ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE INGENIERÍA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO DIDÁCTICO PARA EL LABORATORIO DE CONTROL DE PROCESOS

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

HENRY BOLÍVAR ANDAGANA JUNTA
EDISON FERNANDO CHURO GUAYASAMÍN

DIRECTOR: ING. GERMÁN CASTRO MACANCELA

Quito, marzo 2006

DECLARACIÓN

Nosotros, Henry Bolívar Andagana Junta y Edison Fernando Churo Guayasamín, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Henry Bolívar Andagana Junta	**Edison Fernando Churo Guayasamín**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Henry Bolívar Andagana Junta y Edison Fernando Churo Guayasamín, bajo mi supervisión.

Ing. Germán Castro Macancela

DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios por el don de la vida, a mis padres: Segundo y Soledad, a mi hermano William y a mi abuelita Carmen por su cuidado amoroso y apoyo incondicional, en especial a mi querida Verito que ha sido mi soporte para poder culminar este primer objetivo profesional.

Y mi más sentido agradecimiento a la Escuela Politécnica Nacional, al Ing. Germán Castro, a mis profesores y a todos aquellos que han colaborado con la consecución de este proyecto.

Fernando

Estoy agradecido a muchas personas gracias a las cuales he podido llevar a cabo un pequeño sueño de vida. Primeramente a mi Dios que después de muchas pruebas ha sabido poner en mi vida muchas bendiciones y entre ellas esta mi carrera. Mis padres Ernesto Andagana y Maria Junta que han estado, están y estarán tras de mi cuidando cada paso que yo quiera dar hacia delante. A mis queridos tíos Humberto Junta y Rosa Junta que me han provisto de un lugar donde he podido encerrarme a estudiar. A mis hermanas Maribel y Mercy que a su modo han sabido apoyarme en las buenas y las malas. A mis primos Javier, Gabela, Elitos y Denise que siempre me supieron escuchar y me hicieron sentir como uno mas de su familia a mis tíos en Ambato Iván, Oswaldo, Jorge y Heriberto que fueron un ejemplo de vida para mi y también agradezco a una persona que fue y quizá hasta ahora muy especial para mi ella sabe que estoy hablando de ella, que supo hacer mi vida de cuadritos y que gracias a eso pude fortalecer mi espíritu y tan solo engendró en mí más energía para no renunciar a mi sueño gracias Vanne..

Henry

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico con todo mi amor y cariño a mis padres quienes han sido fuente de inspiración y ejemplo para poder concluir este camino universitario. Gracias a su apoyo, paciencia y amor que han contribuido para culminar con este sueño que inicio muchos años atrás. Les quiero con todo mi corazón por eso, este trabajo es para uds.

Fernando

Todo este trabajo lo dedico con un cariño muy especial a mis padres y además a todas las personas a las que les pueda servir esto para bien.

Henry

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN ..... **I**

PRESENTACIÓN ..... **III**

CAPITULO 1. ..... **1**

INTRODUCCIÓN AL CONTROL DISTRIBUIDO EN PROCESOS INDUSTRIALES **1**

1.1 INTRODUCCIÓN AL CONTROL DE PROCESOS. 2

1.2 EL COMPUTADOR COMO ELEMENTO DE SUPERVISIÓN Y CONTROL. 3

1.3 EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DE PROCESOS POR COMPUTADOR. 4

1.3.1 CONTROL SECUNDARIO O SUPERVISOR *5*

1.3.2 CONTROL PRIMARIO O DIRECTO *6*

1.3.3 CONTROL POR COMPUTADORA CENTRAL *6*

1.3.4 CONTROL DISTRIBUIDO *7*

1.4 SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO SCD O DE INFORMACIÓN TOTAL. 9

1.4.1 CARACTERÍSTICAS DEL SCD *10*

1.4.2 ARQUITECTURA DEL SCD. *11*

1.5 COMPONENTES DEL SCD 15

1.5.1 SISTEMA DE COMUNICACIONES. *16*

1.5.1.1 Bus de Campo 17

1.5.1.2 Protocolo de Comunicación MODBUS 20

1.5.2 DISPOSITIVOS DE HARDWARE DE CONTROL Y ADMINISTRACIÓN. *22*

1.5.3 SOFTWARE PARA EL CONTROL Y LA SUPERVISIÓN DE PROCESOS. *23*

1.5.3.1 Software LOOKOUT 25

1.6 VENTAJAS Y BENEFICIOS DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN TOTAL. 26

1.6.1 BENEFICIOS TANGIBLES *27*

1.6.2 BENEFICIOS INTANGIBLES *27*

1.6.3 SEGURIDAD DEL SCD. *28*

1.7 PUNTOS VULNERABLES DEL SCD. 30

CAPITULO 2. ..... **32**

DESCRIPCIÓN DE LOS MÓDULOS DIDÁCTICOS PARA CONTROL DE: FLUJO, PRESIÓN, TEMPERATURA DE UN HORNO Y TEMPERATURA POR TRANSFERENCIA DE CALOR **32**

2.1 CONTROL DE FLUJO. 33

2.1.1 ESTRUCTURA MODULAR *34*

2.1.2 DISPOSITIVOS DE CONTROL *38*

2.1.3 ELEMENTOS AUXILIARES *42*

2.2 CONTROL DE PRESIÓN 45

2.2.1 ESTRUCTURA MODULAR *46*

2.2.2 DISPOSITIVOS DE CONTROL *50*
2.2.3 ELEMENTOS AUXILIARES *53*
2.3 CONTROL DE TEMPERATURA DE UN HORNO. 54
2.3.1 ESTRUCTURA MODULAR *55*
2.3.2 DISPOSITIVOS DE CONTROL *58*
2.3.3 ELEMENTOS AUXILIARES *63*
2.4 CONTROL DE TEMPERATURA POR TRANSFERENCIA DE CALOR 66
2.4.1 ESTRUCTURA MODULAR *67*
2.4.2 DISPOSITIVOS DE CONTROL *69*
2.4.3 ELEMENTOS AUXILIARES *74*

CAPITULO 3. 76

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA RED DE COMUNICACIÓN Y SISTEMAS DE CONTROL. 76

3.1 INTRODUCCIÓN 77
3.2 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA RED DE COMUNICACIÓN 78
3.2.1 RED DE CAMPO *78*
3.2.1.1 Selección de la red de campo 79
3.2.1.2 Diseño e instalación de la red 81
3.2.1.3 Modo de operación 84
3.2.1.4 Configuración de esclavos TWIDO. 86
3.2.1.5 Configuración de esclavos SIEMENS 88
3.2.1.6 Configuración del maestro LOOKOUT. 93
3.2.2 INTERFAZ ENTRE SERVIDOR DE DATOS Y RED DE CAMPO *97*
3.2.3 RED DE USUARIOS *100*
3.2.3.1 Selección de la red de usuarios 101
3.2.3.2 Diseño e instalación de la red de usuarios 101
3.2.3.3 Configuración de equipos usuarios. 103
3.3 SISTEMA DE CONTROL DE FLUJO. 105
3.3.1 INTRODUCCIÓN *105*
3.3.2 MODO DE OPERACIÓN *106*
3.3.3 IMPLEMENTACIÓN DE LÓGICA Y HARDWARE DE CONTROL *107*
3.4 SISTEMA DE CONTROL DE PRESIÓN. 113
3.4.1 INTRODUCCIÓN *113*
3.4.2 MODO DE OPERACIÓN *113*
3.4.3 IMPLEMENTACIÓN DE LÓGICA Y HARDWARE DE CONTROL *114*
3.5 SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA DE UN HORNO. 120
3.5.1 INTRODUCCIÓN *120*
3.5.2 MODO DE OPERACIÓN *120*
3.5.3 IMPLEMENTACIÓN DE LÓGICA Y HARDWARE DE CONTROL *121*
3.6 SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA POR TRANSFERENCIA DE CALOR. 127

3.6.1 INTRODUCCIÓN *127*
3.6.2 MODO DE OPERACIÓN *128*
3.6.3 IMPLEMENTACIÓN DE LÓGICA Y HARDWARE DE CONTROL *129*

CAPITULO 4. ..... **136**

DESARROLLO DE LA INTERFAZ GRÁFICA CON LOOKOUT **136**

4.1 ADMINISTRACIÓN DE USUARIOS Y NIVELES DE ACCESO 137
4.2 HMI PRINCIPALES 140
4.2.1 PANTALLA PRINCIPAL HOME *141*
4.2.2 PANEL DE INFORMACIÓN *142*
4.2.3 PANEL DE PROCESOS *142*
4.2.4 PANEL DE GRÁFICAS *142*
4.2.5 PANTALLA DE ALARMAS *144*
4.3 HMI PARA CONTROL DE FLUJO 144
4.3.1 PANTALLA DE PROCESO *144*
4.3.2 PANTALLA DE GRÁFICA *146*
4.3.3 PANTALLA DE APLICACIÓN *147*
4.3.4 DIRECCIONAMIENTO MODBUS Y NIVELES DE ACCESO *148*
4.4 HMI PARA CONTROL DE PRESIÓN 149
4.4.1 PANTALLA DE PROCESO *149*
4.4.2 PANTALLA DE GRÁFICA *151*
4.4.3 PANTALLA DE APLICACIÓN *151*
4.4.4 DIRECCIONAMIENTO MODBUS Y NIVELES DE ACCESO *152*
4.5 HMI PARA CONTROL DE TEMPERATURA DE UN HORNO 153
4.5.1 PANTALLA DE PROCESO *153*
4.5.2 PANTALLA DE GRÁFICA *153*
4.5.3 PANTALLA DE APLICACIÓN *154*
4.5.4 DIRECCIONAMIENTO MODBUS Y NIVELES DE ACCESO *155*
4.6 HMI PARA CONTROL DE TEMPERATURA POR TRASFERENCIA DE CALOR 157
4.6.1 PANTALLA DE PROCESO *157*
4.6.2 PANTALLA DE GRÁFICA *157*
4.6.3 DIRECCIONAMIENTO MODBUS Y NIVELES DE ACCESO *158*
4.7 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA REDUNDANTE 159
4.7.1 MODO DE OPERACIÓN *160*
4.7.2 CONFIGURACIÓN DEL SERVIDOR PRINCIPAL *162*
4.7.3 CONFIGURACIÓN DE SERVIDOR REDUNDANTE *163*
4.7.4 CONFIGURACIÓN DE CLIENTES *166*

CAPITULO 5. ..... **168**

PRUEBAS Y RESULTADOS **168**

CAPITULO 6. ..... **177**

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES **177**

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS **183**

ANEXOS **185**

ANEXO 1. LISTA DE TAREAS DE UN SCD
ANEXO 2. DESCRIPCIÓN DE OBJETOS UTILIZADOS EN LOOKOUT
ANEXO 3. TOLERANCIA A LAS FALLAS. REDUNDANCIAS DIVERSAS
ANEXO 4. CONEXIONES EXTERNAS DEL MÓDULO DE FLUJO
ANEXO 5. CONEXIONES ELÉCTRICAS DEL VARIADOR DE VELOCIDAD
ANEXO 6. CONEXIONES EXTERNAS DEL MÓDULO DE PRESIÓN
ANEXO 7. CONEXIONES NEUMÁTICAS DEL MÓDULO DE TEMPERATURA DEL HORNO.
ANEXO 8. PLANO DEL LABORATORIO DE CONTROL DE PROCESOS
ANEXO 9. CONEXIONES DE LA RED DE CAMPO MODBUS
ANEXO 10. DIAGRAMAS ELÉCTRICOS DEL MÓDULO DE FLUJO
ANEXO 11. DIAGRAMA LADDER DE PROGRAMACIÓN DE PLC PARA M. DE FLUJO
ANEXO 12. DIAGRAMAS ELÉCTRICOS DEL MÓDULO DE PRESIÓN
ANEXO 13. DIAGRAMA LADDER DE PROGRAMACIÓN DE PLC PARA M. DE PRESIÓN
ANEXO 14. DIAGRAMAS ELÉCTRICOS DEL MÓDULO DE TEMPERATURA DE HORNO
ANEXO 15. DIAGRAMA LADDER DE PROGRAMACIÓN DE PLC PARA M. DE TEMPERATURA DE HORNO
ANEXO 16. DIAGRAMAS ELÉCTRICOS DEL MÓDULO DE TEMPERATURA POR TRANSFERENCIA DE CALOR
ANEXO 17. DIAGRAMA LADDER DE PROGRAMACIÓN DE PLC PARA M. DE TEMPERATURA POR TRANSFERENCIA DE CALOR

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1-1 ESTRUCTURA BÁSICA DE UN COMPUTADOR COMO ELEMENTO DE CONTROL 3
FIGURA 1-2 EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DE PROCESOS POR COMPUTADOR 5
FIGURA 1-3 CONTROL SUPERVISOR O SECUNDARIO 6
FIGURA 1-4 CONTROL PRIMARIO O DIRECTO 6
FIGURA 1-5 CONTROL POR COMPUTADORA CENTRAL 7
FIGURA 1-6 CONTROL DISTRIBUIDO CLÁSICO 8
FIGURA 1-7 CONTROL DISTRIBUIDO INTEGRAL 8
FIGURA 1-8 NIVELES, CONEXIONES Y ELEMENTOS QUE INTERVIENEN EN UN SCD 12
FIGURA 1-9 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO 16
FIGURA 1-10 EL BUS DE CAMPO SEGÚN EL MODELO DE NIVEL O CAPAS ISO/OSI 18
FIGURA 1-11 INTERCAMBIO DE MENSAJES EN EL PROTOCOLO MODBUS 20
FIGURA 1-12 ARQUITECTURA REDUNDANTE DE UN SCD 29
FIGURA 2-1 VISTA GENERAL DEL MÓDULO DIDÁCTICO DE CONTROL DE FLUJO 34
FIGURA 2-2 ESTRUCTURA FÍSICA DEL MÓDULO DIDÁCTICO DE CONTROL DE FLUJO 35
FIGURA 2-3 POSICIÓN ABIERTA Y CERRADA DE LAS LLAVES 36
FIGURA 2-4 PANEL OPERADOR DEL SISTEMA DE CONTROL DE FLUJO 37
FIGURA 2-5 SENSOR DE FLUJO 39
FIGURA 2-6 TARJETA ACONDICIONADORA DE SEÑAL PARA SENSOR DE FLUJO. 39
FIGURA 2-7 MINICONTROLADOR TWIDO TWDLMDA20DRT 40
FIGURA 2-8 VARIADOR DE FRECUENCIA 41
FIGURA 2-9 BOMBA DE AGUA 42
FIGURA 2-10 ROTÁMETRO 42
FIGURA 2-11 TARJETA ELECTRÓNICA DE FUENTES DC 43
FIGURA 2-12 CONTACTOR TRIFÁSICO Y RELÉ TÉRMICO 43
FIGURA 2-13 BREAKER PRINCIPAL 44
FIGURA 2-14 RELÉS AUXILIARES DE FASES. 44
FIGURA 2-15 RELÉ DE MODO DE OPERACIÓN 44
FIGURA 2-16 CONECTOR DE RED 45
FIGURA 2-17 VISTA GENERAL DEL MÓDULO DIDÁCTICO DE CONTROL DE PRESIÓN. 46
FIGURA 2-18 ESTRUCTURA FÍSICA DEL MÓDULO DIDÁCTICO DE CONTROL DE PRESIÓN 47
FIGURA 2-19 PANEL OPERADOR DEL SISTEMA DE CONTROL DE PRESIÓN 48
FIGURA 2-20 TRANSMISOR DE PRESIÓN RELATIVA. 50
FIGURA 2-21 ELECTROVÁLVULA INTERNA 51
FIGURA 2-22 SERVOVÁLVULA 52
FIGURA 2-23 ELECTROVÁLVULA EXTERNA 52
FIGURA 2-24 BOMBA DE AGUA 53
FIGURA 2-25 TARJETA ELECTRÓNICA DE FUENTES DC. 53
FIGURA 2-26 TARJETA ACONDICIONADORA PARA LUCES PILOTO. 53

FIGURA 2-27 RELÉS AUXILIARES 54
FIGURA 2-28 MÓDULO DIDÁCTICO DE CONTROL DE TEMPERATURA DE UN HORNO 55
FIGURA 2-29 ESTRUCTURA FÍSICA DEL MÓDULO DE CONTROL DE TEMPERATURA DE UN HORNO 56
FIGURA 2-30 PANEL OPERADOR DEL MÓDULO DE TEMPERATURA PARA HORNO 57
FIGURA 2-31 TRANSMISOR PARA RTD PT100 400° C. 59
FIGURA 2-32 MICRO SWITCH PARA INDICADOR DE PUERTA DEL HORNO ABIERTA. 60
FIGURA 2-33 CONTROLADOR S7-200 CPU 224 CON MÓDULO EM 235 60
FIGURA 2-34 ELECTROVÁLVULAS PARA INGRESO DE AIRE Y ACCIÓN DE PISTÓN 62
FIGURA 2-35 DUCHA DE AIRE PARA ENFRIAR EL HORNO. 62
FIGURA 2-36 PISTÓN PARA DESFOGUE DE AIRE CALIENTE DEL HORNO. 63
FIGURA 2-37 DISYUNTORES DE PROTECCIÓN. 63
FIGURA 2-38 TARJETA ELECTRÓNICA DE FUENTES VDC. 64
FIGURA 2-39 TARJETA ELECTRÓNICA DE DISPARO DE TRIAC. 64
FIGURA 2-40 RELÉS AUXILIARES DE CONTROL 65
FIGURA 2-41 CONTACTOR PARA RESISTENCIA ELÉCTRICA 65
FIGURA 2-42 VÁLVULA REGULADORA DE PRESIÓN CON MANÓMETRO 66
FIGURA 2-43 MÓDULO DE CONTROL DE TEMPERATURA POR TRANSFERENCIA DE CALOR 66
FIGURA 2-44 ESTRUCTURA FÍSICA DEL MÓDULO DE CONTROL DE TEMPERATURA II 67
FIGURA 2-45 PANEL OPERADOR DEL SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA II 68
FIGURA 2-46 TRANSMISOR DE TEMPERATURA 70
FIGURA 2-47 TARJETA DE ACONDICIONAMIENTO PARA CONTROL DE NIVEL MÁXIMO. 71
FIGURA 2-48 CONTROLADOR SIMATIC S7-200 CPU 226 71
FIGURA 2-49 MODULO ANALÓGICO EM235 72
FIGURA 2-50 ELEMENTOS FINALES DE CONTROL 73
FIGURA 2-51 TERMÓMETRO 74
FIGURA 2-52 DISYUNTOR PRINCIPAL, CONTACTOR DE NIQUELINA Y CONTACTOR DE BOMBA. 74
FIGURA 2-53 PORTA FUSIBLES Y FUSIBLES 75
FIGURA 3-1 ESQUEMA GENERAL DEL SCD APLICADO EN EL LABORATORIO DE CPI 77
FIGURA 3-2 ESQUEMA GENERAL DE LA RED DE CAMPO 79
FIGURA 3-3 CONEXIÓN DE RED MODBUS 82
FIGURA 3-4 ELEMENTOS DE TOMA DE RED 83
FIGURA 3-5 PATCH CORD 84
FIGURA 3-6 FORMATO GENERAL DE LA TRAMA RTU MODBUS. 85
FIGURA 3-7 INTERCAMBIO DE MENSAJES EN EL PROTOCOLO MODBUS 86
FIGURA 3-8 AGREGAR MÓDULO OPCIONAL RS-485 PARA CONTROLADOR TWIDO 87
FIGURA 3-9 CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS DE COMUNICACIÓN PARA CONTROLADOR TWIDO... 88
FIGURA 3-10 INSERTAR OPERACIONES MBUS_INIT Y MBUS_SLAVE 90
FIGURA 3-11 ASIGNACIÓN DE MEMORIA PARA LIBRERÍA MODBUS S7-200. 91
FIGURA 3-12 GUÍA PARA AGREGAR UN OBJETO MODBUS 94
FIGURA 3-13 CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS BÁSICOS DE COMUNICACIÓN EN LOOKOUT 95

FIGURA 3-14 CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS AVANZADOS DE COMUNICACIÓN EN LOOKOUT 96
FIGURA 3-15 ESQUEMA GENERAL DE INTERFAZ ENTRE SERVIDOR DE DATOS Y RED DE CAMPO 97
FIGURA 3-16 DIAGRAMA DE CONEXIÓN ENTRE EL SISTEMA SERVIDOR DE DATOS Y RED DE CAMPO..... 98
FIGURA 3-17 DIP SWITCHS DEL CABLE PPI..... 99
FIGURA 3-18 ESQUEMA GENERAL DE RED DE USUARIOS 100
FIGURA 3-19 ESQUEMA DE CONEXIÓN DE LA RED DE USUARIOS 102
FIGURA 3-20 CONFIGURACIÓN DE OPCIONES DE RED LOOKOUT 103
FIGURA 3-21 CONFIGURACIÓN DE AUTO-DETECCIÓN 104
FIGURA 3-22 EFECTOS DE AUTO-DETECCIÓN..... 104
FIGURA 3-23 SISTEMA DE CONTROL DE FLUJO EN LAZO ABIERTO 105
FIGURA 3-24 SISTEMA DE CONTROL DE FLUJO EN LAZO CERRADO 105
FIGURA 3-25 CONEXIONES DEL CONTROLADOR DE FLUJO..... 108
FIGURA 3-26 MODO DE OPERACIÓN 109
FIGURA 3-27 MODO LOCAL – LAZO ABIERTO 109
FIGURA 3-28 MODO REMOTO- LAZO CERRADO-CONTROL CONTINUO 110
FIGURA 3-29 MODO REMOTO – LAZO CERRADO- APLICACIÓN (DESPACHO DE COMBUSTIBLE) 111
FIGURA 3-30 SISTEMA DE CONTROL DE PRESIÓN..... 113
FIGURA 3-31 CONEXIONES DEL CONTROLADOR DE PRESIÓN..... 115
FIGURA 3-32 MODOS DE OPERACIÓN 116
FIGURA 3-33 MODO FORZADO..... 116
FIGURA 3-34 MODO CONTINUO 117
FIGURA 3-35 MODO DE APLICACIÓN 118
FIGURA 3-36 SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA HORNO 120
FIGURA 3-37 CONEXIONES DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA PARA HORNO 123
FIGURA 3-38 MODOS DE OPERACIÓN EN CONTROL DE TEMPERATURA PARA HORNO..... 123
FIGURA 3-39 MODO CONTINUO 124
FIGURA 3-40 MODO DE APLICACIÓN 125
FIGURA 3-41 MODO FORZADO..... 126
FIGURA 3-42 SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA POR TRANSFERENCIA 128
FIGURA 3-43 CONEXIONES DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA POR TRANSFERENCIA DE CALOR . 129
FIGURA 3-44 MODOS DE OPERACIÓN 130
FIGURA 3-45 CONTROL DE TEMPERATURA POR TRANSFERENCIA DE CALOR..... 131
FIGURA 3-46 MODO FORZADO DESDE PC-REMOTO..... 132
FIGURA 3-47 MODO FORZADO DESDE PANEL-LOCAL 133
FIGURA 4-1 ADMINISTRADOR DE CUENTA DE USUARIOS..... 137
FIGURA 4-2 OPCIONES DE SISTEMA PARA LOOKOUT..... 138
FIGURA 4-3 NUEVA CUENTA DE USUARIO 139
FIGURA 4-4 REGISTRO DE USUARIOS..... 140
FIGURA 4-5 ESTRUCTURA DE PANTALLAS DEL SCD 140
FIGURA 4-6 PANTALLA PRINCIPAL..... 141

FIGURA 4-7 PANTALLA PANEL DE INFORMACIÓN 142
FIGURA 4-8 PANTALLA DE RESUMEN DE PROCESOS 143
FIGURA 4-9 PANTALLA DE RESUMEN DE GRÁFICAS 143
FIGURA 4-10 CUADRO DE DIALOGO PARA ALARMAS O EVENTOS 144
FIGURA 4-11 PANTALLA DE PROCESO PARA CONTROL DE FLUJO 145
FIGURA 4-12 PANTALLA DE GRAFICA DE FLUJO VS TIEMPO 146
FIGURA 4-13 PANTALLA DE APLICACIÓN DE CONTROL DE FLUJO. 147
FIGURA 4-14 FACTURA DE COMBUSTIBLE DESPACHADO 148
FIGURA 4-15 PANTALLA DE PROCESO PARA CONTROL DE PRESIÓN 150
FIGURA 4-16 PANTALLA DE APLICACIÓN DE PRESIÓN 151
FIGURA 4-17 PANTALLA DE PROCESO PARA CONTROL DE TEMPERATURA DE UN HORNO 153
FIGURA 4-18 PANTALLA DE APLICACIÓN DE TEMPERATURA DE UN HORNO 155
FIGURA 4-19 PANTALLA DE PROCESO PARA CONTROL TEMPERATURA II. 157
FIGURA 4-20 SISTEMA REDUNDANTE 161
FIGURA 4-21 CONFIGURACIÓN DE ARCHIVOS DE ESTADO 162
FIGURA 4-22 CUADRO DE DIALOGO PARA OBJETO MONITOR 164
FIGURA 4-23 OBJETO MODBUS PARA AUTÓMATA TWIDO PARA CONMUTACIÓN DE PUERTOS 164
FIGURA 4-24 ACTIVACIÓN DE RELÉ DE CONMUTACIÓN A TRAVÉS DEL OBJETO MONITOR 165
FIGURA 4-25 CUADRO DE DIALOGO PARA EL OBJETO LOADER 165
FIGURA 4-26 CUADRO DE DIALOGO PARA SYMBOLIC LINK 166
FIGURA 5-1 RED DE CAMPO INSTALADA 169
FIGURA 5-2 INSTALACIÓN DE LA INTERFAZ ENTRE EL SERVIDOR DE DATOS Y RED DE CAMPO 170
FIGURA 5-3 ESTACIONES PARA RED DE USUARIOS. 171
FIGURA 5-4 SWITCH ETHERNET PARA LA RED DE USUARIOS 171
FIGURA 5-5 COMANDO PING PARA MÁQUINAS PRESENTES EN LA RED 172
FIGURA 5-6 COMPUTADORAS EN RED RECONOCIDAS POR LOOKOUT 172
FIGURA 5-7 DISPOSITIVO ESCLAVO DESCONECTADO 173
FIGURA 5-8 OBJETO HOJA DE CÁLCULO PARA ALMACENAR DATOS 173
FIGURA 5-9 INSTALACIÓN DE EQUIPOS PARA EL CONTROL DE FLUJO 174
FIGURA 5-10 INSTALACIÓN DE EQUIPOS PARA EL CONTROL DE PRESIÓN 175
FIGURA 5-11 INSTALACIÓN DE EQUIPOS PARA EL CONTROL DEL TEMPERATURA PARA HORNO 176
FIGURA 5-12 INSTALACIÓN DE EQUIPOS PARA EL CONTROL TEMPERATURA POR TRANSFERENCIA 176

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1-1. SOLICITUDES STANDARD MODBUS 22
TABLA 2-1. CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR DE FLUJO 39
TABLA 2-2. CARACTERÍSTICAS DEL TWLMDA20DRT Y TWDNOZ485T 40
TABLA 2-3. CARACTERÍSTICAS DEL VARIADOR DE FRECUENCIA 41
TABLA 2-4. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL TRANSMISOR DE PRESIÓN. 50
TABLA 2-5. CARACTERÍSTICAS DEL MÓDULO TWDAAMI2HT 51
TABLA 2-6. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL TRANSMISOR DE TEMPERATURA PARA RTD 59
TABLA 2-7. CARACTERÍSTICAS DEL AUTÓMATA S7-200 CPU 224 61
TABLA 2-8. CARACTERÍSTICAS DEL MÓDULO EM235 61
TABLA 2-9. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS VISUALIZADOR TD 200 69
TABLA 2-10. CARACTERÍSTICAS TRANSMISOR DE TEMPERATURA 70
TABLA 2-11. CARACTERÍSTICAS S7-200 CPU 226 72
TABLA 2-12. CARACTERÍSTICAS DEL MODULO ANALÓGICO EM 235 72
TABLA 3-1. PRINCIPALES BUSES DE CAMPO 80
TABLA 3-2. OPCIONES DE COMUNICACIÓN DE AUTÓMATAS SIEMENS Y TWIDO. 81
TABLA 3-3. DIRECCIONES MODBUS PARA LOS MÓDULOS DE CONTROL 82
TABLA 3-4. CARACTERÍSTICAS DEL CABLE UTP CAT. 5E. 83
TABLA 3-5. DIRECCIONAMIENTO MODBUS PARA CONTROLADORES TWIDO 87
TABLA 3-6. DIRECCIONAMIENTO MODBUS PARA CONTROLADORES S7-200 89
TABLA 3-7. DIRECCIONAMIENTO MODBUS PARA LOOKOUT 93
TABLA 3-8. DETALLE DE LOS PARÁMETROS BÁSICOS DEL OBJETO MODBUS 95
TABLA 3-9. DETALLE DE LOS PARÁMETROS AVANZADOS DEL OBJETO MODBUS 97
TABLA 3-10. CARACTERÍSTICAS DEL CABLE PPI 100
TABLA 3-11. CLASIFICACIÓN DE LAS REDES DE COMPUTADORES SEGÚN EL ÁREA DE COBERTURA. 101
TABLA 3-12. DIRECCIONES IP DE LAS ESTACIONES DE TRABAJO EN LA RED DE USUARIOS 102
TABLA 3-13. ENTRADAS Y SALIDAS DE AUTÓMATA DE CONTROL DE FLUJO 107
TABLA 3-14. VARIABLES UTILIZADAS PARA LA LÓGICA DE CONTROL DE FLUJO 108
TABLA 3-15. ENTRADAS Y SALIDAS DE AUTÓMATA DE CONTROL DE PRESIÓN 114
TABLA 3-16. VARIABLES UTILIZADAS PARA LA LÓGICA DE CONTROL DE PRESIÓN 115
TABLA 3-17. ENTRADAS Y SALIDAS DE AUTÓMATA DE CONTROL DE TEMPERATURA I 122
TABLA 3-18. VARIABLES UTILIZADAS PARA LA LÓGICA DE CONTROL DE TEMPERATURA I 122
TABLA 3-19. ENTRADAS Y SALIDAS DEL AUTÓMATA DE CONTROL DE TEMPERATURA II 129
TABLA 3-20. VARIABLES UTILIZADAS PARA LA LÓGICA DE CONTROL DE TEMPERATURA II 130
TABLA 3-21. FUNCIONES DE TECLAS DEL TD 200 135
TABLA 4-1. PARÁMETROS PARA UNA NUEVA CUENTA DE USUARIO 139
TABLA 4-2. USUARIOS DEL SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO IMPLEMENTADO. 139
TABLA 4-3. COMPONENTES DE LA PANTALLA PRINCIPAL 141
TABLA 4-4. COMPONENTES PANEL DE INFORMACIÓN 142

TABLA 4-5. DESCRIPCIÓN DE LA CUADRO DE DIALOGO PARA ALARMAS 144
TABLA 4-6. COMPONENTES PARA PANTALLA PROCESO MODULO CONTROL DE FLUJO 145
TABLA 4-7. COMPONENTES DE LA PANTALLA DE GRÁFICA DE CONTROL DE FLUJO 146
TABLA 4-8. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA PANTALLA DE APLICACIÓN. 147
TABLA 4-9. OBJETOS UTILIZADOS PARA LA HMI CONTROL DE FLUJO 148
TABLA 4-10. NIVEL DE ACCESO HMI CONTROL DE FLUJO 149
TABLA 4-11. COMPONENTES PARA PANTALLA PROCESO MODULO CONTROL DE PRESIÓN 150
TABLA 4-12. COMPONENTES PARA PANTALLA APLICACIÓN MODULO DE CONTROL DE PRESIÓN 151
TABLA 4-13. OBJETOS UTILIZADOS PARA LA HMI CONTROL DE PRESIÓN 152
TABLA 4-14. NIVEL DE ACCESO HMI CONTROL DE PRESIÓN..... 152
TABLA 4-15. COMPONENTES PARA PANTALLA PROCESO MODULO CONTROL DE TEMPERATURA I 154
TABLA 4-16. COMPONENTES PARA PANTALLA APLICACIÓN MODULO DE TEMPERATURA DE HORNO 155
TABLA 4-17. OBJETOS UTILIZADOS PARA LA HMI CONTROL DE TEMPERATURA PARA HORNO 156
TABLA 4-18. NIVEL DE ACCESO HMI CONTROL DE TEMPERATURA PARA HORNO 156
TABLA 4-19. COMPONENTES DE PANTALLA DE PROCESO CONTROL DE TEMPERATURA II 158
TABLA 4-20. OBJETOS UTILIZADOS PARA LA HMI CONTROL DE TEMPERATURA II 159
TABLA 4-21. NIVEL DE ACCESO HMI CONTROL DE TEMPERATURA POR TRANSFERENCIA..... 159

RESUMEN

El presente proyecto surge de la necesidad de integrar cuatro módulos didácticos implementados en el laboratorio de Control de Procesos de la EPN, para alcanzar este objetivo se utiliza un esquema de supervisión y control distribuido que permite a un grupo de controladores locales distribuidos en diferentes puntos del laboratorio regular los lazos de control y además a través de enlaces de comunicación coordinados por un red de computadores permite el monitoreo y control de las variables.

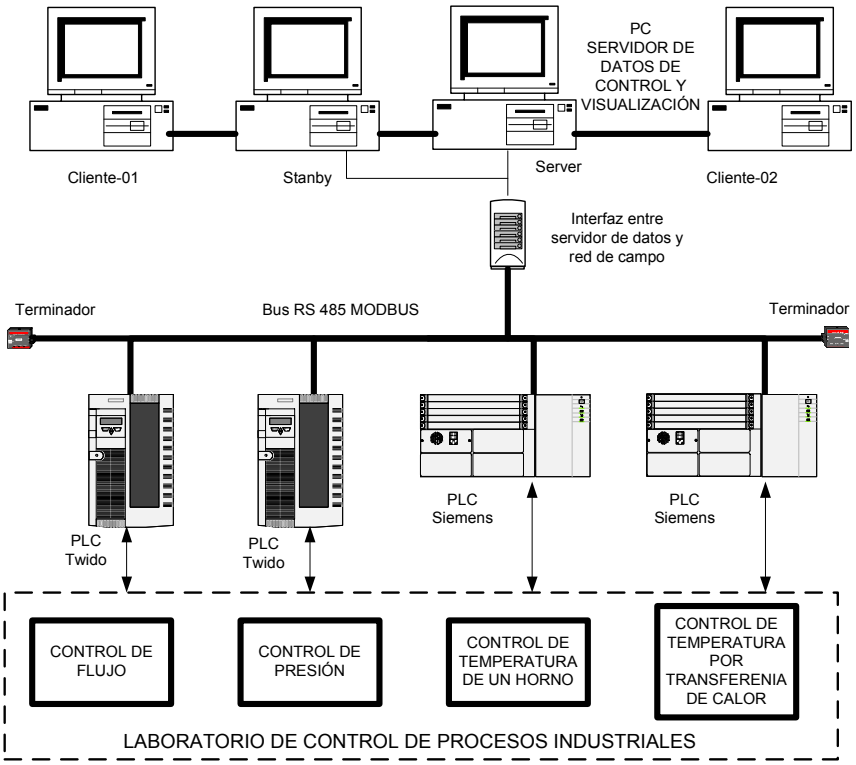

Figura. SCD aplicado a la planta didáctica del Laboratorio de Control de Procesos

Como se ve en la figura anterior, los dispositivos de medición y control de los diferentes módulos se conectan a controladores lógicos programables de diferentes marcas utilizadas en la industria como son Siemens y Telemecanique. Estos autómatas se conectan a un sistema que almacena toda la información del estado de los procesos, éste se lo conoce como servidor de datos y utiliza un bus de campo MODBUS para establecer el enlace de comunicación con los controladores.

El sistema servidor de datos está constituido por un computador principal SERVER y otro secundario STANDBY que aseguran la continuidad de operación en caso de falla del

equipo principal. Existen otros ordenadores personales capaces de utilizar los datos recopilados en el servidor para realizar el monitoreo y control remoto de los módulos, se los conoce como CLIENTES.

La visualización y control del sistema distribuido se lo realiza a través de interfaces gráficas para el operador conocidas como HMI y que han sido implementadas con el software LOOKOUT de National Instruments.

Al concluir este trabajo se demuestra la factibilidad de realizar un SCD de bajo costo y gran robustez, se muestra la forma de conectar buses de datos standard usualmente utilizados para la transferencia de datos en la industria y se realiza una aplicación con un software de Control Distribuido de uso cotidiano en ingeniería, cumpliendo así los objetivos planteados para este proyecto.

PRESENTACIÓN

Dada la necesidad de tener un conocimiento de la integración entre controladores y computadores en el Laboratorio de Control de Procesos Industriales se desarrolla este proyecto, el cuál presenta un sistema de supervisión control distribuido SCD que comunica a un grupo de PC's (servidor de datos y clientes) con PLC´s (controladores locales) a través de la red standard RS-485 bajo el protocolo MODBUS que permite supervisar y controlar el funcionamiento de los módulos didácticos considerados en este proyecto. La visualización y control de los procesos en tiempo real se realiza a través de las interfaces hombre-máquina (HMI) desarrolladas con el software "LOOKOUT 5.0" de National Instruments.

En el primer capítulo se describen los conceptos básicos relacionados al empleo del computador como sistema de control en la industria y se profundiza en las características, ventajas y beneficios que se obtienen con la implementación de un Sistema de Control Distribuido denominado de aquí en adelante como SCD.

En el segundo capítulo se pretende realizar una descripción detallada de los cuatro módulos didácticos que forman parte del sistema de control distribuido, además se describe de forma general la aplicación de cada uno de éstos.

El tercer capítulo se describe la selección de la red de autómatas programables, el diseño, la instalación, y la configuración de los controladores y computadoras para lograr la conectividad entre los equipos. Además se refiere al desarrollo del sistema de control implementado en los cuatro módulos didácticos considerados en este proyecto.

En el cuarto capítulo se desarrolla la interfaz gráfica para el operador, creando pantallas globales e individuales de cada prototipo para el manejo de consignas, lectura de variables, presentación de alarmas, gráficas, históricos, permisos de usuarios y claves. Además se realiza una breve descripción para crear un sistema redundante con Lookout.

En el quinto capítulo se describe algunas pruebas realizadas y los resultados obtenidos en este trabajo.

En el sexto capítulo se elabora las conclusiones y recomendaciones obtenidas en el diseño e implementación de este proyecto.

CAPITULO 1.

INTRODUCCIÓN AL CONTROL DISTRIBUIDO EN PROCESOS INDUSTRIALES

En este capítulo se describen conceptos básicos relacionados a la introducción del computador como sistema de control en la industria, además de la evolución de los sistemas de control computarizado y se profundiza en las características, la arquitectura, los componentes, las ventajas y los beneficios que se obtienen con la implementación de un Sistema de Control Distribuido conocido ampliamente con las siglas DCS (Distributed Control System) y que se denomina en este proyecto de titulación como SCD.

1.1 INTRODUCCIÓN AL CONTROL DE PROCESOS.

La necesidad de fabricar productos competitivos con un alto rendimiento, que tengan características repetitivas y cuya calidad se mantenga estable dentro de las especificaciones de fabricación, la creciente preocupación en el ahorro de la energía consumida en la fabricación y en la conservación del medio ambiente, han obligado a controlar automáticamente todo proceso industrial, puesto que las condiciones de fabricación indicadas cada vez son más restrictivas y difíciles de conseguir realizando exclusivamente un control manual. Los objetivos que todo control de procesos debe cumplir, se pueden resumir en los siguientes: [1]

- Operar el proceso en forma segura y estable.
- Diseñar sistemas de control que el operador pueda vigilar, comprender y, cuando sea necesario, manipular en forma selectiva.
- Evitar desviaciones importantes respecto a las especificaciones de productos durante las perturbaciones.
- Permitir que el operador cambie un valor deseado o punto de consigna sin perturbar indebidamente otras variables controladas.
- Evitar cambios considerables y rápidos en variables manipuladas que podrían incumplir restricciones de operación, o perturbar unidades integradas o situadas en niveles inferiores.
- Operar el proceso en forma congruente con los objetivos de calidad de cada producto. Así, las desviaciones en la calidad podrían ser menos permisivas en un producto que en otro.
- Controlar las cualidades del producto en valores que maximicen su utilidad y minimicen el consumo de energía.

---

[1] "Control distribuido" Asignatura de Control Electrónico del Departamento de Electrónica de la Universidad de Alcalá. Http://www.depeca.uah.es/wwwnueva/docencia/it-inf/ctr-eco/tema4.pdf

Estos objetivos se han ido incorporando al control de procesos paulatinamente, conforme la técnica y el conocimiento lo han ido permitiendo.

1.2 EL COMPUTADOR COMO ELEMENTO DE SUPERVISIÓN Y CONTROL.

Poco después de la introducción de los sistemas de control electrónico, analógico y como consecuencia de la gran expansión que la electrónica ha estado teniendo, fueron apareciendo los microprocesadores y con ello surgieron los computadores digitales capaces de llevar a cabo el control de procesos, debido a toda la flexibilidad que brinda una máquina programable tanto en memoria como en cálculo y toma de decisiones.

En este punto se debe aclarar que el término computador utilizado en este proyecto de titulación, no se refiere como generalmente se tiene la idea de un ordenador personal ó PC, más bien representa al elemento de control industrial compuesto por una unidad central de procesamiento, memoria, periféricos e interfaces coordinados a través de un programa lógico secuencial tal como se puede ver en la Figura 1-1.

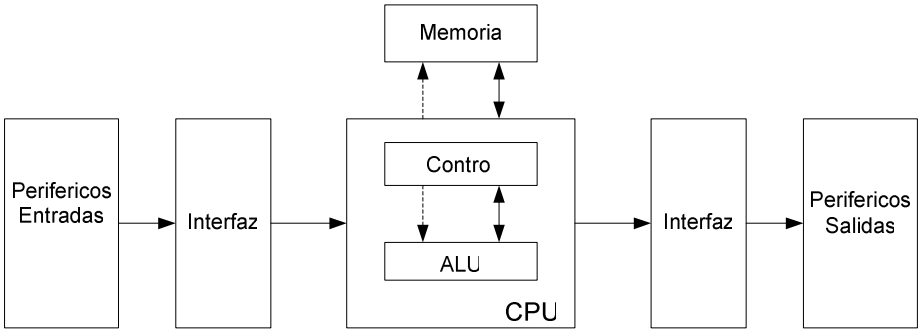

Figura 1-1 Estructura básica de un computador como elemento de control

A continuación se presentan algunas razones que justifican el empleo del computador para supervisar, adquirir datos y actuar sobre un proceso, convirtiéndose en un elemento operativo imprescindible en toda industria moderna:

- La información obtenida de un proceso industrial, es muy fácil de procesar en forma precisa en el computador y su almacenamiento puede hacerse en varios medios de respaldo como son discos duros, cintas magnéticas, fichas, cintas de papel.

- La computadora permite el uso de diversos sistemas para rechazar errores o señales erróneas y además las operaciones lógicas de funcionamiento pueden ser modificadas con gran facilidad.
- El arranque y paro programado de grandes y complejos procesos industriales requieren de la perfecta sincronización de eventos en secuencia que ameritan el uso de computadoras e instrumentos de medición en línea para evitar accidentes y daños en el equipo.
- Hasta el momento los conceptos de teoría de control moderno tales como estado-espacio, optimización y demás, han tenido poca aplicación en el control digital de procesos industriales, por su dificultad de aplicación y en parte porque los algoritmos tradicionales del control de procesos han probado su eficiencia, pero en la actualidad con la ayuda de la computadora se ha logrado desarrollar los términos antes mencionados.
- En la mayoría de las nuevas plantas industriales se requiere mejorar la calidad del ambiente de trabajo para que la jornada laboral sea menos monótona y de ser posible más agradable, a través del uso de las denominadas interfaces hombre-máquina (HMI) implementadas en el computador.
- La utilización de un computador como elemento que lleva a cabo el monitoreo y control de varios procesos permite a los sistemas de operación industrial avanzar más allá del lazo de regulación y ahora pueden ejercer labores de administración de forma que se ejecuten operaciones financieras que optimicen la estrategia de producción, y que junto a las consignas propuestas establezcan los criterios básicos para dirigir la manufactura en el sentido adecuado.

1.3 EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DE PROCESOS POR COMPUTADOR.

El desarrollo del control de procesos industriales por computador ha estado marcado por la evolución de los ordenadores, de la teoría y técnicas de control, y del equipo de medida, regulación y accionamiento. Sólo cuando se han introducido grandes mejoras en estos campos ha sido posible utilizar los ordenadores electrónicos para controlar directamente un proceso industrial. [2]

---

[2] COROMINAS VIÑAS JOAQUIN Introducción al control de Procesos por Ordenador. Editorial Marcombo. Universidad Politécnica de Barcelona. España, 1976

A continuación se describe brevemente los diferentes esquemas de control por computadora que han ido evolucionando cronológicamente de acuerdo a la tecnología existente en el campo industrial, tal como se ve en la Figura 1-2.

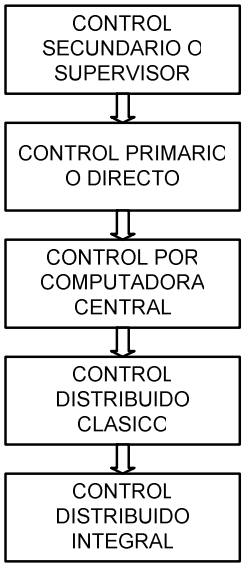

Figura 1-2 Evolución de los sistemas de control de procesos por computador

Los conceptos y figuras utilizadas en esta descripción han sido basadas del artículo de referencia señalado [3].

1.3.1 CONTROL SECUNDARIO O SUPERVISOR

En este tipo de control la computadora se usa para monitorear las variables del proceso con el fin de supervisar el correcto desarrollo del mismo. En el caso más complejo la computadora calcula los puntos de operación de los controladores analógicos y se los envía (ver la Figura 1-3).

---

[3] "Uso de Computadoras Digitales en el Control de Procesos Industriales" Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) de México Prof. MC. Salvador Saucedo. http://www.prodigyweb.net.mx/saucedo8/controlIX/cap1.pdf

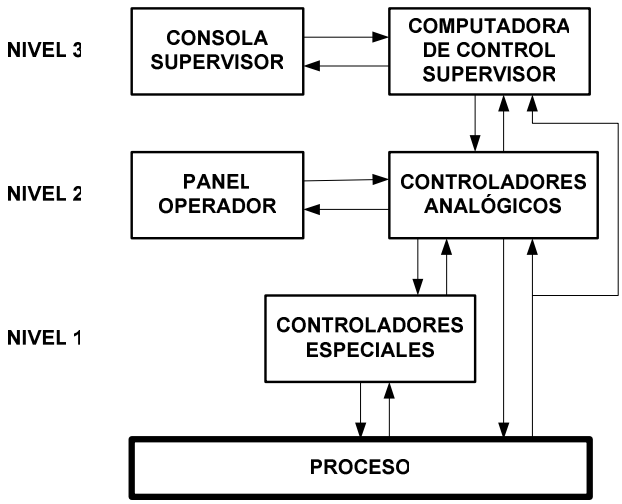

Figura 1-3 Control supervisor o secundario

1.3.2 CONTROL PRIMARIO O DIRECTO

En este caso la computadora realiza directamente la regulación de la variable del proceso, desechando el empleo del regulador convencional. Este esquema se visualiza en la Figura 1-4, donde se indica que el computador del nivel 1 no contiene interfaz con operador alguno y que es solamente el ordenador en el nivel 2 el que permite manipulación por parte del operador. La separación por niveles es conceptual, pues en determinada aplicación las máquinas de los dos niveles pudieran ser el mismo dispositivo.

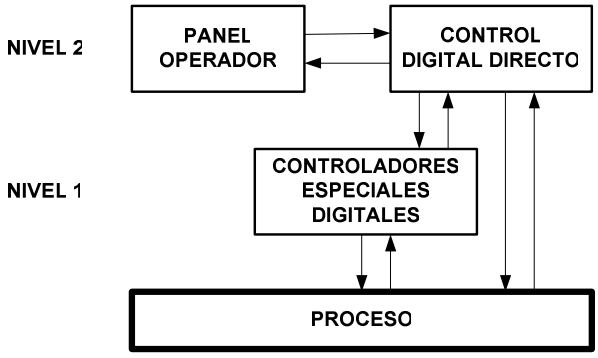

Figura 1-4 Control primario o directo

1.3.3 CONTROL POR COMPUTADORA CENTRAL

Una sola computadora controla y regula todos los puntos de una planta o de una vasta zona de ella. Este ordenador está localizado en un cuarto acondicionado, que recibe todas las señales de medición y que produce todas las señales de actuación de la planta.

En este esquema se conjunta los dos anteriores puesto que tiene la supervisión del proceso y el control directo del mismo como se puede ver en la Figura 1-5.

Si bien el control centralizado elimina muchos de los problemas de los primeros dos esquemas, produce otros de igual o mayor importancia. Por un lado, si la computadora central falla, obliga a tener los sistemas anteriores como respaldo. Por otro lado, el cableado de señales hacia y desde la computadora central origina grandes costos.

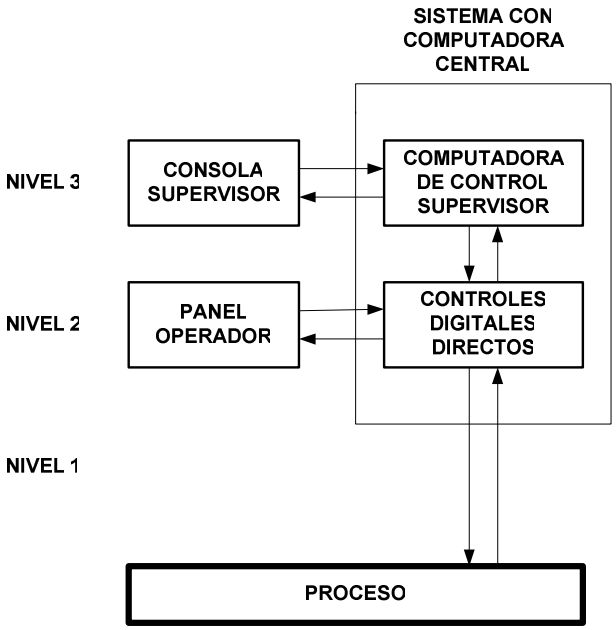

Figura 1-5 Control por computadora central

1.3.4 CONTROL DISTRIBUIDO

Con la utilización de microprocesadores en la fabricación de controladores locales se materializó un esquema que ha probado ser superior al centralizado conocido como distribuido, el cual se divide cronológicamente y por su potencialidad en:

- **Control Distribuido Clásico**

En el control distribuido clásico consiste en una serie de controladores locales que se hallan distribuidos en diferentes puntos de la planta, encargándose cada uno de ellos de regular uno o varios lazos de control, simplificando la conexión con el proceso. Todos los controladores locales se conectan a enlaces de comunicación para transmitir y recibir datos en una computadora en la sala de control, permitiendo al operador monitorear y manipular todos los lazos de control de la planta (ver la Figura 1-6).

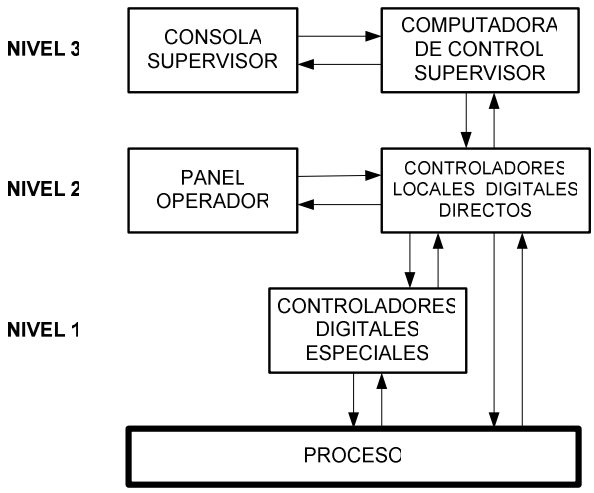

Figura 1-6 Control Distribuido Clásico

- **Control Distribuido Integral**

Los tres niveles ya vistos de los dispositivos en un control distribuido clásico constituyen en realidad un sistema de jerarquía de control. Cuando se añade un nivel en lo alto de la jerarquía, con el fin de optimizar el funcionamiento global de la planta, se dice que se tiene un control distribuido integral. Este esquema permite programar la producción y dar información gerencial, produciendo gran impacto en el nivel de ventas, cantidad de existencias, y en el resto inferior del sistema (ver la Figura 1-7).

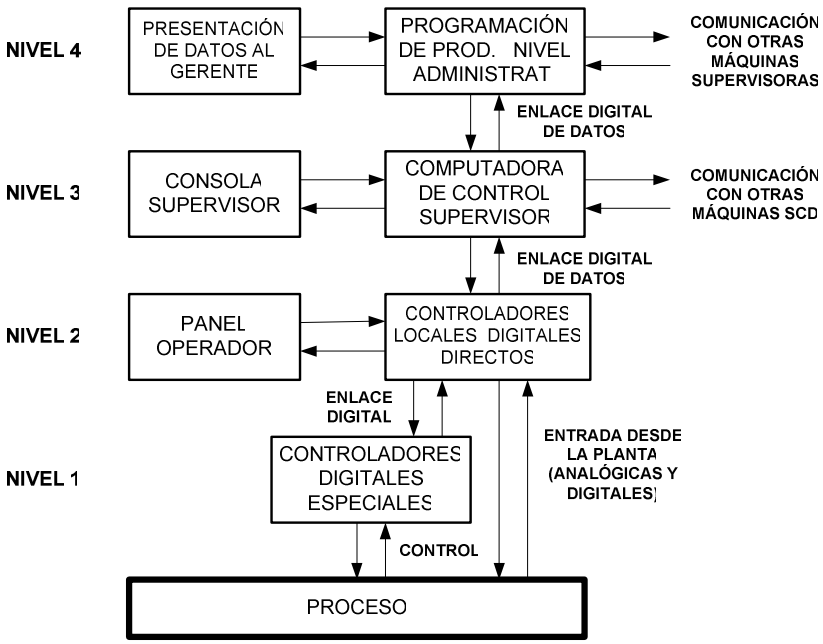

Figura 1-7 Control Distribuido Integral

En este punto se debe hacer la siguiente aclaración: en su definición original el control distribuido constituía los niveles (1), (2) y (3) como se ve en la figura 1-6, seguidamente se incorporó el nivel (4) más vinculado al sistema de gestión de la empresa como se ve en la Figura 1-7. Hoy en día, **cuando se habla de Control Distribuido se está haciendo referencia al Control distribuido Integral,** de ahí que se usa esta misma generalización en este capítulo y de ahora en adelante se conocerán como **Sistemas de Control Distribuido SCD ó de información total.**

1.4 SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO SCD O DE INFORMACIÓN TOTAL.

En estos párrafos, se describe las características principales, la arquitectura, los componentes, las ventajas, y beneficios que tiene la implementación de un Sistema de Control Distribuido denominado en este proyecto con las siglas SCD.

INTRODUCCIÓN

Desde hace algunos años, las palabras control distribuido, buses de campo, sensores inteligentes y redes industriales, han dejado de ser simplemente palabras y se han convertido en toda una realidad dentro del ámbito de la automatización industrial.

Los antiguos sistemas de control, basados en grandes computadoras centrales y kilómetros de cableado resultaban ser inapropiados para las exigencias del momento del mercado donde los procesos de fabricación necesitaban de una automatización más flexible, robusta y que además redujese los costes de instalación y mantenimiento.

Fue en estos momentos cuando el concepto de control distribuido empezó a tomar gran relevancia. Los dispositivos de campo dejaban de ser simples instrumentos de medida, la microelectrónica les había dotado de capacidades para procesar la información y realizar un diagnóstico de la misma.

El objetivo que se buscaba era reducir las tareas del sistema de control, permitiéndole realizar nuevas tareas de mando y supervisión sofisticadas, de esta manera se conseguía descentralizar el sistema volviéndolo más modular, flexible y sobre todo robusto.

1.4.1 CARACTERÍSTICAS DEL SCD

El SCD es el paso siguiente en la evolución de los sistemas de control que se han expuesto en el punto anterior. Así, en los sistemas centralizados, su potencia de tratamiento se concentra en un único elemento que es el computador central, mientras que en el control distribuido la potencia de tratamiento de la información se encuentra repartida en el espacio físico de una planta. Los sistemas de control distribuido fueron desarrollados para proporcionar las ventajas del control por computador central pero con una mayor seguridad y flexibilidad.

Este esquema de control resulta cada vez más confiable y seguro, por lo que se ha consolidado en el mercado industrial como uno de los sistemas ideales de control y hoy en día, sus ventajas, son tan claras que es inimaginable no considerarlo como posible opción en el diseño de nuevas instalaciones industriales o en la modernización de instalaciones ya existentes.

En la actualidad este esquema ofrece varias ventajas, entre las que sobresalen: la modularidad en el diseño que permite expansiones y recambios, facilidad de uso con interfaz ergonómica, amplia selección de algoritmos potentes de control, herramientas de diagnóstico, técnicas de redundancia en hardware y software para evitar fallas, entre otras.

Para obtener estas ventajas los SCD deben cumplir con las siguientes características:

- Paralelismo en el control de procesos. Un SCD descarta el empleo de un único computador o controlador por el serio inconveniente de la seguridad y propone sustituirlo por varios controladores digitales capaces de controlar individualmente un cierto número de variables, para así “distribuir” el riesgo del control único en un proceso.
- Flexibilidad de adaptación a distintas tareas. Cada controlador digital debe ser “universal”, es decir, disponer de algoritmos de control seleccionables por software, que permitan resolver todas las situaciones de control y brinden así versatilidad al sistema.
- Tiempo real en el control y en las comunicaciones. La velocidad en la adquisición de los datos y su salida hacia los actuadores debe ser en “tiempo real”, lo que obliga a utilizar la tecnología más avanzada en microprocesadores.

- Sistema de comunicaciones determinista adaptado a diferentes entornos. En este punto, los sistemas de comunicación adquieren un protagonismo mayor en los SCD ya que deben ser rápidos y robustos. Esto ha originado la aparición de los buses de campo y redes locales, como los sistemas de comunicación por excelencia para la conexión de la instrumentación con las unidades de control y las unidades de manejo de producción, respectivamente.
- Apertura en el uso de estándares. Actualmente existe cerca de diez vendedores importantes de SCD, aproximadamente se usan cinco protocolos de comunicación, hay varias decenas de fabricantes de PLC's, cientos de fabricantes de equipos de medición y de transmisión. Por todo esto resulta difícil obtener un standard para los buses de campo, así como el uso del PC o autómatas como unidad de control, en lo que no hay duda es el hecho de que un SCD debe estar diseñado de tal manera que pueda integrase con cualquier equipo de distintos fabricantes.

1.4.2 ARQUITECTURA DEL SCD.

La nomenclatura de los niveles y la clasificación aquí presentadas son una propuesta hecha por la ISA desde hace unos 28 años, aunque debe decirse que las arquitecturas que en la realidad se ofrecen en el mercado son muy elásticas en cuanto a la interpretación de los mismos. De todos modos, éstos constituyen el marco conceptual de todo proyecto de SCD.

Un sistema de control distribuido consta de uno o más "niveles" de control, los cuales, están vinculados con el fin de ejecutar conjuntamente tareas complejas con un máximo de efectividad y una elevada optimización en el uso de los recursos.

En la Figura 1-8 se muestra la relación existente entre los diferentes niveles de un SCD.

En los niveles inferiores de un control distribuido estarán aquellos elementos que están en contacto con el proceso, y por tanto, ajustados a los parámetros y variables que el proceso suministra y que el SCD debe controlar. En los niveles superiores, los computadores, estaciones de trabajo e incluso los autómatas pueden llevar a cabo funciones adicionales tales como: concentración de datos, análisis y optimización de unidades del proceso.

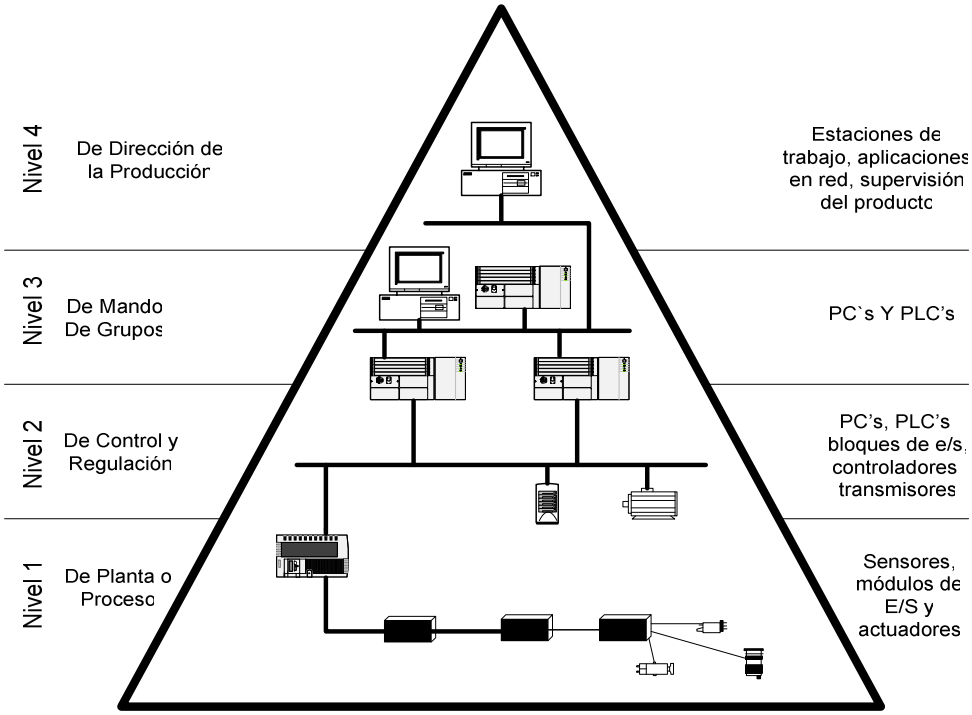

Figura 1-8 Niveles, conexiones y elementos que intervienen en un SCD

La adición de algún otro nivel al SCD puede también ayudar a integrar actividades relacionadas con una división o una planta, tal como compras, recepción de material, control de inventario, facturación, control de calidad y servicios al cliente o usuario. [4]

Los sistemas de control distribuido multinivel poseen todas las posibilidades de un sistema de control centralizado, mientras conservan la flexibilidad, seguridad y rapidez de respuesta de los controladores autónomos basados en microprocesadores. Por ejemplo, el fallo de cualquier componente de un SCD afecta sólo a una pequeña parte del proceso. Por otro lado, si un elemento de un nivel superior falla, los controladores del nivel 1 continuarán el control del proceso normalmente, entendiendo por normalidad la ejecución de la última labor encomendada o programada.

