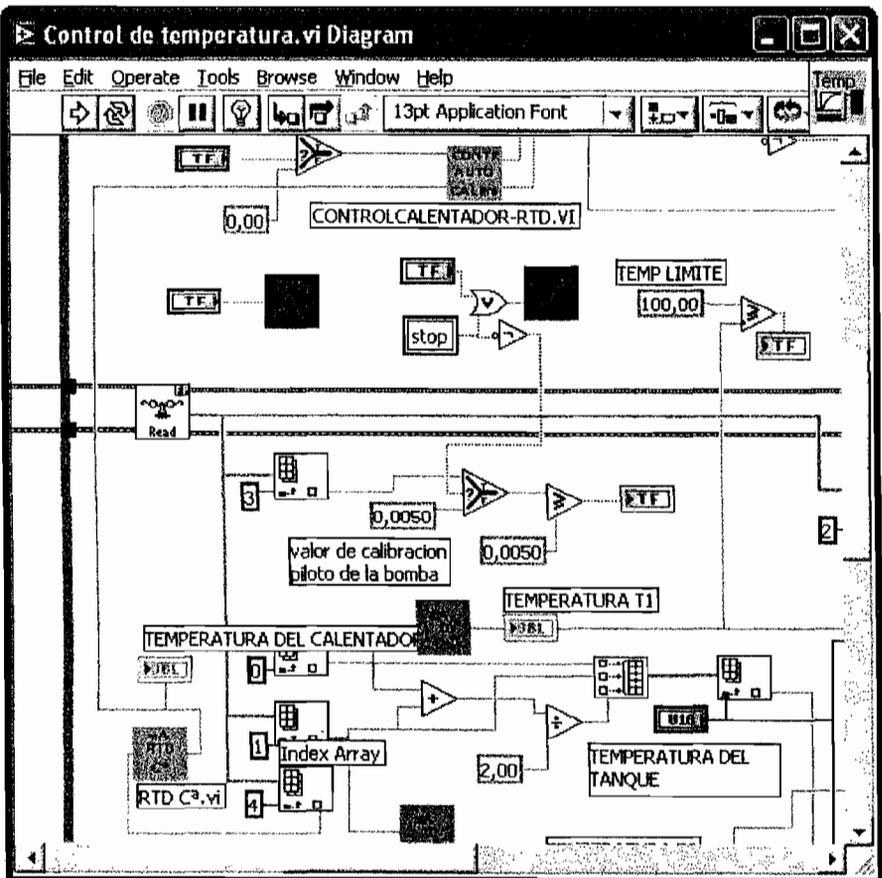


FIGURA 3.30. FLUJO DE INFORMACIÓN DESDE EL

CALENTADOR HACIA EL PROGRAMA CONTROL DE TEMPERATURA.VI

Control de encendido y apagado del Calentador

Para programar esta parte del programa se utilizó la lógica básica de la programación como lo son los valores booleanos o valores verdaderos y falsos. En sí en la figura 3.37 se habla de la función principal del subví's controlcalentador-rtd.vi, lo que no se habló es que este VI., tiene la función de filtro ósea toma valores análogos y los convierte en valores booleanos para así poder trabajar en el encendido y apagado del calentador como se puede observar en la figura 3.31

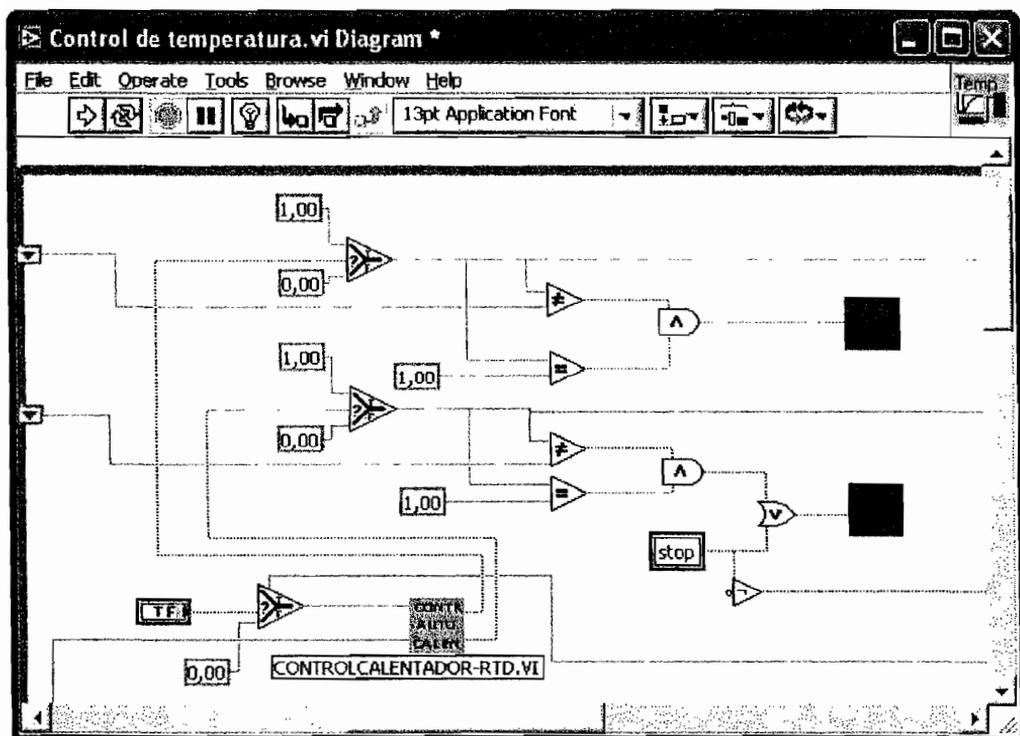


FIGURA 3.31. FLUJO DE INFORMACION DESDE EL CONTROLCALENTADOR-RTD.VI. HACIA LA ELECCION DE ENCENDIDO Y APAGADO DEL CALENTADOR.

A continuación detallaremos los SubVI's utilizados en el programa de Control de Temperatura.vi.

mA to °C 1.vi o mA to °C 2.vi

Este VI convierte la señal de entrada que viene de corriente de 4 a 20 mA, del transductor P/I (presión a corriente), a una señal de

salida en grados Celsius o centígrados.

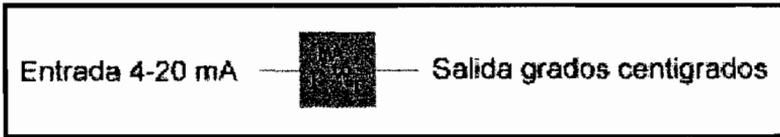


FIGURA 3.32. mA to °C 1.vi o mA to °C 2.vi

La señal viene en forma de elemento ya que antes fue sacada de un arreglo que se creó por la comunicación con la interfase Field Point. Y varían solo por ser T1 o T2 (temperatura de entrada o salida).

CambiarangoTEMPa mA.VI

Este VI tiene la función de variar o cambiar el rango de valores, es decir los valores de entrada son diferentes a los de salida. Esto se consigue al utilizar el Nódulo de fórmula y tener dos valores fijos de entrada que pueden ser los valores del sensor de temperatura y dos valores fijos de la salida que en nuestro caso son los valores máximos y mínimos de entrada al controlador PID. En la figura 3.33 se puede observar el icono que representa de este VI y en la figura 3.34 veremos el panel y al diagrama de bloques del VI.

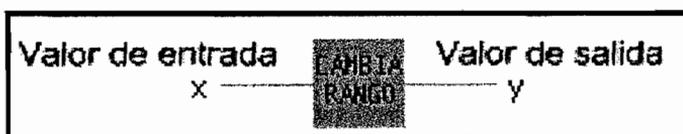


FIGURA 3.33. ICONO DE CAMBIARANGOTEMPA mA.VI

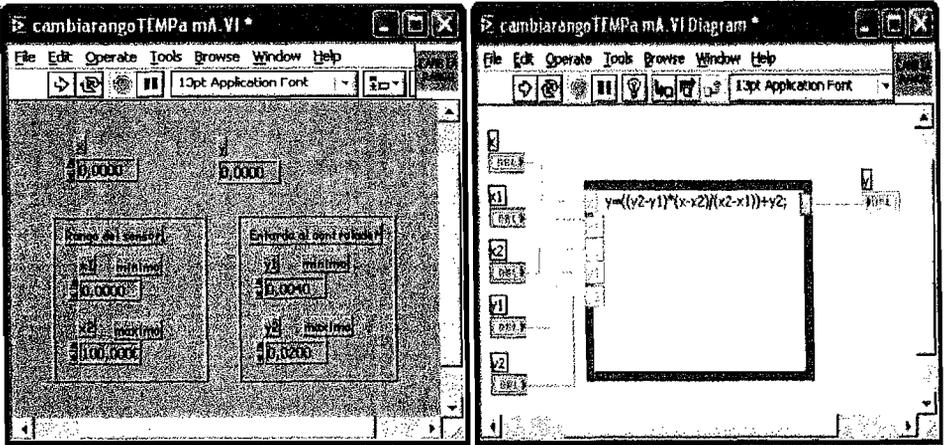


FIGURA 3.34. PANEL FRONTAL Y DIAGRAMAS DE BLOQUES DEL cambiarangotempa mA.vi

RTD C^a.vi

Este VI fue hecho con el propósito de tener información de lo que pasaba cerca del calentador, es por eso que se construyó un sensor RTD, a la salida del calentador, que nos daba un valor en mA al cambiar la temperatura del medio que lo envolvía. Es así que los valores en mA los cambiábamos a grados centígrados.

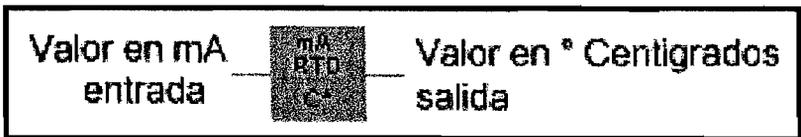


FIGURA 3.35. RTD C^a.VI

Selectempfoco.vi

Este VI opera indicando cual variable esta entrando al Controlador PID y lo muestra en el Panel Frontal del programa mediante un LED que se enciende en T1, T2 o T Promedio.

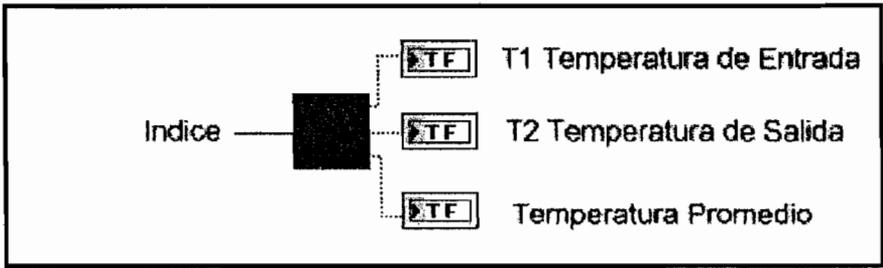


FIGURA 3.36. SELECTEMPFOCO.VI

CONTROLCALENTADOR-RTD.VI.

Este VI se creó con la función de que el calentador no genere temperatura por encima de los 90 grados centígrados y que por valores menores a los 40 grados centígrados se encienda y apague con un error de ± 5 grados centígrados. Con esto se logra que no genere vapores que creen problemas al controlar la planta y que en temperaturas bajas sea más manejable.

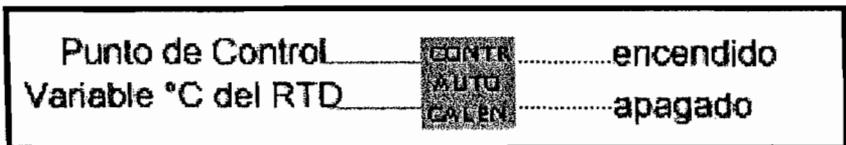


FIGURA 3.37. CONTROLCALENTADOR-RTD.VI.

Bomba-on.VI

Este VI se encarga de encender la bomba principal de la planta de procesos, desde el panel frontal del programa de control de Temperatura.

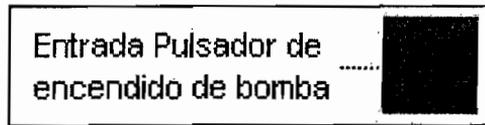


FIGURA 3.38. BOMBA-ON.VI

Para el encendido de la bomba se cuenta con un pulsador en el panel frontal del programa de control, que al ser activado envía una señal booleana al SubVI Bomba-on.VI, este VI envía a través del puerto paralelo LPT1 de la computadora una señal que comanda la interfase de encendido y apagado de bomba

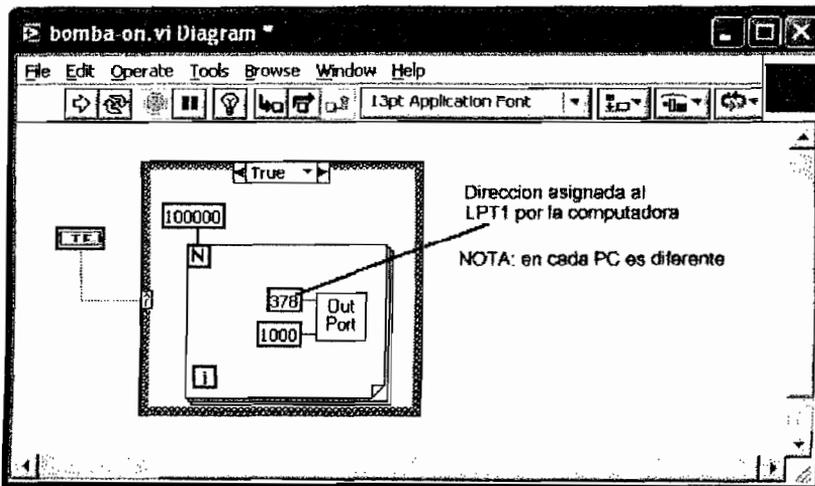


FIGURA 3.39. PANEL DE DIAGRAMA DE BLOQUES BOMBA-ON.VI

En la Figura 3.39 se muestra el interior de la programación de Bomba-on.VI, para enlazar el puerto paralelo LPT1 se utilizó el subVI Out Port.VI de la paleta Advanced de Lab VIEW.

Bomba-off.VI

Este VI se encarga de apagar la bomba principal de la planta de procesos, desde el panel frontal del programa de control tanto para nivel como caudal.

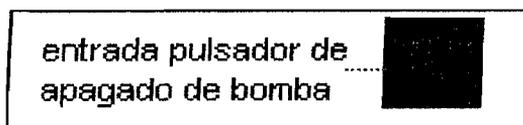


FIGURA 3.40. BOMBA-OFF.VI

Para el apagado de la bomba se cuenta con un pulsador en el panel frontal del programa de control, que al ser activado envía una señal booleana al SubVI Bomba-off.VI, este VI envía a través del puerto paralelo LPT1 de la computadora una señal que comanda la interfase de encendido y apagado de bomba.

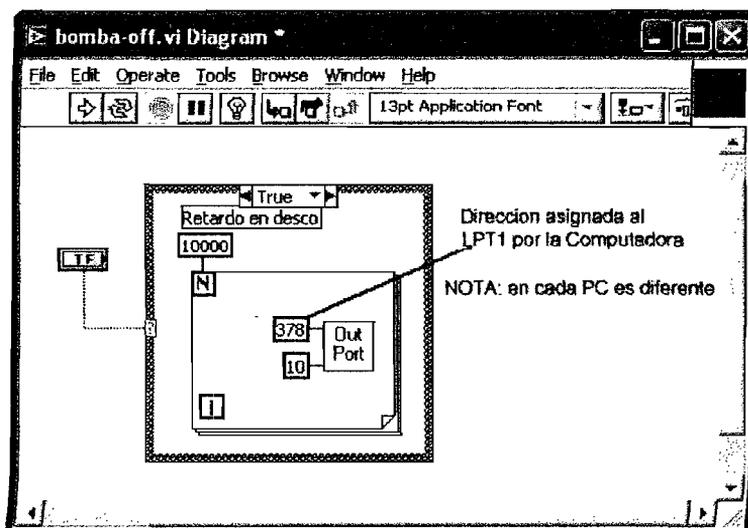


FIGURA 3.41. PANEL DE DIAGRAMA DE BLOQUES BOMBA-

OFF.VI

En la Figura 3.41 se muestra el interior de la programación de Bomba-off.VI, para enlazar el puerto paralelo LPT1 se utilizó el subVI Out Port.VI de la paleta Advanced de Lab VIEW.