A diferencia de un sistema centralizado, sólo el nivel 1 debe estar conectado a las entradas y salidas del proceso. Un bus de datos sirve para la comunicación entre los controladores y la interfaz del operador. Esta distribución física en varios niveles de

[4] "Control distribuido" Asignatura de Control Electrónico del Departamento de Electrónica de la Universidad de Alcalá. Http://www.depeca.uah.es/wwwnueva/docencia/it-inf/ctr-eco/tema4.pdf

control puede reducir significativamente el coste del cableado y las modificaciones y mantenimiento pueden llevarse a cabo sin interrumpir el proceso.

Inclusive, los SCD son fácilmente ampliables. Cualquier dispositivo que haya de añadirse se comunica con otros dispositivos ya instalados en el mismo lugar. Esta modularidad proporciona una significativa mejora de costes durante todas las fases de un plan de automatización.

Si bien hay una cierta difuminación en las fronteras que separan los distintos niveles de un SCD, todavía se pueden enclavar ciertos elementos o componentes en determinados niveles, pues son característicos de ellos. En todo caso, no se puede cerrar un nivel con los elementos que se van a incluir en cada uno de ellos en las siguientes líneas, dejando siempre abierta la posibilidad de una nueva incorporación, reflejando de este modo el carácter abierto y flexible que debe rodear a todo SCD.

En los siguientes párrafos se revisa los diferentes niveles que se consideran dentro de un SCD: [5]

- **Nivel 1. De Planta o Proceso:**

Este nivel es el que físicamente se encuentra en contacto con el entorno a controlar, tal como su nombre lo indica. Para maximizar los beneficios de un Control Distribuido, en este nivel se utilizan sensores, actuadores y módulos de E/S de los denominados “inteligentes” y que generalmente están basados en microprocesadores (regulación digital).

Este tipo de elementos son muy flexibles, permitiendo modificar tanto el control como los cambios requeridos en el proceso, además de ofrecer una fácil ampliación en caso necesario. Inclusive, los módulos de E/S pueden manejar varios lazos de control, ejecutar algoritmos específicos, proporcionar alarmas, llevar a cabo secuencias lógicas y algunos cálculos y estrategias de control altamente interactivas. Sin embargo, el uso de los módulos inteligentes no es una norma para la implementación de un SCD.

---

[5] “Control distribuido” Asignatura de Control Electrónico del Departamento de Electrónica de la Universidad de Alcalá. Http://www.depeca.uah.es/wwwnueva/docencia/it-inf/ctr-eco/tema4.pdf

Los sensores, transductores, actuadores y demás instrumentos de análisis incluidos en el Nivel 1, se encargan de comunicar las condiciones del proceso al sistema de control por un lado, y por otro, ajustan el proceso de acuerdo con las órdenes recibidas desde el sistema de control, del mismo nivel o superior. En el primer caso tendríamos los sensores y transductores e instrumental de campo y en el segundo los actuadores.

- **Nivel 2. De Control y Regulación:**

En este nivel se encuentra la interfaz de operaciones de cada uno de los procesos controlados. Ésta permite al operador observar el estado del proceso y programar los elementos vinculados a él, individualmente si ello es necesario. Los autómatas (PLC's) ubicados en este nivel suelen ser de prestaciones más elevadas, dotados de módulos de comunicaciones industriales (buses de campo), además de sus funcionalidades características.

En este segundo nivel se encuentran las celdas o células, vinculadas a los diferentes procesos que permiten tener una visión global del estado de la planta, representaciones de los elementos o equipos de proceso, estado de alarmas y cualquier otro tipo de información.

- **Nivel 3. De Mando y de Grupos:**

En este nivel se sitúa la denominada "interfaz del ingeniero" y que hoy en día suele conocerse como "interfaz para el control de la línea de producción" de un SCD que facilita la coordinación de las diferentes células existentes en el nivel inferior, a la vez que supervisa y controla toda un área, permitiendo obtener una visión más amplia de lo que se está ejecutando en la planta. También proporciona información importante a los ingenieros después de la instalación y puesta en marcha del sistema de forma de obtener un análisis detallado de los datos generados en niveles inferiores

En el Nivel 3 de un sistema de control distribuido se produce la primera centralización, entendiendo por ello la concentración masiva de información, gracias a lo cual se pueden planificar estrategias sofisticadas en lo que a la producción industrial se refiere.

- **Nivel 4. De Dirección de la Producción:**

En este nivel se define la estrategia de la producción en relación con el análisis de las necesidades del mercado y se formulan previsiones de producción a largo plazo. Sobre estas previsiones, se planifica la producción en el Nivel 3. En este cuarto nivel se utilizan estaciones de trabajo, que permiten simular estrategias de producción e intercambiar datos con otros departamentos vinculados, además de establecer posibles cambios en ingenierías de los procesos.
Es un nivel con enfoques más mercantiles, por lo que no se profundiza más en él y tan sólo se añade que los computadores en este nivel están especializados en gestión y almacenamiento de datos, además de estar vinculados mediante la red de comunicación correspondiente a sus respectivas aplicaciones.

Cabe poner énfasis en que cada nivel de la arquitectura del SCD agrupa un conjunto de tareas específicas las cuáles están detalladas en el Anexo 1.

1.5 COMPONENTES DEL SCD

Para cumplir con las características y ventajas de todo SCD, éste debe estar integrado por los siguientes elementos: [6]

- Sistema de comunicaciones: red de usuarios, red de campo.
- Dispositivos de hardware de control y administración: PC's, PLC's, Controladores, Interfaces de usuario
- Software para el control y la supervisión de procesos

En la Figura 1-9 se puede ver el enlace que tiene cada uno de los elementos que constituyen un SCD.

---

[6] CREUS SOLÉ ANTONIO. Control de Procesos Industriales. Criterios de Implantación. Editorial Marcombo. Colección Productica, Barcelona-España, 1988.

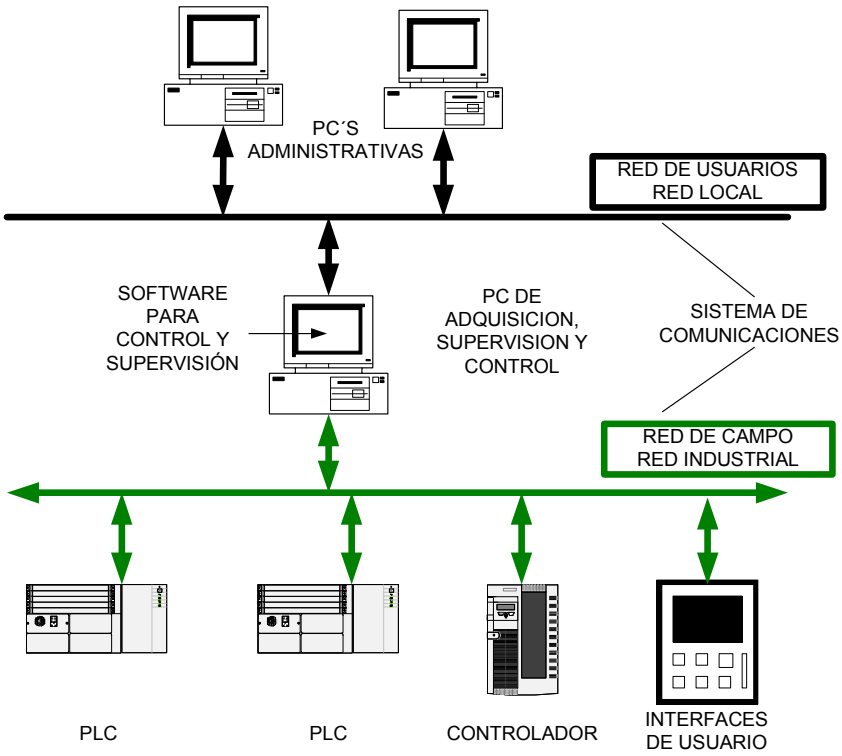

Figura 1-9 Componentes de un Sistema de Control Distribuido

1.5.1 SISTEMA DE COMUNICACIONES.

La parte neurálgica de un sistema de control distribuido lo constituye la parte de comunicaciones. El software que coordina dichas comunicaciones, reside en los controladores y protocolos de comunicaciones. El hardware considera los puertos de comunicación de controladores locales, de computadores, y la red física standard que interconecta equipos de cómputo y control provenientes de fabricantes diferentes.
Como se ve a lo largo de los puntos desarrollados hasta aquí, el sistema de control distribuido depende de la comunicación entre los diferentes equipos y dispositivos, situados en muchos casos en varios niveles de control. Cualquier nivel debe ser capaz de interrogar y dirigir dispositivos de niveles inferiores y comunicarse eficazmente con dispositivos situados al mismo o superior nivel.

Un camino para que la comunicación entre todos los niveles sea completa, esto se refiere a que los puntos más altos puedan saber en todo momento qué es lo que se está realizando en los puntos más bajos, es el uso de las Redes Locales (LAN) Industriales. Aunque existan protocolos como el MINIMAP que pretenden bajar el uso de la red local hasta los niveles inferiores de un sistema de control distribuido, no dejan de ser

protocolos que manejan grandes volúmenes de datos y por lo tanto no resultan apropiados para trabajar en *tiempo real*, como lo exige el nivel de mando.

Por lo dicho anteriormente, se requiere una red de nivel inferior, con protocolo ágil, cableado fácil y barato y que permita enlazar periféricos de bajo nivel a un control maestro. Éste a su vez puede disponer de un interfaz de enlace con una LAN y a través de ésta a redes WAN. Esta red local de nivel inferior se denomina bus de campo.

1.5.1.1 Bus de Campo

El bus de campo constituye el nivel más simple y próximo al proceso dentro de la estructura de comunicaciones industriales. Está basado en procesadores simples y utiliza un protocolo mínimo para gestionar el enlace entre ellos, con fiabilidad y posibilidades de integración del bus a una estructura de comunicaciones jerárquicamente superior y más potente, tal como se requiere, en los sistemas de control distribuido.

Entonces, la característica básica para que una red de comunicación pueda denominarse bus de campo es que permita intercambiar órdenes y datos entre productos de un mismo o de distintos fabricantes a través de un protocolo reconocido por cada uno de los nodos.

Inicialmente era utilizado como medio de comunicación entre dispositivos de nivel inferior, pero debido a la mejora en la velocidad de transmisión y la ínfima tasa de errores, ha pasado a ser considerado como una red local en los entornos de planta.

El mejor aval para que un bus de campo sea ampliamente aceptado es el respeto a la estructura de niveles OSI (Open Systems Interconnection), que aunque pensada para otros tipos de redes de más entidad, es perfectamente aplicado por los protocolos de este tipo de redes industriales.

Las características generales más comunes de los buses de campo son las siguientes:

- Las especificaciones de un bus admiten más de un tipo de conexión física de entre las normalizadas. La más común es un bus half duplex, comunicación en banda base, tipo RS-485. Se encuentran también opciones que trabajan con RS-422 y conexiones en bucle de corriente.

- Lo que realmente define el tipo de bus y le da nombre, son los dos grupos en que se dividen las tareas asignadas al *nivel de enlace de datos* del modelo OSI (nivel 2): MAC (Control de Acceso al Medio) y LLC (Control de Enlace Lógico).
- Los estándares de comunicación a nivel de bus de campo suelen cubrir sólo una parte del modelo OSI, concretamente los niveles 1 (físico), 2 (enlace) y en algunos casos el 7 (aplicación), así se puede ver en la Figura 1-10.

NIVEL 7 APLICACIÓN	Funciones y librerías Standarc Microprocesador / Microcontrolador
NIVEL 3-6	
NIVEL 2 ENLACE DE DATOS	LLC: Control de Enlace Lógico MAC: Control de acceso al medic
NIVEL 1 FÍSICO	Tipos de conectores Niveles de tensiór Medios de transmisión,etc

Figura 1-10 El bus de campo según el modelo de nivel o capas ISO/OSI

- El nivel de aplicación (7), dirigido al usuario, suele ser propio de cada fabricante.
- En la mayor parte de los buses de campo, el protocolo está previsto para gestionar una red con estructura lógica de tipo maestro-esclavo, donde el control de la red lo tiene siempre el maestro. Sin embargo, algunos buses más recientes proponen una estructura con la posibilidad de maestro flotante o multimaestro
- Poseen mecanismos de control de errores muy optimizados y redundancia para evitar fallos que dejen al bus fuera de servicio.

El más serio intento de normalización de un bus de campo por parte de un organismo internacional de reconocido prestigio, ha sido el emprendido por el IEC (Comité Electrotécnico Internacional), ha definido unas reglas marco bastante genéricas, constituyendo esto un punto de partida importante para acercarse al tan deseado estándar. Las condiciones fijadas como marco por el IEC son las siguientes:

- *Nivel físico*. Bus serie controlado por un maestro, comunicación half duplex trabajando en banda base.
- *Velocidades*. Dos alternativas: 1 Mbit/s para distancias cortas o valores inferiores, entre 250 Kbits/s a 64 Kbits/s, para distancias largas.
- *Longitudes*. Dos alternativas: 40 m para la máxima velocidad y 350 m para velocidades más bajas.

- *Número de periféricos*. Máximo de 30 nodos, con posibles ramificaciones hasta un máximo de 60 elementos.
- *Tipo de cable*. Pares de cables trenzados y apantallados (STP).
- *Conectores*. Bornes de tipo industrial o conectores tipo DB9 o DB25.
- *Conexión/desconexión "on line"*. La conexión y/o desconexión de algún nodo o derivación no debe interferir el tráfico de datos.
- *Topología*. Bus físico con posibles derivaciones hacia los nodos o periféricos.
- *Longitud de ramificaciones*. Máxima longitud de las derivaciones de 10 m.
- *Aislamientos*. 500 VAC permanentes entre elementos de campo y bus. Tensión de prueba 1500 VAC/1 min.
- *Seguridad intrínseca*. Opción a conectar elementos de campo con tensiones reducidas para atmósferas explosivas.
- *Alimentación*. Opción de alimentar los elementos de campo a través del bus.
- *Longitud de mensajes*. Mínimo 16 bytes por mensaje
- *Transmisión de mensajes*. Posibilidad de dialogo entre cualquier par de nodos sin repetidor y la posibilidad de que la comunicación se haga a través de un maestro.
- *Maestro flotante*. Posibilidad de maestro flotante entre diversos nodos.
- *Implementación de protocolo*. Los circuitos integrados que implementen el protocolo deben estar disponibles comercialmente y ser de dominio público. [7]

Las condiciones propuestas por el IEC admiten varios posibles candidatos a bus de campo estándar. De hecho existen muchos buses comerciales disponibles como son los siguientes:

- MODBUS.
- PROFIBUS
- HART
- FIELDBUS
- CAN
- ASI
- DEVICENET
- LONWORKS
- BITBUS

---

[7] "Control distribuido" Asignatura de Control Electrónico del Departamento de Electrónica de la Universidad de Alcalá. Http://www.depeca.uah.es/wwwnueva/docencia/it-inf/ctr-eco/tema4.pdf

1.5.1.2 Protocolo de Comunicación MODBUS

En su definición inicial era una especificación de tramas, mensajes y funciones utilizada para la comunicación con los PLC Modicon. Actualmente Modbus puede implementarse sobre cualquier línea de comunicación serie y permite la comunicación por medio de tramas binarias o ASCII con un proceso interrogación respuesta simple.

Debido a su simplicidad y especificación abierta se ha convertido en un bus estándar ampliamente utilizado para el enlace serie entre dispositivos industriales de distintos fabricantes. Entre los equipos que lo utilizan se puede mencionar: computadores, controladores lógicos programables, pantallas de visualización, variadores de velocidad, sensores y actuadores remotos.

El modo de intercambio de los mensajes y la detección de errores se realiza en forma ordenada, Modbus es un protocolo maestro/esclavo, en donde un maestro, y sólo uno, pide respuestas de los esclavos o realizar acciones dependiendo de las peticiones, así como se ve en la Figura 1-11.

Éste puede dirigirse a los esclavos individuales o iniciar una difusión de mensajes para todos ellos. Los esclavos devuelven un mensaje o respuesta a las peticiones que se les envían individualmente. No se devuelven respuestas a las peticiones de difusión general desde el maestro.

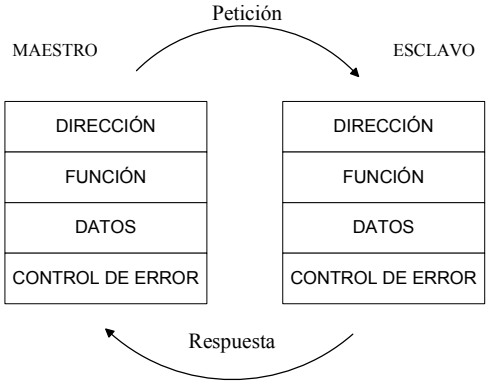

Figura 1-11 Intercambio de mensajes en el protocolo MODBUS

El protocolo Modbus admite dos formatos de capa de enlace de datos: ASCII y RTU. Cada uno está definido por la implementación de la capa física: ASCII utiliza 7 bits de datos y RTU utiliza 8 bits de datos. Cuando se utiliza el modo ASCII Modbus, cada byte del mensaje se envía como dos caracteres ASCII.

La trama Modbus ASCII comienza con un carácter inicial (':') y puede finalizar con dos caracteres finales (CR y LF). El carácter de fin de trama predeterminado es 0x0A (LF). El valor de comprobación para la trama Modbus ASCII es un complemento de dos de la trama, excluyendo los caracteres inicial y final. El modo Modbus RTU no vuelve a formatear el mensaje antes de transmitirlo; sin embargo, utiliza un modo de cálculo de suma de verificación diferente, especificado como CRC.

En la actualidad Modbus es soportado por el grupo de automatización Schneider (Telemechanique, Modicon) y otros fabricantes. Su principal inconveniente es que no está reconocido por ningún organismo de Standard internacional.

A continuación se listan las principales características del bus de campo MODBUS: [8]

- Medio de transmisión Normativa: no determinada
- Normativa (s) aplicable (s): no determinada.
- Nivel físico de transmisión típico: bus serial RS 485 half duplex balanceada.
- Control de acceso al medio: Maestro/Esclavo.
- Acceso a la red: Token Passing
- Velocidad de transmisión [bits/s] : no determinado (1,2 kB-115,2 kB típico)
- Longitud máxima: 1200 m.
- Número de periféricos: máximo 247.
- Tipo de cable. Pares de cables trenzados (UTP) y cable apantallado (STP).
- Conectores. Bornes de tipo industrial o conectores tipo D9 o D25.
- Topología: estrella o bus
- El protocolo especifica: formato de trama, secuencias y control de errores.
- Existen dos variantes en el formato: ASCII y RTU
- Niveles implantados del modelo ISO/OSI: 1,2 y 7
- La dirección 0 esta reservada para mensajes de difusión sin respuesta.
- Destino: red de control de proceso.
- Tipo de equipo conectado: equipos de automatismo.
- Características eléctricas: RS485 (EIA o V11/CCITT)
    - tensión de emisión: nivel 0 (+1,5 V a +5 V), nivel 1: (-1,5 V a -5 V).
    - tensión de recepción: nivel 0 (> +0,2 V), nivel 1(< -0,2 V).

---

[8] Cuaderno Técnico nº 147, Iniciación a las redes de comunicaciones numéricas, Schneider Electric, E. K.ning.

Para intercambiar datos entre dispositivos con el fin de acceder a información de bits y palabras utilizando el protocolo MODBUS se debe utilizar un grupo de peticiones que realizan distintas tareas, en la Tabla 1-1 se muestra un breve resumen de las solicitudes mencionadas.

CÓDIGO	PETICIÓN
O1	Leer el estado de varios bits de salidas (bobinas lógicas)
O2	Leer el estado de varios bits de entradas (entradas lógicas)
O3	Leer el estado de varios registros de salidas (almacenamiento)
O4	Leer el estado de varios registros de entradas
O5	Escribir en un bit de salida (bobina lógica)
O6	Escribir en un registro de salida (almacenamiento)
15	Escribir en varios bits de salidas (bobinas lógicas)
16	Escribir en varios registros de salidas (almacenamiento)

Tabla 1-1. Solicitudes Standard Modbus

1.5.2 DISPOSITIVOS DE HARDWARE DE CONTROL Y ADMINISTRACIÓN.

Como ya se dijo un SCD es básicamente la distribución física de controladores locales en diferentes áreas de una planta, enlazados a través de un sistema de comunicaciones, con el objeto de supervisar y controlar las variables involucradas en un proceso. Dentro de los dispositivos de control que regulan y manipulan las variables de proceso se puede mencionar a PC's y PLC's que pueden estar colocados como:

- controladores básicos que manejan pequeño números de lazos de control.
- controladores multifunción que manejan de 30 a 50 lazos.
- consolas de operación y de ingeniería.
- módulos de manejo de datos históricos
- módulos de control avanzado, o multiplexores de entrada.

Los volúmenes de datos aumentan considerablemente y los computadores personales (PC) empiezan a hacer acto de presencia en las industrias como sistemas de almacenamiento de datos y además realizando tareas de interfaz hombre maquina (HMI), pues los enormes paneles son sustituidos por pantallas con entornos gráficos mas intuitivos y flexibles de configurar.

En el control de maquinaría en ambientes industriales en condiciones adversas (con polvo, variaciones de voltaje.), los PLC son los encargados de las tareas de control y no han podido ser desplazados.

Aunque el descenso en el precio de los computadoras personales junto con el aumento de las prestaciones de los mismos está propiciando que éstos sustituyan a los PLC's en las tareas de control abriendo un nuevo debate sobre el uso del PC o PLC como unidad de control. En la actualidad los PLC's con sus memorias de programas limitadas son mucho más rápidos para reaccionar que las PC's, razón por la que todavía no han sido desplazados en el mercado.

1.5.3 SOFTWARE PARA EL CONTROL Y LA SUPERVISIÓN DE PROCESOS.

Un SCD necesita de un software para su correcta administración el que esta enfocado principalmente a brindar la información a los diversos niveles de la organización laboral, que conduzcan a la toma de decisiones que a su vez redunde en una mejora en la producción. [9]

Este conjunto de programas que se implementan en uno o varios ordenadores para la supervisión de procesos y control de la producción se denomina software SCADA. Este software deberá tener acceso a lo que ocurre en el sistema de control, mediante mecanismos de comunicación adecuados con controladores industriales, reguladores básicos, autómatas programables. Uniéndose a ellos mediante líneas de interconexión digital (buses de campo, redes locales) por donde recoge la información sobre la evolución del proceso y envía las órdenes para el manejo del mismo como son: arranque, parada y cambios de parámetros.

Los beneficios que proporcionan los software SCADA son varios pero el más importante el hecho de utilizar ordenadores personales para interactuar con el operador a través de avanzadas interfaces de usuario. Con ello se permite aumentar la flexibilidad de funcionamiento y reducir el coste global frente a la opción tradicional de paneles de control con sinópticos del proceso y consolas de operador.

Este tipo de sistemas ofrece un amplio abanico de posibilidades de utilización en entornos diferentes. Sin embargo, se pueden citar como algunos campos de frecuente utilización a los siguientes:

---

[9] "Técnicas para el control digital de procesos", Asignatura: Control Distribuido, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) de México Prof. MC. Salvador Saucedo. http://www.prodigyweb.net.mx/saucedo8/controlIX/cap4.pdf

- Industrias de proceso continuo: químicas, petroquímicas, cementeras, y alimentación.
- Producción y distribución de energía eléctrica.
- Redes de tratamiento, distribución, suministro y depuración de aguas.
- Control de oleoductos y gaseoductos.
- Control de centrales nucleares.
- Gestión de edificios inteligentes.
- Sistemas de control de tráfico e industria manufacturera.

Hoy en día, los paquetes SCADA están en disposición de ofrecer unas prestaciones verdaderamente interesantes, entre las cuales se pueden mencionar:

- Elevado grado de configuración por parte de los usuarios.
- Utilización de sistemas operativos muy estables y multiusuario.
- Funcionamiento distribuido en red, lo que permite el reparto de funciones a lo largo de diferentes ordenadores de proceso, así como una mayor disponibilidad, redundancia, fiabilidad, tolerancia a fallos.
- Sistemas gráficos que permiten el control, diseño y desarrollo de menús de ventanas, gráficos, creación de paneles de alarma.
- Posibilidad de ver los registros históricos de las variables, así como la incorporación de funciones SPC (Control Estadístico de Procesos).
- Incorporan módulos propios o permitir la conexión con otras aplicaciones para: diagnóstico de fallos mediante sistemas expertos, supervisión inteligente de procesos, tratamiento de datos, creación de informes, generación y lanzamiento de recetas, gestión de avisos y elaboración de documentación.

En la actualidad se cuenta con algunos softwares SCADA producido por diferentes fabricantes entre los que están:

- LabView y Lookout de National Instruments.
- Paradym-31de Advantech.
- WizFactory de eMation.
- Factory Link 7 de USDATA.
- Cimplicity de GE Fanuc.
- Intellution Dynamics de Intellution.
- Genesis32 de Iconics.

- FactoryFloor Software de Opto 22.
- RSView32 y RSBatch de Rockwell Automation.
- WinCC HMI,SIMATIC WinAC, PLCSim, SIMATIC Protool de Siemens.
- FactorySuite 2000 Intouch. IndustrialSQL Server. InControl. In Track. InBatch de Wonderware.

En este proyecto de titulación se emplea el software LOOKOUT de National Instruments, razón por lo cuál se lo describe a continuación.

1.5.3.1 Software LOOKOUT

El paquete Lookout de National Instruments se caracteriza por su sencillez y fácil aprendizaje, sin que ello le reste potencia y solidez en su misión principal que es el control y adquisición de datos de una planta.

Las funciones características que ofrece este software son las contempladas por la mayoría de ellos y que se han comentado en puntos anteriores. En particular, Lookout ofrece:

- Gráficos de tendencia y para SPC (Control estadístico de procesos).
- Gestión de alarmas.
- Seguridad.
- Animación.
- Registro de históricos.
- Consulta a bases de datos mediante SQL (Lenguaje de consulta estructurado).
- Plantillas múltiples de visualización.

La tecnología que permite a Lookout la facilidad de uso al implementar un sistema, es su arquitectura basada en objetos. Para crear cualquier aplicación, sin importar su grado de complejidad, simplemente se crearán objetos y se conectarán adecuadamente, sin necesidad de escribir programas o ejecutar compilaciones.
El desarrollo de aplicaciones y las modificaciones de estas se pueden hacer totalmente on-line, sin necesidad de parar actividad alguna relacionada con el proceso, todo se llevará a cabo sin pérdida de datos y sin esperas por procesos de compilación. El hecho de que Lookout desarrolle su ejecución basándose en eventos, le hace idóneo para múltiples aplicaciones de control continuo, discreto, por lotes (batch) y telemetría.

La programación orientada a eventos espera a que se produzca un determinado acontecimiento prefijado en el programa para ejecutar una acción programada, en lugar de disponer el programa de un bucle cerrado que va chequeando sucesivamente hasta encontrar el suceso que desencadena la acción. Para mayor información al respecto al manejo de objetos en Lookout, referirse al Anexo 2.

1.6 VENTAJAS Y BENEFICIOS DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN TOTAL.

Dentro de las ventajas de enlazar todos los componentes mencionados anteriormente en lo que constituye el diseño e implementación de un SCD, se tienen: [10]

- Posibilidad de intercambio de información entre equipos y módulos electrónicos que controlan fases sucesivas de un mismo proceso global.
- Facilidad de comunicación hombre-máquina, a base de terminales inteligentes (PC's) que permiten programar u observar el proceso en términos de lenguaje muy próximo al humano. El sistema admite la observación y la intervención del operador humano en forma interactiva a través de un terminal con teclado y pantalla.
- Adquisición de datos de sensores y procesamiento de los mismos con vistas al control de calidad, gestión, estadística u otros propósitos.
- Facilidad de cambios y flexibilidad de las células de fabricación para adaptarse a la evolución y a la diversificación de los productos. Como ejemplo típico basta pensar en la industria del automóvil, sometida a una continua evolución de modelos y variantes. La poca facilidad de cambios haría cuestionar el nombre de "células flexibles" que se da a estas estructuras.
- Posibilidad de utilizar lenguajes de alto nivel, que permitan tratar bajo un mismo entorno todas y cada una de las islas automatizadas, desde la fase de diseño hasta la fase de explotación y gestión.

Para justificar la adquisición de un sistema de control distribuido conviene detallar los beneficios que dicho sistema puede originar. [11]

---

[10] "Control distribuido" Asignatura de Control Electrónico del Departamento de Electrónica de la Universidad de Alcalá. Http://www.depeca.uah.es/wwwnueva/docencia/it-inf/ctr-eco/tema4.pdf

1.6.1 BENEFICIOS TANGIBLES

Estos son aquéllos que pueden medirse y por lo tanto de expresarse de manera cuantitativa y que constituyen, por ende, un factor económico. A continuación se listan los beneficios tangibles que se pueden obtener:

- Aumento general de la producción de la planta
- Reducción del consumo de energía.
- Disminución de la mano de obra.
- Aumento de la calidad del producto.
- Menor desperdicio de material.
- Menor contaminación ambiental.

1.6.2 BENEFICIOS INTANGIBLES

Son aquéllos que no pueden expresarse en términos económicos, pero que redundan, sin duda alguna, en una mejor operación de la planta y por lo tanto en un beneficio monetario indirecto.

- Reducción del mantenimiento.
- Aumento de la seguridad personal.
- Mejor respuesta a emergencias.
- Se facilitan cambios y adiciones.
- Predicción de situaciones catastróficas.
- Mejor servicio al cliente.

En general se han reportado beneficios del orden del 5% de la inversión instalada al introducir un sistema de control distribuido en una planta industrial. Dichos beneficios se generan casi por igual en el nivel superior reflejados en una mejor programación de la producción, y en los niveles inferiores representados a través una menor variación del proceso físico.

---

[11] "Uso de Computadoras Digitales en el Control de Procesos Industriales" Asignatura: Control Distribuido, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) de México Prof. MC. Salvador Saucedo. http://www.prodigyweb.net.mx/saucedo8/controlIX/cap1.pdf

En los procesos intermitentes o tipo batch se observa una ganancia mayor con relación a los procesos continuos, pues en un proceso batch la computadora permite una supervisión mejor que los métodos analógicos anteriores, mientras que en un proceso continuo la mejoría es en menor grado.

1.6.3 SEGURIDAD DEL SCD.

El control distribuido tiene una seguridad mejorada con relación a los sistemas convencionales de control. En la actualidad existen transmisores que disponen de sistemas de auto calibración y diagnóstico de averías de forma que el personal de mantenimiento puede localizarlas y solucionarlas rápidamente.

El sistema es redundante y podría considerarse como un “Sistema inteligente” que en forma parecida a la humana, limita las consecuencias de un fallo, manteniendo el control del sistema.

Desde el punto de vista de fiabilidad del equipo, el número de horas/fallo de los elementos de un sistema de control distribuido es considerable (desde 10.000 horas/fallo en los controladores básicos hasta 220.000 horas/fallo en la vía de comunicación) y aumenta en régimen permanente con las nuevas técnicas de fabricación que se van incorporando a la industria.

La disponibilidad ó fracción de tiempo en que el sistema es operable es muy alto. La disponibilidad típica en un SCD varía desde el 99.2% hasta el 99.9% dependiendo de la bondad del equipo, de la existencia de piezas de recambio y del mantenimiento. De esta forma brinda un alto grado de seguridad de funcionamiento. [12]

- **SISTEMAS REDUNDANTES.**

El sistema de la Figura 1-12 se muestra el esquema de uno de los fabricantes líderes en el campo de los SCD. Éste refleja lo que todo sistema confiable debe ofrecer. Dicho esquema permite que todas las funciones básicas de control se realicen en el nivel

---

[12] CREUS SOLÉ ANTONIO. Control de Procesos Industriales. Criterios de Implantación. Editorial Marcombo. Colección Productica, Barcelona-España, 1988.

inferior, es decir, mediante los equipos distribuidos en el campo, basados en microprocesador. Los datos necesarios en otras partes del sistema viajan generalmente a través del canal de comunicaciones. [13]

La unidad de Control y Visualización de la Figura 1-12 es una computadora basada en un microprocesador potente y constituye el nivel 3 definido anteriormente. El sistema ofrece redundancia de comunicaciones gracias a la dualidad del canal de comunicaciones, lo que elimina un punto vulnerable de los SCD.

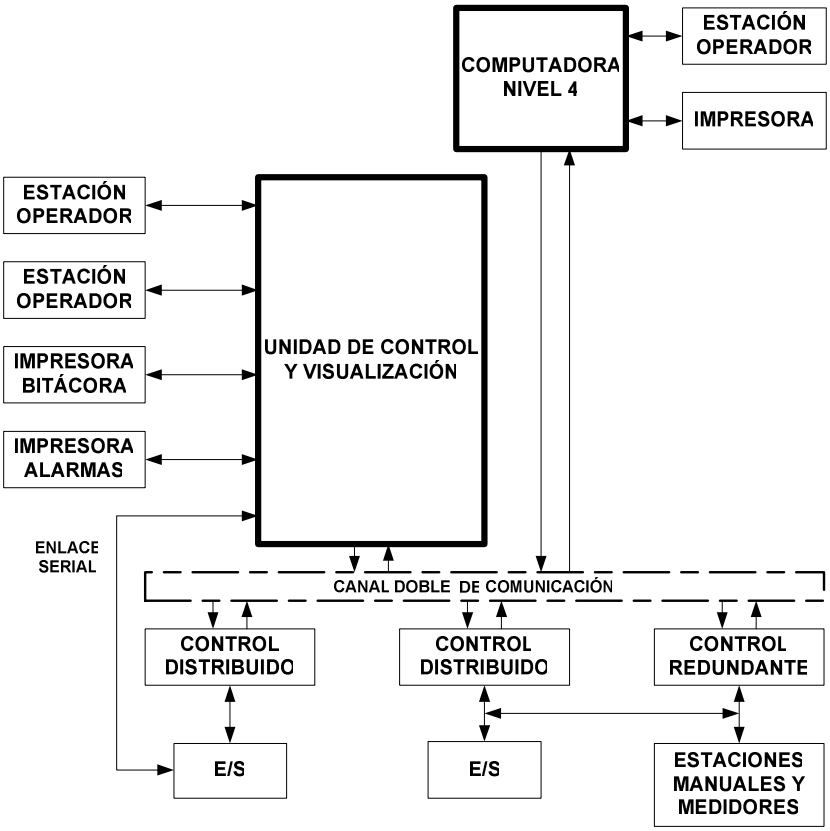

Figura 1-12 Arquitectura Redundante de un SCD

Resumiendo, el sistema de la Figura 1-12 tiene redundancias en cinco niveles:

- A nivel de comunicación con los niveles superiores mediante doble canal y doble controlador de comunicaciones.

---

[13] "Uso de Computadoras Digitales en el Control de Procesos Industriales" Asignatura: Control Distribuido, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) de México Prof. MC. Salvador Saucedo.
http://www.prodigyweb.net.mx/saucedo8/controlIX/cap1.pdf

- En la interfaz hombre-máquina con varias estaciones de operación, algunas de ellas con una pantalla extra. Además, proporciona diferentes imágenes del proceso con varios niveles de detalle, lo que en sí es una forma de redundancia.
- Con controladores distribuidos de respaldo, que comparten un bus paralelo local. Los que no comparten el bus paralelo tienen enlace serial para su monitoreo.
- En la interfaz con el proceso, mediante las estaciones manuales que son capaces de procesar las variables de medición y controlar al proceso en caso de falla del SCD.
- En el software de control del sistema, mediante el almacenamiento de grandes cantidades de datos que permitan calcular eficiencias, optimizar procesos, generar reportes, determinar tendencias y facilitar decisiones gerenciales.

El factor más importante para que se acepte un SCD es la confiabilidad y la tolerancia a las fallas del sistema. Entonces un sistema confiable debe prevenir la ocurrencia de las fallas, o recuperarse de las mismas. Para lograrlo, se emplea varios tipos de redundancias de protección. Los tres tipos de redundancias principales son: de hardware, de software y de tiempo. La especificación de cada una de éstas se presenta en el Anexo 3.

1.7 PUNTOS VULNERABLES DEL SCD.

Para evitar los puntos vulnerables se requiere un análisis crítico de una serie de factores. Ellos incluyen aspectos de hardware y software pero además incluyen necesidades del proceso a regular. Dicho análisis debe incluir los siguientes factores:

- Todas las trayectorias de comunicación
- Conexionado a los puntos de control del proceso
- Procesamiento de las señales de medición
- Cuál será el efecto en el sistema de una falla parcial
- Es o no necesaria una computadora en el nivel de administración.
- Cuáles son los lazos críticos de control en el proceso

Para poder evaluar los posibles puntos vulnerables de un SCD se requieren efectuar los siguientes pasos:

- Adquirir un conocimiento profundo del proceso a ser controlado, y de las metas a satisfacer.
- Entender cómo funciona una computadora digital
- Entender las funciones de hardware de cada parte del SCD
- Entender las funciones de software de toda la jerarquía.

Si además se desea adquirir un SCD, deberá:

- Conocer la manera de especificar un SCD
- Saber detectar "costos escondidos" en la propuesta de un SCD
- Coordinar la selección e implementación del SCD adecuado

Para implementar los puntos anteriores la planta debe subdividirse en unidades funcionales y evaluarlas a fondo. Dicha evaluación debe contemplar cualquier peligro asociado a cada unidad de operación. Acto seguido, la interrelación de estas unidades debe analizarse con cuidado para ver cómo el rendimiento de una de ellas afecta a las unidades previas y subsecuentes. Clasificar y contar los lazos de control en: sencillos, cascada, prealimentados, multivariable, complejos, de relación, etc. Evaluar los sensores instalados y decidir si deben seguirse usando o instalar en su lugar, medidores más avanzados. [14]

---

[14] "Uso de Computadoras Digitales en el Control de Procesos Industriales" Asignatura: Control Distribuido, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) de México Prof. MC. Salvador Saucedo. http://www.prodigyweb.net.mx/saucedo8/controlIX/cap1.pdf

CAPITULO 2.

DESCRIPCIÓN DE LOS MÓDULOS DIDÁCTICOS PARA CONTROL DE: FLUJO, PRESIÓN, TEMPERATURA DE UN HORNO Y TEMPERATURA POR TRANSFERENCIA DE CALOR

Dada la necesidad de tener un vínculo entre el conocimiento teórico del estudiante de la EPN y la industria, el Laboratorio de Control de Procesos a través de los años ha sido equipado con módulos didácticos que se asemejan a varios de los procesos típicos que se pueden encontrar en los procesos industriales.

En este capítulo se realiza una descripción y reconocimiento detallado de las partes constitutivas de los cuatro módulos didácticos considerados para este proyecto y además se describe de forma general la aplicación de cada uno que se listan a continuación.

- Control de Flujo.
- Control de Presión.
- Control de Temperatura de un horno.
- Control de Temperatura por transferencia de calor

Con la finalidad de brindar un apropiado manejo de los prototipos de control, es útil identificar y detallar los elementos que los constituyen, por lo que se utiliza el siguiente modelo descriptivo para obtener un adecuado desarrollo y entendimiento de los componentes de cada control:

- Estructura modular.
    - Estructura Física
    - Panel Operador
- Dispositivos de control.
    - Elemento primario de control: sensores
    - Controlador: PLC
    - Elemento final de control: actuadores
- Elementos auxiliares.

2.1 CONTROL DE FLUJO.

Este módulo didáctico, controla el flujo del líquido que recircula en un depósito, para mantenerlo dentro de un rango de operación entre 1 y 5 GPM. Utiliza un transductor de flujo que mide la variable, y actúa sobre una bomba de agua por medio de un variador de frecuencia para obtener el cambio deseado en el valor de flujo. Este tipo de control es

aplicado por ejemplo en las bombas de gasolina para los surtidores controlando el volumen de combustible a suministrar (ver la Figura 2-1).

Figura 2-1 Vista general del módulo didáctico de control de flujo

Por ser un prototipo didáctico, se debe realizar conexiones eléctricas externas para su correcto funcionamiento, tal como se indica en el Anexo 4, siguiendo el orden de las letras indicadas en el módulo.

2.1.1 ESTRUCTURA MODULAR

- **Estructura Física**

Este módulo esta compuesto por una estructura metálica robusta hecha con perfiles de hierro, la cual tiene por objeto soportar el panel operador, tuberías y tanque de almacenamiento así como se muestra en la Figura 2-2.

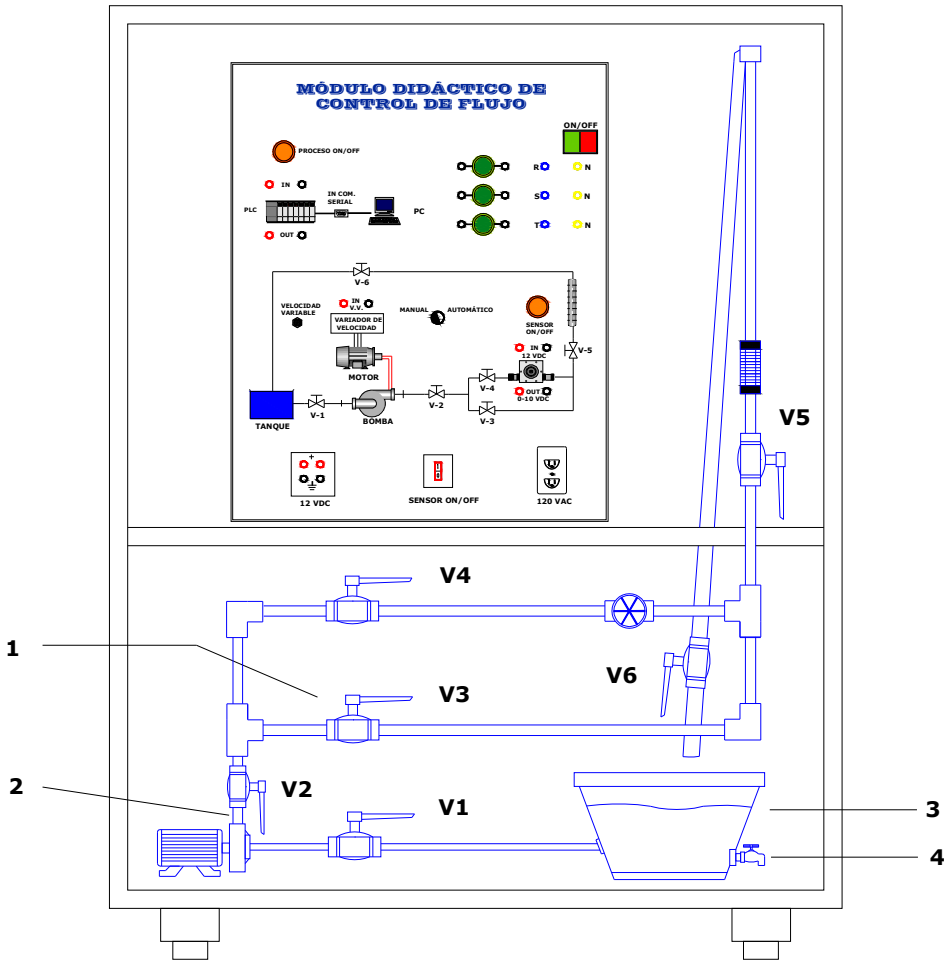

Figura 2-2 Estructura física del módulo didáctico de control de flujo

A continuación se detallan las partes enumeradas en la Figura 2-2.

1. Llaves de paso.- son las encargadas de permitir o restringir el flujo de agua por el sistema. Éstas son de tipo bola, metálicas, de media vuelta y ½" de diámetro. Para el funcionamiento adecuado del sistema de circulación de líquido las llaves de paso se deben posicionar de la siguiente manera: **V1, V2, V4, V5, V6** deben estar abiertas mientras que **V3** debe estar cerrada; entendiendo como posición cerrada o abierta tal como se muestra en la Figura 2-3.
2. Tuberías.- son de tipo PVC de ½ " de diámetro, están encargadas de conducir el líquido a través del proceso.
3. Tanque de almacenamiento.- es un recipiente plástico transparente con una capacidad de 20 galones, el cual tiene por objetivo contener todo el líquido del proceso.

4. Llave de drenaje.- es metálica de tipo mariposa para tubería de ½" la cual se utiliza para el lavado del tanque de almacenamiento.

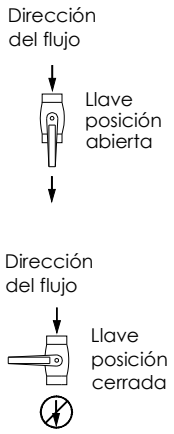

Figura 2-3 Posición abierta y cerrada de las llaves

❖ **<u>Panel operador</u>**

Este cumple con dos funciones principales: la primera función es alojar en su interior la ubicación de la mayoría de los elementos eléctricos que forman el módulo y la segunda es soportar en su exterior a los elementos para visualización y manejo del operador.

Debido a que este módulo utiliza equipos eléctricos requiere de un suministro de 110 VAC para su correcta operación. A continuación se describe las funciones de los elementos alojados en el panel y que están enumerados en la Figura 2-4.

1. Luz indicadora de proceso. Informa al operador que el proceso está activo en cualquier modo de trabajo. Todas las luces piloto utilizadas en este prototipo requieren de un voltaje de 110 VAC para su funcionamiento.
2. Contactos de la entrada analógica del controlador. Son los terminales por los que se ingresa la señal normalizada de voltaje proveniente del sensor de flujo, véase el numeral 9.
3. Contactos de la salida analógica del controlador. A través de éstos se entrega una señal normalizada de voltaje emitida por el autómata hacia el variador, véase el numeral 4.
4. Contactos de entrada del variador de frecuencia. Por estos terminales ingresa una señal de voltaje que gobierna la velocidad de la bomba de agua del sistema.

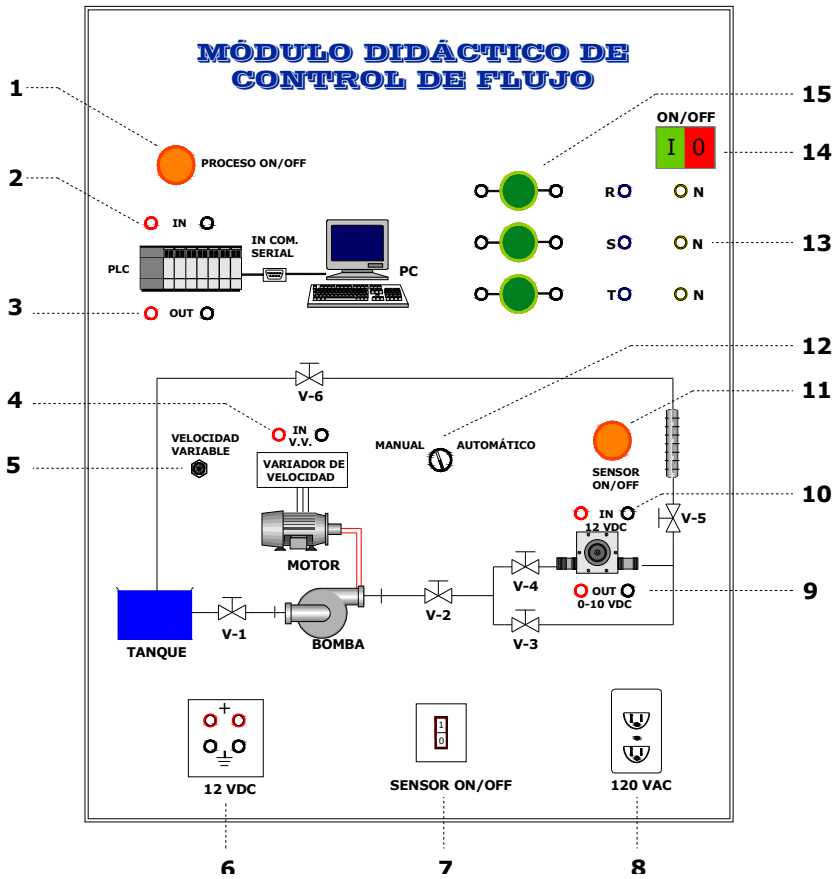

Figura 2-4 Panel Operador del sistema de control de flujo

5. Potenciómetro de control de velocidad. Permite la variación de la velocidad del flujo en el sistema cuando el modo de operación es local.
6. Contactos de fuente eléctrica +12VDC. Suministra energía a la parte externa del panel operador para la alimentación del sensor de caudal (numeral 10), permite acoplamientos con otros módulos para realizar un proceso de control más complejo, soportando una carga máxima de 2 A.
7. Interruptor para encendido de sensor. Este elemento es el que maneja todo el suministro eléctrico del módulo didáctico, tanto los circuitos de control, potencia y tarjetas electrónicas auxiliares del sistema.
8. Toma eléctrica de 120 VAC. Proporciona energía a la parte externa del panel. Está compuesta por dos salidas y es utilizada para alimentar cargas externas monofásicas de 120 VAC, con una corriente máxima de 15 A.
9. Contactos de salida del transmisor de flujo. De aquí se toma la señal del sensor de flujo que ha sido acondicionada para ser luego ingresada a la entrada del controlador.

10. Contactos de entrada del transmisor de flujo. Sirven para la alimentación eléctrica del sensor de flujo que requiere un voltaje de +12 VDC.
11. Luz indicadora del estado del sensor. Avisa al operador del módulo que el sensor se encuentra energizado y preparado para iniciar el control de la variable.
12. Selector de modo de operación. Este es un elemento de tres posiciones: la primera posición determina el modo de operación manual, en la segunda el proceso esta inactivo y en la tercera se elige el modo de funcionamiento automático.
13. Contactos de fases y neutro. Permiten la alimentación eléctrica para las luces indicadoras del estado de las fases.
14. Pulsantes de encendido y apagado de proceso. Sirven para iniciar o detener el control del módulo en cualquier instante.
15. Luces indicadoras del estado de fases. Facilitan la visualización del estado de las fases eléctricas presentes en el módulo.

2.1.2 DISPOSITIVOS DE CONTROL

El módulo de flujo cuenta con varios dispositivos utilizados para el control, separados en tres categorías:

- Elementos primarios de control: constituido por el sensor de flujo y tarjeta acondicionadora de señal.
- Controlador TWIDO.
- Elementos finales de control: formado por el variador de frecuencia y bomba de agua.

❖ **<u>Elementos primarios de control</u>**

- **Sensor de flujo TQ1**

Es de tipo rotor y genera un tren pulsos de voltaje proporcional al flujo del líquido que lo atraviesa, véase la Figura 2-5. A continuación se listan las características técnicas de dicho sensor en la Tabla 2-1.

SENSOR DE FLUJO TIPO RFO	
Material	Polipropileno
Presión de operación máxima	100 PSIG a 70 ℉
Temperatura de operación	-29 ℃ a 100 ℃
Viscosidad máxima	200 SSU
Diámetro de tubería	0,5 "
Rango de flujo	bajo: 1,5 a 12 GPM
	standard: 4 a 20 GPM
Alimentación eléctrica	4.5 Vdc a 24 Vdc
Señal de salida	pulsos de 4.5 Vdc a 24 Vdc
Consumo de corriente	8 mA
Corriente de salida	max 70 mA
Rango de frecuencia de salida	25 Hz a 225 Hz
Identificación de cables	Rojo : VDC
	Negro : GND
	Blanco:OUTPUT

Tabla 2-1. Características del sensor de flujo

Figura 2-5 Sensor de flujo

- **Tarjeta acondicionadora de señal de flujo a voltaje**

Este componente toma los pulsos generados en el sensor y los convierte a una señal de voltaje normalizada de 0 a 5 VDC. Para su operación requiere de una fuente de alimentación de +12 VDC y –12 VDC, así se puede ver en la Figura 2-6.

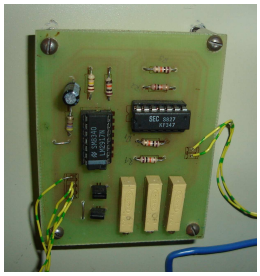

Figura 2-6 Tarjeta acondicionadora de señal para sensor de flujo.

❖ Controlador TWIDO

Este es un minicontrolador modular TWIDO tipo TWDLMDA20DRT con un módulo de comunicación TWDNOZ485T, que se encarga de procesar la información del sensor de flujo, aplicar la lógica de control, comandar el funcionamiento del variador de frecuencia para la bomba de agua, y permitir el enlace a un computador para realizar las tareas de monitoreo y mando remoto del prototipo (ver la Figura 2-7).

Figura 2-7 Minicontrolador Twido TWDLMDA20DRT

En la Tabla 2-2 se describen las características técnicas principales de los elementos de control mencionados.

TWIDO TWDLMDA20DRT + TWDNOZ485T	
Temperatura de operación	0-55ºC
Grado de protección	IP20
Número de entradas 24V	12
Número de salidas	6 tipo relé -max 2 A
	2 tipo transistor -max 0,3 A
Módulos de expansión I/O	max 7
	max I/O - 132 / 244
Memoria de programa	3000 Kbytes
Alimentación eléctrica	24 VDC
Máxima Corriente de entrada	700 mA
Puerto de programación	integrado RS-485
Puerto de comunicación	opcional RS-485
Máxima velocidad de transmisión	38,4 Kbits/s
Protocolo de comunicación	Modbus Master/Slave RTU, ASCII
Entrada analógica incorporada	0-10V 0-512 puntos, 9 bits
Potenciómetro incorporado	0-1023 puntos, 10 bits

Tabla 2-2. Características del TWLMDA20DRT y TWDNOZ485T

❖ Elementos finales de control

- **Variador de frecuencia**

Se trata de un equipo Allen Bradley de la serie 1333-AAA (ver Figura 2-8), éste maneja la velocidad del motor de la bomba de agua y es piloteado por las señales de control enviadas por el autómata. Para mayor detalle con respecto a las conexiones eléctricas de este equipo referirse al Anexo 5. En la Tabla 2-3 se mencionan las principales características técnicas del variador de frecuencia.

VARIADOR DE FRECUENCIA AB 1333-AAA	
Temperatura de operación	.-10º C a 50 ºC
Grado de protección	NEMA IP20
Potencia	1 HP - 0,75 KW
Fases	1 o 3 fases
Voltaje de entrada	200/208/230 VAC
Frecuencia de entrada	50/60 Hz
Corriente de entrada	6,5 A
Voltaje de salida	0 a Vin
Frecuencia de salida	0 a 400Hz
Corriente de salida	5,0 A
Carga requerida	motor de inducción trifásico balanceado
Forma de onda de salida	SPWM
Tiempo de aceler/desaceler	0 a 1600 seg
Torque de arranque	150 % nominal a 5 Hz
Corriente de sobrecarga	140% por 1 minuto
Tipo de control de frecuencia	Local - Remoto
	Entradas de 0-5VDC, 0-10VDC, 4-20mA
Tipo de control de operación	Marcha, Paro, Reversa, Jog,
	Velocidades Fijas,Bloqueo, Reset
Contactos de Salida Digitales	120VAC-30VDC, 1 A
	2 NA programables
	1 NA, 1 NC en falla
Salida Analógica	1-programable 0-1 mA, 0- 10 VDC

Tabla 2-3. Características del Variador de frecuencia

Figura 2-8 Variador de frecuencia

- **Bomba de agua M1**

Este elemento permite al líquido del sistema fluir a través de las tuberías, con mayor o menor velocidad dependiendo de las órdenes del variador de frecuencia. Esta bomba es de 1 HP de potencia a 220 VAC 3 fases y 60 Hz, con tomas de agua para tubería de ¾" de diámetro (ver la Figura 2-9).

Figura 2-9 Bomba de agua

2.1.3 ELEMENTOS AUXILIARES

- **Rotámetro**

Este es un visualizador de flujo que permite saber el caudal del líquido en el proceso, este dispositivo esta capacitado para dar lecturas de 0 a 5 GPM y constituye un elemento indispensable para el modo de operación local (ver la Figura 2-10)

Figura 2-10 Rotámetro

- **Tarjeta electrónica de fuente DC.**

Está constituida por tres fuentes de DC: dos de +12 V y una de -12V, permitiendo una carga máxima de 1 A para cada una. Se utilizan para energizar dispositivos del módulo

como son: el controlador, la tarjeta de acondicionamiento de señal, y el sensor de flujo (ver la Figura 2-11).

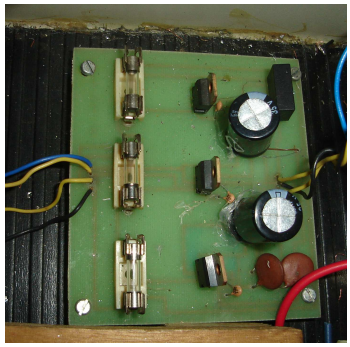

Figura 2-11 Tarjeta electrónica de fuentes DC

- **Contactor trifásico y Relé térmico**

El contactor habilita o interrumpe el suministro eléctrico al variador de frecuencia, este elemento trifásico es controlado por el PLC y opera hasta una carga de 11A a 220V. El relé térmico protege al motor en caso de sobrecarga ya que lo desconecta automáticamente cuando rebasa el límite de corriente regulado entre 2,5 y 4 A. Ver Figura 2-12.

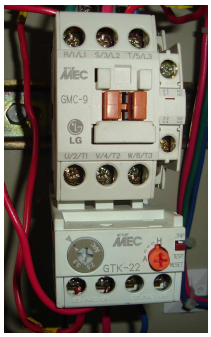

Figura 2-12 Contactor trifásico y relé térmico

- **Disyuntor Principal**

Este elemento de protección tripolar permite energizar totalmente al módulo, soportando una carga máxima de 10A. Ver Figura 2-13.

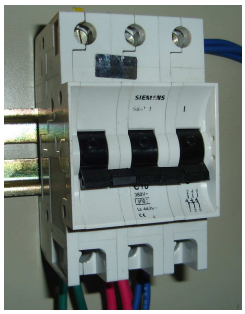

Figura 2-13 Breaker Principal

- **Relés auxiliares de fases.**

Estos se encargan de informar al PLC acerca del estado de las fases presentes en el módulo, ver Figura 2-14.

Figura 2-14 Relés auxiliares de fases.

- **Relé de modo de operación**

Este dispositivo esta a cargo de la conmutación de las señales de voltaje generados por el controlador permitiendo variar la velocidad de la bomba de agua en los diferentes modos de trabajo, ver la Figura 2-15.

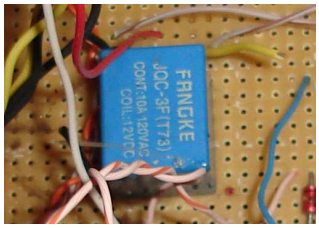

Figura 2-15 Relé de modo de operación

- **Conector de red.**

Este elemento permite enlazar físicamente el módulo de comunicación TWDNOZ485T del controlador a la red de autómatas (ver la Figura 2-16).

Figura 2-16 Conector de red

NOTA: Este elemento forma parte de cada módulo didáctico utilizado en este proyecto, razón por la cuál se omite su descripción en el resto de prototipos. Su función es la misma, sirve de enlace entre los controladores lógicos y la red de campo.

2.2 CONTROL DE PRESIÓN.

Este prototipo controla la presión en un tanque hidroneumático para mantenerla dentro de un rango de servicio entre 5 y 50 PSI. Utiliza un transductor de presión como elemento sensor y actúa sobre una servoválvula y una bomba de agua para cambiar el valor de la variable (ver la Figura 2-17).

Por tratarse de un módulo de carácter didáctico, se deben realizar las conexiones eléctricas y neumáticas indicadas en el Anexo 6, siguiendo el orden de las letras marcadas en el panel, las conexiones de aire comprimido se realizan con manguera tipo PUN 6.

Figura 2-17 Vista general del módulo didáctico de control de presión.

2.2.1 ESTRUCTURA MODULAR

❖ **Estructura Física**

Está constituido por una estructura de hierro, un pulmón de aire, y los elementos que forman parte del sistema hidroneumático de este módulo. Ahora se detallan los componentes indicados en la Figura 2-18:

1. Pulmón de aire. Este equipo neumático almacena y mantiene la presión de aire para ser suministrado al sistema.
2. Tanque de proceso o depósito hidroneumático. Es donde se realiza el control de presión, posee una entrada de aire comprimido, una entrada de agua y una salida de agua presurizada.
3. Entrada de aire comprimido al tanque de proceso. Por medio de este elemento se permite el ingreso del aire en el depósito hidroneumático.

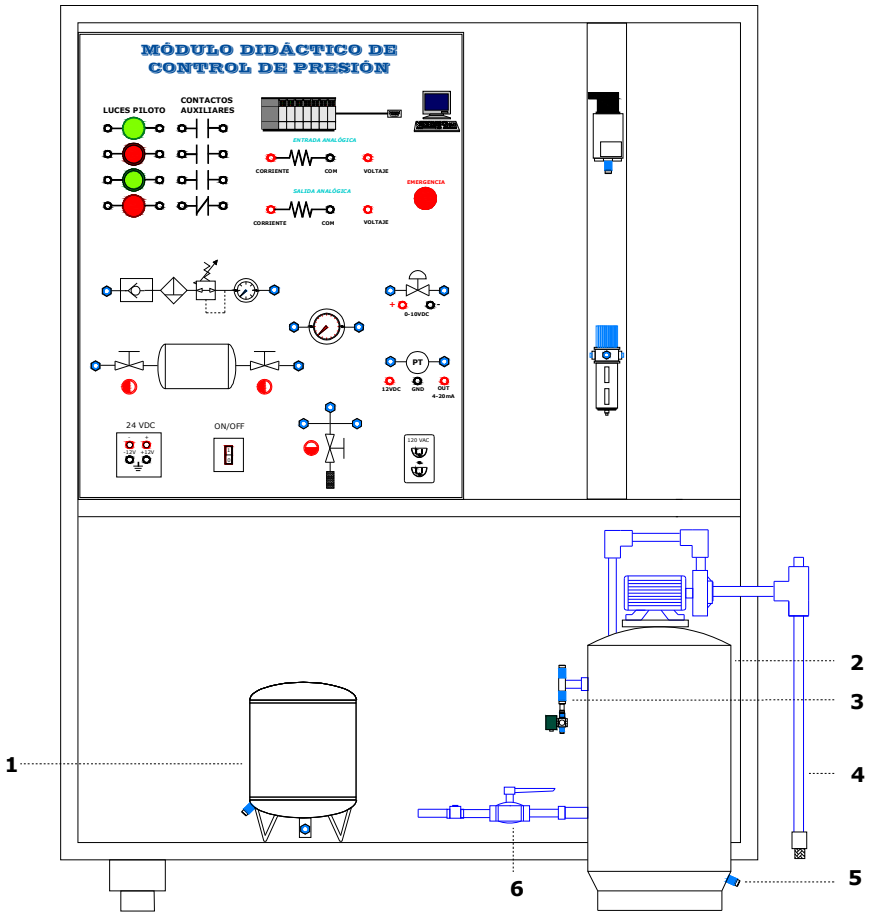

Figura 2-18 Estructura física del módulo didáctico de control de presión

4. Tubería para entrada de agua al tanque hidroneumático. Mediante esta tubería de PVC de ½" se ingresa el líquido al depósito. Se cuenta con una válvula unidireccional con filtro para evitar que el líquido fluya en sentido contrario y además que no se introduzcan partículas sólidas en el tanque.
5. Tapón de drenaje. Constituye un desfogue del agua residual del tanque, el cuál debe ser retirado cuando se realiza la limpieza.
6. Salida de agua presurizada. Está constituida por una llave de paso tipo bola de media vuelta y por una válvula unidireccional, ambas de 1" de diámetro que permiten la salida de agua del tanque a presión constante.

❖ **<u>Panel operador</u>**

El panel operador contiene y soporta los elementos tanto eléctricos como neumáticos, para los cuáles se requiere de una fuente eléctrica de 110 VAC y una neumática de 90 PSI mediante un compresor externo (ver la Figura 2-19).

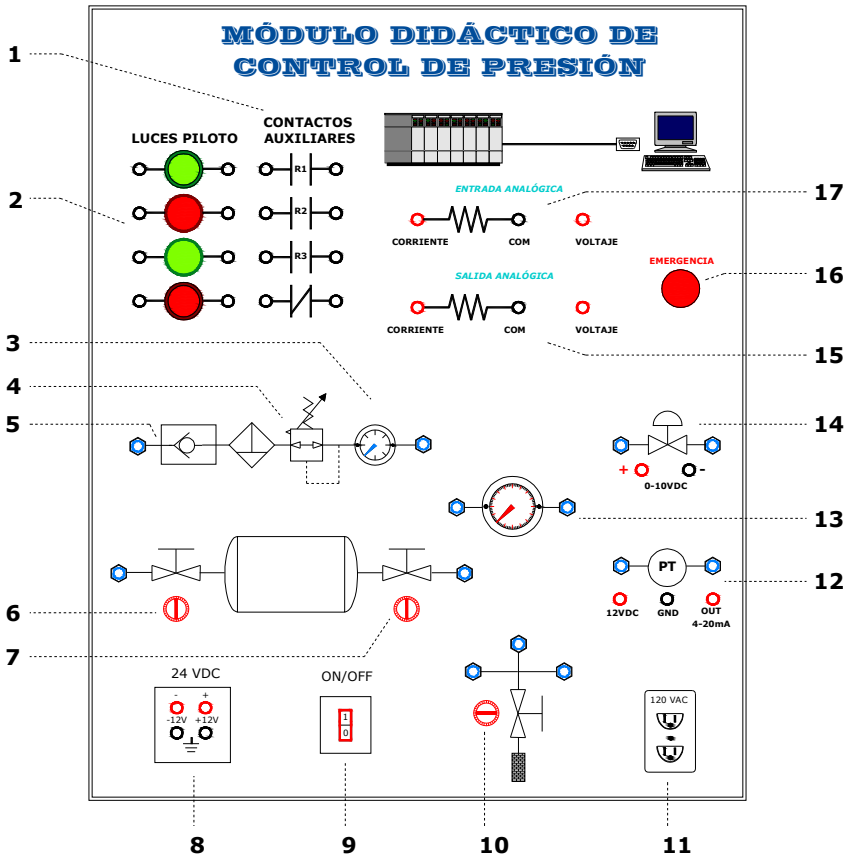

Figura 2-19 Panel Operador del sistema de control de presión

A continuación se describen las funciones de los elementos indicados:

1. Contactos Auxiliares. Permiten realizar tareas de control externas mediante el uso de relés auxiliares internos comandados por el controlador, tienen una capacidad máxima de 5 A cada uno. Se cuenta con tres contactos normalmente abiertos para manejar la bomba eléctrica, la electroválvula externa y la luz indicadora del estado de la bomba.
2. Luces Piloto. Facilitan la visualización del estado del módulo, su funcionamiento externo requiere de 24 VDC. Internamente poseen un acondicionamiento, debido a que su fabricación es de 120VAC. Se cuenta con cuatro luces piloto independientes para ser conectadas externamente.
3. Manómetro de la Unidad de Mantenimiento. Este equipo permite visualizar el valor de la presión del aire comprimido que atraviesa por la unidad y se maneja en el rango de 0 a 145 PSI.
4. Unidad de mantenimiento Neumática. Está compuesta por una válvula reguladora de presión y por un filtro con drenaje manual, su función es la de mantener la

presión de trabajo constante y proteger el equipo neumático contra la acumulación de líquido dentro del sistema de aire comprimido.

5. Válvula Unidireccional o Antiretorno. Es un equipo de dos vías, asegura que el sentido de circulación del aire por la unidad de mantenimiento sea uno sólo.
6. Válvula de cierre para entrada de pulmón. Ésta es del tipo de dos vías normalmente abierta que gobierna manualmente el ingreso de aire comprimido desde la fuente neumática hacia el pulmón de aire.
7. Válvula de cierre salida de pulmón. Maneja manualmente la salida de aire comprimido desde el pulmón de aire hacia la unidad de mantenimiento, es del tipo de dos vías normalmente abierta.
8. Contactos de fuente eléctrica 24VDC. Suministra energía a la parte externa del panel operador. Está compuesta por dos fuentes, la primera proporciona +12 VDC y la segunda – 12 VDC, dando como resultado una fuente general de +24 VDC. Es utilizada para energizar las luces piloto, la electroválvula externa y al transmisor de presión.
9. Interruptor de encendido. Este interruptor es el que gobierna todo el suministro eléctrico del módulo didáctico y soporta una corriente máxima de 15 A.
10. Válvula de cierre para desfogue de aire. Permite desviar el aire comprimido suministrado por la unidad de mantenimiento al exterior del sistema a través de un silenciador, constituye una válvula de dos vías normalmente abierta.
11. Toma eléctrica de 120 VAC. Proporciona de energía a la parte externa del panel operador. Está compuesta por dos tomas, una es utilizada para energizar la bomba de agua y la otra para propósito general.
12. Contactos de Transmisor de Presión. Sirven para la alimentación eléctrica del transmisor de presión del módulo, se requiere de un voltaje entre +11 y +33 VDC para el funcionamiento adecuado del equipo y devuelve una señal de corriente entre 4 y 20 mA.
13. Manómetro de proceso. Este elemento permite visualizar el valor de la presión del aire comprimido existente en el tanque hidroneumático, se maneja en el rango de 0 a 145 PSI.
14. Contactos de Servoválvula. Sin Conexión.
15. Contactos de Salida Analógica de PLC. Sin Conexión.
16. Pulsante de emergencia. Corta la energía eléctrica suministrada al módulo en caso de emergencia.
17. Contactos de Entrada Analógica de PLC. Estos terminales reciben la señal de corriente producida por el transmisor de presión, para ser procesada mediante el autómata programable.

2.2.2 DISPOSITIVOS DE CONTROL

Este módulo cuenta con varios dispositivos de control, separados en tres grupos:

- Elemento primario de control: representado por el transmisor de presión relativa.
- Controlador TWIDO.
- Elementos finales de control: constituido por dos electroválvulas, una servoválvula y la bomba de agua.

❖ **<u>Elemento primario de control</u>**

- **Transmisor de presión relativa TP1**

Determina el valor de presión y entrega una señal eléctrica normalizada correspondiente a la presión relativa del sistema para su tratamiento en el controlador. La señal de salida está en el orden de los 4 a 20 mA que corresponde a la escala de 0 a 10 bares es decir de 0 a 145 PSI. Véase la Figura 2-20.

Figura 2-20 Transmisor de Presión Relativa.

En la Tabla 2-4, se detallan las características técnicas principales del transmisor.

TRANSMISOR DE PRESIÓN RELATIVA DSK 431A1H075	
Rango de medida	0 a10 bares
Presión de operación máxima	20 bares
Grado de protección	IP65
Diámetro de rosca	1/4"
Tamaño de manguera	PUN 6
Alimentación eléctrica	11 a 33 VDC
Señal de salida	4-20 mA

Tabla 2-4. Características técnicas del transmisor de presión.

❖ Controlador TWIDO

Se encarga de procesar la información del transmisor de presión, aplicar una lógica de control, comandar el funcionamiento de: dos electroválvulas, una servoválvula y una bomba de agua. Además permite el enlace a un computador para realizar las tareas de monitoreo y mando remoto del prototipo. Al igual que el módulo anterior, se utiliza un controlador TWDLMDA20DRT descrito en la Figura 2-7 y la Tabla 2-2 correspondientes al proceso de flujo. Además se requiere de un módulo de expansión analógico TWDAMI2HT, cuyas características se indican en la Tabla 2-5.

MÓDULO ANALÓGICO TWDAMI2HT	
Número de canales de entrada	2
Rango	Voltaje: 0-10 VDC
	corriente: 4-20 mA
Resolución	4096 puntos 12 bits
Sobrecarga permitida	voltaje: 13V
	corriente : 40 mA
Alimentación eléctrica	20- 28 VDC
Tipo de protección	Optoacoplado
Tiempo de adquisición	32 ms

Tabla 2-5. Características del módulo TWDAAMI2HT

❖ Elementos finales de control

- **Electroválvula interna de emergencia EV1.**

Permite que el aire comprimido suministrado por la unidad de mantenimiento pase a la aplicación del módulo, esta válvula general constituye el único elemento automático para cortar la alimentación de aire comprimido en casos de emergencia, funciona con una alimentación de +24 VDC (ver la Figura 2-21).

Figura 2-21 Electroválvula interna

- **Servoválvula SV1.**

Este elemento está constituido por un motor de corriente continua de 12 VDC acoplado mecánicamente a una válvula de bola de ¾ “, mediante la cuál se controla el paso de aire comprimido en menor o mayor cantidad de acuerdo al grado de apertura que tenga esta válvula. Para determinar la posición en que la válvula se encuentra, se tiene un potenciómetro lineal acoplado al eje del motor que permite determinar la ubicación exacta de la servo de acuerdo al valor de resistencia que tenga el potenciómetro. La acción de apertura o cierre de la válvula lo realiza el autómata programable de este módulo (ver la Figura 2-22).

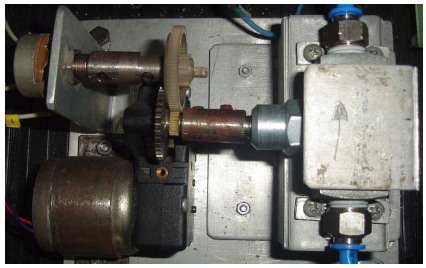

Figura 2-22 Servoválvula

- **Electroválvula externa EV2.**

Proporciona una vía de desfogue automático del aire comprimido del tanque de aplicación o tanque de proceso para variar la condición de presión del sistema, funciona con un voltaje de +24 VDC (ver la Figura 2-23).

Figura 2-23 Electroválvula externa

- **Bomba de agua M1.**

Este equipo se encarga de mantener un nivel de líquido dentro del tanque de proceso para que la aplicación neumática sea continua. Se alimenta con un voltaje de 110 VAC, tiene una potencia de ½ HP y consume una corriente de 3 A. Las tomas de agua tienen un diámetro de ¾“ (ver la Figura 2-24).

Figura 2-24 Bomba de agua

2.2.3 ELEMENTOS AUXILIARES

- **Tarjeta electrónica de fuentes DC.**

Proporciona tres fuentes de voltaje de corriente continua, dos fuentes de +12VDC y una de -12VDC, que se utilizan para la alimentación de algunos de los equipos del módulo como son: PLC, sistema servoválvula, transmisor de presión, luces piloto y relés auxiliares. Cada fuente soporta una carga de 1 A.

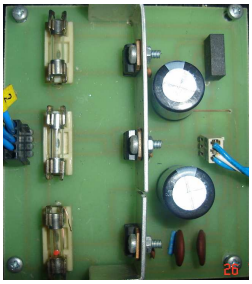

Figura 2-25 Tarjeta electrónica de fuentes DC.

- **Tarjeta Acondicionadora para luces piloto.**

Las luces piloto del módulo funcionan con 120 VAC y como sólo se cuenta con una fuente externa de DC, por lo tanto requiere acondicionarlas a través de esta tarjeta para su funcionamiento con 24 VDC (ver la Figura 2-26).

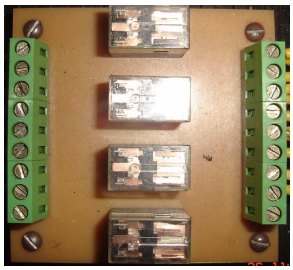

Figura 2-26 Tarjeta acondicionadora para luces piloto.

- **Relés auxiliares.**

Constituyen los actuadores de los distintos equipos finales de control, se cuenta con 4 relés auxiliares que permiten manejar las salidas del PLC, es decir actúan sobre las electroválvulas, la bomba y las luces piloto. Requieren de un voltaje de 24VDC en sus bobinas y sus contactos soportan una corriente máxima de 5 A (ver la Figura 2-27).

Figura 2-27 Relés auxiliares

2.3 CONTROL DE TEMPERATURA DE UN HORNO.

El objetivo de este módulo es realizar el control de temperatura de un horno, manteniendo indefinidamente en su interior una temperatura programada, y además posibilitar la ejecución de todo tipo de curvas de subida y mantenimiento definido por el usuario a través de un computador. Este control de temperatura está especialmente diseñado para trabajos de secado de piezas de madera, secado de pintura al horno con temperaturas de trabajo desde 30 hasta 200º C, con bajos costos de operación y mínimo mantenimiento (ver la Figura 2-28).

Para el control de temperatura del horno se dispone de un sensor RTD incorporado al horno y diferentes equipos automáticos, con distintas prestaciones. El sistema de calentamiento utiliza al máximo la energía de resistencias eléctricas mientras que el sistema de enfriamiento utiliza la circulación de aire a presión a través del horno.

Para su correcto funcionamiento se debe realizar las conexiones neumáticas tal como se indica en el Anexo 7, y se debe aclarar que todas las conexiones neumáticas se realizan con manguera PUN 6.

Figura 2-28 Módulo didáctico de control de temperatura de un horno

2.3.1 ESTRUCTURA MODULAR

❖ **<u>Estructura Física</u>**

Este módulo esta compuesto por una estructura construida en hierro, el cual tiene por objeto soportar el panel operador y el horno (ver la Figura 2-29).

1. Horno Eléctrico. Constituye la planta donde se realiza el control de temperatura, posee una entrada de aire comprimido, una puerta de desfogue para enfriarlo y una resistencia eléctrica para calentarlo. Está construido en tol de un milímetro, las paredes están internamente rellenas con fibra de vidrio, que permite mantener la temperatura en el interior.

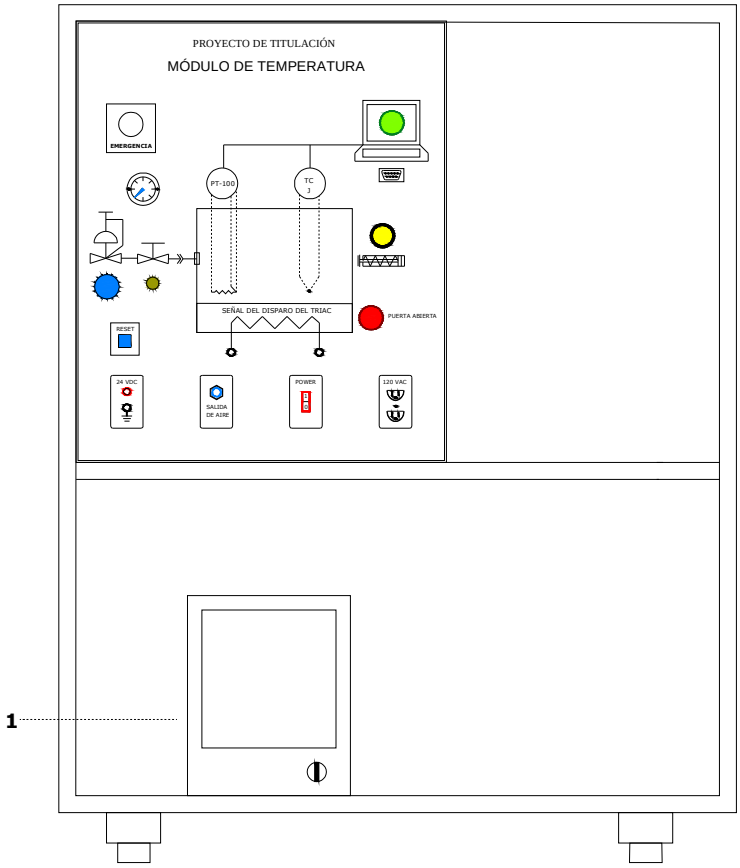

Figura 2-29 Estructura física del módulo de control de temperatura de un horno

❖ Panel Operador

Este soporta en su interior la ubicación de la mayoría de los elementos eléctricos y neumáticos que forman parte del módulo, y además sujeta en su exterior a los elementos para visualización y manejo del operador. Este módulo trabaja con sistemas eléctricos y neumáticos, por lo que requiere de un suministro eléctrico de 120VAC con una carga máxima de 15 A, y un suministro neumático de 6 bares lo cual es proporcionado por un compresor externo. En la Figura 2-30 se puede observar los elementos pertenecen al panel y son detallados a continuación:

1. Pulsante de emergencia. Constituye un elemento de seguridad en el panel, si es accionado durante el desarrollo de un proceso se activa el ingreso de aire comprimido y se abre la puerta de desfogue para que se evacue el aire caliente rápidamente y apaga la resistencia eléctrica del horno. Además un nuevo proceso de calentamiento no se podrá reiniciar hasta que la temperatura sea menor a 30º C. Se recomienda activar esta función sólo en situaciones de emergencia.

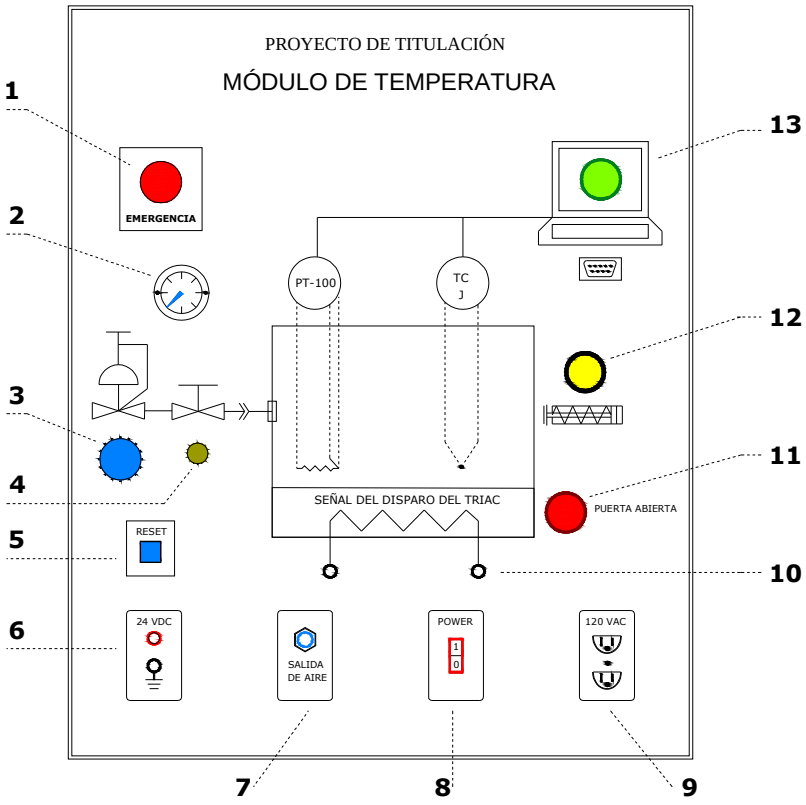

Figura 2-30 Panel Operador del Módulo de temperatura para horno

2. Manómetro. Este equipo permite visualizar la presión del aire comprimido utilizado para enfriar el horno. Se maneja dentro del rango de presión de 0 a 10 bares.
3. Válvula Reguladora de Presión **VR2**. Permite mantener constante la presión del aire comprimido que ingresa al horno para enfriarlo.
4. Válvula Estranguladora. Este elemento neumático se encarga de controlar el caudal de aire comprimido que ingresa al horno. Cuánto mayor sea el caudal de aire mayor será el efecto que tenga el aire para enfriar.
5. Pulsante de Reset. Crea la posibilidad en modo manual de igualar el valor de consigna deseada de temperatura con el valor de temperatura actual del horno, con el fin de evitar acciones bruscas que se pueden producir debido a la diferencia entre los valores mencionados cuando se inicia un nuevo proceso manual, logrando de esta manera que el sistema alcance una rápida estabilización de funcionamiento.
6. Contactos de fuente eléctrica +24VDC. Suministra energía a la parte externa del panel operador permitiendo acoplamientos con otros módulos o equipos externos para realizar un proceso de control más complejo.

7. Salida de aire. Suministra aire comprimido a dispositivos neumáticos que se puedan conectar a futuro.
8. Interruptor de encendido. Este interruptor es el que gobierna todo el suministro eléctrico del módulo didáctico, tanto los circuitos de control, de potencia y tarjetas electrónicas auxiliares del sistema. Soportando una carga máxima de 15 A.
9. Toma eléctrica de 120 VAC. Proporciona energía a la parte externa del panel operador. Está compuesta por dos tomas, es utilizada para energizar cargas monofásicas de 120 VAC y soporta una corriente máxima de 15 A.
10. Contactos de Salida de Disparo del Triac. El control de temperatura del módulo se realiza a través de un control de fase directo a la resistencia eléctrica del horno con la ayuda de un triac, estos terminales permiten visualizar la señal eléctrica de la resistencia utilizando un osciloscopio.
11. Luz indicadora de puerta abierta. Informa al operador del módulo cuando la puerta del horno se encuentra abierta, utiliza la señal de un micro-switch ubicado en la puerta del horno para determinar si está abierta o cerrada. Además advierte que se puede provocar daños personales como quemaduras al operador si el proceso se sigue ejecutando. Todas las luces piloto requieren de un voltaje de +24 VDC.
12. Luz indicadora de pistón accionado. Indica el estado en que se encuentra el pistón que está acoplado a la puerta de desfogue del aire caliente del horno, de esta manera se puede determinar si el horno está herméticamente cerrado o si existe un desfogue del aire al exterior.
13. Luz indicadora de comunicación con PC. Muestra si existe comunicación entre el autómata y el computador de monitoreo y control, estableciendo un normal desarrollo del proceso del módulo didáctico.

2.3.2 DISPOSITIVOS DE CONTROL

En esta parte se describe los elementos que constituyen el sistema de control, los cuales se pueden clasificar en los siguientes:

- Elementos primarios de control: RTD con su respectivo transmisor, y además un micro switch en puerta del horno.
- Controlador: Siemens S7-200 CPU 224.
- Elementos finales de control: Formado por la electroválvula de ingreso de aire, ducha de aire, electroválvula para accionar el pistón, pistón de desfogue, y resistencia eléctrica.

❖ Elemento primario de control

El elemento utilizado para la medición de la temperatura en el horno es un sensor y transmisor seguidamente detallados:

- **RTD 400°C.**

Este sensor termo-resistivo permite determinar la temperatura interna del horno. Es un sensor PT100 de 3 alambres que está diseñado para operar entre -100 y 482 º C. Al tratarse de un sensor pasivo requiere de alimentación eléctrica y además de un transmisor que acondicione la señal emitida por el elemento para poder procesarla dentro del PLC.

- **Transmisor RTD 400º C TT1.**

Utilizado para manejar la señal emitida por el sensor anterior, entrega una señal eléctrica correspondiente a la temperatura del sistema para su tratamiento en el PLC (ver la Figura 2-31). Para su funcionamiento requiere de un suministro eléctrico entre 12 y 45 VDC, la señal de salida está calibrada en el orden de los 4 a 20 mA que corresponde a la escala de 0 a 400 º C. En la Tabla 2-6 se detallan sus características técnicas.

Figura 2-31 Transmisor para RTD Pt100 400°C.

TRANSMISOR DE TEMPERATURA PARA RTD	
Entrada PT100	0 a 400 º C
Salida de señal	4 a 20 mA
Alimentación	12 a 45 VCD
Temperatura ambiente	-40 a 85 º C
Nivel de protección	IP 66 instalado
Peso	25g
CONEXIÓN	
Terminales 1 y 2	Alimentación eléctrica (1+), (2-)
Terminal 3	Señal + de RTD
Terminal 4,5	Señal – de RTD

Tabla 2-6. Características técnicas del transmisor de temperatura para RTD

- **Micro-switch en Puerta de Horno.**

Este contacto se encuentra ubicado en la puerta frontal del horno con el objeto de indicar si la puerta del horno está abierta o cerrada. Si el proceso está en ejecución y la puerta se abre, el sistema debe realizar acciones que aseguren la integridad del operador, es decir desconectar la resistencia del horno y proceder al enfriamiento del sistema hasta que la temperatura alcance un nivel mínimo de 30 º C (ver la Figura 2-32).

Figura 2-32 Micro switch para indicador de puerta del horno abierta.

❖ **<u>Controlador Siemens CPU 224</u>**

Se encarga de realizar el control de todo el proceso y además permite enlazarse a una PC para realizar la supervisión y control remoto del módulo. Se utiliza un PLC Siemens CPU 224 AC/DC/RELE con módulo de expansión analógico EM235, para su funcionamiento requiere de una alimentación de 120-240VAC (ver la Figura 2-33).

Figura 2-33 Controlador S7-200 CPU 224 con módulo EM 235

A continuación en la Tabla 2-7 se listan las características técnicas principales del controlador y en la Tabla 2-8 se describen las características técnicas principales del módulo análogo.

CONTROLADOR S7-200 CPU 224 AC/DC/RELE	
Memoria de programa	8Kbytes
Memoria de datos	5Kbytes
Lenguaje de programación	KOP, FUP, AWL
Nº máx. de subrutinas	64
Protección del programa de aplicación	Protección por contraseña de 3 niveles
Marcas	256
Contadores	256
Temporizadores	256
Entradas de interrupción	4
Contadores rápidos	6
Puertos de comunicación	1, RS 485
Bornes E/S enchufables	Si
Entradas digitales	14
Salidas digitales	10
Potenciómetros análogos	2 con 8 bits de resolución
Grado de protección	IP 20 según IEC529
Temperatura ambiente montaje	0 a 55ºC
Humedad relativa	5 a 95 %
Alimentación	100 a 230 Vca
Entradas	24 Vcd
Salidas	Reles

Tabla 2-7. Características del autómata S7-200 CPU 224

MODULO ANALOGO EM235	
Bornes de E/S enchufables	No
Entradas	4 diferenciales
Tensión máxima de entrada para entrada de voltaje	30V
Tensión máxima de entrada para entrada de intensidad	32 mA
Convertidor	12 bits
Tiempo de conversión análoga digital	<250us
Señales unipolares	0 a 32000
Señales bipolares	`-32000 a 32000
Salida de tensión	`-10 a 10V
Resolución o para salida de tensión	12 bits
Resolución para salida corriente	11bits

Tabla 2-8. Características del módulo EM235

❖ <u>Elemento final de control</u>

- **Electroválvula de Ingreso de aire al Horno EV2.**

Gobierna el ingreso del aire comprimido cuando el sistema requiere enfriar el horno. Utiliza +24 VDC para su funcionamiento y opera con una presión recomendada de 6 bares (90 PSI). Así se puede ver en la Figura 2-34 (izquierda).

Figura 2-34 Electroválvulas para ingreso de aire y acción de pistón.

- **Electroválvula para Pistón EV1.**

De igual manera controla la acción del pistón que permite el desfogue de aire cuando el sistema requiera enfriar el horno. Requiere alimentación eléctrica de +24VDC y un suministro neumático de 6 bares. Así se puede observar en la Figura 2-34 (derecha).

- **Ducha de aire.**

Está diseñada para ingresar el aire comprimido al horno a través de orificios distribuidos en un área circular similar a una ducha, de esta forma la circulación del aire comprimido abarca una mayor área y por lo tanto el proceso de enfriamiento es más rápido. Se recomienda un suministro de aire con presión de 6 bares, a mayor caudal del aire comprimido (controlado por la válvula reguladora) mayor es el efecto sobre el proceso de enfriamiento (ver la Figura 2-35).

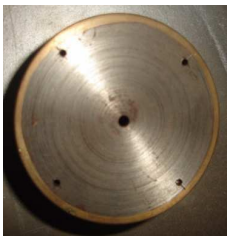

Figura 2-35 Ducha de aire para enfriar el horno.

- **Pistón de desfogue.**

Este pistón de simple efecto se encuentra acoplado mecánicamente a la puerta que permite el desfogue del aire caliente.

Cuando el sistema del horno necesite calentar el pistón trabaja cerrando la puerta de desfogue, y en el caso de que el sistema requiera enfriar el pistón abrirá la puerta. Este ha sido diseñado de forma que si no existe suministro neumático se encuentra contraído, es decir, mantiene la puerta de desfogue abierta. Se recomienda un suministro de aire con presión de 6 bares (ver la Figura 2-36).

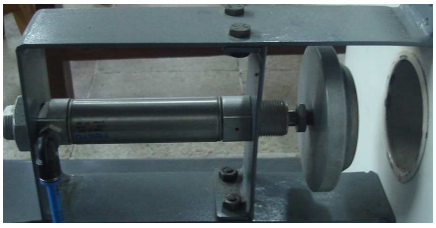

Figura 2-36 Pistón para desfogue de aire caliente del horno.

- **Resistencia Eléctrica.**

Este elemento es el encargado de calentar el horno. Cuando el sistema requiera aumentar la temperatura, el controlador comanda la activación de la resistencia eléctrica, de forma que la energía disipada por este elemento se convierta en calor y por efectos conductivos caliente el aire dentro del horno. La potencia que maneja la resistencia es de 1000 vatios a un voltaje de 110 VAC.

2.3.3 ELEMENTOS AUXILIARES

- **Disyuntores.**

Como todo sistema eléctrico, este módulo posee 5 disyuntores que constituyen elementos de protección eléctrica en caso de cortocircuitos o sobrecargas de los equipos eléctricos pertenecientes al módulo (ver la Figura 2-37).

Figura 2-37 Disyuntores de protección.

- **Tarjeta electrónica de fuentes VDC.**

Proporciona una fuente de voltaje de corriente continua de +24VDC posee tres tomas y soporta una corriente máxima de 1 A, para su funcionamiento necesita un suministro eléctrico de 120 VAC. El transmisor recibe energía del controlador pero las luces indicadoras, y las electroválvulas son alimentadas por esta tarjeta (ver la Figura 2-38).

Figura 2-38 Tarjeta electrónica de fuentes VDC.

- **Tarjeta electrónica de disparo de triac.**

Para calentar el horno se requiere de una resistencia eléctrica a la cuál se le aplica un control de fase directo por medio de un triac, para conseguir esto se usa una tarjeta electrónica basada en un microprocesador PIC. Esta tarjeta requiere de una alimentación de 120VAC y de una señal de voltaje continuo entre 0 y 5 VDC para aplicar a la resistencia eléctrica del horno un voltaje entre 120 Y 0 VAC respectivamente, soporta una corriente máxima de 10 A. La variación de voltaje proporciona un control de la potencia disipada por la resistencia eléctrica que se convierte en calor (ver la Figura 2-39).

Figura 2-39 Tarjeta electrónica de disparo de triac.

- **Relés auxiliares.**

Constituyen los actuadores de los distintos equipos finales de control, se cuenta con 5 relés auxiliares que permiten manejar las salidas del PLC, es decir actúan sobre las

electroválvulas, y las luces piloto. Necesitan un voltaje de 120VAC en su bobina y soportan una corriente máxima de 5 A. se los puede observar en la Figura 2-40.

Figura 2-40 Relés auxiliares de control

- **Contactor para resistencia.**

Permite la activación o desactivación de la resistencia eléctrica. Cuando el proceso está ejecutándose el contactor permite que la resistencia eléctrica absorba la energía entregada por la tarjeta electrónica de control, en cambio cuando el proceso es apagado el contactor interrumpe el suministro eléctrico a la resistencia eléctrica. De esta forma se asegura que el consumo de energía eléctrica de la resistencia sólo se realice cuando el proceso se ejecuta. Requiere de 120 VAC en la bobina para operar y los contactos principales soportan una corriente máxima de 15 A en categoría AC1 (ver la Figura 2-41).

Figura 2-41 Contactor para resistencia eléctrica

- **Manómetro y válvula reguladora de Presión interna VR1.**

Este equipo permite visualizar y mantener constante el valor de la presión del aire comprimido utilizado para accionar el pistón de desfogue. El manómetro se maneja dentro del rango de presión de 0 a 10 bares. Y la válvula trabaja en el rango de operación está entre 0 y 6 bares. Observe la Figura 2-42.

Figura 2-42 Válvula Reguladora de Presión con Manómetro

2.4 CONTROL DE TEMPERATURA POR TRANSFERENCIA DE CALOR

Este módulo controla la temperatura del líquido contenido en un tanque para lo cual se utiliza como sensor una RTD y como actuadores un intercambiador de calor y resistencias eléctricas. El proceso tiene un rango de trabajo entre 20 y 70 ℃. Este tipo de control es muy común en la industria cuando se presenta la necesidad de enfriar o calentar un líquido sin que este tome contacto con otros (ver la Figura 2-43).

Figura 2-43 Módulo de control de temperatura por transferencia de calor

2.4.1 ESTRUCTURA MODULAR

❖ **Estructura Física**

Esta construido en hierro, donde se aloja el tanque de agua, el intercambiador de calor, la bomba de agua y se halla suspendido el panel operador. Este prototipo esta acoplado con el módulo de pasteurización de leche pero para este proyecto dicho proceso esta aislado totalmente. Ahora se detalla la función de cada elemento así enumerados en la Figura 2-44.

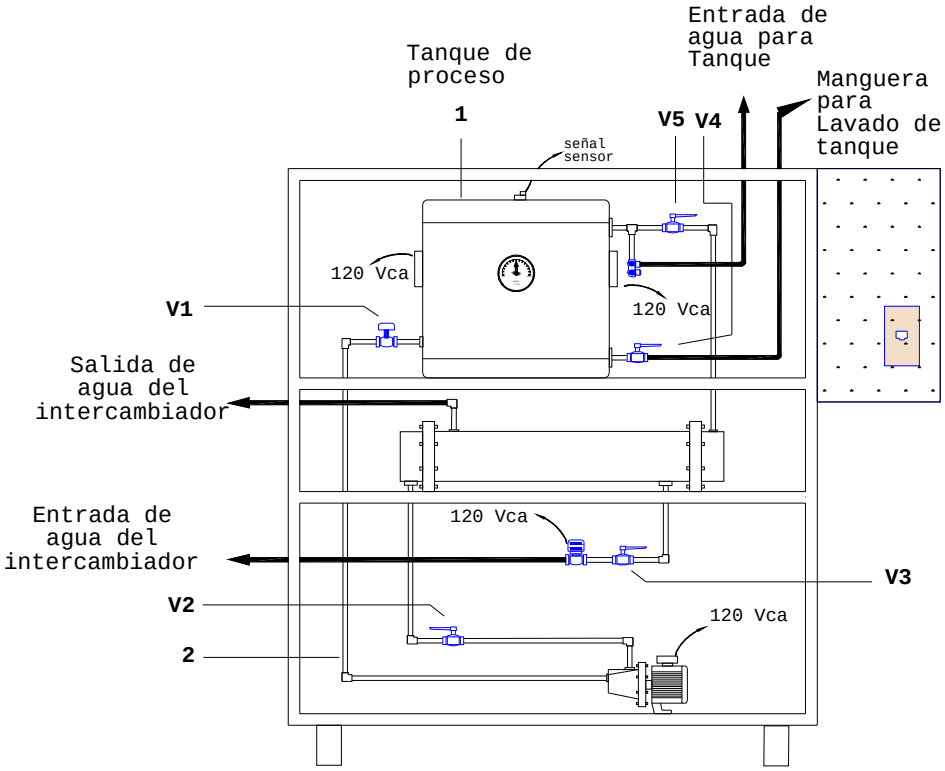

Figura 2-44 Estructura física del módulo de Control de Temperatura II

1. Tanque de proceso. este tiene como objeto contener toda el agua para el proceso descrito. Construido en metal soporta una presión de 100 PSI como máxima, tiene una capacidad de 24 Kg; y posee un revestimiento con fibra de vidrio que trabaja como aislante de calor.
2. Tuberías. parte de estas son de tipo PVC y el resto galvanizada de ½", están encargadas del transporte del líquido para el sistema de recirculación y el sistema de enfriamiento.

V1. Llave de paso para sistema de recirculación de agua. Este es un elemento para tubería de ½" de tipo bola, multivuelta, permite la circulación de líquido entre la bomba de agua y el tanque.

V2. Llave de paso para sistema de recirculación de agua. Es del tipo bola de media vuelta para tubería de ½" y cumple la misma función que V1.

V3. Llave de paso para sistema de enfriamiento. Son del tipo bola de media vuelta para tubería de ½" de diámetro y permiten la circulación de agua en el sistema de enfriamiento.

V4. Llave de paso para lavado de tanque. Este elemento de media vuelta es para tubería de ½", y permite desalojar toda el agua que se encuentra dentro del tanque para su respectivo lavado.

V5. Llave de paso para sistema de recirculación de agua. Ésta es del tipo media vuelta para tubería de ½" y tiene la misma función que V1.

- **Panel Operador**

Construido en tol reforzado, sirve para alojar todos los dispositivos electrónicos, de visualización y control, del módulo mencionado. A continuación se describe todas las partes así enumeradas en la Figura 2-45.

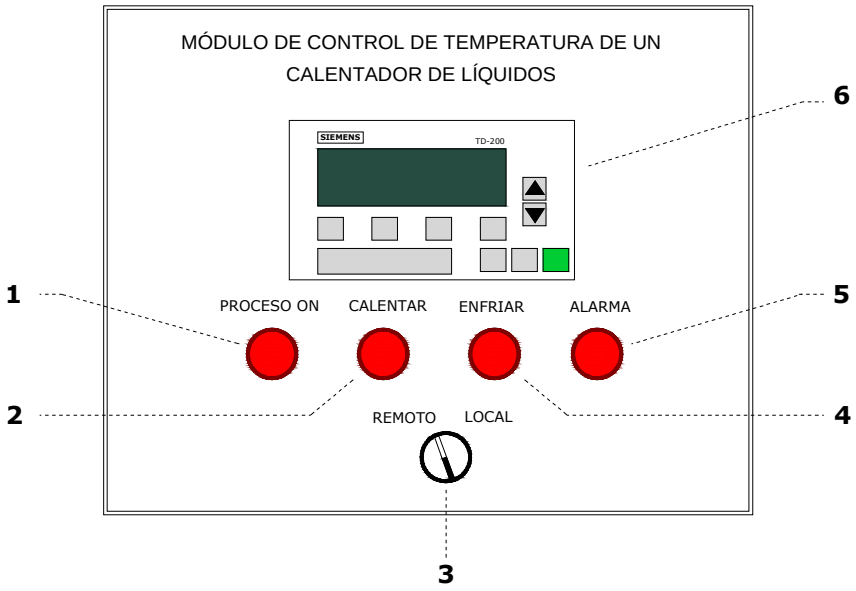

Figura 2-45 Panel Operador del sistema de control de temperatura II

1. Luz indicadora de arranque. Informa el estado del proceso: encendido o apagado.

2. Luz indicadora de Calentamiento. Indica cuando el proceso esta incrementando la temperatura.
3. Selector de modo. Selecciona el modo de trabajo ya sea local desde el panel ó remoto desde el sistema servidor de datos.
4. Luz indicadora de Enfriamiento. Muestra cuando el proceso esta disminuyendo la temperatura.
5. Luz indicadora de Alarma. se activa cuando el proceso esta fuera de los límites máximos y mínimos de operación.
6. Panel TD200. Sirve para visualizar el valor de consigna y la temperatura del proceso. En la Tabla 2-9. se muestran las características del dispositivo.

VISUALIZADOR TD 200	
Pantalla	De cristal líquido retroiluminado, 2 líneas, 20 Caracteres/línea (ASCII, cirílico), 10 caracteres/línea (Chino), 5 mm. altura de carácter
Interfaces	1 PPI (RS 485);para construir una red con un máx. de 126 estaciones (S7-200, OP, TP, TBP, PG/PC);Velocidades de transmisión 9,6/19,2/187,5 kbit/s
Alimentación	24 V DC, 120 mA; alimentación por puerto de comunicación S7-200 o fuente externa opcional. Con ello no se carga la fuente de alimentación de sensores (24 V DC) de la CPU
Temperatura ambiente	0 a 60ºC
Grado de protección	IP65 en frontal
Dimensiones (anch. x alt. X prof.) en mm.	148 x 76 x 27
Recorte en panel (normal) en mm.	138 x 68
Espesor del panel de armario/cuadro en mm.	0,3 a 4

Tabla 2-9. Características técnicas visualizador TD 200

2.4.2 DISPOSITIVOS DE CONTROL

En esta parte se describe los elementos que constituyen el sistema de control, los cuales se pueden clasificar en los siguientes:

- Elemento primario de control: sensor de temperatura RTD (PT100)
- Controlador: Siemens S7-200 CPU 226
- Elementos finales de control: Bomba de agua, electroválvulas, intercambiador de calor.

❖ Elemento primario de control

Dentro de los elementos utilizados para la medición de temperatura, se consideran el sensor y transmisor detallados a continuación:

- **Sensor de temperatura RTD PT100**

Este sensor termo-resistivo permite determinar la temperatura del agua dentro del tanque. Es un sensor de 3 alambres que está diseñado para operar hasta una temperatura de 100 ºC, necesita de un transmisor que acondicione la señal emitida por el elemento para poder procesarla dentro del PLC.

- **Transmisor de Temperatura TT2.**

Se trata de un dispositivo universal capaz de ser configurado mediante una PC, sirve para trabajar con RTD's y termocuplas directamente. Estos entregan una salida de corriente en el rango de 4 a 20 mA así se puede ver en la Figura 2-46 y la Tabla 2-10

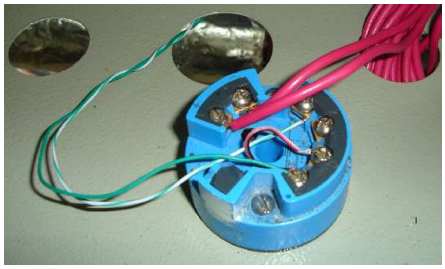

Figura 2-46 Transmisor de Temperatura

TRANSMISOR DE TEMPERATURA TMT 181	
Entrada PT100	´-200 a 850 ºC
Salida de señal	4 a 20 mA
Alimentación	Uv= 8 a 35 Vcd polaridad protegida
Temperatura ambiente	`-40 a 85 ºC
Condensación de humedad	Permisible
Nivel de protección	IP 66 instalado
Peso	40g
terminales 1 y 2	alimentación eléctrica (-2)
terminales 6 y 5	salida - de señal
terminal 3	salida + de señal

Tabla 2-10. Características Transmisor de Temperatura

- **Sensor de nivel y tarjeta electrónica de acondicionamiento**

Se trata de un dispositivo electrónico que permite medir el nivel del líquido en el tanque del proceso, haciendo uso del principio de conductividad del agua. Esta tarjeta funciona con 24 VDC y se encarga de entregar una señal digital dependiendo del nivel al controlador, garantizando un nivel máximo del agua en la planta.

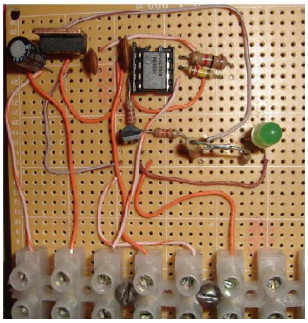

Figura 2-47 Tarjeta de acondicionamiento para control de nivel máximo.

❖ **Controlador Siemens CPU 226**

Ésta se encarga de ejecutar varios lazos de control los cuales rigen el proceso y además éste posibilita la comunicación con una PC master para la supervisión y monitoreo del módulo en forma remota. Se trata del PLC Simatic CPU-226 AC/DC/RELE de Siemens (ver la Figura 2-48 y la Tabla 2-11), con un módulo de expansión analógico EM235 (ver la Figura 2-49 y la Tabla 2-12). Este nuevo controlador permite el uso de 24 entradas digitales a 24VDC, 16 salidas digitales tipo relé, 4 entradas analógicas de voltaje o corriente, 1 salida analógica de voltaje o corriente, y para su funcionamiento requiere de una alimentación de 120-240VAC.

Figura 2-48 Controlador Simatic S7-200 CPU 226

CONTROLADOR SIMATIC S7-200 CPU 226 AC/DC/RELE	
Memoria de programa	8Kbytes
Memoria de datos	5Kbytes
Lenguaje de programación	KOP, FUP, AWL
Nº max de subrutinas	64
Protección del programa de aplicación	Protección por contraseña de 3 niveles
Marcas	256
Contadores	256
Temporizadores	256
Entradas de interrupción	4
Contadores rápidos	6
Puertos de comunicación	2, RS 485
Bornes E/S enchufables	Si
Entradas digitales	24
Salidas digitales	16
Potenciómetros análogos	2 con 8 bits de resolución
E/S análogas	4 entradas y 1 salida con 10 bits de resolución
Grado de protección	IP 20 según IEC529
Temperatura ambiente montaje	0 a 55ºC
Alimentación	100 a 230 Vca
Entradas	24 Vcd
Salidas	Reles

Tabla 2-11. Características S7-200 CPU 226

Figura 2-49 Modulo Analógico EM235

Modulo análogo EM 235	
Entradas	4 diferenciales
Tensión máxima de entrada para entrada de voltaje	30V
Tensión máxima de entrada para entrada de intensidad	32 mA
Convertidor	12 bits
Tiempo de conversión análoga digital	<250us
Señales unipolares	0 a 32000
Señales bipolares	`-32000 a 32000
Salida de tensión	`-10 a 10V
Resistencia de carga para salida de voltaje min.	5K
Resistencia de carga para salida de corriente máx.	0,5K
Resolución para salida de tensión	12 bits
Resolución para salida corriente	11bits

Tabla 2-12. Características del Modulo Analógico EM 235

❖ Elementos finales de control

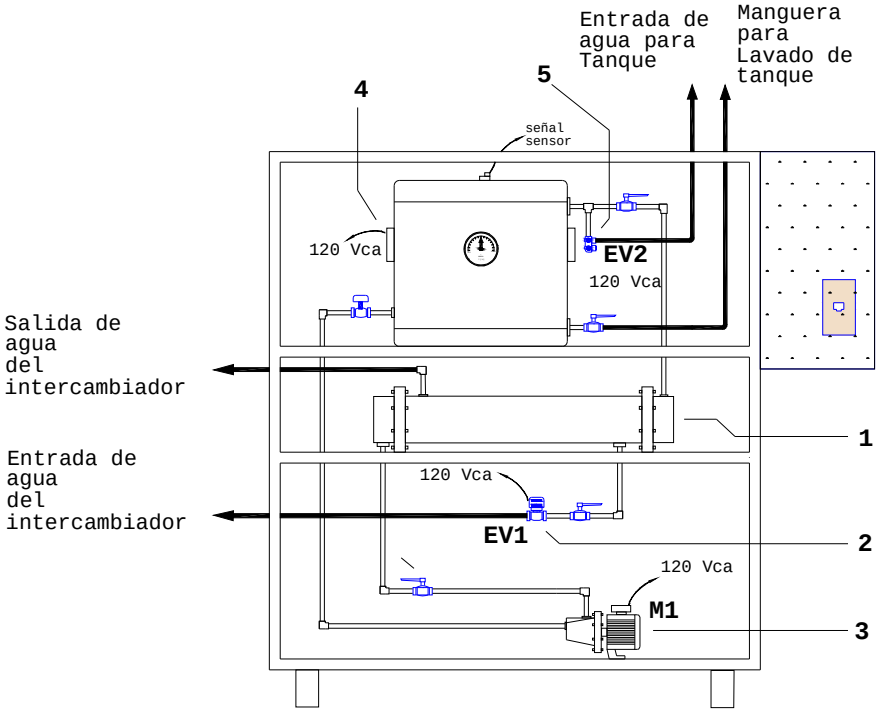

Figura 2-50 Elementos finales de control

1. Intercambiador de calor. esta construido de hierro y tiene como objeto realizar la transferencia de calor entre el líquido caliente del proceso y el agua fría proveniente de una fuente externa, en el caso de que se requiera disminuir la temperatura (ver la Figura 2-50).
2. EV1 Electroválvula para sistema de enfriamiento. Permite el ingreso de agua fría al intercambiador para la respectiva disminución de temperatura del líquido caliente dentro del tanque. Este dispositivo trabaja alimentado a 120Vca, soporta una presión máxima de 250 PSI y es para tubería de 3/8” de diámetro (ver la Figura 2-50).
3. M1 Bomba de agua. Mantiene circulando el líquido caliente dentro del sistema de tuberías, tanque e intercambiador, únicamente cuando se requiere disminuir la temperatura del proceso. Se alimenta de un voltaje de 120 VAC, tiene una potencia de ½ HP y consume una corriente de 3 A. La entrada y salida de este elemento es para tubería de ½ “.
4. Resistencias Eléctricas. son las encargadas de calentar el líquido cuando el sistema necesita elevar la temperatura, y se encuentran en el interior del tanque. Son tres resistencias y se encuentran conectadas en estrella por lo que requieren

de una alimentación trifásica 220VAC con neutro. La potencia que maneja cada una de las resistencias es de 1500 vatios.

5. EV2 Electroválvula para llenado de tanque. Permite el ingreso de agua al tanque cuando el líquido baja a cierto nivel. Este dispositivo trabaja alimentado a 120Vca, soporta una presión máxima de 250 PSI y es para tubería de 3/8” de diámetro (ver la Figura 2-50).

2.4.3 ELEMENTOS AUXILIARES

- **Termómetro**

Este dispositivo mide la temperatura del proceso en cualquier instante, tiene un rango de lectura de 0 a 150º C (ver la Figura 2-51).

Figura 2-51 Termómetro

- **Disyuntor principal**

Este elemento permite la alimentación y protección trifásica hacia la bomba de agua y las resistencias, tiene una capacidad de 10A a 450Vca (ver la Figura 2-52 izquierda).

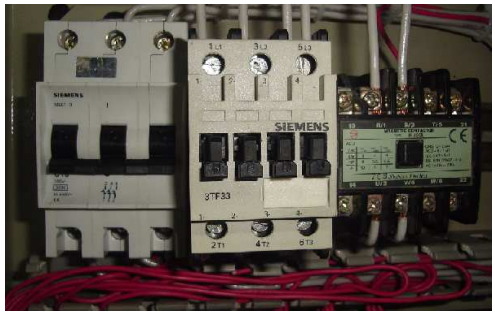

Figura 2-52 Disyuntor principal, contactor de niquelina y contactor de bomba.

- **Contactor de niquelina**

Para categoría AC3, su capacidad es de 12A y 3 KW a 220 V y se encarga de proveer energía para las resistencias eléctricas cuando el proceso esta calentando (ver la Figura 2-52 centro).

- **Contactor de bomba**

Para categoría AC3, su capacidad de corriente es 12A y 4 HP a 220 V y se encarga de proveer energía hacia la bomba de agua cuando el proceso esta enfriando (ver la Figura 2-52 derecha).

- **Base porta fusibles y fusibles**

Son elementos de protección para el PLC, esta es una base de 32 mm. la que aloja fusibles de 4 A a 500Vca (ver la Figura 2-53).

Figura 2-53 Porta fusibles y fusibles

CAPITULO 3.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA RED DE COMUNICACIÓN Y SISTEMAS DE CONTROL.

En este capitulo se detalla el diseño e instalación de las redes de comunicaciones y el desarrollo de los sistemas de control para las cuatro módulos definidos en el capítulo anterior.

3.1 INTRODUCCIÓN

El laboratorio de control de procesos cuenta con prototipos didácticos que manejan el control de variables físicas como son: flujo, presión y temperatura, los que operan independientemente con el empleo de controladores lógicos y computadores personales.

La necesidad de integrar estos procesos ubicados en diferentes puntos del laboratorio ha hecho que se materialice un esquema de supervisión y control altamente probado, conocido como Sistema de Control Distribuido (SCD). Éste mediante enlaces de comunicación entre los autómatas permite realizar las tareas de mando, manejo de datos de consignas y medición de variables de todos los módulos a través de una o varias estaciones de trabajo (ver la Figura 3-1).

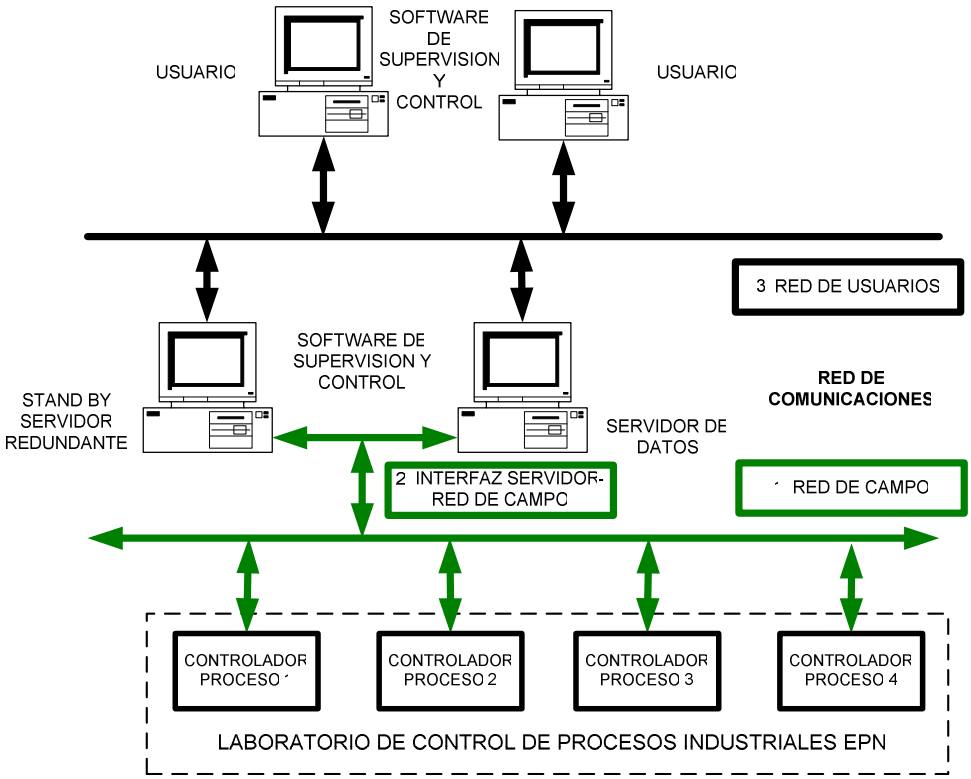

Figura 3-1 Esquema General del SCD aplicado en el laboratorio de CPI

El esquema general del sistema de control distribuido mostrado en la figura anterior indica que los elementos de los cuatro prototipos se conectan a controladores locales, los cuáles se enlazan a un sistema servidor de datos por medio de un bus de campo. Una vez recopilada la información, se permite el acceso remoto a ésta por parte de otros usuarios a través de una red local de computadoras.

El sistema servidor de datos lo constituyen dos computadores personales: el uno actúa como equipo principal de recolección de datos, mientras que el segundo se mantiene en espera hasta que exista una falla en el PC principal. A través de esta estructura el sistema adquiere un grado de redundancia.

Para el manejo de las interfaces de usuario y adquisición de datos, cada estación de trabajo cuenta con una aplicación de un software SCADA que le permite realizar las tareas de supervisión y control de los módulos conectados al sistema.

3.2 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA RED DE COMUNICACIÓN

Como se puede observar en la Figura 3-1, las redes de comunicaciones constituyen la estructura principal del control distribuido. Esto requiere de tres componentes principales para su implementación que se describen a continuación:

1. La Red de campo, es el medio físico que permite la transmisión de los datos provenientes de los controladores lógicos.
2. La Interfaz entre el servidor de datos y la red de campo, se encarga de convertir el nivel físico de los datos de la red de campo para que puedan ser manejados por el sistema servidor.
3. La Red de usuarios, permite la comunicación entre usuarios de una misma red de área local (LAN) con el fin de acceder a los datos de todos los controladores que se han acumulados en el servidor.

3.2.1 RED DE CAMPO

Una red de campo es un sistema de transmisión de datos que simplifica enormemente la operación de máquinas, equipamientos industriales y dispositivos de campo como PLC's, transductores, actuadores y sensores.

La principal ventaja que ofrecen los buses de campo es la reducción de costos en el cableado necesario para el control de una instalación. Además el manejo simple de estas redes respecto a las administrativas hace que las necesidades de mantenimiento sean menores, de modo que la fiabilidad del sistema a largo plazo aumenta.

Como se ve en la Figura 3-2, el primer componente del esquema general de la Figura 3-1 constituye la red o bus de campo, a continuación se detalla los aspectos que se deben considerar para implementarla teniendo como objetivo enlazar a los controladores lógicos programables mediante un bus de comunicación coordinado por una máquina o un sistema servidor de datos.

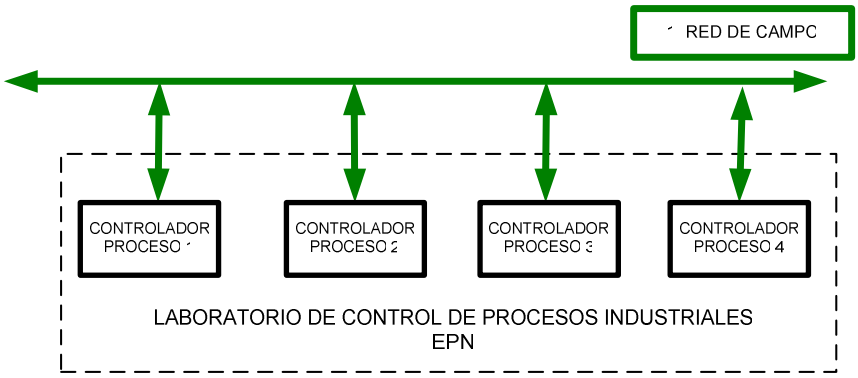

Figura 3-2 Esquema General de la Red de Campo

3.2.1.1 Selección de la red de campo

Ante la variedad de opciones de buses de campo existentes en el mercado, parece razonable pensar que fabricantes y usuarios hacen un esfuerzo en la búsqueda de normativas comunes para la interconexión de sistemas industriales.
Sin embargo cada día aparecen nuevas opciones de comunicación que solucionan varias de las limitaciones en la industria y el usuario final no tiene otra opción que seleccionar el tipo de bus que más le convenga de acuerdo a la aplicación a implementar y el costo que este genere.

En la Tabla 3-1 se presenta un cuadro comparativo de los buses mas conocidos en el mercado como son: Fieldbus, WorlFip, Profibus PA, ASi, Modbus, Ethernet y Hart.