Calentador-on.vi

Este VI se encarga de encender el calentador principal de la planta de procesos en el módulo de temperatura, desde el panel frontal del programa de control de Temperatura.

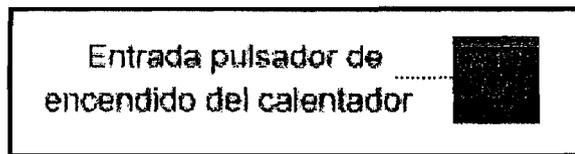


FIGURA 3.42. CALENTADOR-ON.VI

Para el encendido del calentador se cuenta con un pulsador en el panel frontal del programa de control de temperatura, que al ser activado envía una señal booleana al SubVI Calentador-on.vi, este VI envía a través del puerto paralelo LPT1 de la computadora una señal que comanda la interfase de encendido y apagado de bomba

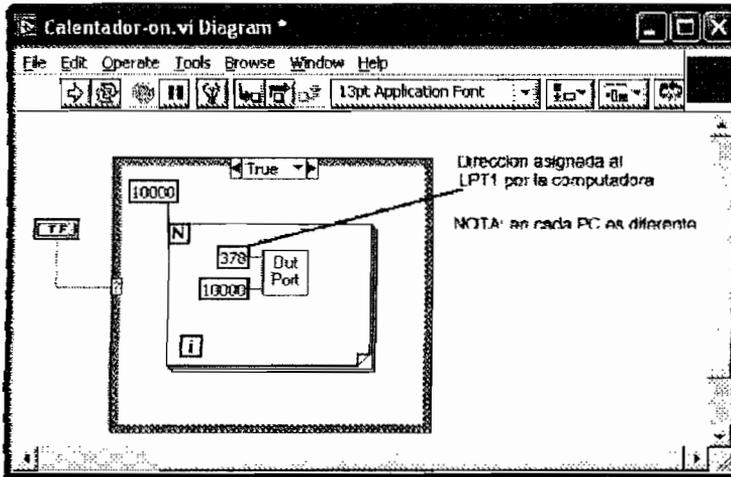


FIGURA 3.43. PANEL DE DIAGRAMA DE BLOQUES CALENTADOR-ON.VI

En la Figura 3.43 se muestra el interior de la programación del Calentador-on.VI, para enlazar el puerto paralelo LPT1 se utilizó el subVI Out Port.VI de la paleta Advanced de Lab VIEW.

Calentador-off.VI

Este VI se encarga de apagar el calentador principal de la planta de procesos en el módulo de temperatura, desde el panel frontal del programa de control de Temperatura.

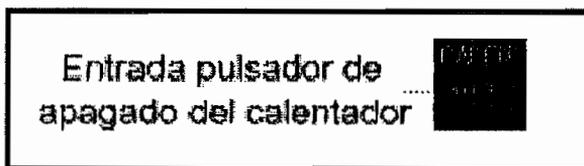


FIGURA 3.44. BOMBA-OFF.VI

Para el apagado del calentador se cuenta con un pulsador en el panel frontal del programa de control, que al ser activado envía una señal booleana al SubVI Calentador-off.VI, este VI envía a través del puerto paralelo LPT1 de la computadora una señal que comanda la interfase de encendido y apagado de bomba.

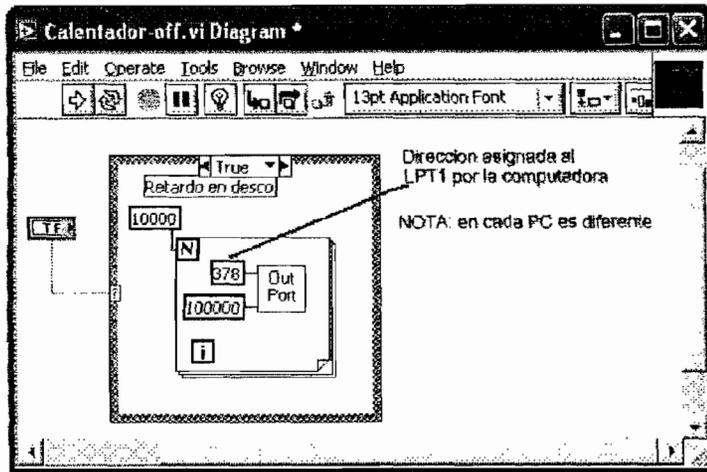


FIGURA 3.45. PANEL DE DIAGRAMA DE BLOQUES CALENTADOR-OFF.VI

En la Figura 3.45 se muestra el interior de la programación de Bomba-off.VI, para enlazar el puerto paralelo LPT1 se utilizó el subVI Out Port.VI de la paleta Advanced de LabVIEW.

Control de Válvula.

Al calibrar la válvula de control de la planta de procesos nos encontramos que tenía un problema de histéresis el cual nos

representaba un problema serio en el control ya que al no existir un valor exacto y proporcional al cerrar y abrir la válvula, no se podía controlar automáticamente. Es por eso que se programo una solución que solo LabView puede realizar, es así que para cuando la válvula se esta abriendo la curva de calibración es una y cuando se esta cerrando la curva de calibración cambia. A continuación se detalla la programación en diagrama de bloques que se utilizo.

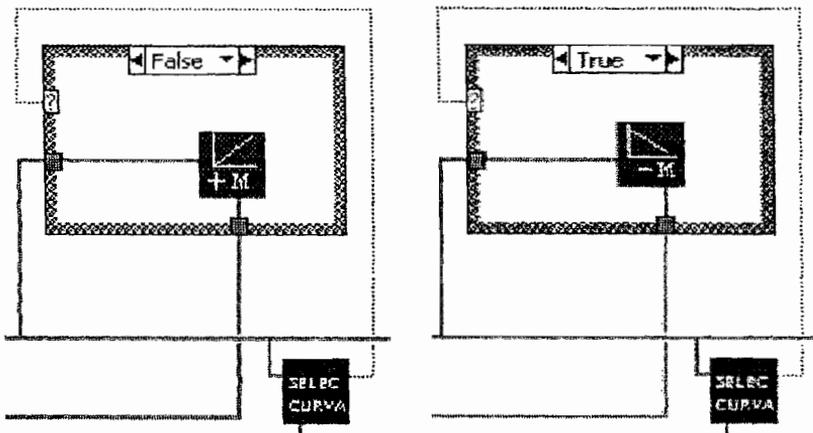


FIGURA 3.46. PROGRAMACION DE ELECCION DE CURVA PARA VALVULA FCV1.

Selector de curva.vi.

Este VI trabaja comparando el valor inicial con el posterior botando un valor booleano de verdadero (ascendente) al ser mayor el actual al anterior y por consiguiente trabajar con la ecuación de calibración de abertura de la válvula FCV1 y lo contrario cuando no es verdadero.

CAPITULO 4

4. DESARROLLO DE PRÁCTICAS PARA ESTUDIANTES

En este capítulo se hablara de cómo manejar el módulo del lazo de control de temperatura y como ajustar los parámetros que automaticen el módulo, lo cual se lo hará por medio de las practicas, involucrando al alumno en una forma directa con elementos que encontrara en el campo del trabajo.

4.1. Manejo general del equipo.

El módulo del lazo de control de temperatura, requiere revisar algunos parámetros antes de entrar, este punto esta dedicado al manejo general del equipo desde su estado de desconexión hasta su arranque y puesta en línea. El módulo del lazo de control de temperatura es un equipo electro neumático, cuenta con un compresor instalado, para alimentar los elementos neumáticos del módulo, una línea directa desde el compresor alimenta el circuito neumático del módulo de control de temperatura.

El primer paso para el arranque del módulo es encender el compresor de aire y revisar que la válvula de entrada de aire al módulo este abierta y la del control nivel caudal este cerrada además que los reguladores de presión de aire se encuentren operando dentro de los valores normales fijados los cuales son de 22 psi.

El módulo del lazo de control de temperatura cuenta con una cisterna y bomba para el manejo del agua, el segundo punto seria constatar la presencia de agua en la cisterna y el funcionamiento y cebo de la bomba principal.

El siguiente paso es abrir la válvula HV14 la cual mantendrá el nivel

en la cisterna gracias a una válvula con flotador, luego pondremos el circuito de agua en posición de desfogue al drenaje, cerrando la válvula HV12 y abriendo la válvula HV13 (este paso se toma para evitar que el agua procesada y a temperatura reingrese provocando errores que no dejarían controlar al lazo).

La disposición de las válvulas que permiten el paso de agua desde la bomba principal hasta el tanque de proceso debe de ser tomado en cuenta y asegurarse que la válvula HV10 se encuentre completamente abierta y la válvula HV1 del módulo de control y caudal se encuentre completamente cerrada. El orden de abertura y cierre de las válvulas para automatizar el proceso esta dado de la siguiente forma, la válvula HV8 debe estar completamente cerrada mientras HV7 y HV9 deben estar abiertas dejando a FCV1 como la válvula de control automático. Las válvulas HV1, HV3 y HV5 son usadas para generar una perdida de calor por irradiación y por ende generar un retardo en el proceso el uso de estas válvulas dependen de la finalidad de la practica. Además esta la válvula HV2 la cual genera una perturbación y es usada para observar como el controlador se retroalimenta de la nueva información y corrige el error. Todas estas disposiciones de válvulas deben de ser tomadas en cuenta para el arranque del equipo.

Para la salida del agua después del tanque de proceso se abre la válvula HV4 y se cierra la HV16 luego el nivel de agua requerido es manejado automáticamente mediante una tarjeta electrónica, esta tarjeta esta dentro de la caja de control de la planta, y funciona mediante dos sensores que por conductividad abren o cierran un relee que prende la bomba por la que se succiona el agua, manteniendo así el nivel deseado. Para purgar el tanque de proceso se abre la válvula HV16.

El módulo del lazo de control de temperatura cuenta con una caja de disyuntores (breakers) que energizan el panel de controles en la parte posterior del módulo, es necesario activar los tres disyuntores para conectar las resistencias del calentador y energizar la planta y a la vez el lazo de temperatura, como se aprecia en la Figura 4.1.

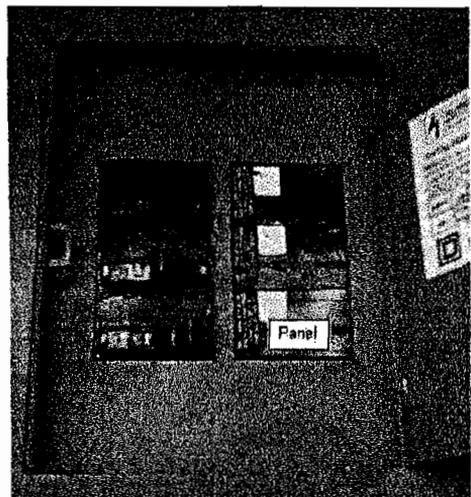


FIGURA 4.1. CAJA DE DISYUNTORES

Una vez activado el panel se puede encender y apagar la bomba principal y el calentador, desde las botoneras del panel de control de la planta, además dentro del panel principal se encuentra el circuito de la interfase que comanda desde la computadora el encendido y apagado de bomba y el calentador para esto cuenta con una fuente de corriente que se activa mediante un interruptor como se ve en la Figura 4.2.

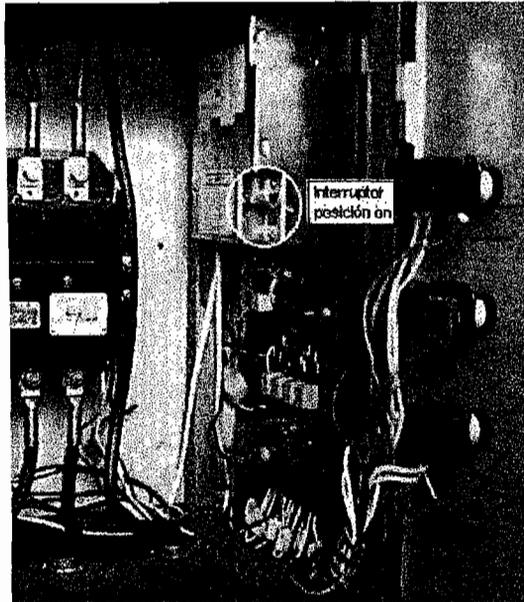


FIGURA 4.2. INTERRUPTOR DE LA FUENTE DE LA INTERFASE DE ENCENDIDO DE BOMBA DESDE LA COMPUTADORA

El sistema automático de encendido de bomba y calentador desde la computadora cuenta, con un interruptor en el frente del panel de

control con luz indicadora debe de estar encendido para controlar la bomba y el calentador desde el programa de control del lazo de nivel o de caudal. La Figura 4.3 muestra el frente del panel de control.

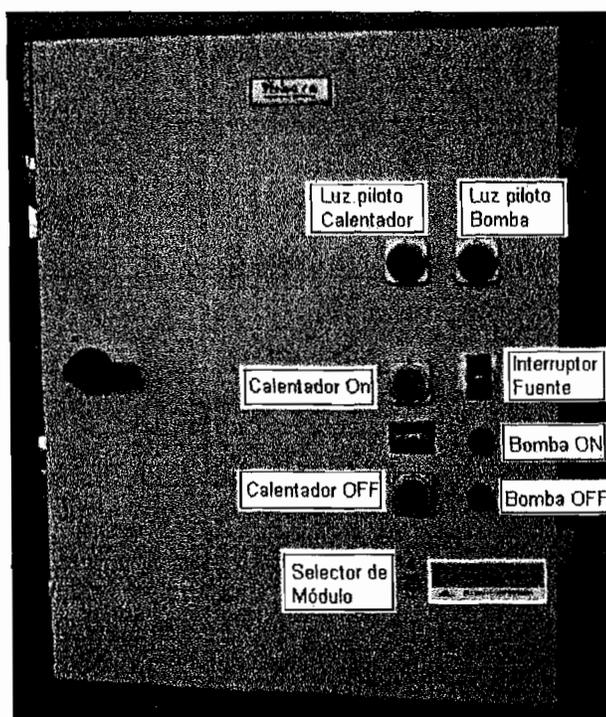


FIGURA 4.3. DESCRIPCION DEL PANEL DE CONTROL

El panel de control también cuenta con luces pilotos para indicar el estado de activación o desactivación tanto de bomba como calentador. Se cuenta con un botón selector para el módulo que se

desea operar, para arrancar el módulo de control de nivel y caudal el selector debe de estar desactivado, para cambiar al lazo de temperatura se debe de presionar activándolo. Este selector desconecta la parte sensora del módulo de control de nivel y caudal, de no estar en posición correcta los sensores del módulo de nivel y caudal permanecerían desconectados y no marcarían variación alguna.

Para la activación de los componentes eléctricos del lazo de control de temperatura, se cuenta con un enchufe de 110v para una toma corriente de la pared, este energiza el módulo.

El equipo cuenta con tres electro válvulas neumáticas para casos de emergencia ellos devuelven a las válvulas de control a su estado normal, en este caso el sistema retorna a la seguridad, la activación de estas válvulas es mediante un tablero que cuenta con pulsadores de retención, estos pulsadores trabajan bajo la retención en el momento de ser activados disparan la válvula de control a su posición normal.

El módulo de control de temperatura cuenta con un graficador y controlador neumático en funcionamiento y es accionado desde un interruptor en el frente del panel del módulo, a demás se cuenta con

la posibilidad de selección de este graficador - controlador, mediante un selectores instalados en el frente del panel del módulo se pueden desviar la señal del los dos sensores, de T1 y T2, hacia el graficador - controlador o directamente a la interfase Field Point , o interrumpir su señal en posición neutral.

Finalmente solo faltaría la revisión de conexiones de la caja de la interfase Fiel Point con los módulos y la computadora con los programas de control.

La caja interfase Field Point se comunica con los módulos de los procesos a través de conectores DV-25 los cuales están identificados por color verde para el módulo de nivel y caudal, y rojo para el módulo de temperatura, estos conectores no deben ser intercambiados.