Tabla 3-1. Principales Buses de campo

PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN								
	Fieldbus H1	Fieldbus H2	WorldFIP	Profibus PA	AS-Interface	Modbus	Ethernet®	Hart®
Tasa de transmisión [bits/s]	31.25 kB	1.0 MB	31.25 kB 1.0 MB	31.25 kB	167 kB	no determinado (1,2 kB-115,2 kB típico)	10MB	1200 Baud
Comunicación	Single/ Multi-Master	Single/ Multi-Master	Producer/ Consumer	Master/Master Master/Slave con Token Peer to Peer	Master/Slave	Master/Slave	Master/Slave Peer to Peer	Master/Slave
Acceso a la red	Token Passing	Token Passing	Bus Arbiter	Token Passing	Polling cíclico	Token Passing	CSMA/CD*5	Ninguno
Medio de transmisión	Par trenzado y fibra optica	Par trenzado y fibra optica	Par trenzado ,fibra optica y antena	Par trenzado y fibra optica	Par trenzado	Par trenzado	Par trenzado y cable coaxial	Par trenzado
Cantidad de Nodos máx.	240 por Segmento,	240 por Segmento, ó 32.768 por Sistema	256 por Red	14400 por Segmento	31	247	400	15
Seguridad intrínseca?	Si	---	Si	Si	---	---	---	Si
Alimentación por Bus?	Si	---	Si	Si	Si	---	---	Si
Medio de transmisión Normativa	IEC 1158-2	IEC 1158-2	IEC/ISA//FF IEC 1185-2	IEC/ISA//FF IEC 1185-2	NO ESPECIFICADO	NO ESPECIFICADO	NO ESPECIFICADO	NO ESPECIFICADO
Normativa (s) aplicable (s)	ISA 850	ISA 850	EN 50170 (Parte 3)	EN 50170-A2 DIN 19245	IEC947-5-2/D EN 60 947 DIN VDE	NO ESPECIFICADO	IEE802.3 ISO 8802.3	NO ESPECIFICADO

Para este proyecto se dispone de controladores lógicos programables TWIDO de Telemecanique y S7-200 de Siemens, en la Tabla 3-2 se resume las posibilidades de comunicación que tienen estos autómatas.

<table>
<tr><th>AUTÓMATAS</th><th>PORTICO INTEGRADO</th><th colspan="2">PROTOCOLOS</th><th>PORTICO OPCIONAL</th><th>PROTOCOLOS</th></tr>
<tr><td rowspan="3">SIEMENS
S7-200
CPU 224-226</td><td rowspan="3">RS 485</td><td colspan="2">INTERFAZ PUNTO A PUNTO</td><td>EM277</td><td>PROFIBUS DP</td></tr>
<tr><td rowspan="2">FREEPORT</td><td>MODBUS SLAVE</td><td>CP 243-1</td><td>ETHERNET</td></tr>
<tr><td>USS</td><td>CP 243-2</td><td>ASI MASTER</td></tr>
<tr><td rowspan="3">TELEMECANIQUE
TWIDO
TWDLMDA20DRT</td><td rowspan="3">RS 485</td><td colspan="2">ASCII</td><td rowspan="2">TWDNOZ 232-T</td><td>ASCII</td></tr>
<tr><td colspan="2">MODBUS MASTER/SLAVE</td><td rowspan="2">TWDNOZ 485-T</td><td>MODBUS MASTER/SLAVE</td></tr>
<tr><td colspan="2">CONEXIÓN REMOTA</td><td>CONEXIÓN REMOTA</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2">CONEXIÓN REMOTA</td><td>TWDNOI10M3</td><td>ASI MASTER</td></tr>
</table>

Tabla 3-2. Opciones de comunicación de autómatas SIEMENS y TWIDO.

Utilizando la información descrita anteriormente se selecciona el protocolo Modbus para implementar la red de campo, debido a que es un tipo de comunicación económico, seguro, confiable y además porque los equipos a utilizar permiten su utilización sin la necesidad de adquirir nuevos módulos opcionales.

3.2.1.2 Diseño e instalación de la red

El bus de campo industrial seleccionado permite trabajar hasta una velocidad de 115200 bits por segundo al igual que los controladores S7-200 de Siemens, pero el minicontrolador TWIDO sólo transmite a 38400 bps como velocidad máxima constituyendo una limitante para el funcionamiento de la red. Así que el bus de campo para los autómatas de este proyecto funciona con una tasa de transmisión de 38400 bps.

El protocolo Modbus permite dos tipos de transmisión conocidos como modo ASCII y RTU, se utiliza el formato RTU ya que permite transmitir una mayor densidad de caracteres a través de la misma tasa de baudios respecto al modo ASCII. Se elige transmitir sin paridad pues el flujo de datos en el bus no es muy alto, la distancia del bus es relativamente corta y por último la velocidad de transmisión es baja por lo que los riesgos de error son mínimos.

Cada controlador conectado a la red posee una dirección individual, que le caracteriza dentro del sistema de control distribuido, en la Tabla 3-3 se define la dirección correspondiente a cada módulo.

MODULO DE CONTROL	DIRECCION
FLUJO	1
PRESION	2
TEMPERATURA DE HORNO	3
TEMPERATURA POR TRANSFERENCIA	4

Tabla 3-3. Direcciones Modbus para los módulos de control

Para la instalación del bus físico se consideran siete tomas de red uniformemente distribuidas en el laboratorio: seis de tipo simple y una doble. Esta última es destinada para la conexión del sistema servidor de datos y cualquier módulo didáctico simultáneamente.

En la Figura 3-3 se muestra la ubicación física de las tomas de red en el laboratorio de control de procesos, éstas se han conectado a 1.3 m sobre el nivel del piso por motivos de seguridad (ver el Anexo 8).

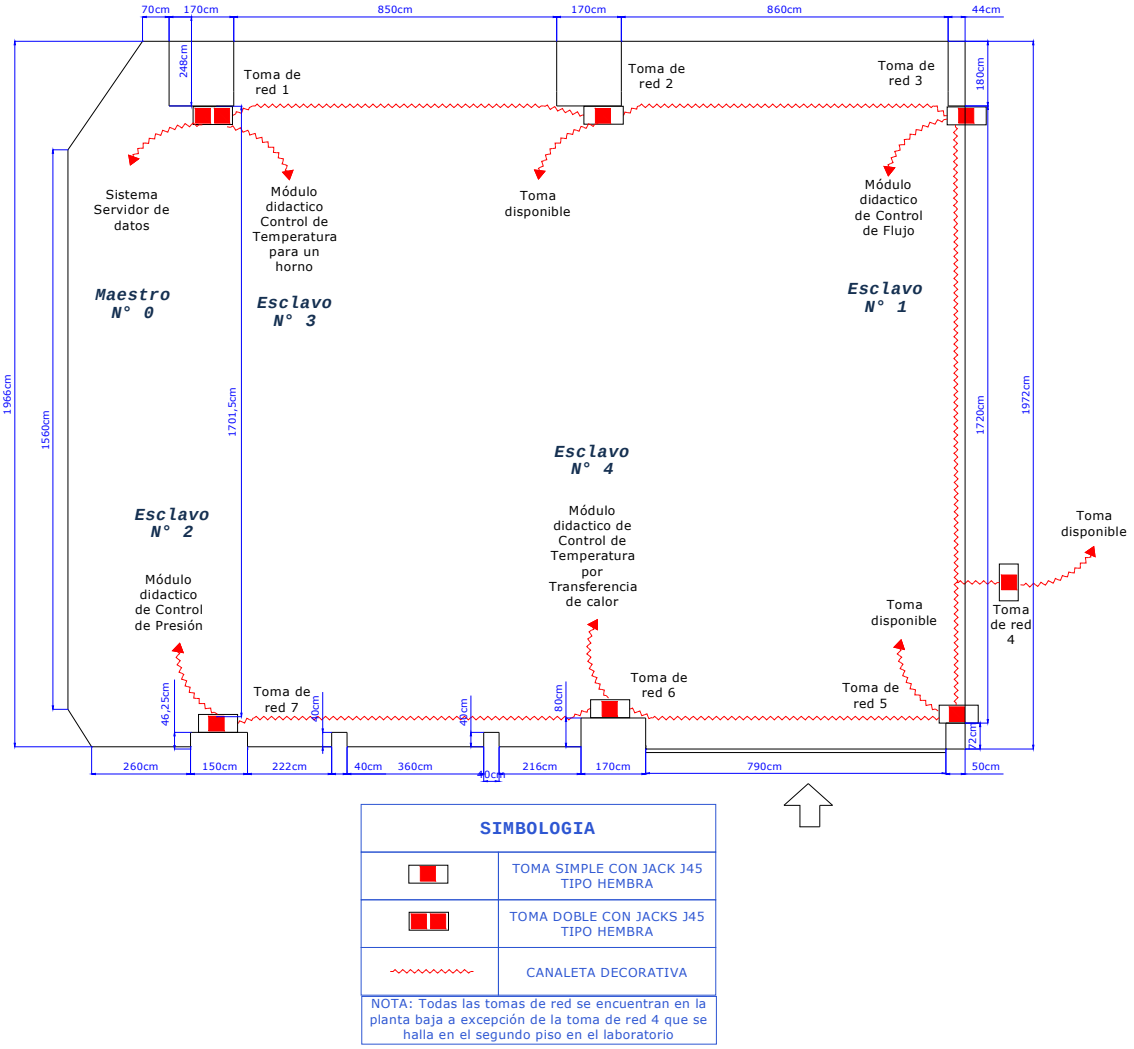

Figura 3-3 Conexión de Red Modbus

Cada toma está constituida por una caja sobrepuesta de 55mm DEXSON, un face plate y un conector tipo hembra RJ-45, así como se muestra en la Figura 3-4.

Figura 3-4 Elementos de toma de red

Como medio físico de transmisión se usa cable UTP categoría 5e (ver la Tabla 3-4), del cual se ocupa únicamente tres hilos de los ocho que posee. Las señales utilizadas corresponden al estándar RS-485: A (+), B (-) y G (tierra). Este cable atraviesa todo el laboratorio siguiendo una topología tipo bus, utilizando canaleta decorativa DEXSON lisa para superficie de 13x7mm., en tramos de 2 metros de longitud.

ESPECIFICACIONES CABLE UTP CAT. 5E	
Frecuencia	100 MHz a 100m
Atenuación	22 dB
Impedancia	100 ohms ±15%
Pares trenzados	4x 24 AWG
Conductor	Cobre descubierto
Diámetro	0.515+/-0.005mm
Aislamiento	Polyolefin
Diámetro	0.93+/-0.02mm
Cubierta	PVC
Diámetro	5.0+/-0.2mm
Peso:	Approx. 10gs/1000ft
Temperatura:	-10 a 60 º C
Tasa de Voltaje:	300V
Válido para Token-Ring UTP, 10Base-T UTP, 100Base-TX UTP, y 1000Base-T UTP Redes Ethernet Copper Gigabit.	

Tabla 3-4. Características del cable UTP cat. 5e.

La norma RS-485 establece que deben ser colocadas resistencias de terminación en ambos extremos de la línea de transmisión-recepción, y con una impedancia característica idéntica a la línea en referencia. Esto es para evitar reflexiones y ecos

indeseados en la señal que pueden interrumpir o deformar la información. Normalmente la resistencia de terminación tiene un valor entre 80 y 200 ohmios, así que se selecciona el valor típico de 120 ohmios.

Para facilitar la conexión entre el bus de campo y los módulos didácticos se utiliza un patch cord estándar directo clase TIA/EIA 568-B con terminales RJ-45 tipo macho en ambos extremos como se ve en la Figura 3-5.

Figura 3-5 Patch cord

Para observar con mayor detalle la conexiones de los controladores a la red, los terminales RJ-45 y las resistencias terminales de bus, referirse al Anexo 9.

3.2.1.3 Modo de operación

Como modbus es un protocolo de comunicación que utiliza la técnica maestro-esclavo (master-slave), en este proyecto de titulación el dispositivo master es representado por un sistema servidor de datos conformado por un computador principal y otro redundante. Solo éstos pueden solicitar determinadas acciones a los esclavos que son caracterizados por los controladores S7-200 y TWIDO de cada módulo didáctico.

Como se puede ver en la Figura 3-6, Modbus crea el formato de la trama para la pregunta realizada por el maestro, estableciendo cuatro campos de información para: la dirección del dispositivo, el código de función que define la acción a realizar, los datos correspondientes a cada función, y un campo para el chequeo de errores. El mensaje que el esclavo contesta utiliza un formato idéntico.

De acuerdo a las condiciones de diseño establecidas anteriormente, se utiliza el formato de la trama para modo RTU que se describe a continuación:

8 bits	8 bits	n bytes	n bytes
DIRECCION DEL DISPOSITIVO	CODIGO DE FUNCIÓN	DATOS	CHEQUEO DE ERROR

Figura 3-6 Formato general de la trama RTU Modbus.

Campo de dirección. Este campo contiene la dirección del dispositivo esclavo en el rango de 0-247 decimal. La dirección 0 se usa para difusión general, mientras que el rango de 1-247 es utilizado para los equipos individuales.

Campo de Código de Función. Este campo contiene el código de la función a desempeñar por el esclavo. Los códigos válidos están en el rango de 1-255 decimal, exceptuando las direcciones 73-119 que no son permitidas. Para mayor información referirse a la Tabla 1-1.

Campo de Datos. Contiene la información adicional que el dispositivo esclavo necesita para desempeñar la función que le fue asignada. Este campo utiliza n bytes dependiendo del tipo de función, aunque también puede estar vacío.

Campo de Chequeo de Error. En este campo se realiza el chequeo redundante cíclico CRC exclusivo para modo RTU.

Las transacciones que ocurren en el protocolo Modbus obedecen a un ciclo de petición-respuesta (ver la Figura 3-7). El código de la función en la pregunta dice qué tipo de acción debe realizar el dispositivo esclavo solicitado. Los bytes de datos contienen información adicional que el esclavo necesitará para realizar la función. Por ejemplo, la función código 03 solicitará al esclavo leer los registros y responder con el contenido de los mismos. El campo de datos debe contener la información que le dice al esclavo con cual registro debe empezar y cuántos registros debe leer. El campo de chequeo de errores provee al esclavo un método para validar la integridad del contenido del mensaje. Si el esclavo realiza una respuesta normal el código de función en la respuesta es una copia del código de función en la pregunta. Los bytes de datos contienen la información recolectada por el esclavo, como valores del registro o estado.

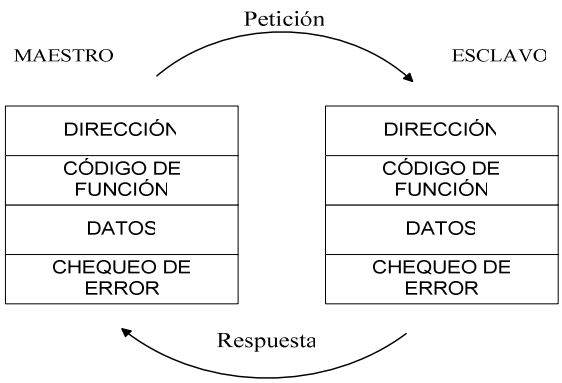

Figura 3-7 Intercambio de mensajes en el protocolo MODBUS

Si un error ocurre, el código de función se modifica para indicar que la respuesta es equivocada, y los bytes de datos contienen un código que describe el tipo de falla. El campo de chequeo de error le permite al maestro confirmar que el contenido del mensaje es válido.

3.2.1.4 Configuración de esclavos TWIDO.

Los minicontroladores Telemecanique TWIDO tienen un puerto integrado de comunicaciones RS485 configurable para operar con varios protocolos como son Modbus, ASCII, y a través de Conexiones Remotas. Además tienen la capacidad de incorporar nuevos puertos seriales RS232 o RS485 para el manejo de comunicaciones. TWIDOSOFT es el software para la configuración y programación del controlador TWIDO, y es el que permite la manipulación de los parámetros de los puertos seriales mencionados.

Nota: El puerto incorporado RS485 (puerto 1) es el único que puede ser utilizado para la programación y configuración del controlador, mientras que el módulo agregado de comunicación (puerto 2) se utiliza para aplicaciones particulares.

- Direccionamiento Modbus utilizando controladores TWIDO

Estos autómatas atienden a las peticiones de un maestro Modbus mediante el manejo de espacios de memoria denominadas marcas, las que pueden ser de tipo digital M (dato con formato booleano) o de tipo de registro MW (dato con formato de palabra). Así se tiene que cada marca digital o de tipo palabra posee una dirección particular para el master Modbus como se observa en la Tabla 3-5.

DIRECCION MODBUS	R	W	DIRECCION TWIDO
.00001	√	√	M0
.00002	√	√	M1
.00003	√	√	M2
.0…….	√	√	…
.00256	√	√	M255
.10001	√	-	M0
.10002	√	-	M1
.10003	√	-	M2
.1……	√	-	…
.10256	√	-	M255
.30001	√	-	MW0
.30002	√	-	MW1
.30003	√	-	MW2
.3……	√	-	……
.33000	√	-	MW2999
.40001	√	√	MW0
.40002	√	√	MW1
.40003	√	√	MW2
.4……	√	√	……
.43000	√	√	MW2999

Tabla 3-5. Direccionamiento Modbus para controladores TWIDO

- Pasos a seguir para configuración de equipos

Para configurar los controladores TWIDO con el fin de utilizar un enlace serial para enviar y recibir caracteres utilizando el protocolo Modbus, se procede como se explica a continuación:

1. Definir o agregar los módulos opcionales o adaptadores de comunicación en el hardware mediante el software TwidoSoft. Para este proyecto cada autómata TWIDO está configurado para utilizar un segundo puerto a través del módulo TWDNOZ485T como se ve en la Figura 3-8.

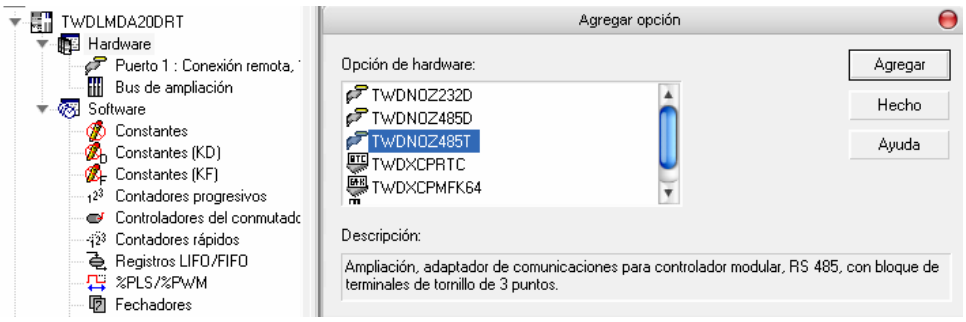

Figura 3-8 Agregar módulo opcional RS-485 para controlador TWIDO

2. Configurar los parámetros de comunicación del puerto 2 utilizado para el protocolo MODBUS, siguiendo las condiciones de dirección, velocidad y paridad planteadas en el diseño (ver la Figura 3-9).

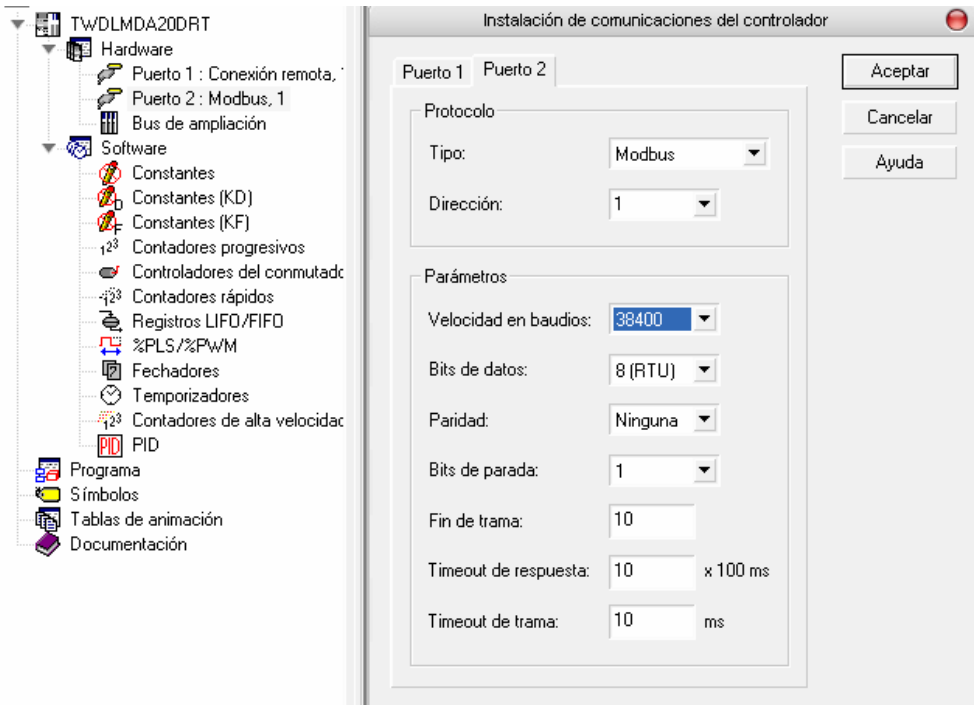

Figura 3-9 Configuración de parámetros de comunicación para controlador TWIDO

Para los módulos que utilizan este tipo de controlador la dirección asignada es 1 para el control de flujo y 2 para el control de presión. El campo de velocidad se define en 38400 bps, el número de bits de datos es 8 lo que indica que se empleará el modo Modbus RTU y no se utiliza paridad.

Nota: Si se ha seleccionado Modbus RTU, se ignora el parámetro "Fin de trama".

3. Conectar el cable TSXPCX1031 (cable de programación TWIDO) entre el puerto 1 del controlador al puerto COM serial del PC. Se debe asegurar que el conmutador del cable está en la posición 2 y se procede a la descarga de la configuración realizada.

3.2.1.5 Configuración de esclavos SIEMENS.

Los controladores SIEMENS S7-200 tienen un puerto integrado de comunicación configurable en dos modos. El primer modo es el conocido como PPI y se lo utiliza para la descarga de la aplicación realizada para el controlador, y el segundo es el modo

Freeport que es utilizado para conectarse a otros equipos seriales mediante protocolos como son MODBUS SLAVE y USS.

El software para los controladores S7-200 es el denominado STEP 7-Micro/WIN, que cuenta con librerías de operaciones que permiten configurar el S7-200 para que actúe de esclavo Modbus RTU y se comunique con maestros Modbus.

Nota: El protocolo para esclavos Modbus utiliza únicamente el puerto 0 para la comunicación. Si el puerto 0 se está utilizando para las operaciones del protocolo para esclavos, no se podrá usar para ninguna otra función, incluyendo la comunicación con STEP 7-Micro/WIN.

- Direccionamiento Modbus utilizando controladores S7-200

Los controladores S7-200 atienden a los diferentes tipos de peticiones de un maestro Modbus mediante el manejo de salidas digitales Q (dato con formato booleano), entradas digitales I (con formato booleano), registros de entradas analógicas AIW (dato con formato de palabra), y registros de retención asignados a la memoria variable VW (con formato de palabra); éstos poseen una dirección particular que puede ser accedida por el equipo maestro así como se observa en la Tabla 3-6.

DIRECCION MODBUS	R	W	DIRECCION S7-200
.00001	√	√	Q0.0
.00002	√	√	Q0.1
.0…….	√	√	……
.00127	√	√	Q15.6
.00128	√	√	Q15.7
.10001	√	-	I0.0
.10002	√	-	I0.1
.1……	√	-	……
.10127	√	-	I15.6
.10128	√	-	I15.7
.30001	√	-	AIW0
.30002	√	-	AIW2
.3……	√	-	…….
.30031	√	-	AIW60
.30032	√	-	AIW62
.40001	√	√	Hold Start
.40002	√	√	Hold Start+2
.40003	√	√	Hold Start+4
.4……	√	√	……
.4XXXX	√	√	Hold Start+ [2 x (XXXX-1)]

Tabla 3-6. Direccionamiento Modbus para controladores S7-200

Nota: Hold Start representa a la dirección inicial de los registros asignados a la memoria variable VW que van a ser utilizados en la comunicación Modbus.

- Pasos a seguir para configuración de equipos

Para configurar los controladores SIEMENS con el fin de utilizar su puerto serial mediante el protocolo Modbus, se procede como se explica a continuación:

1. Insertar las operaciones MBUS_INIT y MBUS_SLAVE en la aplicación del software STEP 7-Micro/WIN, se encuentran ubicadas en la categoría Subrutinas y sirven para configurar parámetros e iniciar la comunicación. Hay que tener en cuenta que MBUS_INIT debe ser ejecutada una sola vez y MBUS_SLAVE debe ser invocada en cada ciclo de procesamiento del controlador así como se ve en la Figura 3-10.

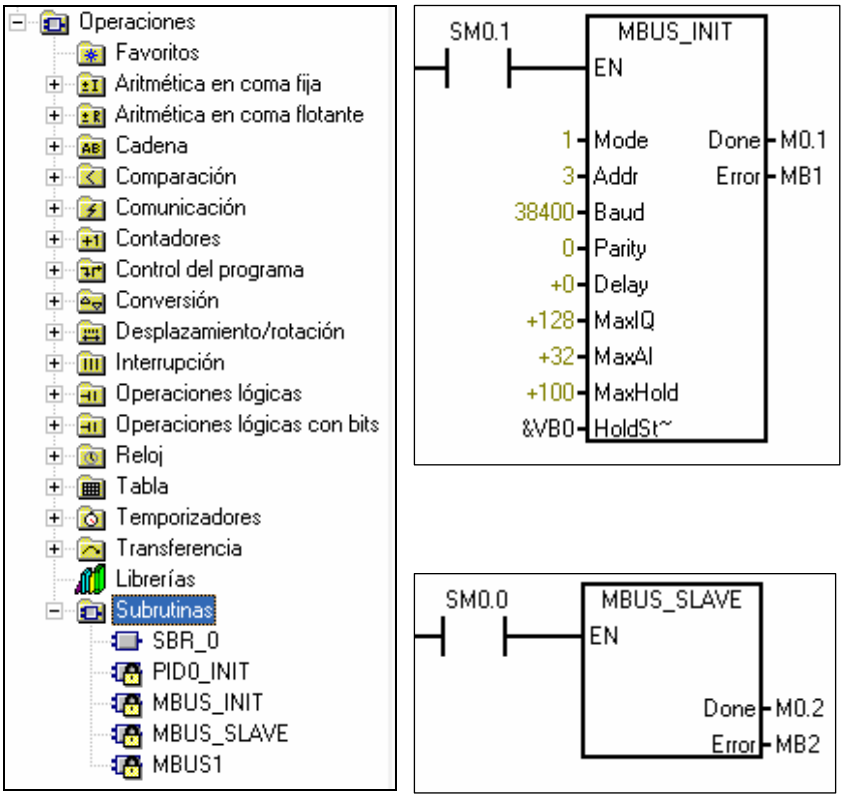

Figura 3-10 Insertar Operaciones MBUS_INIT y MBUS_SLAVE

2. Asignar una dirección inicial a los 779 bytes consecutivos de la memoria V necesarios para ejecutar las operaciones del protocolo Modbus, cuidando que no se sobrescriban sobre otros registros de memoria utilizados en la aplicación.

Esta acción se realiza en STEP 7-Micro/WIN en el menú Archivo seleccionando la opción “Asignar Memoria a Librería” (ver la Figura 3-11).

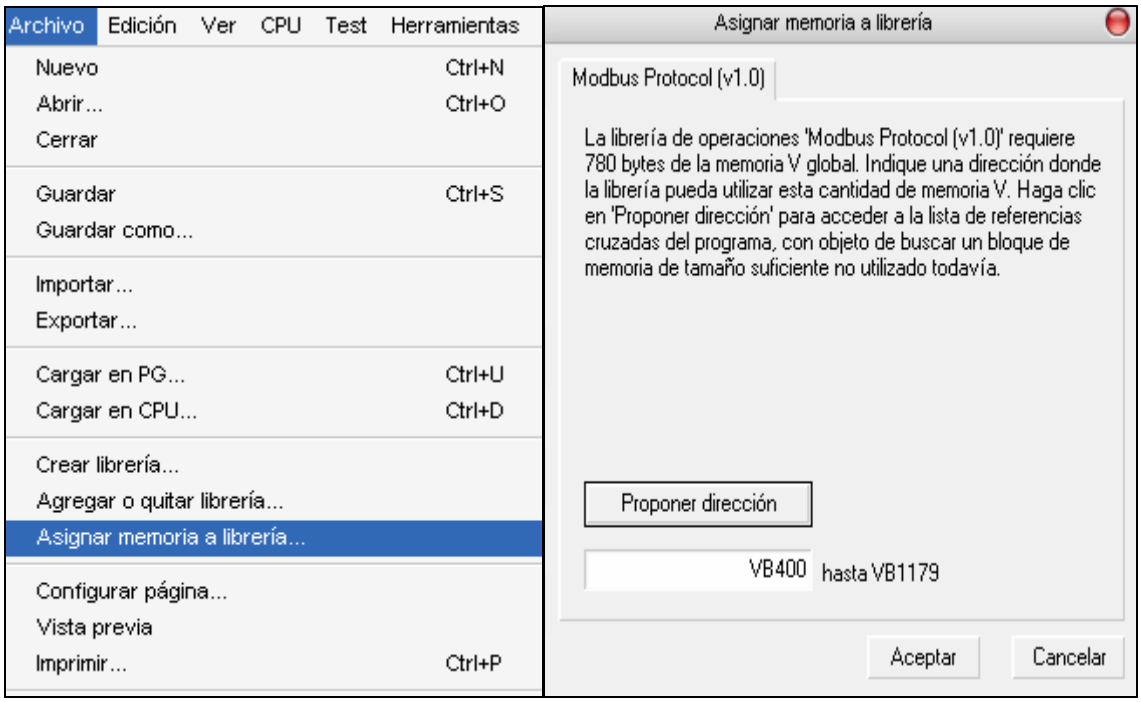

Figura 3-11 Asignación de memoria para librería MODBUS S7-200.

3. Utilizando el cable de comunicación PC-PPI de SIEMENS, conecte el puerto 0 del S7-200 al puerto serial de una PC y descargue la aplicación realizada. Se debe asegurar que el PLC se encuentre en modo STOP.

A continuación se detallan las operaciones MBUS_INIT y MBUS_SLAVE utilizadas por el S7-200 para la comunicación con el protocolo Modbus.

- **Operación Modbus MBUS_INIT.** Sirve para activar e inicializar, o bien para desactivar la comunicación Modbus (ver la Figura 3-10).

El valor de la entrada “Mode” selecciona el protocolo del puerto 0. Se asigna y habilita al protocolo Modbus si el campo tiene el valor “1”. Si la entrada es “0”, el puerto 0 se establece al modo PPI y se inhibe Modbus.

El parámetro “Baud” ajusta la velocidad de transferencia entre 1200 a 115200 bits por segundo. De acuerdo a las condiciones de diseño de este proyecto se establece que la velocidad es de 38400 bps.

El parámetro “Addr” ajusta la dirección del dispositivo esclavo a valores comprendidos entre 1 y 247. Para los módulos que utilizan este controlador la dirección asignada es 3 (control de temperatura de un horno) y 4 (control de temperatura por transferencia de calor).

El parámetro “Parity” se ajusta de manera que concuerde con la paridad del maestro Modbus. Se aceptan los valores de 0, 1 y 2 que corresponden a sin paridad, paridad impar y paridad par, respectivamente. En este caso no se utiliza paridad así que se asigna el valor de 0.

El parámetro “Delay” retarda el timeout de fin de mensaje Modbus estándar. Este valor puede estar comprendido entre 0 y 32767 milisegundos. En redes cableadas, el valor recomendado por el fabricante de este parámetro es “0”, razón por la cuál se acepta este valor para la configuración.

El parámetro “MaxIQ” ajusta el número de entradas (I) y salidas (Q) disponibles para las direcciones Modbus 00xxxx y 01xxxx a valores comprendidos entre 0 y 128. Un valor de “0” inhibe todas las lecturas y escrituras de las entradas y salidas. Es recomendable ajustar el valor de “MaxIQ” a 128, con el objeto de poder acceder a todas las entradas y salidas del S7-200.

El parámetro “MaxAI” ajusta el número de registros de entradas analógicas (AIW) disponibles para la dirección Modbus 03xxx a valores comprendidos entre 0 y 32. Un valor de “0” inhibe la lectura de las entradas analógicas. Para poder acceder a todas las entradas analógicas del S7-200, es recomendable ajustar el valor de “MaxAI” de la siguiente manera: para la CPU 221 el valor de 0, para la CPU 222 el valor de 16 y para la CPU 224/226/226XM el valor de 32.

El parámetro “MaxHold” ajusta el número de registros de retención en la memoria V disponibles para la dirección Modbus 04xxx. En este proyecto para que el maestro pueda acceder a 200 bytes de la memoria V, se ajusta el valor de “MaxHold” a 100 palabras (registros de retención).

El parámetro “HoldStart” es la dirección inicial de los registros de retención en la memoria V. Por conveniencia en este proyecto este valor se ajusta a &VB0 (dirección de VB0). De esta forma el maestro Modbus tiene acceso a 100 palabras de la memoria V, comenzando en VW0.

La salida “Done” se activa una vez finalizada la operación MBUS_INIT. El byte de salida “Error” contiene el resultado de ejecución de la operación.

- **Operación Modbus MBUS_SLAVE.** Se utiliza para procesar una petición del maestro Modbus, debiéndose ejecutar en cada ciclo para poder comprobar y responder a las peticiones (ver la Figura 3-10). La operación se ejecuta en cada ciclo cuando está activada la entrada EN. MBUS_SLAVE no tiene parámetros de entrada.

La salida “Done” se activa cuando la operación MBUS_SLAVE responde a una petición Modbus y se desactiva si no se ha procesado ninguna petición.
La salida “Error” contiene el resultado de ejecución de la operación. Esta salida sólo será válida si esta activada la salida “Done”. Si “Done” está desactivada, no cambiará el parámetro de error.

3.2.1.6 Configuración del maestro LOOKOUT.

Para que el sistema servidor de datos recopile la información de los controladores esclavos mediante el software LOOKOUT se requiere utilizar el objeto MODBUS. Éste permite la comunicación con cualquier dispositivo que soporte los protocolos seriales Modbus.

- **Direccionamiento Modbus utilizando LOOKOUT.**

El driver de Lookout seleccionado genera automáticamente un bloque de direcciones que representan la información del controlador lógico requerido, y se basan en la Tabla 3-7.

DIRECCION MODBUS	TIPO	R	W	DESCRIPCIÓN
.00001-9999	lógica	√	√	Bobinas de un solo bit
10001-19999	lógica	√	-	Entradas discretas de un solo bit
30001-39999	numérica	√	-	Registros de entrada de 16 bits
40001-49999	numérica	√	√	Registros de retención de 16 bits

Tabla 3-7. Direccionamiento Modbus para LOOKOUT

- **Pasos a seguir para configuración de equipos**

Para configurar el sistema servidor se procede como se explica a continuación:

1. Agregar un nuevo objeto ubicado en la categoría de DRIVERS con el nombre de Modbus, así como se ve en la Figura 3-12. Para este proyecto de titulación se requiere de cuatro objetos Modbus para recopilar la información de los cuatro módulos didácticos.

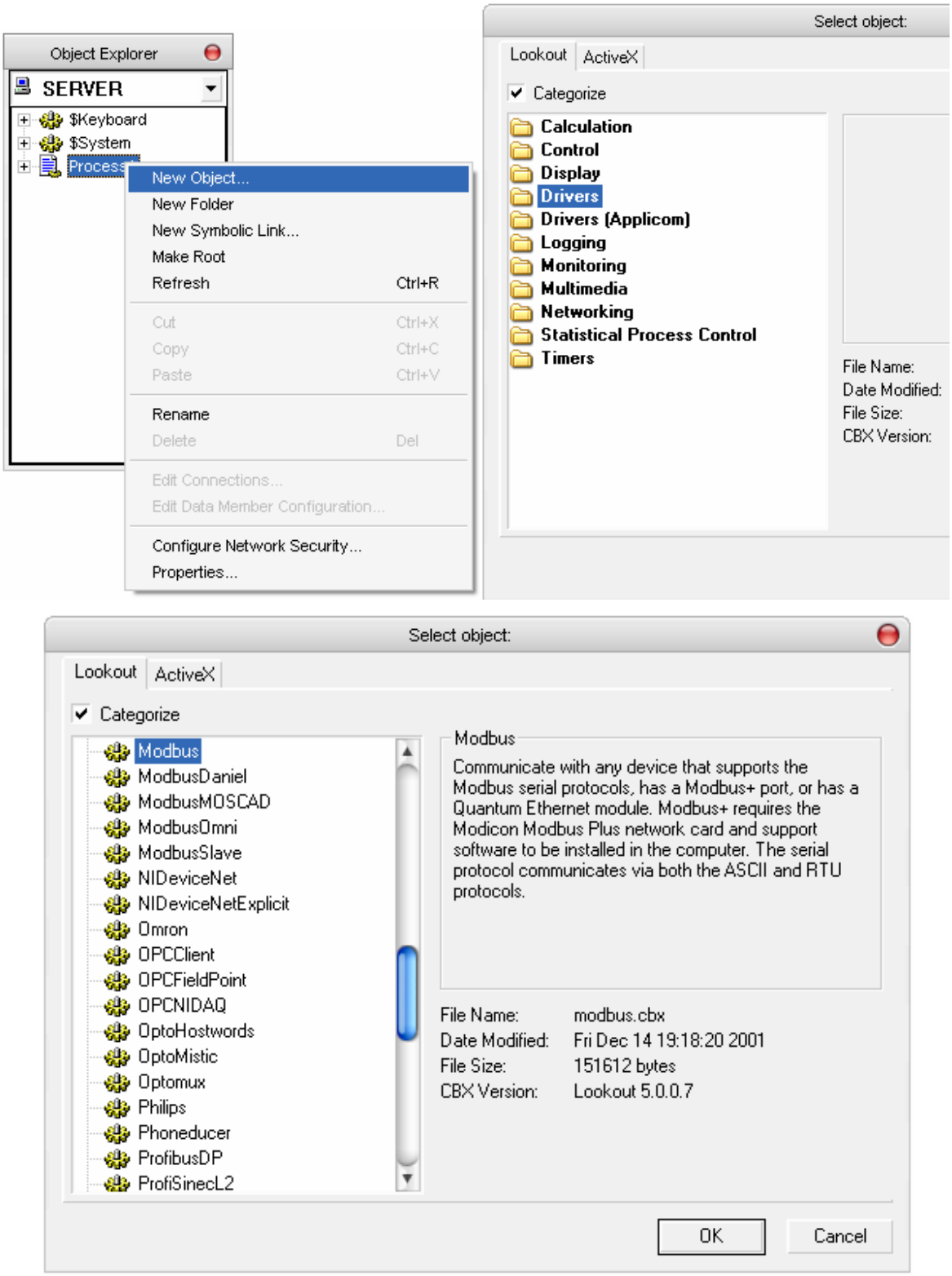

Figura 3-12 Guía para agregar un objeto Modbus

2. Configurar los parámetros de comunicación de la herramienta, siguiendo las condiciones de dirección, velocidad y paridad planteadas en el diseño. En la Figura 3-13 y en la Tabla 3-8, se detallan los parámetros básicos del objeto.

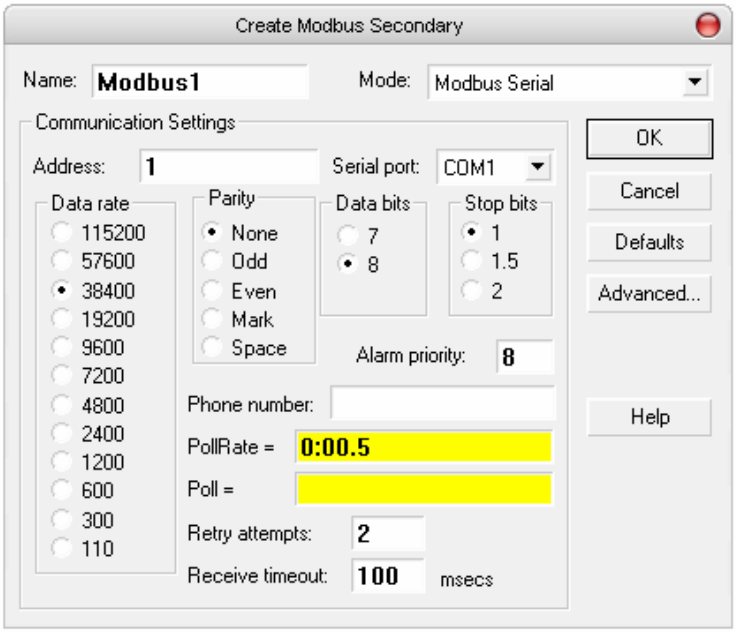

Figura 3-13 Configuración de parámetros básicos de comunicación en LOOKOUT

Parámetro	Descripción
Address	Indica la dirección del esclavo (PLC o RTU), entre 0 y 254.
Serial port	Indica la direccion del puerto de comunicación serial a utilizar
Data rate	Hace referencia al valor de velocidad de transmisión del dispositivo en bps. (110, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200).
Parity	Referencia al valor de paridad del dispositivo de hardware ("none", "even", "odd", "mark", "space").
Data bits	Referencia al # de bits de datos del dispositivo (7 or 8).
Stop bits	Referencia el # de bits de parada del dispositivo de hardware (1, 1.5, 2).
Alarm priority	Nivel de prioridad para las alarmas generadas por objeto (0-10).
Phone number	Numero a ser discado si el portico serial esta configurado para dial up.
PollRate	Expresión numérica que determina cuan a menudo el dispositivo esclavo es requerido. Ejemplo: 0:01 (un segundo)
Poll	Esta expresión permite que Lookout realice al instante un requerimiento al dispositivo.
Retry attempts	Número de veces consecutivas que Lookout intenta establecer comunicación con un dispositivo, después del cúal se genera una alarma
Receive timeout	Tiempo de espera de respuesta de un dispositivo antes de reintentar una petición.

Tabla 3-8. Detalle de los parámetros básicos del objeto Modbus

La dirección asignada para cada objeto de acuerdo al diseño previo es: 1 para el control de flujo, 2 para el control de presión, 3 para el control de temperatura de un horno y 4 para el control de temperatura por transferencia. El campo de velocidad se define en

38400 bps, el número de bits de datos es 8 lo que indica que se empleará el modo RTU y no se utiliza paridad.

El puerto serial asignado es el COM1, la tasa de polling para cada dispositivo esclavo es de 0.5 segundos (0:00.5). Este valor se recomienda para aumentar el rendimiento de la red de campo.

Además se configura la herramienta para realizar dos intentos de reconexión en caso de falla de comunicación, y espera 100 milisegundos antes que se declare que el controlador está ausente.

Existen otros parámetros avanzados configurables, que se ven en la Figura 3-14 y se describen en la Tabla 3-9. Éstos no afectan al funcionamiento y rendimiento de la red, por lo que han sido configurados con sus valores por defecto.

3. Conectar el cable de interfaz de comunicación al pórtico serial del sistema servidor de datos.

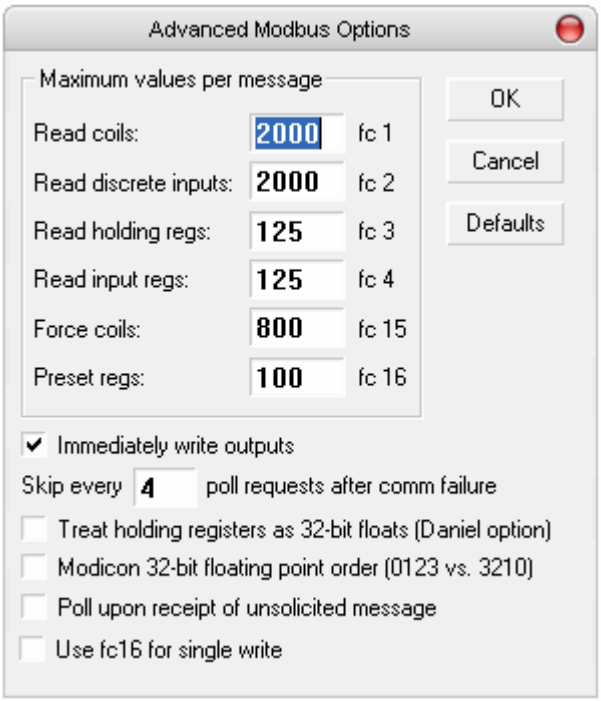

Figura 3-14 Configuración de parámetros avanzados de comunicación en LOOKOUT

Nombre	Descripción
Read Coils	Indica el # máximo de bobinas para leer, función 1. Valor por defecto: 2000
Read discrete inputs	Indica el # máximo de entradas discretas,función 2. Valor por defecto:2000
Read Holding regs	Indica el # máximo de registros de retención,función 3. Valor por defecto:125
Read input regs	Indica el # máximo de registros de entrada,función 4. Valor por defecto:125.
Force coils	Indica el # máximo de bobinas para escritura,función 15. Valor por defecto:800.
Preset regs	Indica el # máximo de registros de retencion para escritura, funcion 16. Valor por defecto: 100
Immediately write updates	Si la opción es ON todas las salidas se actualizan inmediatamente
Skip	Indica el # de peticiones de polling para saltar despues de un fallo de comunicación. Valor por defecto: 4.
Treat holding registers	Opción utilizada para Modbus Daniel, utiliza registros de retención de 32 bits
Modicon32-bit floating order	Intercambiar el orden de los registros de retención de 32 bits
Poll upon receipt of unsolicited message	Habilita realizar el polling a un esclavo que no se ha requerido.
Use fc16 for single write	Habilita la función 16 para escribir varios registros

Tabla 3-9. Detalle de los parámetros avanzados del objeto Modbus

3.2.2 INTERFAZ ENTRE SERVIDOR DE DATOS Y RED DE CAMPO.

En la Figura 3-15 se muestra el segundo componente del esquema general de control distribuido de la Figura 3-1, constituido por elementos que permiten el enlace físico entre el bus de campo y el sistema servidor de datos.

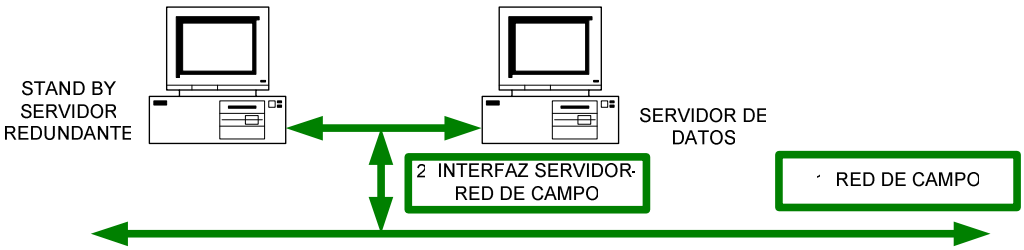

Figura 3-15 Esquema General de Interfaz entre Servidor de Datos y Red de Campo

Esta interfaz debe permitir la conexión directa de la red Modbus hacia las dos computadoras SERVER y STANDBY, al conectar los puertos seriales entre las máquinas se pierde la comunicación con la red de campo debido a que al conectar las tierras de

cada puerto se pierde el nivel de referencia de las señales RS232 y se produce un fallo en la transferencia de los datos.

Para resolver este problema se debe conmutar los puertos de forma que queden aislados asegurando que el camino físico sea uno solo, es decir, que los datos de campo se manejaran por la computadora primaria o por la secundaria pero nunca las dos a la vez. La máquina redundante debe monitorear la actividad del servidor principal y manejar el controlador TWIDO vía SERIAL/USB para definir el camino de los datos al sistema servidor. La configuración de los servidores se explica con mayor detalle en el capitulo 4.

En la Figura 3-16 se muestra el diagrama de conexión para permitir el enlace entre el bus de campo y el sistema servidor de datos.

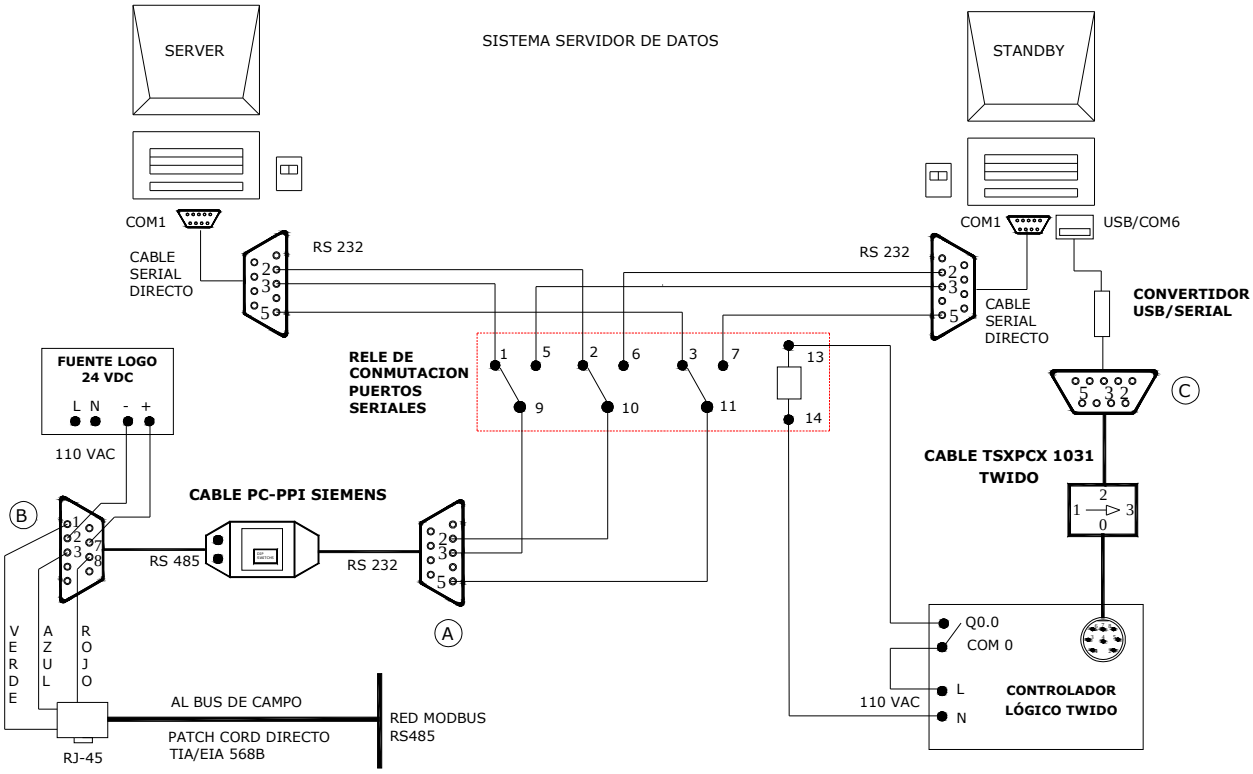

Figura 3-16 Diagrama de conexión entre el sistema servidor de datos y red de campo

Para conseguir este propósito se requiere de los siguientes elementos:

- Controlador Lógico TWIDO. Es utilizado para dar la orden de conmutación entre los puertos seriales COM1 de las máquinas SERVER y STANDBY, dependiendo del estado del servidor principal.

- Cable TSX PCX 1031 para controlador TWIDO. Permite el enlace entre la computadora STANDBY y el autómata, para este proyecto debe estar configurado en la posición 3 “OTHER DIRECT”, habilitando la comunicación en Modbus y el control con el software Lookout.
- Convertidor USB/SERIAL. Debido a que el puerto serial de la máquina STANDBY está ocupado, se necesita de un dispositivo convertidor para utilizar un puerto USB de la computadora como un puerto serial virtual, para este proyecto se tiene el puerto serial COM6. Este equipo en conjunto con el cable anterior sirven para manejar el controlador TWIDO.
- Relé de conmutación. Define el camino de la transferencia de datos entre el bus de campo y el equipo primario o secundario.
- Cable PC-PPI. La red de campo implementada utiliza un protocolo serial RS 485 y el sistema servidor de datos soporta el mismo pero con la norma RS 232, razón por la cual se necesita de un dispositivo capaz de enlazar distintos estándares conocido como convertidor serial RS232/RS485.
- Fuente 24 VDC. El cable PC/PPI es un convertidor aislado por lo que se necesita de una fuente externa de alimentación de 24VDC para su funcionamiento.

Como se observa en la Figura 3-17 el cable PC/PPI posee unos DIP switch, los que sirven para la configuración de velocidad y modo de transmisión. La red de campo esta configurada para trabajar a una velocidad de 38400 bps, entonces el conversor también debe ser configurado a este valor para lo cual los dip switchs 1, 2 y 3 deben estar en la posición 000.

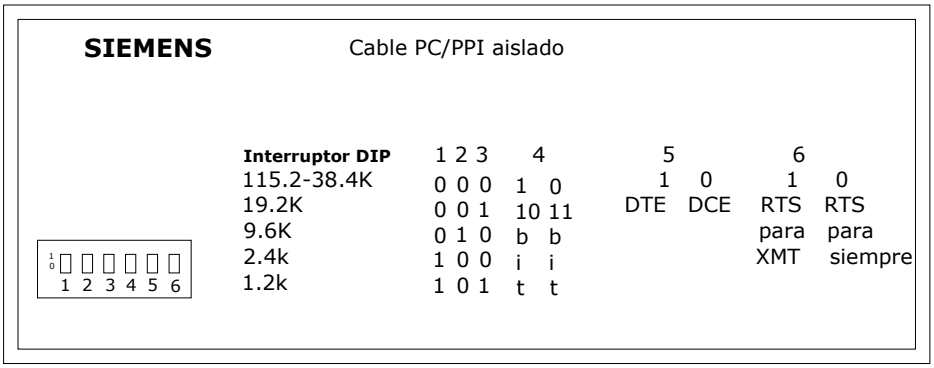

Figura 3-17 DIP switchs del cable PPI

En la Tabla 3-10 se presenta todas las características técnicas del cable PC / PPI (conversor) a nivel de ambos enlaces RS 485 y RS 232.

Cable PC/PPI	
Características generales	
Tensión de alimentación	DC 14,4 a 28,8 V
Intensidad a 24 V de alimentación nominal	Máx. 50 mA RMS
Retardo al cambio de sentido: bit de arranque Flanco recibido en RS-232 a bit de arranque Flanco enviado	Máx. 1,2 us
Flanco recibido en RS-232 a transmisión inhibida en RS-485	1,4 caracteres por máx.(1,4 x 11/bit/s) = 1,6 ms a 9600 bit/s
Retardo de propagación	Máx. 4 us, RS-485 a RS-232 Máx. 1,2 us RS-232 a RS-485
Aislamiento (RS-485 a RS-232)	DC 500 V
Características eléctricas del enlace RS-485	
Rango de tensión en modo común	-7 V a +12 V, 1 segundo,3 V RMS continuo
Impedancia de entrada del receptor	Mín. 5,4Kohmios, incluyendo cierre
Cierre/polarización	10Komhios a +5V en B, pin 3 PROFIBUS 10Kohmios a GND en A, pin 8 PROFIBUS
Umbral/sensibilidad del receptor	+/- 0.2 V, 60 mV histéresis típ.
Tensión de salida diferencial del transmisor	2 Vmín. a RL = 100 ohmios=1,5 V mín. a RL = 54 ohmios
Características eléctricas del enlace RS-232	
Impedancia de entrada del receptor	3Kohmios (mínimo)
Umbral/sensibilidad del receptor	Mín. 0,8 V bajo, máx. 2,4 V alto,histéresis típica: 0,5 V
Tensión de salida del transmisor	+/- 5 V mín. a RL = 3Komios

Tabla 3-10. Características del cable PPI

3.2.3 RED DE USUARIOS

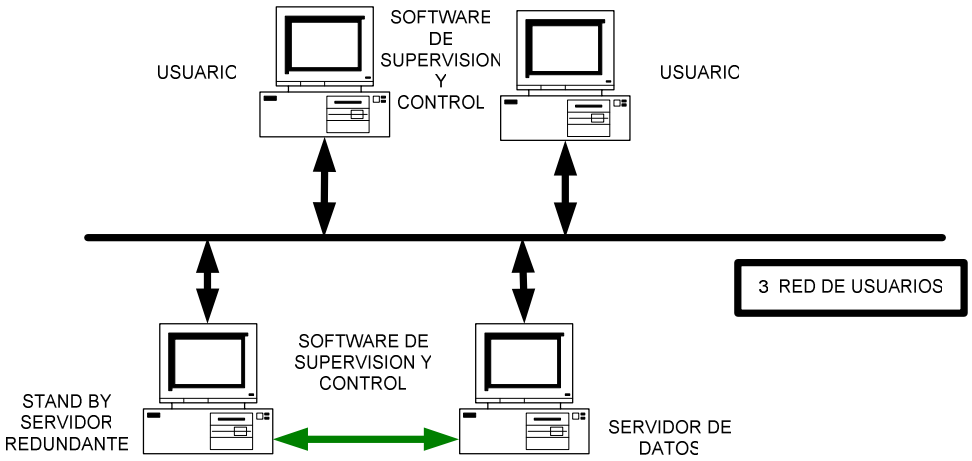

Figura 3-18 Esquema General de Red de Usuarios

Continuando con el detalle del esquema general de control distribuido de la Figura 3-1, el tercer componente es la red de usuarios cuyo objetivo es permitir la comunicación entre máquinas clientes de una misma red de área local (LAN) con el fin de acceder a los datos de todos los controladores acumulados en el computador servidor permitiendo el manejo de las interfaces de usuario de los módulos presentados en este trabajo (ver Figura 3-18).

Está estructurada por cuatro computadoras: dos actúan como servidores de información, y dos operan como clientes o usuarios. De forma que permiten compartir recursos, aumentar la confiabilidad y el rendimiento del sistema, además proporciona un poderoso medio de comunicación para satisfacer las necesidades de intercambio y obtención de información entre todas las estaciones de la red.

3.2.3.1 Selección de la red de usuarios

Las redes de computadores pueden clasificarse en varios tipos según el área de cobertura requerida, así como se observa en la Tabla 3-11.

NOMBRE	SIGNIFICADO	AREA
LAN	Local Area Network	Salón,piso,edificio
CAN	Campus Area Network	Campus: universitario, industrial
MAN	Metropolitan Area Network	Ciudad, área metropolitana
WAN	Wide Area Network	Ciudad, país, continente
INTER-REDES	Interconexión de redes	Edificio,campus,ciudad,país, etc

Tabla 3-11. Clasificación de las redes de computadores según el área de cobertura.

Considerando el reducido número de estaciones de trabajo utilizadas, el área en que se encuentran ubicadas y el equipo con que se cuenta, se decide utilizar una red de área local LAN tipo C. Que maneja cable UTP cat. 5e como medio de transmisión, siguiendo los estándares Ethernet IEEE 802.3, con topología tipo bus y conectados por medio de un SWITCH para disminuir colisiones y retardos en la red.

3.2.3.2 Diseño e instalación de la red de usuarios

El medio de transmisión empleado permite operar hasta 100 Mbps, el switch con que se cuenta en el laboratorio tiene una capacidad de 10/100 Mbps Fast Ethernet, por lo que se adopta este último valor de velocidad como tasa de transmisión de datos. No hay que

dejar de lado la posibilidad de utilizar un switch de 10 Mbps, ya que no se reduce el rendimiento del sistema de comunicaciones, debido a la baja tasa de transmisión de datos en la red de campo.

Debido a que se seleccionó manejar una LAN tipo C que sigue los estándares Ethernet, cada estación de trabajo posee una dirección IP que le caracteriza dentro de la red de usuarios, en la Tabla 3-12 se define el valor correspondiente a cada computador.

EQUIPO	NOMBRE DE MAQUINA	GRUPO DE TRABAJO	DIRECCION IP	MASCARA
SERVIDOR PRINCIPAL	SERVER	HOME	192.168.0.1	255.255.255.0
SERVIDOR REDUNDANTE	STANDBY	HOME	192.168.0.2	255.255.255.0
CLIENTE 01	CLIENTE-01	HOME	192.168.0.3	255.255.255.0
CLIENTE 02	CLIENTE-02	HOME	192.168.0.4	255.255.255.0

Tabla 3-12. Direcciones IP de las estaciones de trabajo en la red de usuarios

El enlace entre computadores se lo hace por medio de un switch NEXXT de 8 puertos 10/100 Mbps Fast Ethernet, del cuál se utiliza cuatro puntos para enlazar las máquinas del sistema. La conexión entre los equipos de computación y el switch se hace por medio de patch cords estándar directo clase TIA/EIA 568-B. En la Figura 3-19 se muestra un esquema de la conexión entre los computadores pertenecientes a la red de usuarios.

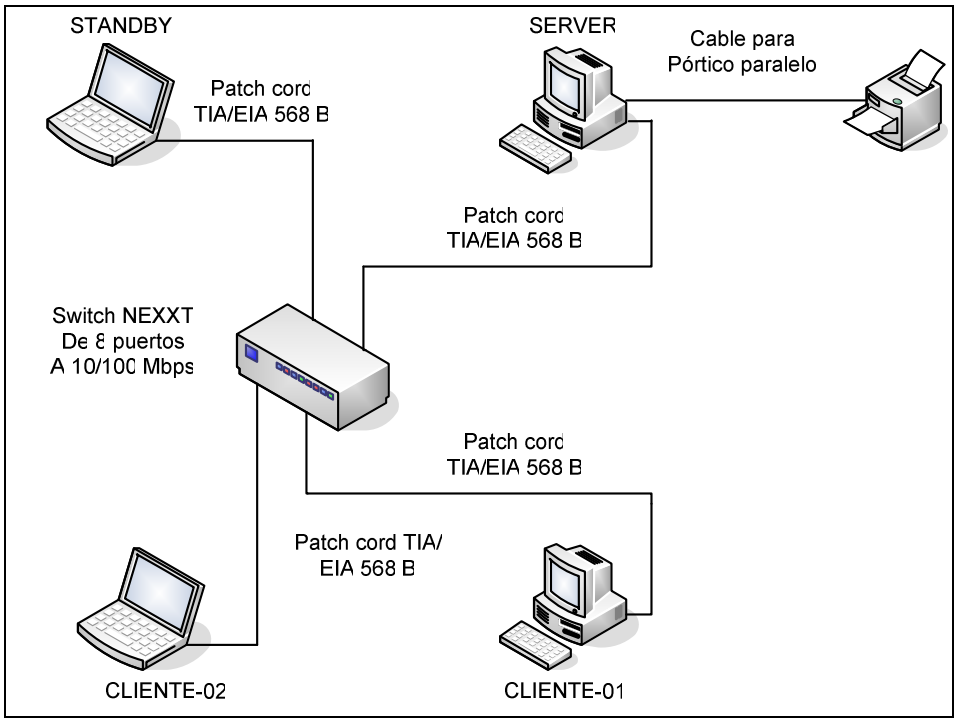

Figura 3-19 Esquema de conexión de la red de usuarios

3.2.3.3 Configuración de equipos usuarios.

Para el manejo de las interfaces de usuario y adquisición de datos, cada estación de trabajo cuenta con la aplicación de un software conocido como LOOKOUT que le permite realizar las tareas de supervisión y control de los módulos conectados al sistema.

Cuando se requiere enlazar varias computadoras utilizando este software, cada una de las estaciones de trabajo debe ser registrada para que puedan ser reconocidas por las otras máquinas. Existen tres formas de realizar este procedimiento: registro manual, mediante una lista de equipos servidores y registro por auto detección.

Estos métodos ayudan a un fácil acceso a las computadores que pertenecen a la red y además que estén ejecutando el software Lookout o cualquier producto perteneciente a National Instruments.

- **Pasos a seguir para configuración de equipos**

Para este proyecto se utiliza el modo de auto detección para registrar los computadores en la red de usuarios. Y se procede de la siguiente manera:

1. Ejecutar el programa Lookout, ubicarse en el modo de edición y seleccionar el menú Options >>Network (ver la Figura 3-20).

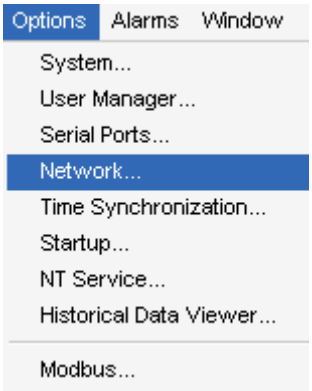

Figura 3-20 Configuración de opciones de red Lookout

2. Habilitar la opción **Auto-detect machines on the local network** en todas las máquinas como se puede ver en la Figura 3-21.

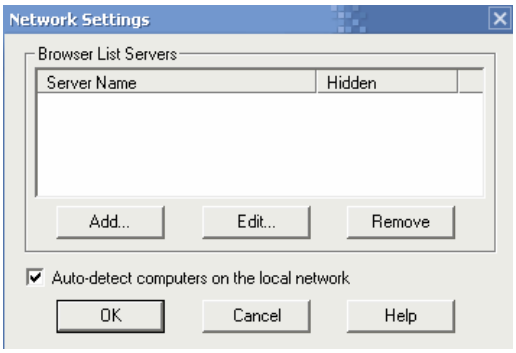

Figura 3-21 Configuración de Auto-detección

De esta forma se detecta a otros computadores que se encuentren en la red y que estén ejecutando Lookout, permitiendo el manejo de los objetos pertenecientes a otras máquinas (ver la Figura 3-22).

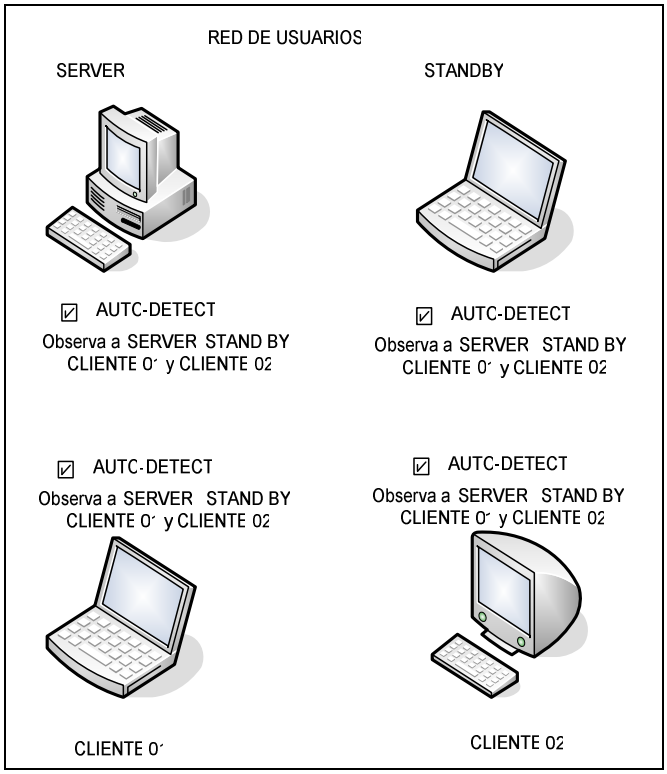

Figura 3-22 Efectos de Auto-detección

Al deshabilitar esta opción se previene que la máquina sea vista por otros equipos aún si las otras máquinas estén habilitadas en el modo Auto-detección. Para cumplir con los alcances planteados en este proyecto, se requiere que las cuatro estaciones estén habilitadas para el reconocimiento por auto detección.

Cuando todos los equipos de comunicación mencionados en este capítulo sean configurados e instalados correctamente, se cumple con la integración de los cuatro autómatas en coordinación con las cuatro computadoras-estaciones de trabajo y en el capitulo 4 se continua con el desarrollo de las interfaces gráficas HMI para el operación de cada módulo. Una vez puesta en marcha la red de campo y de datos se puede empezar con el diseño e implementación de los sistemas de control.

3.3 SISTEMA DE CONTROL DE FLUJO.

3.3.1 INTRODUCCIÓN

Este módulo didáctico está diseñado para controlar el flujo del líquido que recircula en un depósito en un rango de 1 y 5 GPM. Para el manejo de esta variable se utiliza un lazo de control abierto y otro cerrado, en la Figura 3-23 y Figura 3-24 se pueden observar los diagramas de bloques que ilustran lo mencionado.

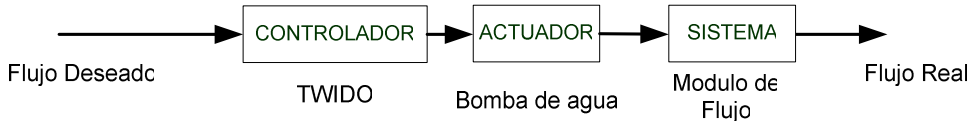

Figura 3-23 Sistema de Control de Flujo en Lazo Abierto

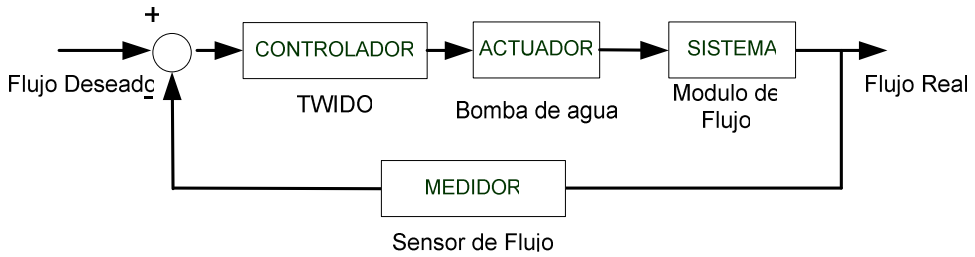

Figura 3-24 Sistema de Control de Flujo en Lazo Cerrado

El módulo de flujo opera mediante el empleo de un **controlador** programable TWIDO TWDLMDA20DRT siguiendo una lógica implementada a través del software TWIDOSOFT y en complemento con una aplicación LOOKOUT permiten la visualización y comando del proceso desarrollado para esté prototipo.

El papel del **actuador** lo desempeña una bomba de agua que por medio de un variador de frecuencia obtiene el cambio deseado en el valor de la variable, en cambio la función de **medidor** es realizada por el sensor y transmisor de flujo.

En el control en lazo abierto, la variable no tiene efecto sobre la acción de control, mientras que en el lazo cerrado se mide la variable y luego se resta de la señal de consigna para obtener el error. El controlador automáticamente actúa en base al error y ejecuta acciones para reducirlo hasta conseguir que el valor real de flujo sea igual a la referencia fijada por el operador.

3.3.2 MODO DE OPERACIÓN

Para iniciar el funcionamiento de este módulo se requiere encender el interruptor general SENSOR ON-OFF (#7) ubicado en el panel de control. Cuando existe la falta de una fase de la red trifásica, la operación no puede arrancar o se detiene hasta que sea corregida la falla, de igual forma se procede cuando el selector de modo (#12) se encuentra en la posición media OFF. El encendido y apagado del proceso se lo realiza a través de los pulsantes ubicados en el panel (#14) o desde una PC remota. Se consideran dos modos de trabajo: local y remoto, que se eligen con el selector ubicado en el centro del panel.

- **Modo local**

En este modo el valor de flujo es controlado directamente por acción del potenciómetro denominado velocidad variable en el panel local (#5) sin tener en cuenta el valor de flujo que pase por la tubería, es decir que el control es en lazo abierto. Las computadoras no pueden acceder al manejo de la consigna de flujo y solo tienen a cargo el monitoreo y registro de datos de la variable. La única referencia del valor de flujo para el manejo local constituye el indicador conocido como rotámetro.

- **Modo remoto**

Para este modo, la consigna de flujo es tomada desde las estaciones de trabajo y ésta es comparada con la lectura medida de flujo; es decir que el control se realiza en lazo cerrado haciendo que cualquier perturbación no afecte al sistema. El modo remoto se caracteriza por que los comandos de operación se realizan en las estaciones remotas, éstas tienen un acceso total al control del proceso: calibración de los valores de consigna y constantes de control.

Cuando el modo remoto ha sido seleccionado el proceso tiene dos formas de operación: Control de flujo continuo y Aplicación.

- *Control de flujo continuo*

La velocidad del flujo se mantiene constante a un valor fijado por el operador de acuerdo a la necesidad del proceso, la operación se inicia o detiene mediante el manejo de los botones ON-OFF en las interfaces gráficas (HMI) correspondientes a esta variable.

- *Aplicación*

Cuando se activa el botón APLICACIÓN en la HMI, se muestra una pantalla que esta destinada para simular la aplicación del despacho de combustible en una estación de gasolina, donde el operador puede ingresar la cantidad de combustible que requiere un cliente ya sea en galones o en dólares, el despacho comienza al oprimir el botón INICIAR DESPACHO y constituye un control por lotes (batch) coordinados por el servidor de datos. Todo este proceso lleva un registro total de las ventas.

3.3.3 IMPLEMENTACIÓN DE LÓGICA Y HARDWARE DE CONTROL

De acuerdo a los elementos existentes para el sistema de control detallados en el capitulo 2, se tiene el siguiente diagrama de conexiones para el controlador TWIDO que se indica en la Figura 3-25. En el Anexo 10, se muestran todos los diagramas eléctricos correspondientes al sistema de control de flujo.

Para el desarrollo de la lógica de control se utiliza variables dentro del controlador como entradas, salidas y registros de memoria que se indican en la Tabla 3-13 y Tabla 3-14.

ENTRADAS/SALIDAS	
Entradas Digitales	
%I0.0	PULSANTE ON
%I0.1	FASE R
%I0.2	FASE S
%I0.3	FASE T
%I0.4	MODO REMOTO
%I0.5	MODO LOCAL
%I0.7	PULSANTE OFF
Salidas Digitales	
%Q0.2	ELECTROVALVULA
%Q0.3	CONTACTOR PRINCIPAL
%Q0.4	LUZ PROCESO ON
%Q0.6	START/STOP VARIADOR
%Q0.7	RELE DE MODO
Entradas Analógicas	
%IW0.0	POTENCIOMETRO MANUAL FLUJO
%IW0.1	SENSOR DE FLUJO
Salidas Analógicas	
%Q0.0	SALIDA PWM MODO REMOTO
%Q0.1	SALIDA PWM MODO LOCAL

Tabla 3-13. Entradas y salidas de autómata de control de flujo

TWIDO TWDLMDA20DRT ESCLAVO MODBUS 1		
VARIABLE	NOMBRE	DIRECCION
Bits para Lectura		
%M0	READ_FASE_R	Modbus1. 00001
%M1	READ_FASE_S	Modbus1. 00002
%M2	READ_FASE_T	Modbus1. 00003
%M3	READ_ON	Modbus1. 00004
%M4	READ_REMOTO	Modbus1. 00005
%M5	READ_LOCAL	Modbus1. 00006
%M6	READ_VARIADOR	Modbus1. 00007
%M7	READ_ELECTROVALVULA	Modbus1. 00008
Bits para Escritura		
%M20	WRITE_ON	Modbus1. 00021
%M21	WRITE_OFF	Modbus1. 00022
%M22	WRITE_APLICACION	Modbus1. 00023
%M23	WRITE_ELECTROVALVULA	Modbus1. 00024
Registros para Lectura		
%MW0	READ_W_FLUJO	Modbus1. 40001
%MW1	READ_W_SETPOINT_LOCAL	Modbus1. 40002
%MW2	READ_W_SETPOINT_ACTUAL	Modbus1. 40003
%MW3	READ_W_TIEMPO_ELECTROVALVULA	Modbus1. 40004
%MW4	READ_W_GALONES	Modbus1. 40005
%MW5	READ_W_DOLARES	Modbus1. 40006
Registros para Escritura		
%MW20	WRITE_W_KP	Modbus1. 40021
%MW21	WRITE_W_TI	Modbus1. 40022
%MW22	WRITE_W_TD	Modbus1. 40023
%MW23	WRITE_W_TS	Modbus1. 40024
%MW24	WRITE_W_SETPOINT_REMOTO	Modbus1. 40025
%MW25	WRITE_W_DOLARES	Modbus1. 40026
%MW26	WRITE_W_GALONES	Modbus1. 40027
%MW27	WRITE_W_PRECIO_GALON	Modbus1. 40028

Tabla 3-14. Variables utilizadas para la lógica de control de flujo

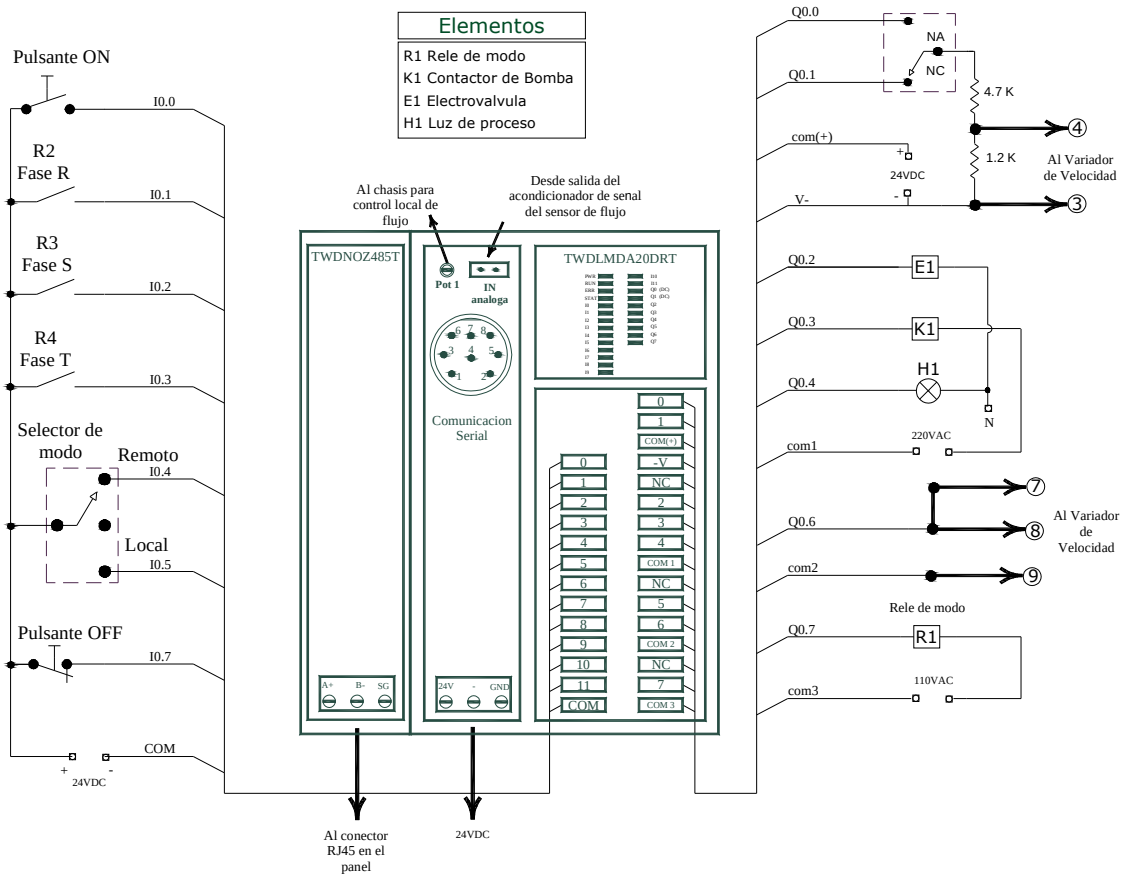

Figura 3-25 Conexiones del controlador de flujo

A continuación se muestran los diagramas de flujo en la Figura 3-26, Figura 3-27, Figura 3-28, y la Figura 3-29 donde se representa la lógica de control.

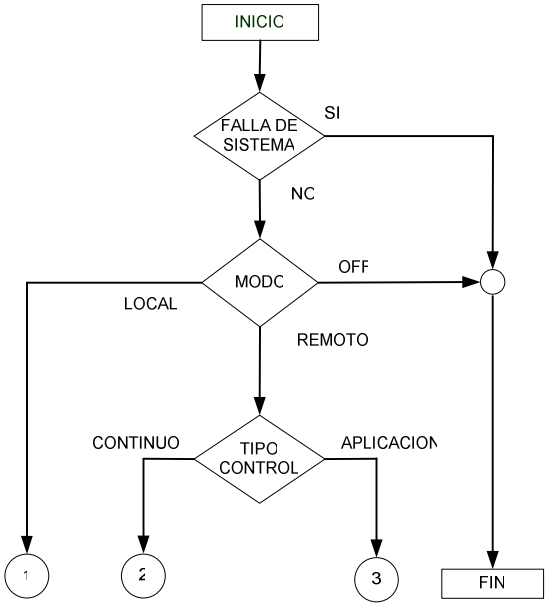

Figura 3-26 Modo de operación

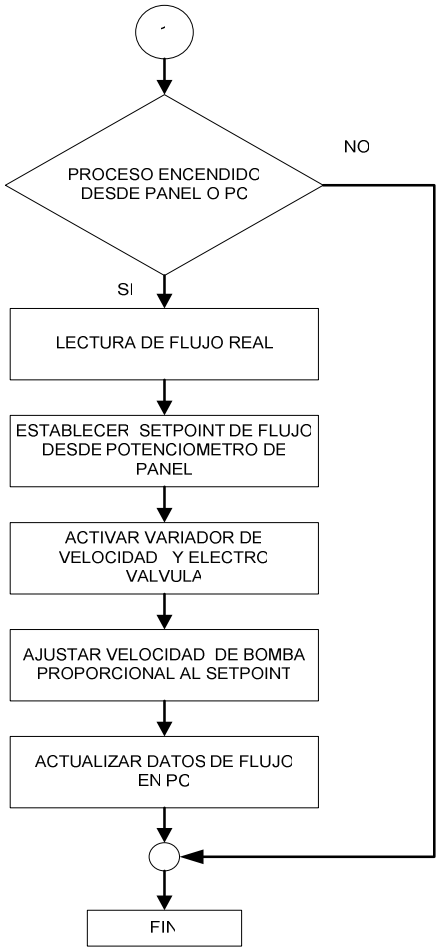

Figura 3-27 Modo local – Lazo Abierto

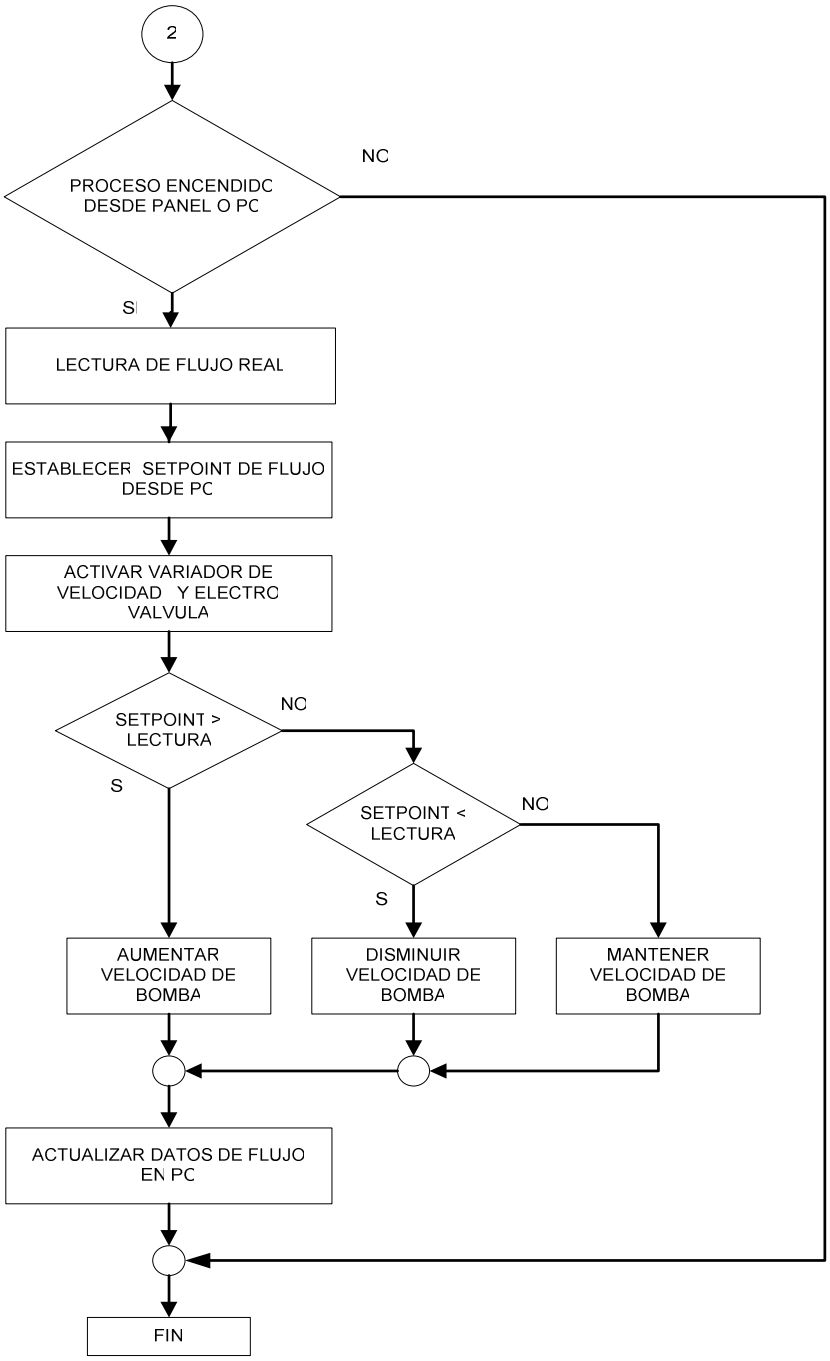

Figura 3-28 Modo remoto- Lazo Cerrado-Control continuo

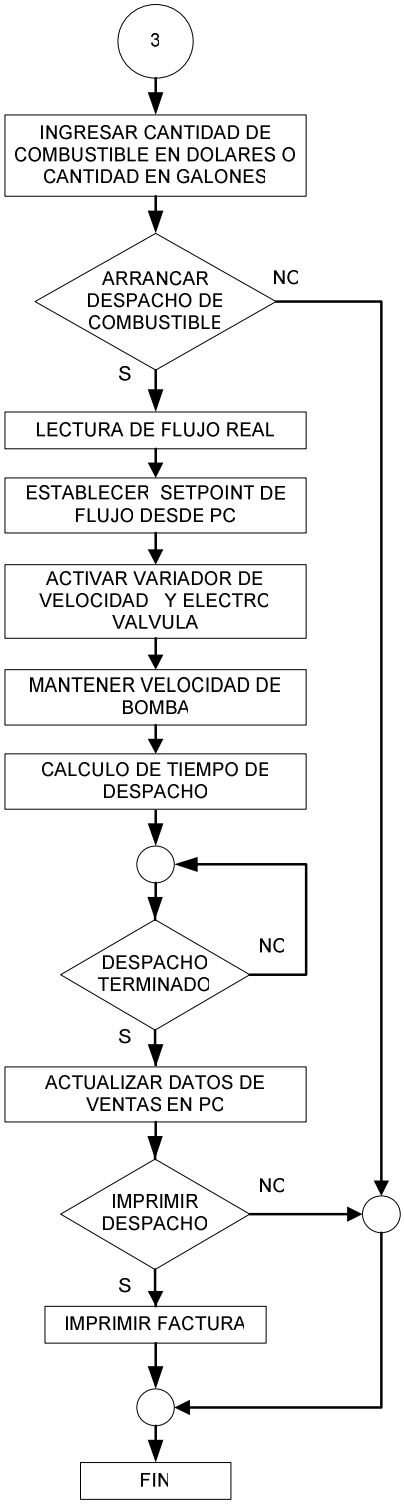

Figura 3-29 Modo remoto – Lazo Cerrado- Aplicación (despacho de combustible)

El proceso inicia y se detiene desde el panel (%I0.0 y %I0.7) ó desde la PC (%M20 y %M21), el modo de trabajo puede ser local y remoto (%I0.5 y %I0.4 respectivamente) y el

estado de las fases del sistema trifásico se revisan a través de los relés R (%I0.1), S (%I0.2), T (%I0.3).

El flujo en el proceso es medido a través de un sensor el cual genera una señal de pulsos a una tarjeta acondicionadora, ésta provee un valor de 0 a 5V que representan 0 y 5 GPM, respectivamente. La señal acondicionada ingresa al canal analógico (%IW0.1) del autómata configurado para entregar valores digitales entre 0 y 50 que representan el valor leído de la variable y que puede ser utilizado para el algoritmo de control y para la visualización (%MW0) en las estaciones de trabajo.

Si el modo de operación seleccionado es local, se toma la señal proveniente del potenciómetro del panel que ingresa al canal analógico (%IW0.0) del controlador, para enviarla a un bloque PWM del autómata (%Q0.1) proporcionando niveles de voltaje que ingresan a la entrada analógica del variador de velocidad, el cual esta conectado con la bomba de agua. De esta forma se genera una variación del flujo directamente proporcional a la acción del potenciómetro.

Si el modo de operación es seleccionado como remoto, se toma la señal de la variable de flujo y se la resta de la señal de consigna configurada previamente por el operador (%MW24), el resultado de la operación se considera como señal de error la que ingresa al bloque PID. Luego la señal de salida ya compensada ingresa al bloque PWM el cual proporciona niveles de voltaje (%Q0.0) que ingresan al canal analógico del variador de velocidad, el cual esta conectado con la bomba de agua. Entonces según sea la necesidad del control de flujo esta bomba empuja automáticamente al líquido a través de las tuberías con mayor o menor velocidad.

El modo de aplicación (%M22) difiere del anterior únicamente en la orden de encendido y apagado del sistema, ya que en esta selección el control empieza al oprimir el botón INICIAR DESPACHO (%M23) y termina cuando haya transcurrido el tiempo de despacho calculado por la PC.

Por medio de ajustes experimentales se obtiene que para una respuesta rápida y sin error, los valores de las constantes del PID son para Kp (%MW21) = 0.22, Td (%MW22)= 0.4 seg, Ti (%MW23) = 0.4 seg, y Ts (%MW24)= 0.4 seg.

En el Anexo 11, se muestra el programa ladder implementado en el PLC TWIDO para el módulo de control de flujo.

3.4 SISTEMA DE CONTROL DE PRESIÓN.

3.4.1 INTRODUCCIÓN

El propósito de este actual sistema es controlar la presión interna de un tanque hidroneumático para mantenerla en un rango de 5 a 50 PSI. El módulo utiliza un **controlador** programable TWIDO TWDLMDA20DRT que permite la visualización y comando del proceso en conjunto con las estaciones de trabajo.

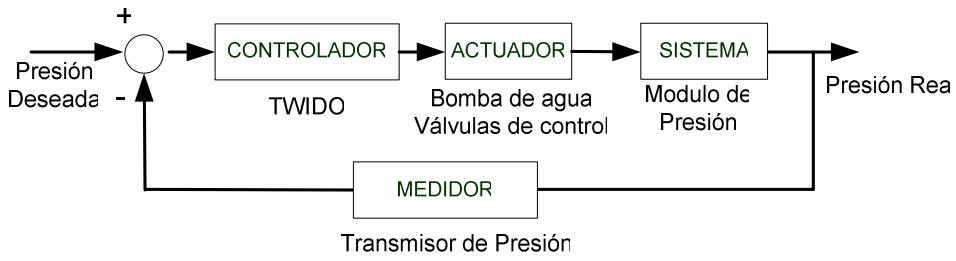

Figura 3-30 Sistema de Control de Presión

Como se ve en la Figura 3-30, el control que se realiza es en lazo cerrado, en donde los **actuadores** son una servoválvula, una electroválvula de desfogue y una bomba de agua para cambiar el valor de presión en el tanque hidroneumático. La función de **medidor** la realiza un transmisor de presión de diafragma, de esta forma se puede comparar con el valor de la consigna deseada y a si determinar las acciones necesarias para reducir el error.

3.4.2 MODO DE OPERACIÓN

Una vez realizadas correctamente las conexiones neumáticas y eléctricas, se debe encender el interruptor general ON-OFF (#9) ubicado en el panel de control para iniciar el funcionamiento.

La consigna de presión es tomada desde las estaciones de trabajo y ésta es comparada con el valor medido, el control se realiza en lazo cerrado de forma que se compense el error producido. Los comandos de operación se realizan en las PC's las que tienen un acceso total al control del proceso: marcha, paro, lectura de presión, calibración de los valores de consigna, y constantes de control. Además la servoválvula puede operar de forma automática por el controlador o de forma remota por el operador.

El control de presión tiene tres formas de operación: Continuo, Aplicación y Forzado:

- **Modo de Control de Presión Continuo**

En este modo la presión del aire en el interior del tanque hidroneumático se mantiene constante a un valor fijado por el operador.

- **Modo de Aplicación**

A diferencia del modo anterior, se realiza el control de presión existente en el tanque hidroneumático que contiene líquido, y de esta forma se puede controlar la presión de salida del agua acumulada en su interior. Constituye un control por lotes (batch), ya que cuando se termina el agua en el interior del tanque el operario se encarga manualmente de mantener suficiente líquido dentro del recipiente.

- **Modo Forzado**

A través de este modo se manipula independientemente cada uno de los actuadores para cambiar el valor de presión del sistema de forma remota.

3.4.3 IMPLEMENTACIÓN DE LÓGICA Y HARDWARE DE CONTROL

Para el desarrollo de la lógica de control se utiliza variables dentro del controlador TWIDO, como entradas, salidas y registros de memoria que se indican en la Tabla 3-15 y Tabla 3-16. Y el diagrama de conexiones para el controlador se indica en la Figura 3-31.

ENTRADAS/SALIDAS	
Entradas Digitales	
-	-
Salidas Digitales	
%Q0.1	ELECTROV_INTERNA
%Q0.2	BOMBA
%Q0.3	ELECTROV_EXTERNA
%Q0.4	LUZ_DE_PROCESO_ON
%Q0.5	ABRIR_SERVO
%Q0.6	CERRAR_SERVO
Entradas Analógicas	
%IW1.0	ENTRADA SENSOR DE PRESION
%IW1.1	ENTRADA SENAL DE POSICION DE SERVO
Salidas Analógicas	
-	-

Tabla 3-15. Entradas y salidas de autómata de control de presión

MODULO DE PRESION		
TWIDO TWDLMDA20DRT ESCLAVO MODBUS 2		
VARIABLE	NOMBRE	DIRECCIÓN
Bits para Lectura		
%M0	READ_BOMBA	Modbus2. 00001
%M1	READ_ELECTROVALVULA_EXTERNA	Modbus2. 00002
%M2	READ_ELECTROVALVULA_INTERNA	Modbus2. 00003
%M3	READ_PROCESO_ON	Modbus2. 00004
%M4	READ_CONTROL_ON	Modbus2. 00005
%M5	READ_ABRIENDO_SERVO	Modbus2. 00006
%M6	READ_CERRANDO_SERVO	Modbus2. 00007
Bits para Escritura		
%M20	WRITE_MODO_FORZADO	Modbus2. 00021
%M21	WRITE_BOMBA	Modbus2. 00022
%M22	WRITE_ELECTROV_EXTERNA	Modbus2. 00023
%M23	WRITE_ELECTROV_INTERNA	Modbus2. 00024
%M24	WRITE_ON	Modbus2. 00025
%M25	WRITE_OFF	Modbus2. 00026
%M26	WRITE_MODO_DE_SERVO	Modbus2. 00027
%M27	WRITE_MODO_APLICACION	Modbus2. 00028
Registros para Lectura		
%MW0	READ_W_PRESION	Modbus2. 40001
%MW1	READ_W_POSICION_SERVO	Modbus2. 40002
%MW2	READ_W_SETPOINT_AUTO_SERVO	Modbus2. 40003
Registros para Escritura		
%MW20	WRITE_W_SETPOINT_PRESION	Modbus2. 40021
%MW21	WRITE_W_SETPOINT_MANUAL_SERVO	Modbus2. 40022
%MW22	WRITE_W_KP	Modbus2. 40023
%MW23	WRITE_W_TD	Modbus2. 40024
%MW24	WRITE_W_TI	Modbus2. 40025
%MW25	WRITE_W_TS	Modbus2. 40026

Tabla 3-16. Variables utilizadas para la lógica de control de presión

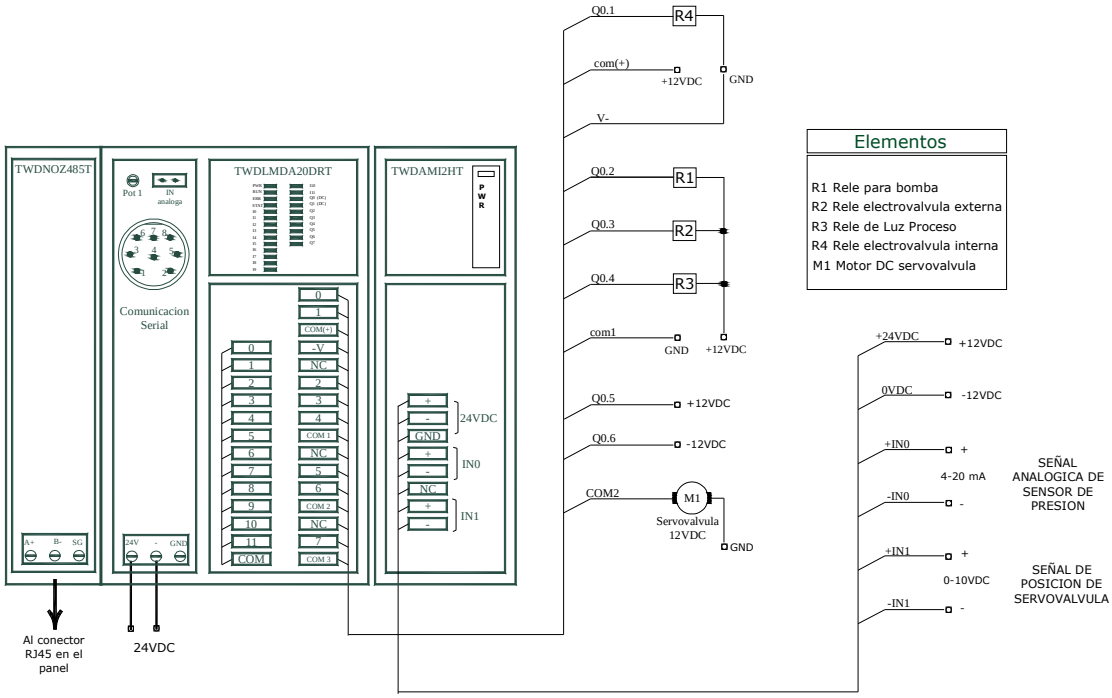

Figura 3-31 Conexiones del controlador de presión

En el Anexo 12, se muestran todos los diagramas eléctricos correspondientes al sistema de control de presión.

En los diagramas de flujo de las Figura 3-32, Figura 3-33, Figura 3-34, Figura 3-35, se presenta la lógica de control.

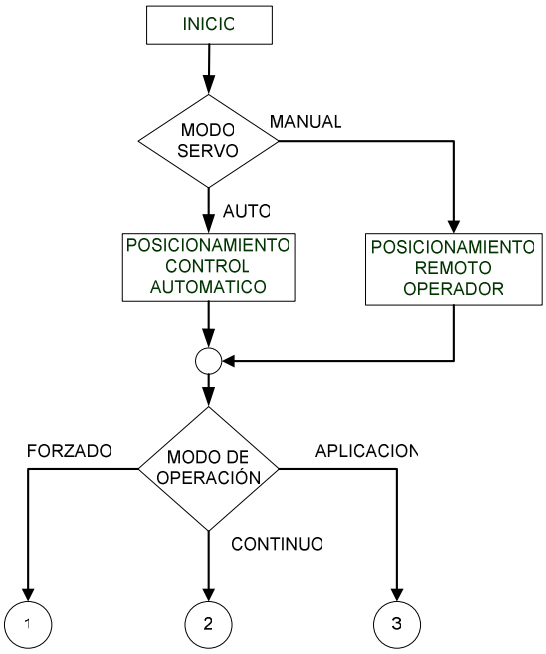

Figura 3-32 Modos de operación

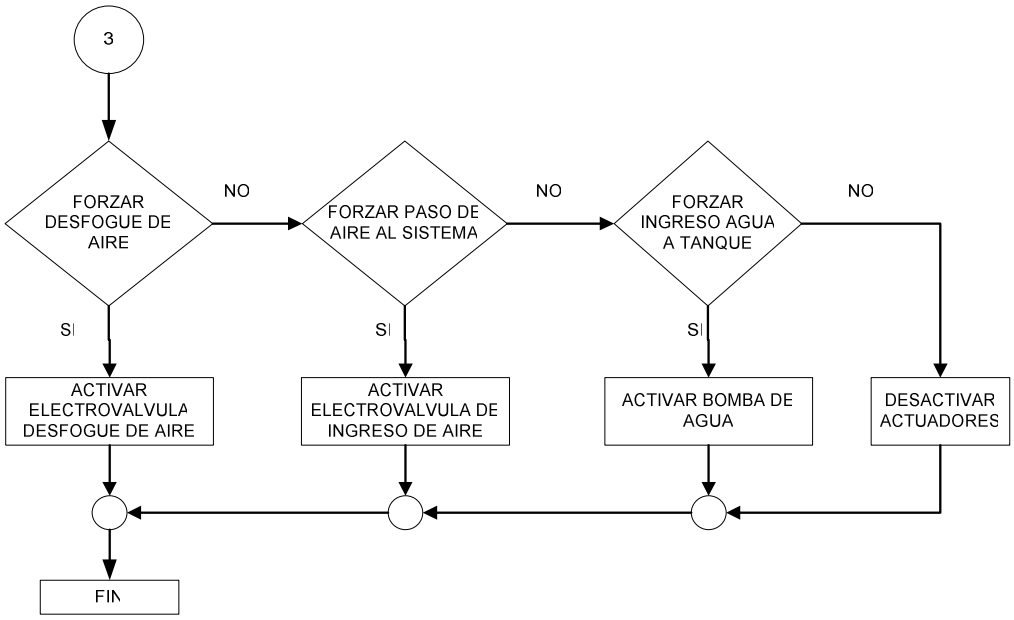

Figura 3-33 Modo Forzado

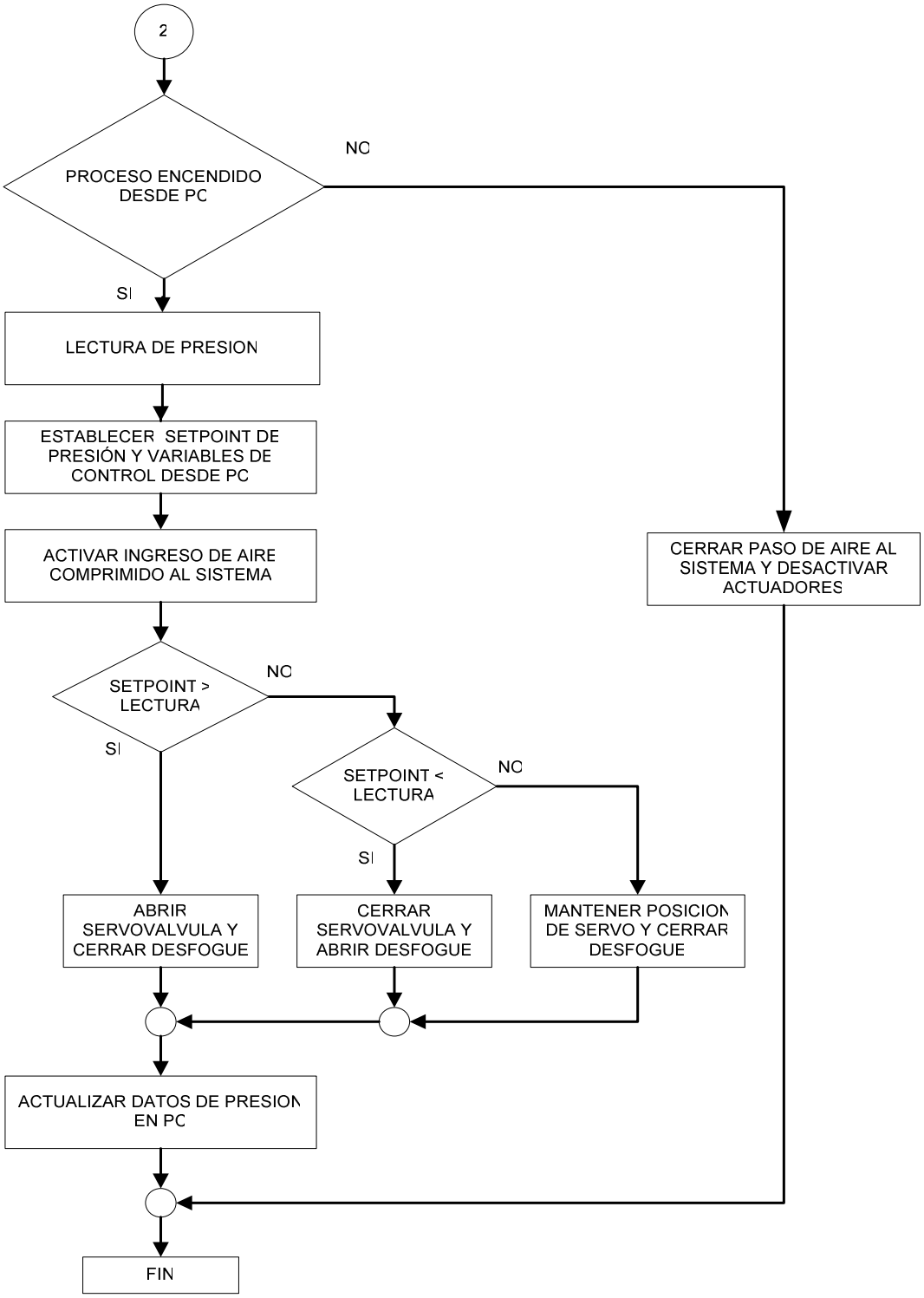

Figura 3-34 Modo Continuo

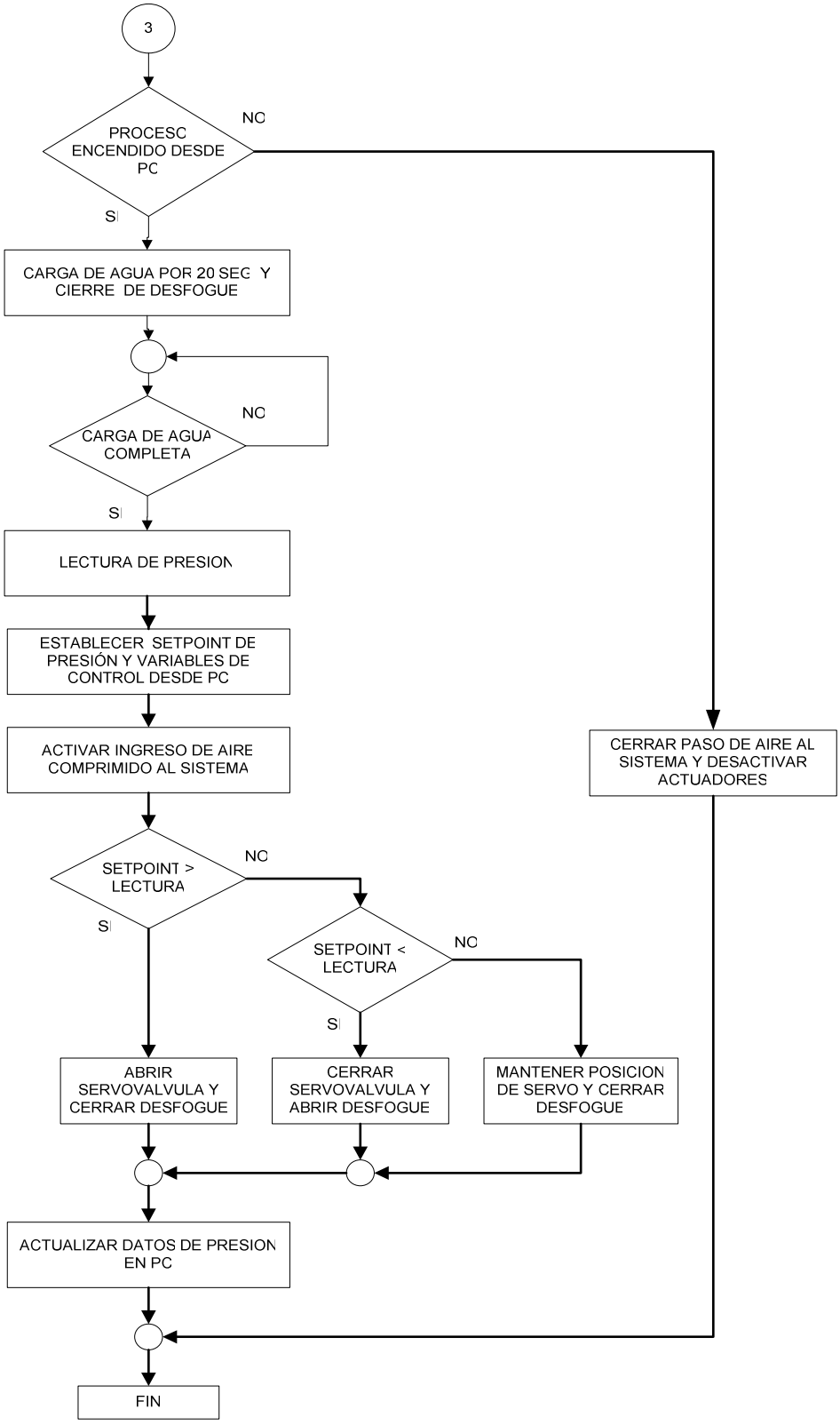

Figura 3-35 Modo de Aplicación

La presión es medida a través de un sensor el cual genera una señal de corriente entre 4-20mA que representa entre 0 y 10 bares (0-145 PSI), respectivamente. La señal

ingresa al canal analógico (%IW1.0) del autómata configurado para entregar un valor digital que representan 0 a 50 PSI que puede ser utilizado para el algoritmo de control y para la visualización (%MW0) en las estaciones de trabajo.

La servoválvula puede operar manualmente cuando se selecciona en la HMI el modo MANUAL (%M26), su posición se puede ajustar por el operador desde 0 al 100% de apertura (%MW21) y el valor de ubicación de la servo es ingresado por la entrada analógica %IW1.1.

El proceso inicia cuando se oprime el botón ON (%M24) de esta forma se permite el paso del aire al sistema (%Q0.1) y es indicado con la luz piloto del panel (%Q0.5), el control se detiene con el botón OFF (%M25).

En el modo de control continuo la señal de la variable de presión se resta de la señal de consigna configurada previamente por el operador (%MW20), el resultado de la operación se considera como señal de error la que ingresa al bloque PID. La señal de salida compensada actúa sobre la servoválvula en forma digital, así cuando se requiera aumentar la presión se procede a la apertura de la servo (%Q0.5) y se desactiva la electroválvula para impedir el desfogue del aire del tanque (%Q0.3), en cambio si se necesita reducir la variable se tiene que cerrar la servo (%Q0.6) y abrir el desfogue del aire presurizado.

La operación en modo de Aplicación (botón APLICACIÓN %M27) difiere únicamente a la anterior, ya que se carga con líquido el tanque hidroneumático por 20 segundos con el botón CARGA (%M21) mientras que el control es el mismo.

Finalmente cuando se activa el modo FORZADO (%M20) se puede manipular directamente los actuadores del sistema: Bomba de agua (%M21), electroválvula de desfogue de aire (%M22) y electroválvula de paso de aire o emergencia (%M23).

Por medio de ajustes experimentales se obtiene que para una respuesta rápida y sin error, los valores de las constantes del PID son para Kp (%MW22) = 0.2, Td (%MW23)= 0.5 seg, Ti (%MW24) = 0.0 seg, y Ts (%MW25)= 0.5 seg.

En el Anexo 13, se muestra el programa ladder implementado en el PLC TWIDO para el módulo de control de presión.

3.5 SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA DE UN HORNO.

3.5.1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este módulo es realizar el control de temperatura de un horno bajo un rango de trabajo de 30 hasta 200º C, para lo que se emplea un autómata Siemens CPU 224 que en complemento con el software LOOKOUT posibilita la visualización y comando del proceso en forma remota. Para realizar el control de la variable se implementa un lazo cerrado como se indica en la Figura 3-36.

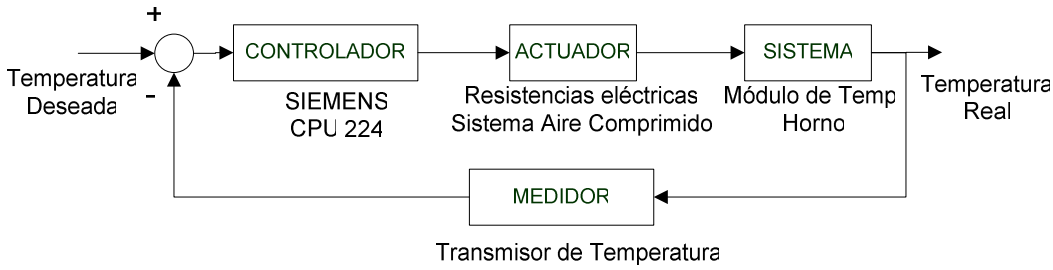

Figura 3-36 Sistema de Control de Temperatura para horno

Para el control de temperatura del horno se dispone de un sensor RTD incorporado al horno y en conjunto con un transmisor constituyen el **medidor** del sistema, y respecto a los **actuadores** el sistema utiliza al máximo la energía de resistencias eléctricas para calentar mientras que para enfriar se emplea un pistón que permite la apertura de una puerta de desfogue y una electroválvula que permite la circulación de aire comprimido a través de la cámara del horno.

3.5.2 MODO DE OPERACIÓN

Para iniciar el proceso se debe encender el interruptor general ON-OFF (#8) ubicado en el panel de control, debe asegurarse que el botón de emergencia (#1), y reset (#5) no estén activados, y además la puerta del horno debe estar cerrada correctamente.

La temperatura deseada es seleccionada desde las estaciones de trabajo así como también los comandos de operación: marcha, paro. El setpoint es comparado con el valor medido, el control se realiza en lazo cerrado de forma que el controlador realiza las acciones necesarias para reducir el error producido.

En caso de que el botón de reset sea activado durante el proceso, el valor de consigna es igualado a la temperatura medida en ese instante. Mientras que si se activa el botón de emergencia o el switch de la puerta del horno, inmediatamente se procede a enfriar el sistema hasta el mínimo punto de operación (30°C).

El control automático de temperatura para el horno tiene tres formas de operación: Continuo, Aplicación y Forzado:

- **Modo de Control de Temperatura Continuo**

En este modo la temperatura interna del horno se mantiene constante a un valor fijado por el operador y dependiendo del requerimiento de la consigna el sistema sube o baja la temperatura.

- **Modo de Aplicación**

A diferencia del modo anterior, el valor deseado cambia en forma dinámica siguiendo 30 puntos de operación predefinidos por el usuario produciendo una curva de temperatura en función del tiempo (T vs. t).

- **Modo Forzado**

Con este modo se puede manejar independientemente cada una de los actuadores para cambiar el valor de temperatura del sistema de forma remota.

3.5.3 IMPLEMENTACIÓN DE LÓGICA Y HARDWARE DE CONTROL

De acuerdo a los elementos existentes para el sistema de control detallados en el capitulo 2, se tiene el siguiente diagrama de conexiones para el controlador SIMATIC S7-200 CPU 224 como se indica en la Figura 3-37.

En el Anexo 14, se muestran todos los diagramas eléctricos correspondientes al sistema de control de temperatura para horno.

Para el desarrollo de la lógica de control se utiliza variables dentro del autómata, como entradas, salidas y registros de memoria que se indican en la Tabla 3-17 y Tabla 3-18.

ENTRADAS/SALIDAS	
Entradas Digitales	
I0.0	PULSANTE DE RESET
I0.1	PULSANTE DE EMERGENCIA
I0.2	SWITCH DE PUERTA
Salidas Digitales	
Q0.0	LUZ_DE_COMUNICACION
Q0.1	PISTON NEUMÁTICO
Q0.2	LUZ DE PISTON
Q0.3	LUZ DE PUERTA ABIERTA
Q0.4	ELECTROVALVULA
Q0.5	RESISTENCIAS
Entradas Analógicas	
AIW0	SEÑAL DE TEMPERATURA
Salidas Analógicas	
AQW0	SEÑAL DE CONTROL DE POTENCIA

Tabla 3-17. Entradas y Salidas de autómata de control de temperatura I

MODULO DE TEMPERATURA PARA HORNO		
SIMATIC S7-200 CPU 224 ESCLAVO MODBUS 3		
VARIABLE	**NOMBRE**	**DIRECCIÓN**
Bits para Lectura		
Q0.0	READ_COMUNICACION_LOCAL	Modbus3. 00001
Q0.1	READ_PISTON	Modbus3. 00002
Q0.2	READ_LUZ_PISTON	Modbus3. 00003
Q0.3	READ_PUERTA_ABIERTA	Modbus3. 00004
Q0.4	READ_ELECTROVALVULA	Modbus3. 00005
Q0.5	READ_NIQUELINAS	Modbus3. 00006
Q0.6	READ_RESET	Modbus3. 00007
Q0.7	READ_EMERGENCIA	Modbus3. 00008
Q1.0	READ_MODO_APLICACION	Modbus3. 00009
Q1.1	READ_MODO_NORMAL	Modbus3. 00010
Q1.2	READ_SET_AND_TIME_RIGHT	Modbus3. 00011
Q1.3	READ_ALARMA_BAJA	Modbus3. 00012
Q1.4	READ_ALARMA_ALTA	Modbus3. 00013
Bits para Escritura		
Q2.0	WRITE_MODO_APLICACION	Modbus3. 00017
Q2.1	WRITE_ON	Modbus3. 00018
Q2.2	WRITE_OFF	Modbus3. 00019
Q2.3	WRITE_PISTON	Modbus3. 00020
Q2.4	WRITE_ELECTROVALVULA	Modbus3. 00021
Q2.5	WRITE_NIQUELINAS	Modbus3. 00022
Q2.6	WRITE_MODO_FORZADO	Modbus3. 00023
Registros para Lectura		
VW160	READ_W_TEMPERATURA	Modbus3. 40081
VW162	READ_W_SETPOINT	Modbus3. 40082
VW164	READ_W_TIEMPO_FIJO_APLICACION	Modbus3. 40083
VW166	READ_W_CONTADOR_APLICACION	Modbus3. 40084
VW168	READ_W_TIEMPO_REAL_APLICACION	Modbus3. 40085
VW170	READ_W_POTENCIA	Modbus3. 40086
Registros para Escritura		
VW0	SETPOINT1	Modbus3. 40001
VW2	TIEMPO1	Modbus3. 40002
……	SETPOINT…	Modbus3. 400…
……	TIEMPO……	Modbus3. 400…
VW116	SETPOINT30	Modbus3. 40059
VW118	TIEMPO30	Modbus3. 40060
VW120	WRITE_W_SETPOINT_M_NORMAL	Modbus3. 40061

Tabla 3-18. Variables utilizadas para la lógica de control de temperatura I

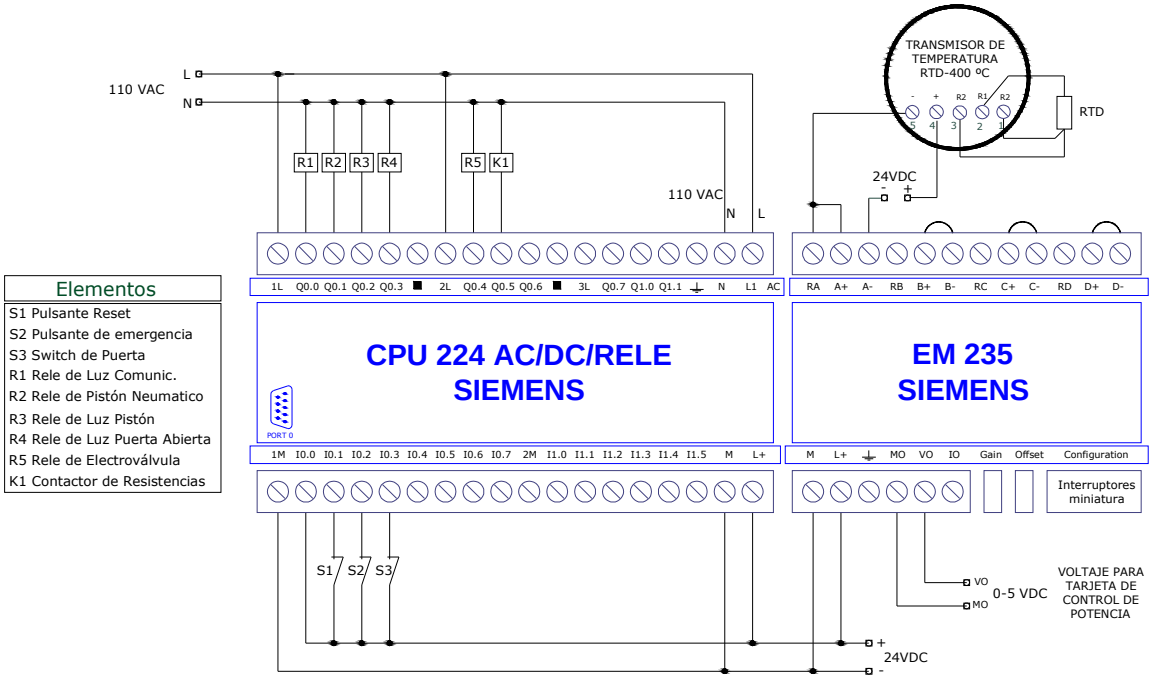

Figura 3-37 Conexiones del controlador de temperatura para horno

En las Figura 3-38, Figura 3-39, Figura 3-40, Figura 3-41 se muestra los diagramas de flujo correspondientes a este sistema de control.