La Figura 4.4 muestra la posición de los conectores de los módulos en la caja de la interfase Field Point

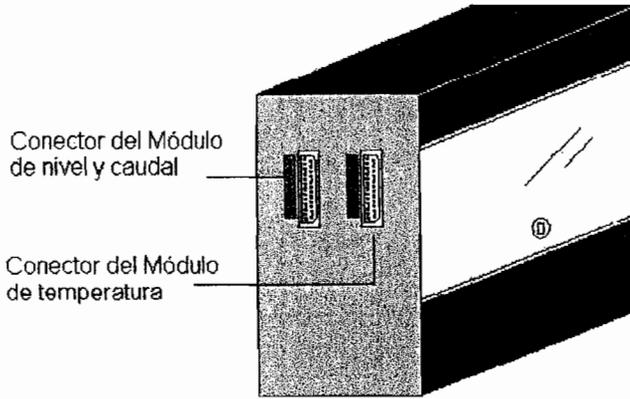


FIGURA 4.4. CONECTORES DE LOS MÓDULOS A INTERFASE

La Figura 4.5 muestra la posición de los conectores de la interfase Field Point al puerto serial y al puerto paralelo de la computadora y la conexión de la fuente de poder

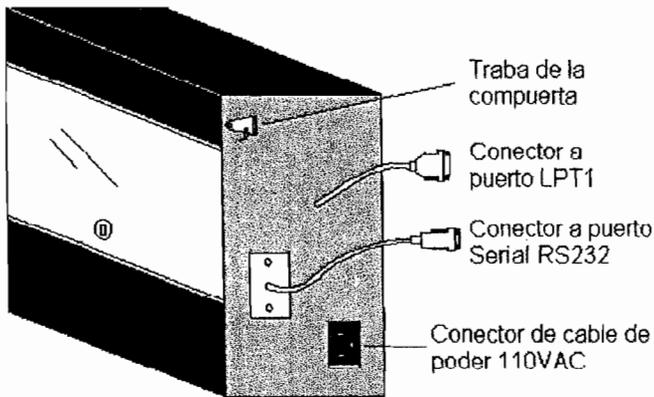


FIGURA 4.5. CONECTORES DE LA COMPUTADORA A INTERFASE

Finalmente solo resta encender la computadora y cargar el programa de control con el que se desee realizar la practica de ajuste de controlador, temperatura. Tomando en cuenta esta información y revisando la correcta operación de los componentes mostrados en este punto se puede encender el módulo y esperar que opere con normalidad.

Antes de presentar las prácticas de ajuste de controlador se analizará las teorías de ajuste de controlador, y se hará referencia a estas dentro de las prácticas.

4.2. Practicas de ajuste del controlador por el método de Curva de Reacción.

El lazo de temperatura de la planta de procesos industriales fue diseñado para la presente práctica de ajuste de controladores. La función del lazo es mantener la temperatura lo más cercano al punto de control, sin importar las perturbaciones a las cuales el sistema sea sometido.

La precisión de la respuesta del sistema a los cambios del mismo

depende de la calibración del controlador.

La planta de procesos industriales fue automatizada por un programa de computadora creado bajo el software Lab VIEW de National Instruments. Este programa gráfico contiene el controlador proporcional integral derivativo. El control opera de modo numérico, la ventaja de este sistema contra los controladores neumáticos son amplias, principalmente en la facilidad y permanencia de la calibración.

4.2.1. Control de temperatura de entrada al tanque T1.

4.2.1.1. Objetivo.

Dar a conocer a los estudiantes algunos métodos empíricos por los cuales se pueden determinar los valores de las constantes de calibración banda proporcional, tiempo integral y derivativo, (PID), para controladores.

4.2.1.2. Teoría.

Ajuste de los controladores por retroalimentación

El ajuste es el procedimiento mediante el cual se adecúan los parámetros del controlador por retroalimentación para obtener una respuesta específica de circuito cerrado. El ajuste de un circuito de control por retroalimentación es análogo al del motor de un automóvil o de un televisor en cada caso la dificultad del problema se incrementa con el número de parámetros que se deben ajustar; por ejemplo, el ajuste de un controlador proporcional simple o de uno integral es similar al del volumen de un televisor, ya que sólo se necesita ajustar un parámetro o "perilla"; el procedimiento consiste en moverlo en una dirección u otra, hasta que se obtiene la respuesta (o volumen) que se desea. El siguiente grado de dificultad es ajustar el controlador de dos modos o proporcional-integral (PI), que se asemeja al proceso de ajustar el brillo y el contraste de un televisor en blanco y negro,

puesto que se deben ajustar dos parámetros: la ganancia y el tiempo de reajuste; el procedimiento de ajuste es significativamente más complicado que cuando sólo se necesita ajustar un parámetro. Finalmente, el ajuste de los controladores de tres modos o proporcional-integral-derivativo (PID) representa el siguiente grado de dificultad, debido a que se requiere ajustar tres parámetros: la ganancia, el tiempo de reajuste y el tiempo de derivación, lo cual es análogo al ajuste de los haces verde, rojo y azul en un televisor a color.

A pesar de que se planteó la analogía entre el ajuste de un televisor y un circuito de control con retroalimentación, no se trata de dar la impresión de que en ambas tareas existe el mismo grado de dificultad. La diferencia principal estriba en la velocidad de respuesta del televisor contra la del circuito del proceso; en el televisor se tiene una retroalimentación casi inmediata sobre el efecto del ajuste. Por otro lado, a pesar de que en algunos circuitos de proceso se tienen respuestas relativamente rápidas, en la mayoría de los

procesos se debe esperar varios minutos, o aun horas, para apreciar la respuesta que resulta del ajuste, lo cual hace que el ajuste de los controladores con retroalimentación sea una tarea tediosa que lleva tiempo; a pesar de ello, éste es el método que más comúnmente utilizan los ingenieros de control e instrumentación en la industria. Para ajustar los controladores a varios criterios de respuesta se han introducido diversos procedimientos y fórmulas de ajuste. Ningún procedimiento da mejor resultado que los demás para todas las situaciones de control de proceso.

Los valores de los parámetros de ajuste dependen de la respuesta de circuito cerrado que se desea, así como de las características dinámicas o personalidad de los otros elementos del circuito de control y, particularmente, del proceso. Se vio anteriormente que, si el proceso no es lineal, como generalmente ocurre, estas características cambian de un punto de operación al siguiente, lo cual significa que un conjunto particular de parámetros de ajuste puede producir la respuesta que se desea

únicamente en un punto de operación, debido a que los controladores con retroalimentación estándar son dispositivos básicamente lineales. A fin de operar en un rango de condiciones de operación, se debe establecer un arreglo para lograr un conjunto aceptable de parámetros de ajuste, ya que la respuesta puede ser lenta en un extremo del rango, y oscilatoria en el otro. Con lo anterior en mente, a continuación se exponen algunos de los procedimientos propuestos para ajustar los controladores industriales.

Prueba del proceso de escalón o curva de reacción

El procedimiento de la prueba de escalón se lleva a cabo como sigue:

1. Con el controlador en la posición "manual" (es decir, el circuito abierto), se aplica al proceso un cambio escalón en la señal de salida del controlador $m(t)$. La magnitud del cambio debe ser lo suficientemente grande como para que se pueda

medir el cambio consecuente en la señal de salida del transmisor, pero no tanto como para que las no linealidades del proceso ocasionen la distorsión de la respuesta.

2. La respuesta de la señal de salida del transmisor $c(t)$ se registra con un graficador de papel continuo o algún dispositivo equivalente; se debe tener la seguridad de que la resolución es la adecuada, tanto en la escala de amplitud como en la de tiempo. La graficación de $c(t)$ contra el tiempo debe cubrir el período completo de la prueba, desde la introducción de la prueba de escalón hasta que el sistema alcanza un nuevo estado estacionario. La prueba generalmente dura entre unos cuantos minutos y varias horas, según la velocidad de respuesta del proceso.

Naturalmente, es imperativo que no entren perturbaciones al sistema mientras se realiza la prueba de escalón. En la FIGURA 4.7. se muestra una gráfica típica de la prueba, la cual se conoce también como *curva de reacción del proceso*; la

respuesta en forma de S es característica de los procesos de segundo orden o superior, con o sin tiempo muerto. El siguiente paso es hacer coincidir la curva de reacción del proceso con el modelo de un proceso simple para determinar los parámetros del modelo; a continuación se hace esto para un modelo de primer orden más tiempo muerto (POMTM).

Modelo de primer orden más tiempo muerto (POMTM)

$$G(s) = \frac{Ke^{-t_0s}}{\tau s + 1} \quad (4-2)$$

Modelo de segundo orden más tiempo muerto (SOMTM)

$$G(s) = \frac{Ke^{-t_0s}}{(\tau_1s + 1)(\tau_2s + 1)} \quad (4-3)$$

$$G(s) = \frac{Ke^{-t_0s}}{\tau^2s^2 + 2\xi\tau s + 1} \quad (4-4)$$

para procesos subamortiguados ($\xi < 1$), donde:

K = ganancia del proceso en estado estacionario

T_0 = tiempo muerto efectivo del proceso

τ, τ_1, τ_2 = constantes de tiempo efectivas del proceso

ξ = razón de amortiguamiento efectiva del proceso

En ausencia de perturbaciones y para las condiciones de la prueba, el diagrama de bloques de la FIGURA 4.6. Se puede redibujar de la manera en que aparece en la FIGURA 4.8. La respuesta de la señal de salida del transmisor se expresa mediante

$$C(s) = G(s) M(s)$$

Para un cambio escalón de magnitud Δm en la salida del controlador y un modelo POMTM, ecuación (4-2), se tiene

$$G(s) = \frac{Ke^{-t_0s}}{\tau s + 1} \cdot \frac{\Delta m}{s} \quad (4-5)$$

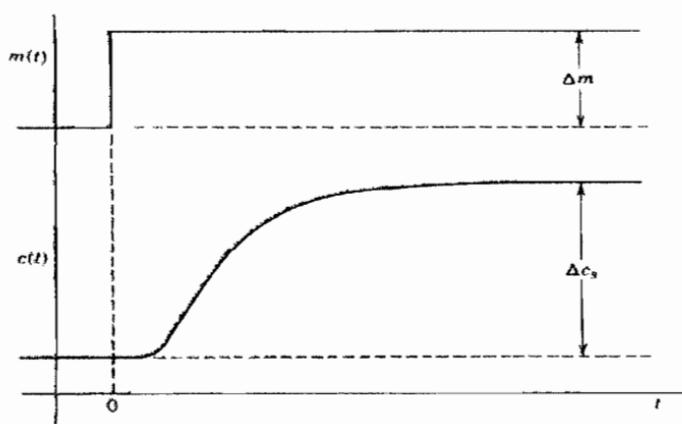


FIGURA 4.6. CURVA DE REACCIÓN DEL PROCESO O RESPUESTA ESCALÓN DEL CIRCUITO ABIERTO.

Al expandir esta expresión en fracciones parciales, se obtiene

$$C(s) = K \Delta m e^{-t_0s} \left[\frac{1}{s} - \frac{\tau}{\tau s + 1} \right] \quad (4-6)$$

Se invierte, con ayuda de la tabla de transformada de Laplace, y se aplica teorema de la traslación real para obtener

$$\Delta c(t) = K\Delta m u(t-t_0) \cdot [1 - e^{-(t-t_0)/\tau}] \quad (4-7)$$

se incluye la función escalón unitario $u(t - t_0)$, para indicar explícitamente que

$$\Delta c(t) = 0 \quad \text{para} \quad t \leq t_0$$

El término Δc es la perturbación o cambio de salida del transmisor respecto a su valor inicial:

$$\Delta c(t) = c(t) - c(0) \quad (4-8)$$

En la FIGURA 4.7. Se muestra una gráfica de la ecuación (4-7), en ésta el término, es el cambio, en estado estacionario, de $c(t)$. De la ecuación (4-7) se tiene que

$$\Delta c_s = \lim_{t \rightarrow \infty} \Delta c(t) = K \cdot \Delta m \quad (4-9)$$

A partir de esta ecuación, y si se tiene en cuenta que la respuesta del modelo debe coincidir con la curva de reacción del proceso en estado estable, se puede calcular la ganancia de estado estacionario del proceso, la cual es uno de los

parámetros del modelo:

$$K = \frac{\Delta c_s}{\Delta m} \quad (4-10)$$

El tiempo muerto t_0 y la constante de tiempo T se pueden determinar al menos mediante tres métodos, cada uno de los cuales da diferentes valores.

Método 1. En este método se utiliza la línea tangente a la curva de reacción del proceso, en el punto de razón máxima de cambio; para el modelo POMTM esto ocurre en

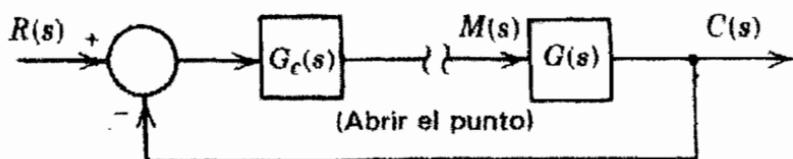


FIGURA 4.7. DIAGRAMA DE BLOQUES PARA LA PRUEBA ESCALÓN CON CIRCUITO ABIERTO

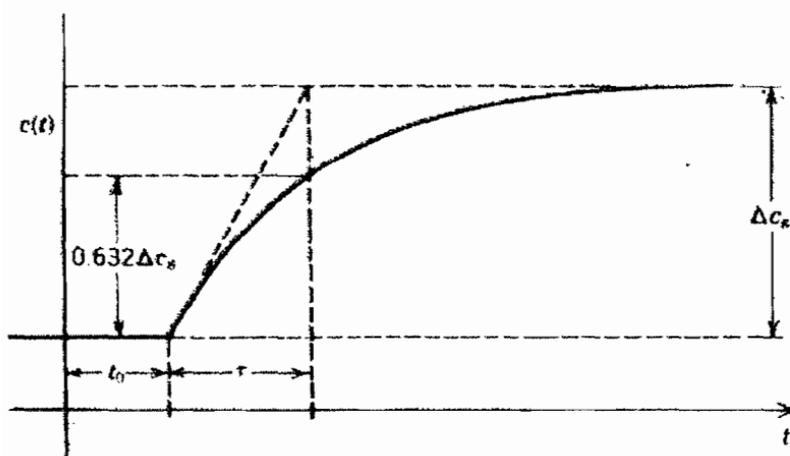


FIGURA 4.8. RESPUESTA ESCALÓN DE UN PROCESO DE PRIMER ORDEN MÁS TIEMPO MUERTO EN LA QUE SE ILUSTR LA DEFINICIÓN GRÁFICA DE TIEMPO MUERTO, t_0 Y CONSTANTE DE TIEMPO τ

$$\left. \frac{d(\Delta c)}{dt} \right|_{t_0} = K\Delta m \left[\frac{1}{\tau} \right] = \frac{\Delta c_s}{\tau} \quad (4-11)$$

En la FIGURA 4.8. se aprecia que tal resultado indica que la línea de razón máxima de cambio interseca la línea de valor inicial en $t = t_0$ y a la línea de valor final en $t = t_0 + \tau$ de este descubrimiento se

deduce el trazo para determinar t_0 y T que se ilustra en la figura 6-16a; la línea se traza tangente a la curva de reacción del proceso real, en el punto de reacción máxima de cambio. La respuesta del modelo en que se emplean los valores de t_0 y T se ilustra con la línea punteada en la FIGURA 4.9. Evidentemente, la respuesta del modelo que se obtiene con este método no coincide muy bien con la respuesta real.