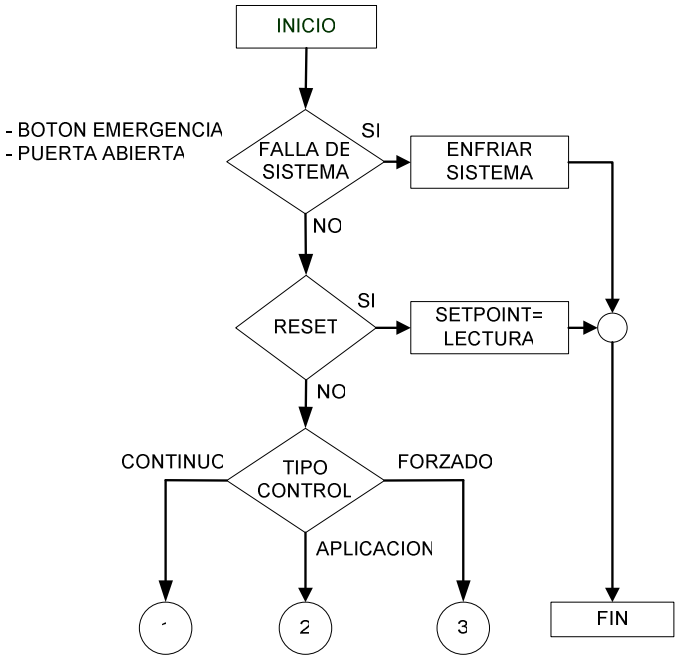

Figura 3-38 Modos de operación en Control de Temperatura para horno

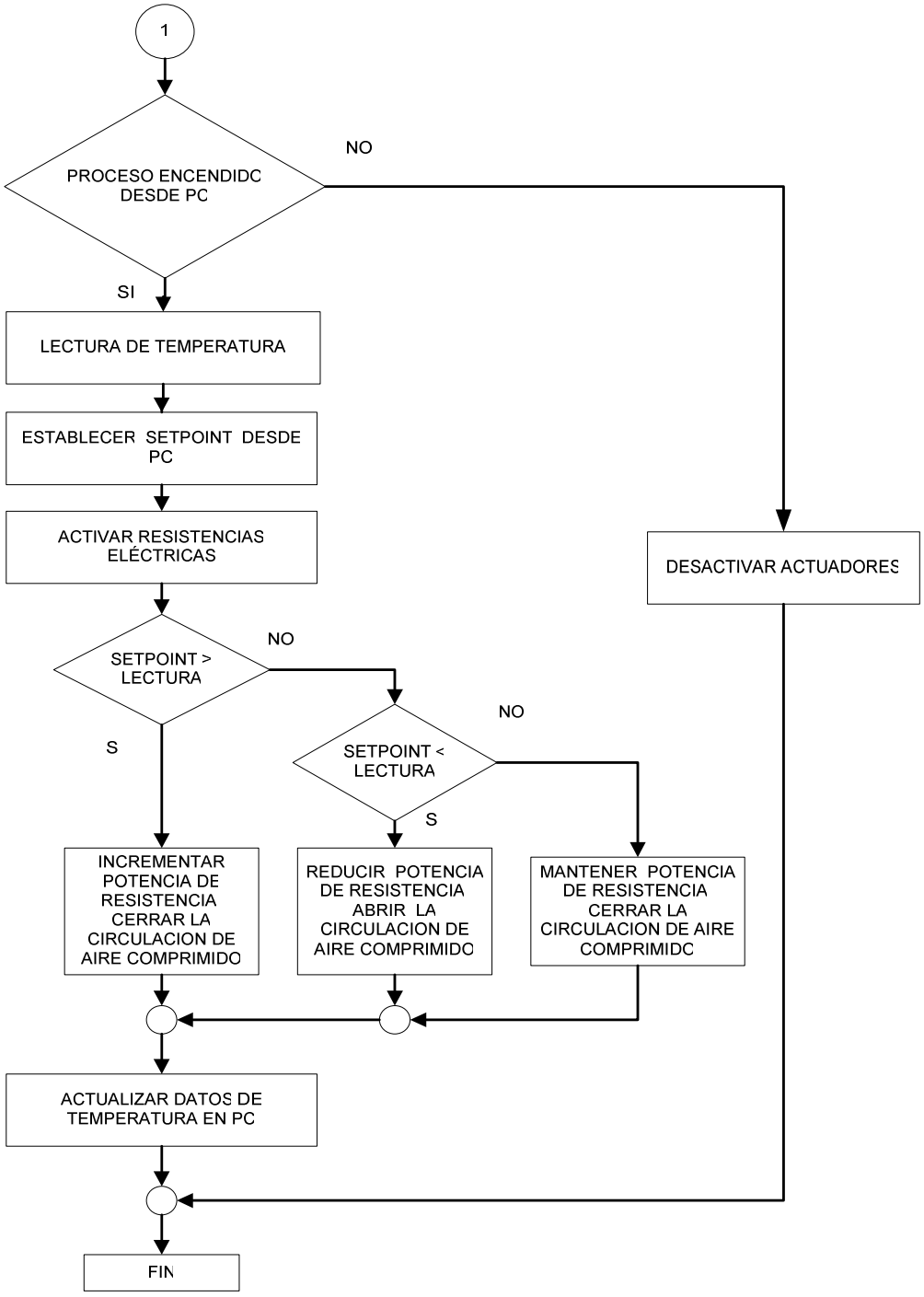

Figura 3-39 Modo Continuo

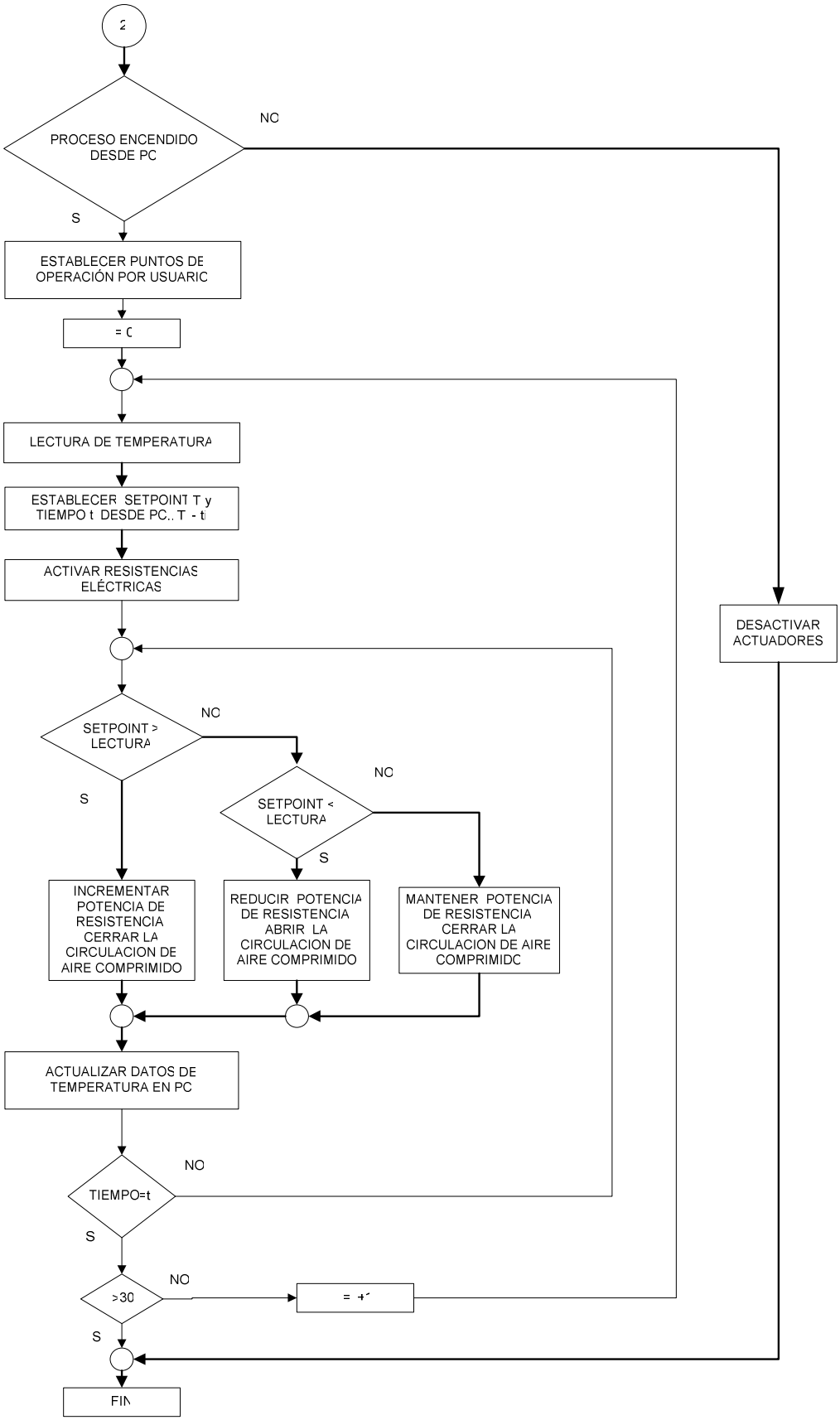

Figura 3-40 Modo de Aplicación

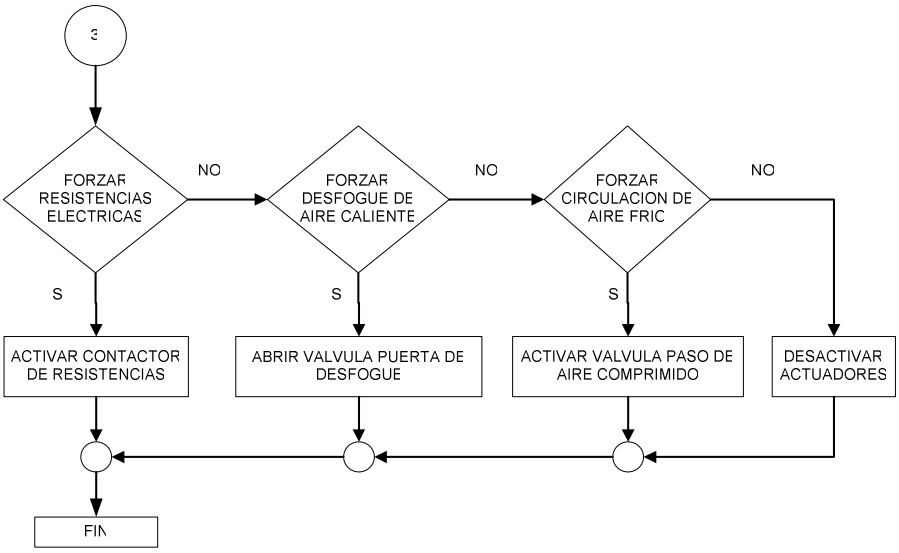

Figura 3-41 Modo Forzado

El valor de temperatura en el interior del horno se mide utilizando un sensor el cual genera una señal de corriente entre 4-20mA, ésta ingresa al canal analógico (AIW0) del autómata configurado para entregar un valor digital de 0 a 400° C, que puede ser utilizado para el algoritmo de control y para la visualización (VW160) en las estaciones de trabajo. En cualquier modo de operación el setpoint es comparado con el valor medido, el control se realiza en lazo cerrado de forma que el PLC ejecuta las acciones necesarias para reducir el error producido.

El proceso inicia cuando se oprime el botón ON (Q2.1), y se detiene con el botón OFF (Q2.2). En caso de que el botón de reset (I0.0) sea activado durante el proceso, el valor de consigna es igualado a la temperatura medida en ese instante. Mientras que si se activa el boton de emergencia (I0.1) o el switch de la puerta del horno (I0.2) que es indicado con la luz piloto del panel (Q0.3), inmediatamente se procede a enfriar el sistema hasta el mínimo punto de operación (30°C).

Si la puerta de desfogue esta abierta se representa por la luz piloto en el panel (Q0.2), de igual manera si existe comunicación entre PC y el controlador se puede visualizar mediante una luz indicadora (Q0.0).

En el modo de control continuo la consigna configurada previamente por el operador (%MW120) se compara con el valor medido del proceso, si existe error el controlador

actúa sobre el control de potencia de la resistencia eléctrica (AQW0) o sobre las electroválvulas para activar el pistón de la puerta de desfogue (Q0.1) y para iniciar la circulación de aire comprimido por el horno (Q0.4). Así cuando se requiera aumentar la temperatura se procede al aumento de la potencia eléctrica de las resistencias, se cierra la compuerta de desfogue y no existe circulación de aire por el horno. En cambio si se necesita reducir la variable se tiene que disminuir la potencia, abrir la compuerta y permitir el paso de aire frío por el sistema.

La salida AQW0 maneja niveles de voltaje entre 0 y 5 V, éste ingresa a la tarjeta electrónica de control de fase para las resistencias eléctricas de modo que 0V representa una entrega de la máxima potencia y 5V constituye la mínima potencia consumida por las resistencias de calentamiento.

La operación en modo de Aplicación (botón APLICACIÓN Q2.0) difiere únicamente a la anterior por tener un setpoint dinámico, tiene que cumplir con 30 consignas de Temperatura y tiempo programadas por el operador.

Finalmente cuando se activa el modo FORZADO (Q2.6) se puede manipular directamente los actuadores del sistema desde la HMI: Resistencia Eléctrica (Q2.5), electroválvula para compuerta desfogue de aire (Q2.3) y electroválvula para el paso de aire al sistema (Q2.4).

En el Anexo 15, se muestra el programa ladder implementado en el PLC SIEMENS CPU 224 para este módulo.

3.6 SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA POR TRANSFERENCIA DE CALOR.

3.6.1 INTRODUCCIÓN

El propósito de este sistema es mantener la temperatura del líquido contenido en un tanque en un rango de trabajo entre 20 y 70°C. Co mo se ve en la Figura 3-42, el **control** que se realiza es en lazo cerrado. El módulo didáctico utiliza un autómata lógico programable SIEMENS S7-200 CPU 226 programado a través del software STEP7 Microwin32 y a través de Interfaces Gráficas diseñadas en LOOKOUT posibilitan la visualización y el control del proceso en mención.

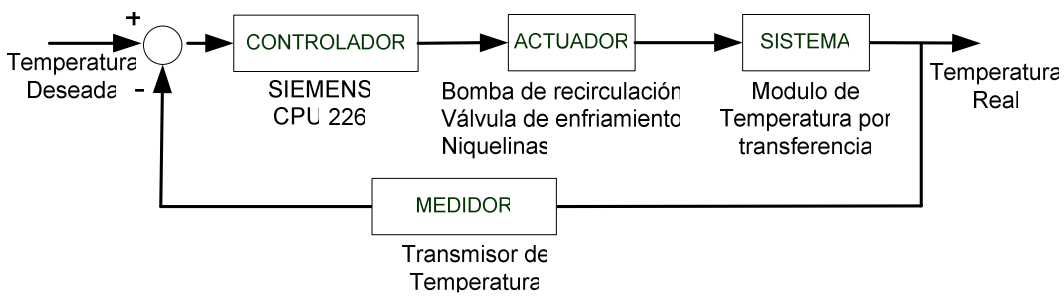

Figura 3-42 Sistema de Control de Temperatura por Transferencia

La **medición** de la variable temperatura se realiza a través de un sensor RTD y su respectivo transmisor de señal y **actúa sobre** la bomba de recirculación de líquido, la válvula de apertura de agua para enfriamiento y las niquelinas de calentamiento.

3.6.2 MODO DE OPERACIÓN

Este prototipo tiene tres modos que se explican a continuación:

- **Modo local**

El proceso se inicia y detiene en este modo activando el selector (# 3) el cual esta localizado en el panel de control. El usuario puede configurar valores de mínimo, máximo y consigna de temperatura por medio del panel visualizador TD200.

- **Modo Remoto**

Con el mismo selector (#3) se puede elegir modo remoto donde el proceso puede ser supervisado y controlado desde el PC maestro. El encendido-apagado del control del sistema, los valores de mínimo, máximo y consigna de temperatura se realiza desde la HMI descrita en el capítulo 4.

- **Modo Forzado**

Este modo permite interactuar directamente con los equipos del módulo cuando sea necesario. En modo local se puede operar los actuadores directamente desde el panel TD 200. Se puede aplicar este modo también desde la PC oprimiendo el botón FORZADO en la HMI y esta destinado para ejercer acciones de forzado controladas por el operador.

3.6.3 IMPLEMENTACIÓN DE LÓGICA Y HARDWARE DE CONTROL

En la Figura 3-43 se muestra la distribución de las entradas y salidas de tipo discreto y analógica del controlador, y en la Tabla 3-19 se explica cada una de sus funciones.

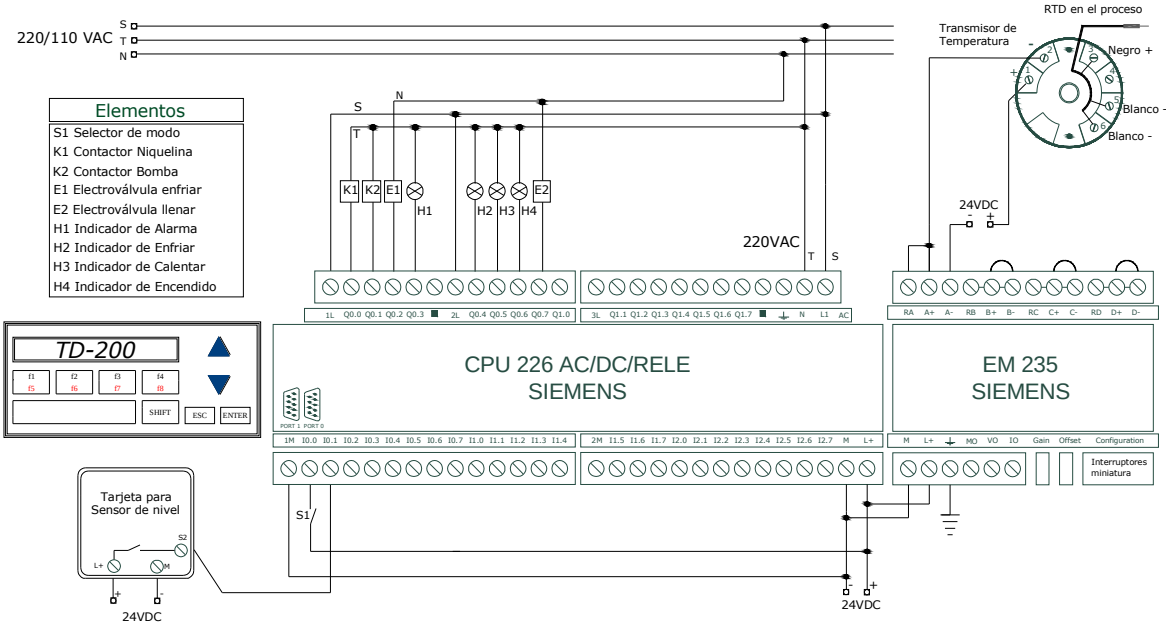

Figura 3-43 Conexiones del controlador de temperatura por transferencia de calor

ENTRADAS/SALIDAS	
Entradas Digitales	
I0.0	SELECTOR_MODO_LOCAL
Salidas Digitales	
Q0.0	CONTACTOR NIQUELINA
Q0.1	CONTACTOR BOMBA
Q0.2	ELECTROVALVULA ENFRIAR
Q0.3	LUZ DE LARMA
Q0.4	LUZ DE ENFRIAMIENTO
Q0.5	LUZ DE CALENTAMIENTO
Q0.6	LUZ DE PROCESO ENCENDIDO
Q0.7	ELECTROVALVULA LLENAR
Entradas Analógicas	
AIW0	SEÑAL DE TEMPERATURA
Salidas Analógicas	
-	-

Tabla 3-19. Entradas y Salidas del autómata de control de temperatura II

En el Anexo 16, se muestran todos los diagramas eléctricos correspondientes al sistema de control de temperatura por transferencia de calor.

En la Tabla 3-20 se puede observar el direccionamiento de memoria para el controlador y la red de campo.

MODULO DE TEMPERATURA POR TRANSFERENCIA DE CALOR		
SIMATIC S7-200 CPU 226 ESCLAVO MODBUS 4		
VARIABLE	NOMBRE	DIRECCIÓN
Bits para Lectura		
Q0.0	READ_NIQUELINA	Modbus4. 00001
Q0.1	READ_BOMBA	Modbus4. 00002
Q0.2	READ_ELECTROVAL_ENFRIAR	Modbus4. 00003
Q0.3	READ_ALARMA	Modbus4. 00004
Q0.4	READ_ENFRIANDO	Modbus4. 00005
Q0.5	READ_CALENTANDO	Modbus4. 00006
Q0.6	READ_PROCESO_ON	Modbus4. 00007
Q0.7	READ_ELECTROVAL_LLENAR	Modbus4. 00008
Q2.0	READ_ALARMA_SUPERIOR	Modbus4. 00017
Q2.1	READ_ALARMA_INFERIOR	Modbus4. 00018
Q2.2	READ_CONTROL_LOCAL	Modbus4. 00019
Q2.3	READ_NIVEL_MAXIMO	Modbus4. 00020
Bits para Escritura		
Q1.0	WRITE_ON	Modbus4. 00009
Q1.1	WRITE_OFF	Modbus4. 00010
Q1.2	WRITE_RESET	Modbus4. 00011
Q1.3	WRITE_MODO_FORZADO	Modbus4. 00012
Q1.4	WRITE_ELECTROVAL_ENFRIAR	Modbus4. 00013
Q1.5	WRITE_BOMBA	Modbus4. 00014
Q1.6	WRITE_NIQUELINAS	Modbus4. 00015
Q1.7	WRITE_ELECTROVAL_LLENAR	Modbus4. 00016
Registros para Lectura		
VW100	READ_W_TEMPERATURA	Modbus4. 40051
VW102	READ_W_SETPOINT	Modbus4. 40052
Registros para Escritura		
VW0	WRITE_W_SETPOIN	Modbus4. 40001
VW2	WRITE_W_LIMITE_SUPERIOR	Modbus4. 40002
VW4	WRITE_W_LIMITE_INFERIOR	Modbus4. 40003

Tabla 3-20. Variables utilizadas para la lógica de control de temperatura II

En la Figura 3-44, Figura 3-45, Figura 3-46, Figura 3-47 se muestra el diagrama de flujo de este proceso.

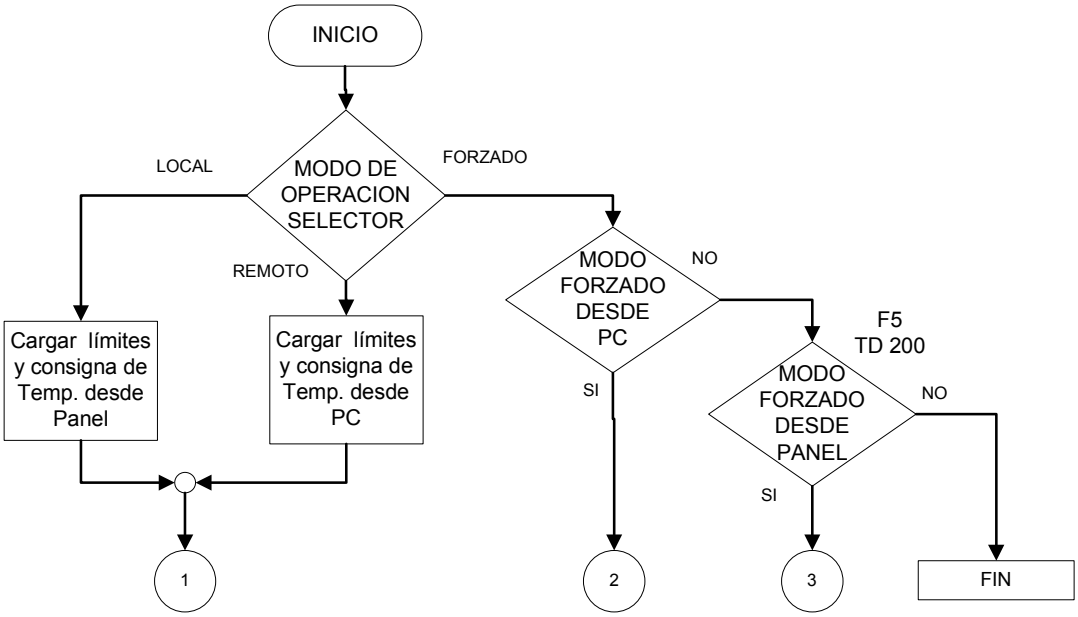

Figura 3-44 Modos de operación

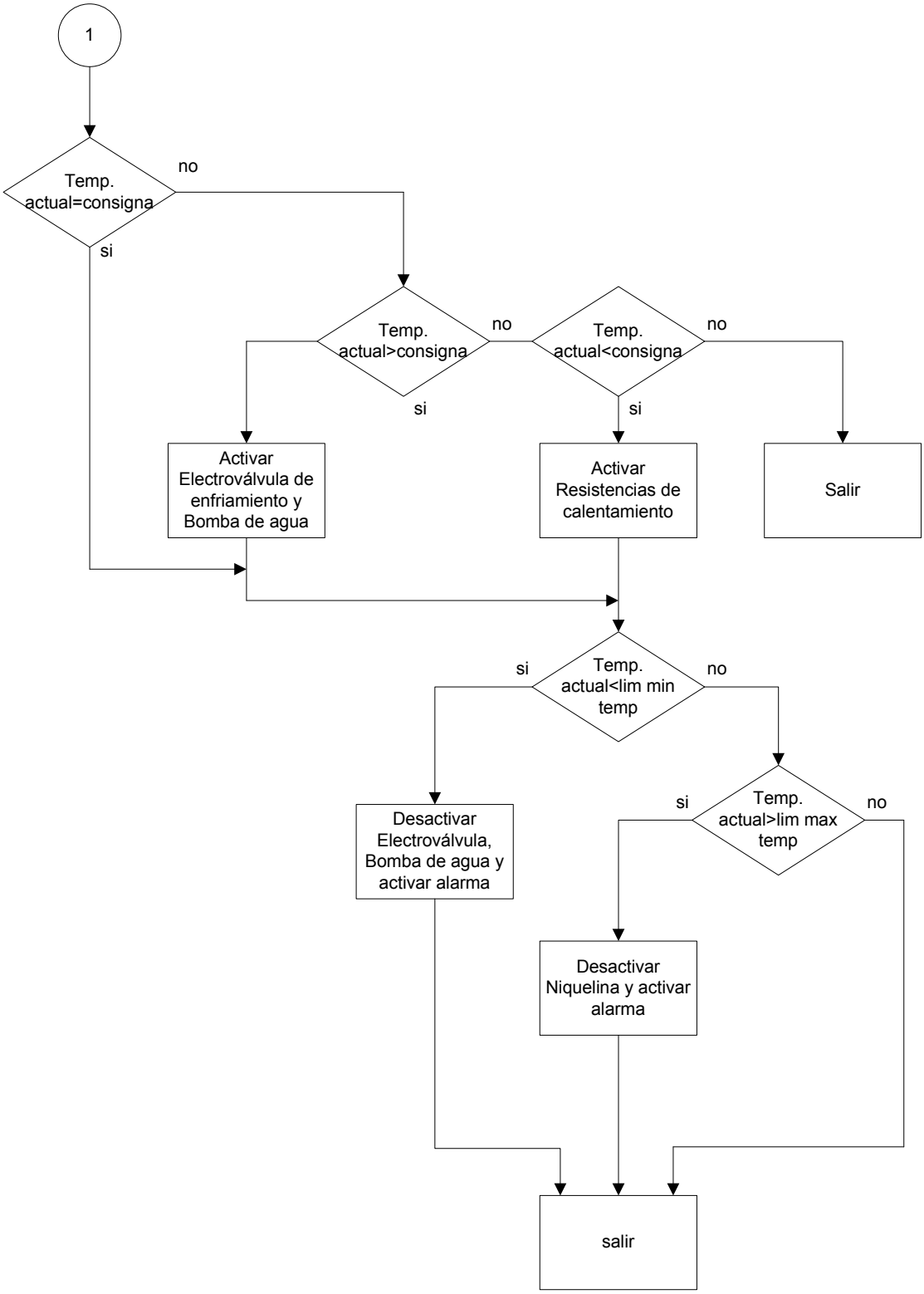

Figura 3-45 Control de Temperatura por transferencia de calor

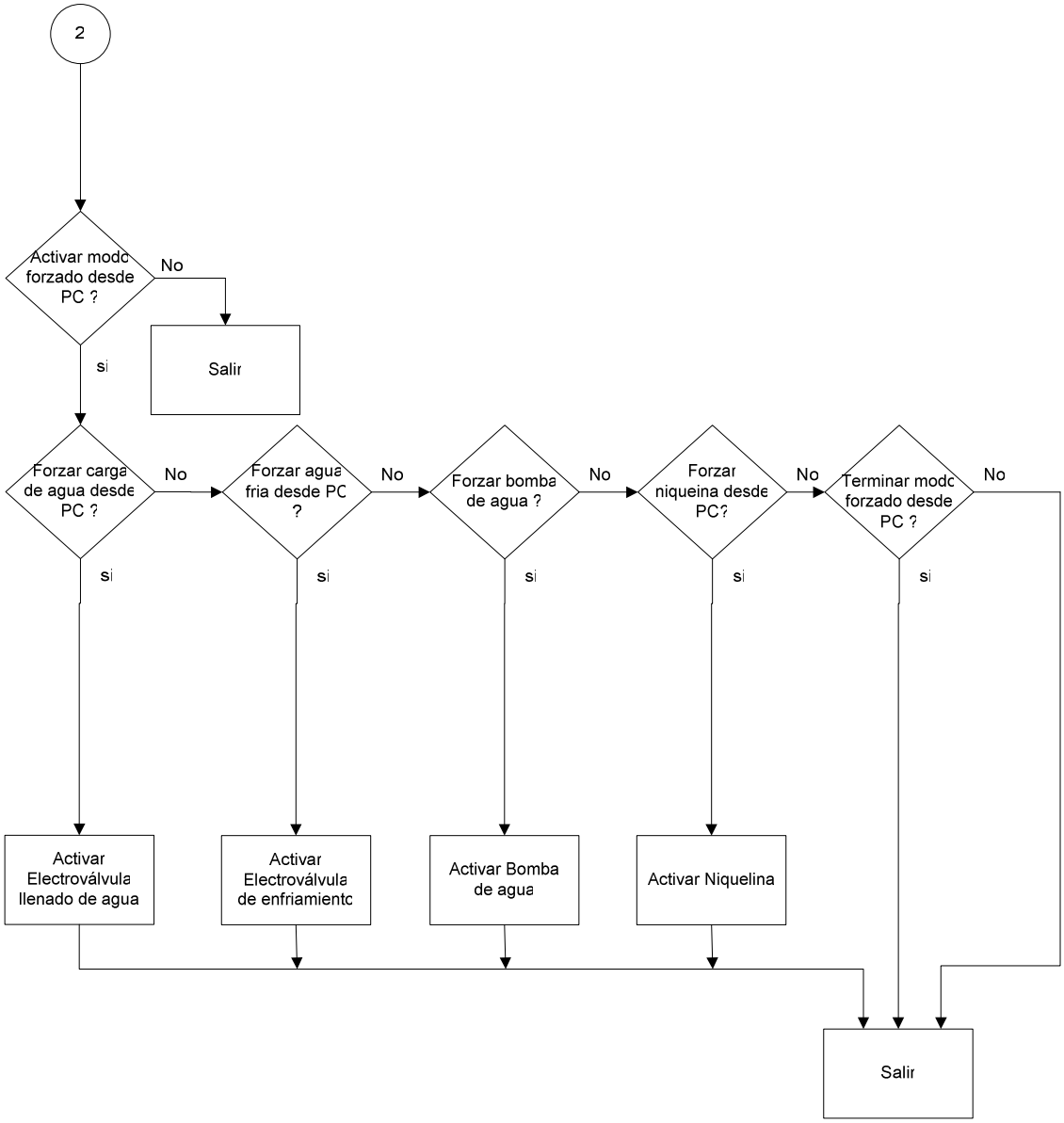

Figura 3-46 Modo Forzado desde PC-Remoto

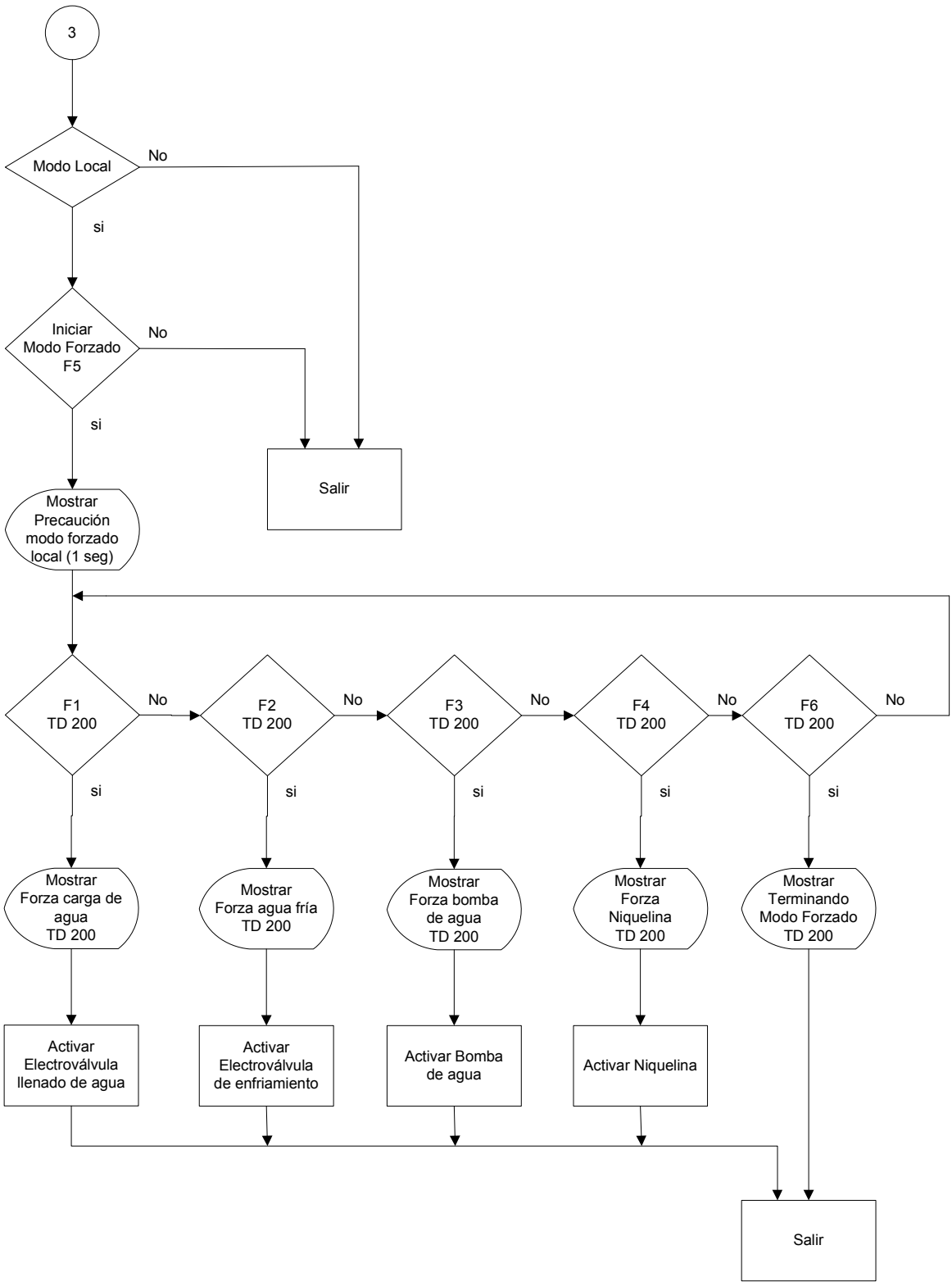

Figura 3-47 Modo Forzado desde panel-Local

En este módulo la señal acondicionada de temperatura del proceso de 4-20 mA es ingresada al módulo analógico (AIW0) del PLC S7 226, se realiza una comparación entre la señal eléctrica actual de temperatura (VW100) y la señal de setpoint o consigna (VW0), ingresada a través del visualizador TD200 o el sistema servidor de datos PC.

En modo local los datos de temperatura (mínimo, máximo y consigna) para el control se toman desde el panel TD200, mientras que en forma remota los datos se adquieren desde la PC.

Localmente se inicia el control inmediatamente después de elegir este modo con el selector de panel. Mientras que el proceso en remoto es manejado por la HMI implementada en las estaciones de trabajo y se inicia cuando se oprime el botón ON (Q1.0), y se detiene con el botón OFF (Q1.1), la luz piloto (Q0.6) indica el estado del proceso.

En caso de que la temperatura alcance los valores mínimo ó máximo se determina que existe una alarma de temperatura y apaga el sistema, el botón de RESET (Q1.2) debe ser activado para reanudar el control, además una alarma puede ser visualizada por la luz piloto Q0.3.

Si la temperatura es mayor que la consigna, el autómata arranca el sistema de enfriamiento, enciende la bomba de agua (Q0.1) y la electroválvula para ingreso de agua fría (Q0.2) y desactiva las niquelinas (Q0.0). El proceso de enfriar es indicado por la luz piloto (Q0.4)

Si la temperatura es menor que la consigna, el controlador enciende las niquelinas, y el sistema de enfriamiento es desactivado hasta conseguir la igualdad entre las dos señales de temperatura; el controlador apaga las niquelinas unos segundos antes de alcanzar al nivel de consigna esto debido a las características termodinámicas de la planta permitiendo que la temperatura real sea igual a la consigna del proceso. De igual manera se puede visualizar que el sistema esta calentando cuando la luz (Q0.5) esta activada.

Cuando se activa el modo FORZADO en la PC (Q1.3) se puede manipular los actuadores del módulo, desde la HMI: Niquelinas (Q1.6), electroválvula para enfriar (Q1.4), electroválvula para llenar tanque (Q1.7) y activar bomba de recirculación (Q1.5).

En modo local se puede forzar los actuadores directamente desde el panel TD 200 aplicando las funciones que son descritas en la Tabla 3-21.

Tecla TD 200	Funciones
F1	Forzar carga de agua
F2	Forzar agua fría
F3	Forzar bomba de agua
F4	Forzar niquelina
F5	Iniciar modo forzado
F6	Terminar Modo forzado
F7	Cambiar límites de alarmas
F8	Ver Nombres Autores

Tabla 3-21. Funciones de Teclas del TD 200

En el Anexo 17, se muestra el programa ladder implementado en el PLC SIEMENS CPU 226 para este módulo.

CAPITULO 4.

DESARROLLO DE LA INTERFAZ GRÁFICA CON LOOKOUT

Como se mencionó en los capítulos anteriores, un SCD necesita de un software para realizar la supervisión de procesos y control de la producción que proporcione información a los diversos niveles de la organización laboral. Este software denominado SCADA tiene acceso a lo que ocurre en el sistema de control, mediante mecanismos de comunicación adecuados y recoge información sobre la evolución del proceso y envía las órdenes para el gobierno del mismo: arranque, parada y cambios de parámetros.

En este proyecto de titulación se emplea el software LOOKOUT 5.0 de National Instruments que se caracteriza por su sencillez y fácil aprendizaje, sin que ello le reste potencia y solidez en su misión principal que es el control y adquisición de datos que permitan desarrollar un entorno gráfico para el usuario conocidas como Interfaz Hombre Máquina HMI. A más de mostrar en la pantalla de un computador el comportamiento de la planta correspondiente al Laboratorio de Control de procesos, la HMI implementada permite crear una base de datos acerca del estado de la planta, eventos, alarmas, manejo de usuarios, niveles de acceso y atributos que se detallan a continuación.

4.1 ADMINISTRACIÓN DE USUARIOS Y NIVELES DE ACCESO

En Lookout cuando se habla de manejo de usuarios se refiere a la utilización de la herramienta “User Manager” en el menú “Option”, éste permite la administración de las cuentas de usuarios del software proporcionando un nivel de acceso a las tareas de control y sistema, una contraseña, y un nombre a cada cliente de la HMI, ver la Figura 4-1.

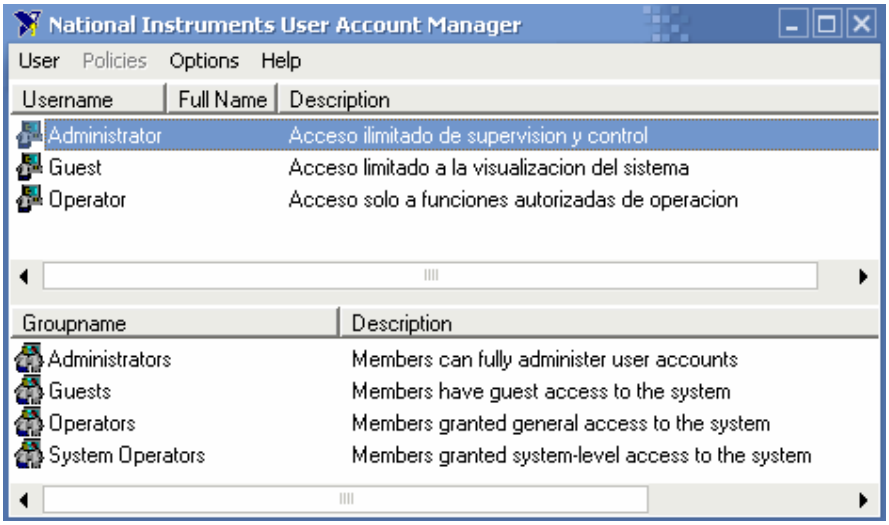

Figura 4-1 Administrador de Cuenta de Usuarios

Cuando se dice acceso a las tareas de control se refiere a determinar quien está autorizado al manejo de los controles en la aplicación desarrollada para cada proceso; en cambio a nivel de sistema se define a quien puede desarrollar tareas del entorno propio de Lookout configuradas en "**Option / System** " (ver la Figura 4-2). Para mayor detalle sobre la configuración del sistema referirse al menú **"Help"** de Lookout.

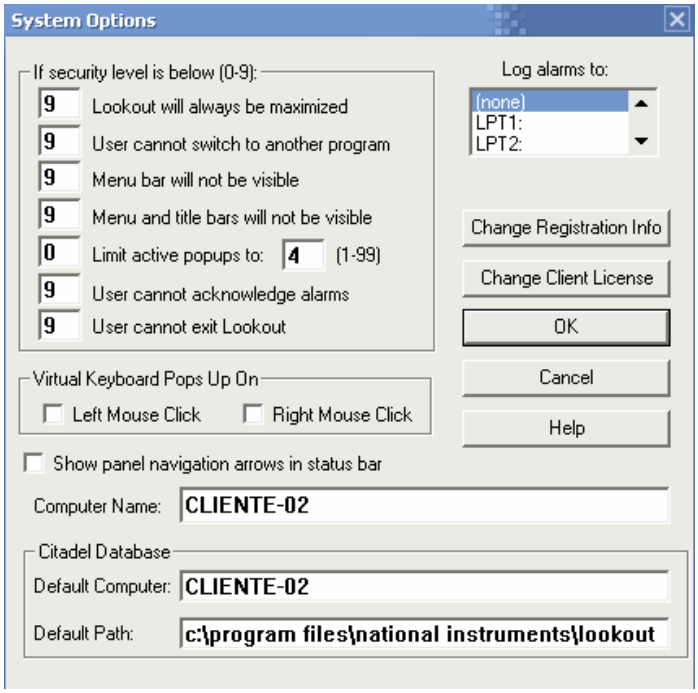

Figura 4-2 Opciones de Sistema para Lookout

Para crear y editar las propiedades de una cuenta de usuario se utiliza el cuadro de dialogo User Account Manager mostrado en la Figura 4-1. Hay que tener en cuenta que el único usuario con autorización a crear, editar, o borrar cuentas es el Administrador.

Para crear una cuenta de usuario se selecciona la opción **User > New User Account** en el cuadro de dialogo de la Figura 4-1 , inmediatamente se muestra el menú de la Figura 4-3 que permite configurar las características del nuevo usuario (nombre, contraseña, y nivel de seguridad).

En la Tabla 4-1 se describe cada uno de los parámetros del cuadro de dialogo para la configuración de un nuevo usuario.

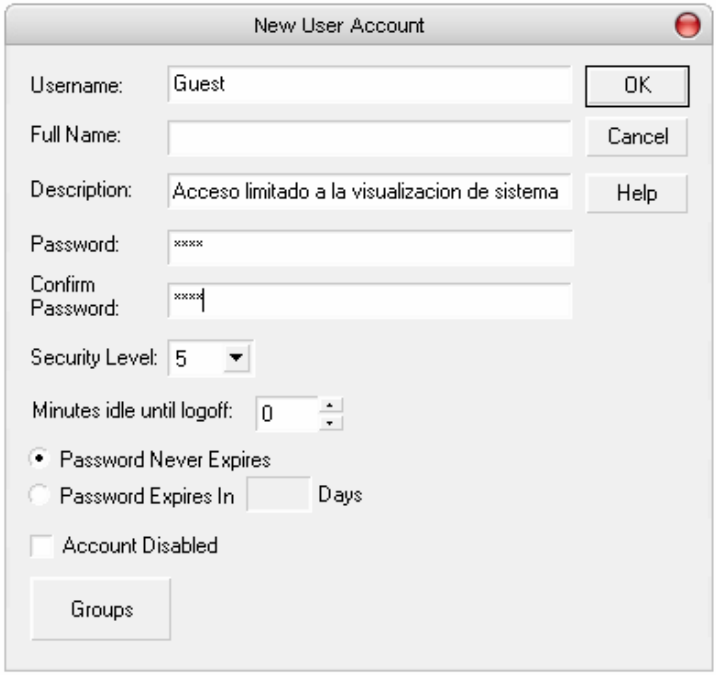

Figura 4-3 Nueva Cuenta de Usuario

CAMPO	DESCRIPCIÓN
Username	Nombre del usuario
Fullname	Nombre completo del usuario
Description	Campo para describir datos del usuario
Password	Clave para ingreso de usuario al sistema
Confirm Password	Confirmación de la clave para ingreso de usuario al sistema
Security level	Número que define el nivel de acceso permitido
Minutes idle until log off	Tiempo inactivo del sistema antes que se realice un Log Off.
Password never expires	Opción para que la clave de usuario no expire nunca
Password expires in ? Days	Tiempo en dias para que la clave sea invalida en el sistema
Account disabled	Deshabilitar la cuenta de usuario

Tabla 4-1. Parámetros para una nueva cuenta de usuario

Para este proyecto se configuran cuentas de usuario con diferentes accesos permitidos para el administrador, operador y visitante, así como se ve en la Tabla 4-2.

USUARIO	CONTRASEÑA	NIVEL	DESCRIPCIÓN
Administrator	alto	10	Acceso ilimitado de supervision y control
Operator	medio	5	Acceso solo a funciones autorizadas de operación
Guess	bajo	1	Acceso limitado a la visualizacion del sistema

Tabla 4-2. Usuarios del Sistema de Control Distribuido Implementado.

Cuando un cliente desea ingresar como usuario al SCD puede realizarlo de tres formas:

1. Oprimiendo las teclas "**Ctrl. L**".
2. Haciendo un clic en la **barra de estado** parte inferior izquierda.
3. Escoger la opción **"File / Logon"** de la barra de herramientas.

A través de estas acciones aparece la pantalla de registro de usuario LOGIN, que se indica en la Figura 4-4, y de acuerdo al nivel de acceso que corresponda permite al usuario maniobrar cualquier control en el HMI.

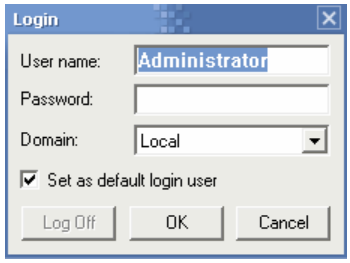

Figura 4-4 Registro de usuarios

4.2 HMI PRINCIPALES

Para el desarrollo de la Interfaz Gráfica del SCD en Lookout, se crea pantallas con los diversos procesos y la información necesaria para una adecuada operación del sistema, y siguen la estructura mostrada en la Figura 4-5.

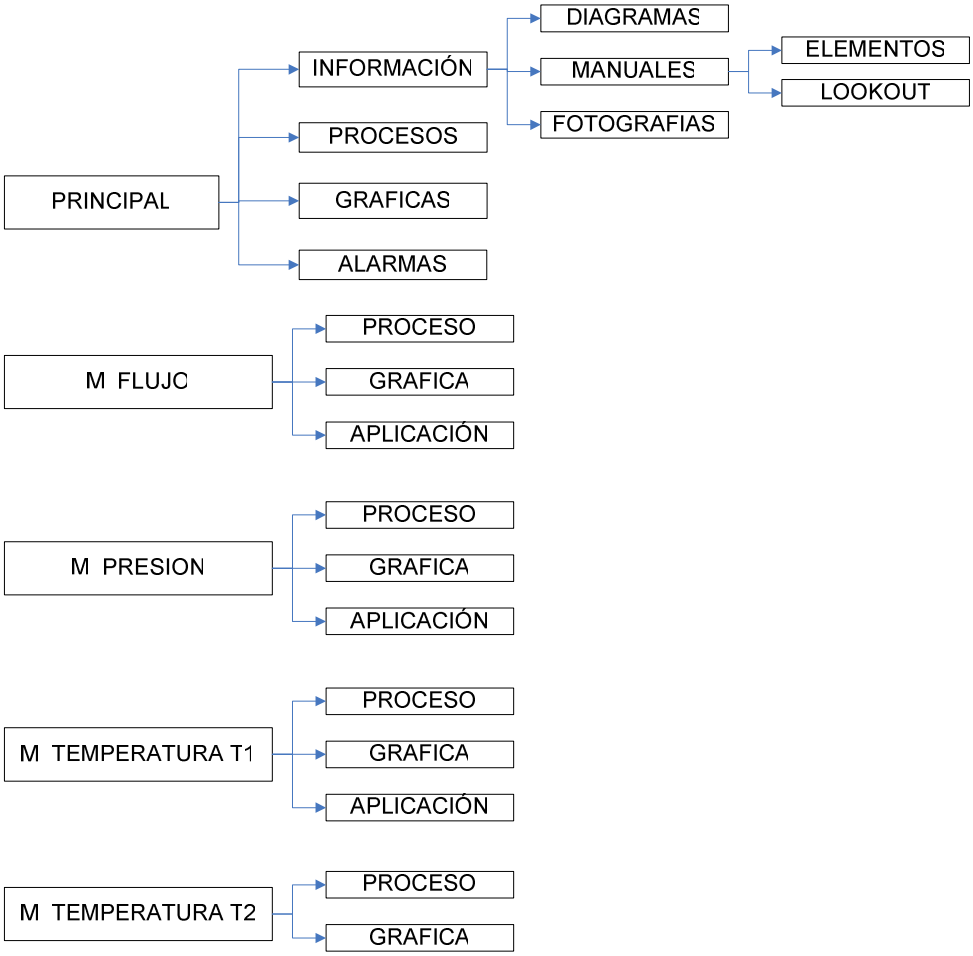

Figura 4-5 Estructura de pantallas del SCD

4.2.1 PANTALLA PRINCIPAL HOME

La aplicación del SCD realizada en LOOKOUT siempre inicia con esta pantalla. Mediante ésta se puede acceder a la información y chequeo de los procesos que conforman este proyecto, dependiendo del nivel de acceso del usuario. En la Figura 4-6 se observa la pantalla principal home y en la Tabla 4-3 se indica la función de sus componentes.

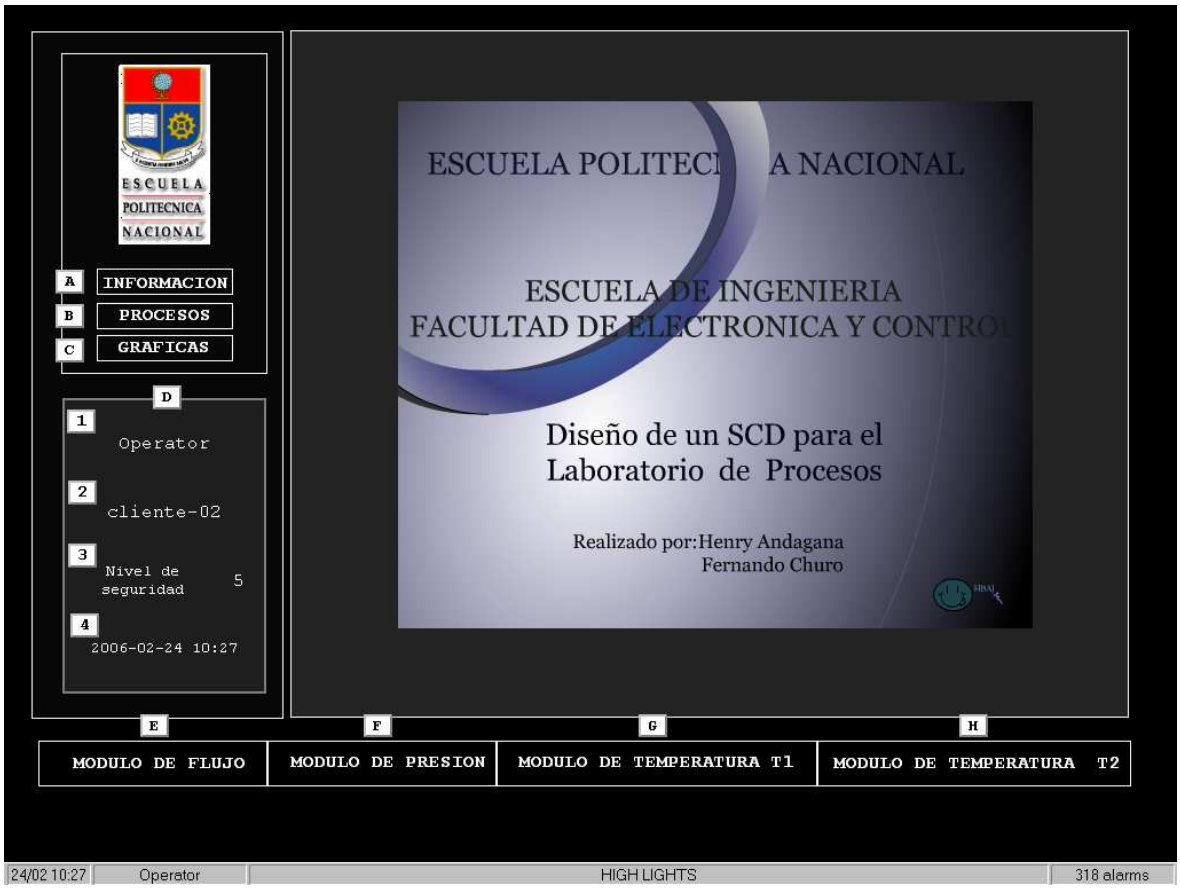

Figura 4-6 Pantalla Principal

		DESCRIPCIÓN
A		Presenta el panel de informacion general
B		Presenta una vista general de todos los procesos componentes del SCD
C		Presenta una vista general de las graficas de cada variable controlada
D	1	Indica el nombre del usuario registrado en ese instante
	2	Indica el nombre de la máquina- PC utilizada
	3	Indica el nivel acceso según el tipo de usuario
	4	Indica la fecha y la hora actual
E		Ingresa a la pantalla de proceso del Módulo de Flujo
F		Ingresa a la pantalla de proceso del Módulo de Presión
G		Ingresa a la pantalla de proceso del Módulo de Temperatura de un horno
H		Ingresa a la pantalla de proceso del Módulo de Temperatura por transferencia de calor

Tabla 4-3. Componentes de la Pantalla Principal

Mediante los botones de la pantalla principal se puede ingresar a varios paneles así como se describe en la Tabla 4-3, estos son: panel de información, de procesos y gráficas.

4.2.2 PANEL DE INFORMACIÓN

El único usuario autorizado para navegar por esta pantalla es el administrador, en ésta se encuentra datos de los planos en formato autocad de los diagramas eléctricos y neumáticos de los módulos didácticos y además de la red de comunicación. Muestra manuales en formato pdf de varios de los elementos que constituyen el SCD como sensores y controladores, así como también indica el manual del software Lookout. Por último permite ver una presentación animada con varias fotografías correspondientes al proyecto.

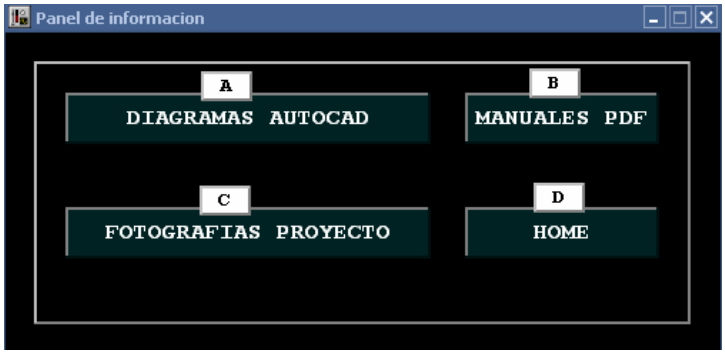

Figura 4-7 Pantalla panel de información

	DESCRIPCIÓN
A	Presenta una pantalla con los planos del SCD en Autocad
B	Presenta la pantalla para información de los componentes del SCD en Pdf
C	Presenta la pantalla que muestra un grupo de fotografias del proyecto
D	Retorna a la pantalla de menu principal HOME

Tabla 4-4. Componentes panel de información

4.2.3 PANEL DE PROCESOS

En este panel aparecen todos los procesos que son monitoreados y se pueden controlar simultáneamente (ver la Figura 4-8).

4.2.4 PANEL DE GRÁFICAS

Aquí aparecen las gráficas que muestran la evolución de las variables controladas y manipuladas en los cuatro módulos. Permitiendo la obtención de históricos, máximos y mínimos (ver la Figura 4-9).

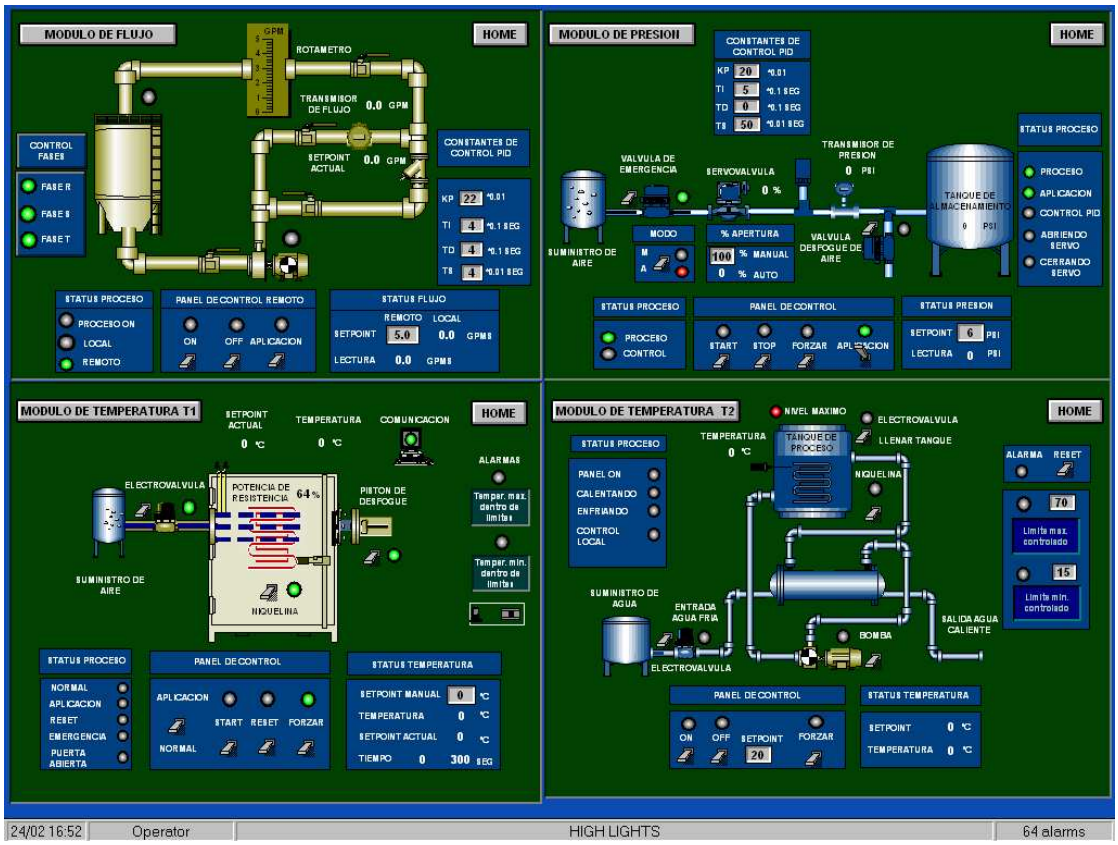

Figura 4-8 Pantalla de Resumen de Procesos

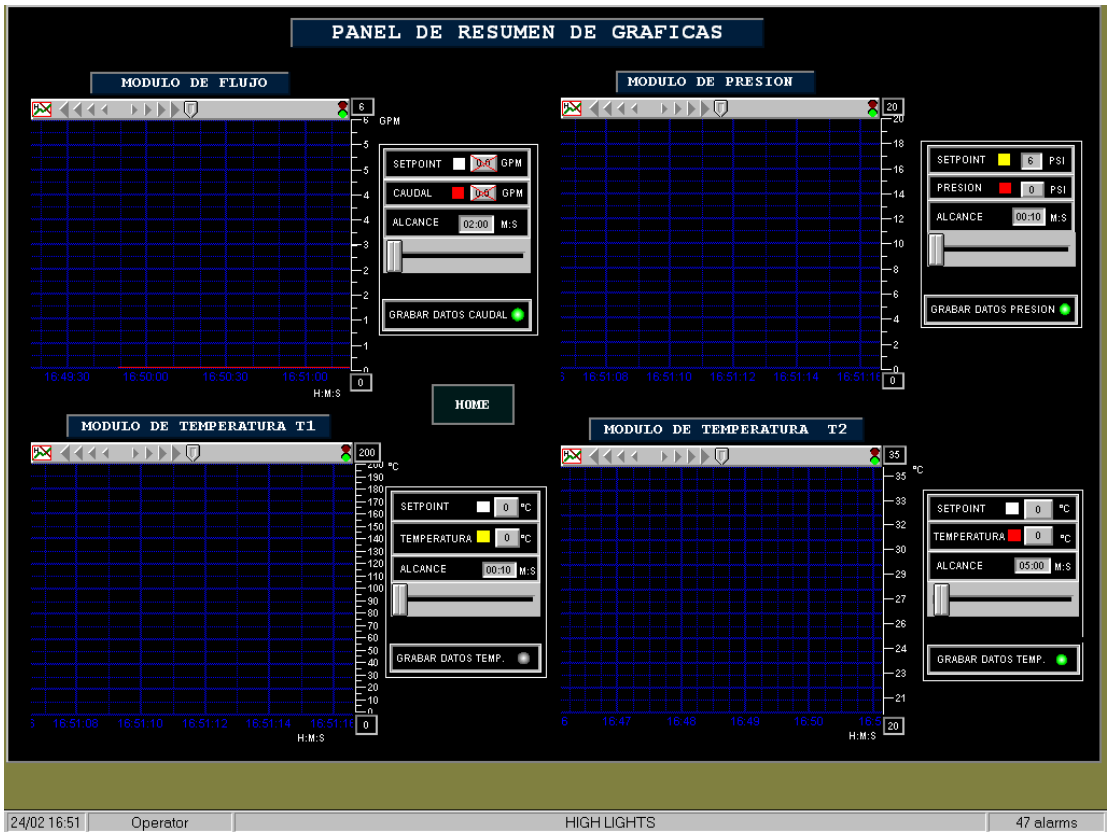

Figura 4-9 Pantalla de Resumen de Gráficas

4.2.5 PANTALLA DE ALARMAS

En la Figura 4-10 se muestra el cuadro de dialogo para alarmas y eventos ocasionados en el proceso general (SCD). Para el acceso de cualquiera de estas alarmas o eventos dar clic derecho en la misma y elegir propiedades.

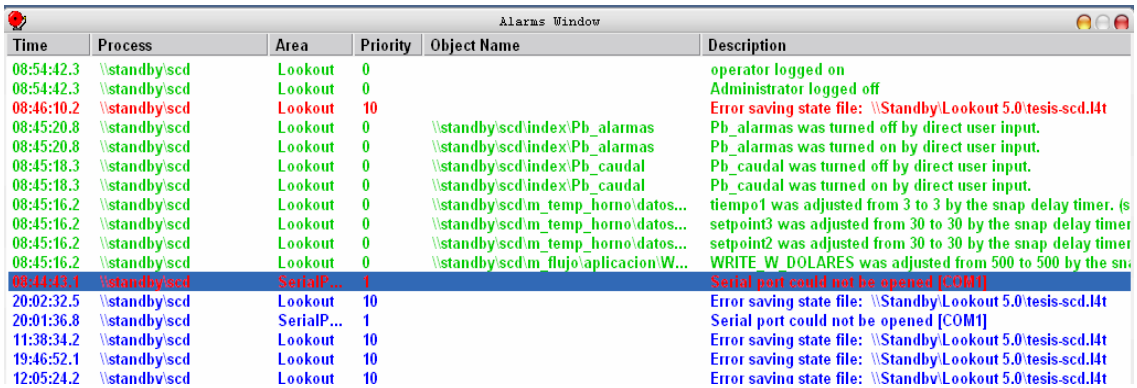

Figura 4-10 Cuadro de dialogo para alarmas o eventos

En la Tabla 4-5 se puede observar una breve descripción de las columnas del cuadro de dialogo de alarmas.

CAMPO	DESCRIPCIÓN
Time	Muestra la hora a la que ocurrio la alarma
Process	Indica el nombre del proceso donde ocurrio la alarma
Area	Indica el nombre del area donde ocurrio la alarma
Priority	Indica el nivel de prioridad de la alarma
Object Name	Indica el nombre del objeto de Lookout que genero la alarma
Description	Presenta una breve description del obejto de Lookout

Tabla 4-5. Descripción de la cuadro de dialogo para alarmas

4.3 HMI PARA CONTROL DE FLUJO

Para el monitoreo y control del sistema de flujo existen tres pantallas de visualización que son: Proceso, Gráfica y Aplicación.

4.3.1 PANTALLA DE PROCESO

En la Figura 4-11 se indica la pantalla de proceso para el control de flujo, ésta se compone de botones, luces indicadoras, registros de lectura, de escritura, entre otros que permiten realizar diferentes acciones al operador. En la Tabla 4-6 se hace una descripción de sus componentes.

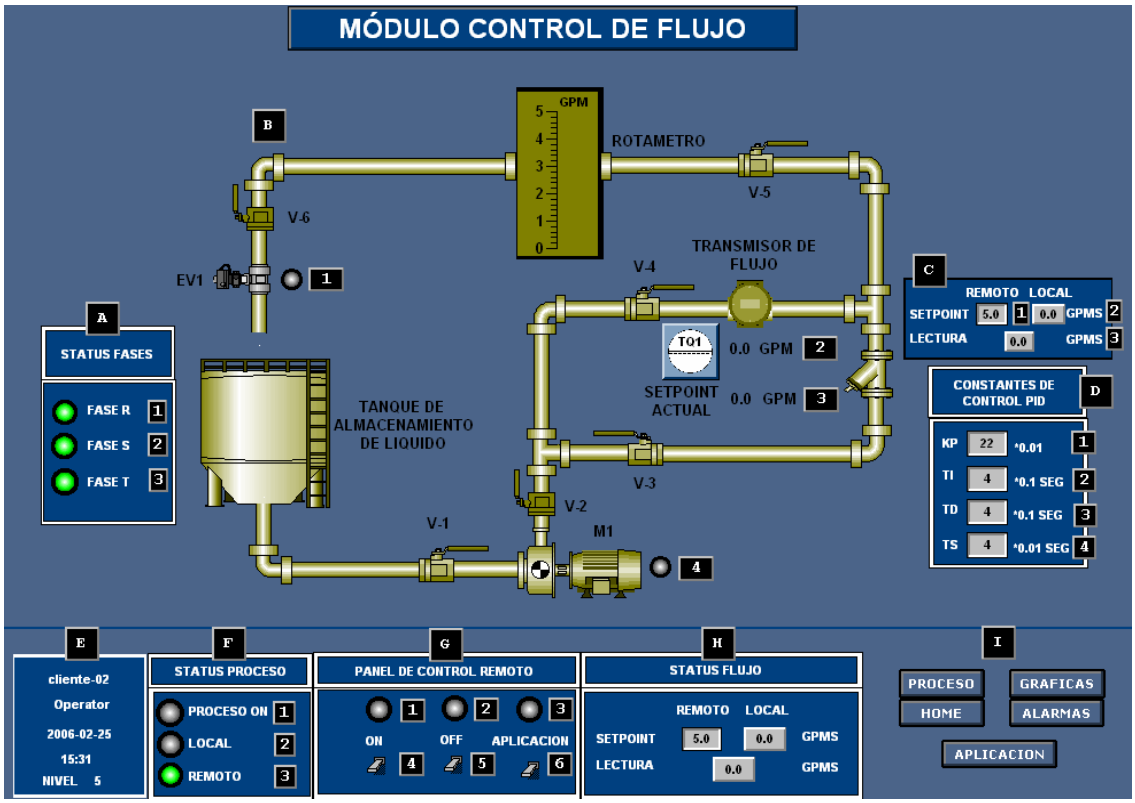

Figura 4-11 Pantalla de Proceso para Control de Flujo

	#	DESCRIPCIÓN
A	1	Indica la presencia de la fase R en el sistema
	2	Indica la presencia de la fase S en el sistema
	3	Indica la presencia de la fase T en el sistema
B	1	Muestra que la electroválvula permite el paso del liquido
	2	Indica el valor de flujo actual en el proceso
	3	Indica el nivel de consigna de Flujo actual
	4	Indica el giro de la bomba
C	1	Configura el valor de consigna de flujo en modo remoto
	2	Lectura del valor de consigna de flujo en modo local
	3	Lectura del valor de flujo actual en el proceso
D	1	Configura el valor de la constante Kp para el lazo PID
	2	Configura el valor de la constante Ti para el lazo PID
	3	Configura el valor de la constante Td para el lazo PID
	4	Configura el valor de la constante Ts para el lazo PID
E	-	Muestra la información del sistema y usuario
F	1	Indica que el proceso está encendido
	2	Muestra que el modo de operación local está seleccionado
	3	Muestra que el modo de operación remoto está seleccionado
G	1	Indica instantaneamente cuando el proceso ha sido encendido
	2	Indica instantaneamente cuando el proceso ha sido apagado
	3	Indica cuando el sistema se encuentra en modo aplicación
	4	Enciende el proceso
	5	Apaga el proceso
	6	Habilita el modo aplicación
H	-	Similar al cuadro C
I	-	Menu para visualizar las pantallas de: proceso,gráfica y aplicación del módulo de flujo. También muestra la pantalla de alarmas y permite salir al menu principal HOME

Tabla 4-6. Componentes para pantalla Proceso Modulo control de flujo

4.3.2 PANTALLA DE GRÁFICA

En la Figura 4-12 se muestra un objeto Hyper trend de Lookout que permite visualizar los registros de este módulo de control. Se pueden observar el comportamiento del valor de consigna y la variable de flujo en función del tiempo, en la Tabla 4-7 se describe cada uno de los componentes.

NOTA: La pantalla de gráfica conserva similares características para el resto de módulos, razón por la cuál en los siguientes prototipos se omite la descripción de este panel.

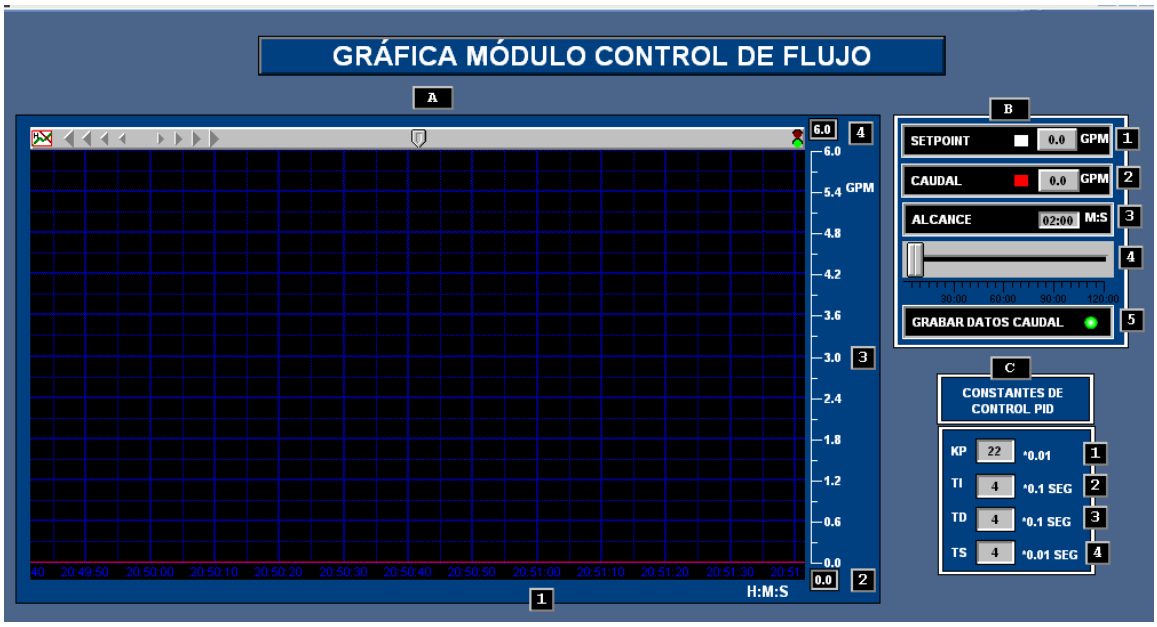

Figura 4-12 Pantalla de Grafica de flujo vs tiempo

	#	DESCRIPCIÓN
A	1	Plano para trazar las curvas de valor de consigna y lectura de flujo
	2	Valor minimo para la escala de flujo
	3	Escala para la medicion de flujo
	4	Valor maximo para la escala de flujo
B	1	Lectura del valor de consigna de flujo
	2	Lectura del valor de flujo actual en el proceso
	3	Permite la variacion numérica del alcance en el eje del tiempo
	4	Permite la variacion deslizante del alcance en el eje del tiempo
	5	Permite habilitar el registro de los datos del proceso en el disco duro
C	1	Permite el ingreso de la constante proporcional KP para control PID
	2	Permite el ingreso del tiempo integral Ti para control PID
	3	Permite el ingreso del tiempo derivativo Td para control PID
	4	Permite el ingreso del tiempo de muestreo Ts para control PID

Tabla 4-7. Componentes de la Pantalla de Gráfica de Control de flujo

4.3.3 PANTALLA DE APLICACIÓN

Ésta es una interfaz a la que el operador puede acceder sin ninguna restricción y sirve para el control y monitoreo del despacho de líquido contenido en el tanque. En la Figura 4-13 se muestra dicha pantalla y en la Tabla 4-8 se describe la función da cada uno de los elementos que componen la interfaz.

Figura 4-13 Pantalla de Aplicación de Control de flujo.

NOMBRE	DESCRIPCIÓN
DESPACHO GALONES	CANTIDAD DE LIQUIDO EN GALONES A SER DESPACHADOS
DESPACHO DOLARES	CANTIDAD DE LIQUIDO EN DOLARES A SER DESPACHADOS
TIEMPO ESTIMADO	TIEMPO QUE LE TOMA AL SISTEMA DESPACHAR CANTIDAD ESPECIFICADA
INICIAR DESPACHO	ARRANCA EL DESPACHO DE LIQUIDO
TIEMPO RESTANTE	TIEMPO QUE EL SISTEMA SEGUIRA ENCENDIDO
GALONES	CANTIDAD DE LIQUIDO QUE ESTA SIENDO DESPACHADO
TOTAL GALONES	CANTIDAD DE LIQUIDO EN GALONES PRESENTES EN EL TANQUE
TOTAL DOLARES	CANTIDAD DE LIQUIDO EN DOLARES PRESENTES EN EL TANQUE
TOTALTIEMPO	TIEMPO QUE TOMARIA AL SISTEMA DESPACHAR TODO EL LIQUIDO EXISTENTE
VOL. INICIAL	CANTIDAD DE LIQUIDO AL INICIO DE TRABAJO
VOL. DISPONBLE	CANTIDAD DE LIQUIDO TODAVIA PRESENTE EN EL TANQUE
PRECIO USD/GALON	PRECIO DE UN GALON DEL LIQUIDO
CAUDAL	INGRESA EL VALOR DE FLUJO AL QUE SE REALIZA EL DESPACHO
RESET	PERMITE EL RESET DE LOS VALORES ACUMULADOS DE GALONES, DOLARES
IMPRIMIR	IMPRIME LA FACTURA DEL COMBUSTIBLE DESPACHADO

Tabla 4-8. Descripción de los componentes de la Pantalla de Aplicación.

En la Figura 4-14 se muestra la pantalla que contiene el modelo de la factura del combustible expedido por el proceso; esta pantalla se mostrara unos segundos luego que el operador haga clic en el botón imprimir en la pantalla de aplicación.

Figura 4-14 Factura de combustible despachado

4.3.4 DIRECCIONAMIENTO MODBUS Y NIVELES DE ACCESO

En la Tabla 4-9 se muestra el direccionamiento Modbus para el programa lookout concernientes a cada variable en el control de Flujo.

MODULO DE FLUJO	
OBJETOS MODBUS 1	
NOMBRE	DIRECCION
OBJETO SWITCH PARA LECTURA	
READ_FASE_R	Modbus1. 00001
READ_FASE_S	Modbus1. 00002
READ_FASE_T	Modbus1. 00003
READ_ON	Modbus1. 00004
READ_REMOTO	Modbus1. 00005
READ_LOCAL	Modbus1. 00006
READ_VARIADOR	Modbus1. 00007
READ_ELECTROVALVULA	Modbus1. 00008
OBJETO SWITCH PARA ESCRITURA	
WRITE_ON	Modbus1. 00021
WRITE_OFF	Modbus1. 00022
WRITE_APLICACION	Modbus1. 00023
WRITE_ELECTROVALVULA	Modbus1. 00024
OBJETO POTENCIOMETRO PARA LECTURA	
READ_W_FLUJO	Modbus1. 40001
READ_W_SETPOINT_LOCAL	Modbus1. 40002
READ_W_SETPOINT_ACTUAL	Modbus1. 40003
READ_W_TIEMPO_ELECTROVALVULA	Modbus1. 40004
READ_W_GALONES	Modbus1. 40005
READ_W_DOLARES	Modbus1. 40006
OBJETO POTENCIOMETRO PARA ESCRITURA	
WRITE_W_KP	Modbus1. 40021
WRITE_W_TI	Modbus1. 40022
WRITE_W_TD	Modbus1. 40023
WRITE_W_TS	Modbus1. 40024
WRITE_W_SETPOINT_REMOTO	Modbus1. 40025
WRITE_W_DOLARES	Modbus1. 40026
WRITE_W_GALONES	Modbus1. 40027
WRITE_W_PRECIO_GALON	Modbus1. 40028

Tabla 4-9. Objetos utilizados para la HMI Control de Flujo

Y en la Tabla 4-10 se indica el nivel de acceso para cada elemento de lookout que constituyen el proceso Control de Flujo.

MODULO DE FLUJO		
NIVEL DE ACCESO DE OBJETOS LOOKOUT		
OBJETO	NIVEL DE ACCESO	USUARIO PERMITIDO
WRITE_ON	5	Operator
WRITE_OFF	5	Operator
WRITE_APLICACION	5	Operator
WRITE_ELECTROVALVULA	5	Operator
WRITE_W_KP	10	Administrator
WRITE_W_TI	10	Administrator
WRITE_W_TD	10	Administrator
WRITE_W_TS	10	Administrator
WRITE_W_SETPOINT_REMOTO	5	Operator
EXCEL_GRABAR_DATOS_FLUJO	5	Operator
GALONES	5	Operator
DOLARES	5	Operator
IMPRIMIR	5	Operator
VOLUMEN INICIAL	10	Administrator
PRECIO USD/GALON	10	Administrator
RESET DATOS DESPACHO	10	Administrator
PANELES DEL MODULO DE FLUJO	1	Guest
OBJETOS NO MENCIONADOS	0	All users

Tabla 4-10. Nivel de acceso HMI Control de Flujo

4.4 HMI PARA CONTROL DE PRESIÓN

Para el monitoreo y control del sistema de presión existen tres pantallas de visualización que son: Proceso, Gráfica y Aplicación.

4.4.1 PANTALLA DE PROCESO

En la Figura 4-15 se indica la pantalla de proceso para el control de presión, ésta se compone de botones, luces indicadoras, registros de lectura, de escritura, entre otros que permiten realizar diferentes acciones al operador. En la Tabla 4-11 se hace una descripción de sus componentes.

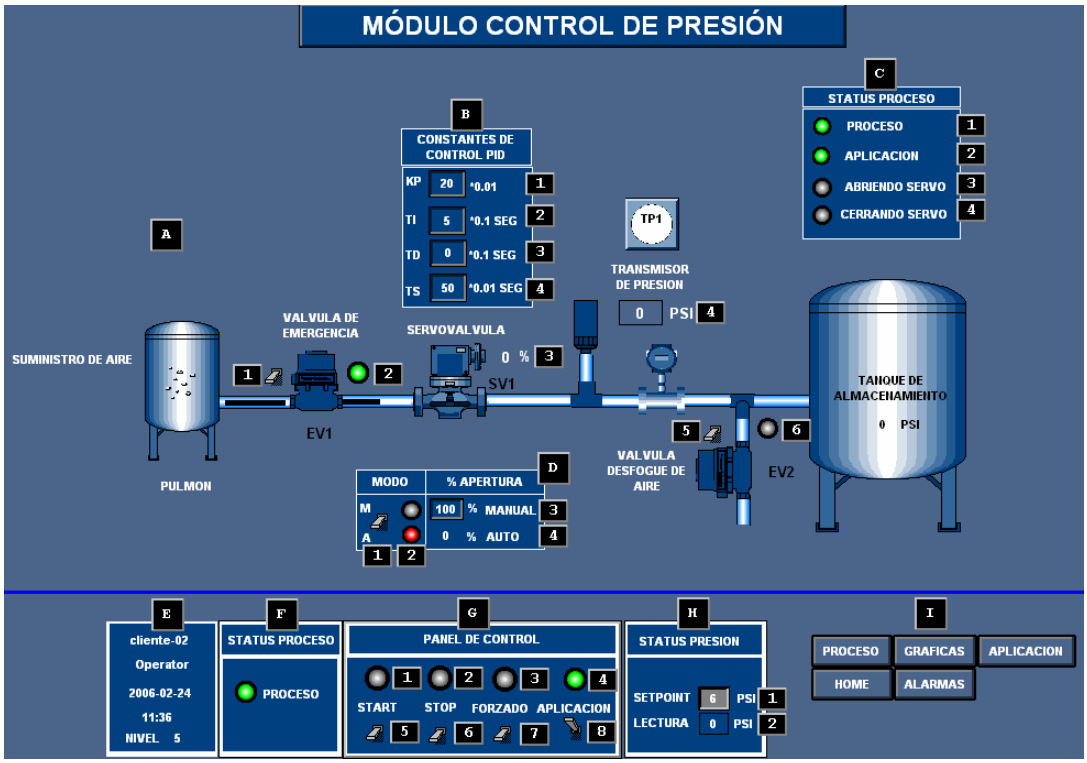

Figura 4-15 Pantalla de Proceso para Control de Presión

	#	DESCRIPCIÓN
A	1	Activa la válvula de emergencia-paso de aire EV1
	2	Indica el estado de la electroválvula EV1
	3	Indica la posición de apertura de servoválvula SV1
	4	Muestra el valor de presión del sistema TP1
	5	Permite activar la electroválvula de desfogue EV2
	6	Indica el estado de la electroválvula EV2
B	1	Ingresa el valor de KP (c. proporcional) para controlador PID
	2	Ingresa el valor de TI (t. integral) para controlador PID
	3	Ingresa el valor de TD (t.derivativo) para controlador PID
	4	Ingresa el valor de TS (t. muestreo) para controlador PID
C	1	Indica que el proceso está encendido
	2	Muestra que el modo aplicación está seleccionado
	3	Indica que la servoválvula está abriendo
	4	Indica que la servoválvula está cerrando
D	1	Selecciona el modo de operación de la servoválvula manual-automatico
	2	Indica el modo en que está operando la servoválvula
	3	Ingresa el valor del porcentaje de apertura de SV1 en modo manual
	4	Indica el valor del porcentaje de apertura de SV1 en modo automatico
E	-	Cuadro Informativo de usuario y sistema
F	-	Muestra el estado del proceso
G	1	Indica el estado del pulsante START.
	2	Indica el estado del pulsante STOP
	3	Muestra el estado del switch FORZADO
	4	Muestra el estado del switch APLICACIÓN
	5	START permite encender el sistema general
	6	STOP permite apagar el sistema
	7	Activa el modo de operación para forzar los actuadores
	8	Activa el modo de aplicación.
H	1	Ingresa el valor de consigna-setpoint de de presión deseada
	2	Indica el valor medido de presión del sistema
I	-	Menu para visualizar las pantallas de: proceso,gráfica y aplicación del módulo de presión. Además alarmas y permite salir al menu principal HOME

Tabla 4-11. Componentes para pantalla Proceso Modulo control de Presión

4.4.2 PANTALLA DE GRÁFICA

Esta pantalla permite visualizar los registros de este módulo de control. Se pueden observar el comportamiento del valor de consigna y la variable de presión en función del tiempo, como esta pantalla conserva las mismas características en todos los procesos hay que referirse a la Figura 4-12 (módulo de flujo).

4.4.3 PANTALLA DE APLICACIÓN

Ésta es una interfaz a la que el operador puede acceder sin ninguna restricción y sirve para el control y monitoreo del control de presión de salida de un tanque hidroneumático. En la Figura 4-16 se muestra dicha pantalla y en la Tabla 4-12 se describe la función da cada uno de los elementos que componen la interfaz.

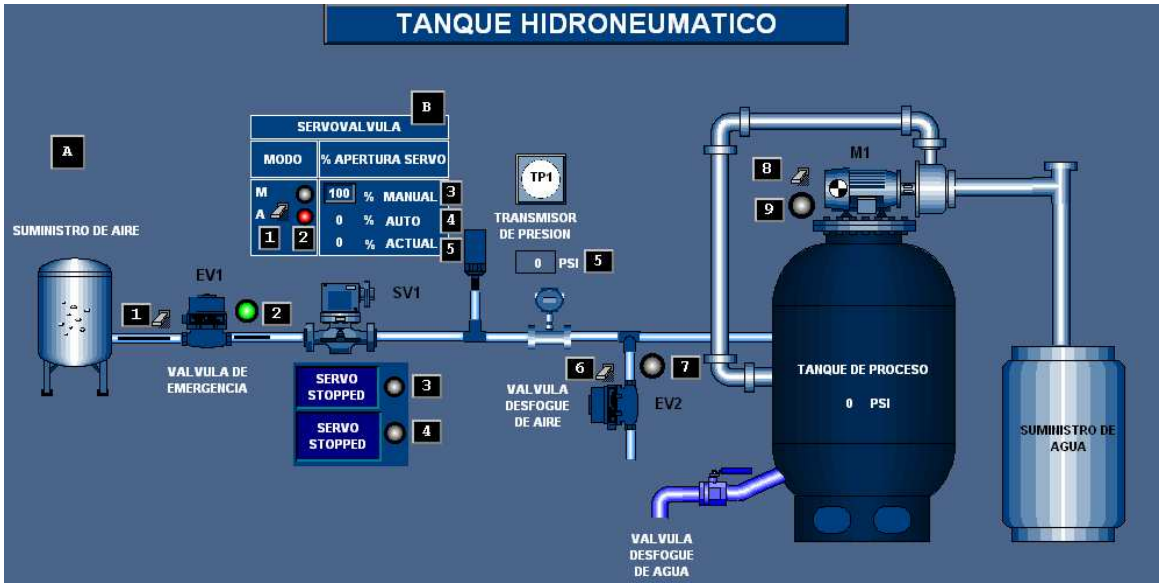

Figura 4-16 Pantalla de Aplicación de Presión

	#	DESCRIPCIÓN
A	1	Activa la válvula de emergencia-paso de aire EV1
	2	Indica el estado de la electroválvula EV1
	3	Indica que la servoválvula está abriendo
	4	Indica que la servoválvula está cerrando
	5	Muestra el valor de presión del sistema TP1
	6	Permite activar la electroválvula de desfogue EV2
	7	Indica el estado de la electroválvula EV2
	8	Activa el llenado del tanque de agua cada vez que sea necesario
	9	Indica el estado de la bomba de agua M1.
B	1	Selecciona el modo de operación de la servoválvula manual-automatico
	2	Indica el modo en que está operando la servoválvula
	3	Ingresa el valor del porcentaje de apertura de SV1 en modo manual
	4	Indica el valor del porcentaje de apertura de SV1 en modo automatico
	5	Indica la posición de apertura de servoválvula SV1

Tabla 4-12. Componentes para pantalla Aplicación Modulo de control de Presión

4.4.4 DIRECCIONAMIENTO MODBUS Y NIVELES DE ACCESO

En la Tabla 4-13 y Tabla 4-14 se muestra el direccionamiento Modbus para el programa lookout concernientes a cada variable en el control de Presión y los niveles de acceso permitidos.

MODULO DE PRESION	
OBJETOS MODBUS 2	
NOMBRE	DIRECCIÓN
OBJETO SWITCH PARA LECTURA	
READ_BOMBA	Modbus2. 00001
READ_ELECTROVALVULA_EXTERNA	Modbus2. 00002
READ_ELECTROVALVULA_INTERNA	Modbus2. 00003
READ_PROCESO_ON	Modbus2. 00004
READ_CONTROL_ON	Modbus2. 00005
READ_ABRIENDO_SERVO	Modbus2. 00006
READ_CERRANDO_SERVO	Modbus2. 00007
OBJETO SWITCH PARA ESCRITURA	
WRITE_MODO_FORZADO	Modbus2. 00021
WRITE_BOMBA	Modbus2. 00022
WRITE_ELECTROV_EXTERNA	Modbus2. 00023
WRITE_ELECTROV_INTERNA	Modbus2. 00024
WRITE_ON	Modbus2. 00025
WRITE_OFF	Modbus2. 00026
WRITE_MODO_DE_SERVO	Modbus2. 00027
WRITE_MODO_APLICACION	Modbus2. 00028
OBJETO POTENCIOMETRO PARA LECTURA	
READ_W_PRESION	Modbus2. 40001
READ_W_POSICION_SERVO	Modbus2. 40002
READ_W_SETPOINT_AUTO_SERVO	Modbus2. 40003
OBJETO POTENCIOMETRO PARA ESCRITURA	
WRITE_W_SETPOINT_PRESION	Modbus2. 40021
WRITE_W_SETPOINT_MANUAL_SERVO	Modbus2. 40022
WRITE_W_KP	Modbus2. 40023
WRITE_W_TD	Modbus2. 40024
WRITE_W_TI	Modbus2. 40025
WRITE_W_TS	Modbus2. 40026

Tabla 4-13. Objetos utilizados para la HMI Control de Presión

MODULO DE PRESION		
NIVEL DE ACCESO DE OBJETOS LOOKOUT		
OBJETO	NIVEL DE ACCESO	USUARIO PERMITIDO
WRITE_MODO_FORZADO	10	Administrator
WRITE_BOMBA	10	Administrator
WRITE_ELECTROV_EXTERNA	10	Administrator
WRITE_ELECTROV_INTERNA	10	Administrator
WRITE_ON	5	Operator
WRITE_OFF	5	Operator
WRITE_MODO_DE_SERVO	10	Administrator
WRITE_MODO_APLICACION	5	Operator
WRITE_W_SETPOINT_PRESION	5	Operator
WRITE_W_SETPOINT_MANUAL_SERVO	10	Administrator
WRITE_W_KP	10	Administrator
WRITE_W_TD	10	Administrator
WRITE_W_TI	10	Administrator
WRITE_W_TS	10	Administrator
EXCEL_GRABAR_DATOS_PRESION	5	Operator
PANELES DEL MODULO DE PRESION	1	Guest
OBJETOS NO MENCIONADOS	0	All users

Tabla 4-14. Nivel de acceso HMI Control de Presión

4.5 HMI PARA CONTROL DE TEMPERATURA DE UN HORNO

Para el monitoreo y control del sistema de temperatura de un horno existen tres pantallas de visualización que son: Proceso, Gráfica y Aplicación.

4.5.1 PANTALLA DE PROCESO

En la Figura 4-17 se indica la pantalla de proceso para el control de temperatura de un horno, ésta se compone de botones, luces indicadoras, registros de lectura, de escritura, entre otros que permiten realizar diferentes acciones al operador. En la Tabla 4-15 se hace una descripción de sus componentes.

4.5.2 PANTALLA DE GRÁFICA

Esta pantalla permite visualizar los registros de este módulo de control. Se pueden observar el comportamiento del valor de consigna y la variable de temperatura en el interior del horno en función del tiempo, como esta pantalla conserva las mismas características en todos los procesos hay que referirse a la Figura 4-12 (módulo de flujo).

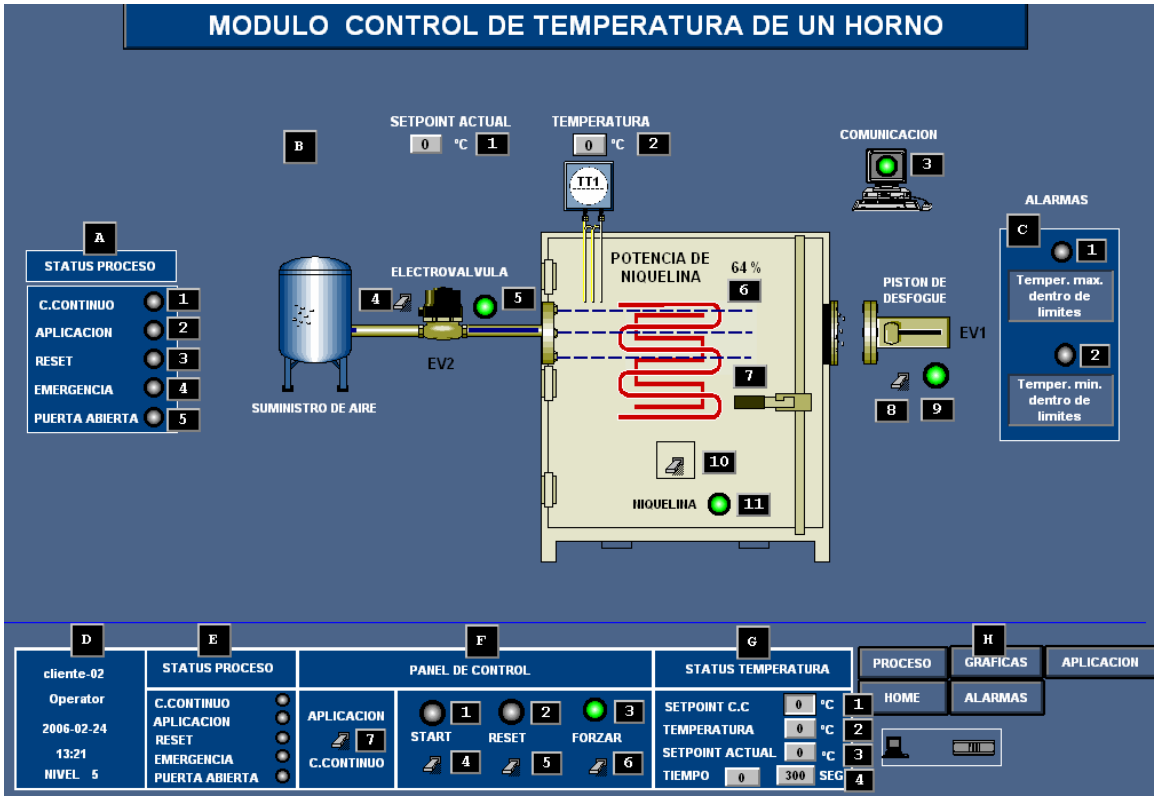

Figura 4-17 Pantalla de Proceso para Control de Temperatura de un horno

	#	DESCRIPCIÓN
A	1	Indica que el modo de operación continuo está activo
	2	Indica que el modo aplicación está activo
	3	Muestra si el botón reset en el panel ha sido activado
	4	Muestra si el botón de emregncia en el panel ha sido activado
	5	Muestra si la puerta del horno ha sido abierta
B	1	Indica el valor del setpoint de temperatura deseado al instante
	2	Indica el valor de temperatura medido en el horno
	3	Indica que el controlador está comunicado con la red de campo
	4	Permite activar la electroválvula EV2 para ingreso de aire comprimido
	5	Indica que EV2 está activa
	6	Muestra el porcentaje de la potencia utilizada de la niquelina
	7	Indica si el sistema esta enfriando o calentando
	8	Permite activar la electroválvula EV1 para abrir puerta de desfogue
	9	Indica que la puerta de desfogue está activa
	10	Permite habilitar a la niquelina para calentar el horno
	11	Indica que la niquelina está activa
C	1	Indica que la temperatura leida es mayor al 90% del setpoint
	2	Indica que la temperatura leida es menor al 10% del setpoint
D	-	Cuadro Informativo de usuario y sistema
E	-	Cuadro similar al A.
F	1	Indica el estado del pulsante START.
	2	Indica el estado del pulsante STOP
	3	Muestra el estado del switch FORZADO
	4	START permite encender el sistema general
	5	STOP permite apagar el sistema
	6	Activa el modo de operación para forzar los actuadores
	7	Activa el modo de aplicación.
G	1	Ingresa el valor de consigna-setpoint en modo control continuo
	2	Indica el valor medido de temperatura del horno
	3	Indica el valor del setpoint de temperatura deseado al instante
	4	Indica el tiempo transcurrido y programado para cada punto en m. aplicación
H	-	Menu para visualizar las pantallas de: proceso,gráfica y aplicación del módulo de presión. También muestra la pantalla de alarmas y permite salir al menu principal HOME

Tabla 4-15. Componentes para pantalla proceso Modulo control de Temperatura I

4.5.3 PANTALLA DE APLICACIÓN

Ésta es una interfaz a la que el operador puede acceder sin ninguna restricción y sirve para el realizar una curva de temperatura configurada por el operador a través de 30 puntos de operación.

Se debe tener en cuenta que los puntos están permitidos para tener valores de temperatura y tiempo que no excedan una pendiente máxima de 6°C/min para calentar y 2℃/min para enfriar.

En la Figura 4-18 se muestra dicha pantalla y en la Tabla 4-16 se describe la función da cada uno de los elementos que componen la interfaz.

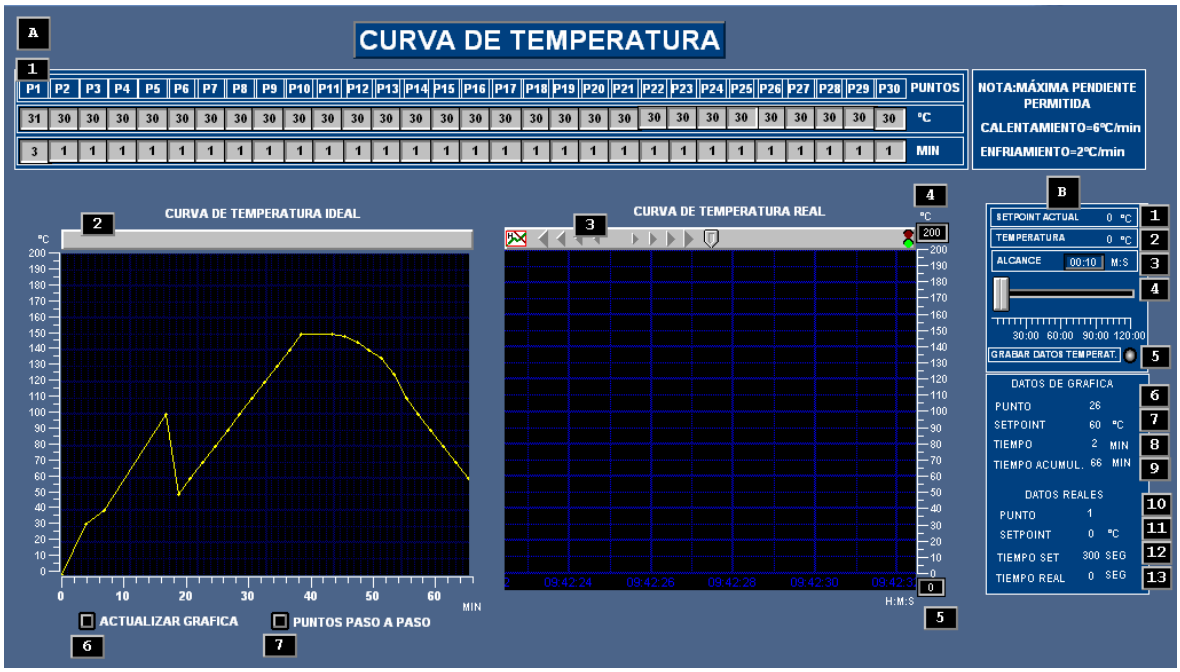

Figura 4-18 Pantalla de Aplicación de Temperatura de un horno

	#	DESCRIPCIÓN
A	1	Permite el ingreso de datos para los 30 puntos de operación m. aplicación
	2	Grafica la curva de temperatura programada en m. aplicación
	3	Grafica la curva de temperatura medida en el proceso
	4	Ingresa el límite máximo de visualización de temperatura en las gráficas
	5	Ingresa el límite mínimo de visualización de temperatura en las gráficas
	6	Este botón actualiza la curva de temperatura ideal
	7	Permite ver la curva programada punto a punto
B	1	Indica el valor del setpoint de temperatura deseado al instante
	2	Indica el valor de temperatura medido en el horno
	3	Ingresa el campo de visualización de tiempo de las gráficas
	4	Realiza la misma función que el anterior
	5	Habilita el registro de datos
	6	Muestra el punto de operación seleccionado en la curva ideal
	7	Indica el valor de consigna correspondiente al punto de operación seleccionado
	8	Indica el valor de tiempo correspondiente al punto de operación seleccionado
	9	Indica el valor de tiempo acumulado para la curva ideal de temperatura
	10	Muestra el punto de operación vigente
	11	Indica el valor de consigna correspondiente al punto de operación actual
	12	Indica el valor de tiempo correspondiente al punto de operación vigente
	13	Indica el valor de tiempo transcurrido para el punto operativo actual

Tabla 4-16. Componentes para pantalla Aplicación Modulo de Temperatura de horno

4.5.4 DIRECCIONAMIENTO MODBUS Y NIVELES DE ACCESO

En la Tabla 4-17 y Tabla 4-18 se muestra el direccionamiento Modbus para el programa lookout concernientes a cada variable en el control de temperatura del horno y los niveles de acceso permitidos.

MODULO DE TEMPERATURA PARA HORNO	
OBJETOS MODBUS 3	
NOMBRE	DIRECCIÓN
OBJETO SWITCH PARA LECTURA	
READ_COMUNICACION_LOCAL	Modbus3. 00001
READ_PISTON	Modbus3. 00002
READ_LUZ_PISTON	Modbus3. 00003
READ_PUERTA_ABIERTA	Modbus3. 00004
READ_ELECTROVALVULA	Modbus3. 00005
READ_NIQUELINAS	Modbus3. 00006
READ_RESET	Modbus3. 00007
READ_EMERGENCIA	Modbus3. 00008
READ_MODO_APLICACION	Modbus3. 00009
READ_MODO_NORMAL	Modbus3. 00010
READ_SET_AND_TIME_RIGHT	Modbus3. 00011
READ_ALARMA_BAJA	Modbus3. 00012
READ_ALARMA_ALTA	Modbus3. 00013
OBJETO SWITCH PARA ESCRITURA	
WRITE_MODO_APLICACION	Modbus3. 00017
WRITE_ON	Modbus3. 00018
WRITE_OFF	Modbus3. 00019
WRITE_PISTON	Modbus3. 00020
WRITE_ELECTROVALVULA	Modbus3. 00021
WRITE_NIQUELINAS	Modbus3. 00022
WRITE_MODO_FORZADO	Modbus3. 00023
OBJETO POTENCIOMETRO PARA LECTURA	
READ_W_TEMPERATURA	Modbus3. 40081
READ_W_SETPOINT	Modbus3. 40082
READ_W_TIEMPO_FIJO_APLICACION	Modbus3. 40083
READ_W_CONTADOR_APLICACION	Modbus3. 40084
READ_W_TIEMPO_REAL_APLICACION	Modbus3. 40085
READ_W_POTENCIA	Modbus3. 40086
OBJETO POTENCIOMETRO PARA ESCRITURA	
SETPOINT1	Modbus3. 40001
TIEMPO1	Modbus3. 40002
SETPOINT…	Modbus3. 400…
TIEMPO……	Modbus3. 400…
SETPOINT30	Modbus3. 40059
TIEMPO30	Modbus3. 40060
WRITE_W_SETPOINT_M_NORMAL	Modbus3. 40061

Tabla 4-17. Objetos utilizados para la HMI Control de Temperatura para horno

MODULO DE TEMPERATURA PARA HORNO		
NIVEL DE ACCESO DE OBJETOS LOOKOUT		
OBJETO	NIVEL DE ACCESO	USUARIO PERMITIDO
WRITE_MODO_APLICACION	5	Operator
WRITE:ON	5	Operator
WRITE_OFF	5	Operator
WRITE_PISTON	10	Administrator
WRITE_ELECTROVALVULA	10	Administrator
WRITE_NIQUELINAS	10	Administrator
WRITE_MODO_FORZADO	10	Administrator
SETPOINT1	5	Operator
TIEMPO1	5	Operator
SETPOINT..	5	Operator
TIEMPO..	5	Operator
SETPOINT30	5	Operator
TIEMPO30	5	Operator
WRITE_W_SETPOINT_M_NORMAL	5	Operator
EXCEL_GRABAR_DATOS_TEMP_HORNO	5	Operator
PANELES DEL MODULO DE TEMPERATURA	1	Guest
OBJETOS NO MENCIONADOS	0	All users

Tabla 4-18. Nivel de acceso HMI Control de Temperatura para horno

4.6 HMI PARA CONTROL DE TEMPERATURA POR TRASFERENCIA DE CALOR

Para el monitoreo y control del sistema de temperatura por transferencia de calor existen dos pantallas de visualización que son: Proceso y Gráfica.

4.6.1 PANTALLA DE PROCESO

En la Figura 4-19 se puede observar la pantalla principal este proceso. En la Tabla 4-19 se describe cada uno de los controles de la interfaz en mención.

4.6.2 PANTALLA DE GRÁFICA

Esta pantalla permite visualizar los registros de este módulo de control. Se pueden observar el comportamiento del valor de consigna y la variable de temperatura en función del tiempo, como esta pantalla conserva las mismas características en todos los procesos hay que referirse a la Figura 4-12 (módulo de flujo).

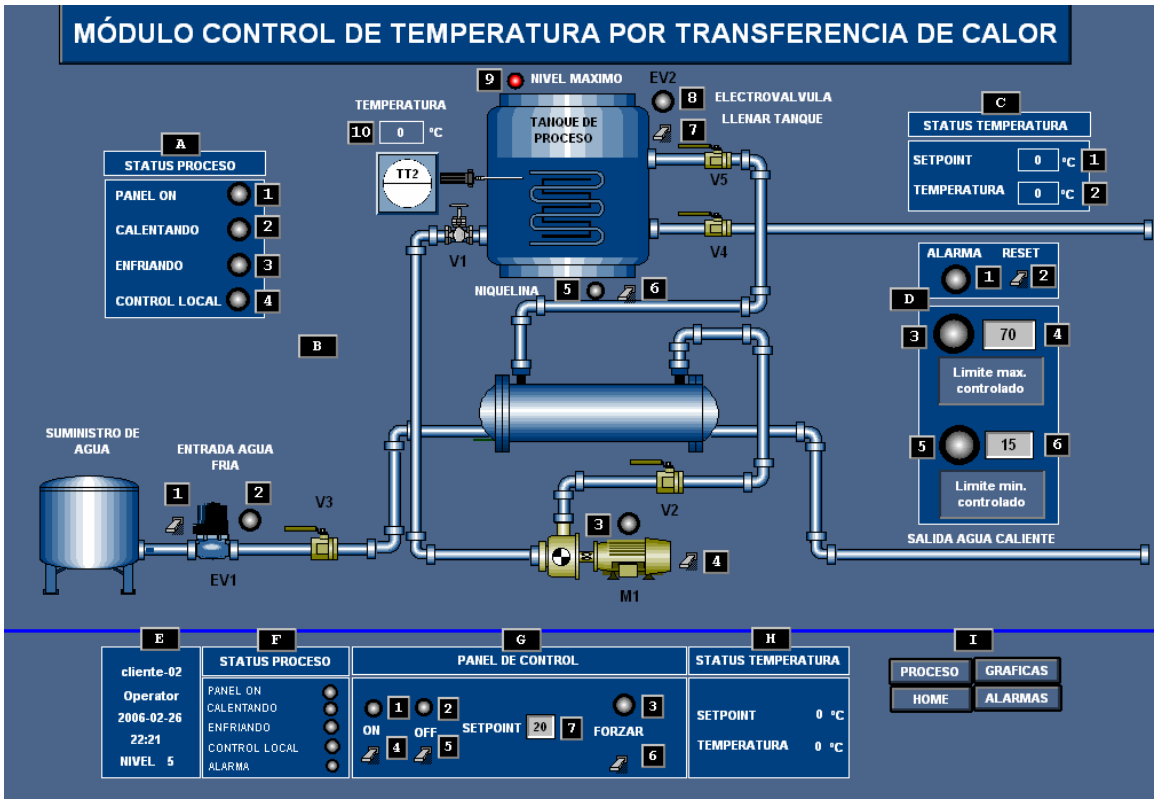

Figura 4-19 Pantalla de Proceso para Control temperatura II.

	#	DESCRIPCIÓN
A	1	Indica que el sistema ha sido encendido
	2	Indica que el sistema esta incrementando su temperatura
	3	Indica que el sistema esta decrementando su temperatura
	4	Indica que el sistema se encuentra en modo Local
B	1	Switch para activar manualmente la electovalvula de agua fria
	2	Indicador de elctroválvula activa
	3	Switch para activar manualmente la bomba
	4	Indicador de bomba activa
	5	Switch para activar manualmente la niquelina
	6	Indicador de niquelina activa
	7	Switch para activar manualmente la electroválvula de llenado
	8	Indicador de la electroválvula de llenado activa
	9	Indicador del nivel máximo del liquido en el tanque
	10	Nivel de temperatura interna actual del tanque
C	1	Indica el valor de consigna de temperatura del sistema
	2	Indica el valor de temperatura actual del sistema
D	1	Indicador de alarma activa
	2	switch para resetear el sistema
	3	Indicador de alarma del limite max activo
	4	Valor del limite max para para alarma
	5	Indicador de alarma del limite min activo
	6	Valor del limite min para para alarma
E	-	Muestra la información del sistema y usuario
F	-	Similar al bloque A
G	1	Indicador instantáneo del arranque de proceso
	2	Indicador instantáneo del apagado de proceso
	3	Indicador del sistema forzado para mantenimiento
	4	Switch para encender el proceso
	5	Switch para apagar el proceso
	6	Switch para activar el modo forzado del sistema
	7	Ajuste del valor de setpoit de temperatura
H	-	Similar al bloque C
I	-	Menu para visualizar las pantallas de: proceso,gráfica y aplicación del módulo de presión. También muestra la pantalla de alarmas y permite salir al menu principal HOME

Tabla 4-19. Componentes de pantalla de proceso Control de Temperatura II

4.6.3 DIRECCIONAMIENTO MODBUS Y NIVELES DE ACCESO

En la Tabla 4-20 y Tabla 4-21 se muestra el direccionamiento Modbus para el programa lookout concernientes a cada variable en el control de temperatura y los niveles de acceso permitidos.

MODULO DE TEMPERATURA POR TRANSFERENCIA DE CALOR	
OBJETOS MODBUS 4	
NOMBRE	DIRECCIÓN
OBJETO SWITCH PARA LECTURA	
READ_NIQUELINA	Modbus4. 00001
READ_BOMBA	Modbus4. 00002
READ_ELECTROVAL_ENFRIAR	Modbus4. 00003
READ_ALARMA	Modbus4. 00004
READ_ENFRIANDO	Modbus4. 00005
READ_CALENTANDO	Modbus4. 00006
READ_PROCESO_ON	Modbus4. 00007
READ_ELECTROVAL_LLENAR	Modbus4. 00008
READ_ALARMA_SUPERIOR	Modbus4. 00017
READ_ALARMA_INFERIOR	Modbus4. 00018
READ_CONTROL_LOCAL	Modbus4. 00019
READ_NIVEL_MAXIMO	Modbus4. 00020
OBJETO SWITCH PARA ESCRITURA	
WRITE_ON	Modbus4. 00009
WRITE_OFF	Modbus4. 00010
WRITE_RESET	Modbus4. 00011
WRITE_MODO_FORZADO	Modbus4. 00012
WRITE_ELECTROVAL_ENFRIAR	Modbus4. 00013
WRITE_BOMBA	Modbus4. 00014
WRITE_NIQUELINAS	Modbus4. 00015
WRITE_ELECTROVAL_LLENAR	Modbus4. 00016
OBJETO POTENCIOMETRO PARA LECTURA	
READ_W_TEMPERATURA	Modbus4. 40051
READ_W_SETPOINT	Modbus4. 40052
OBJETO POTENCIOMETRO PARA ESCRITURA	
WRITE_W_SETPOINT	Modbus4. 40001
WRITE_W_LIMITE_SUPERIOR	Modbus4. 40002
WRITE_W_LIMITE_INFERIOR	Modbus4. 40003

Tabla 4-20. Objetos utilizados para la HMI Control de Temperatura II

MODULO DE TEMPERATURA POR TRANSFERENCIA DE CALOR		
NIVEL DE ACCESO DE OBJETOS LOOKOUT		
OBJETO	NIVEL DE ACCESO	USUARIO PERMITIDO
WRITE_ON	5	Operator
WRITE_OFF	5	Operator
WRITE_RESET	10	Administrator
WRITE_MODO_FORZADO	10	Administrator
WRITE_ELECTROVAL_ENFRIAR	10	Administrator
WRITE_BOMBA	10	Administrator
WRITE_NIQUELINAS	10	Administrator
WRITE_ELECTROVAL_LLENAR	10	Administrator
WRITE_W_SETPOINT	5	Operator
WRITE_W_LIMITE_INFERIOR	5	Operator
WRITE_W_LIMITE_SUPERIOR	5	Operator
EXCEL_GRABAR_DATOS_TEMP_TRANSFERENCIA	5	Operator
PANELES DEL MODULO DE TEMP_TRANSFERENCIA	1	Guest
OBJETOS NO MENCIONADOS	0	All users

Tabla 4-21. Nivel de acceso HMI Control de Temperatura por transferencia

4.7 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA REDUNDANTE

Un SCD se caracteriza por tener mayor confiabilidad respecto a otros sistemas de adquisición de datos y control, esta superioridad se basa en los diferentes grados de redundancia que se puede aplicar a éste. Para finalizar este proyecto se describe como

implementar un sistema redundante para el manejo de datos utilizando el software Lookout, de forma que cuando exista un fallo en el equipo servidor principal no se interrumpa la correcta operación del sistema.

4.7.1 MODO DE OPERACIÓN

Para la aplicación del sistema redundante a dos clientes se necesita de cuatro computadoras conectadas en red de usuarios ETHERNET, en donde una maquina pasa a ser la computadora principal SERVER, otra el STANDBY o equipo secundario y las otras dos son los CLIENTES. Cada una de éstas debe tener una aplicación independiente realizada con LOOKOUT, así como se ve en la Figura 4-20.

El servidor principal en operación normal recolecta la información de la red de campo en MODBUS SERIAL, mientras tanto el equipo secundario monitorea el estado del principal y el Cliente mantiene la comunicación con el SERVER ambos a través de la red de usuarios ETHERNET.

Cuando se produce una falla en la máquina principal, el STANDBY la detecta automáticamente, carga una copia de la aplicación del SERVER, conmuta los puertos seriales posibilitando que la adquisición de datos en MODBUS SERIAL se transfiera al equipo secundario. De igual forma cuando los clientes detectan un fallo del principal, éstos redireccionan hacia la segunda máquina el destino de los datos que manejan.

Finalmente cuando el SERVER se reestablece en la red, la computadora stand by y los procesos en los clientes retornan a su operación y dirección original.

Se consideran como un fallo del servidor principal a los siguientes eventos:

1. La computadora primaria no ha sido encendida.
2. La computadora esta encendida pero Lookout no esta corriendo.
3. La computadora esta encendida y con el software Lookout corriendo, pero la aplicación de Lookout no es la correcta.
4. La computadora esta encendida, con el software Lookout corriendo, y la aplicación de Lookout correcta, pero no existe comunicación entre las dos computadoras (SERVER y STANDBY).

Estas son las cuatro razones por las cuales la computadora secundaria asume la adquisición de datos y el control en la red.

En al Figura 4-20 se observa la estructura de red implementada para el manejo con Lookout y la opción de Standby configurada. La línea punteada muestra como el hardware (controladores lógicos programables) puede ser controlado y monitoreado por ambas máquinas en un sistema redundante utilizando un enlace serial.

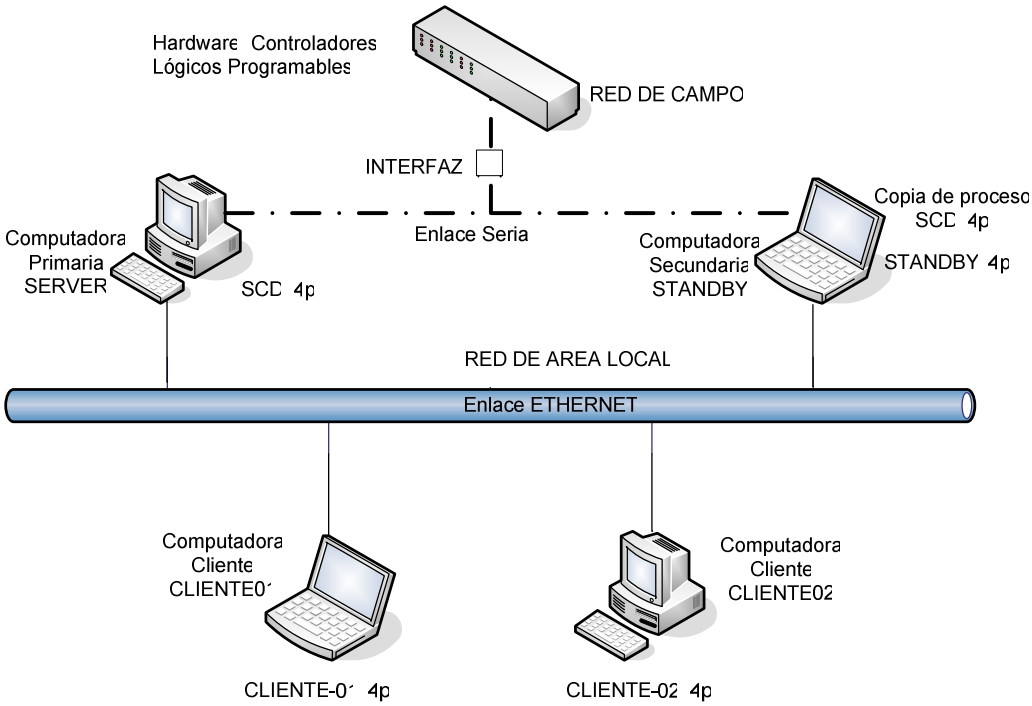

Figura 4-20 Sistema Redundante

De la Figura 4-20 se puede deducir algunos requerimientos básicos para la implementación de este sistema:

1. Las computadoras usadas para la implementación de la redundancia deben estar perfectamente configuradas en la red de usuarios ETHERNET, éstas deben ser capaces de comunicarse entre ellas y compartir sus archivos. Para mayor detalle referirse al manual del diseñador de Lookout sección 13.
2. Ambas computadoras la primaria y la secundaria deben tener acceso directo al hardware de control mediante un enlace SERIAL. Pues en las diversas situaciones de fallo del equipo primario, el computador STANDBY puede asumir la responsabilidad de la computadora primaria.
3. Se puede designar a cualquier computadora en la red como Standby, ésta no necesita ser la más cercana en la red al hardware pero en este proyecto se aplica esta consideración debido a que ésta debe estar conectada al hardware de control.

4. La computadora Standby debe tener una copia del proceso de la computadora primaria en su directorio Lookout, para que tan pronto como deja de recibir señal de la computadora primaria, esta automáticamente carga su copia local del archivo primario.
5. En la configuración del sistema Standby, la maquina primaria no solamente actualiza su propio archivo de estado sino que también actualiza el archivo de estado de la maquina secundaria.

A continuación se describe los pasos necesarios para configurar el equipo primario, secundario y clientes utilizados en este proyecto.

4.7.2 CONFIGURACIÓN DEL SERVIDOR PRINCIPAL

Para llevar a cabo esta tarea se debe seguir los pasos descritos a continuación:

1. Se debe asegurar de que el proceso STANDBY será capaz de abrir con la versión más actualizada del archivo de estado del proceso SCD, para esto se procede en el SERVER a configurar la opción **State Information** como sigue:
    a. Se hace clic derecho en el nombre del proceso en el Object Explorer, se elige propiedades y se ve el cuadro de dialogo mostrado en la Figura 4-21.

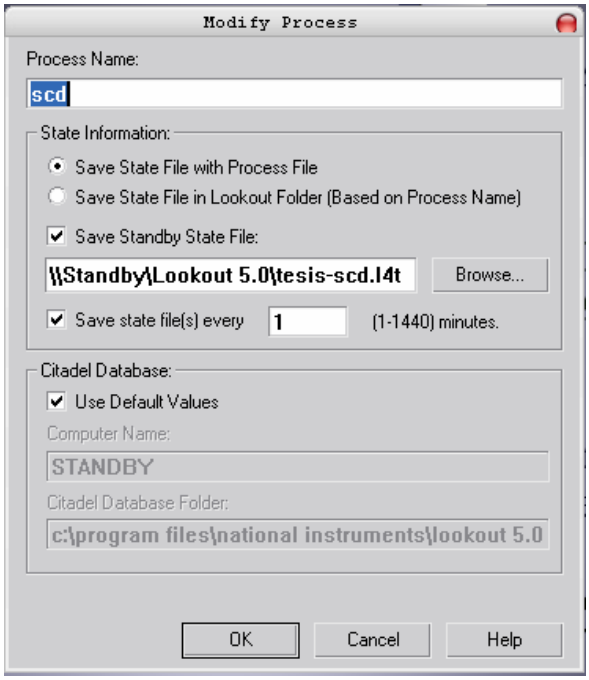

Figura 4-21 Configuración de archivos de estado

b. Se elige **Save State File with Process File** para guardar el archivo de estado con igual nombre al del archivo de proceso, éste se almacenará en la misma máquina SERVER dentro de la capeta LOOKOUT 5.0.
c. Se selecciona **Save Standby State File** para guardar una copia del archivo de estado en la máquina STANDBY. En caso de falla la computadora secundaria abre una copia del proceso principal SCD y utiliza este archivo de estado para inicializar los valores de los objetos utilizados en la aplicación conservando las características que se tenía cuando se provocó la falla en el servidor principal.
d. Configurar cada cuantos minutos se desea guardar el archivo de estado en el campo **Save State File(s) every ….. minutes**. Este tiempo debe ser el mismo en ambos procesos (primario y standby), para este proyecto se guarda cada minuto.
e. Finalmente se debe aceptar la nueva configuración.

2. Se debe asegurar que cuando la computadora primaria se reestablezca en la red, LOOKOUT se reinicie inmediatamente y que ésta cargue el proceso correspondiente. Para que el SERVER cargue Lookout cuando arranca, se debe referir a la documentación del sistema operativo. Y para que Lookout cargue la aplicación correcta se debe configurar el **Startup Process File** en **Options / Startup.**

4.7.3 CONFIGURACIÓN DE SERVIDOR REDUNDANTE

Para la configuración en mención se siguen los siguientes pasos:

1. Asegurarse que la computadora Standby se encuentre conectada perfectamente a la red y al hardware de control y que tenga instalado el software Lookout.
2. Copie todos los archivos de proceso necesarios para la computadora Standby. El directorio de Lookout en la computadora Standby debe incluir el mismo contenido y estructura como el directorio de Lookout en la máquina primaria.
3. Lookout debe correr un proceso separado en la computadora standby para monitorear el proceso que esta corriendo en la maquina primaria. Este proceso carga una copia del proceso primario en la computadora standby cuando los datos de computadora primaria han dejado de estar disponibles, y descarga la copia del proceso que se mencionó cuando la computadora primaria se ha reestablecido en la red. Se crea el proceso standby para monitoreo siguiendo los siguientes pasos:

a. Cree un nuevo proceso en la computadora STANDBY
b. Cree un nuevo objeto **Monitor**. En la Figura 4-22 se muestra el cuadro de dialogo respectivo.