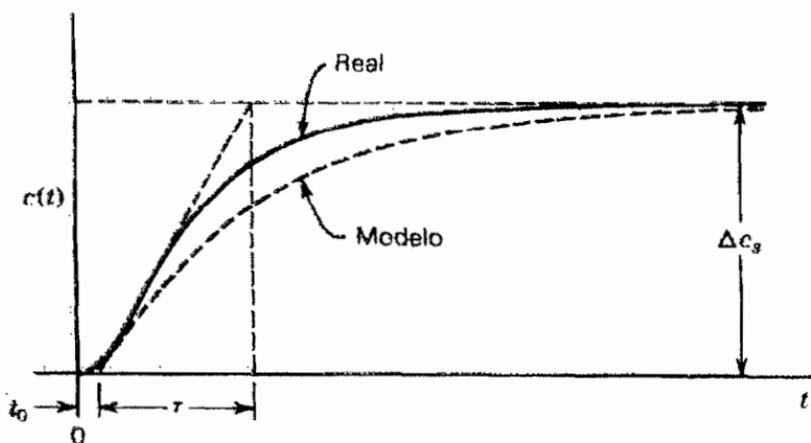


FIGURA 4.9. PARÁMETROS DEL MODELO POMTM QUE SE OBTIENEN MEDIANTE EL MÉTODO 1

Método 2. En este método t_0 se determina de la

misma manera que en el método 1, pero con el valor de T se fuerza a que la respuesta del modelo coincida con la respuesta real en $t = t_0 + T$. De acuerdo con la ecuación (5-7) este punto es

$$\Delta c(t_0 - \tau) = K\Delta m[1 - e^{-1}] = 0.632\Delta c_s \quad (4-12)$$

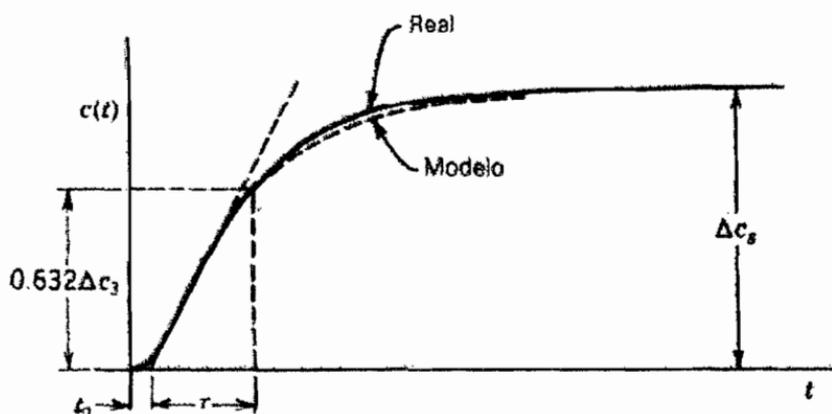


FIGURA 4.10. PARÁMETROS DEL MODELO POMTM QUE SE OBTIENEN MEDIANTE EL MÉTODO 2

Se observa que la comparación entre la respuesta del modelo y la real es mucho más cercana que con el método 1, FIGURA 4.10. El valor de la constante de tiempo que se obtiene con el método 2 es

generalmente menor al que se obtiene con el método 1.

La función del controlador es, basándose en el error entre el punto de control y la respuesta del sistema, corregir la variable controlada de tal modo que compense el error y la respuesta del sistema se aproxime más al valor deseado o punto de control.

$$e(t) = r(t) - c(t) \quad (4-13)$$

$$m(t) = k_c e(t) + \frac{k_c}{\tau_i} \int e(t) dt + k_c \tau_d \frac{de(t)}{dt} \quad (4-14)$$

$m(t)$ = Salida del controlador mA

$r(t)$ = Punto de control set point mA

$c(t)$ = Variable que se controla mA, señal que llega del transmisor.

K_c = Ganancia del controlador mA/mA , %/ %.

τ_i = Tiempo de integración.

τ_d = Tiempo de derivación.

La ecuación 4-14 es el algoritmo matemático que rige el comportamiento del controlador, esta ecuación muestra la relación entre la salida del controlador $m(t)$ y el error $e(t)$, generado por la diferencia entre el punto de control y la variable del proceso con respecto al tiempo.

La ecuación 4-14 es el algoritmo matemático típico para un controlador Proporcional Integral Diferencial (PID), con la suma de estas tres componentes se consigue una respuesta del sistema al controlador, la respuesta depende del ajuste de las constantes del controlador.

k_c P constante proporcional

$\frac{k_c}{\tau_i}$ I constante de integración

$k_c \tau_d$ D constante derivativa

Existen varios métodos empíricos de ajuste de controladores, no todos los métodos pueden ser válidos para cada caso, debiendo el ingeniero de control buscar el que mejor se adapte a la personalidad del sistema. Para este sistema basándose en experimentación se determinó que el mejor método de calibración es el de la curva de reacción.

4.2.1.3. Procedimiento.

Encienda el módulo de acuerdo al procedimiento.

Coloque el controlador de automático a manual, a través del botón del panel de control del programa Figura 4.11, con lo cual se desconecta la acción del controlador, y el sistema queda en lazo abierto.



FIGURA 4.11. CAMBIO DE AUTOMATICO A MANUAL

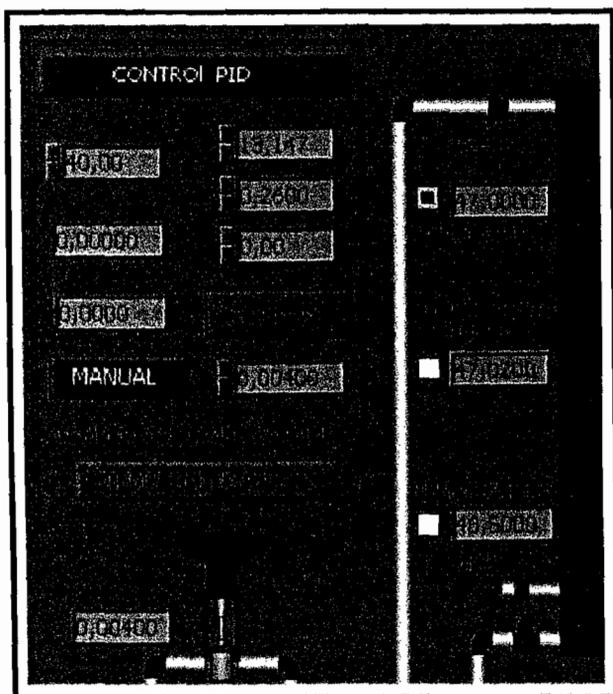


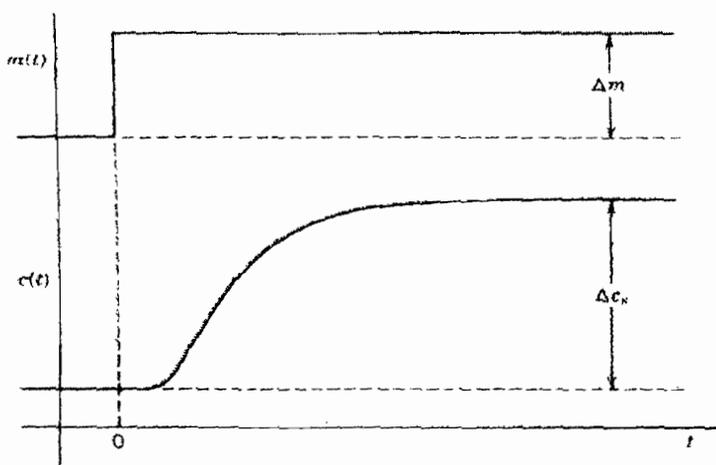
FIGURA 4.12. IMAGEN DE LA PARTE DE CONTROL Y ELECCION DE PROCESO A CONTROLAR.

En el panel frontal se elige a cual sensor se va a controlar, que en este caso será el T1 como se ve en la Figura 4.12.

Se enciende el circuito de mantenimiento de nivel que esta localizado en la planta dentro del control y luego se elige a que nivel de agua se desea mantener el tanque, como se ve en la Figura 2.90, en la parte frontal de la planta.

Por medio del panel frontal del programa se pone en posición de completamente abierta a la válvula FCV1 que esta dado por el valor de 4 mA y se deja por unos minutos que se mantenga estable la temperatura. Como se observa en la FIGURA 4.12. Realice un salto de 9 mA o lo que es lo mismo ponga la válvula FCV1 con un cierre de 13 mA.

La respuesta de la señal de salida del transmisor $c(t)$, como la salida del controlador $m(t)$, se registran en las dos gráficas de la pantalla principal de procesos. De estas dos graficas se obtiene el parámetro K :



$$K = \frac{\Delta C_s}{\Delta m}$$

FIGURA 4.13. RESPUESTA DE UN SISTEMA A UN SALTO ESCALON

Las constantes de tiempo muerto t_0 , de tiempo τ del sistema se obtienen también de la gráfica de $c(t)$

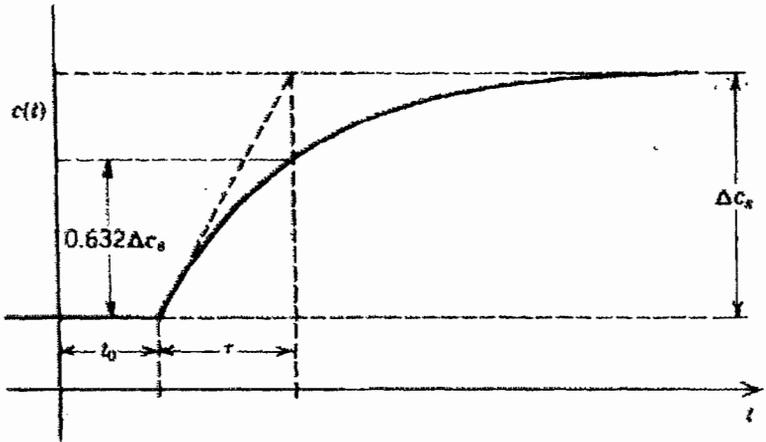


FIGURA 4.14. PARÁMETROS DEL MODELO POMTM EN LA RESPUESTA DE UN SISTEMA A UN SALTO ESCALON

Una vez determinados estos tres los parámetros del sistema, calcule las constantes de calibración del controlador PID para asentamiento de un cuarto, en la tabla 6.

Formulas para ajuste para respuesta de razón de asentamiento de un cuarto.

Ajuste el controlador y pruebe la respuesta del sistema.

4.2.1.4. Cálculos.

La practica empieza eligiendo la temperatura T1 que es la temperatura de entrada de agua al tanque de procesos y luego se cambia el control del módulo de automático a manual mediante el botón en panel frontal del programa de control, con esto se desconecta la acción del controlador y el sistema solo responde a los valores de salida en amperios para la válvula de control FCV1, cargados en la casilla a la derecha del botón auto/ manual, el operador introduce los valores de salida en el rango de 4-20 mA , un cambio súbito de estos valores genera el salto escalón, de la experimentación se a determinado que el mejor valor para el salto escalón es de una abertura de válvula de 9 mA o 0.009 A .

El salto se produce en el nivel más bajo estable posible, y se genera la gráfica de la curva de reacción Figura 4.15, en el graficador de nivel vs.

unidades o tiempo, a demás se requiere de la gráfica de la salida del controlador que en este caso es manual, en donde se aprecia el salto escalón, Figura 4.16.

De estas dos curvas se extraerán los parámetros para el cálculo de las constantes de ajuste de controlador **PID** para respuestas de la razón de asentamiento de un cuarto.

A continuación se presentan las gráficas que se obtuvieron de la respuesta del sistema para un salto escalón de 4 a 13 mA en la válvula de control.

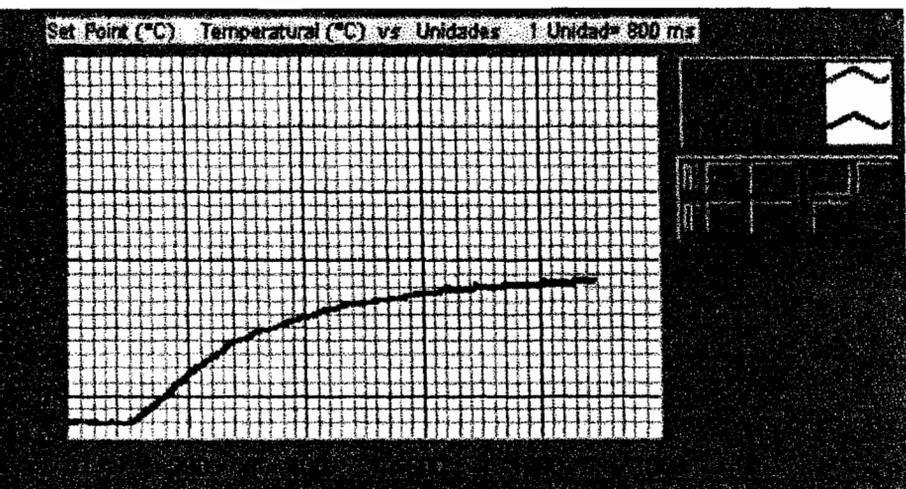


FIGURA 4.15. RESPUESTA DEL SISTEMA DE CONTROL

DE NIVEL A UN SALTO ESCALON.

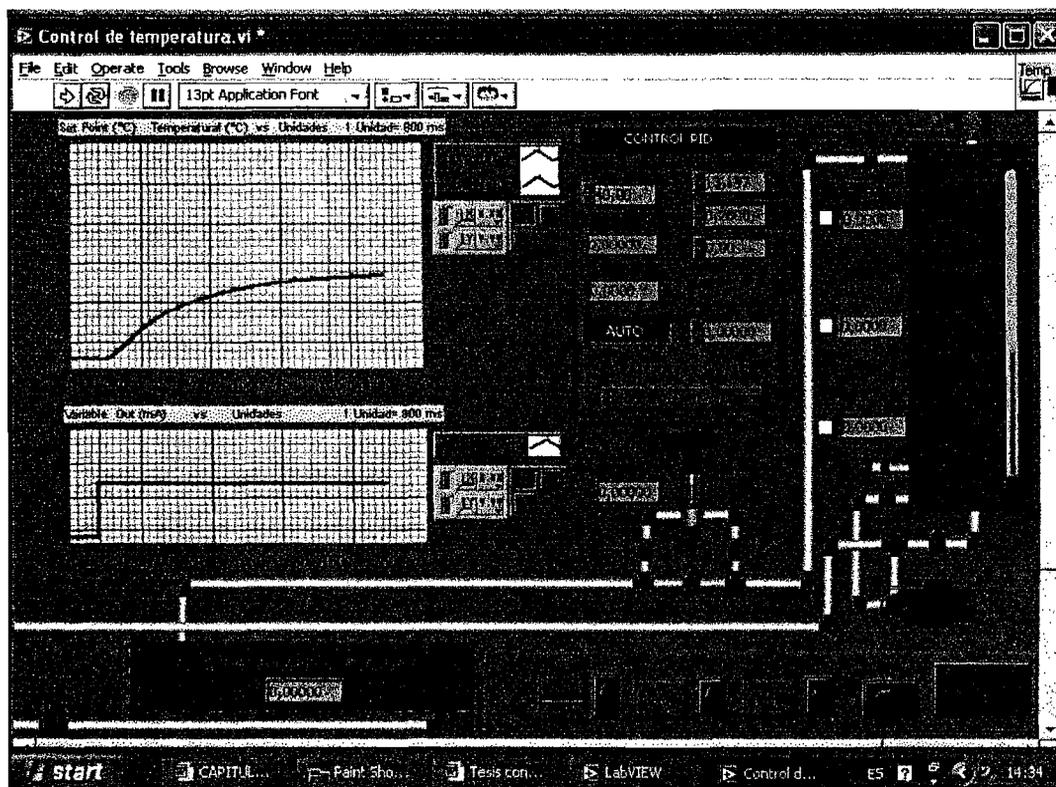


FIGURA 4.16. SALTO ESCALON EN LA APERTURA DE LA VÁLVULA DE CONTROL DE 4 -13 mA.

Para la obtención de las constantes de calibración del controlador se requiere primero determinar: K ganancia de estado estacionario, t_0 tiempo muerto,

τ la constante de tiempo del sistema. Según el método de la curva de reacción se puede determinar estos parámetros de la curva obtenida:

$$K = \frac{\Delta C_s}{\Delta m}$$

La temperatura en la que el sistema se estabilizó después del salto escalón fue a los 66.36° C de temperatura dentro del tanque principal, cuya máxima temperatura es de 95°C.

$$\Delta m = \frac{(13 - 4)mA}{(20 - 4)mA} * 100\% = 56.25\%$$

$$\Delta C_s = \frac{(66.36 - 47.2)^\circ C}{(95 - 47.5)^\circ C} * 100\% = 40.33\%$$

$$K = \frac{\Delta C_s}{\Delta m} = \frac{40.33\%}{56.25\%} = 0.71679 \frac{\%}{\%}$$

La ganancia en estado estacionario del sistema K es de $0.717\%/%$, resta calcular, t_0 tiempo muerto, τ la constante de tiempo del sistema.