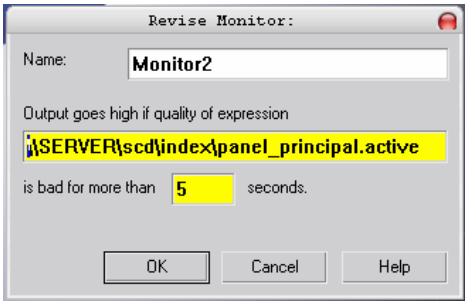

Figura 4-22 Cuadro de dialogo para objeto monitor

Ingrese la **dirección URL** de algún objeto del proceso de la computadora SERVER. Si el objeto monitor no detecta que la presencia de este objeto por un periodo de tiempo que se ingresa en el campo **seconds**, la salida del monitor pasa a verdadero. Luego el objeto monitor señala otro elemento del sistema de redundancia de lookout entrar en acción. Cuando la computadora primaria y el proceso reaparecen en la red, el objeto monitor señala al proceso standby y clientes retornan a su modo de operación anterior.

c. Crear un objeto **Modbus** para el control sobre el autómata TWIDO para el manejo de la conmutación de los puertos seriales.

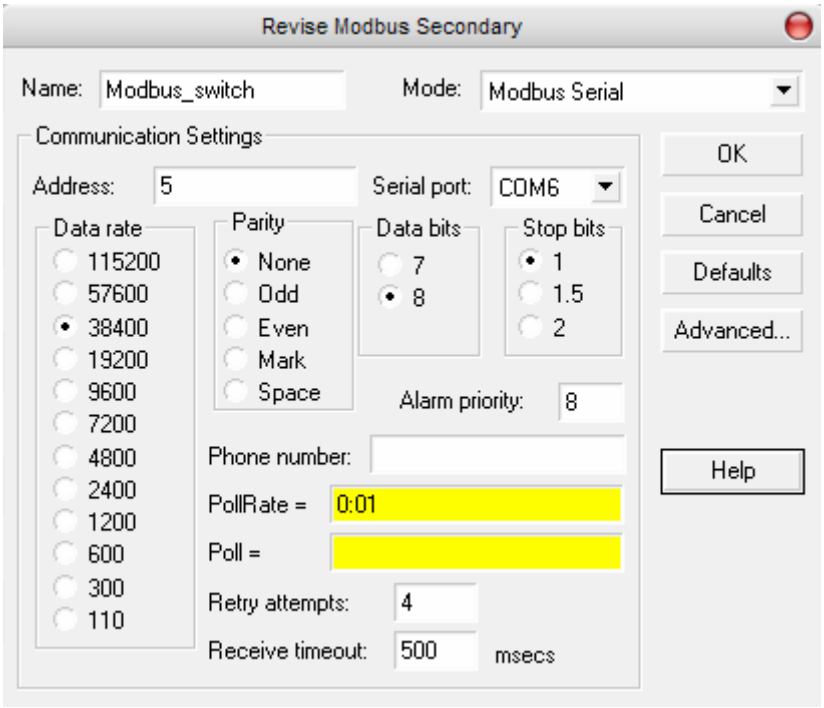

Figura 4-23 Objeto Modbus para autómata TWIDO para conmutación de puertos

d. Conectar una salida del controlador lógico (00001 en Modbus) al estado del **Monitor**, de forma que actúe sobre el relé de conmutación cuando el equipo SERVER sale de operación, de forma que el STANDBY reciba los datos enviados en la red de campo.

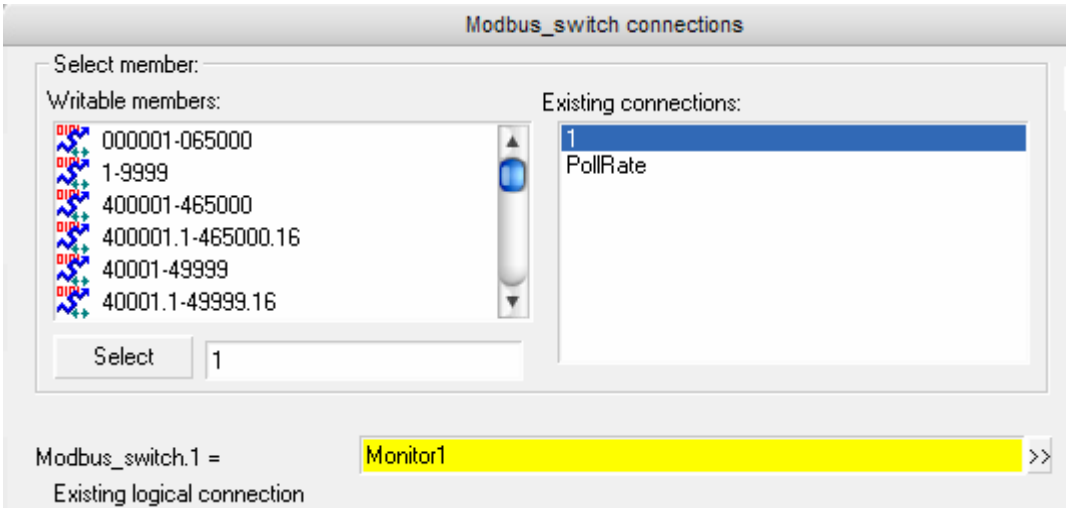

Figura 4-24 Activación de relé de conmutación a través del objeto Monitor

e. Crear un objeto **Loader**, como se muestra en la Figura 4-25.

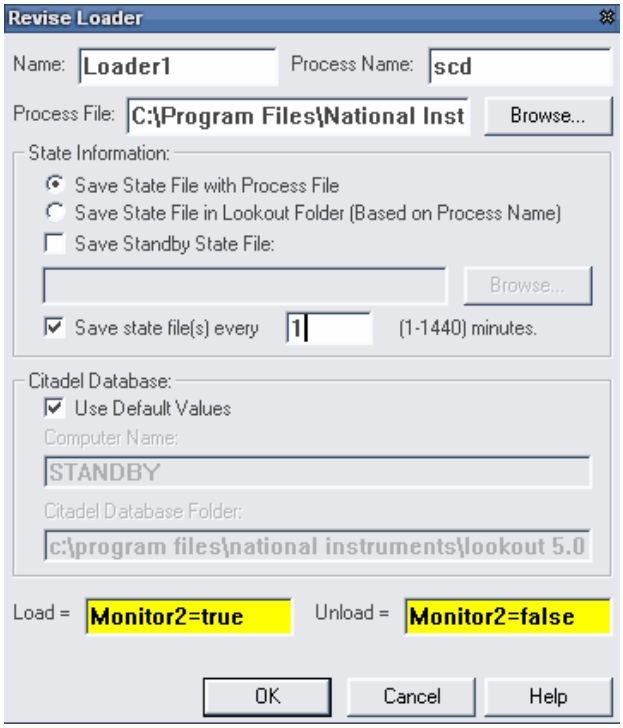

Figura 4-25 Cuadro de dialogo para el objeto loader

Cuando se use el objeto loader para redundancia llenar el **Process name** y el **Process file** de igual manera como se los hayan denominado en el proceso primario. Este objeto carga o descarga el proceso **SCD** según el comando del objeto monitor. Además se debe configurar cuan a menudo se necesita guardar el archivo de estado en el campo **minutes**. Y finalmente se ingresa Monitor2=TRUE en el campo Load y Monitor2=FALSE en el campo Unload, donde Monitor2 es el nombre del objeto monitor creado anteriormente.

Los procesos en los clientes son redirigidos de la interacción con el proceso primario a interactuar con el proceso secundario, cuando el objeto monitor así lo ha señalado. Cuando el objeto monitor indica que el proceso primario se encuentra en línea de regreso todos los clientes cambian de nuevo a interactuar con el proceso primario.

4.7.4 CONFIGURACIÓN DE CLIENTES

En una red de Lookout se pueden tener cualquier número de procesos clientes corriendo en otras computadoras. Estos clientes deben responder a los cambios entre PC primaria y secundaria. Los clientes de Lookout creados para uso con el sistema equipado con redundancia deben usar el objeto **Symbolic Link** para cambiar el acceso de un proceso servidor principal a otro secundario. El Symbolic Link puede cambiar del proceso primario al standby cuando sea necesario. Para configurar a un cliente para que trabaje en caso de fallo del computador primario se procede de la siguiente manera:

1. Cree un objeto **Monitor**, tal como se lo hizo en el proceso de control Standby, use los parámetros utilizados anteriormente.
2. Cree un objeto **Symbolic Link**. En la Figura 4-26 se muestra el cuadro de dialogo respectivo.

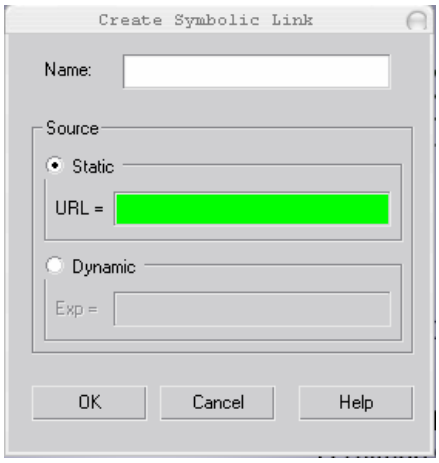

Figura 4-26 Cuadro de dialogo para Symbolic Link

Use el campo Dinamic como fuente, e ingrese una la expresión **if** que señale al computador principal y al computador standby, como se ve a continuación:

IF(!Monitor1,"\\Server\scd","\\StandbyPC\scd")

Esta expresión afirma que si el valor implícito del objeto monitor es falso, el cliente estará conectado al proceso **SCD** corriendo en la máquina **SERVER**. Si el objeto monitor entrega un valor verdadero el proceso cliente conectara los objetos al proceso **SCD** en la computadora **STANDBY**.

Después de haber hecho esta preparación, se desarrolla el proceso cliente como ordinariamente se lo haría, excepto que ahora todas las conexiones de los objetos al proceso servidor se lo hace a través del objeto Symbolic Link en lugar del proceso mismo. Se debe usar el objeto Symbolic Link para insertar expresiones, crear controles de fuente remota y mostrar históricos en los Hypertrends

CAPITULO 5.

PRUEBAS Y RESULTADOS

Una vez que se ha finalizado con la puesta en marcha de todos y cada uno de los módulos de control que constituyen el SCD, se procedió a ejecutar pruebas de funcionamiento de la red de campo, de usuarios y de los sistemas de control de cada variable.

RED DE CAMPO

De acuerdo a los objetivos planteados en este proyecto de titulación se instaló una red de campo con topología tipo bus que rodea al laboratorio de control de procesos con sus respectivos conectores y tomas de red, tres de éstos se encuentran disponibles y pueden ser utilizados en una posible ampliación del sistema así como se ve en la Figura 5-1.

Figura 5-1 Red de campo instalada

En un principio se intentó utilizar una red de campo constituida por un PLC maestro y cuatro autómatas esclavos, aprovechando así todos los beneficios que ofrece el controlador TWIDO como maestro Modbus. Todas las comunicaciones entre el equipo maestro y los esclavos se realizo a través del manejo de tablas, aspecto que exigía al maestro una velocidad de procesador de comunicación mayor a la que posee. Lo que dio como resultado una taza de transferencia de datos muy baja alcanzando hasta 5 segundos para la actualización de datos de los esclavos.

Por esta razón se opto excluir al controlador maestro y en lugar de este se decidió emplear la computadora directamente como maestro para la adquisición de datos de los esclavos presentes en la red, consiguiendo mejorar el tiempo de actualización de los datos en la red en aproximadamente 0.5 segundos. Con este esquema implementado se consigue un sistema confiable y de respuesta rápida.

El tiempo de actualización se refleja en el parámetro polling del objeto Modbus descrito en el capítulo 3, t=0.5 segundos es el que mejor se ajusta para el enlace entre computador y controladores. Si este se aumenta, el tiempo de actualización del estado de las variables será mayor y por lo tanto reduce la capacidad de reacción del sistema a las distintas órdenes ejecutadas por el operador. En cambio si se disminuye el tiempo de polling, el sistema pierde fiabilidad ya que las órdenes del operador no siempre van a ser ejecutadas debido a que puede darse el caso de que el operador ejecute una acción a un módulo y en ese instante el computador esté realizando la petición a otro módulo.

INTERFAZ ENTRE SERVIDOR DE DATOS Y RED DE CAMPO

Para conectar los dos servidores principal y redundante al bus de campo, los puertos seriales de éstos deben enlazarse físicamente de forma que cada máquina tenga acceso directo a la información de la red Modbus. Al realizar esta conexión la comunicación con la red de campo se pierde debido al unir las tierras de ambos puertos se pierde la referencia provocando falla en la transferencia de datos.

Para resolver este conflicto se debe aislar los pórticos seriales mediante un dispositivo inteligente, en este caso se utiliza un relé de conmutación controlado por un autómata que detecta el estado de operación de la máquina principal SERVER (ver la Figura 5-2).

Figura 5-2 Instalación de la Interfaz entre el servidor de datos y red de campo

RED DE USUARIOS

La red local de cuatro computadoras que forman el sistema: SERVER, STANDBY, CLIENTE-01 y CLIENTE-02 se puede ver en la Figura 5-3.

Figura 5-3 Estaciones para red de usuarios.

El switch que permite enlazar las máquinas del sistema se puede ver en la Figura 5-4.

Figura 5-4 Switch Ethernet para la red de usuarios

En la implementación e inicio del funcionamiento de la red de computadoras, se debe tomar en cuenta algunos aspectos importantes que ayudarán a resolver problemas en el futuro respecto a esta red de comunicación.

1. Instalar el software Lookout en cada una de las máquinas que pertenecen a la red.
2. Compartir la carpeta Lookout que se halla en directorio C en la carpeta National Instruments.
3. Asegurarse que la carpeta de gráficos de Lookout debe ser similar a la creada en la aplicación de la máquina principal en todos los computadores pertenecientes a la red.

4. Probar que existe conexión entre las computadoras en la red ejecutando el comando ping en la maquina primaria hacia el resto de computadores en la red, como se muestra en la Figura 5-5.

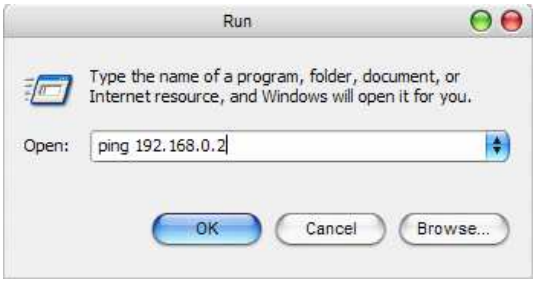

Figura 5-5 Comando ping para máquinas presentes en la red

5. Habilitar la opción Auto detección en cada una de las aplicaciones de Lookout en cada una de las máquinas presentes en la red, así como se describió en el Capitulo 3 en la Configuración de red de usuarios.

6. Las máquinas que se encuentran conectadas a la red y son reconocidas por Lookout pueden ser observadas con la herramienta Object Explorer en el icono Network, así como se ve en la Figura 5-6.

Figura 5-6 Computadoras en red reconocidas por Lookout

7. Un problema que se presentó en la elaboración de este proyecto, fue que aún cuando el sistema operativo Windows XP reconoce todas las máquinas en red una de las computadoras tenia protección Firewalls, la misma que no permitía el intercambio de datos en la red Lookout, razón por la cual se tuvo que optar por la desactivación de este tipo protección en cada una de las máquinas.

INTERFAZ GRÁFICA

Las interfaces permiten la interacción del operador con los cuatros procesos mediante la visualización y manejo de las variables sistema a través de las pantallas de control. Cuando no existe comunicación con algún esclavo se visualizará una “X” a todo elemento que pertenezca al autómata desconectado, así como se ve en la Figura 5-7.

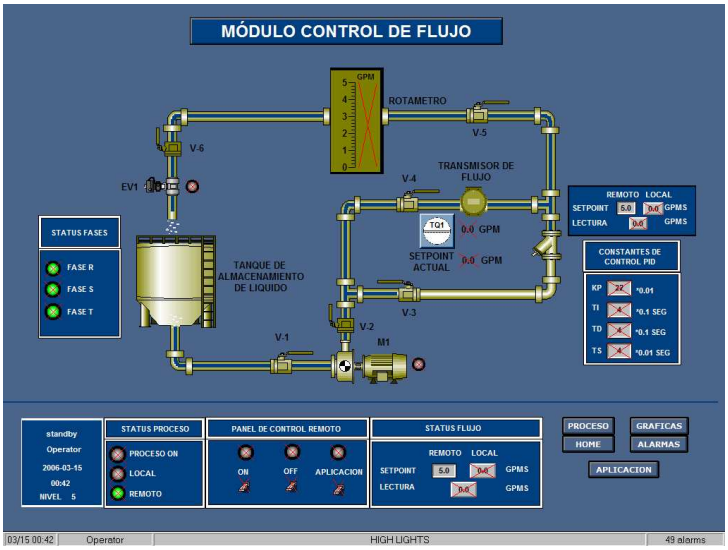

Figura 5-7 Dispositivo Esclavo Desconectado

Con la interfaz gráfica implementada se genera históricos de las variables utilizadas por cada controlador, éstos son almacenados con el objeto SpreadSheet cada segundo en un archivo csv, que puede ser utilizado mediante el programa Excel para manejar estos datos en una hoja de cálculo (ver la Figura 5-8).

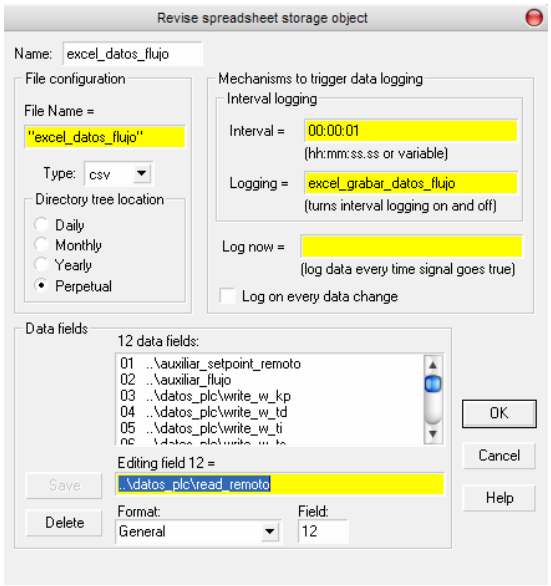

Figura 5-8 Objeto Hoja de cálculo para almacenar datos

SISTEMAS DE CONTROL

Como se planteo al inicio de este proyecto, para realizar el control y monitoreo de los prototipos se instaló un autómata programable para cada uno de éstos para lo que se necesito reacondicionar las señales de control, actuadores y alimentación para cada PLC.

Con respecto a las técnicas de control aplicadas a cada variable, se obtiene los resultados que se detallan a continuación.

El módulo de flujo utiliza un controlador PID, por lo que el sistema responde ante las perturbaciones alcanzando un error de posición cercano a 0, el tiempo de respuesta para una variación de 1 a 5 GPM es de aproximadamente 3 segundos.

En la Figura 5-9 se puede ver el módulo de flujo conectado y listo para su operación.

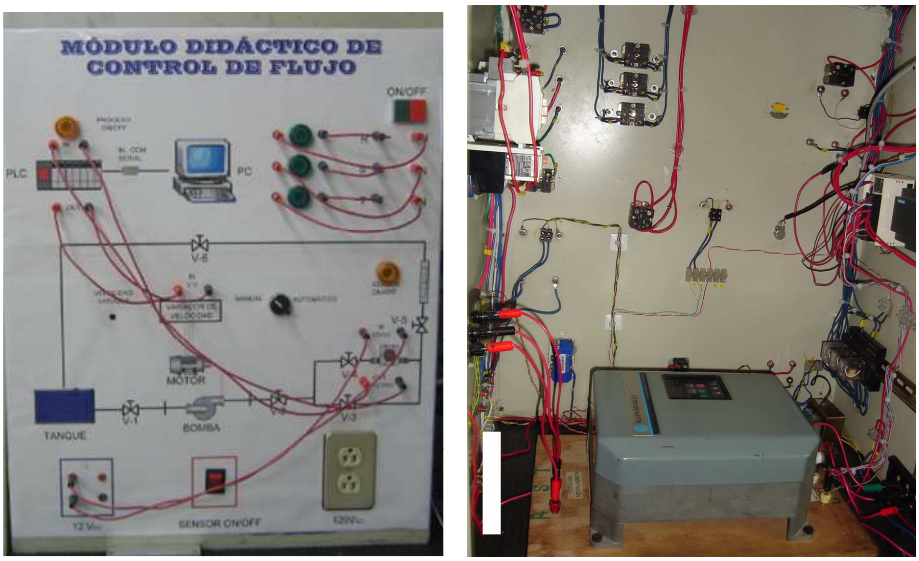

Figura 5-9 Instalación de equipos para el control de flujo

El módulo de presión de igual forma utiliza un controlador PID, por lo que el sistema responde ante las perturbaciones pero el tiempo de respuesta es lento dependiendo del valor de la consigna deseada, esto se debe a que la operación de la servoválvula no es la óptima ya que por sus características mecánicas no lo permiten.

En la Figura 5-10 se puede ver el módulo de presión instalado y preparado listo para su funcionamiento.

Figura 5-10 Instalación de equipos para el control de presión

El módulo de temperatura para horno utiliza un controlador PID, por lo que el sistema responde ante las perturbaciones consiguiendo reducir el error a cero, el tiempo para alcanzar la temperatura de 200 ° C en promedio es de 20 minutos y para el enfriamiento hasta 30 ℃ se demora 60 minutos, por lo que se considera que la pendiente máxima para calentar y enfriar es de 6 ℃ /min y 2 ℃/min, respectivamente.

Además se debe considerar que es necesario mantener constante la presión en la alimentación neumática para que el sistema de enfriamiento tenga una mejor respuesta.

En la Figura 5-11 se puede ver el módulo para control de la temperatura de un horno conectado y listo para su operación.

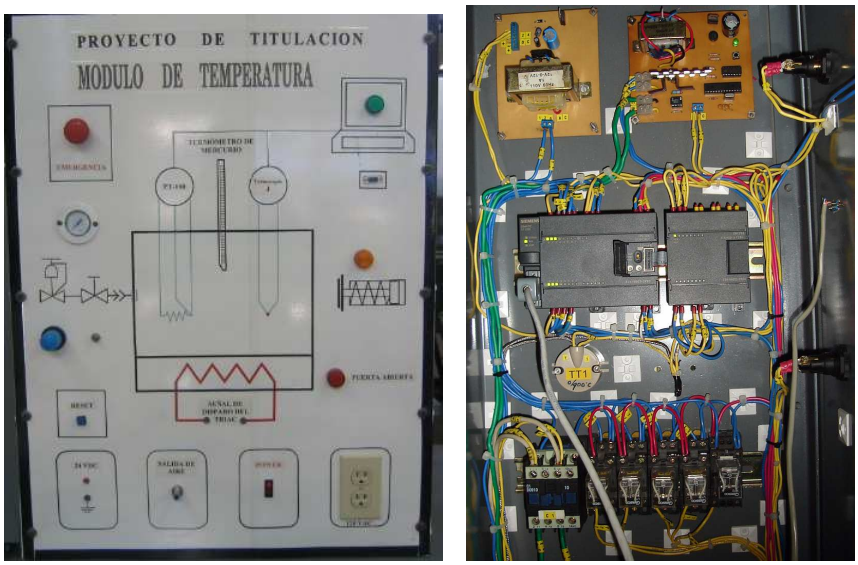

Figura 5-11 Instalación de equipos para el control del temperatura para horno

El módulo de temperatura por transferencia de calor utiliza un control ON-OFF, razón por la cuál existe un error entre ± 1 ℃, el tiempo promedio para alcanzar la temperatura de 70 ℃ es de 20 minutos y para enfri ar hasta 20 ℃ se tarda 40 minutos.

Figura 5-12 Instalación de equipos para el control temperatura por transferencia

CAPITULO 6.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- El control distribuido implementado permite la operación simultánea de los cuatro módulos que forman parte del sistema y que se encuentran distribuidos físicamente en el Laboratorio de Control de Procesos.

- En estos tiempos ya no resulta difícil la tarea de implementar un sistema de control distribuido ya que de por si los sistemas de automatización para sistemas industriales han sido diseñados teniendo en mente un solo objetivo que es la modularidad.

- Para el enlace de los controladores lógicos programables se utiliza el protocolo MODBUS maestro-esclavo, que ha resultado ser robusto en la transferencia de datos, fácil de implementar a un bajo costo y que es empleado por una amplia gama de fabricantes.

- El autómata TWIDO puede trabajar con el protocolo Modbus ya sea como maestro o como esclavo, cuando este trabaja como Modbus master el PLC realiza todas las comunicaciones con los esclavos a través de tablas donde se configuran todos los parámetros. En cambio el controlador siemens solo puede trabajar como Modbus esclavo, solo puede responder a las peticiones hechas por el maestro.

- La red de campo esta formada por un PC que actúa como maestro y cuatro autómatas que representan los esclavos. En donde el maestro es el encargado de coordinar los enlaces de comunicación realizando peticiones a los esclavos cada 0.5 segundos, este tiempo es considerado como óptimo para obtener una respuesta rápida y confiable de cada controlador.

- El bus de campo implementado puede adaptarse a cualquier red de campo que permita la utilización de la topología tipo bus.

- Es importante la ubicación de las resistencias terminales de bus, ya que con éstas se puede eliminar reflejos de onda ocasionando con esto la distorsión de la verdadera información en el bus presente.

- El sistema tarda aproximadamente 0.5 segundos en ejecutar una orden desde el PC en cualquier componente del campo.

- La tasa de transferencia de datos está limitada a 38400 bps exclusivamente por el empleo de los controladores TWIDO, si se desea aumentar esta tasa se debe cambiar por otros equipos alcanzando un máximo de 115200 bps.

- Para la adquisición de datos por parte del sistema servidor de datos, éste necesita utilizar una interfaz que convierta las señales seriales RS/232 a RS/485 para enlazarse al bus de campo y además debe aislar los puertos seriales del servidor principal y redundante.

- Las computadoras de la red de usuarios están conectadas con ETHERNET utilizando un switch de 100 Mbps, que no afectan al rendimiento del sistema de comunicaciones, debido a la baja tasa de transmisión de datos en la red de campo.

- La relación de la tasa de transferencia de datos entre la red local de computadoras y los dispositivos de campo es de aproximadamente 2600 a 1, razón por la cuál si se quiere mejorar la interacción entre las redes de comunicación, se debe aumentar la velocidad de los equipos de campo antes que el enlace Ethernet.

- El entorno gráfico que presenta las HMI desarrolladas en LOOKOUT 5.0 facilita al operador monitorear y controlar todas las variables en cualquier instante.

- La información del estado de los componentes de cada módulo es registrada y almacenada en el disco duro en formato de hoja de cálculo electrónica (Excel). Estos históricos pueden ser manipulados de acuerdo a la necesidad del administrador para un análisis detallado de la planta.

- Con el software lookout se crea el registro de los eventos y alarmas de todo el sistema, en la carpeta Lookout en el disco C en la carpeta National Instruments y pueden ser editados mediante la opción importar datos en una hoja de cálculo electrónica.

- La operación entre un operador y las interfaces gráficas no requieren de conocimientos profundos de computación, ya que solamente se usa el mouse y el teclado para navegar en los diferentes menús del sistema, lo que facilita el trabajo del operador a la hora de la supervisión del sistema.

- Estos sistemas de control distribuido permiten hacer una evaluación cuando varias alarmas se presentan en el proceso ya que el sistema siempre las publica en orden de importancia dada por el nivel de prioridad que éstas posean, facilitando al operador para saber a que alarma atender primero.

- En la actualidad los autómatas poseen como herramienta interna los bloques de PID cosa que simplifica mucho el trabajo a la hora de la implementación de algún tipo de lazo de control para algún determinado proceso.

- Para el manejo del motor de corriente alterna en el modulo de Control de Flujo se hace uso un variador de velocidad el cual responde mejor a la planta con una pendiente lineal y no con una cuadrática.

- En los sistemas donde se hace el control de temperatura por transferencia de calor existe un intercambiador de calor el cual es capaz de extraer el calor de un líquido a través de otro sin mezclarlos entre si.

Recomendaciones

- Para evitar daños permanentes en los autómatas debido a fallos en la manipularon del pórtico de comunicación principal se debe colocar pórticos opcionales de comunicación para tratar todo lo que son datos en la red Modbus.

- El siguiente paso al sistema implementado, es el análisis de la información almacenada de forma que se pueda optimizar cada proceso.

- Se recomienda tener cuidado con las conexiones ya sean eléctricas o neumáticas dependiendo del Módulo que se vaya a operar.

- Antes de maniobrar manualmente el variador de velocidad del Módulo de Control de Flujo se debe permitir la descarga por un minuto después que ha sido cortado la alimentación, esto es para evitar cualquier lesión sobre el personal.

- Para el modulo de control de temperatura para horno, se recomienda tener mucho cuidado con el acceso al horno cuando éste se encuentra en funcionamiento pues esto podría resultar en quemaduras graves.

- Se recomienda una adaptación del tanque perteneciente al módulo de control de Presión introduciendo en su interior un sensor de nivel para control del agua interna y colocando electroválvulas de apertura y cierre en la entrada y salida del tanque

- Para el módulo anterior se debe instalar un servoválvula original de alguna casa comercial debido a que la existente en el módulo no tiene un cierre total y además tiene problemas de atascamiento al final de su recorrido, por la manera a como fue construida, lo que no representa confiabilidad para el sistema.

- Para el módulo de control de temperatura por transferencia de calor es necesario obtener un sensor de nivel comercial de forma que asegure el nivel máximo de líquido en el interior del tanque sin que exista la posibilidad de desbordamiento del agua.

- Se recomienda como necesidad futura la unión de todas las variables en un solo proceso, para lo cual se necesitan relacionar los diferentes módulos de control entre si, de forma que cada variable es dependiente de otra en el sistema asemejándose más a los procesos industriales.

- También se recomienda usar una misma línea de PLC's solo serie S7-200 pues de esta manera se podría instalar un software para administrar toda la red y además permitiría la descarga simultáneamente sin desconectar al autómata de la red.

- No se debe sobrepasar ninguna especificación de trabajo con cualquier de las variables del sistema, esto podría ocasionar daños en los equipos y causar lesiones al personal.

- Aun cuando el manejo de los procesos por computador no es complejo se recomienda un adiestramiento previo al personal que estará a cargo del sistema ya sea en conocimientos técnicos de los procesos como en una conscientización de la responsabilidad que tendrán a cargo cuando tomen el mando del SCD.

- Y finalmente se recomienda un mantenimiento periódico de los módulos de control chequeando lo siguiente: filtros de aire, unidades de mantenimiento tuberías, conexiones eléctricas, conexiones neumáticas, fusibles y limpieza en general.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIBROS

- CREUS SOLÉ Antonio, Control de procesos industriales: criterios de implantación, Editorial Marcombo. Colección Productica, Barcelona-España, 1988.
- COROMINAS VIÑAS Joaquín, Introducción al control de Procesos por Ordenador. Editorial Marcombo. Universidad Politécnica de Barcelona, España, 1976
- CARRACEDO GALLARDO Justo, Redes locales en la industria, Editorial Marcombo. Colección Productica, Barcelona-España, 1988.
- BOLTON W., Mecatrónica: Sistemas de control electrónico en Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Segunda Edición, 2001.
- BOLTON W., Ingeniería de Control, Segunda Edición, 2001.
- PIEDRAFITA MORENO Ramón, Ingeniería de la automatización industrial, 2001

ARTICULOS

- Manual del sistema de automatización S7-200 SIMATIC Edición 06/2004.
- Manual de usuario Visualizador de textos TD 200 SIMATIC.
- Autómatas programables Twido Guía de instalación del software TWD USE 10AS spa Version 2.0
- Controladores programables Twido Guía de referencia de Hardware TWD USE 10AS spa Versión 2.0
- Lookout Developer's Manual, National Instruments, November 2001 Edition
- Catálogo IK-PI. Oct 2000, Comunicación Industrial y Disp. De Campo, SIEMENS.
- Cuaderno Técnico nº 147, Iniciación a las redes de comunicaciones numéricas, Schneider Electric, E. K.ning.
- Twido Training course Schneider Electric, Abril 2002 version

DIRECCIONES ELECTRÓNICAS

- "Control distribuido" Asignatura de Control Electrónico del Departamento de Electrónica de la Universidad de Alcalá. Http://www.depeca.uah.es/wwwnueva/docencia/it-inf/ctr-eco/tema4.pdf

- "Uso de Computadoras Digitales en el Control de Procesos Industriales" Asignatura: Control Distribuido, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) de México Prof. MC. Salvador Saucedo. http://www.prodigyweb.net.mx/saucedo8/controlIX/cap1.pdf

- "Técnicas para el control digital de procesos", Asignatura: Control Distribuido, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) de México Prof. MC. Salvador Saucedo. http://www.prodigyweb.net.mx/saucedo8/controlIX/Cap4.pdf

- "Estrategias para implementar un sistema de control computarizado" Asignatura: Control Distribuido, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) de México Prof. MC. Salvador Saucedo. http://www.prodigyweb.net.mx/saucedo8/controlIX/cap5.pdf

ANEXOS

ANEXO 1. LISTA DE TAREAS DE UN SCD

LISTA DE TAREAS DE UN SCD

En un sistema de control distribuido existe un sinnúmero de variables que requieren ser monitoreadas y controladas. Dichas variables son de muy diversa índole, con diferentes rangos y alarmas asociadas. También hay una gran cantidad de elementos de actuación final para mantener a todas esas variables en su rango permitido. Además, buena parte del personal debe ser informado del estado que guardan las variables del proceso a fin de poder reaccionar a cualquier situación que así lo amerite.

En toda planta industrial se encara el problema de ajustar la producción programada para satisfacer las necesidades de sus clientes, mientras mantiene una productividad óptima y los costos de producción en su nivel más bajo posible. A continuación se listan las tareas generales que se realizan en un sistema de control distribuido jerárquico:

- Programación de la producción
- Imponer el control
- Coordinación del sistema, reportes y administración
- Asegurar la confiabilidad

Para obtener lo expresado anteriormente se necesita que un SCD realice un grupo tareas específicas en cada nivel, las cuáles están detalladas a continuación:

Niveles 1 y 2. Consiste en que el control que reaccione a cualquier perturbación que pueda alterar el punto de operación o incremente el gasto óptimo de energía, en su propia unidad. Dicho punto de operación y gasto nominal de energía le son fijados por el nivel supervisor o de programación. Los elementos indicados en este nivel son los autómatas basados en microprocesadores. Las tareas que se deben seguir en este nivel son:

- Imponer el control
    - Mantener control directo de las unidades a su cargo
    - Detectar y responder a cualquier situación de emergencia que pueda existir en sus unidades
- Coordinación del sistema, reportes y administración
    - Juntar información en la producción y el uso de energía y material y transmitirla a niveles superiores.
    - Atender la interfaz hombre-máquina
- Asegurar la confiabilidad
    - Auto diagnosticarse e Iniciar sistemas de respaldo

Nivel 3. Es un sistema de supervisión y coordinación que calcula y fija los niveles de producción en una subárea de inventario para optimizar su producción. Permite controlar el inventario en trabajo e implementar prácticas de entrega justo a tiempo. Aquí pueden usarse mini computadoras o sistemas con microprocesadores avanzados. Las tareas que se deben seguir en este nivel son:

- Programación de la producción
    - Establecer la programación de la producción inmediata para su propia área incluyendo transporte requerido.
    - Optimizar localmente los costos de su propia área de producción como base para modificar la programación fijada por el nivel 4.
- Imponer el control
    - Responder a cualquier situación de emergencia que pueda existir en la región a su cargo VV.
    - Optimizar localmente la operación de las unidades a su cargo dentro de los límites de la programación de la producción
- Coordinación del sistema, reportes y administración
    - Hacer los reportes de producción del área.
    - Usar y mantener archivos relativos al área.
    - Reunir y mantener colas de datos de producción, materia prima, inventario y uso de energía.
    - Mantener comunicación con niveles alto y bajo de la jerarquía.
    - Hace estadísticas sobre eficiencias (ejemplo: tiempo fuera de servicio) para funciones de ingeniería.
    - Atiende la interfaz hombre-máquina del área.
    - Hace funciones relativas al personal, como:
        - Programar vacaciones
        - Calcular tiempos extras
    - Programa fuerza de trabajo
- Asegurar la confiabilidad
    - Hacer diagnóstico en sí mismo y niveles inferiores
    - Actualizar todos los sistemas de respaldo

Nivel 4. Es un sistema de producción total capaz de llevar a cabo la función de programación de la producción a partir de decisiones del cuerpo directivo o de pedidos del cliente.Todo ello debe lograrse optimizando el uso del tiempo, la energía y la materia prima. Debe tener una gran capacidad dedicada a las comunicaciones y al manejo de la

base de datos del sistema. Con metodologías que asegure confiabilidad y disponibilidad del total del sistema de control, usando detección de fallas, tolerancia a las fallas, redundancia y otras técnicas indicadas al especificar el sistema. Las tareas que se deben seguir en este nivel son:

- Programación de la producción
    - Establecer la programación básica de la producción.
    - Modificar el programa de producción para todas las unidades por restricciones de energía y niveles de demanda de potencia eléctrica.
    - Determinar el inventario óptimo de bienes en proceso en cada punto de almacenamiento, balanceando servicio al cliente (pronta entrega) contra costo de inventario.
    - Modificar programación de la producción cuando haya interrupciones mayores en las unidades posteriores
- Coordinación del sistema, reportes y administración
    - Reunir y mantener datos sobre materia prima e inventarios disponibles para fijar compras de materia prima.
    - Reúne y mantiene datos sobre uso de energía para efecto contable.
    - Reúne y mantiene archivos con inventario en producción y de activo fijo.
    - Reúne y mantiene el archivo de control de la calidad.
    - Se comunica con el nivel gerencial y con nivel de área
    - Mantener interfaz con:
        - Gerentes de la planta y de la Compañía
        - Personal de ventas
        - Departamentos de compras y de Contabilidad
        - Con el nivel Programador de la Producción.
    - Dar información sobre producción y estatus a:
        - Gerentes de la Planta y de la Compañía
        - Departamentos de Compras y de Contabilidad
        - Personal de ventas
        - Esta información puede ser:
            - Producción regular y estatus , Petición en línea
            - Dar información sobre órdenes de compra a personal de ventas
- Asegurar la confiabilidad
    - Hace auto prueba y diagnostica rutinas en sí misma y en máquinas de bajo nivel

ANEXO 2. DESCRIPCIÓN DE OBJETOS UTILIZADOS EN LOOKOUT

DESCRIPCIÓN DE OBJETOS UTILIZADOS EN LOOKOUT

En esta parte se describe los objetos más usados que posee el software SCADA para el desarrollo de la aplicación la cual se encarga del control y supervisión del proceso. Se asume que los siguientes objetos son los mas principales para la realización del proyecto.

- Panel de control
- Switch
- Pot
- Hypertrend
- XY chart
- Spread sheet
- Expression

Todo los anteriores son objetos de Lookout por lo que para obtenerlos se hace clic derecho en el nombre del proceso en el cuadro de dialogo object explorer, así se muestra en la Figura 1.

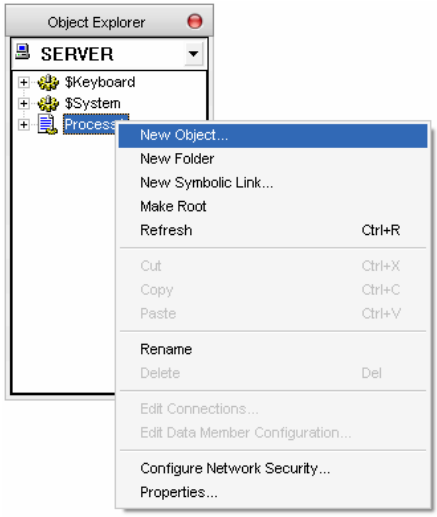

Figura 1 Explorador de objetos

Después se elige new object y se obtiene el cuadro de dialogo que se muestra en la Figura 2. En este recuadro Lookout muestra todos los objetos que posee y se puede acceder a ellos simplemente seleccionándolos y luego presionando OK. Ahora el objeto elegido se encuentra en el object explorer de donde por lo general solo se lo arrastra al área de trabajo de Lookout para que este presente un cuadro de dialogo para configurar las características ya sean de trabajo, dirección o de visualización del mismo.

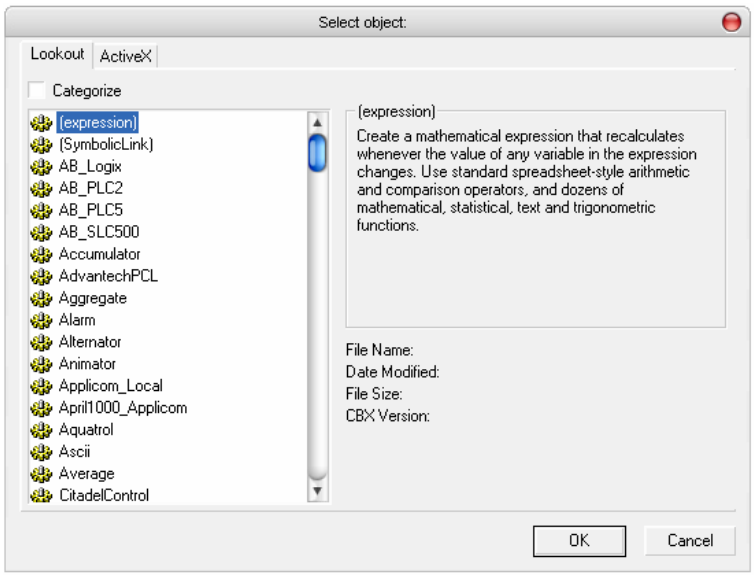

Figura 2 Objetos Propios del software Lookout

Panel de control

Son objetos encargados de proveer un área para mostrar displays digitales, switchs, perillas, barras gráficas y otros componentes que deseen monitorear o controlar una operación. Existen tres tipos de paneles de control:

Normal.- pueden ser maximizados, minimizados o tener un tamaño normal dentro del área de trabajo de Lookout.

Pop-up y Pop- up with no icon.- son paneles de control que se presentan encima del panel normal y que se mantienen ahí hasta que sean minimizados.

En la Figura 3 se observa el cuadro de dialogo para configuración de un panel de control.

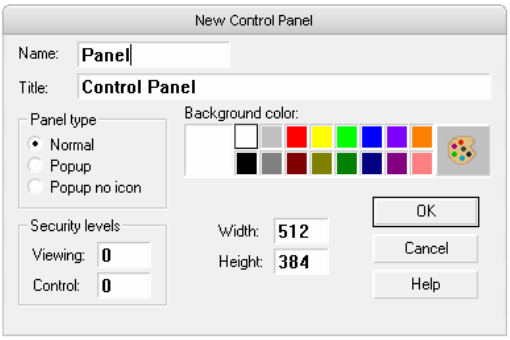

Figura 3 Nuevo panel de control

En la Tabla 1 se muestra la descripción de todos y cada uno de los parámetros para el panel de control.

CAMPO	DESCRIPCIÓN
Title	Título de la ventana del panel
Tipo de panel	Normal, Popup, Popup no icon
width	Ancho del panel en pixels
height	Altura del panel en pixels
Viewing (security Levels)	Nivel requerido para ver un panel, número entre 0 y 10
Control (security level)	Nivel requerido para operar controles en un panel, entre 0 y 10

Tabla 1 Configuración para panel de control

Switch

Este es un objeto que genera una señal lógica y el cuadro de dialogo para su configuración se muestra en la Figura 4 y en la Tabla 2 se describen sus parámetros.

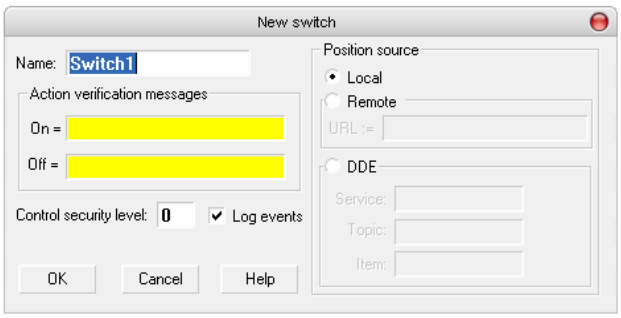

Figura 4 Creación del objeto switch

CAMPO	DESCRIPCIÓN
Name	Nombre para el switch
Action verification messages On	Mensaje que se presenta cuando el switch esta encendido
Action verification messages Off	Mensaje que se presenta cuando el switch esta apagado
Position source Local	Cuando el control se lo realiza con el mouse directamente en el panel que lo contiene
Position source Remote	Cuando el control se lo realiza desde otro lugar; para esto se debe dar una direccion desde la cual se accionara el switch.
DDE	Comunicación con algun otro tipo de aplicación que soporte el protocolo DDE

Tabla 2 Configuración de parámetros para el objeto switch

POT

Este objeto es un potenciómetro que se usa para cambiar o visualizar valores numéricos de setpoint, este elemento puede ser visualizado en los paneles de control como una perilla, un deslizador vertical, un deslizador horizontal, un botón de incremento/decremento o una entrada digital.

En la Figura 5 se observa el cuadro de dialogo para configuración de parámetros de este objeto. Y en la Tabla 3 se describe cada parámetro

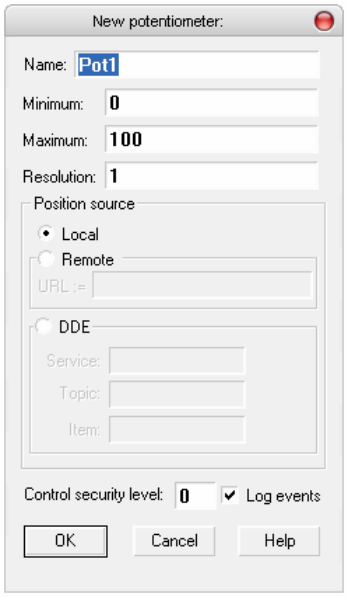

Figura 5 Creación del objeto Pot

CAMPO	DESCRIPCIÓN
Name	Nombre para el potenciometro
Minimum	Valor mínimo del potenciometro
Maximum	Valor máximo del potenciometro
Resolution	Indica en pasos de cuantas unidades se incrementara o decrementara el potenciomettro
log events	Registra cualquier ajuste del potenciomtro
Security level	Nivel de acceso requerido para su ajuste
Position source local	Cuando el ajuste se lo realiza conel mouse directamente en el panel que lo contiene
Position source remote	Cuando el ajuste se lo realiza desde otro lugar; para esto se debe dar una direccion desde la cual se accionara el switch.
DDE	Comunicación con algun otro tipo de aplicación que soporte el protocolo DDE

Tabla 3 Configuración de parámetros para el objeto POT

HYPERTREND

Este objeto presenta un graficador de curvas en cualquier panel para trazar cualquier numero de variables ya sean estas lógicas o numéricas. El objeto hypertrend provee acceso instantáneo a los datos en tiempo real y a los almacenados en el disco duro. Para cada línea de trazo este elemento combina datos de tiempo real e histórico sin recortes y en forma continua. Los históricos almacenados por este objeto están en la base de datos de Citadel data base. Si se desea solo visualizar una curva y no crear una base de datos

se recomienda usar Trend object. En la Figura 6 se muestra el cuadro de dialogo para añadir n señales para ser graficadas en el Hypertrend.

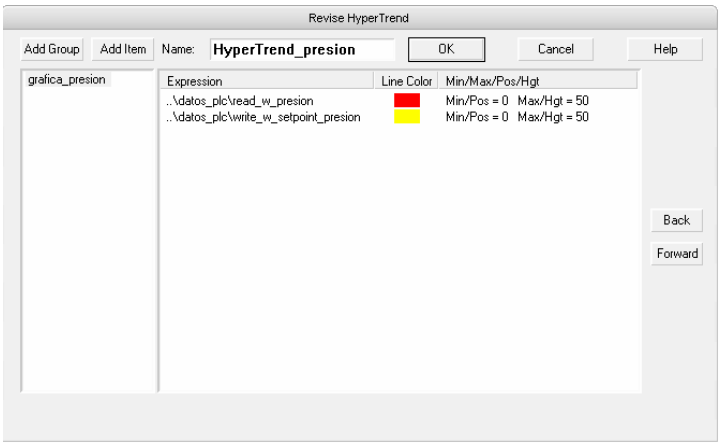

Figura 6 Registro de variables para graficarse en el objeto Hypertrend

Para añadir una señal en el objeto Hypertrend haga clic en Add item y se observa en la Figura 7.

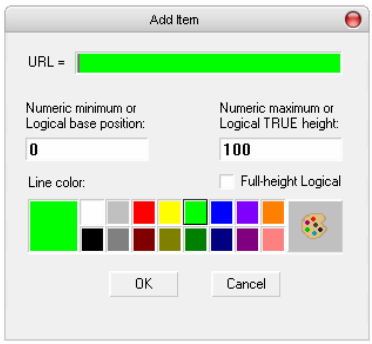

Figura 7 Cuadro para añadir nuevas variables

En el campo URL se escribe la dirección de donde se toma la señal a ser graficada, este recuadro ofrece también la posibilidad de elegir colores y el valor máximo y mínimo de la señal. Es necesario aclarar que cualquier señal a ser graficada en este objeto debe tener la opción Log habilitada el cuadro de dialogo Edit data member configuration. En la Figura 8 se observa el Hypertrend sobre un panel de control.

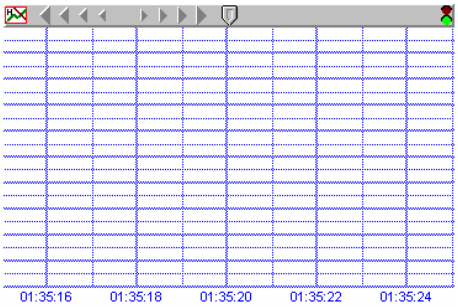

Figura 8 Graficador Hypertrend

Xy Chart

Este objeto dibuja puntos en referencia a los valores presentes para x e y en un recuadro en respuesta a una señal de disparo. Se puede dibujar xy chart en distintos colores y estilos con mallas espaciadas vertical u horizontalmente.

En la Figura 9 se muestra el cuadro de dialogo para configuración de parámetros de este objeto. En la Tabla 4 se muestra la descripción de todos y cada uno de los parámetros para configuración del objeto.

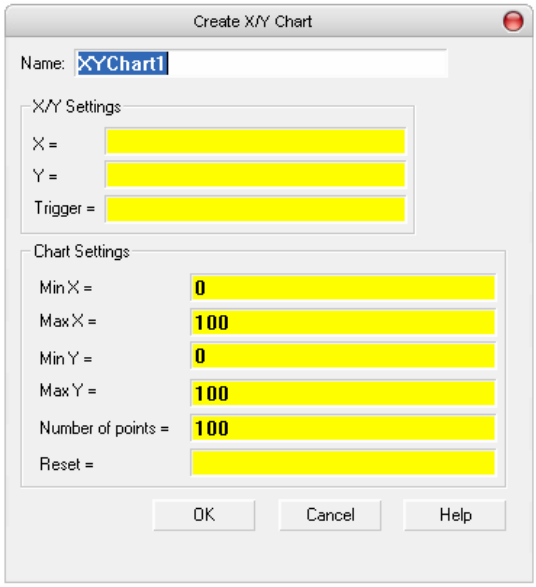

Figura 9 Dialogo para configuración del objeto xy chart

CAMPO	DESCRIPCIÓN
X	Señal de x
Y	Señal de y
Trigger	Entrada de la muestra de un disparo; el objeto lee los valores de x e y cuando la transición del disparo de va de OFF a ON el elemento dibuja el punto correspondiente en el cuadro.
Min x	Valor mínimo de x
Max x	Valor máximo de x
Min y	Valor mínimo de y
Max y	Valor máximo de y
Number of points to display	Número de puntos para mostrar entre 2 y 4000, cuando el objeto termina de dibujar dicho numero de puntos el punto mas viejo es removido antes de dibujar uno nuevo
Reset	Borra todos los valores recolectados para graficar

Tabla 4 Parámetros del objeto xy chart

En la Figura 10 se muestra el graficador XY chart sobre un panel de control.

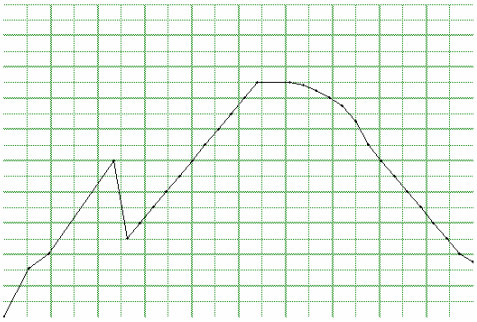

Figura 10 Graficador xy chart

EXPRESSION

Este objeto trabaja como una flexible y poderosa calculadora en tiempo real, se recomienda crear este objeto en el Object explorer y no con el clic derecho en un panel de control, porque si se lo hace así el resultado de la expresión no puede ser usada en cualquier parte del entorno de Lookout.

En la Figura 11 se muestra el objeto expresión. Para saber mas acerca de los comandos que acepta este objeto en sus formulas referirse al manual de usuario (expression).

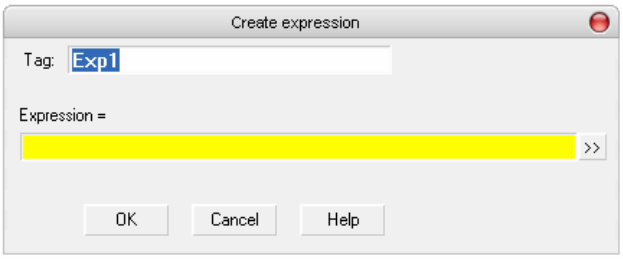

Figura 11 Cuadro de dialogo para insertar expresiones

ANEXO 3. TOLERANCIA A LAS FALLAS. REDUNDANCIAS DIVERSAS

TOLERANCIA A LAS FALLAS. REDUNDANCIAS DIVERSAS

El factor más importante para que se acepte un SCD es el de la disponibilidad, ya sea por razones operativas, o por razones puramente tecnológicas. La disponibilidad exigida es que el sistema funciones por largos períodos de tiempo sin que se perciban fallas externamente. Mientras tanto, cualquier falla interna debe ser rápidamente diagnosticada y corregida.

Un término equivalente a disponibilidad es el de confiabilidad, la cual puede definirse como la probabilidad de que el sistema funcione bien hasta un tiempo t=T, dado que estaba operando correctamente en t=0. En la práctica el concepto de "funcionar bien", tiene muchos significados, sin embargo. Una actitud muy común es que se pueden permitir fallas simples o múltiples, siempre que el sistema no se detenga o que la operación no se interrumpa o perturbe. Por lo tanto, la confiabilidad es una meta fijada por el usuario de lo que él espera del sistema.

En las primeras épocas del control por computadora se empezaron a hacer esfuerzos por lograr confiabilidad del total del sistema de control, usando principalmente sistemas analógicos de respaldo. Más tarde, se usaron computadoras redundantes para el mismo fin.

Un concepto relativamente nuevo es el de **tolerancia a las fallas** en los sistemas de cómputo, propugnado por agencias militares y aeroespaciales; En EUA se han desarrollado varios congresos sobre arquitectura de computadoras tolerantes a las fallas, en los que ha tratado de perfeccionar las técnicas que produzcan "la habilidad de ejecutar un algoritmo especificado, correctamente, a pesar de errores de hardware o errores de programa". Para entender el concepto de tolerancia a las fallas, conviene definir primero lo que es una falla: **una falla** puede definirse como la desviación de una variable lógica (booleana) de su valor especificado por diseño. Por ejemplo, una compuerta lógica que se "pega" en "0" o que se "pega" en "1", es una falla. La falla produce **un error** si ella a su vez produce una operación incorrecta en un elemento que antes funcionaba correctamente.

Las fallas pueden ser **permanentes** (definitivas) o **transitorias** (intermitentes). Las fallas permanentes son causadas por componentes cuya funcionalidad desaparece completamente y son las más fáciles de diagnosticar y, por lo tanto, de corregir; mientras

que las fallas transitorias son de naturaleza aleatoria y originan que una unidad opere incorrectamente sólo durante breves espacios de tiempo. Las fallas transitorias originan entre el 80 y el 90% de las fallas. A la larga una falla transitoria se convierte en permanente, y entonces deben aplicarse las técnicas de tolerancia a las fallas del tipo permanente.

Las tres redundancias principales son:

1. De hardware
2. De software
3. De tiempo

La meta de la confiabilidad o de la tolerancia a las fallas en un sistema de cómputo es, entonces, ya sea prevenir la ocurrencia de las fallas, o recuperarse de las mismas. Para lograrlo, se emplea redundancia de protección.

Redundancia de hardware

La redundancia de hardware es el conjunto de todos aquellos componentes que necesitan agregarse al sistema para obtener tolerancia a las fallas en relación a fallas operacionales. Se caracterizan por ser superfluos mientras todo funciona correctamente y de poder ser removidos, sin causar errores, cuando no hay fallas.

Lo más importante para aumentar la confiabilidad de un equipo es aumentar la confiabilidad de sus componentes.

Las técnicas para lograr redundancia son:
1. Estáticas
2. Dinámicas

Las técnicas estáticas son efectivas tanto en fallas permanentes como en fallas transitorias, por lo que son técnicas transparentes al usuario. La corrección es automática e instantánea, esta técnica estática más común es la replicación de componentes.

En sistemas más complejos se pueden replicar módulos o computadoras, y usar votación para decidir cual está en falla, como en la redundancia triple.

Además de la replicación de componentes y módulos, se puede usar codificación para corregir fallas o al menos detectarlas. Con hardware redundante se puede corregir inmediatamente un byte recibido con error.
La corrección de los bits erróneos de un byte recibido es mejor hacerla con técnicas dinámicas, la cual se combina con software para producir tolerancia a las fallas mediante la combinación de dos acciones, la detección de la falla y la subsiguiente recuperación.

Las técnicas dinámicas de redundancia se aplican en los protocolos para interfazar computadoras mediante comunicaciones seriales; calculando CRCs, reteniendo mensajes, salvándolos, retransmitiéndolos, detectando caída de la línea, etc.

Redundancia de software

La redundancia de software se refiere a todo el software que sería innecesario en una computadora sin fallas. Juega un papel muy importante en la mayoría de las computadoras con tolerancia a las fallas. Incluso las máquinas que emplean recuperación de fallas por medio de hardware usan software para controlar su recuperación.
Normalmente, en una computadora industrial los programas han sido depurados previamente, así que las fallas esperadas son disfunciones del hardware, y se pretende una rápida recuperación. Siendo así, las redundancias de software se clasifican en tres grandes formas:

1. Medidas preventivas de software
2. Diagnósticos de software
3. Recuperación de software

En la primera forma se refiere básicamente al almacenamiento redundante de información (salvar los archivos en dos discos).

El diagnóstico de software se refiere a la detección de errores causados por fallas transitorias del hardware, corriendo rutinas de prueba para saber qué unidad de hardware está fallando. Entre los errores más comunes están los errores por falla de memoria, o la baja del nivel de la fuente de poder o las fallas en los dispositivos de almacenamiento, de la CPU, etc.

En un sistema funcional, es decir uno sin fallas en el diseño del hardware, los errores se clasifican en dos variedades:

1. Errores en el diseño de software
2. Disfunciones del hardware.

Entre los primeros tipos de error se pueden mencionar el uso de instrucciones inexistentes, el uso de instrucciones privilegiadas cuando no se está autorizado para ello, y violación de dirección. Esto último se refiere a leer o escribir en localidades que están más allá de su espacio de memoria asignado.

Las computadoras capaces de detectar dichos errores permiten al programador el manejo de los mismos mediante la generación de interrupciones. La interrupción origina que el programa salte a cierta localidad, por lo que el programador debe colocar ahí la rutina que maneje la interrupción.

Redundancia en tiempo

Es en esencia una forma de redundancia de software. La idea es hacer repetidas veces una misma rutina de prueba para probar consecutivamente el mismo elemento de hardware. Para saber que no existe falla el resultado de la rutina debe ser siempre el mismo.

Este método implementa la recuperación de fallas mediante la técnica del reintento, es decir, una vez detectada la parte que causó el problema, se le vuelve a ejecutar hasta que funcione bien.

ANEXO 4. CONEXIONES EXTERNAS DEL MÓDULO DE FLUJO

ANEXO 5. CONEXIONES ELÉCTRICAS DEL VARIADOR DE VELOCIDAD

ANEXO 6. CONEXIONES EXTERNAS DEL MÓDULO DE PRESIÓN

ANEXO 7. CONEXIONES NEUMÁTICAS DEL MÓDULO DE TEMPERATURA DEL HORNO.

ANEXO 8. PLANO DEL LABORATORIO DE CONTROL DE PROCESOS

ANEXO 9. CONEXIONES DE LA RED DE CAMPO MODBUS

ANEXO 10. DIAGRAMAS ELÉCTRICOS DEL MÓDULO DE FLUJO

ANEXO 11. DIAGRAMA LADDER DE PROGRAMACIÓN DE PLC PARA M. DE FLUJO

ANEXO 12. DIAGRAMAS ELÉCTRICOS DEL MÓDULO DE PRESIÓN

ANEXO 13. DIAGRAMA LADDER DE PROGRAMACIÓN DE PLC PARA M. DE PRESIÓN

ANEXO 14. DIAGRAMAS ELÉCTRICOS DEL MÓDULO DE TEMPERATURA DE HORNO

ANEXO 15. DIAGRAMA LADDER DE PROGRAMACIÓN DE PLC PARA M. DE TEMPERATURA DE HORNO

ANEXO 16. DIAGRAMAS ELÉCTRICOS DEL MÓDULO DE TEMPERATURA POR TRANSFERENCIA DE CALOR

ANEXO 17. DIAGRAMA LADDER DE PROGRAMACIÓN DE PLC PARA M. DE TEMPERATURA POR TRANSFERENCIA DE CALOR