Para el cálculo del tiempo muerto t_0 se analizaran las curvas del sistema, y utilizando las herramientas de manipulación se reajustara la escala para que nos permita conocer el instante mismo del salto escalón y el momento en que el sistema comienza a responder.

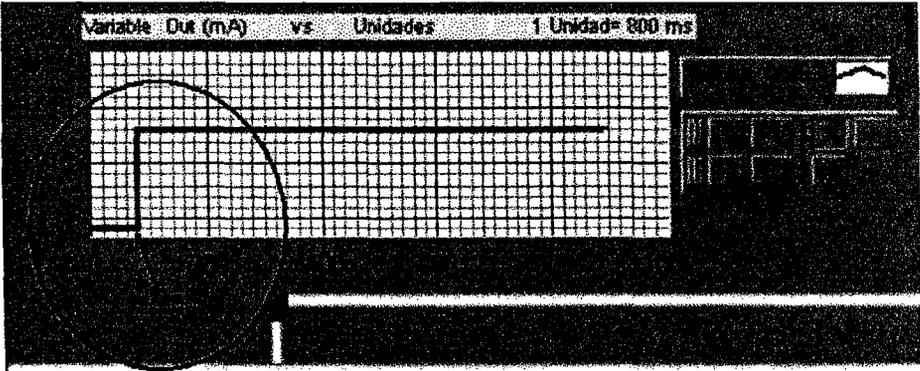


FIGURA 4.17. INSTANTE EN EL QUE SE PRODUCE EL SALTO ESCALON.

De la Figura 4.17 se determina que el salto escalón fue producido a las 86 unidades, como

ambas gráficas parten el mismo instante, t_0 sería la diferencia entre las 86 unidades y el instante en que el sistema empieza a responder, de igual manera utilizando la herramienta de zoom en la paleta manejo de gráficas se puede determinar en que este punto, por simple inspección en la gráfica de la curva de reacción.

Observando bien en la gráfica de nivel vs. unidades se puede aclarar el punto en que el sistema comienza a responder.

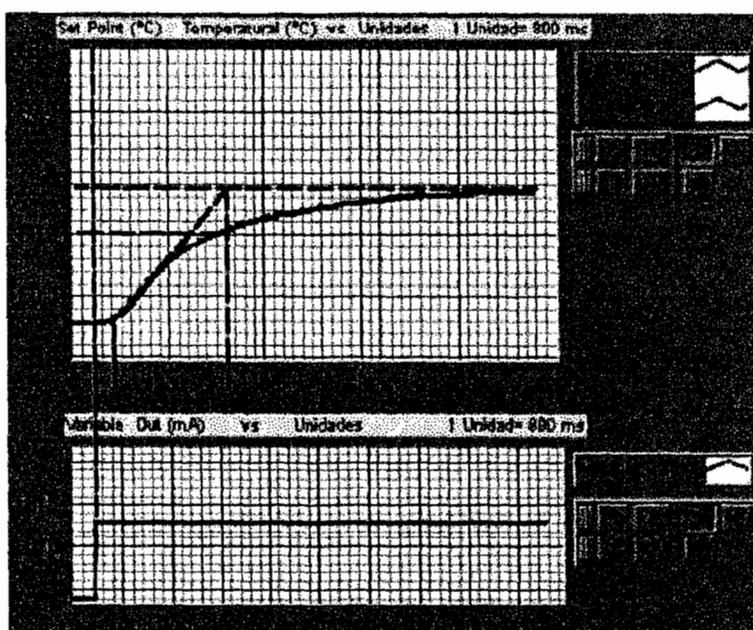


FIGURA 4.18. OBSERVACION GRAFICA DEL

MOMENTO DEL SALTO ESCALON AL MOMENTO EN QUE EL SISTEMA REACCIONA.

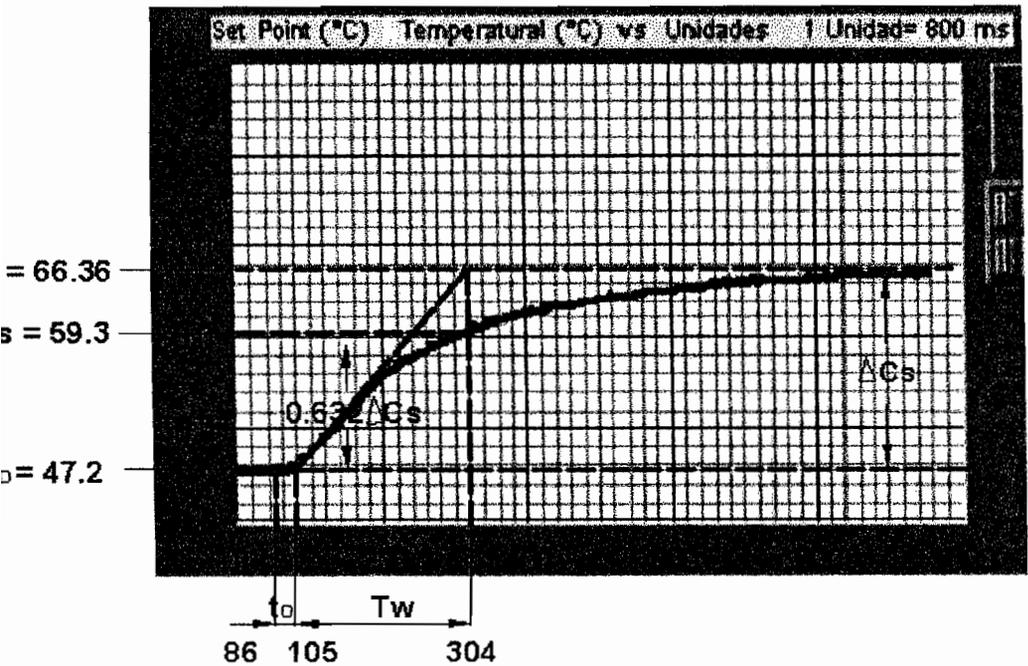


FIGURA 4.19. PARÁMETROS DEL MODELO POMTM EN LA RESPUESTA DEL SISTEMA DEL MÓDULO DE TEMPERATURA A UN SALTO ESCALON.

Según muestra la gráfica el sistema responde a las 105 unidades.

La diferencia de estos dos instantes es el tiempo muerto t_0 , cada unidad dentro de este programa de

control dura 800 mseg.

$$t_0 = (105 - 86) \text{unidades} * 0.8 \frac{\text{seg}}{\text{unidad}} = 15.2 \text{seg}$$

El tiempo muerto t_0 para este sistema es de 15.2 seg., solo resta calcular la constante de tiempo τ del sistema.

Para calcular la constante de tiempo τ del sistema según el método de la curva de reacción se lo determina primero el $0,632\Delta C_s$ sobre la gráfica de la curva de reacción del sistema y la constante de tiempo τ es la proyección de este valor sobre el eje del tiempo o las unidades en este caso.

$$0,632\Delta C_s = 0,632 * 19.16 = 12.09 + T_o = 59.3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Manipulando las herramientas de gráficas se ubica este valor sobre la curva de reacción y se busca el corte con el eje de las unidades.

De la Figura 4.19 se puede apreciar que para una

temperatura de 59.3°C el corte con las unidades es en 304 unidades.

Con este valor podemos calcular la constante de tiempo τ_w del sistema.

$$\tau_w = (304 - 105) \text{unidades} * \frac{800 \text{mseg}}{\text{unidad}} * \frac{1 \text{seg}}{1000 \text{mseg}} = 159 \text{seg}$$

Una vez determinados estos tres parámetros se puede utilizar la Tabla 7 para ajuste de controlador para respuesta de razón de asentamiento de un cuarto.

$$K = 0.72 \frac{\%}{\%}$$

$$t_0 = 15.2 \text{seg}$$

$$\tau_w = 159.2 \text{seg}$$

TABLA 7

**Formulas para ajuste de razón de asentamiento
de un cuarto**

Tipo de controlador		Ganancia proporcional K_c	Tiempo de integración τ_i	Tiempo de derivación τ_d
Proporcional	P	$\frac{1}{K} \left(\frac{t_0}{\tau} \right)^{-1}$	—	—
Proporcional-integral	PI	$\frac{0.9}{K} \left(\frac{t_0}{\tau} \right)^{-1}$	$3.33 t_0$	—
Proporcional-integral-derivativo	PID	$\frac{1.2}{K} \left(\frac{t_0}{\tau} \right)^{-1}$	$2.0 t_0$	$\frac{1}{2} t_0$

De las prácticas realizadas al sistema se determina que el mejor tipo de controlador para este sistema es el proporcional integral **PI**, dando mejores resultados que un controlador **PID**, debido a que es un sistema de respuesta rápida. La constante derivativa se mantiene en cero en el programa cancelando su acción.

Mediante la tabla 7 para ajuste de controlador **PI** con asentamiento de un cuarto se tabula los valores de ganancia proporcional K_c y tiempo de integración

τ_i .

$$K_c = \frac{0.9}{K} \left(\frac{t_0}{\tau_w} \right)^{-1} = \frac{0.9}{0.4211 \frac{\%}{\%}} \left(\frac{15.2 \text{seg}}{159.2 \text{seg}} \right) = 13,147 \frac{\%}{\%}$$

$$\tau_i = 3.33 t_0 = 50,616 \text{ seg.}$$

Finalmente para cargar estos valores en el programa se requiere convertirlos en las constantes proporcional **P** e integral **I**.

$$\mathbf{P} \text{ (constante proporcional)} = k_c = 13,147 \text{ \%/\%}$$

$$\mathbf{I} \text{ (constante de integración)} = \frac{k_c}{\tau_i} = \frac{13,147\%/\%}{50,616 \text{ seg}} = 0,26 / \text{seg}$$

Con el valor de las constantes calculadas para un controlador **PI**, en base a la practica, y cargadas en las casillas correspondientes del programa, se puede apreciar el funcionamiento del sistema de

control para el lazo de temperatura, al variar el punto de control, o al introducir perturbaciones al proceso como meter agua fría el controlador responde, reajustando la salida para alcanzar al punto de control tratando de controlar al proceso

Figura 4.20, muestra una prueba del sistema de control de temperatura.

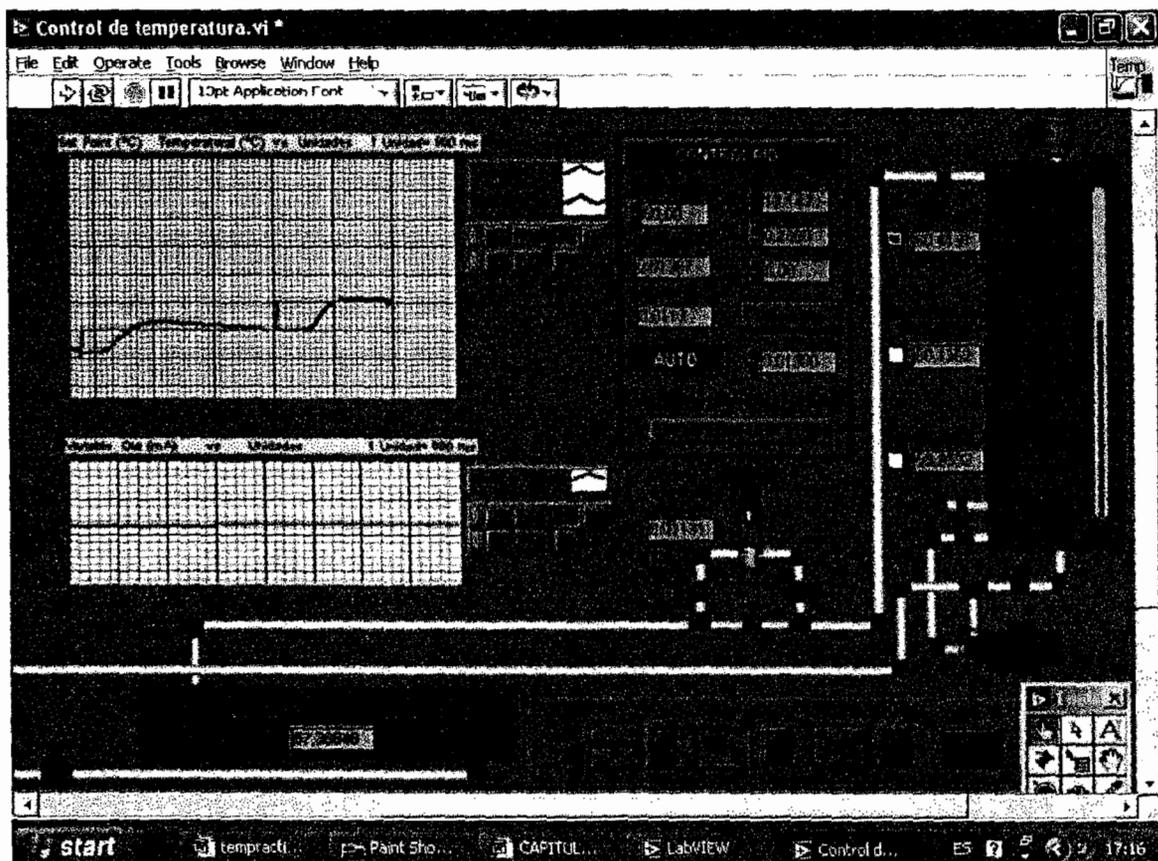


FIGURA 4.20. GRÁFICA DE LA RESPUESTA DEL SISTEMA A VARIACIONES EN EL PUNTO DE CONTROL

4.2.2. Control de temperatura de salida del tanque T2 a media capacidad de llenado.

4.2.2.1. Objetivo.

Dar a conocer a los estudiantes algunos métodos empíricos por los cuales se pueden determinar los valores de las constantes de calibración banda proporcional, tiempo integral y derivativo, (PID), para controladores.

4.2.2.2. Teoría.

Teoría, Capítulo 4, Ajuste de los controladores por retroalimentación, pp 262-276.

4.2.2.3. Procedimiento.

El procedimiento es el mismo que se dio para la práctica de Control de temperatura de entrada del tanque T1, con la diferencia que en el panel frontal del programa se elige a T2 como el sensor a ser tomado en cuenta para la practica Figura 4.12, y en el Panel frontal del lazo de temperatura de la planta

se elige el nivel del tanque o flujo de masa que se va a controlar con su respectiva temperatura Figura 2.90.

4.2.2.4. Cálculos.

La practica empieza eligiendo del panel frontal, del programa de control, la temperatura T2 que es la temperatura de salida de agua y además eligiendo la cantidad de flujo de masa a procesar de medio tanque del módulo como se observa en la figura 2.90, luego se cambia el control del módulo de automático a manual mediante el botón en panel frontal del programa de control, con esto se desconecta la acción del controlador y el sistema solo responde a los valores de salida en amperios para la válvula de control FCV1, cargados en la casilla a la derecha del botón auto/ manual, el operador introduce los valores de salida en el rango de 4-20 mA , un cambio súbito de estos valores genera el salto escalón, de la experimentación se a

determinado que el mejor valor para el salto escalón es de una abertura de válvula de 8 mA o 0.008 A .

El salto se produce en el nivel más bajo estable posible, y se genera la gráfica de la curva de reacción Figura 4.21, en el graficador de nivel vs. unidades o tiempo, a demás se requiere de la gráfica de la salida del controlador que en este caso es manual, en donde se aprecia el salto escalón, Figura 4.22.

De estas dos curvas se extraerán los parámetros para el cálculo de las constantes de ajuste de controlador **PID** para respuestas de la razón de asentamiento de un cuarto.

A continuación se presentan las gráficas que se obtuvieron de la respuesta del sistema para un salto escalón de 4 a 12 mA en la válvula de control.

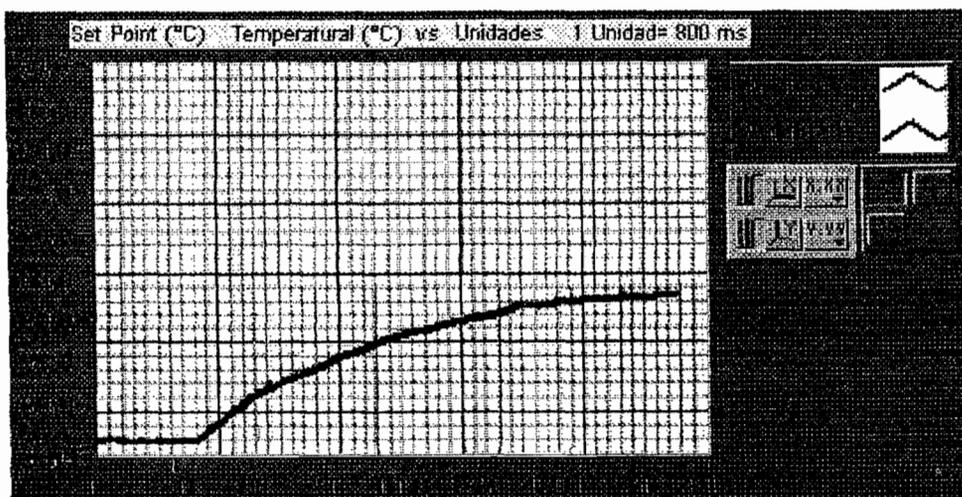


FIGURA 4.21. RESPUESTA DEL SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL A UN SALTO ESCALON DE T2 A MEDIO NIVEL.

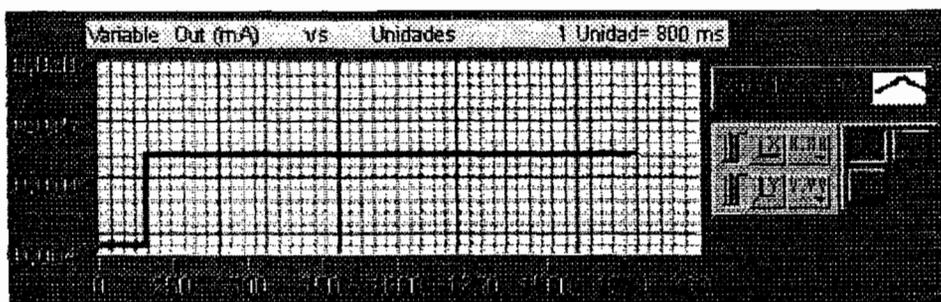


FIGURA 4.22. SALTO ESCALON EN LA APERTURA DE LA VÁLVULA DE CONTROL DE 4 -13 mA DE T2 A MEDIO NIVEL.

Para la obtención de las constantes de calibración

del controlador se requiere primero determinar: K ganancia de estado estacionario, t_0 tiempo muerto, τ la constante de tiempo del sistema. Según el método de la curva de reacción se puede determinar estos parámetros de la curva obtenida:

$$K = \frac{\Delta Cs}{\Delta m}$$

La temperatura en la que el sistema se estabilizo después del salto escalón fue a los 63.37° C de temperatura dentro del tanque principal, cuya máxima temperatura es de 95°C.

$$\Delta m = \frac{(12 - 4)mA}{(20 - 4)mA} * 100\% = 50\%$$

$$\Delta Cs = \frac{(63.37 - 47)^{\circ}C}{(95 - 47)^{\circ}C} * 100\% = 34.1\%$$

$$K = \frac{\Delta Cs}{\Delta m} = \frac{34.1\%}{50\%} = 0.682 \frac{\%}{\%}$$

La ganancia en estado estacionario del sistema K es de 0.682%/%, resta calcular, t_0 tiempo muerto, τ la constante de tiempo del sistema.

Para el cálculo del tiempo muerto t_0 se analizaran las curvas del sistema, y utilizando las herramientas de manipulación se reajustara la escala para que nos permita conocer el instante mismo del salto escalón y el momento en que el sistema comienza a responder.

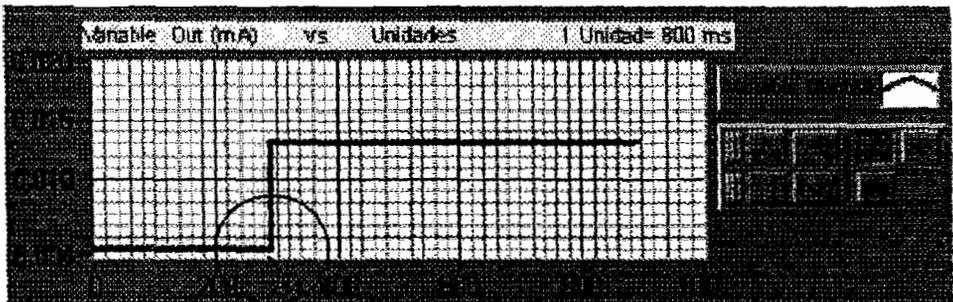


FIGURA 4.23. INSTANTE EN EL QUE SE PRODUCE EL SALTO ESCALON EN T2 A MEDIO NIVEL.

De la Figura 4.23 se determina que el salto escalón fue producido a las 244 unidades, como

ambas gráficas parten el mismo instante, t_0 sería la diferencia entre las 244 unidades y el instante en que el sistema empieza a responder, de igual manera utilizando la herramienta de zoom en la paleta manejo de gráficas se puede determinar en que este punto, por simple inspección en la gráfica de la curva de reacción.

Observando bien en la gráfica de nivel vs. unidades se puede aclarar el punto en que el sistema comienza a responder.

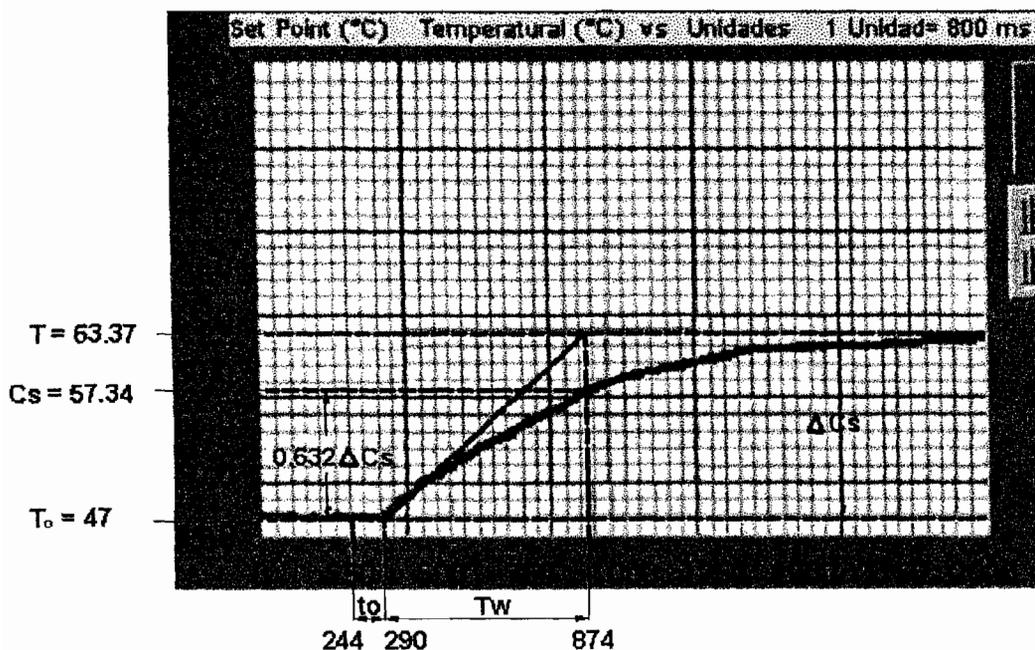


FIGURA 4.24. PARÁMETROS DEL MODELO POMTM EN

LA RESPUESTA DEL SISTEMA DEL MÓDULO DE TEMPERATURA A UN SALTO ESCALON EN T2 A MEDIO NIVEL DE TANQUE.

Según muestra la gráfica el sistema responde a las 290 unidades.

La diferencia de estos dos instantes es el tiempo muerto t_0 , cada unidad dentro de este programa de control dura 800 mseg.

$$t_0 = (290 - 244) \text{unidades} * 0.8 \frac{\text{seg}}{\text{unidad}} = 36.8 \text{seg}$$

El tiempo muerto t_0 para este sistema es de 36.8 seg., solo resta calcular la constante de tiempo τ del sistema.

Para calcular la constante de tiempo τ del sistema según el método de la curva de reacción se lo determina primero el $0,632\Delta C_s$ sobre la gráfica de la curva de reacción del sistema y la constante de tiempo τ es la proyección de este valor sobre el eje

del tiempo o las unidades en este caso.

$$0,632\Delta C_s = 0,632 * 16.37 = 10.34 + T_0 = 57.54 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Manipulando las herramientas de gráficas se ubica este valor sobre la curva de reacción y se busca el corte con el eje de las unidades.

De la Figura 4.24 se puede apreciar que para una temperatura de 57.54°C el corte con las unidades es en 874 unidades.

Con este valor podemos calcular la constante de tiempo τ_w del sistema.

$$\tau_w = (874 - 290)\text{unidades} * \frac{800\text{mseg}}{\text{unidad}} * \frac{1\text{seg}}{1000\text{mseg}} = 467.2\text{seg}$$

Una vez determinados estos tres parámetros se puede utilizar la tabla 7 para ajuste de controlador para respuesta de razón de asentamiento de un cuarto.

$$K = 0.682 \frac{\%}{\%}$$

$$t_0 = 36.8 \text{seg}$$

$$\tau_w = 467.2 \text{seg}$$

De las prácticas realizadas al sistema se determina que el mejor tipo de controlador para este sistema es el proporcional integral **PI**, dando mejores resultados que un controlador **PID**, debido a que es un sistema de respuesta rápida. La constante derivativa se mantiene en cero en el programa cancelando su acción.

Mediante la tabla 7 para ajuste de controlador **PI** con asentamiento de un cuarto se tabula los valores de ganancia proporcional K_c y tiempo de integración τ_i .

$$K_c = \frac{0.9}{K} \left(\frac{t_0}{\tau_w} \right)^{-1} = \frac{0.9}{0.4211 \frac{\%}{\%}} \left(\frac{36.8 \text{seg}}{467.2 \text{seg}} \right) = 16.754 \frac{\%}{\%}$$

$$\tau_i = 3.33 t_0 = 122.544 \text{ seg.}$$

Finalmente para cargar estos valores en el programa se requiere convertirlos en la constante proporcional **P** e integral **I**.

$$P \text{ (constante proporcional)} = k_c = 16.754 \%/\%$$

$$I \text{ (constante de integración)} = \frac{k_c}{\tau_i} = \frac{16.754\%/ \%}{122.544 \text{ seg}} = 0,137 / \text{seg}$$

Con el valor de las constantes calculadas para un controlador **PI**, en base a la practica, y cargadas en las casillas correspondientes del programa, se puede apreciar el funcionamiento del sistema de control para el lazo de temperatura, al variar el punto de control, o al introducir perturbaciones al proceso como meter agua fría el controlador responde, reajustando la salida para alcanzar al

4.2.3. Control de temperatura de salida del tanque T2 a toda capacidad de llenado.

4.2.3.1. Objetivo.

Dar a conocer a los estudiantes algunos métodos empíricos por los cuales se pueden determinar los valores de las constantes de calibración banda proporcional, tiempo integral y derivativo, (PID), para controladores.

4.2.3.2. Teoría.

Teoría, Capítulo 4, Ajuste de los controladores por retroalimentación, pp 262-276.

4.2.3.3. Procedimiento.

El procedimiento es el mismo que se dio para la práctica de Control de temperatura de entrada del tanque T1, con la diferencia que en el panel frontal del programa se elige a T2 como el sensor a ser

tomado en cuenta para la practica Figura 4.12, y en el Panel frontal del lazo de temperatura de la planta se elige el nivel del tanque o flujo de masa que se va a controlar el cual es a tanque lleno con su respectiva temperatura Figura 2.90.

4.2.3.4. Cálculos.

La practica empieza eligiendo del panel frontal, del programa de control, la temperatura T2 que es la temperatura de salida de agua y además eligiendo la cantidad de flujo de masa a procesar de tanque lleno del módulo como se observa en la figura 2.90, luego se cambia el control del módulo de automático a manual mediante el botón en panel frontal del programa de control, con esto se desconecta la acción del controlador y el sistema solo responde a los valores de salida en amperios para la válvula de control FCV1, cargados en la casilla a la derecha del botón auto/ manual, el operador introduce los valores de salida en el rango de 4-20 mA , un cambio súbito de estos valores genera el salto escalón, de la experimentación se a

determinado que el mejor valor para el salto escalón es de una abertura de válvula de 8 mA o 0.008 A .

El salto se produce en el nivel más bajo estable posible, y se genera la gráfica de la curva de reacción Figura 4.26 en el graficador de nivel vs. unidades o tiempo, a demás se requiere de la gráfica de la salida del controlador que en este caso es manual, en donde se aprecia el salto escalón, Figura 4.27

De estas dos curvas se extraerán los parámetros para el cálculo de las constantes de ajuste de controlador **PID** para respuestas de la razón de asentamiento de un cuarto.

A continuación se presentan las gráficas que se obtuvieron de la respuesta del sistema para un salto escalón de 4 a 12 mA en la válvula de control.

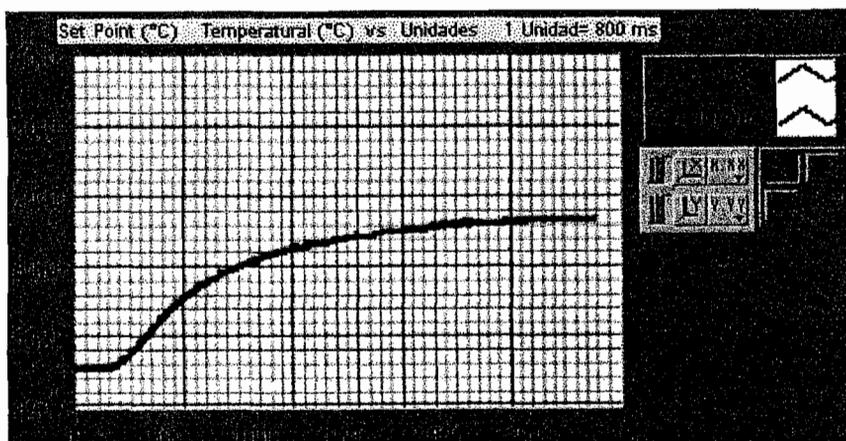


FIGURA 4.26. RESPUESTA DEL SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL A UN SALTO ESCALON DE T2 A NIVEL LLENO DE TANQUE.

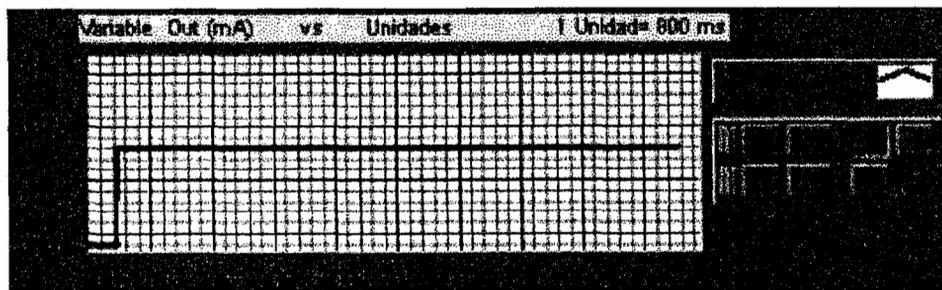


FIGURA 4.27. SALTO ESCALON EN LA APERTURA DE LA VÁLVULA DE CONTROL DE 4 -13 mA DE T2 A NIVEL LLENO DE TANQUE.

Para la obtención de las constantes de calibración

del controlador se requiere primero determinar: K ganancia de estado estacionario, t_0 tiempo muerto, τ la constante de tiempo del sistema. Según el método de la curva de reacción se puede determinar estos parámetros de la curva obtenida:

$$K = \frac{\Delta C_s}{\Delta m}$$

La temperatura en la que el sistema se estabilizo después del salto escalón fue a los 67.46°C de temperatura dentro del tanque principal, cuya máxima temperatura es de 95°C .

$$\Delta m = \frac{(12 - 4)mA}{(20 - 4)mA} * 100\% = 50\%$$

$$\Delta C_s = \frac{(67.46 - 47.5)^\circ\text{C}}{(95 - 47.5)^\circ\text{C}} * 100\% = 42.02\%$$

$$K = \frac{\Delta C_s}{\Delta m} = \frac{42.02\%}{50\%} = 0.84 \frac{\%}{\%}$$

La ganancia en estado estacionario del sistema K es de 0.84%/%, resta calcular, t_0 tiempo muerto, τ la constante de tiempo del sistema.

Para el cálculo del tiempo muerto t_0 se analizaran las curvas del sistema, y utilizando las herramientas de manipulación se reajustara la escala para que nos permita conocer el instante mismo del salto escalón y el momento en que el sistema comienza a responder.

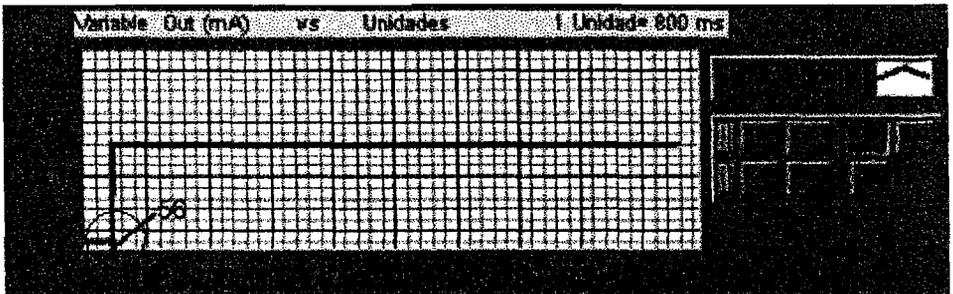


FIGURA 4.28. INSTANTE EN EL QUE SE PRODUCE EL SALTO ESCALON EN T2 A NIVEL LLENO DEL TANQUE.

De la Figura 4.28 se determina que el salto

escalón fue producido a las 56 unidades, como ambas gráficas parten el mismo instante, t_0 sería la diferencia entre las 56 unidades y el instante en que el sistema empieza a responder, de igual manera utilizando la herramienta de zoom en la paleta manejo de gráficas se puede determinar en que este punto, por simple inspección en la gráfica de la curva de reacción.

Observando bien en la gráfica de nivel vs. unidades se puede aclarar el punto en que el sistema comienza a responder.

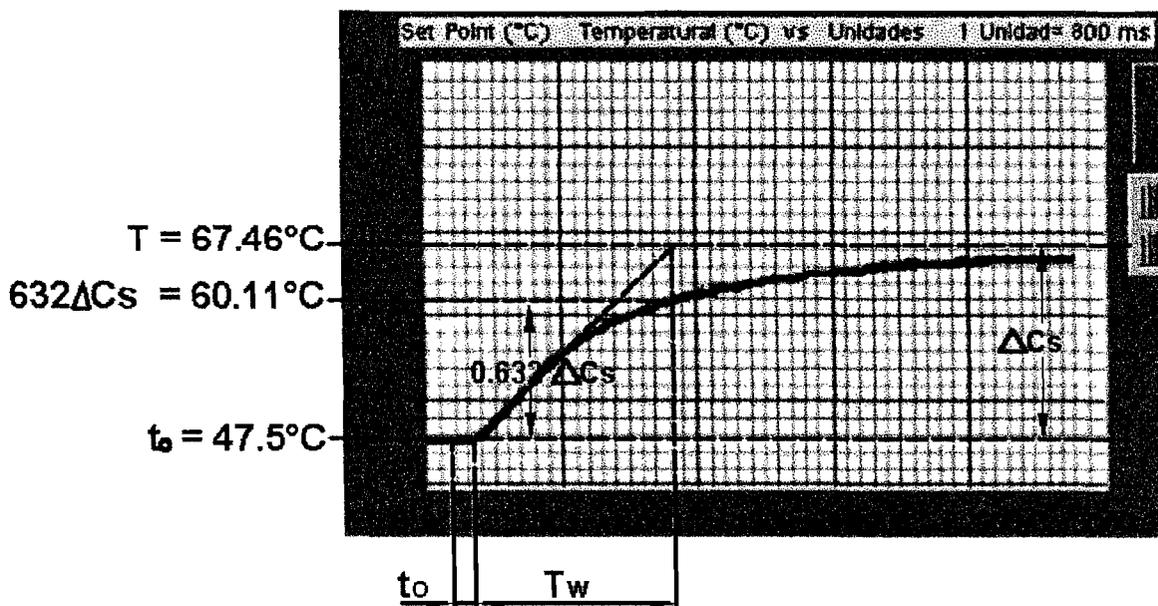


FIGURA 4.29. PARÁMETROS DEL MODELO POMTM EN LA RESPUESTA DEL SISTEMA DEL MÓDULO DE TEMPERATURA A UN SALTO ESCALON EN T2 A NIVEL DE TANQUE LLENO.

Según muestra la gráfica el sistema responde a las 145 unidades.

La diferencia de estos dos instantes es el tiempo muerto t_0 , cada unidad dentro de este programa de control dura 800 mseg.

$$t_0 = (145 - 56) \text{unidades} * 0.8 \frac{\text{seg}}{\text{unidad}} = 71.2 \text{seg}$$

El tiempo muerto t_0 para este sistema es de 71.2 seg., solo resta calcular la constante de tiempo τ del sistema.

Para calcular la constante de tiempo τ del sistema según el método de la curva de reacción se lo determina primero el $0,632\Delta C_s$ sobre la gráfica de la curva de reacción del sistema y la constante de

tiempo τ es la proyección de este valor sobre el eje del tiempo o las unidades en este caso.

$$0,632\Delta Cs = 0,632 * 19.96 = 12.614 + T_0 = 60.11 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Manipulando las herramientas de gráficas se ubica este valor sobre la curva de reacción y se busca el corte con el eje de las unidades.

De la Figura 4.24 se puede apreciar que para una temperatura de 60.11°C el corte con las unidades es en 1054 unidades.

Con este valor podemos calcular la constante de tiempo τ_w del sistema.

$$\tau_w = (1054 - 145) \text{unidades} * \frac{800 \text{mseg}}{\text{lunidad}} * \frac{1 \text{seg}}{1000 \text{mseg}} = 727.2 \text{seg}$$

Una vez determinados estos tres parámetros se puede utilizar la tabla 7 para ajuste de controlador para respuesta de razón de asentamiento de un cuarto.

$$K = 0.84 \frac{\%}{\%}$$

$$t_0 = 71.2 \text{seg}$$

$$\tau_w = 727.2 \text{seg}$$

De las prácticas realizadas al sistema se determina que el mejor tipo de controlador para este sistema es el proporcional integral **PI**, dando mejores resultados que un controlador **PID**, debido a que es un sistema de respuesta rápida. La constante derivativa se mantiene en cero en el programa cancelando su acción.

Mediante la tabla 7 para ajuste de controlador **PI** con asentamiento de un cuarto se tabula los valores de ganancia proporcional K_c y tiempo de integración τ_i .

$$K_c = \frac{0.9 \left(\frac{t_0}{\tau_w} \right)^{-1}}{0.4211 \frac{\%}{\%}} \left(\frac{71.2 \text{seg}}{727.2 \text{seg}} \right) = 10.938 \frac{\%}{\%}$$

$$\tau_i = 3.33 t_0 = 237.096 \text{ seg.}$$

Finalmente para cargar estos valores en el programa se requiere convertirlos en la constante proporcional **P** e integral **I**.

$$\mathbf{P} \text{ (constante proporcional)} = k_c = 10.938 \text{ \%/\%}$$

$$\mathbf{I} \text{ (constante de integración)} = \frac{k_c}{\tau_i} = \frac{10.938\%/\%}{237.096 \text{ seg}} = 0,046 / \text{seg}$$

Con el valor de las constantes calculadas para un controlador **PI**, en base a la practica, y cargadas en las casillas correspondientes del programa, se puede apreciar el funcionamiento del sistema de control para el lazo de temperatura, al variar el punto de control, o al introducir perturbaciones al proceso como meter agua fría el controlador responde, reajustando la salida para alcanzar al

punto de control tratando de controlar al proceso

Figura 4.29, muestra una prueba del sistema de control de temperatura.

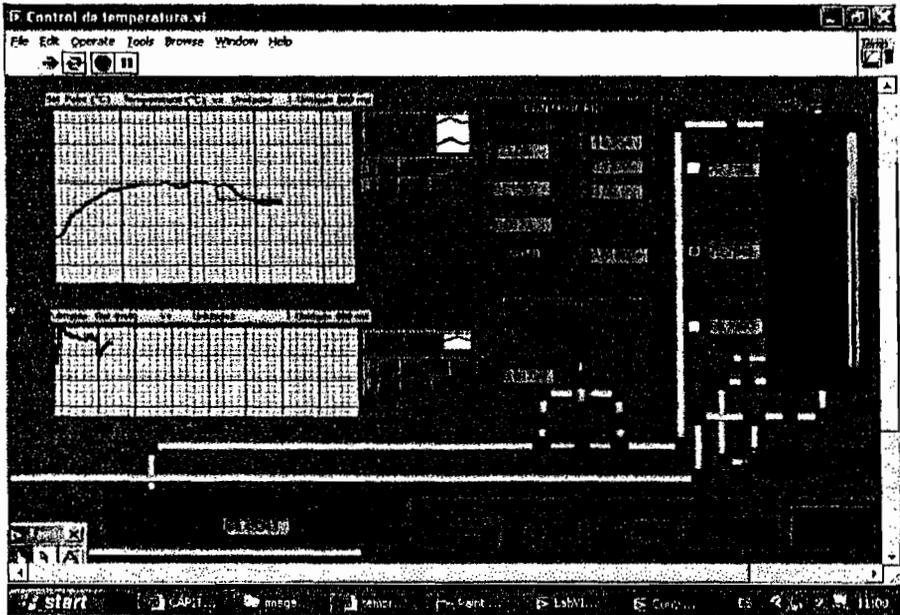


FIGURA 4.30 GRÁFICA DE LA RESPUESTA DEL SISTEMA A VARIACIONES EN EL PUNTO DE CONTROL EN T2 A NIVEL LLENO DE TANQUE.

CAPITULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

En el desarrollo de la tesis expuesta se produjo una solución innovadora y de última tecnología, para el mejoramiento del módulo de temperatura de la planta de procesos de la FIMCP, con la implementación de un sistema SCADA, la creación de un controlador digital virtual, y software que se encarga de la tarea de controlar al módulo de temperatura, convirtiéndolo en una herramienta valiosa para el estudio de los sistemas de control e instrumentación Industrial.

El uso de tecnología de última generación en el campo de la adquisición de datos y programación, facilitó los estudios y cálculos necesarios para la implementación del sistema de control y se logró reemplazar dispositivos convencionales, demostrando que es posible, mediante software mejorar sistemas tradicionales y alcanzar alta confiabilidad y eficiencia.

El programa de control creado bajo el software Lab View de Nacional Instrument, para el control del módulo permite un fácil acceso y manejo de las operaciones desde una computadora, se implementaron sistemas auxiliares para el control de encendido de todos los elementos que conforman el sistema, protecciones tanto para el programa como para los equipos, lo que convirtió al módulo en un robusto sistema de adquisición y control.

Los controladores PID virtuales creados para el módulo de control de nivel y caudal, con las mismas características matemáticas expuestas en las teorías de controladores, pero con la facilidad y permanencia de la calibración, que nos permitió un software de computadora, nos provee de un satisfactorio control de los procesos del módulo.

El resultado del proyecto es un equipo dotado de las últimas tecnologías capaz de ser utilizado como una herramienta de estudio y

experimentación en el campo de la automatización e instrumentación industrial. La aplicación de este tipo de tecnologías es amplia en la industria y debería ser más desarrollada en nuestro medio.

Recomendaciones

Al desarrollar un sistema robusto de adquisición y control, nos vimos en la necesidad de averiguar y ver que más nos ofrecía el software Lab View y es así como encontramos que tenía facilidades para conectarlo o enlazarlo a la red informática de la facultad, lo que nos abrió la posibilidad de que el módulo sea operado o se observe su operación no solo desde el lugar de la planta sino que esta sea operada y manejada desde la comodidad de un aula, lo cual facilitaría la explicación de la teoría dada en clase.

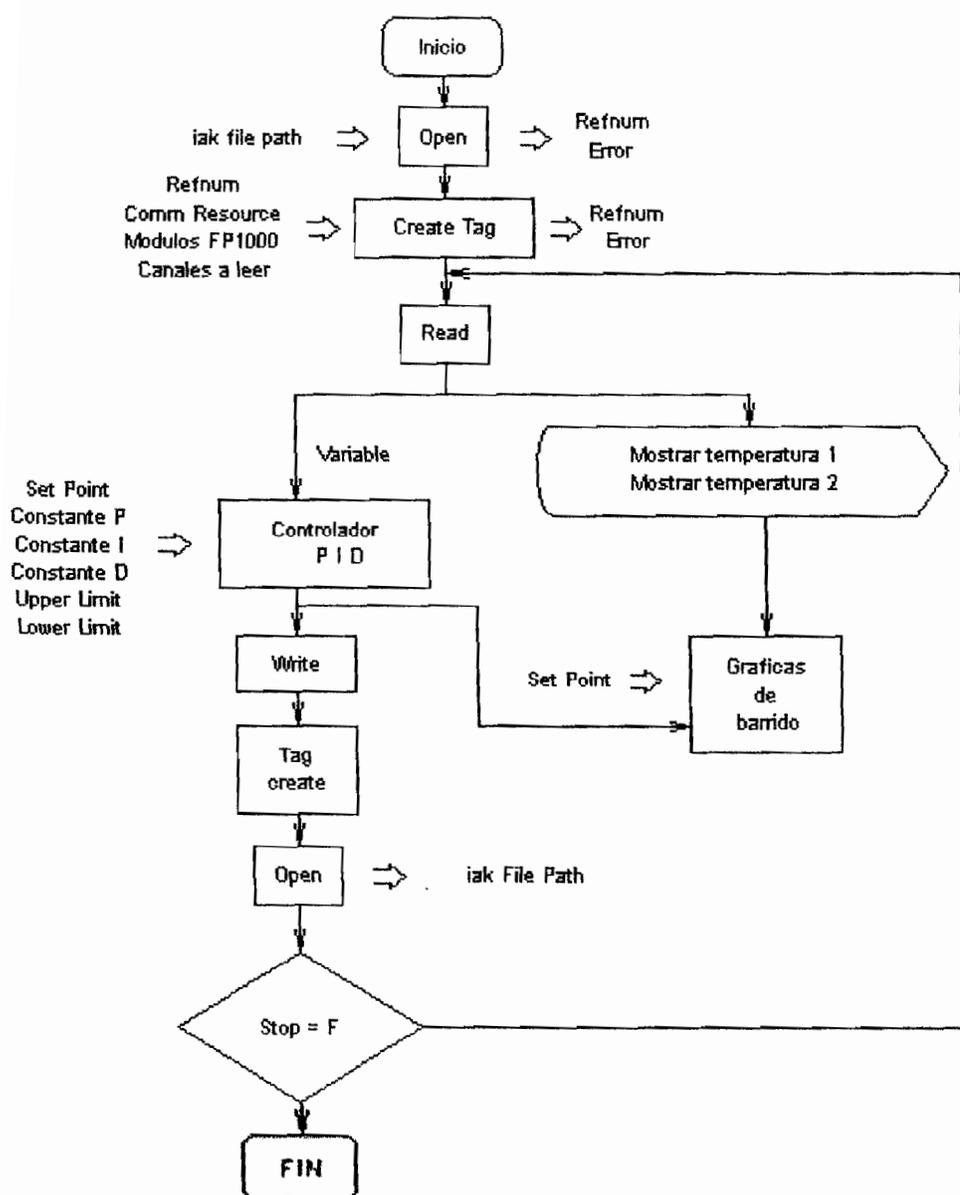
En base a los resultados obtenidos en este proyecto se podría pensar la posibilidad de aplicar este tipo de tecnologías en otros equipos y sistemas de los laboratorios de la FIMCP.

La planta de procesos no solo ofrece la posibilidad de ejecutar prácticas de calibración de controladores sino de una gama de instrumentos que se encuentran operando en el módulo, lo que podría ser aprovechado por los estudiantes de instrumentación industrial.

APÉNDICES

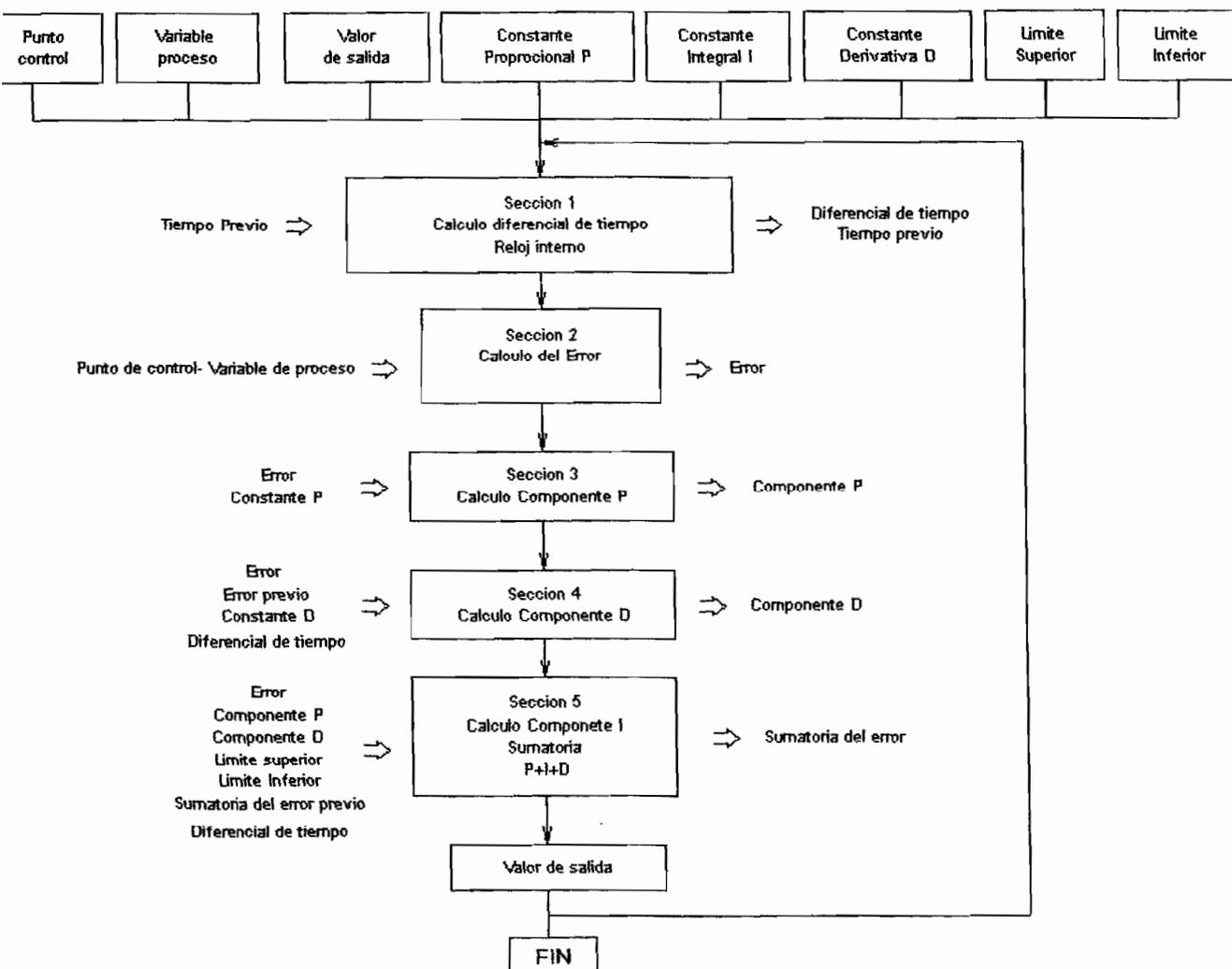
APENDICE A

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA DE CONTROL TEMPERATURA



APÉNDICE B

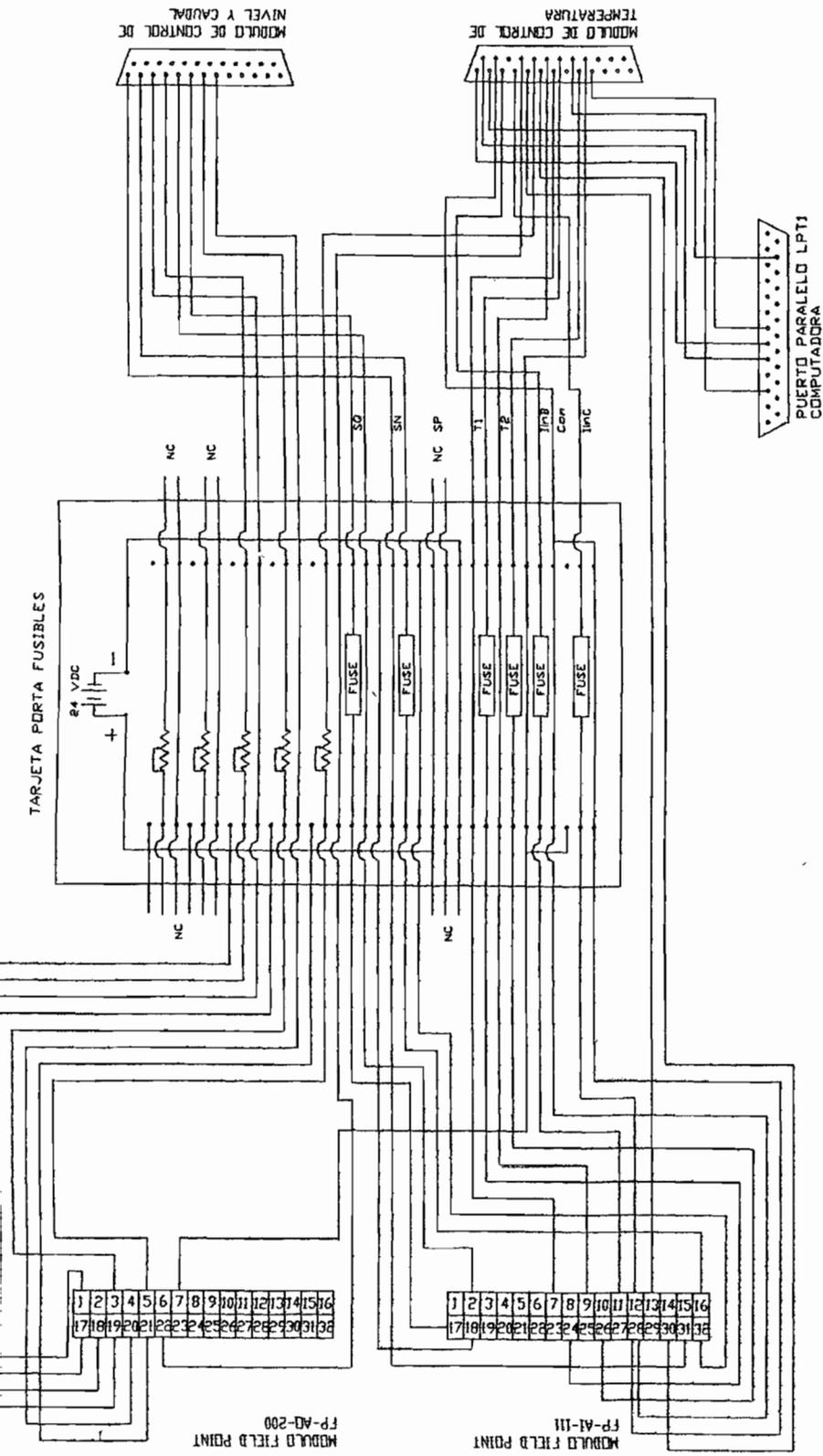
DIAGRAMA DE FLUJO DEL CONTROLADOR PID



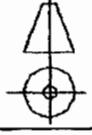
Bibliografía

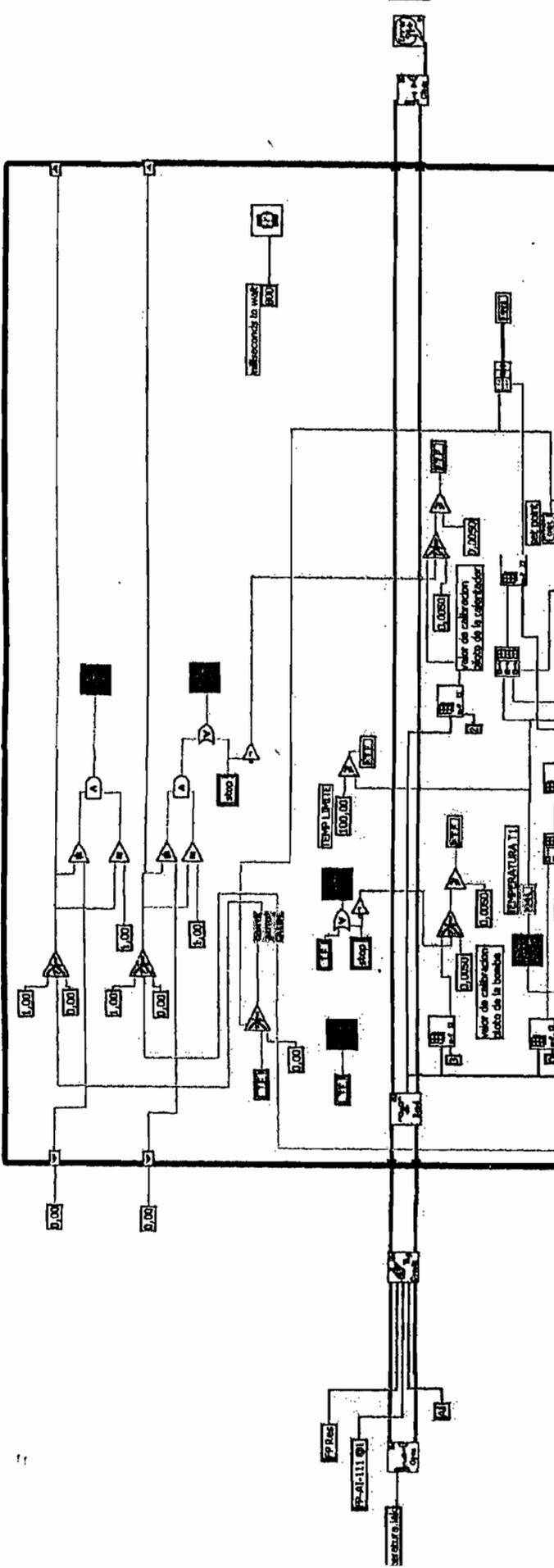
1. Ogata, Prentice hall, Ingeniería de control moderna.
2. Ing. Simonetta Jose, Servomecanismos, editorial H.A.S.A 1981.
3. Smith Corripio, Control automático de procesos teoría y practica, Editorial Limaza 1997.
4. NATIONAL INSTRUMENTS, Measurement and Automation Catalogue, 2002.
5. FIELD POINT, User Manual, National Instruments Corporation, 1999.
6. LAB VIEW 5, User Manual, National Instruments Corporation, 1999.
7. Pico Luis, "Simulador de Control para Proceso de Temperatura", (Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral 2001)

8. Bonifaz Celia, "Desarrollo de un Sistema de Adición de Datos para la Maquina Universal de Ensayos del Laboratorio de Sólidos de la FIMCP", (Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral 2002)
9. <http://www.ni.com>, National Instruments, pagina web.
10. <http://zone.ni.com/devzone/labviewzone.nsf/OpenPage?openagent&lvsection=labviewzone>, Soporte de Lab View, National Instruments, pagina web.

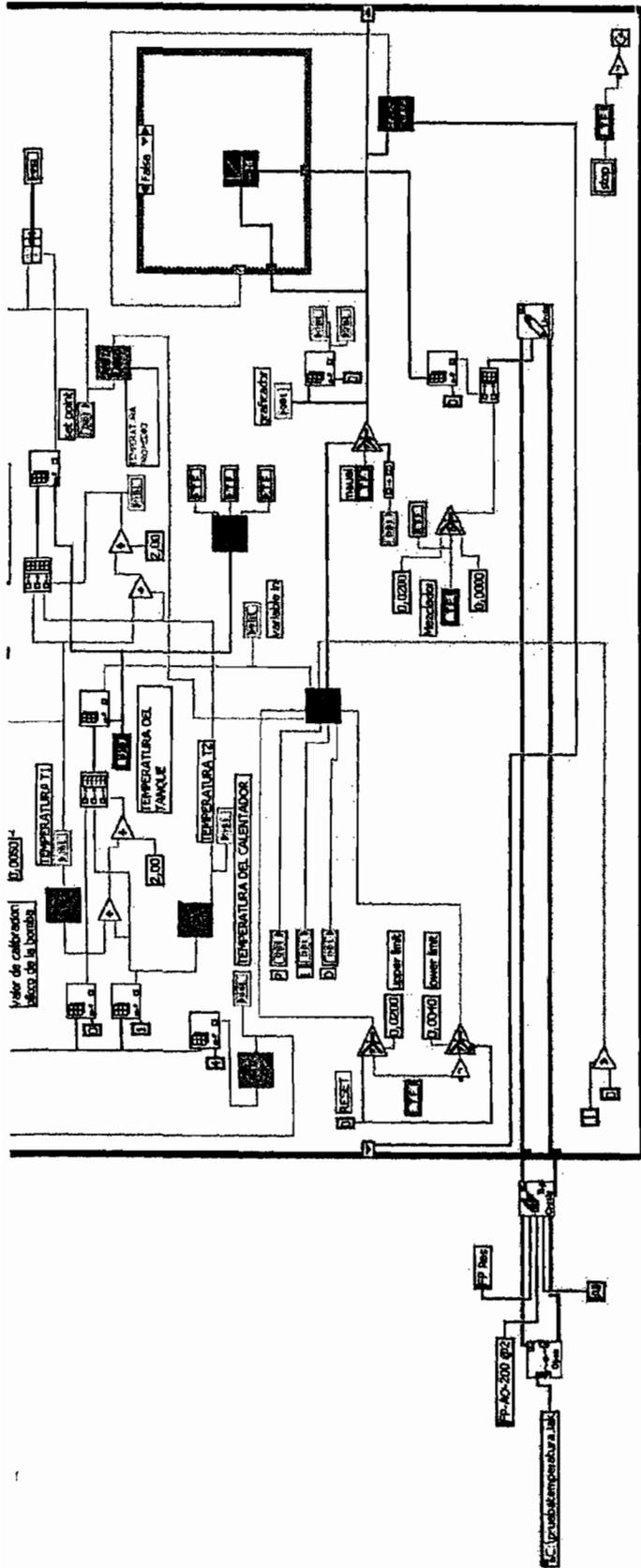


FIMCP - ESPOL		FECHA: 10/9/2004	NOMBRE: J. ROCA
PROYECTO: Implementación de un Sistema de Control Digital para el Módulo de Temperatura de la Planta de Procesos Industriales de FIMCP		REVISÓ:	PLANO No: 1
CONTIENE: DIAGRAMA DE CONEXIONES EN INTERIOR DE LA INTERFASE FIELD POINT		MASA (Kg)	
ESC: 1:1	MATERIALES:		





FECHA: NOMBRE:		FECHA: NOMBRE:
DIBUJO: 18/02/84 J. ROCA		DIBUJO: 18/02/84 J. ROCA
REVISÓ:		REVISÓ:
PLANO No: 2		PLANO No: 2
PROYECTO: Implementación de un Sistema de Control Digital para el Módulo de Temperatura de la Planta de Procesos Industriales de FIMCP		CONTIENE: Diagrama de bloques del programa control de temperatura del módulo de temperatura de la planta de procesos industriales de FIMCP.
ESC: 1:1		MATERIALES: MASA (Kg)



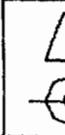
FIMCIP - ESPOL

FECHA:	NOMBRE:
DISEÑO:	REVISÓ:
PLANO No: 3	
MASA (Kg)	

PROYECTO: Implementación de un Sistema de Control Digital para el Módulo de Temperatura de la Planta de Procesos Industriales de FIMCIP

CONTIENE: Diagrama de bloques del programa control de temperatura, el módulo de temperatura de la planta de procesos industriales de la FIMCIP.

ESC: 1:1



MATERIALES: