

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

TEMA: INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL AUTOMÁTICO DE LOS PROCESOS DE GENERACIÓN, PARA LA PASTEURIZADORA “EL RANCHITO” CIA. LTDA.

AUTORES:

ALEX DANIEL CORREA MOLLOCANA
DAVID ALEJANDRO ESPINOSA GUAITA

SANGOLQUÍ – ECUADOR

2013

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE**INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL****CERTIFICADO**

Ing. Diego Morillo

Ing. Xavier Segovia

CERTIFICAN

Que el trabajo “Ingeniería básica y de detalle de un sistema de monitoreo y control automático de los procesos de generación, para la Pasteurizadora El Ranchito Cia. Ltda.”, realizado por los Sres. Alex Daniel Correa Mollocana y David Alejandro Espinosa Guaita, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

Debido a que se trata de un trabajo de investigación recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a los Sres. Alex Daniel Correa Mollocana y David Alejandro Espinosa Guaita, que lo entreguen al Ingeniero Luis Orozco Brito, MsC., en su calidad de Coordinador de la Carrera.

Ing. Diego Morillo

DIRECTOR

Ing. Xavier Segovia

CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE**INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL****DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, Correa Mollocana Alex Daniel y Espinosa Guaita David Alejandro

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado **“INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL AUTOMÁTICO DE LOS PROCESOS DE GENERACIÓN, PARA LA PASTEURIZADORA ‘EL RANCHITO’ CIA. LTDA.”** ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Correa Mollocana Alex Daniel

Espinosa Guaita David Alejandro

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Correa Mollocana Alex Daniel y Espinosa Guaita David Alejandro

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE la publicación, en la Biblioteca Virtual de la Institución del trabajo **“INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL AUTOMÁTICO DE LOS PROCESOS DE GENERACIÓN, PARA LA PASTEURIZADORA ‘EL RANCHITO’ CIA. LTDA.”**, cuyo contenido, idea y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 03 de septiembre de 2013.

Correa Mollocana Alex Daniel

Espinosa Guaita David Alejandro

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a Dios y todos mis seres queridos porque han estado conmigo en este largo camino, en las buenas y en las malas siempre me han dado la mano; con su apoyo incondicional hoy consigo una nueva meta que me permitirá luchar de mejor manera en la vida.

“De manera especial me siento orgulloso de mi mismo porque jamás he permitido que nada me atemorice, ni me haga bajar los brazos a pesar de cualquier circunstancia”.

No quiero ser específico porque no terminaría de nombrar a todas las personas que debo dedicar este triunfo, simplemente sé que cada una de esas personas se sienten identificadas con mis logros y saben que estuvieron en alguno o todos los momentos difíciles diciéndome que al final del camino está la recompensa y además conocen el esfuerzo realizado y en muchas ocasiones formaron parte de ese esfuerzo.

Por eso digo que este nuevo logro en mi vida es para ustedes mi familia, amigos y todos los seres queridos que me ayudaron a alcanzarlo, es así como puedo demostrar todo el aprecio que les guardo y ese agradecimiento infinito porque sé que seguirán junto a mí mientras Dios nos lo permita.

Alex D. Correa M.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a las personas que más amo en el mundo, a todas aquellas que intervinieron en la forja de mi carácter como hombre de bien, y espero que estas breves palabras sean un justo homenaje a todos y todas ustedes.

Dedico este trabajo a mi familia; en primer lugar, de forma muy especial agradezco a mi madre, Ana María, que a lo largo de todo este tiempo me ha tenido una paciencia admirable, y un don para aconsejar que solo una madre amorosa puede poseer. Y si bien a veces no he comprendido tus medios, ahora ya con claridad, comprendo tu fin.

Dedico este trabajo a mis hermanos, Ana María y Lenin, compañeros de innumerables batallas, quienes despiertan en mí con gran esplendor mi faceta creativa e ingeniosa. Son los mejores.

Una dedicatoria especial a Diana Carolina, es justo un pequeño homenaje a una amiga especial e inesperada, que desvanecía el cansancio de semanas completas en un par de segundos, haciendo gala de un ingenio, gracia e imaginación inconmensurables. Eres la mejor.

Y finalmente dedico este trabajo a todas las personas que incidentalmente influyeron en mí, amigos y conocidos, que de una u otra forma se convirtieron en un ejemplo a seguir.

El viaje acaba de comenzar.

David A. Espinosa G.

AGRADECIMIENTO

Primero a Dios por la salud, esta hermosa vida que me ha permitido llevar y las ganas de salir adelante, además, de todas las cualidades que me ha concedido haciendo de mí una persona que siempre logra sus objetivos y sale adelante a pesar de cualquier adversidad.

A mis Padres por ese apoyo incondicional, el empuje y los mejores consejos para seguir adelante a pesar de las caídas, porque con ellos aprendí a levantarme y no rendirme jamás.

A Pasteurizadora “El Ranchito” por permitirnos realizar el estudio en sus instalaciones y facilitar sin ningún inconveniente el acceso a las mismas, de tal forma que se pudo lograr de la mejor manera y con prontitud el desarrollo del proyecto.

A todos mis seres queridos porque no se puede ser específico cuando hay tanta gente que te aprecia, ustedes de una u otra forma siempre estuvieron ahí dándome aliento y prestos para no dejarme caer ante ninguna circunstancia. “Siempre tuve un ángel pendiente de mí”.

Alex D. Correa M.

AGRADECIMIENTO

A la misteriosa fuerza que me ha acompañado desde el principio de mis días, la buena estrella que guía mi camino, y que me ha permitido alcanzar este nuevo logro en el emocionante y perenne camino del aprendizaje.

Agradezco de todo corazón a mis padres y hermanos, que apoyaron mis decisiones, encausando con sus consejos cualquier opción errada y extendiéndome una mano amiga cuando un trastabillar inesperado acontecía.

A todos los profesores y compañeros, que a lo largo de los años de universidad, me acompañaron con humor y conocimiento, logrando convertir a mi Alma Mater en un ambiente familiar cuyos recuerdos perdurarán por siempre en mi mente y corazón.

Al final, pero no por ello menos importante, a Pasteurizadora “El Ranchito”, por otorgarme esta oportunidad de llevar a cabo mi “Bautizo de Fuego” como futuro Ingeniero Electrónico, y por el apoyo de todos los compañeros de trabajo que allí conocí y que con varios consejos resultantes de su experiencia facilitaron la realización de este proyecto.

Mi más profunda gratitud para con todos ustedes, amigos.

David A. Espinosa G.

RESUMEN

Este proyecto, solicitado por Pasteurizadora “El Ranchito” Cia. Ltda., comprende el diseño de un sistema de monitoreo de varios procesos que se llevan a cabo en sus instalaciones, entre los que se cuentan: temperaturas de bancos de hielo, presión de calderos y nivel de tanques de diésel. También se diseña la automatización de la purga de la torre de enfriamiento. El mencionado diseño se lleva a cabo en dos etapas. La primera se trata de la ingeniería básica, en la que se recopila el estado actual de los equipos, las necesidades mínimas de los nuevos equipos, y una estructura básica del nuevo sistema. La segunda etapa se trata de la ingeniería de detalle, que partiendo de los resultados de la etapa anterior, selecciona y dimensiona los equipos, establece los planos que se deben ejecutar de forma física, lista todos los componentes requeridos, y analiza el beneficio económico que se genera en la empresa. Como un requerimiento adicional solicitado por la empresa, se establece el diseño del software que implican tanto el programa del elemento controlador del sistema, como las ventanas del sistema de monitoreo.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1.....	1
1.1. DESCRIPCIÓN	1
1.2. LA EMPRESA	3
1.2.1. <i>Antecedentes de la Empresa</i>	3
1.2.2. <i>Infraestructura</i>	4
1.2.3. <i>Línea de producción</i>	7
1.3. GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	8
1.3.1. <i>Sistema de Monitorización</i>	8
1.3.2. <i>Control de válvula de purga de torre de enfriamiento, a distancia.</i>	9
1.3.3. <i>Objetivos</i>	9
CAPÍTULO 2.....	11
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	11
2.1. ENFRIAMIENTO INDUSTRIAL DE AGUA.....	12
2.1.1. <i>Bancos de hielo</i>	13
2.1.2. <i>Equipos de enfriamiento abierto de película descendente</i>	14
2.1.3. <i>Torres de enfriamiento.</i>	15
2.2. GENERACIÓN INDUSTRIAL DE VAPOR DE AGUA	16
2.2.1. <i>Calderas pirotubulares o tubos de humo</i>	17
2.2.2. <i>Calderos acuotubulares o tubos de agua</i>	19
2.3. CONTROL EN LAZO ABIERTO.....	20
2.4. AUTÓMATA PROGRAMABLE.....	21

2.5.	SENSORES.....	23
2.5.1.	<i>Medición de temperatura por medios eléctricos.....</i>	24
2.5.2.	<i>Medición de presión por medios eléctricos.....</i>	26
2.5.3.	<i>Medición de nivel por medios eléctricos.....</i>	29
2.6.	TRANSMISORES ELECTRÓNICOS INDUSTRIALES	31
CAPÍTULO 3.....		35
INGENIERÍA BÁSICA.....		35
3.1.	ESTADO ACTUAL DE LOS EQUIPOS	35
3.1.1.	<i>Sistema de enfriamiento de agua: Bancos de hielo.....</i>	35
3.1.2.	<i>Sistema de generación de vapor de agua: Calderos pirotubulares</i>	39
3.1.3.	<i>Instrumentación.....</i>	43
3.1.4.	<i>Accionamiento (Válvula de Torre de Enfriamiento).....</i>	46
3.2.	COMPONENTES REQUERIDOS	47
3.2.1.	<i>Elemento de control.....</i>	47
3.2.2.	<i>Elemento de monitorización.....</i>	48
3.2.3.	<i>Sensado y transmisión de señales desde los procesos.....</i>	49
3.2.4.	<i>Purga de Torre de enfriamiento.....</i>	51
3.2.5.	<i>Otros componentes.....</i>	51
3.3.	DIAGRAMA DE BLOQUES DEL HARDWARE DEL SISTEMA	52
3.4.	DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PLC	53
3.5.	DIAGRAMA DE COMUNICACIÓN	55
3.5.1.	<i>Comunicación Industrial Ethernet.....</i>	55
3.5.2.	<i>Estructura propuesta.....</i>	56
3.5.3.	<i>Medio físico.....</i>	57

CAPÍTULO 4.....	58
INGENIERÍA DE DETALLE	58
4.1. ESTRUCTURACIÓN DEL PROYECTO	58
4.2. COTIZACIÓN DE COMPONENTES.....	60
4.2.1. Cotización del PLC.....	61
4.2.2. Cotización de los transmisores.....	64
4.3. SELECCIÓN DE EQUIPOS COTIZADOS	66
4.4. DIMENSIONAMIENTO DE COMPONENTES.....	69
4.4.1. Dimensionamiento de las fuentes de tensión.....	69
4.4.2. Dimensionamiento de válvula solenoide	74
4.4.3. Dimensionamiento de relé.....	77
4.4.4. Dimensionamiento de conductores.....	77
4.4.4.1. Cálculo de conductores por capacidad de corriente	95
4.4.5. Dimensionamiento de elementos de protección eléctrica	99
4.4.6. Dimensionamiento de tableros de control.....	103
4.5. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS	107
4.5.1. Controlador CompactLogix 1768 Estándar.....	108
4.5.2. Fuente 1606-XLP15E	112
4.5.3. Sensor y Transmisor de temperatura MST665.....	113
4.5.4. Transmisor de presión PBS-RP160SN1SS0D5AOZ.....	114
4.5.5. Transmisor de nivel UM30-214113.....	115
4.5.6. Relé 24 VDC Telemecanique RUM C2AB1BD	116
4.5.7. Válvula solenoide UNI-D SUW-50#316.....	117
4.5.8. Interruptor automático C60HC 204 y C60HC 216.....	117

4.6.	ASIGNACIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL PLC.....	118
4.7.	LISTADO DE EQUIPOS, INSTRUMENTACIÓN, ACCESORIOS Y MATERIALES .	119
4.7.1.	<i>Tablero de Control # 1</i>	119
4.7.2.	<i>Tablero de Control # 2</i>	120
4.7.3.	<i>Tablero de Control # 3</i>	122
4.7.4.	<i>Accesorios para la construcción de soportes</i>	123
4.7.5.	<i>Accesorios para la construcción de ByPass de la Torre de Enfriamiento</i>	123
4.8.	PLANOS P&ID	124
4.9.	PLANOS ELÉCTRICOS	125
4.9.1.	<i>Planos eléctricos de mando y potencia</i>	125
4.9.2.	<i>Planos eléctricos de conexionado</i>	125
4.9.3.	<i>Planos eléctricos de interconexionado</i>	125
4.10.	PLANOS MECÁNICOS.....	125
4.11.	PLANOS DE OBRA CIVIL	126
CAPÍTULO 5.....		127
DESARROLLO DE SOFTWARE		127
5.1.	PROGRAMACIÓN DEL PLC.....	127
5.1.1.	SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN RSLOGIX 5000	128
5.1.2.	<i>Lista de Tags</i>	130
5.1.3.	<i>Análisis de rutinas</i>	131
5.2.	CREACIÓN DE LA INTERFAZ HUMANO – MÁQUINA	141
5.2.1.	<i>Descripción del software Wonderware Intouch</i>	141
5.2.2.	DISEÑO DE PANTALLAS	142

CAPÍTULO 6.....	158
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	158
6.1. CONCLUSIONES	158
6.2. RECOMENDACIONES	159
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	162
ANEXOS	165
ANEXO A	166
ANEXO B.....	173
ANEXO C	179
ANEXO D	197
ANEXO E.....	249
ANEXO F.....	253
ANEXO G	268
ANEXO H	277
GLOSARIO	279

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1. 1. Logotipo Pasteurizadora "El Ranchito"	3
Figura 1. 2. Ubicación geográfica de zonas principales de “El Ranchito” Cia. Ltda. .6	
Figura 1. 3. Gama de productos Pasteurizadora “El Ranchito”	8

Capítulo 2

Figura 2. 1. Esquemático de un banco de hielo	14
Figura 2. 2. Esquemático de un equipo de enfriamiento de película descendente.....	15
Figura 2. 3. Esquemático de un sistema de enfriamiento cerrado tipo PHE.....	16
Figura 2. 4. Caldero Piro tubular.....	18
Figura 2. 5. Sección lateral y partes de una caldera piro tubular	18
Figura 2. 6. Caldero acuotubular.....	19
Figura 2. 7. Sección lateral y partes de una caldera acuotubular	20
Figura 2. 8. Diagrama de bloques del Control ON – OFF.	20
Figura 2. 9. Automatas programables (PLCs).....	21
Figura 2. 10. Estructura interna del Automata programable	23
Figura 2. 11. Símbolo eléctrico del RTD	25
Figura 2. 12. Estructura interna RTD.....	25
Figura 2. 13. Abajo: componentes RTD	25
Figura 2. 14. Símbolo eléctrico de la galga extensiométrica	28
Figura 2. 15. Medidor extensiométrico de presión.	28
Figura 2. 16. Sensor ultrasónico de nivel.....	30
Figura 2. 17. Diagrama de bloques de un transmisor electrónico.....	32
Figura 2. 18. Transmisor a 2 hilos	33

Figura 2. 19. Transmisor a 4 hilos	33
--	----

Capítulo 3

Figura 3. 1. Banco de Hielo # 1	36
Figura 3. 2. Banco de Hielo # 2	36
Figura 3. 3. Banco de Hielo # 3	37
Figura 3. 4. Banco de Hielo # 4	37
Figura 3. 5. Banco de Hielo # 5	38
Figura 3. 6. Placa de los motores de las bombas de los bancos de hielo	38
Figura 3. 7. Sistema de ablandamiento de agua.	40
Figura 3. 8. Tanque de condensado.....	42
Figura 3. 9. Tanque de Diésel.	43
Figura 3. 10. Indicador de temperatura para los bancos de hielo.....	43
Figura 3. 11. Controlador – Indicador de temperatura MT-512i	44
Figura 3. 12. Tanque de diésel, e indicador de nivel.....	44
Figura 3. 13. Estado actual de los medidores de presión.	45
Figura 3. 14. Interior de un manómetro de tubo de Bourdon.....	46
Figura 3. 15. Válvula para la purga de la torre de enfriamiento	47
Figura 3. 16. Diagrama de bloques del Hardware del sistema.....	52
Figura 3. 17. Diagrama de bloques de Entradas analógicas.....	54
Figura 3. 18. Diagrama de bloques de Salidas Digitales.....	54
Figura 3. 19. Comunicación Ethernet.	56
Figura 3. 20. Diagrama de Comunicación.	57
Figura 3. 21. Cable de Ethernet.....	57

Capítulo 4

Figura 4. 1. Dimensiones (m) de la cisterna de la Torre de Enfriamiento	75
Figura 4. 2. Presiones incidentes sobre una válvula al fondo de un tanque.....	76
Figura 4. 3. Ejemplo de controlador CompactLogix 1768 ensamblado	108
Figura 4. 4. Controlador 1768-L43	109
Figura 4. 5. Módulo de entradas DC 1769-IQ16F	109
Figura 4. 6. Módulo de salidas DC 1769-OB16P	110
Figura 4. 7. Módulo de entradas analógicas 1769-IF4I	110
Figura 4. 8. Módulo de comunicación EtherNet/IP 1768-ENBT.....	111
Figura 4. 9. Switch compacto EtherNet/IP 1783-EMS04T de 4 puertos.....	111
Figura 4. 10. Fuente de alimentación del PLC 1768-PA3	112
Figura 4. 11. Fuente de voltaje 1606-XLP15E	113
Figura 4. 12. RTD tipo PT100 de 3 hilos, especificación IP68	113
Figura 4. 13. Transmisor de temperatura MST665	114
Figura 4. 14. Transmisor de presión PBS-RP160SN1SS0D5AOZ	114
Figura 4. 15. Transmisor de nivel UM30-214113	115
Figura 4. 16. Relé 24 VDC Telemecanique	116
Figura 4. 17. Válvula solenoide SUW-50#316	117
Figura 4. 18. Interruptor automático C60HC 204	117

Capítulo 5

Figura 5. 1. Diagrama de flujo del sistema	128
Figura 5. 2. División del Estándar IEC 61131-3.....	128
Figura 5. 3. Segmento de programación LADDER	132
Figura 5. 4. Parámetros por defecto de canales en un módulo de E/S analógica.....	132

Figura 5. 5. Configuración necesaria del canal para la aplicación.....	133
Figura 5. 6. Bloque CPT.	139
Figura 5. 7. Bloque GSV.....	140
Figura 5. 8. Esquema general de la metodología de desarrollo de la interfaz.....	143
Figura 5. 9. Diagrama jerárquico de las pantallas del proceso.....	144
Figura 5. 10. Plantilla para el diseño de una pantalla de acuerdo a la guía GEDIS.	145
Figura 5. 11. Pantalla de Carátula	148
Figura 5. 12. Pantalla Principal.....	148
Figura 5. 13. Indicador de alarma (PLC desactivado)	149
Figura 5. 14. Pantalla Nivel de Diésel.....	150
Figura 5. 15. Pantalla de Presión de los Calderos	151
Figura 5. 16. Pantalla de Temperatura de Bancos de Hielo.....	151
Figura 5. 17. Paleta de colores del Software Intouch.....	153
Figura 5. 18. Fuente y estilo de texto utilizado	154
Figura 5. 19. Representación de los Bancos de Hielo.....	155
Figura 5. 20. Representación de los tanques de Diésel.....	155
Figura 5. 21. Representación de los Calderos.	156
Figura 5. 22. Panel para indicar la temperatura.	156
Figura 5. 23. Panel para indicar el nivel de diésel.	156
Figura 5. 24. Panel para indicar la temperatura.	156
Figura 5. 25. Alarmas del sistema (I).....	157
Figura 5. 26. Alarmas del sistema (II).....	157

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 1

Tabla 1. 1. Zonas principales de Pasteurizadora “El Ranchito”	5
---	---

Capítulo 2

Tabla 2. 1. Tipos de RTDs y características.....	26
Tabla 2. 2. Conversión entre unidades de presión	26
Tabla 2. 3. Sistemas típicos de transmisión	31

Capítulo 3

Tabla 3. 1. Resumen de características eléctricas de los bancos de hielo	35
--	----

Capítulo 4

Tabla 4. 1. Separación en zonas de los procesos a monitorizar y controlar.....	59
Tabla 4. 2. Zonas en las que se dividirá al proyecto	60
Tabla 4. 3. Cotización de PLC en marca Rockwell Automation (Allen Bradley)	62
Tabla 4. 4. Cotización de PLC en marca Siemens	63
Tabla 4. 5. Cotización de PLC en marca Xinje.....	63
Tabla 4. 6. Cotización de transmisores en marca Endress + Hauser.....	64
Tabla 4. 7. Cotización de transmisores en marca Sick.....	65
Tabla 4. 8. Cotización de transmisores en marca Braichild y Wago	66
Tabla 4. 9. Factores a tomarse en cuenta para la selección del PLC.....	67
Tabla 4. 10. Factores a tomarse en cuenta para la selección de los transmisores	68
Tabla 4. 11. Modelos de fuentes para ser montadas en riel DIN, de la marca Allen Bradley	71
Tabla 4. 12. Propiedades del material aislante en conductores.....	78
Tabla 4. 13. Calibre AWG de conductores	81

Tabla 4. 14. Potencia activa consumida por Tablero de control # 1	82
Tabla 4. 15. Calibres AWG de los transmisores del Tablero de control # 3.....	91
Tabla 4. 16. Corriente nominal para circuitos del proyecto.	
Cálculo de corriente corregida	96
Tabla 4. 17. Estimación calibre de conductores, con el método de capacidad de corriente	97
Tabla 4. 18. Dimensionamiento final de conductores para el proyecto	98
Tabla 4. 19. Funciones realizadas por un interruptor automático	100
Tabla 4. 20. Tipos de interruptores automáticos C60H, de Schneider Electric	100
Tabla 4. 21. Factor de corrección de temperatura, para interruptor automático C60H de curva C.....	101
Tabla 4. 22. Modelos de interruptores automáticos marca Schneider de dos polos, para curvas B, C y D.....	102
Tabla 4. 23. Dimensionamiento de protecciones eléctricas	103
Tabla 4. 24. Grado de protección de los tableros eléctricos.....	105
Tabla 4. 25. Especificaciones de tableros usados en el proyecto.....	107
Tabla 4. 26. Asignación de funciones a entradas y salidas del PLC.....	118
Tabla 4. 27. Lista de componentes del Tablero de control # 1	120
Tabla 4. 28. Lista de componentes del Tablero de control # 2	121
Tabla 4. 29. Lista de componentes del Tablero de control # 3	122
Tabla 4. 30. Materiales para elaboración de soportes de transmisores de nivel	123
Tabla 4. 31. Materiales requeridos para construcción de <i>ByPass</i> en Torre de Enfriamiento.....	123
Tabla 4. 32. Nomenclatura de elementos modificados / a instalar	

del presente proyecto	124
Tabla 4. 33. Entrada y salida de cables hacia Tablero de Control No. 1	126
Tabla 4. 34. Entrada y salida de cables hacia Tablero de Control No. 2	126
Tabla 4. 35. Entrada y salida de cables hacia Tablero de Control No. 3	126
Capítulo 5	
Tabla 5. 1. Requisitos mínimos para la instalación de RSLogix 5000	129
Tabla 5. 2. Lista de <i>tags</i> usadas en el programa del PLC	130
Tabla 5. 3. Lista de <i>tags</i> usadas en la interfaz HMI.....	131
Tabla 5. 4. Correspondencia entre la corriente del módulo analógico y las unidades crudas automáticamente otorgadas por éste.	133
Tabla 5. 5. Características de los transmisores electrónicos	134
Tabla 5. 6. Datos del transmisor de temperatura.....	135
Tabla 5. 7. Datos del transmisor de presión	136
Tabla 5. 8. Datos del transmisor de nivel.....	137
Tabla 5. 9. Operandos del bloque CPT	139
Tabla 5. 10. Operandos del bloque GSV.....	140
Tabla 5. 11. Colores asignados para el fondo de pantalla y contenedores.....	153
Tabla 5. 12. Colores asignado para alarmas.....	153
Tabla 5. 13. Colores asignados para el texto.....	153
Tabla 5. 14. Explicativo de Alarmas del sistema (I).....	157
Tabla 5. 15. Explicativo de Alarmas del sistema (II).....	157

CAPÍTULO 1

INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL AUTOMÁTICO DE LOS PROCESOS DE GENERACIÓN, PARA LA PASTEURIZADORA 'EL RANCHITO' CIA. LTDA.

1.1. Descripción

En las industrias lácteas, el proceso de pasteurización es elemental. La pasteurización se la realiza con el propósito de destruir únicamente agentes patógenos presentes en la leche cruda, evidentemente nocivos para la salud. Por otra parte, el posterior proceso de empaclado y conservación de la leche carecería de sentido si se preservan estos agentes dañinos.

Desde el punto de vista técnico, la pasteurización entra en la categoría de proceso térmico. La materia que se procesa es la leche; ésta es expuesta durante cierto tiempo a una temperatura elevada, para abruptamente disminuir la temperatura, provocando la muerte de microbios y bacterias (Brucelosis, Tuberculosis, Salmonelosis, Estafilococos), siendo apta para el consumo. No obstante, debe guardarse un estricto control en las temperaturas y tiempos de exposición de la leche a éstas para asegurar la conservación de sus propiedades nutricionales (riboflavina, ácido ascórbico y otras).

Existen dos métodos de pasteurización: LTLT ('Baja Temperatura por Largo Tiempo', por sus siglas en inglés) y HTST ('Alta Temperatura por Corto Tiempo', por sus siglas en inglés). En el primer método, se mantiene la leche a 61 °C por 30 minutos. Una vez calentada la leche se enfría a una temperatura menor a 10°C. El

segundo método, actualmente el más usado, consiste en mantener la leche a 73 °C por 15 segundos, para luego disminuir la temperatura a 10 °C. El primer método se puede aplicar tanto a lotes (una cantidad conocida de producto, siendo el predilecto para pequeños productores) como de forma continua (una cantidad no determinada de producto, que variablemente podrá ser pequeña o grande) y el segundo método se aplica de forma continua únicamente. Ambos métodos usan un equipo pasteurizador para lograr su cometido.

Los equipos pasteurizadores son básicamente intercambiadores de calor. Un intercambiador de calor es un equipo usado para extraer calor de un fluido que está más caliente de lo deseado, y luego transferirlo a otro fluido que está menos caliente y se desea calentar. La transferencia de calor se puede lograr a través de una pared metálica, o un tubo, que separa ambos fluidos.

Independientemente del método de pasteurización deseado, la leche será enfriada drásticamente a 4 °C y pasará inmediatamente a la etapa de envasado o empaclado. La ventaja que presenta la pasteurización es que el sabor de la leche resultante de este proceso no tiene el sabor desagradable de la leche cocida (que resulta de otro proceso conocido como Esterilización, con un principio similar a la pasteurización, pero se calienta a la leche a 140°C por 2 segundos para luego enfriarla a 10 °C), aunque su desventaja obvia es que no está estéril, lo que provoca que apenas abierto el envase comience nuevamente la proliferación de agentes patógenos. Consecuentemente, la pasteurización es aplicada a productos de consumo inmediato.

De forma general, se pretende diseñar un sistema de monitoreo y automatización de varios procesos de generación de frío y de calor (explicados oportunamente), para la Pasteurizadora “El Ranchito” Cia. Ltda.

1.2. La Empresa



Figura 1. 1. Logotipo Pasteurizadora "El Ranchito"

Para la realización del presente proyecto es muy importante conocer las principales características de la empresa, así como las actividades a las que se dedica y los productos que se elaboran en ésta.

1.2.1. Antecedentes de la Empresa

Pasteurizadora “El Ranchito” Cia. Ltda. es una empresa dedicada a la producción de lácteos y derivados, que ha logrado gran consolidación en la región de Sierra Centro, aunque su área de influencia es de hecho, toda la región de Ecuador Continental.

Esta empresa ha mantenido como compromisos la máxima calidad en los productos que ofrece a su clientela, lo cual ha logrado a través de la adquisición de modernos equipos y sistemas industriales, procurándose así el sitio que ahora ocupa en el mercado nacional, en términos de solidez y rentabilidad.

Pasteurizadora “El Ranchito” ha sido desde un principio una empresa orgullosamente ecuatoriana. Los inicios de la empresa se remontan hacia el año 1985, cuando fue fundada en el cantón Salcedo por su gerente vigente, Nelson

Guato, y Yolanda Suárez, teniendo como principal actividad la elaboración y comercialización de queso, cubriendo la zona central del país.

En 1990 su mercado se vería ampliado así como su capacidad de producción, teniendo la necesidad de trasladarse a donde actualmente se encuentra ubicada, Panamericana Norte km. 2 ½ vía Latacunga-Salcedo.

En el año 1993, bajo la iniciativa de sus fundadores y los requerimientos del cliente deciden brindar una gama de productos para el consumo de toda la familia, creando así leche pasteurizada y yogurt El Ranchito, con un volumen de producción de 4000 l/día. Sus principales canales de distribución impulsaron a la empresa a generar mayor producción, aumentando su capacidad a un ritmo constante de crecimiento durante los siguientes años.

Para el año 2003 la empresa dio un salto importante en cuanto a organización e innovación de sus productos, realizando la línea láctea e inclusive expandiendo su mercado hacia las bebidas de sabores.

En 2006 se invirtió capital en tecnología larga vida y tetra-pack, para ubicarse en un nivel superior en el mercado, pronosticando mayor crecimiento en un futuro.

Actualmente, la empresa ha venido invirtiendo y renovando maquinaria, así como también en nuevos sistemas organizacionales, de manera que se pueda contar con una base sólida para lograr mantenerse en el mercado.

1.2.2. Infraestructura

La empresa cuenta con un local propio, ubicado en la Panamericana Sur km. 2 ½ vía Latacunga-Salcedo, asentado en un terreno de 7.000m²; en este terreno se

encuentra toda la infraestructura que suma alrededor de 4.000m² en construcciones (Quinga, 2009).

Esta infraestructura se planea incrementar a través de la etapa final de la empresa está siendo construida en la actualidad¹.

Entre las zonas de mayor importancia con las que cuenta Pasteurizadora “El Ranchito” se tienen a aquellas indicadas en la Tabla 1. 1, distribuidas geográficamente de la forma indicada en la Figura 1. 2.

No. de Área	Descripción
1	Taller de mantenimiento
2	Calderos
3	Bancos de agua helada y Torre de enfriamiento
4	Bodega de insumos
5	Cuarto de transformación de energía
6	Recepción de Leche
7	Tratamiento térmico
8	Producción de yogurt
9	Producción de refrescos
10	Producción de quesos
11	Cuarto frío
12	Bodega de producto terminado
13	Despacho de producto terminado
14	Bodega de materia prima
15	Área administrativa

Tabla 1. 1. Zonas principales de Pasteurizadora “El Ranchito”

¹ Al momento de redacción de este capítulo, marzo 2013.

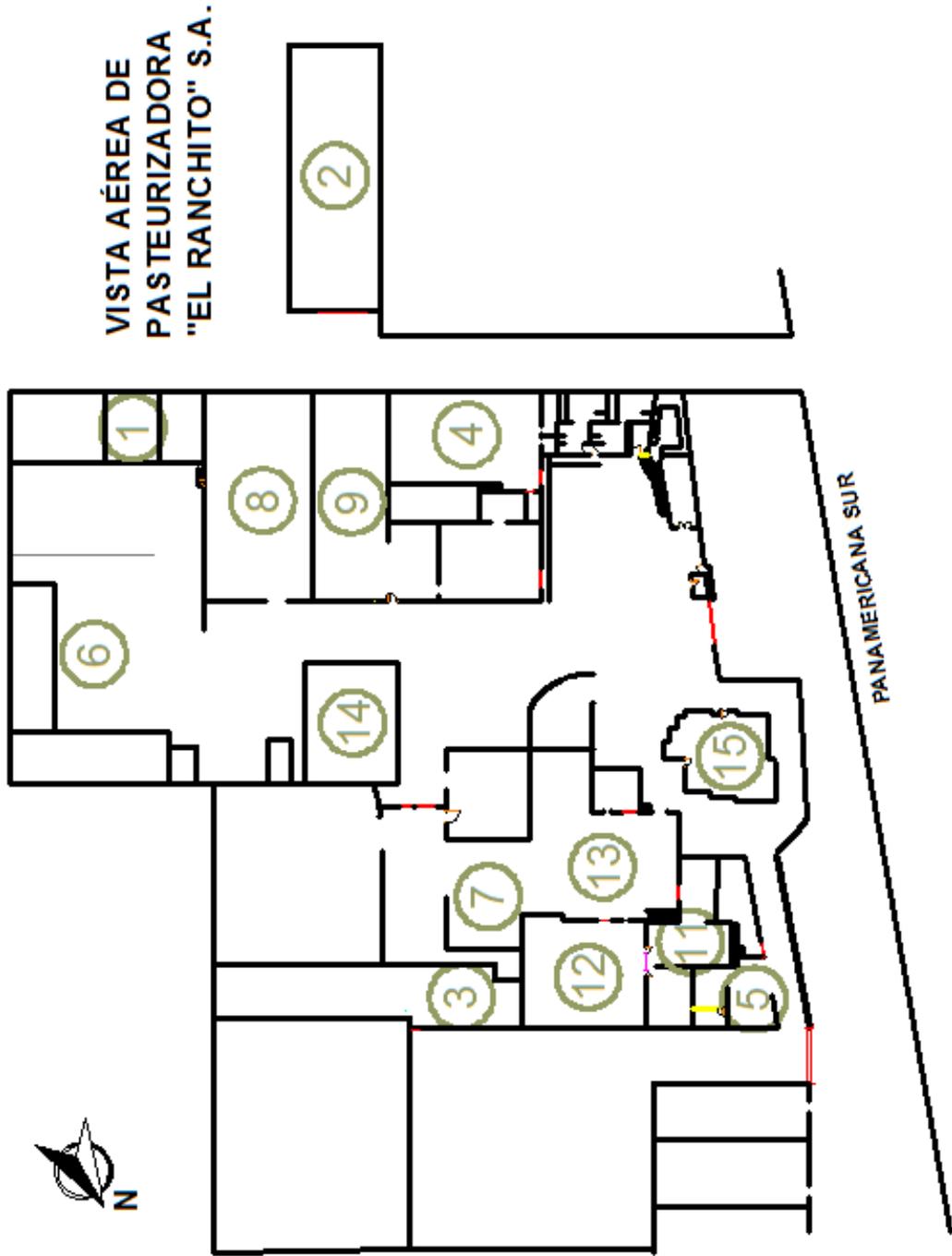


Figura 1. 2. Ubicación geográfica de zonas principales de "El Ranchito" Cia. Ltda.

1.2.3. Línea de producción

La leche es la materia prima de la industria de productos lácteos, el objetivo de estas empresas es producir productos frescos y saludables de acuerdo con las exigencias que demanda la población.

Las estipulaciones en la fabricación de los productos varían de acuerdo a la naturaleza de éstos, a las especificaciones con las cuales la empresa quiera ofrecer su producto y la tecnología con la que se cuenta.

De forma previa a la elaboración de cualquier producto, una comprobación estricta de la calidad de la leche recolectada es ejecutada. Entre las pruebas que debe pasar esta materia prima se halla la cuantificación de porcentaje de grasa y concentración de sólidos no grasos, refracción de luz para evitar el aguado o adulteración con sustancias extrañas, entre otras. La buena calidad de la materia prima asegura que los posteriores procesos a los que se verá sometida se realizarán bajo los estamentos de seguridad y calidad, eliminando cualquier posibilidad de resultados inestables.

Dentro de la empresa se manejan las siguientes líneas de producción, cada una de las cuales responde a un proceso distinto:

- Leche pasteurizada y UHT
- Yogurt
- Quesos
- Mantequilla
- Crema de leche
- Refrescos

En la Figura 1. 3 se aprecia la gama de productos que ofrece la empresa.



Figura 1. 3. Gama de productos Pasteurizadora “El Ranchito”

1.3. Generalidades del Proyecto

La monitorización y automatización de los procesos de accionamiento es un proyecto que demanda gran responsabilidad pues de esto depende la elaboración de productos de excelente calidad que cumplan normas nacionales e internacionales que permitan el desarrollo y avance de Pasteurizadora “El Ranchito” en el mercado lácteo. Se ha considerado la explicación por separado de dos sub-proyectos que comprenden el proyecto total.

1.3.1. Sistema de Monitorización

El proyecto comprenderá la toma de señales para obtener el valor de las diferentes variables, como son:

- Temperatura Bancos de Hielo
- Nivel de Diésel Subsuelo y Superficie
- Presión Calderos

La distancia actual a la que se encuentran los bancos de hielo y torres de enfriamiento (generadores del agua helada), los calderos (generadores del vapor caliente) y los tanques de diésel, es considerable.

El dispositivo central que procesará las señales para mostrarlas de forma visual al operador es un Controlador Lógico Programable (PLC por sus siglas en inglés). Este dispositivo permite realizar múltiples acciones en sistemas eléctrico–electrónicos.

1.3.2. Control de válvula de purga de torre de enfriamiento, a distancia.

La válvula que se emplea actualmente para la purga es manual. Diariamente, esta acción de purga la realiza algún operador cada 8 horas durante 20 segundos, a las 08:00, a las 16:00 y a las 24:00. Actualmente, solo se realizan las dos primeras purgas, debido a que no existe personal en planta para realizar la purga de las 24:00.

Con el objetivo de automatizar el sistema mencionado, se adaptará una válvula solenoide en configuración de BY PASS; la válvula solenoide será activada desde el PLC mediante programación a las horas requeridas y el tiempo recomendado.

En definitiva, los sistemas propuestos ayudarán a la agilización de las actividades de la fábrica y a evitar cualquier situación que vaya atente en contra de la integridad de los operarios.

1.3.3. Objetivos

De forma global, este proyecto ha sido diseñado de manera que, cuando sea ejecutado, permita la consecución de varias situaciones benéficas para Pasteurizadora “El Ranchito” Cia. Ltda.

La purga de la torre de enfriamiento será automatizada, de forma que cualquier peligro para el operario sea minimizado; y no solamente ello, sino que se optimiza tiempo al convertirse en un proceso menos sobre el cual mantener vigilancia.

El tiempo acumulativo mensual empleado en la revisión de los procesos de generación de frío y calor, es significativo. Esto se debe básicamente a la distancia que el operador que desea conocer estos parámetros debe caminar. A través de la etapa de monitorización se debe disminuir de forma considerable este tiempo, con la el factor seguridad como un aditamento a la reducción de tiempos.

Colateralmente, la disminución de tiempos debe reflejarse en un monto que Pasteurizadora “El Ranchito” Cia. Ltda. ahorra; este monto debe ser evidente tras el diseño.

Por este motivo, el Departamento de Mantenimiento de la Pasteurizadora “El Ranchito” Cia. Ltda. se ha propuesto implementar un sistema de monitorización de los procesos de accionamiento, y automatización en ciertos procesos del mismo.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

En este capítulo se desarrollará una breve presentación de los subprocesos de generación de frío y calor requeridos en el proceso de pasteurización, se describirán las magnitudes a monitorizar desde la sala de máquinas, proceso a controlar, así como los componentes principales de hardware y software que se requieren para este proyecto.

Con esta descripción se tendrá una mejor idea de los procesos que se controlan y/o monitorizan, y de igual forma, se conocen los componentes elementales que intervendrán en la construcción del proyecto.

El proceso de pasteurización, al ser usado en productos de consumo humano, debe asegurar una máxima rigurosidad en su ejecución. Su misión anti patógena, disminuye el riesgo del consumidor de contraer alguna enfermedad. Y casi en su totalidad, se reduce a la interacción de fluidos a diferentes temperaturas, en los denominados “intercambiadores de calor”. Es evidente que al recopilar una mayor cantidad de parámetros inherentes al proceso de pasteurización (temperaturas), se disminuye la posibilidad de error del mismo. Esta recopilación de datos se logra a través de la monitorización propuesta. Cualquier acción consecuente por parte de los operadores se facilita de esta forma.

2.1. Enfriamiento industrial de agua

De forma general, un sistema de enfriamiento persigue como objetivo el “despejar” o “remover” el calor generado en un equipo intercambiador de calor. El agua se usa como receptor del calor generado por los sistemas mencionados.

Dentro de la industria alimenticia, se presentan varias instancias en las que se requiere al agua como refrigerante secundario para el proceso de enfriamiento (Gómez, 2013). Entre otras, se hallan las siguientes:

- Industria láctea (pasteurización)
- Industria cárnica (enfriamiento de pailas)
- Industria de vegetales (enfriamiento)
- Industria embotelladora (pre enfriamiento de agua)
- Industria galletera y panificación.(Enfriamiento de mezcladoras y agua de proceso)

El término refrigerante secundario (FUNDEÚ BBVA, 2013) hace alusión al fluido (en estado líquido o gaseoso) que estando a una temperatura inferior a la del refrigerante primario, transporta el calor que le cede éste, en un intercambiador de calor.

El agua, como refrigerante secundario presenta varias ventajas físicas y termodinámicas por encima de otros refrigerantes secundarios, como las salmueras. No obstante, también presenta desventajas relacionadas con su punto de congelamiento, y el desgaste que provoca en tuberías de metal.

A nivel industrial se aplican diversos métodos de enfriamiento de agua, que dependiendo de la técnica usada, permite el enfriamiento de agua mediante tres métodos básicos, a saber:

- Bancos de hielo
- Equipos de enfriamiento abierto de película descendente.
- Torres de enfriamiento.

2.1.1. Bancos de hielo

Un banco de hielo (QUIMINET, 2011) acumula frío durante el tiempo que el proceso industrial no requiere de agua fría. Una vez que ha acumulado el frío se forma hielo para que, cuando se necesite, una bomba de agua haga recircular el agua fría y permita combatir las altas temperaturas.

En términos generales, los bancos de hielo tienen dos formas de operar:

1. Un fluido refrigerante (gas amoníaco, NH_3) circula dentro de la tubería de flujo de agua, al reducir la temperatura se forma hielo en las paredes exteriores de los tubos. Una vez que se activa la bomba del agua para que ésta fluya por la tubería se produce un choque térmico, la temperatura comparativamente más alta del agua que fluye provoca el derretimiento del hielo formado en las paredes exteriores, lo que da como resultado el enfriamiento del agua.
2. El fluido refrigerante permanece estático y no se produce el derretimiento del hielo ni el proceso de enfriamiento hasta que el agua comienza a circular por la tubería.

En la

Figura 2. 1 (BUCCO, 2013) se muestra el diagrama esquemático general de un banco de hielo.

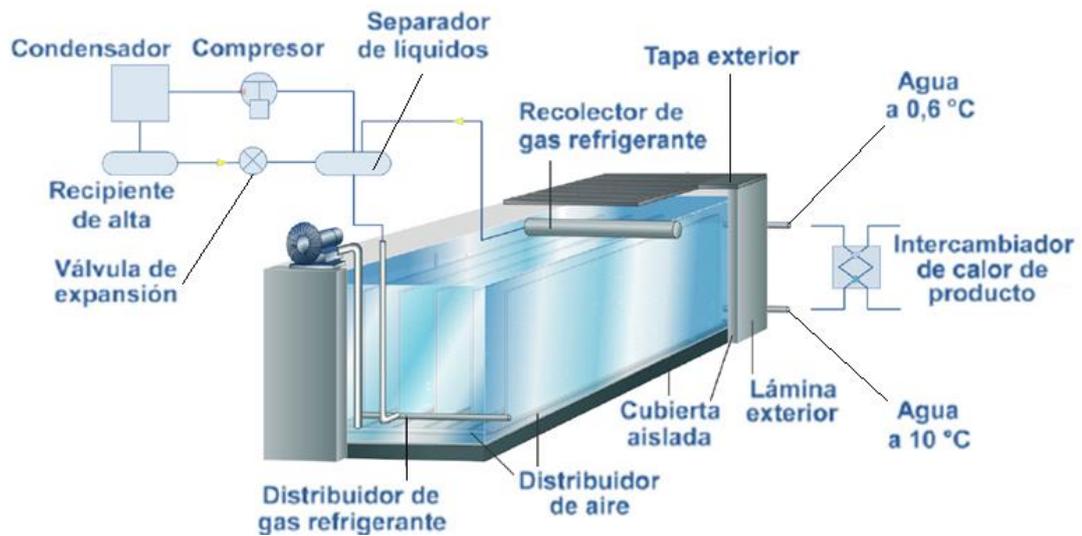


Figura 2. 1. Esquemático de un banco de hielo

2.1.2. Equipos de enfriamiento abierto de película descendente

El enfriamiento de agua a través de equipos de enfriamiento abierto de película descendente basa su funcionamiento en el bombeo de agua hasta una bandeja de distribución, la cual será distribuida de forma controlada y homogénea a un conjunto de placas verticales. Estas placas se hallan internamente atravesadas por un serpentín en el que circula gas refrigerante, lo que provoca una temperatura relativamente baja en las placas verticales. La alta velocidad del flujo de agua sobre las placas asegura que la temperatura de ésta descienda de forma abrupta, y también un efecto de auto-limpieza, que permite trabajar en entornos sucios.

Las temperaturas que se logran a través de este método pueden alcanzar los 0.5 °C, y no existirá riesgo si se forma una película de hielo sobre las placas verticales.

La Figura 2. 2 (BUCO, 2013) presenta un diagrama esquemático de un equipo de enfriamiento abierto de película descendente.



Figura 2. 2. Esquemático de un equipo de enfriamiento de película descendente

2.1.3. Torres de enfriamiento.

El principio de funcionamiento de una torre de enfriamiento (Cerde, 2013) es similar a un equipo de película descendente. La diferencia es que el enfriamiento se logra a través de la circulación de aire proveniente del entorno. La Figura 2. 3 muestra un esquema de una torre de enfriamiento. El agua caliente ingresa a la parte superior de la torre. A través de un sistema de aspersion se logran gotas más finas de agua, que pueden ser enfriadas más rápido. El ventilador de aire caliente extrae el calor de las gotitas recién formadas, y aparte, la caída y el flujo de aire proveniente de las entradas diseñadas para tal efecto bajan aún más la temperatura. El sistema es tan efectivo, que las temperaturas obtenidas se comparan con el método anterior. El agua fría es bombeada de vuelta al proceso, donde mediante un intercambiador de calor se vuelve a repetir.

No obstante, presenta la desventaja de requerir un suministro de agua de respaldo que asegure que debido a la evaporación, no se seque el agua contenida en la cisterna de agua fría. Esto genera otro inconveniente adicional, y es que cuando se tienen

climas fríos, el agua contenida en esta cisterna se tiende a desbordar, por lo que se requiere un rebosadero para eliminar el exceso. Más aún, para lograr un óptimo desempeño de la torre, debe mantenerse un determinado volumen en la cisterna de agua, para lo cual debe periódicamente purgarse.

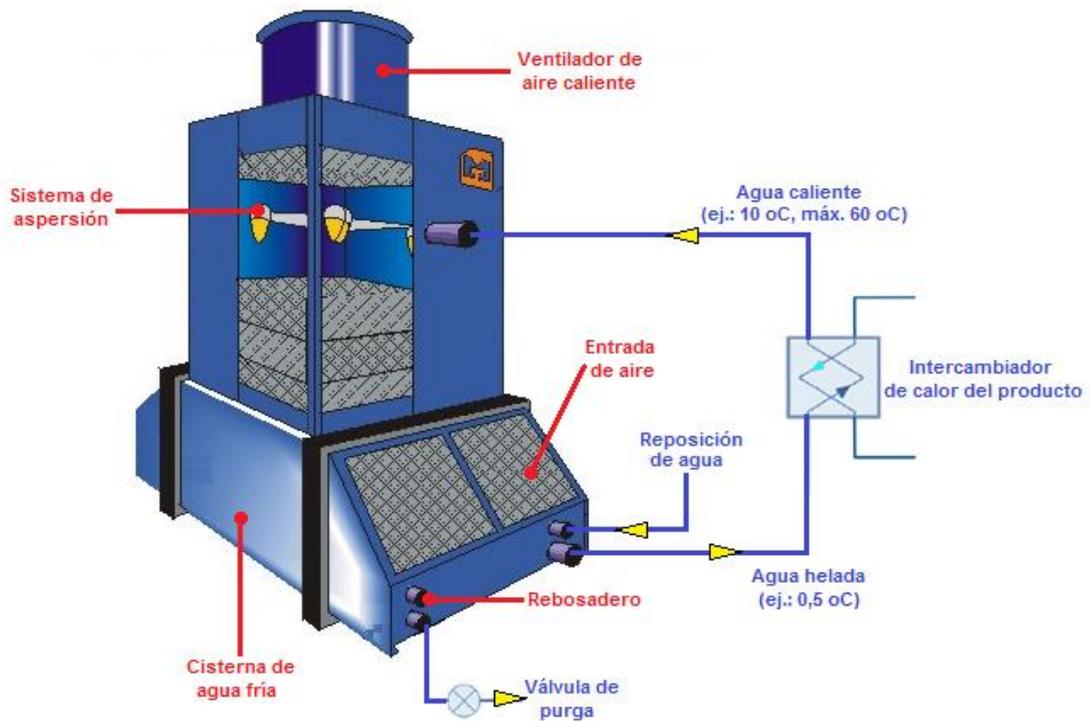


Figura 2. 3. Esquemático de un sistema de enfriamiento cerrado tipo PHE.

2.2. Generación industrial de vapor de agua

La definición de caldera industrial señala que son dispositivos empleados para calentar agua, o generar vapor a una presión muy superior a la atmosférica. Una caldera industrial cuentan con un compartimento en el cual el combustible se consume, generando calor adjunto a otro compartimento en el que se coloca el agua que luego se convertirá en vapor.

Siendo una máquina que soporta elevados niveles de presión, es construida en parte con acero inoxidable en semejanza a muchos contenedores de gas. Debido a las amplias aplicaciones que tiene el vapor, principalmente de agua, la caldera es muy utilizada en la industria, para fines como:

- Esterilización. Antiguamente se usaban calderas en los hospitales, las cuales generaban vapor para esterilizar los instrumentos médicos; también en los comedores para elaborar alimentos en marmitas.
- Calentar fluidos. Por citar un ejemplo, en la industria petrolera se calienta a los petróleos pesados para mejorar su fluidez y el vapor es un subproducto muy utilizado.
- Generar electricidad a través del ciclo Rankine. La caldera es parte fundamental de las centrales termoeléctricas.

Desde el punto de vista mecánico existen varias formas de clasificar una caldera (Proaño, 2012). El criterio de clasificación que se considera para el presente estudio es según la circulación del agua y de los gases en la zona de tubos, en cuyo caso se tienen dos subdivisiones:

- Piro-tubulares o de tubos de humo.
- Acuotubulares o de tubos de agua

2.2.1. Calderas piro-tubulares o tubos de humo

Una caldera piro-tubular (Mejía, 2011) tiene forma de cilindro y por lo general está dispuesta horizontalmente. Las partes que componen a esta caldera son el cuerpo de la caldera, que está casi completamente lleno de agua, el quemador, la línea de

combustible, un hogar, un paquete multitubular de transmisión de calor y una chimenea. La Figura 2. 4 muestra una caldera pirotubular.



Figura 2. 4. Caldero Pirotubular

El combustible es bombeado hacia el quemador, lo que provoca una llama que en primera instancia se aloja en el hogar. Como se indica en la Figura 2. 5, a través de múltiples tubos, que toman el nombre de paquete multitubular de transmisión de calor, se hace ascender a esta llama por el caldero, hasta finalmente alcanzar la chimenea, donde se proyectan las emisiones de humo a la atmósfera. Los tubos están completamente rodeados de agua, con lo cual se acumula cada vez más vapor en la parte superior de la caldera. Se envía el vapor producido una vez abierta la válvula de salida de vapor al proceso. Para controlar la presión al interior del caldero se disponen de válvulas de seguridad adecuadamente calibradas.

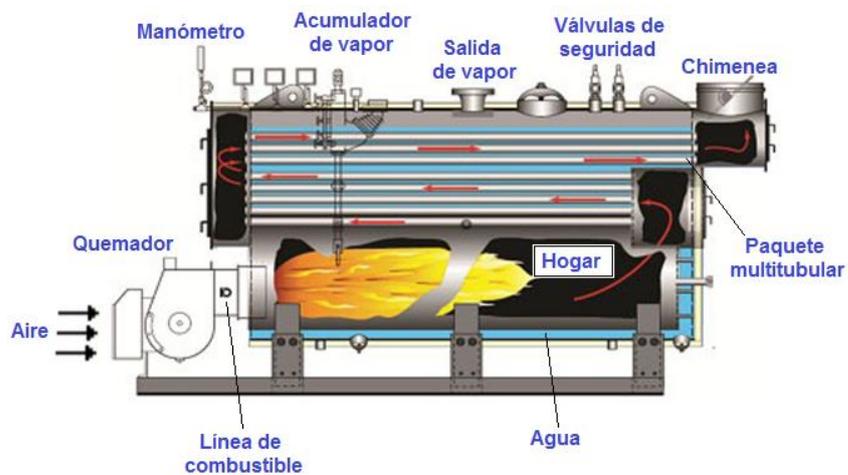


Figura 2. 5. Sección lateral y partes de una caldera pirotubular

2.2.2. Calderos acuotubulares o tubos de agua

En las calderas acuotubulares el agua está dentro de tubos ubicados longitudinalmente en el interior y se emplean para aumentar la superficie de calefacción, los mismos están inclinados para que el vapor a mayor temperatura al salir por la parte más alta provoque un ingreso natural del agua más fría por la parte más baja. La Figura 2. 6 muestra una caldera acuotubular, y sus partes se muestran en la Figura 2. 7.

La llama se forma en un recinto de paredes tubulares que configuran la cámara de combustión. Soporta mayores presiones, pero es más cara, tiene problemas de suciedad en el lado del agua, y menor inercia térmica.

Las calderas acuotubulares eran usadas en centrales eléctricas y otras instalaciones industriales, logrando con un menor diámetro y dimensiones totales una presión de trabajo mayor.

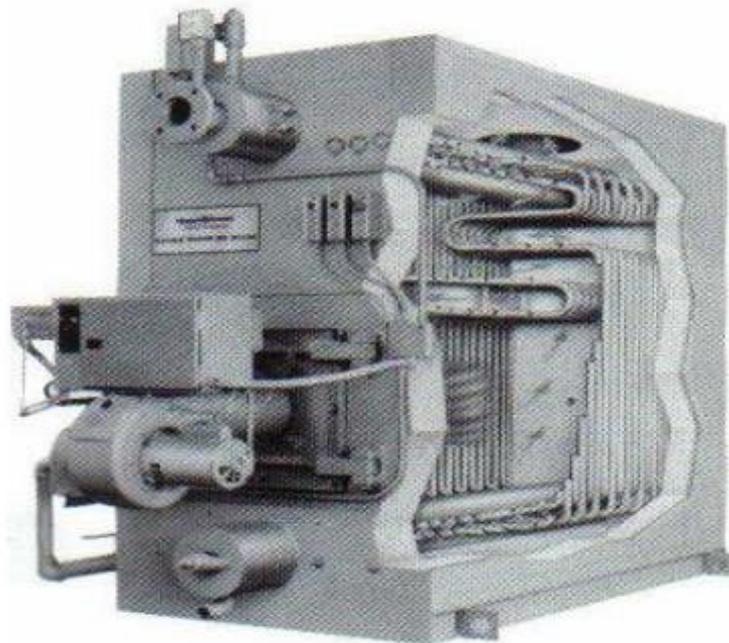


Figura 2. 6. Caldero acuotubular

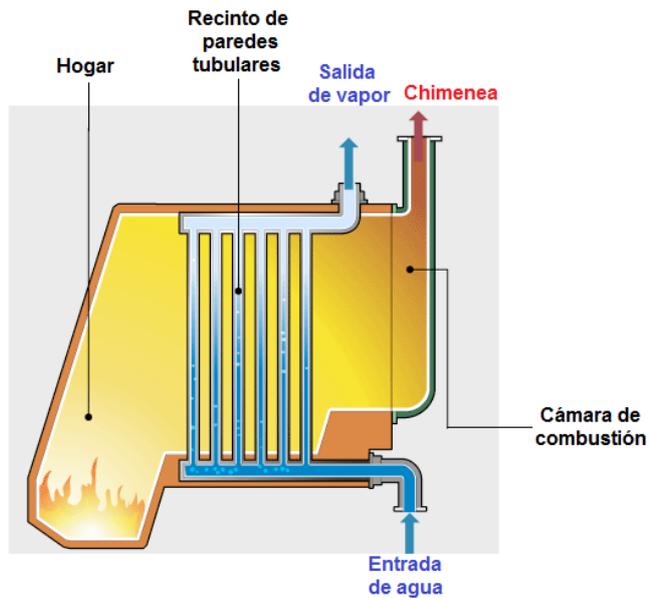


Figura 2. 7. Sección lateral y partes de una caldera acuotubular

2.3. Control en lazo abierto

El control en lazo abierto se caracteriza porque la salida del sistema a controlar depende únicamente de la entrada actual del sistema. Esto significa que se ejecutará la acción de control sin importar el resultado que se esté obteniendo como consecuencia del mismo. Es recomendable usarlo en sistemas de los cuales se conozca plenamente su comportamiento, tanto en condiciones nominales como ante perturbaciones, lo cual se identifica fácilmente cuando en primera instancia un operador humano es capaz de controlar a dicho sistema. La apertura de una válvula a determinadas horas del día es precisamente un ejemplo de este tipo de control.

En la Figura 2. 8 se muestra el diagrama de bloques del control en lazo abierto.

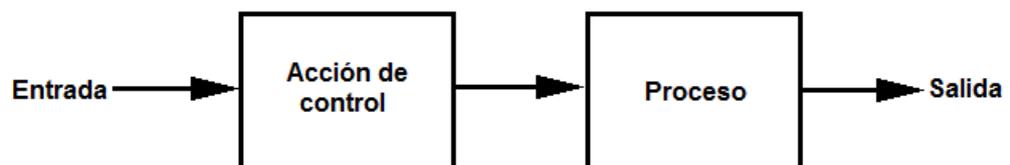


Figura 2. 8. Diagrama de bloques del Control ON – OFF.

Para el ejemplo mencionado de la válvula, se deberá tomar en cuenta que cuando la señal de control comande a la activación (sea para apertura o cierre, dependiendo del tipo de válvula), esta se ejecutará sin tomar en cuenta el caudal existente al interior de la tubería.

2.4. Autómata Programable

El término Autómata Programable (Herrera, 2013) es utilizado para nombrar a los dispositivos Controladores Lógicos Programables (PLC, por sus siglas en inglés) (Figura 2. 9). Este es un dispositivo de estado sólido usado para controlar la operación de máquinas o procesos por medio de un programa almacenado en su memoria y la lectura/actualización de sus entradas/salidas. Las salidas pueden actuar sobre motores eléctricos, válvulas, ventiladores, interruptores de luz, etc. mientras que las señales de entrada suelen estar generadas por pulsadores o sensores de diversos tipos como finales de carrera, transductores de temperatura, presión, u otras magnitudes físicas.



Figura 2. 9. Autómatas programables (PLCs)

Los PLCs surgieron para sustituir las clásicas instalaciones de contactores y relés. La gran ventaja de los sistemas programados sobre los cableados está en que la secuencia de operaciones y acciones puede ser modificada fácilmente al estar almacenada en una memoria. Además, los sistemas cableados admiten un conjunto de operaciones relativamente limitado (básicamente lógicas y en algún caso aritméticas) mientras que los sistemas programados están diseñados para realizar operaciones de cálculo y procesado mucho más complejas.

Los sistemas de monitorización y control a menudo utilizan autómatas programables por su alto grado de adaptabilidad con sistemas de control, monitoreo y supervisión, y por la capacidad de comunicación con ordenadores. La instalación de estos equipos de control no involucra un nivel de complejidad alto ya que han sido diseñados para trabajar en un ambiente hostil y cumplen con las normas de instalaciones eléctricas industriales.

La evolución tanto de hardware como de software permite su utilización en una amplia gama de procesos industriales sobre todo para reemplazar sistemas de control, maniobra, señalización, supervisión, entre otros. En la actualidad los fabricantes procuran reducir sus dimensiones para facilitar el montaje dentro de gabinetes estandarizados, facilitar la comunicación con otros dispositivos de control, crear y almacenar programas para su utilización, la modificación o alteración de los mismos. Por estas y otras características el PLC es empleado en procesos con necesidades como: producción periódicamente variable, procesos secuenciales, procesos extensos y complicados, control, señalización, monitoreo, maniobra de maquinaria.

La estructura interna de un autómata programable estándar (Molina, 2013) se puede determinar mediante la Figura 2. 10, que se muestra a continuación:

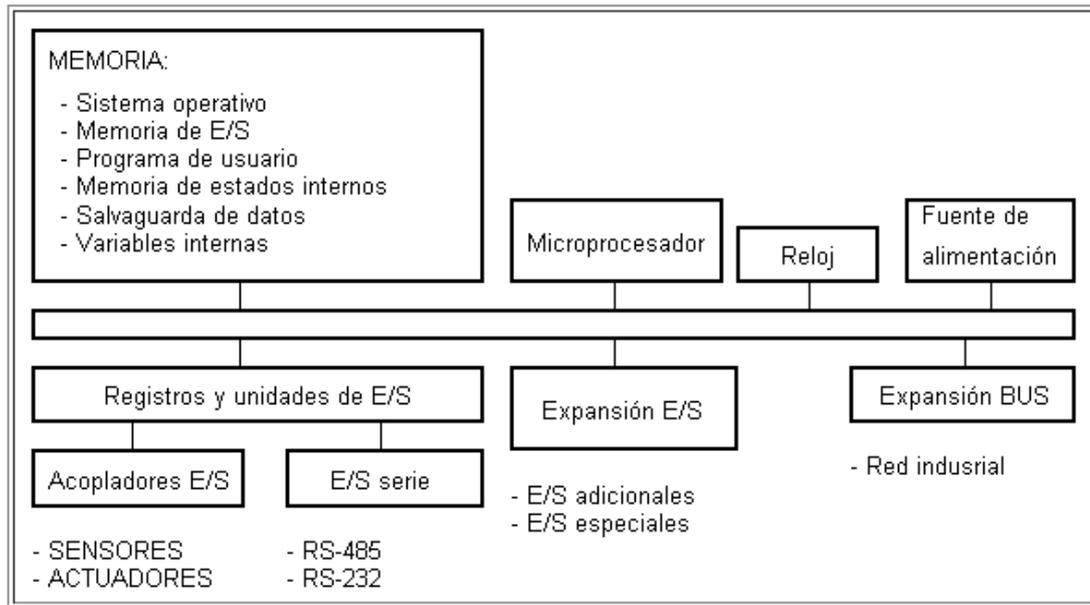


Figura 2. 10. Estructura interna del Autómata programable

2.5. Sensores

Un sensor es un dispositivo que permite convertir una determinada magnitud física, en una magnitud eléctrica (voltaje, corriente, resistencia) diferente a magnitud la original, aunque guardando una determinada proporción entre ambas.

Existe especial interés en monitorear las variables que se hallan involucradas en un proceso, primordialmente porque conociéndolas se habilita el eventual control del mismo. En un entorno industrial se presentan múltiples variables a ser monitoreadas y controladas. En orden descendente de su ocurrencia se tiene a la temperatura, presión, flujo, composición y nivel de líquidos.

De las variables mencionadas, se pretende la monitorización de temperatura, presión y nivel, detallados con especial interés aquellos que serán usados en los procesos.

2.5.1. Medición de temperatura por medios eléctricos

La temperatura es una medida de la energía térmica de las partículas en una sustancia. Está estrechamente ligado entonces con el nivel de agitación de los átomos de un determinado cuerpo.

La medición de temperatura se puede lograr a través de la obtención de magnitudes eléctricas (voltaje, corriente, resistencia) resultantes de la exposición de ciertos materiales, cuya respuesta ante la incidencia de un rango de temperaturas es conocida. Estas variables eléctricas luego se pueden procesar a través de medios electrónicos para la obtención del valor deseado. En primera instancia, las opciones de las que se dispone para la medición de temperatura son amplias, teniéndose entre ellas a las termocuplas, los termistores, los RTD y los pirómetros.

No obstante, algunos sensores, dependiendo de su principio de funcionamiento o del material del que están fabricados, responderán mejor a ciertos entornos, y por tanto a ciertos rangos de temperatura.

Cobra especial interés para el propósito del presente proyecto el estudio del RTD.

2.5.1.1. RTD (Resistance Temperature Detector)

Un RTD (Dispositivo Termo Resistivo por sus siglas en inglés) es un sensor de temperatura que basa su principio de funcionamiento en la variación de corriente a través de una resistencia. Al variar la temperatura sobre un material resistivo, el flujo de electrones varía. Se puede afirmar que la resistencia presenta una variación con la temperatura. El símbolo eléctrico del RTD se muestra en la Figura 2. 11; sus componentes internos y partes se muestran en la Figura 2. 12 y Figura 2. 13.

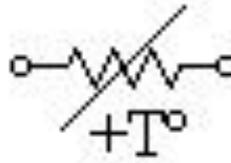


Figura 2. 11. Símbolo eléctrico del RTD

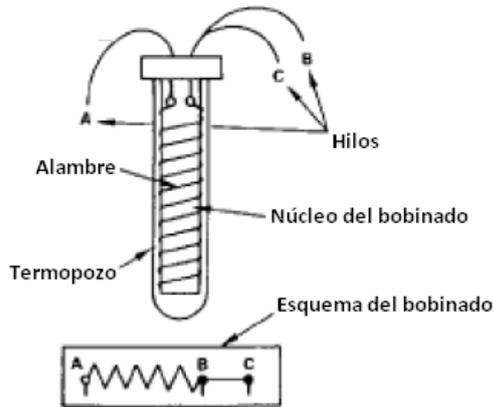


Figura 2. 12. Estructura interna RTD.

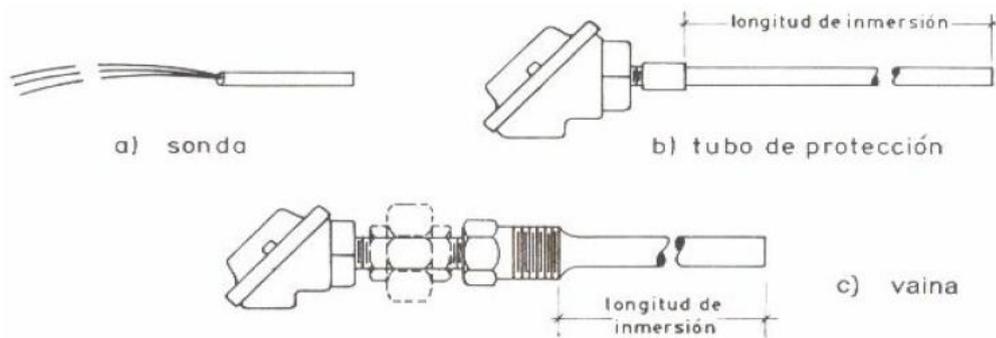


Figura 2. 13. Abajo: componentes RTD

El material que forma el conductor se caracteriza por el denominado coeficiente de temperatura de resistencia, el cual es un valor que expresa la variación de resistencia en ohmios por cada grado que cambia la temperatura de algún objeto, a determinada temperatura.

La resistencia y la temperatura en un RTD están relacionadas mediante

$$R_t = R_0 * (1 + \alpha * t)$$

Donde:

$R_0 \rightarrow$ Resistencia en ohmios a 0 °C.

$R_t \rightarrow$ Resistencia en ohmios a t °C.

$\alpha \rightarrow$ Coeficiente de temperatura de la resistencia

Un RTD está hecho comúnmente de platino o níquel. Los RTD de platino presentan como ventaja que tiene gran estabilidad y precisión, aunque también presentan un precio considerablemente alto. Los RTD de níquel en cambio tienen un costo bajo, aunque no son lineales en todo su rango, y presentan variaciones en los lotes de fabricación.

La Tabla 2. 1 describe de forma más explícita las características de los distintos tipos de RTDs existentes.

Metal	Platino	Níquel	Cobre
Resistividad [$\mu\Omega/cm$]	983	638	156
Coeficiente temperatura [oC]	0.00385	0.063 a 0.0066	0.00425
Intervalo útil temperatura [oC]	-200 a 950	-150 a 300	-200 a 120
Diámetro mínimo del hilo [mm]	0.05	---	---
Resistencia sonda a 0 oC [Ω]	25,100,130,500,1000	100	10
Precisión [oC]	0.01	0.5	0.1

Tabla 2. 1. Tipos de RTDs y características

2.5.2. Medición de presión por medios eléctricos

El Sistema Internacional define a la presión como “La fuerza perpendicular aplicada sobre una unidad de superficie”. La unidad SI de la presión es el Pascal (Pa), aunque existen otras unidades como bares, atmósferas, kg/cm^2 (psi), cuya relación se muestra en la Tabla 2. 2. Industrialmente son comunes el bar y psi.

	Kg/cm²	psi	atm	bar	Pa
Kg/cm²	1	14.22	0.9678	0.98067	98100
psi	0.0703	1	0.06804	0.06895	7142
atm	1.0332	14.696	1	1.01325	1.01x10 ⁵
bar	1.0197	14.503	0.98692	1	1000
Pa	0.102x10 ⁻⁴	0.0001	0.987x10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	1

Tabla 2. 2. Conversión entre unidades de presión

La presión puede medirse en valores absolutos o diferenciales. La *presión absoluta* se mide con relación al cero absoluto de presión. En cuanto a las presiones diferenciales se tiene a la *presión atmosférica* que es la presión ejercida por la atmósfera terrestre y es igual a 14,7 psi; la *presión relativa*, que es la diferencia entre la presión absoluta y la presión atmosférica; y de forma general, la *presión diferencial* es la diferencia de presiones entre dos puntos. Adicionalmente, se dice que existe *vacío* cuando se obtiene una medida de presión diferencial inferior a la presión atmosférica.

La medición de presión se puede lograr a través de medios mecánicos y eléctricos, siendo los últimos sobre los cuales recae el interés de estudio.

Los elementos electrónicos de medición combinan algún elemento mecánico elástico, combinado con un transductor electrónico que genera la señal eléctrica correspondiente. Dentro de estos elementos electrónicos para medición de presión se hallan los medidores resistivos, magnéticos, capacitivos, extensiométricos y piezoeléctricos.

Por su robustez y amplio rango de medición, los sensores extensiométricos son los más comunes para la medición de presión.

2.5.2.1. Sensor extensiométrico de presión

Este medidor (NATIONAL INSTRUMENTS, 2003) basa su funcionamiento en la variación de la longitud y diámetro de un conductor, y por ende de su resistencia que se produce cuando un hilo de resistencia se halla sometido a una acción mecánica por acción de una presión, conocido como galga extensiométrica. La Figura 2. 14 indica el símbolo eléctrico de una galga. Existen dos tipo de galgas

extensiométricas: cementadas, en las que el hilo resistivo se halla pegado a una hoja de cerámica, papel o plástico; y sin cementar, en las que el hilo resistivo descansa sobre una armazón fijo y otro móvil bajo una ligera tensión inicial.

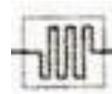


Figura 2. 14. Símbolo eléctrico de la galga extensiométrica

Estas galgas están expuestas directamente al proceso del que se desea conocer la presión, como se indica en la Figura 2. 15, izquierda. Sea cual fuera el tipo de galgas utilizado, cuando se aplica una presión el hilo se comprime o estira, modificando su valor de resistencia. Esta resistencia forma parte de un puente de Wheatstone el cual se permite tratar la señal por medios electrónicos, tal como se presenta en la derecha Figura 2. 15, derecha.

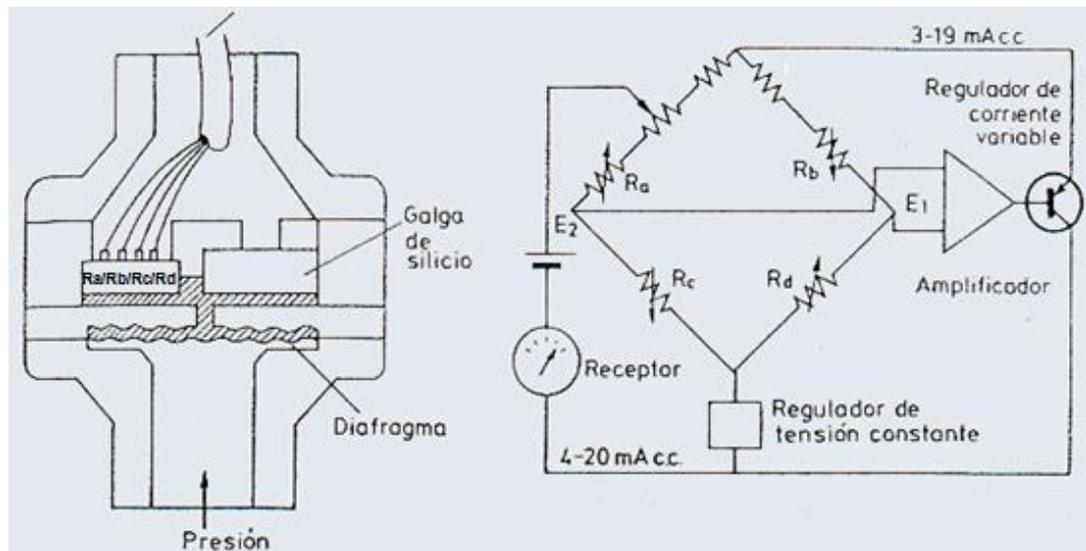


Figura 2. 15. Medidor extensiométrico de presión.

El intervalo de medida de estos instrumentos (Zapata, 2013) es relativamente amplio, de 0.6 a 10000 bares, y una precisión de $\pm 0.5\%$.

2.5.3. Medición de nivel por medios eléctricos

La medida de nivel en entornos industriales es muy importante, ya que permite conocer la cantidad de materia disponible para un proceso, o también para asegurar el buen funcionamiento del mismo (el producto final de una etapa se constituye en materia prima para la siguiente).

Los medios mecánicos de inspección directa fueron (y en algunos caso, siguen siendo) una propuesta recurrente para la medición de nivel. Sin embargo, exponen al operario a eventuales condiciones de peligro en el trabajo, aparte de que la inspección por parte de operarios añade error humano ante cualquier intento de registro. La utilización de medios electrónicos para la estimación de niveles permite corregir errores de falsas alarmas debido a la agitación o consistencia física del sólido o líquido contenido en el recipiente.

La medición de nivel puede realizarse de forma continua o discreta. La más común entre estas dos es la discreta, y se refiere a la asignación, a criterio del diseñador de determinados niveles: alto – alto, alto, medio, bajo y bajo - bajo (no necesariamente todos) aunque el registro de un valor numérico resultante es inviable. Si lo que se desea es el registro de cifras numéricas, entonces se debe recurrir a métodos de medición de nivel de tipo continuo.

Se dispone de varias opciones para la medición de nivel de un sólido o un líquido, entre las que se cuentan a los sensores de fin de carrera, encoder, resistivo,

capacitivo, ultrasónico y de radiación. Para un registro continuo de nivel, con un mínimo de invasión del proceso, el sensor ultrasónico es el método por excelencia.

2.5.3.1. Medición ultrasónica de nivel

El método de medición de nivel por ultrasonido está basado en la emisión y reflejo de un eco ultrasónico. El retardo de la captación del eco depende del nivel del tanque. Conociendo la velocidad del eco ultrasónico, se puede estimar entonces la distancia, que para los propósitos actuales, se constituye en la profundidad que se desea conocer. Los sensores trabajan a una frecuencia de unos 20KHz. En la Figura 2. 16 se observan el principio de los medidores ultrasónicos de nivel.

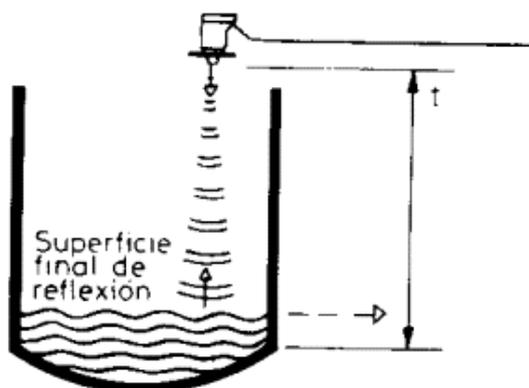


Figura 2. 16. Sensor ultrasónico de nivel

Este tipo de medidores son adecuados para todo tipo de tanques, y de líquidos o fangos, pudiendo incluso implementarse sistemas a prueba de explosión. Presenta el inconveniente de arrojar lecturas erróneas cuando la superficie del nivel del líquido no es nítida, como es el caso de líquidos con espuma, pues se producen falsos ecos de los ultrasonidos.

2.6. Transmisores electrónicos industriales

Una vez que el sensor ha medido la variable de proceso de interés, es necesario transmitir esta señal al controlador, que puede estar tan cerca como al pie de la máquina, o tan lejos, como la sala de control en otro hangar distante. Es necesario lograr que esta señal llegue al punto de destino.

Antiguamente se usaba una señal neumática para transmitir esta información, aunque paulatinamente ha desaparecido esta técnica, en detrimento de la transmisión de señales por cables de cobre. Dentro de los cables de cobre se tienen al par trenzado y al cable coaxial. Adicionalmente se cuenta a la fibra óptica, dejando de lado su costo y cierta dificultad de instalación.

La Tabla 2. 3 muestra los sistemas de transmisión comúnmente usados en la industria.

		Tipo	
Medio	ON - OFF	Analógico	
	120 VAC	-10 a 10 VDC	
Electricidad	24VDC	0 a 10 VDC	
	48VDC	1 a 5 VDC,	
	110 VDC	4 a 20 mA	
		10 a 50 mA	
Neumático	25 psi	3 a 15 psi	
	35 psi	6 a 30 psi	
	100 psi		
Hidráulico	3000 psi	0 a 3000 psi	

Tabla 2. 3. Sistemas típicos de transmisión

Resulta evidente que no se puede considerar el uso de la salida del sensor como señal directa de un controlador, debido a problemas con el ruido asociado, debilidad de la señal, etc. Normalmente se requiere un acondicionamiento de la señal bajo la forma de un transmisor, para asistir en la transmisión de la información.

Un transmisor electrónico es un dispositivo que contiene circuitos especializados que pueden aceptar señales provenientes de los sensores en términos de milivoltios, voltios o frecuencia en Hz, y las convierte en señales eléctricas de tipo analógico (ver Tabla 2. 3). La señal más común que envía un transmisor es la de 4 – 20 mA, debido a que es más inmune al ruido, y no presenta los problemas de atenuación de las señales de voltaje. Un diagrama típico de bloques de un transmisor electrónico se muestra en la Figura 2. 17.

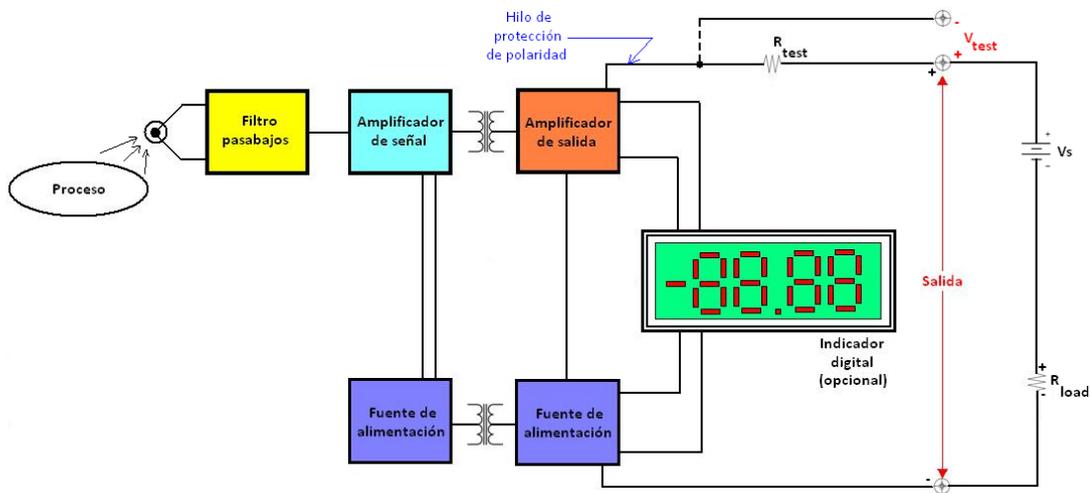


Figura 2. 17. Diagrama de bloques de un transmisor electrónico

En el diagrama se observa que la señal del sensor es receptada por el transmisor y enviada a través de un filtro pasabajos hacia un amplificador de señal, el cual es un circuito que contiene varios amplificadores operacionales para la linealización, referencias de cero y ajuste de span. Luego la señal es enviada a un transformador de aislamiento y de ahí hacia un amplificador de salida, el cual acondiciona la señal en el rango requerido de 4 a 20 mA. La sección de salida del transmisor es alimentada externamente por una fuente de voltaje (usualmente 12 – 24 VDC). Se debe notar que debido a que la señal de salida de este tipo de transmisor es de 4 a 20 mA, la

sección de salida forma un circuito serie con la fuente externa (V_s) y con el dispositivo que acepta la señal, identificado por R_{load} .

Existen dos tipos generales de transmisores, los de 2 hilos y los de 4 hilos. En el sistema a 2 hilos, la corriente que alimenta al acondicionador / transmisor también lleva la señal, como se observa en la Figura 2. 18 (Villajulca, 2013). En el sistema a 4 hilos se tiene conductores separados para la alimentación, lo que se ilustra en la Figura 2. 19 (Villajulca, 2013).

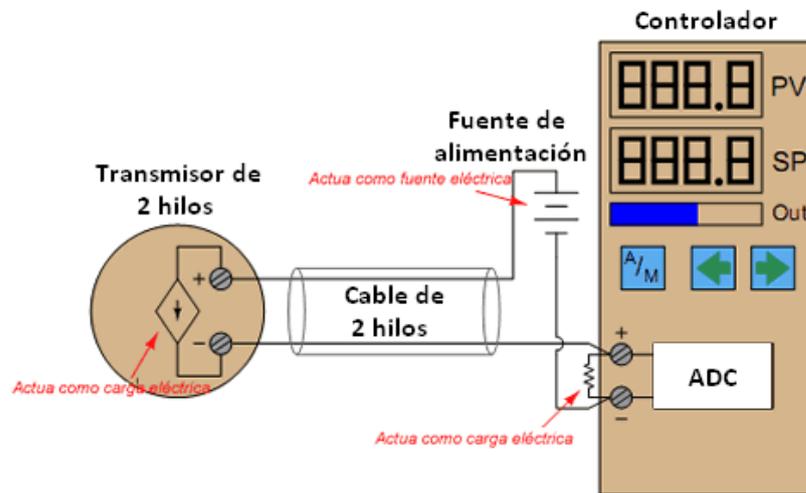


Figura 2. 18. Transmisor a 2 hilos

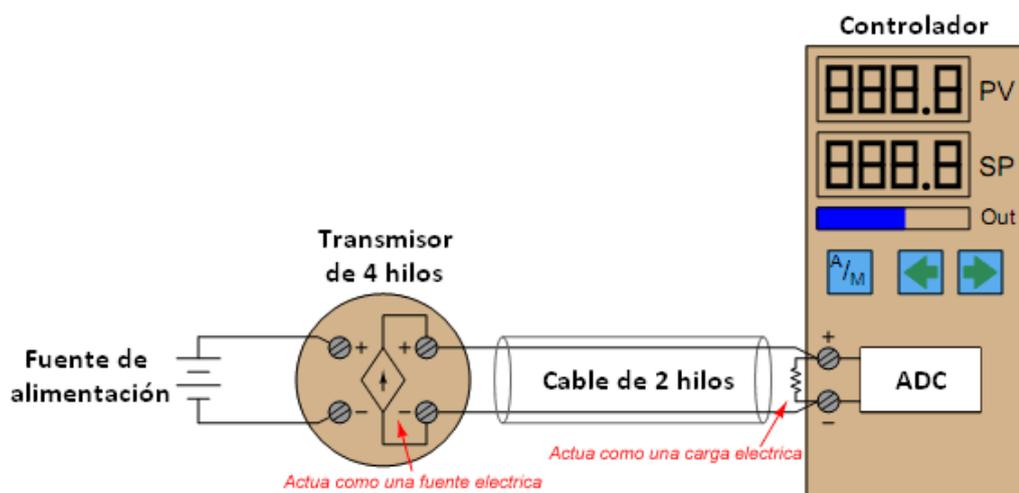


Figura 2. 19. Transmisor a 4 hilos

A pesar de que la señal de corriente teóricamente puede viajar en un circuito de extensión infinita (ya que los conductores y la carga siempre se hallan conectados en serie, y la corriente en el circuito serie siempre será la misma), en la práctica no se recomienda que la distancia sea mayor a 400 metros (ECOPETROL, 2006).

CAPÍTULO 3

INGENIERÍA BÁSICA

3.1. Estado actual de los equipos

Para iniciar el proceso de diseño del presente proyecto, es preciso conocer las condiciones técnicas y de desempeño de los equipos que funcionan actualmente. Básicamente, cuanta más información se recopila acerca de un determinado proceso, más fácilmente se lo puede reparar y modificar. Es por ello que describirán a continuación los sistemas sobre los cuales se deberán implementar los equipos.

3.1.1. Sistema de enfriamiento de agua: Bancos de hielo

Pasteurizadora “El Ranchito” cuenta con 5 bancos de hielo para el enfriamiento de agua, que se usan de forma primaria en el proceso de pasteurización de la leche. La Tabla 3. 1 muestra un resumen de las características eléctricas de las unidades condensadoras que cada banco de hielo posee.

Banco de Hielo #	1	2	3	4	5
No. de unidades del que está formado	4	2	2	1	1
Potencia consumida (hp)	8	4	4	2	2
Alimentación	400V, 3 ϕ				

Tabla 3. 1. Resumen de características eléctricas de los bancos de hielo

El banco de hielo # 1, con una capacidad de 67 metros cúbicos, está formado por 4 unidades condensadoras COPELAND modelo D8AJ-020-TAD-100. Este banco de hielo es mostrado en la Figura 3. 1.



Figura 3. 1. Banco de Hielo # 1

El banco de hielo # 2, con una capacidad de 32 metros cúbicos, está formado por dos unidades condensadoras: una de ellas es de marca COPELAND modelo D8AJ-020-TAD-100; y la otra es de marca DANFOSS modelo UGM 0200RWF000R. Se la muestra en la Figura 3. 2.



Figura 3. 2. Banco de Hielo # 2

El banco de hielo 3, con una capacidad de 20 metros cúbicos, está formado por 2 unidades condensadoras COPELAND modelo D8AJ-020-TAD-100, y se muestra en la Figura 3. 3.



Figura 3. 3. Banco de Hielo # 3

El banco de hielo 4, con una capacidad de 20 metros cúbicos, está formado por 1 unidad condensadora COPELAND modelo C7AB-0200-CAB-100, y se muestra en la Figura 3. 4.



Figura 3. 4. Banco de Hielo # 4

Finalmente, el banco de hielo 5, con una capacidad de 14 metros cúbicos, está formado por 1 unidad condensadora COPELAND modelo C7AB-0200-CAB-100, y se muestra en la Figura 3. 5.



Figura 3. 5. Banco de Hielo # 5

Todas las bombas que utilizan los bancos de hielo mencionados, son de marca SIEMENS, y reúnen las características indicadas en la Figura 3. 6.

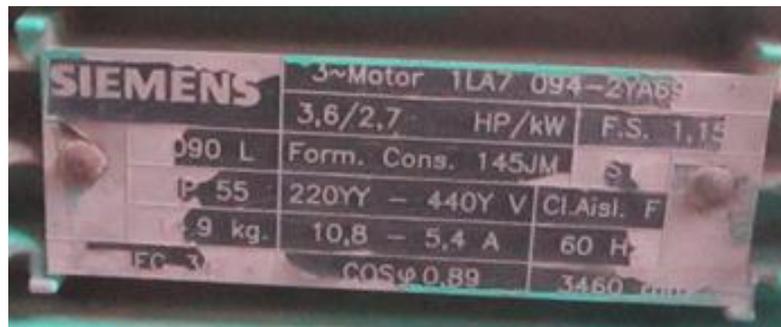


Figura 3. 6. Placa de los motores de las bombas de los bancos de hielo

3.1.2. Sistema de generación de vapor de agua: Calderos pirotubulares

Pasteurizadora “El Ranchito” para cubrir sus requerimientos de calentamiento en sus procesos tiene en sus instalaciones dos generadores de vapor de tipo caldero pirotubular, con una potencia de 100 HP y 250 HP cada uno.

Para suplir la demanda de vapor que actualmente requiere la planta se mantienen encendidos los dos calderos, de tal forma que trabajan conjuntamente absorbiendo toda la carga. La presión promedio de operación es de 100 PSI cada uno.

El sistema de generación de vapor incluye también los siguientes equipos:

- Sistema de ablandamiento de agua para abastecimiento de las calderas.
- Tanque de condensado.
- Tanque de combustible para consumo diario.
- Bombas de alimentación de agua.
- Bombas de suministro de combustible.
- Sistema de aire para atomización.

3.1.2.1. Sistemas de ablandamiento de agua

La dureza en el agua se genera como consecuencia de la presencia de ciertas sales en el agua. Los iones presentes en un agua dura son Calcio, Magnesio y bicarbonatos. Estos iones o minerales son los causantes de la formación de depósitos en las tuberías y demás equipos utilizados en los sistemas de agua potable y de agua de proceso (LENNTECH, 2013).

Las unidades ablandadoras ofrecen una solución para el ablandamiento del agua dura y eliminación de dichos depósitos. El sistema de ablandamiento de agua usado en Pasteurizadora “El Ranchito” se muestra en la Figura 3. 7.

Los fines principales perseguidos con el tratamiento del agua de alimentación son los siguientes:

- Quitar las materias solubles y en suspensión.
- Eliminación de los gases.
- Reducir los niveles de dureza de minerales, calcio y cal.
- Evitar la formación de incrustaciones sobre las superficies de calentamiento del agua, y la corrosión en tuberías.



Figura 3. 7. Sistema de ablandamiento de agua.

El sistema de generación de vapor en la planta de “El Ranchito” cuenta con un equipo de ablandamiento de aguas para el abastecimiento a las calderas, el tratamiento que se da consiste en filtrar el agua para después tratarla químicamente con lo cual disminuimos su dureza.

3.1.2.2. Tanque de condensado y sistema de alimentación de agua

El tanque de condensado es un cuerpo de forma cilíndrica soportado sobre una estructura bajo o junto a la cual se encuentra la motobomba de alimentación de la caldera; adicionalmente a recibir el agua suavizada a través de una válvula denominada flotadora, recibe condensados resultantes del vapor que surte la caldera a los intercambiadores de calor, lo que permite un gran ahorro en el consumo de agua, tratamientos químicos y un significativo ahorro de combustible.

Uno de los factores principales para la operación óptima de una caldera es el de contar con un sistema de suministro de agua el cual sea adecuado para cada caso en particular. Esto es debido a que es indispensable mantener un nivel de agua constante en el interior de la caldera para que no ocurra un siniestro o falla de alguna de sus partes.

Todo sistema efectivo de alimentación de agua a calderas debe contar con:

- Reserva mínima de agua (tanque de almacenamiento)
- Equipo de bombeo
- Control de sistema

La cantidad de agua que se alimenta a una caldera es prácticamente la cantidad de vapor que se produce, por lo tanto la reserva de agua necesaria va en proporción a la capacidad de la caldera. Un criterio recomendable para obtener la cantidad de agua de reserva y la capacidad del tanque es el de almacenar una cantidad mínima de agua suficiente para sostener la evaporación de la caldera por lo menos durante 20 minutos.

El tanque de condensado existente en Pasteurizadora “El Ranchito” se muestra en la Figura 3. 8.



Figura 3. 8. Tanque de condensado.

3.1.2.3. Sistema de alimentación de combustible

El almacenamiento de combustible líquido, generalmente se hace en tanques cilíndricos, los cuales están al nivel del piso o por debajo de él. Los tanques deben contar con registros pasa-hombre para limpieza y mantenimiento, así como también con los acoples necesarios para llenado, ventilación, medición, extracción, retorno y purga. Cuando los tanques son subterráneos, es conveniente acondicionar el lugar para inspecciones periódicas.

Las dimensiones de las líneas de diésel son de gran importancia para el buen funcionamiento de una caldera. Se debe tener particular cuidado en las dimensiones de la línea de succión desde el tanque de almacenamiento a la bomba así como la ubicación adecuada de la bomba de combustible.

El tanque de almacenamiento de diésel existente en Pasteurizadora “El Ranchito” se muestra en la Figura 3. 9.



Figura 3. 9. Tanque de Diésel.

3.1.3. Instrumentación

Los operarios de Pasteurizadora “El Ranchito” han tomado medidas desde hace tiempo en indicadores ubicados a pie de máquina. Las magnitudes de interés son temperatura, presión y nivel, como se indica en las siguientes líneas.

3.1.3.1. Temperatura (Bancos de hielo)

Los indicadores que se utilizan actualmente son de tipo digital, y están ubicados localmente. El montaje actual de este equipo se indica en la Figura 3. 10.



Figura 3. 10. Indicador de temperatura para los bancos de hielo

En la Figura 3. 11 se muestra el detalle del controlador – indicador de temperatura FULL GAUGE modelo MT-512i, usado en los tableros de todos los bancos de hielo. Este dispositivo está diseñado precisamente para tareas de refrigeración con deshielo natural por parada del compresor (en la unidad condensadora) activando o desactivando un contacto interno normalmente abierto. Este equipo carece de capacidad de conectarse a una red de instrumentación inteligente.



Figura 3. 11. Controlador – Indicador de temperatura MT-512i

3.1.3.2. Nivel (Tanques de Diésel)

Al interior del área de calderos, se cuentan con dos tanques de diésel, que alimentan a las dos calderas existentes respectivamente. Uno de ellos está montado en la superficie (Figura 3. 12) y el otro en un subsuelo construido específicamente para este tanque. Para la medición de nivel de diésel, tanto del tanque en la superficie como del subsuelo, se utilizan indicadores de nivel tubular, contruidos artesanalmente por personal de la empresa. Estos componentes se resaltan en rojo.



Figura 3. 12. Tanque de diésel, e indicador de nivel

Un indicador de nivel tubular consta de dos perforaciones (fondo y tope del tanque) conectadas a través de un tubo de vidrio o plástico. El líquido ascenderá a través de la perforación inferior hasta alcanzar el nivel actual del tanque, al interior del recipiente.

El problema que presenta este indicador, es que siendo de elaboración artesanal, no es perfectamente vertical, lo que provoca medidas aproximadas aunque no exactas del nivel de diésel. Por otro lado se tiene el error debido al menisco que se forma al interior del tubo. Siendo un sistema netamente mecánico, tampoco se puede integrar a una red de sensores.

3.1.3.3.Presión (Manómetros de los Calderos)

A pesar de que los calderos cuentan con válvulas de seguridad que garantizan la ausencia de explosiones, conocer la presión al interior del caldero asegura el funcionamiento dentro de valores nominales. Ambos calderos poseen indicadores para la presión de tipo tubo de Bourdon con relleno de glicerina, montados localmente. La condición actual de estos equipos se muestra en la Figura 3. 13.



Figura 3. 13. Estado actual de los medidores de presión.

Los manómetros de tubo de Bourdon consisten internamente de un anillo metálico casi completo, cerrado por un extremo sobre el cual incide la presión del proceso que se desea medir; al aumentar la presión en el interior del tubo, éste tiende a enderezarse y el movimiento es transmitido a la aguja indicadora. La Figura 3. 14 indica la parte interna de uno de estos manómetros.

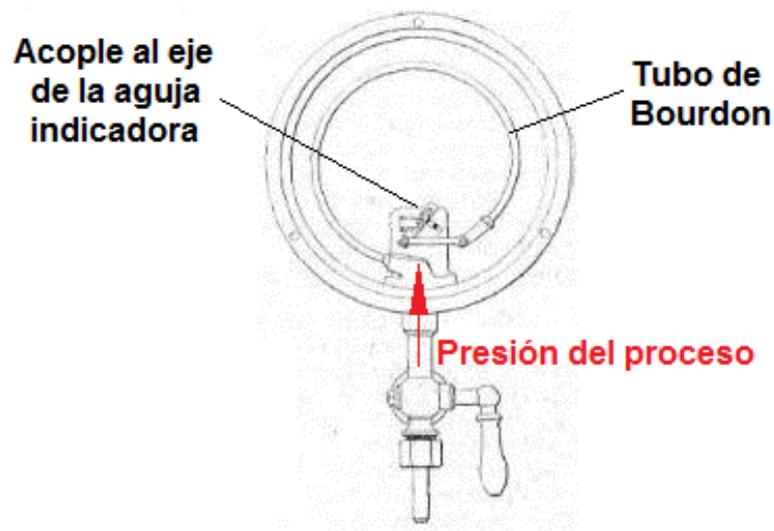


Figura 3. 14. Interior de un manómetro de tubo de Bourdon

3.1.4. Accionamiento (Válvula de Torre de Enfriamiento)

Tras la adquisición de los bancos de hielo en la empresa, la torre de enfriamiento es usada únicamente de forma emergente. No obstante, su funcionamiento exige una purga constante, dado que el diseño de la torre actualmente instalada no contempla un orificio rebosadero. La purga se realiza a través de una válvula de media vuelta (Figura 3. 15) de 2 pulgadas, que se abre en su totalidad durante 20 segundos, cada ocho horas.



Figura 3. 15. Válvula para la purga de la torre de enfriamiento

3.2. Componentes requeridos

Para el diseño del sistema de monitorización y automatización en la planta de producción, se debe procurar que los sistemas a diseñar presenten ventajas sobre los sistemas existentes.

Es preciso analizar los requerimientos de cada proceso del proyecto para listar los materiales a utilizar.

3.2.1. Elemento de control

Primero se analiza al elemento que realizará la adquisición de datos, y las acciones de control necesarias. El sistema se implementará en un entorno industrial, donde la funcionalidad debe ser inmediata (una vez instalado el sistema). Además, el controlador debe permitir tanto la adquisición de datos de los procesos que se desean monitorizar, así como la salida de datos, que inciden sobre los elementos de

accionamiento de los procesos a controlar. Dado que se tienen tanto entradas como salidas de datos, y por versatilidad y posibilidad de integración, se escoge como controlador a un PLC (Controlador Lógico Programable).

Se deben adquirir las señales provenientes de la temperatura de 5 bancos de hielo, presión de dos calderos y nivel de dos tanques. Se tratan en total de 9 señales. La activación de la válvula de purga implica la existencia de una salida discreta. En resumen, las características mínimas que debe reunir el PLC son:

- 9 entradas analógicas
- 1 salida discreta
- Voltaje de alimentación de 24 VDC
- Comunicación Industrial Ethernet (exigencia de la empresa)
- Expansibilidad flexible.

3.2.2. Elemento de monitorización

Los resultados se presentarán en primer piso del Área de Mantenimiento de la empresa, que para propósitos posteriores se conocerá como SALA DE CONTROL. Diariamente, el operario a cargo se dirige al computador ubicado en SALA DE CONTROL, a revisar su itinerario de actividades para ese día, asignada desde Gerencia a través de correo electrónico. Esto convierte a este lugar en el indicado para ubicar el componente de monitorización, ya que constantemente está siendo visitado por el personal.

Para la monitorización de varios procesos, una pantalla con una resolución adecuada es necesaria. Se presentan como opciones al panel de toque y al propio monitor de computador. Este último aventaja al primero en que es más revisado por

los operarios, y por ser un equipo ya existente, no degenera en gastos adicionales. Se debe asegurar no obstante, que el monitor disponga de las siguientes características:

- Resolución VGA.
- Tamaño mínimo de la pantalla 15'' a color.
- Posibilidad de conexión a red Ethernet.

3.2.3. Sensado y transmisión de señales desde los procesos

Se había indicado que los procesos se hallan distantes de SALA DE CONTROL. Se debe tener en cuenta este aspecto para posteriores apreciaciones.

3.2.3.1. Temperatura de bancos de hielo

Los indicadores existentes en bancos de hielo se encuentran en buen estado. No se los reemplazará. Los sensores que usan estos indicadores son RTD de tipo PT100, que presentan gran estabilidad para este tipo de procesos a baja temperatura (rondando los 0 °C). Por esta razón, para el sistema a implementarse también se usarán RTD de tipo PT100, que reúnan los siguientes requisitos mínimos:

- Rango de medición de -20°C a 15°C.
- Sumergible (las instalaciones actuales no permiten otro tipo de montaje).
- Conexión a 3 hilos.
- Fáciles de acoplar a transmisores de temperatura.

Y el hecho de que se recurra a transmisores de temperatura es debido a la considerable distancia existente entre bancos de hielo y SALA DE CONTROL,

aproximadamente 200 metros. Los transmisores de temperatura deben reunir los siguientes requisitos mínimos:

- Conexión a 3 hilos de sensor RTD
- Salida a 2 hilos de 4 a 20 mA.
- Apto para riel DIN.
- Voltaje de alimentación de 24VDC.

3.2.3.2.Nivel de tanques de diésel

La medición continua de nivel ha mejorado sustancialmente debido a la existencia de componentes que en un solo encapsulado integran la circuitería electrónica relacionada con el sistema de sensado, y el transmisor. Se reemplazará el actual método de medición de nivel de los tanques de diésel, con un transmisor que debe reunir los siguientes requisitos mínimos:

- Indicador local.
- Tipo Ultrasónico (para minimizar las modificaciones mecánicas al tanque
- Máxima profundidad de 2 metros.
- Salida a 2 hilos de 4 a 20 mA.
- Voltaje de alimentación de 24VDC.

3.2.3.3.Presión de calderos

Actualmente, el sensor y transmisor de presión vienen integrados dentro de un mismo encapsulado. La medición de presión a través de galgas extensiométricas es recurrente para este tipo de dispositivos. Idénticamente, el área de calderos se halla

alejada de SALA DE CONTROL. Se reemplazarán los actuales indicadores por un transmisor de presión, que deberá reunir los siguientes requisitos mínimos:

- Indicador local
- Rango de 0 a 250 psi
- Salida a 2 hilos de 4 a 20 mA.
- Voltaje de alimentación de 24VDC.

3.2.4. Purga de Torre de enfriamiento

La válvula solenoide que se use para la purga automática de la torre de enfriamiento habrá de cumplir con los siguientes requisitos mínimos:

- Normalmente cerrada.
- 2 posiciones (totalmente abierta y totalmente cerrada).
- Accionamiento independiente de la presión diferencial.
- Rango de presión de operación de 0 a 5 bares.
- 2 pulgadas de diámetro externo.
- Hierro Galvanizado (HG).

Existen algunas válvulas solenoide en bodega, que deben garantizar el cumplimiento de las características mencionadas.

3.2.5. Otros componentes

La característica recurrente de 24 VDC como alimentación de los equipos es porque se cuentan con fuentes con este voltaje de salida en Bodega de Insumos, y los elementos de activación de cargas de potencia, relés, también están disponibles.

De forma general, la gama de relés presentan las siguientes características:

- Voltaje de alimentación de 24VDC.
- De 2 y 3 contactos normalmente abiertos y normalmente cerrados c/u.

Y las fuentes de alimentación presentan las siguientes características:

- Voltaje de alimentación de 100 a 220 VAC, 60 Hz.
- Voltaje de salida de 24VDC.
- Corriente de salida de 1 a 10A.

3.3. Diagrama de bloques del hardware del sistema

En la Figura 3. 16 se muestra como está estructurado el sistema de automatización y monitorización de los procesos de generación para un funcionamiento en lazo cerrado.

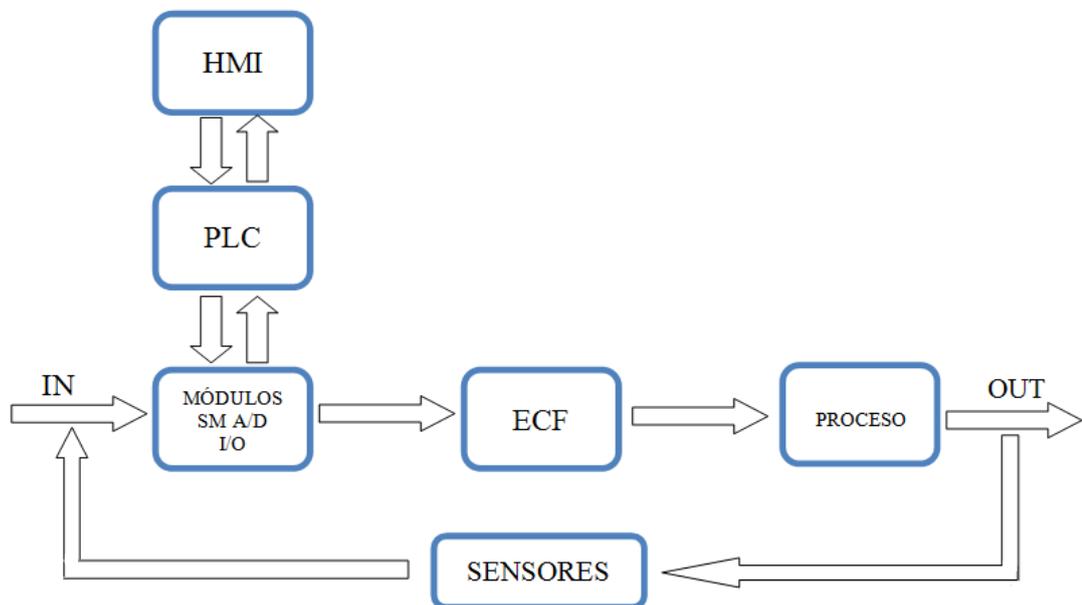


Figura 3. 16. Diagrama de bloques del Hardware del sistema.

Donde:

HMI: Representa la Interfaz Humano Máquina, en donde se puede configurar, controlar y visualizar el funcionamiento del sistema.

PLC: Controlador Lógico Programable, permite el control de todo el proceso.

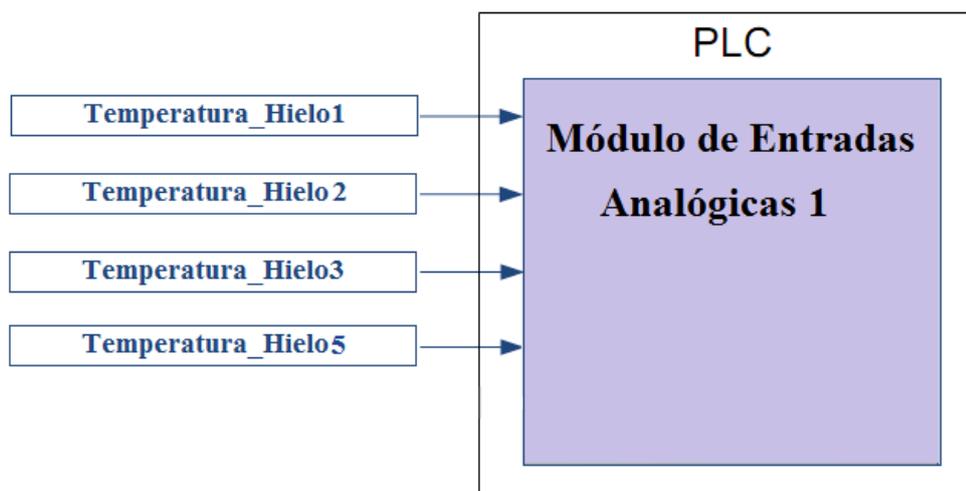
SM: Son los módulos de expansión de entradas y salidas digitales/analógicas que proporcionan el vínculo entre la CPU del controlador y los dispositivos de campo del sistema.

ECF: Elementos de control final (Electroválvula), que son dispositivos que se abren o cierran dependiendo de la variación de voltaje de alimentación suministrado.

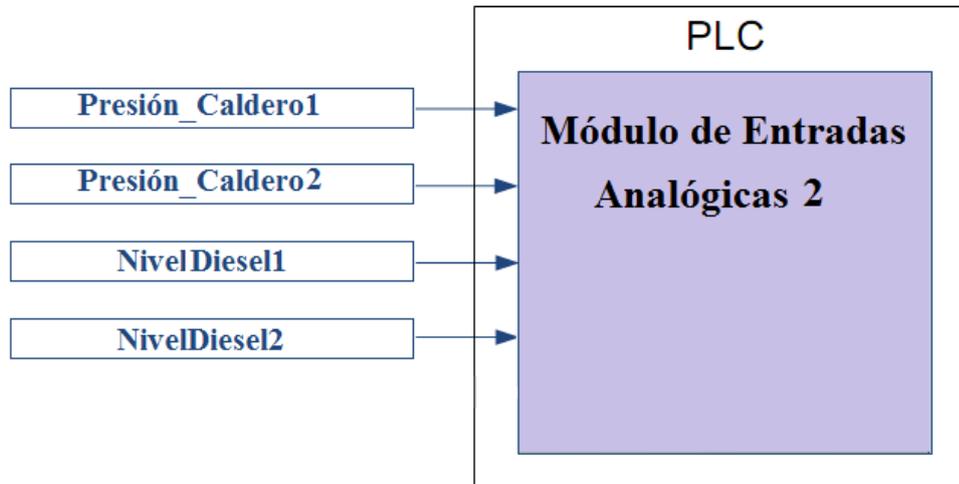
SENSOR: Dispositivo que permite medir una variable física que junto a un transductor se convierte en una señal eléctrica para que puedan ser interpretadas por el controlador.

3.4. Diagrama de bloques del PLC

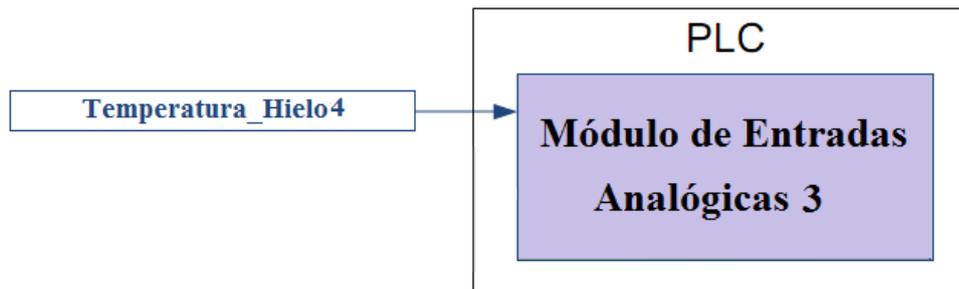
La Figura 3. 17, compuesta por los diagramas de bloques a), b) y c), representan todas las entradas que van a ir conectadas en el PLC. La Figura 3. 18 por su parte, representa las salidas que van a ir conectadas en el PLC.



a) Módulo de entradas analógicas 1



b) Módulo de entradas analógicas 2



c) Módulo de entradas analógicas 3

Figura 3. 17. Diagrama de bloques de Entradas analógicas.

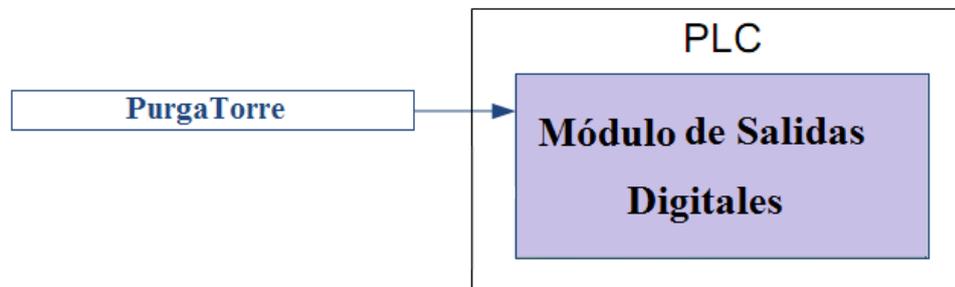


Figura 3. 18. Diagrama de bloques de Salidas Digitales.

3.5. Diagrama de comunicación

Las redes están integradas por diversos componentes que trabajan juntos para crear un sistema funcional. Los componentes de red son fabricados por lo general por varias compañías, por lo que es necesario que exista entendimiento y comunicación entre los fabricantes en relación con la manera en que cada componente trabaja e interactúa con los demás componentes de la red.

Los protocolos TCP/IP se utilizan para establecer comunicación entre diferentes nodos en un entorno heterogéneo y definen los formatos y normas utilizados en la transmisión y recepción de información. En este apartado se hablará del estándar Ethernet.

3.5.1. Comunicación Industrial Ethernet

En el sector industrial, las transmisiones de datos se han basado tradicionalmente en la tecnología de bus de campo. Existen muchos tipos y estándares diferentes, por lo que la interoperabilidad resulta complicada y costosa; esta es la razón principal por la que se empezó a considerar la posibilidad de utilizar la tecnología Ethernet en las aplicaciones industriales. Este estándar presenta otras ventajas adicionales:

Fiabilidad: Es un estándar abierto bien definido, lo que significa que la interoperabilidad es más sencilla y los componentes se pueden obtener de múltiples fuentes. Las redes Ethernet son abiertas y transparentes.

Velocidad: A las velocidades de transmisión de 10 Mbits/s y 100 Mbits/s se han sumado en los últimos tiempos soluciones en el orden de los Gbits/s. En cambio, los protocolos de bus de campo más rápidos trabajan a 12 Mbits/s, y la mayoría lo hacen a menos de 2 Mbits/s.

Determinismo: Ya existen protocolos que organizan los datos según su prioridad lo que hace de Ethernet una tecnología casi determinista.

Para manejar la comunicación entre el PLC y la PC, en este proyecto se ha optado por la comunicación Ethernet, que idealmente se representa en la Figura 3.

19.

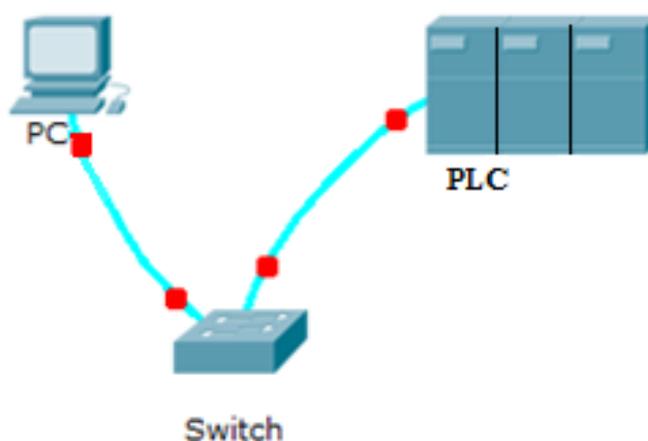


Figura 3. 19. Comunicación Ethernet.

3.5.2. Estructura propuesta

Al pasar a la práctica, se deben tomar en cuenta el resto de componentes de integrantes del sistema: sensores, transmisores y accionadores.

Los componentes conectados al PLC enviarán datos que luego serán reportados al PC a través de la red Ethernet. Idénticamente, desde el computador y de de ser el caso, se enviará a través de Ethernet el comando hacia el PLC, para activar al actuador, no directamente, sino adaptando la señal del PLC (en este caso, a través de un relé).

La conexión indicada se detalla en la Figura 3. 20.

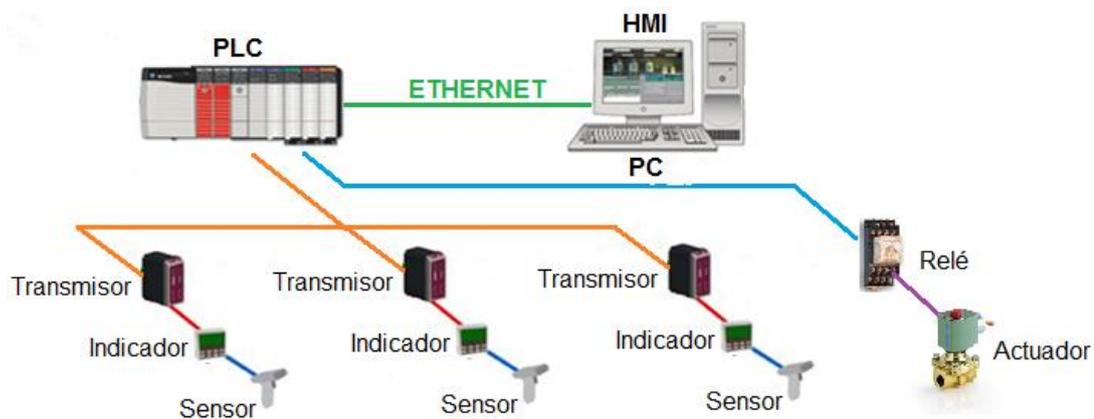


Figura 3. 20. Diagrama de Comunicación.

3.5.3. Medio físico

Un cable Ethernet es un tipo de cable usado normalmente para conectar dispositivos informáticos y red, como pueden ser ordenadores, routers, switches, etc. Muchos PLCs se pueden también conectar a esta red si disponen del módulo y/o conector adecuado. Se puede decir que el cable Ethernet más común y popular es el cable cruzado. Un cable Ethernet corriente, UTP de categoría 5, dispone de 4 pares de hilos y suele venir con una malla metálica que protege los datos contra interferencias. Normalmente la categoría 5 es para velocidades de 10/100 Mb, y categoría 5e o 6 para 1000 Mb (gigabit).

Para la comunicación de los diferentes dispositivos de este proyecto se requiere cable Ethernet para su respectiva interacción.



Figura 3. 21. Cable de Ethernet.

CAPÍTULO 4

INGENIERÍA DE DETALLE

La ingeniería de detalle es la encargada de describir cantidades, descripción y ubicación de los elementos de cada proyecto. Cada proyecto requiere de un levantamiento en campo, el cual nos ofrece la información necesaria para determinar cómo se va a realizar cada detalle que hace parte de un sistema a implementar. Así la ingeniería de detalle permite obtener una base de datos de los elementos y costos de ejecución.

4.1. Estructuración del proyecto

La particularidad del sistema que se desea diseñar es que las señales a monitorizar así como los procesos que se controlan, están dispersos geográficamente. Se puede distinguir tres zonas fundamentales:

- La sala de control, denominada como Zona 1;
- El área de bancos de hielo, denominada como Zona 2;
- El área de calderos y tanques de diésel, denominada como Zona 3.

Estas zonas se hallan identificadas en la Figura 1. 2. Dentro de cada zona se ubican varias señales y procesos, como se indica en la Tabla 4. 1.

Zona	Señal / Proceso
1	Control y monitorización del proceso (PLC, PC)
2	Temperatura de bancos de hielo 1, 2, 3, 5; Tanque de agua
3	Temperatura de banco de hielo 4; Presión calderos 1 y 2; Nivel Tanques 1 y 2

Tabla 4. 1. Separación en zonas de los procesos a monitorizar y controlar

Cada zona requiere la instalación de su propio tablero de control, debido a las siguientes razones:

- a) La mayoría de las señales del sistema se tratan de salidas de transmisores electrónicos. Al tratar de enviar la señal de un *sensor* desde los procesos de interés hacia un punto central ubicado a una gran distancia, se tendrían problemas asociados de ruido y distorsión; cosa que no sucede en un *transmisor*.
- b) La alimentación de los equipos trae consigo un problema de índole económica. Considérese por ejemplo, la cantidad de cable que demandaría energizar todos los transmisores del sistema. Al distribuirse al proyecto, simplemente se alimentaría a cada tablero desde el tablero de distribución más cercano, optimizando en material.
- c) Se puede sectorizar al mantenimiento de este sistema. Así por ejemplo, mientras una de las zonas se halla en revisión, las otras dos siguen funcionales.
- d) El sistema puede ser dividido en etapas, tanto para la adquisición de insumos, como para la instalación de los mismos. Esto degenera en un menor tiempo de obra (se puede realizar el proyecto poco a poco), y la inversión paulatina de recursos (no una sola inversión de monto considerable, de forma abrupta).

e) La instalación de tableros separados geográficamente se adapta al modelo distribuido de maquinarias y equipos que Pasteurizadora “El Ranchito” pretende adoptar en un futuro cercano.

Se escoge por lo tanto la distribución de tableros de la manera indicada en la Tabla 4. 2.

Zona	Tablero de control #	Señal / Proceso
1	1	PLC, relés
2	2	Transmisor temperatura para bancos de hielo 1, 2, 3, 5
3	3	Transmisor temperatura para banco de hielo 4, tanques de diésel 1 y 2, calderos 1 y 2

Tabla 4. 2. Zonas en las que se dividirá al proyecto

4.2. Cotización de componentes

En la sección de Ingeniería Básica, “3.2. Componentes requeridos”, se indicó de forma genérica los componentes que se requiere en el proyecto, en base a la condición actual de los equipos y consecuentemente de los equipos que se necesitan reemplazar. Para el proceso de adquisición de equipos, Pasteurizadora “El Ranchito” maneja una política bajo la cual considera al menos tres posibles opciones para un mismo equipo, de manera que se logre un equilibrio entre precios razonables, funcionalidad permanente, y que se cuente con distribuidores (de equipos y refacciones) a nivel nacional.

La cotización que se indica a continuación se halla dividida en dos partes. La primera, indica las opciones disponibles para el PLC, con módulos y componentes adicionales de ser el caso. La segunda parte indica las opciones disponibles de transmisores, para la adquisición de las señales cuya monitorización es de interés.

NO se consideran aparatos de maniobra², indicadores luminosos ni conductores, pues éstos adicionalmente deben ser dimensionados, y se cuenta con un amplio stock de los mismos en Bodegas de Pasteurizadora “El Ranchito”.

4.2.1. Cotización del PLC

Para este punto se realizan tres propuestas, que cumplen con las condiciones de disponibilidad y funcionalidad, mencionadas anteriormente.

La primera propuesta se la realiza con la marca Rockwell Automation (Allen Bradley), indicada en la Tabla 4. 3. El distribuidor autorizado en Ecuador de la línea Rockwell Automation es Almacenes “La Llave” (Sucursal Quito). Los productos listados en esta propuesta estarán disponibles de 6 a 8 semanas en cualquier punto del país; y sí existe soporte en idioma inglés a través de la página oficial de Rockwell Automation, con la posibilidad de descargar un demo del software RSLogix 5000 versión 17 (válido durante 30 días), que sirve para programar los controladores de la línea CompactLogix.

La segunda propuesta se la realiza con la marca Siemens, a través de la empresa ingSAMM (Matriz Quito), indicada en la Tabla 4. 4. Los productos listados en esta propuesta estarán disponibles inmediatamente en cualquier punto del país; y sí existe soporte en idioma español a través de la página oficial de Siemens, con la posibilidad de una descarga del software SIMATIC STEP 7 Professional Versión 12 (válido durante 21 días, tras un registro cuya validación toma alrededor de 2 meses), que sirve para programar el controlador propuesto.

² Los aparatos de maniobra hacen referencia a interruptores, dispositivos de enchufe, arrancadores y elementos eléctricos de protección.

La tercera propuesta se la realiza con la marca china Xinje, a través de la empresa Techdesign (Matriz Quito), indicada en la Tabla 4. 5. Los productos listados en esta propuesta estarán disponibles de 4 a 6 semanas en cualquier punto del país; y no existe más soporte acerca de los equipos que los proporcionados en los manuales adjuntos; tampoco existe la posibilidad de una descarga de software que sirva para programar el controlador propuesto, más que los discos empacados con el propio equipo.

Requerimiento	Propuesta	Precio unitario (USD)	Cantidad	Precio final (USD)
Fuente PLC	1768-PA3	400.09	1	400.09
CPU del PLC	1768-L43	3429.38	1	3429.38
3 entradas de 24 VDC	1769-IQ16F (Módulo de 16 entradas de 24 VDC)	292	1	292
4 salidas de 24 VDC	1769-OB16P (Módulo de 16 salidas de 24 VDC)	380	1	380
9 entradas analógicas de 4 a 20 mA	1769-IF4I (Módulo de 4 entradas analógicas)	854.44	3	2563.32
Módulo Ethernet/IP	1768-ENBT	978.44	1	978.44
Switch compacto	1783-EMS04T	1193	1	1193
TOTAL (USD)				9236.23

Tabla 4. 3. Cotización de PLC en marca Rockwell Automation (Allen Bradley)

Requerimiento	Propuesta	Precio unitario (USD)	Cantidad	Precio final (USD)
Fuente PLC	1768-PA3	98.77	1	98.77
CPU del PLC (adicionalmente: 3 entradas de 24 VDC, 4 salidas de 24 VDC, módulo Industrial Ethernet)	S7-1200 6ES7214-1AG31-0XB0 (CPU incluye conexión Ethernet, 14 entradas de 24 VDC, 10 salidas de 24 VDC)	597	1	597
9 entradas analógicas de 4 a 20 mA	SM 1231 6ES7231-4HF30-0XB0 (8 entradas analógicas)	575	2	1150
Switch compacto	6GK7277-1AA10-0AA0	201	1	201
Conexionado (obligatorio)	Conector RJ45 para Siemens Industrial Ethernet + Cable	10.5	20	210
TOTAL (USD)				2256.77

Tabla 4. 4. Cotización de PLC en marca Siemens

Requerimiento	Propuesta	Precio unitario (USD)	Cantidad	Precio final (USD)
Fuente PLC	Genérica 24 VDC 2.5 A	74.5	1	74.5
CPU del PLC (adicionalmente: 3 entradas de 24 VDC, 4 salidas de 24 VDC)	XC3-24RT (CPU incluye 14 entradas de 24 VDC, 10 salidas a relé)	325	1	325
9 entradas analógicas de 4 a 20 mA	Módulo XC3 de 8 entradas analógicas	405	2	810
Módulo Ethernet	PLC T-BOX	560	1	560
Switch compacto	MOXA de 6 puertos	150	1	150
TOTAL (USD)				1919.5

Tabla 4. 5. Cotización de PLC en marca Xinje

4.2.2. Cotización de los transmisores

Para este punto se realizan tres propuestas, correspondientes a diferentes fabricantes y distribuidores. Las propuestas aquí señaladas cumplen con las condiciones de disponibilidad a nivel nacional, y funcionalidad permanente, mencionadas anteriormente.

La primera propuesta se la realiza con la marca Endress + Hauser, a través de la empresa EUROINSTRUMENTS CIA. LTDA. (Matriz Quito), indicada en la Tabla 4. 6. Los productos listados en esta propuesta estarán disponibles de 6 a 8 semanas en cualquier punto del país, y más información (inglés) en la página oficial de Endress + Hauser.

Requerimiento	Propuesta	Precio unitario (USD)	Cantidad	Precio final (USD)	Programable
Transmisor de temperatura para riel DIN, salida 4 a 20 mA	TMT121	250	5	1250	NO
Transmisor de presión con indicador local, rango 0 a 100 psi, salida 4 a 20 mA	PMP51 (rango 0 a 600 psi)	585	2	1170	SI, Por teclado del instrumento
Transmisor de nivel con indicador local, rango mínimo 3 metros, salida 4 a 20 mA	FMU40 (rango máx. 5 m)	837.5	2	1675	SI, Por teclado del instrumento
RTD tipo PT100, especificación IP68	PT100 (Endress + Hauser)	150	5	750	NO
TOTAL (USD)				4845	

Tabla 4. 6. Cotización de transmisores en marca Endress + Hauser

La segunda propuesta se la realiza utilizando la marca Sick, a través de la empresa Techdesign (Matriz Quito), indicada en la Tabla 4. 7. Los productos listados en esta propuesta estarán disponibles de 4 a 6 semanas en cualquier punto del país, y más información (inglés) en la página oficial de Sick Instruments.

Requerimiento	Propuesta	Precio unitario (USD)	Cantidad	Precio final (USD)	Programable
Transmisor de temperatura para riel DIN, salida 4 a 20 mA	MST665	130	5	650	NO
Transmisor de presión con indicador local, rango 0 a 200 psi, salida 4 a 20 mA	PBS ³ (0 a 160 psi)	505	2	1010	SI, Por teclado del instrumento
Transmisor de nivel con indicador local, rango mínimo 3 metros, salida 4 a 20 mA	UM30-214113 (rango máx. 3.4 m)	1105	2	2210	SI, Por teclado del instrumento
RTD tipo PT100, especificación IP68	PT100 (Genérico)	150	5	750	NO
TOTAL (USD)				4620	

Tabla 4. 7. Cotización de transmisores en marca Sick

La tercera propuesta se la realiza con la marca Brainchild y Wago, a través de la empresa Seinco (Matriz Quito), indicada en la Tabla 4. 8. Los productos listados en esta propuesta estarán disponibles inmediatamente en cualquier punto del país, aunque la única información disponible de éstos son los manuales adjuntos.

³ El modelo completo del transmisor de presión es Sick PBS-RP160SN1SS0D5AOZ.

Requerimiento	Propuesta	Precio unitario (USD)	Cantidad	Precio final (USD)	Programable
Transmisor de temperatura para riel DIN, salida 4 a 20 mA	Brainchild	281.84	5	1409.2	NO
Transmisor de presión con indicador local, rango 0 a 200 psi, salida 4 a 20 mA	Wago	562.08	2	1124.16	NO
Transmisor de nivel con indicador local, rango máximo 3 metros, salida 4 a 20 mA	Wago	978.48	2	1956.96	NO
RTD tipo PT100, especificación IP68	PT100 (Genérico)	150	5	750	NO
TOTAL (USD)				5240.32	

Tabla 4. 8. Cotización de transmisores en marca Braichild y Wago

4.3. Selección de equipos cotizados

Una vez que se han indicado las opciones de equipos que se pueden considerar para su adquisición, es necesario realizar la selección de alguna de estas opciones, siempre que sea una opción razonable, y satisfaga las necesidades de la empresa.

Desde el punto de vista técnico – funcional, cualquiera de las opciones indicadas es válida. No obstante, existen varios parámetros de índole económica, y de tiempo, que proporcionará relativa ventaja a alguna de esas opciones frente a las demás. En conversaciones con la Ing. Jenny Guato, Gerente General de Pasteurizadora “El Ranchito”, se pudo extraer algunas condiciones que la opción ganadora debe satisfacer, a saber:

- El proyecto NO será implementado de inmediato, se archivará hasta poseer fondos que permitan su financiamiento;
- Una vez adquiridos los equipos no obstante, la implementación debe tomar relativamente poco tiempo, para lo cual la documentación generada en esta tesis debe guardar concordancia con el equipo seleccionado;
- El costo debe ser razonablemente bajo, optimizando los precios mediante el uso de recursos gratuitos proporcionados por la empresa fabricante;
- Los equipos seleccionados deben tener la capacidad de ser integrados con otros (de la misma marca), en el eventual caso de una expansión del sistema, con el mínimo de recursos invertidos para tal efecto.

La Tabla 4. 9 resume los parámetros de selección del PLC.

Opción	Costo Bajo	Software Gratuito	Implantación inmediata	Posibilidad de Integración
Rockwell Automation	NO	SI	SI	SI
Siemens	SI	NO	NO	SI
Xinje	SI	NO	NO	SI

Tabla 4. 9. Factores a tomarse en cuenta para la selección del PLC

Del anterior análisis se observa que las opciones de PLC Siemens y Xinje son prácticamente similares, con la ventaja del soporte que Siemens ofrece (véase también la Tabla 4. 4). Sin embargo, la propuesta de Siemens adicionalmente ofrece la opción de un demo de software, por lo que la propuesta de Xinje se elimina.

Ahora, entre las opciones restantes, se observa que Siemens es la más barata, con respecto a Rockwell Automation. Sin embargo, Rockwell Automation posee un demo de software con mayor duración, y no exige registro, lo que agiliza la implementación del software que eventualmente poseerá el PLC. Debe recordarse adicionalmente que la empresa no tiene prisa en la adquisición de estos equipos y

eventualmente cubrirá el presupuesto para la implementación de este proyecto, por lo que la incidencia del monto de inversión se ve minimizada. Se escoge por tanto, la implementación del sistema usando un PLC de Rockwell Automation (Allen Bradley).

En cuanto a la selección de los transmisores se remite a la Tabla 4. 10 para el análisis.

Opción	El costo más bajo	Programable	Implantación inmediata	Posibilidad de Integración
Endress + Hauser	NO	Excepto transmisor de temperatura	SI	SI
Sick	SI	Excepto transmisor de temperatura	SI	SI
Brainchild / Wago	NO	NO	SI	SI

Tabla 4. 10. Factores a tomarse en cuenta para la selección de los transmisores

Con respecto al anterior análisis se tiene que los transmisores de marca Sick aventajan casi totalmente al resto de propuestas, con la limitante de que los transmisores de temperatura no poseen la capacidad de ser configurados, aunque considerando este hecho, se deberán tomar acciones correctivas al momento de realizar el programa del PLC. Consecuentemente, se escoge la opción de transmisores de marca Sick.

Ahora se completan los componentes requeridos, a través del dimensionamiento de conectores y elementos eléctricos de protección.

4.4. Dimensionamiento de componentes

Se dimensionará el grado de protección de los tableros de control, los elementos eléctricos de protección, los conductores eléctricos y los elementos de comando de cargas de potencia.

4.4.1. Dimensionamiento de las fuentes de tensión

Una fuente de tensión debe estar dimensionada de manera que la demanda de corriente de los equipos que va a alimentar se halle totalmente cubierta, guardando un cierto margen adicional de corriente en el eventual caso de la conexión de algún equipo emergente o temporal. Las fuentes del PLC ya están dimensionadas por el fabricante, de manera que todos los módulos tengan un correcto funcionamiento. No obstante, los transmisores también requieren de una alimentación, y son estas fuentes las que se proceden a dimensionar.

Existen tres gabinetes eléctricos, donde uno de ellos está destinado a la ubicación de los transmisores de temperatura, otro a la ubicación de los transmisores de presión y nivel, y el restante a la ubicación del PLC y otros componentes. Se debe por tanto, realizar el dimensionamiento por separado de la fuente que alimentará a los transmisores de temperatura, y la fuente que alimentará a los transmisores de presión y nivel respectivamente.

De forma general, el dimensionamiento de una fuente de tensión tiene los siguientes pasos:

- a) Debe asegurarse que los componentes a ser alimentados usen un valor común de tensión, realizándose modificaciones que aseguren este punto;

- b) Determinar la potencia total que consumen todos los componentes del sistema anterior;
- c) Usando la Ec. 4. 2, determinar la corriente nominal (I_N) consumida por el sistema.

$$P_{DC} = V * I \quad \text{Ec. 4. 1}$$

$$I_N = \frac{P_{DC}}{V} \quad \text{Ec. 4. 2}$$

- d) Incrementar este valor en un 20% como margen para conexión de equipos temporales o emergente;
- e) Usando la Ec. 4. 1, hallar la potencia total del sistema;
- f) Estimar un valor comercial superior de potencia, usando la Tabla 4. 11⁴ (“Potencia de salida”). La cantidad de corriente provista por la fuente elegida (“Corriente de salida”) también debe ser mayor a la calculada para el sistema.
- g) Proceder a la selección del modelo correspondiente.

⁴ En las bodegas de la empresa se cuenta con un stock considerable de fuentes de tensión para montaje en riel DIN, dentro de la marca Allen Bradley, por lo que la selección de un modelo particular se lo hará para ese fabricante.

Voltaje de entrada	Potencia de salida	Voltaje de salida	Corriente de salida	Operación en paralelo	Modelo
100...240 VAC 110...300 VDC	15	5...5.5	3	Si	1606-XLP15A
	15	12...15	1.3	Si	1606-XLP15B
	15	24...28	0.6	Si	1606-XLP15E
	25	5...5.5	5	Si	1606-XLP25A
	30	10...12	3	Si	1606-XLP30B
	30	24...28	1.3	Si	1606-XLP30E
	30	24...29	1.3	Si	1606-XLP30EQ
	36	±12/15	2.8	No	1606-XLP36C
	50	12...15	4.2	Si	1606-XLP50B
	50	24...28	2.1	Si	1606-XLP50E
	50	24...28	2.1	Si	1606-XLP50EZ
	50	48...56	1	Si	1606-XLP50F
	54	12...15	4.5	Si	1606-XLP60BQ
	54	12...15	4.5	Si	1606-XLP60BQT
	60	24...48	2.1	Si	1606-XLP60EQ
60	24...48	2.1	Si	1606-XLP60EQT	
100...120 VAC 220...240 VAC 220...375 VDC	72	24...48	3	Si	1606-XLP72E
100...120 VAC 220...240 VAC 220...375 VDC	90	12...15	7.5	Si	1606-XLP90B
100...120 VAC 220...240 VAC 220...375 VDC	95	24...48	3.9	No	1606-XLP95E
100...120 VAC 220...240 VAC 220...375 VDC	100	24...48	4.2	Si	1606-XLP100E
100...120 VAC 220...240 VAC 220...375 VDC	100	48...56	2.1	Si	1606-XLP100F

Tabla 4. 11. Modelos de fuentes para ser montadas en riel DIN, de la marca Allen Bradley

4.4.1.1. Dimensionamiento de fuente de tensión para transmisores de temperatura

Siguiendo los pasos anteriormente estipulados, se procede al cálculo de la fuente indicada.

El transmisor de temperatura para riel DIN MST665 requiere una alimentación de tensión de 24VDC. El consumo de potencia de uno de estos transmisores es de 0.3W. Se requieren alimentar 4 de estos transmisores.

- a) Todos los transmisores pueden ser alimentados con la misma fuente de tensión;
- b) El consumo total de potencia del sistema es:

$$P = 4 * 0.3W$$

$$P = 1.2W$$

- c) La corriente consumida por el sistema es:

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{1.2W}{24V}$$

$$I = 0.05A$$

d) Incrementando este valor en un 20%:

$$I_{\text{corregida}} = 1.2 * 0.05A$$

$$I_{\text{corregida}} = 0.06A$$

e) Se calcula la potencia teórica que debe poseer la fuente de tensión:

$$P = V * I_{\text{corregida}}$$

$$P = 24V * 0.06A$$

$$P = 1.44W$$

f) Usando la Tabla 4. 11, se ha escogido la fuente Allen Bradley, modelo 1606-XLP15E, que posee las siguientes características:

- Voltaje de entrada de 100...240 VAC / 110...300 VDC
- Voltaje de salida de 24...28 VDC
- Corriente de salida de 0.6 A
- Potencia suministrada de 15 W

4.4.1.2. Dimensionamiento de fuente de tensión para transmisores de presión y nivel.

Siguiendo los pasos anteriormente estipulados, se procede al cálculo de la fuente indicada.

El transmisor de temperatura es el mismo que el usado anteriormente. El transmisor de presión Sick PBS-RP160SN1SS0BMA0Z, requiere una alimentación

de tensión de 24VDC. El consumo de potencia de uno de estos transmisores es de 2.4W. Se requieren alimentar 2 de estos transmisores. Por otro lado, el transmisor de nivel Sick UM30-214113, requiere una alimentación de tensión de 24VDC. El consumo de potencia de uno de estos transmisores es de 1.92W. Se requieren alimentar 2 de estos transmisores. Luego:

- a) Todos los transmisores pueden ser alimentados con la misma fuente de tensión;
 b) El consumo total de potencia del sistema es:

$$P = 2 * 2.4W + 2 * 1.92W + 0.3W$$

$$P = 8.94W$$

- c) La corriente consumida por el sistema es:

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{8.94W}{24V}$$

$$I = 0.37A$$

- d) Incrementando este valor en un 20%:

$$I_{\text{corregida}} = 1.2 * 0.37A$$

$$I_{\text{corregida}} = 0.444A$$

- e) Se calcula la potencia teórica que debe poseer la fuente de tensión:

$$P = V * I_{\text{corregida}}$$

$$P = 24V * 0.444$$

$$P = 10.65W$$

- f) Usando la Tabla 4. 11, se ha escogido la fuente Allen Bradley, modelo 1606-XLP15E, que posee las siguientes características:

- Voltaje de entrada de 100...240 VAC / 110...300 VDC
- Voltaje de salida de 24...28 VDC
- Corriente de salida de 0.6 A
- Potencia suministrada de 15 W

4.4.2. Dimensionamiento de válvula solenoide

Se requiere una válvula solenoide que purgue el agua de exceso en la cisterna de agua fría de una torra de enfriamiento. La empresa empíricamente había adquirido una, que en un principio iba a ser activada a través de un botón (la activación de la misma seguía siendo manual; el interés es que se la automatice). La válvula solenoide es de marca UNI-D, modelo SUW-50#316 de tipo todo-nada, normalmente cerrada, de 2" de diámetro, 220 VAC de alimentación, consumo de potencia de 240W; acabado en acero inoxidable, con roscado hembra tipo NPT. Trabaja con presiones diferenciales de 0 a 5 psi.

En este punto, se confirmará si la selección de este elemento es adecuado para el óptimo desempeño bajo las condiciones de trabajo actuales. El diámetro, la construcción y las características eléctricas de la válvula solenoide son adecuados. Queda por determinar si el proceso actual genera presiones diferenciales comprendidas en el rango para los que está diseñada la válvula.

La cisterna de agua fría tiene forma de prisma rectangular, con las dimensiones indicadas en la Figura 4. 1. La válvula de purga está instalada al fondo de esta cisterna.

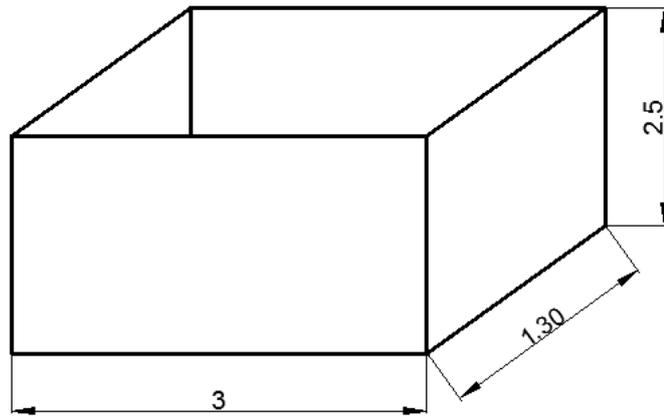


Figura 4. 1. Dimensiones (m) de la cisterna de la Torre de Enfriamiento

La presión al fondo de un recipiente de profundidad “h” (Jordan, 2003) está dada por la Ec. 4. 3:

$$P = P_0 + \delta gh [Pa] \tag{Ec. 4. 3}$$

Donde:

$P \rightarrow$ Presión al fondo del recipiente.

$P_0 \rightarrow$ Presión ejercida por la atmósfera a la altura (sobre el nivel del mar) del punto de prueba.

$\delta \rightarrow$ Densidad del fluido (agua = 1)

$g \rightarrow$ Aceleración de la gravedad (9.8 m/s^2)

$h \rightarrow$ Profundidad del recipiente.

Pero dado que la válvula de purga está desfogando hacia el ambiente, como se ilustra a través de la Figura 4. 2, entonces a partir de la expresión general del valor absoluto de presión diferencial, dada por la Ec. 4. 4, se puede particularizar una expresión que permita obtener la presión diferencial de la válvula, como de hecho se indica en la Ec. 4. 5.

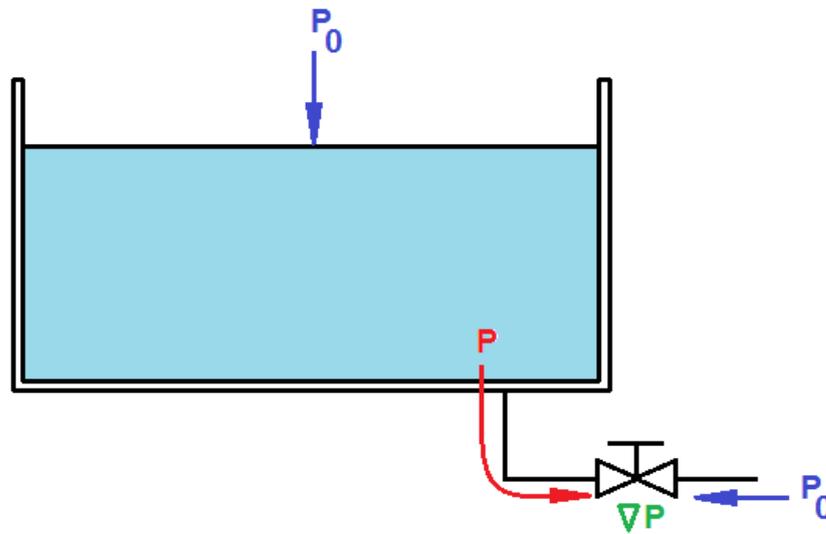


Figura 4. 2. Presiones incidentes sobre una válvula al fondo de un tanque.

$$|\nabla P| = |P - P_0| \quad \text{Ec. 4. 4}$$

Reemplazando Ec. 4.3 en Ec. 4.4, y con $\delta=1$:

$$\begin{aligned} |\nabla P| &= |P_0 + \delta gh - P_0| \\ |\nabla P| &= |gh| \end{aligned} \quad \text{Ec. 4. 5}$$

Volviendo al problema en análisis, se debe indicar que el nivel de agua varía entre 0.5 metros ($h_{\text{mín}}$) y 2 metros ($h_{\text{máx}}$) de altura. Así, la diferencia de presión que deberá soportar la válvula solenoide se halla entre:

$$\begin{aligned} |gh_{\text{máx}}| &\leq |\nabla P| \leq |gh_{\text{mín}}| \\ |9.8 * 0.5| &\leq |\nabla P| \leq |9.8 * 2| \\ 4.9 \text{ Pa} &\leq |\nabla P| \leq 19.6 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Usando la Tabla 2. 2, se transforman las unidades de presión, de Pascales a psi, y:

$$4.9 \times 10^{-4} \text{ psi} \leq |\nabla P| \leq 19.6 \times 10^{-4} \text{ psi}$$

Se comprueba que el rango de presiones se halla entre 0 y 5 psi, por lo que la válvula solenoide que se tiene actualmente es adecuada para este proyecto.

4.4.3. Dimensionamiento de relé

La activación de esta la válvula solenoide se la hará a través de contactos asociados a un relé de mando de marca Telemecanique de 24 VDC, que serán activados por las salidas DC del módulo correspondiente en el PLC. El modelo en particular con el que se cuenta es el RUM C2AB1BD, que es activado con una tensión de 24VDC y posee dos contactos normalmente abiertos y dos contactos normalmente cerrados. Sus contactos normalmente abiertos soportan flujos de corrientes de hasta 10 amperios. Usando la Ec. 4.2, se calcula la corriente que fluye a través del solenoide de la electroválvula:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{240W}{220V} = 1.09 A$$

Con lo cual este modelo de relé es apto para comandar la carga de la válvula solenoide.

4.4.4. Dimensionamiento de conductores

Los conductores eléctricos son un componente fundamental en la implementación de un sistema eléctrico ya que permiten la energización de componentes y la comunicación entre determinados equipos. Un dimensionamiento erróneo de los mismos se traduce en la disminución de la vida útil de los equipos involucrados, pérdidas en forma de calor, y peligro para operarios y personal técnico. Es evidente que el dimensionado de los conductores es un punto crítico.

Los métodos que comúnmente se usan para el dimensionado de conductores eléctricos son el método de caída de tensión, y el método de capacidad de corriente. Ambos permiten estimar la sección transversal del conductor, con lo que se puede asegurar el calibre AWG (American Wire Gauge) o MCM (Miles de Circular Mils).

Entre ambos métodos, la selección del calibre que presente la mayor sección transversal es recomendada.

4.4.4.1. Cálculo de conductores por caída de tensión

Se denomina caída de tensión a la diferencia existente entre el voltaje aplicado al extremo alimentador de una instalación y el obtenido en cualquier otro punto de la misma. La NTIE (Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas) permite una caída de tensión máxima de 3% para el circuito alimentador o principal y 3% para circuitos derivados, con la condición de que en conjunto no sobrepasen el 5%. Para los cálculos que a continuación se proponen, se usarán el 3% y 2% para los circuitos alimentador y derivado, de forma respectiva.

Otro de los parámetros a tomar en cuenta en el dimensionamiento de un conductor es el tipo de material aislante que presenta. Esto en realidad no se trata de un cálculo, sino de una estimación de las condiciones a las que estará sometida la instalación. La Tabla 4. 12 muestra un resumen de las condiciones a las que puede someterse un conductor en la industria, con la especificación correspondiente del aislamiento.

Material Aislante	Tipo	Temperatura máxima [oC]	Cubierta	Utilización
Hule resistente al calor	RH	75	Resistente a la humedad, retardadora de llama	Locales secos
Hule resistente al calor	RHH	90	Resistente a la humedad, retardadora de llama	Locales secos
Hule resistente al calor y humedad	RHW	75	Resistente a la humedad, retardadora de llama	Locales secos y húmedos
Termoplástico	T	60	Ninguna	Locales secos
Termoplástico resistente a la humedad	TW	80	Ninguna	Locales secos y húmedos
Termoplástico resistente a calor y humedad	THW	75	Ninguna	Locales secos y húmedos

Tabla 4. 12. Propiedades del material aislante en conductores

Para determinar el calibre de los conductores, se usan las fórmulas citadas a continuación.

$$P_{1\phi} = V * I * fp \quad \text{Ec. 4. 6}$$

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} * V * I * fp \quad \text{Ec. 4. 7}$$

$$e_{DC} = I * R \quad \text{Ec. 4. 8}$$

$$e_{1\phi} = 2 * I * R \quad \text{Ec. 4. 9}$$

$$e_{3\phi} = \sqrt{3} * I * R \quad \text{Ec. 4. 10}$$

$$R = \frac{d}{A * K} \quad \text{Ec. 4. 11}$$

Donde:

V → tensión nominal en voltios

I → corriente nominal en amperios

P → potencia en vatios

fp → factor de potencia

R → resistencia del conductor en ohmios

d → longitud del conductor en metros

A → sección transversal del conductor en mm².

K → conductividad del conductor (K=57 mm²/Ω*m para el cobre)

Reemplazando la Ec. 4. 11 en la Ec. 4. 8, Ec. 4. 9 y Ec. 4. 10, se obtiene una expresión genérica que permite calcular la sección del conductor.

$$A = \frac{I * L}{e * K} [mm^2] \quad \text{Ec. 4. 12}$$

Donde:

$e \rightarrow$ valor en voltios de la caída de tensión (% caída de tensión * valor de la fuente de alimentación).

$L \rightarrow d$ si es un circuito DC, $2*d$ si es un circuito monofásico y $\sqrt{3}*d$ si es un circuito trifásico.

Una vez calculada la sección transversal del conductor, se elige un calibre AWG de manera que la sección del conductor elegido sea ligeramente mayor a la sección calculada. Para ello se usa la Tabla 4. 13.

El cálculo de los conductores se realizará de forma separada para cada uno de los tableros de control.

Dimensionamiento de conductores por caída de tensión para Tablero de control # 1

El Tablero de control # 1 cobra especial interés pues constituye el lugar de ubicación del PLC, aquí llegan todas las señales que se desean adquirir, y se comanda el relé para activación de la válvula de purga.

Primero, usando la Tabla 4. 13, se escoge como aislante tipo AWG TW, que satisface las condiciones a las que estarán expuestos los equipos dentro del gabinete.

La fuente en este caso es la Rockwell Automation 1768-PA3, específico para la alimentación del PLC 1768-L43 y módulos conectados a este. Tiene una salida de 24 VDC, y alimentará las cargas descritas en la Tabla 4. 14.

Número AWG	Diámetro [mm]	Sección [mm ²]	Número de espiras por cm	Kg. por Km	Resistencia [Ω /Km]	Capacidad [A]
0000	11.8600	110.4738	---	---	0.16	319.00
000	10.4000	84.9487	---	---	0.20	240.00
00	9.2260	66.8524	---	---	0.25	190.00
0	8.2520	53.4821	---	---	0.32	150.00
1	7.3480	42.4061	---	375.00	1.40	120.00
2	6.5440	33.6338	---	295.00	1.50	96.00
3	5.8270	26.6674	---	237.00	1.63	78.00
4	5.1890	21.1474	---	188.00	0.80	60.00
5	4.6210	16.7711	---	149.00	1.01	48.00
6	4.1150	13.2993	---	118.00	1.27	38.00
7	3.6650	10.5496	---	94.00	1.70	30.00
8	3.2640	8.3674	---	74.00	2.03	24.00
9	2.9060	6.6326	---	58.90	2.56	19.00
10	2.5880	5.2604	---	46.80	3.23	12.00
11	2.3050	4.1728	---	32.10	4.07	9.50
12	2.0530	3.3103	---	29.40	5.13	7.50
13	1.8280	2.6245	---	23.30	6.49	6.00
14	1.6280	2.0816	5.6	18.50	8.17	4.80
15	1.4500	1.6513	6.4	14.70	10.30	3.70
16	1.2910	1.3090	7.2	11.60	12.90	3.20
17	1.1500	1.0387	8.4	9.26	16.34	2.50
18	1.0240	0.8235	9.2	7.30	20.73	2.00
19	0.9116	0.6527	10.2	5.79	26.15	1.60
20	0.8118	0.5176	11.6	4.61	32.69	1.20
21	0.7230	0.4106	12.8	3.64	41.46	0.92
22	0.6438	0.3255	14.4	2.89	51.50	0.73
23	0.5733	0.2581	16.0	2.29	56.40	0.58
24	0.5106	0.2048	18.0	1.82	85.00	0.46
25	0.4547	0.1624	20.0	1.44	106.20	0.37
26	0.4049	0.1288	22.8	1.14	130.70	0.29
27	0.3606	0.1021	25.6	0.91	170.00	0.23
28	0.3211	0.0810	28.4	0.72	212.50	0.18
29	0.2859	0.0642	32.4	0.57	265.60	0.15
30	0.2546	0.0509	35.6	0.45	333.30	0.11
31	0.2268	0.0404	39.8	0.36	425.00	0.09
32	0.2019	0.0320	44.5	0.28	531.20	0.07
33	0.1798	0.0254	56.0	0.23	669.30	0.06
34	0.1601	0.0201	56.0	0.18	845.80	0.05
35	0.1426	0.0160	62.3	0.14	1069.00	0.04

Tabla 4. 13. Calibre AWG de conductores

Componente	Consumo de potencia (W)
Controlador 1768-L43	31,3
Módulo de entradas DC 1769-IQ16F	3,55
Módulo de salidas DC 1769-OB16P	2,69
Módulo de entradas analógicas 1769-IF4I	3
Módulo Ethernet/IP 1768-ENBT	4,38
Relé para manejo de cargas	1,4

Tabla 4. 14. Potencia activa consumida por Tablero de control # 1

La potencia activa total consumida es de 46.32W. La corriente nominal, según la Ec. 4. 2, es:

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{46.32}{24} = 1.93A$$

La caída de tensión esperada debe ser mínima, inferior al 3%. Se adopta una caída de tensión de 0.3%, y:

$$e = 0.003 * 24 \text{ VDC} = 0.072 \text{ VDC}$$

Asumiendo que la distancia máxima a la cual está alejado el equipo es de 1m y aplicando la Ec. 4. 12, se obtiene el espesor de cable requerido:

$$A = \frac{1.93 * 1}{0.072 * 57} [\text{mm}^2]$$

$$A = 0.47 [\text{mm}^2]$$

Consultando los valores de la Tabla 4. 13, se obtiene que el calibre que satisface esta condición es el AWG 20, con una sección transversal de 0.52 mm².

Los conductores usados para la conexión de los módulos del PLC Allen Bradley del Tablero de control # 1, tienen la siguiente especificación:

Cable tipo TW AWG 20.

Ahora se dimensiona el cable requerido para energizar al Tablero de control # 1.

Como se sugirió en la Tabla 4. 12, se escoge como aislante tipo AWG TW que satisface las condiciones a las que estarán expuestos los equipos dentro del gabinete.

El máximo consumo de potencia de la fuente Allen Bradley 1768-PA3 es de 120W. La alimentación del tablero de distribución más cercano provee una tensión monofásica de 110V, que se encuentra alejado a 18 metros. El factor de potencia nominal admitido para instalaciones eléctricas en Pasteurizadora “El Ranchito” es $fp=0.93$.

Se selecciona una caída de tensión del 3%, y:

$$e = 0.03 * 110VDC = 3.3 VDC$$

Como se trata de una carga monofásica se tiene que:

$$L=2*18=36$$

La corriente a conducir se calcula en función de la potencia de la carga instalada, a partir de la Ec. 4. 2:

$$P_{1\phi} = V * I * fp \rightarrow I = \frac{P_{1\phi}}{V * fp}$$

$$I = \frac{120W}{110 * 0.93}$$

$$I = 1.173A$$

Aplicando la Ec. 4. 12, se obtiene el espesor de cable requerido:

$$A = \frac{1.173 * 36}{3.3 * 57} [mm^2]$$

$$A = 0.224 [mm^2]$$

Consultando los valores de la Tabla 4. 13, se obtiene que el calibre que satisface esta condición es el AWG 23, con una sección transversal de 0.26 mm^2 . No obstante, el fabricante recomienda usar conductor AWG 14 para la alimentación de la red. El conductor usado para la energización del Tablero de control # 1 tiene la siguiente especificación:

Cable tipo TW AWG 14.

Dimensionamiento de conductores por caída de tensión para Tablero de control # 2

Dentro del Tablero de control # 2 se hallan 4 transmisores de temperatura para los bancos de hielo # 1, 2, 3 y 5. Como se trata de un cableado dentro del tablero, la distancia de la fuente hacia los transmisores es de 1m.

Usando la Tabla 4. 12, se escoge como aislante tipo AWG TW, que satisface las condiciones a las que estarán expuestos los equipos dentro del gabinete.

Fuente a usarse: Allen Bradley, modelo 1606-XLP15E, de 24VDC a la salida.

Se conoce también que el consumo ideal de potencia de los 4 transmisores de temperatura en conjunto es de 1.2W, que en conjunto con la alimentación de 24VDC permitió el cálculo de la corriente nominal de 0.05A.

La caída de tensión esperada debe ser mínima, inferior al 3%. Se asume una caída de tensión de 0.3%, y:

$$e = 0.003 * 24 \text{ VDC} = 0.072 \text{ VDC}$$

Aplicando la Ec. 4. 12, se obtiene el espesor de cable requerido:

$$A = \frac{0.05 * 1}{0.072 * 57} [\text{mm}^2]$$

$$A = 0.012 [\text{mm}^2]$$

Consultando los valores de la Tabla 4. 13, se obtiene que el calibre que satisface esta condición es el AWG 35, con una sección transversal de 0.0159 mm^2 . Este tipo de cable es bastante requiere extremo cuidado para manipularse; se propone la utilización del conductor AWG 20, que posee una sección transversal de 0.52 mm^2 , con la ventaja de que este conductor existe permanentemente en la bodega de la fábrica.

Los conductores usados para la conexión de los transmisores de temperatura a la salida de la fuente de tensión Allen Bradley del Tablero de control # 2, tienen la siguiente especificación:

Cable tipo TW AWG 20.

Ahora se dimensiona el cable requerido para energizar al Tablero de control # 2.

Como se sugirió y usando la Tabla 4. 12, se escoge como aislante tipo AWG TW, que satisface las condiciones a las que estarán expuestos los equipos dentro del gabinete.

El consumo de potencia de la fuente es de 15W. La alimentación del tablero de distribución más cercano provee una tensión monofásica de 208V, que se encuentra alejado a 25 metros. El factor de potencia nominal admitido para instalaciones eléctricas en Pasteurizadora “El Ranchito” es $\text{fp}=0.93$.

Se selecciona una caída de tensión del 3%, y:

$$e = 0.03 * 208 \text{ VDC} = 6.24 \text{ VDC}$$

Como se trata de una carga monofásica se tiene que:

$$L=2*25=50$$

La corriente a conducir se despeja de la Ec. 4. 6:

$$P_{1\phi} = V * I * fp \rightarrow I = \frac{P_{1\phi}}{V * fp}$$

$$I = \frac{15W}{208 * 0.93}$$

$$I = 0.078A$$

Aplicando la Ec. 4. 12, se obtiene el espesor de cable requerido:

$$A = \frac{0.078 * 50}{6.24 * 57} [mm^2]$$

$$A = 0.011 [mm^2]$$

Consultando los valores de la Tabla 4. 13, se obtiene que el calibre que satisface esta condición es el AWG 35, con una sección transversal de 0.0159 mm². No obstante, el fabricante de la fuente de tensión recomienda un conductor de sección transversal entre 0.5 mm² y 4 mm² para conectar la fuente a la tensión de red. Se escoge para el dimensionamiento una sección transversal promedio:

$$\phi = 0.5 + \frac{4 - 0.5}{2} [mm^2] \rightarrow \phi = 2.25 [mm^2]$$

Y con este nuevo valor se elige al cable AWG 13, con una sección de 2.63 mm².

El conductor usado para la energización del Tablero de control # 2 tiene la siguiente especificación:

Cable tipo TW AWG 13.

Dimensionamiento de conductores por caída de tensión para Tablero de control # 3

Dentro del Tablero de control # 3 se halla la fuente Allen Bradley, modelo 1606-XLP15E, de 24VDC a la salida, que sirve para la alimentación de los transmisores de presión, nivel y el restante transmisor de temperatura. Nótese que a excepción del transmisor de temperatura, los transmisores no se hallan montados dentro del

gabinete eléctrico, pues la instalación a pie de máquina de los mismos es necesaria. El montaje distante de los transmisores obliga al cálculo por separado de los conductores que alimentan a cada uno de los transmisores.

El punto común de todos los transmisores es que el ambiente en el cual será instalado el Tablero de control # 3 es cálido y húmedo, debido a la presencia de los calderos. Usando la Tabla 4. 12, se escoge como aislante común (para la energización de los transmisores) al tipo AWG THW que satisface las condiciones a las que estarán expuestos los equipos dentro del gabinete. Otro punto común es que todos los transmisores del Tablero de control # 3 serán alimentados con una fuente Allen Bradley, modelo 1606-XLP15E, de 24VDC a la salida.

Primero, se calcula el conductor requerido por el transmisor de presión del Caldero # 1.

Se conoce que el consumo ideal de potencia de los transmisores de presión es de 2.4W, que en conjunto con la alimentación de 24VDC generan una corriente nominal de 0.1A.

La caída de tensión esperada debe ser mínima, inferior al 3%. Se asume una caída de tensión de 0.3%, y:

$$e = 0.003 * 24 \text{ VDC} = 0.072 \text{ VDC}$$

Aplicando la Ec. 4. 12, y conociendo que el transmisor de presión del Caldero # 1 se halla a 30 metros del Tablero de control # 3, se obtiene el espesor de cable requerido:

$$A = \frac{0.1 * 30}{0.072 * 57} [\text{mm}^2]$$

$$A = 0.73 [\text{mm}^2]$$

Consultando los valores de la Tabla 4. 13, se obtiene que el calibre que satisface esta condición es el AWG 18, que posee una sección transversal de 0.82 mm^2 .

Los conductores usados para la conexión del transmisor de presión del Caldero # 1 a la salida de la fuente de tensión Allen Bradley del Tablero de control # 3, tienen la siguiente especificación:

Cable tipo THW AWG 18.

Segundo, se calcula el conductor requerido por el transmisor de presión del Caldero # 2.

Se conoce que el consumo ideal de potencia de los transmisores de presión es de 2.4W, que en conjunto con la alimentación de 24VDC permitió el cálculo de la corriente nominal de 0.1A.

La caída de tensión esperada debe ser mínima, inferior al 3%. Se asume una caída de tensión de 0.3%, y:

$$e = 0.003 * 24 \text{ VDC} = 0.072 \text{ VDC}$$

Aplicando la Ec. 4. 12, y conociendo que el transmisor de presión del Caldero # 2 se halla a 27 metros del Tablero de control # 3, se obtiene el espesor de cable requerido:

$$A = \frac{0.1 * 27}{0.072 * 57} [\text{mm}^2]$$

$$A = 0.66 [\text{mm}^2]$$

Consultando los valores de la Tabla 4. 13, se obtiene que el calibre que satisface esta condición es el AWG 18, que posee una sección transversal de 0.65 mm^2 .

Los conductores usados para la conexión del transmisor de presión del Caldero # 2 a la salida de la fuente de tensión Allen Bradley del Tablero de control # 3, tienen la siguiente especificación:

Cable tipo THW AWG 18.

Tercero, se calcula el conductor requerido por el transmisor de nivel del Tanque de diésel # 1.

Se conoce que el consumo ideal de potencia de los transmisores de nivel es de 1.92W, que en conjunto con la alimentación de 24VDC permitió el cálculo de la corriente nominal de 0.08A.

La caída de tensión esperada debe ser mínima, inferior al 3%. Se asume una caída de tensión de 0.3%, y:

$$e = 0.003 * 24 \text{ VDC} = 0.072 \text{ VDC}$$

Aplicando la Ec. 4. 12, y conociendo que el transmisor de presión del Tanque de diésel # 1 se halla a 23 metros del Tablero de control # 3, se obtiene el espesor de cable requerido:

$$A = \frac{0.08 * 42}{0.072 * 57} [\text{mm}^2]$$

$$A = 0.45 [\text{mm}^2]$$

Consultando los valores de la Tabla 4. 13, se obtiene que el calibre que satisface esta condición es el AWG 20, que posee una sección transversal de 0.52 mm².

En conclusión, los conductores usados para la conexión del transmisor de nivel a la salida de la fuente de tensión Allen Bradley, modelo 1606-XLP15E son:

Cable tipo THW AWG 20.

Cuarto, se calcula el conductor requerido por el transmisor de nivel del Tanque de diésel # 2.

Fuente a usarse: Allen Bradley, modelo 1606-XLP15E, de 24VDC a la salida.

Se conoce consumo ideal de potencia de los transmisores de nivel es de 1.92W, que en conjunto con la alimentación de 24VDC permitió el cálculo de la corriente nominal de 0.08A.

La caída de tensión esperada debe ser mínima, inferior al 3%. Se asume una caída de tensión de 0.3%, y:

$$e = 0.003 * 24 \text{ VDC} = 0.072 \text{ VDC}$$

Aplicando la Ec. 4. 12, y conociendo que el transmisor de nivel del Tanque de diésel # 2 se halla a 26 metros del Tablero de control # 3, se obtiene el espesor de cable requerido:

$$A = \frac{0.08 * 40}{0.072 * 57} [\text{mm}^2]$$

$$A = 0.51 [\text{mm}^2]$$

Consultando los valores de la Tabla 4. 13, se obtiene que el calibre que satisface esta condición es el AWG 20, que posee una sección transversal de 0.52 mm².

En conclusión, los conductores usados para la conexión del transmisor de nivel a la salida de la fuente de tensión Allen Bradley, modelo 1606-XLP15E son:

Cable tipo THW AWG 18.

Tanto los transmisores de presión como de nivel utilizados se conectan al resto de equipos a través del conector M12 y cable AWM. Cada uno de los hilos del cable AWM⁵ tiene un calibre AWG 18, son resistentes a la abrasión, al calor y la humedad, ideal para la conexión con el conector M12. Este conductor satisface requerimientos análogos a los calculados anteriormente, resumidos en la Tabla 4. 15.

⁵ Calibre válido para el cable AWM de 4 y 6 hilos.

Transmisor	Ubicación	Calibre AWG calculado	Calibre AWG propuesto
Presión	Caldero # 1	18	18
	Caldero # 2	18	18
Nivel	Tanque de diésel # 1	20	18
	Tanque de diésel # 2	20	18

Tabla 4. 15. Calibres AWG de los transmisores del Tablero de control # 3.

Por separado se dimensiona el conductor usado para el transmisor de temperatura del banco de hielo # 4, este sí montado dentro del gabinete eléctrico, por lo cual la distancia de alejamiento es de 1 metro. Se conoce que el consumo ideal de potencia del transmisor de temperatura en conjunto es de 0.3W, que en conjunto con la alimentación de 24VDC permite el cálculo de la corriente nominal de 0.0125A.

La caída de tensión esperada debe ser mínima, inferior al 3%. Se asume una caída de tensión de 0.3%, y:

$$e = 0.003 * 24 \text{ VDC} = 0.072 \text{ VDC}$$

Aplicando la Ec. 4. 12, se obtiene el espesor de cable requerido:

$$A = \frac{0.0125 * 1}{0.072 * 57} \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$A = 0.003 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Consultando los valores de la Tabla 4. 13, se obtiene que el calibre que satisface esta condición es el AWG 35, aunque se recomienda su reemplazo por el conductor AWG 20, que posee una sección transversal de 0.52 mm², con la ventaja mencionada de que este conductor existe permanentemente en la bodega de la fábrica.

El conductor usado para la conexión del transmisor de temperatura a la salida de la fuente de tensión Allen Bradley del Tablero de control # 3, tienen la siguiente especificación:

Cable tipo THW AWG 20.

Ahora se dimensiona el cable requerido para energizar del Tablero de control # 3.

Dado que este conductor se va a hallar bajo las mismas condiciones de calor y humedad que los conductores usados para los transmisores, según la Tabla 4. 12 se escogerá el aislante AWG THW, apto para soportar estas condiciones.

El consumo de potencia de la fuente es de 15W. La alimentación del tablero de distribución más cercano provee una tensión monofásica de 110V, que se encuentra alejado a 10 metros. El factor de potencia nominal admitido para instalaciones eléctricas en Pasteurizadora “El Ranchito” es $fp=0.93$.

Se selecciona una caída de tensión del 3%, y:

$$e = 0.03 * 110 \text{ VDC} = 3.3 \text{ VDC}$$

Como se trata de una carga monofásica se tiene que:

$$L=2*10=20$$

La corriente a conducir se despeja de la Ec. 4. 6:

$$P_{1\phi} = V * I * fp \rightarrow I = \frac{P_{1\phi}}{V * fp}$$

$$I = \frac{15W}{110 * 0.93}$$

$$I = 0.147A$$

Aplicando la Ec. 4. 12, se obtiene el espesor de cable requerido:

$$A = \frac{0.147 * 20}{3.3 * 57} [mm^2]$$

$$A = 0.016 [mm^2]$$

Consultando los valores de la Tabla 4. 13, se obtiene que el calibre que satisface esta condición es el AWG 34, con una sección transversal de 0.02 mm^2 . No obstante, el fabricante de la fuente de tensión recomienda un conductor de sección transversal

entre 0.5 mm^2 y 4 mm^2 para conectar la fuente a la tensión de red. Se escoge para el dimensionamiento una sección transversal promedio:

$$\phi = 0.5 + \frac{4 - 0.5}{2} [\text{mm}^2] \rightarrow \phi = 2.25 [\text{mm}^2]$$

Y con este nuevo valor se elige al cable AWG 13, con una sección de 2.63 mm^2 .

El conductor usado para la energización del Tablero de control # 3 tiene la siguiente especificación:

Cable tipo TW AWG 13.

Dimensionamiento de conductores por caída de tensión para conexión entre Tableros de control # 1 y 2.

Desde el Tablero de control # 2 se enviarán las señales de corriente de los transmisores de temperatura hacia el Tablero de control # 1; y desde el Tablero de control # 1 se comanda la válvula solenoide de la torre de enfriamiento.

En la sección “2.6. Transmisores electrónicos industriales”, se explicó que teóricamente la señal de corriente no se verá afectada por el tipo de conductor usado, ni por ruido, ni por la distancia. Aunque también se indicó que dentro la práctica la distancia máxima a la que el transmisor puede estar alejado del controlador o indicador es de 400 metros; idénticamente, se recomienda la utilización de cable de control para la transmisión de estas señales.

Sabiendo que la distancia existente entre los Tableros de control # 1 y 2 es de 203 metros, y que se requieren 5 hilos para la transmisión de las señales de temperatura (los transmisores tienen salida a dos hilos, pero las tierras de todos ellos son comunes entre sí), se requiere para cubrir esta distancia cable de control de 5 hilos. Los calibres recomendados son AWG 16 o AWG 18.

El dimensionamiento del conductor que permite la activación de la válvula solenoide de purga del tanque de agua se realiza mediante el método realizado para anteriores cálculos. Como la válvula solenoide se hallará a la intemperie, usando la Tabla 4. 12, se elige como aislante al conductor tipo TW.

El consumo de potencia de la válvula solenoide es de 240W. La alimentación del tablero de distribución más cercano provee una tensión monofásica de 208V, que se encuentra alejado a 228 metros. El factor de potencia nominal admitido para instalaciones eléctricas en Pasteurizadora “El Ranchito” es $fp=0.93$.

Se selecciona una caída de tensión del 3%, y:

$$e = 0.03 * 208 \text{ VDC} = 6.24 \text{ VDC}$$

Como se trata de una carga monofásica se tiene que:

$$L=2*228=456$$

La corriente a conducir se despeja a partir de la Ec. 4. 6:

$$P_{1\phi} = V * I * fp \rightarrow I = \frac{P_{1\phi}}{V * fp}$$

$$I = \frac{240W}{208 * 0.93}$$

$$I = 1.241A$$

Aplicando la Ec. 4. 12, se obtiene el espesor de cable requerido:

$$A = \frac{1.241 * 456}{6.24 * 57} [mm^2]$$

$$A = 1.59 [mm^2]$$

Consultando los valores de la Tabla 4. 13, se obtiene que el calibre que satisface esta condición es el AWG 15, con una sección transversal de $1.65mm^2$.

El conductor usado para la activación de la válvula solenoide de purga del tanque de agua tiene la siguiente especificación:

Cable tipo TW AWG 15.

Dimensionamiento de conductores por caída de tensión para conexión entre Tableros de control # 1 y 3.

Desde el Tablero de control # 3 se enviarán las señales de corriente de los transmisores de temperatura del banco de hielo # 4, de presión y nivel hacia el Tablero de control # 1.

Se mencionó que cuando se desea transmitir señales de corriente, se use cable de control para la transmisión de estas señales, siempre que la distancia al equipo indicador o de control no exceda los 400 metros.

Sabiendo que la distancia existente entre los Tableros de control # 1 y 3 es de 82 metros, y que se requieren 6 hilos para la transmisión de las señales de temperatura (los transmisores poseen una salida de dos hilos), se requiere para cubrir esta distancia cable de control de 10 hilos. Los calibres recomendados son AWG 16 o AWG 18.

4.1.1.1.Cálculo de conductores por capacidad de corriente

El dimensionamiento de conductores por caída de voltaje no toma en cuenta la probabilidad de sobrecarga o desbalance en la red. La NEC recomienda no cargar un conductor sobre el 80% de su capacidad nominal para contar con un margen de seguridad en el dimensionamiento de los conductores. Esto implica que los conductores deben ser redimensionados de manera que la corriente que soportan actualmente sea el 80% del valor total, es decir que el valor de I_C (corriente

corregida) debe ser multiplicada por un factor⁶ de 1.25, y luego, a partir de la Tabla 4. 13, se elige nuevamente un calibre de cable que posea una capacidad de conducción igual o mayor a I_C .

Los circuitos que se han dimensionado con el método de caída de tensión, así como la corriente nominal calculada I_N correspondiente y los valores de la corriente corregida I_C , se indican en la Tabla 4. 16. Usando la Tabla 4. 13 se obtienen los calibres recomendados para los anteriores valores de I_C , resumidos en la Tabla 4. 17. Y la selección final se la realiza escogiendo el conductor AWG que presente mayor sección transversal, como se observa en la Tabla 4. 18.

Ubicación	Uso	I_C (A)	$I_N = 1.25 * I_C$ (A)
Tablero # 1	Conexión módulos del PLC Allen Bradley	1,87	2,34
Tablero # 1	Energización de la fuente del PLC Allen Bradley	1,17	1,46
Tablero # 2	Energización transmisores de temperatura Bancos de Hielo # 1, 2, 3 y 5	0,05	0,06
Tablero # 2	Energización fuente de 24 VDC del Tablero de control # 2	0,078	0,10
Tablero # 3	Energización transmisor de temperatura Banco de Hielo # 4	0,012	0,02
Tablero # 3	Energización transmisor de presión Caldero # 1	0,1	0,13
Tablero # 3	Energización transmisor de presión Caldero # 2	0,1	0,13
Tablero # 3	Energización transmisor de nivel Tanque de diésel # 1	0,08	0,10
Tablero # 3	Energización transmisor de nivel Tanque de diésel # 2	0,08	0,10
Tablero # 3	Energización fuente de 24 VDC del Tablero de control # 3	0,078	0,10
Tableros # 1 y 2	Activación de válvula solenoide del Tanque de agua	1,082	1,352

Tabla 4. 16. Corriente nominal para circuitos del proyecto. Cálculo de corriente corregida

⁶ Factor proveniente de la regla de tres: $I_C = \frac{100\%}{80\%} I_N = 1.25 I_N$

Ubicación	Uso	I_N (A)	Calibre AWG
Tablero # 1	Conexión módulos del PLC Allen Bradley	2,3375	18
Tablero # 1	Energización fuente del PLC Allen Bradley	1,4625	20
Tablero # 2	Energización transmisores de temperatura Bancos de Hielo # 1, 2, 3 y 5	0,0625	33
Tablero # 2	Energización fuente de 24 VDC del Tablero 2	0,0975	31
Tablero # 3	Energización transmisor de temperatura Banco de Hielo # 4	0,015	35
Tablero # 3	Energización transmisor de presión Caldero # 1	0,125	35
Tablero # 3	Energización transmisor de presión Caldero # 2	0,125	35
Tablero # 3	Energización transmisor de nivel Tanque de diésel # 1	0,1	30
Tablero # 3	Energización transmisor de nivel Tanque de diésel # 2	0,1	30
Tablero # 3	Energización fuente de 24 VDC del Tablero de control # 3	0,0975	31
Tableros # 1 y 2	Activación de válvula solenoide Tanque de agua	1,35	20

Tabla 4. 17. Estimación calibre de conductores, con el método de capacidad de corriente

Ubicación	Uso	Calibre AWG de acuerdo a la técnica empleada para el cálculo		Calibre AWG elegido
		Caída de voltaje	Capacidad de corriente	
Tablero # 1	Conexión módulos del PLC Allen Bradley	20	18	18
Tablero # 1	Energización fuente del PLC Allen Bradley	14	20	14
Tablero # 2	Energización transmisores de temperatura Bancos de Hielo # 1, 2, 3 y 5	20	33	20
Tablero # 2	Energización fuente de 24 VDC del Tablero 2	13	31	13
Tablero # 3	Energización transmisor de temperatura Banco de Hielo # 4	20	35	20
Tablero # 3	Energización transmisor de presión Caldero # 1	18	35	18 (AWM)
Tablero # 3	Energización transmisor de presión Caldero # 2	18	35	18 (AWM)
Tablero # 3	Energización transmisor de nivel Tanque de diésel # 1	18	30	18 (AWM)
Tablero # 3	Energización transmisor de nivel Tanque de diésel # 2	18	30	18 (AWM)
Tablero # 3	Energización fuente de 24 VDC del Tablero de control # 3	13	31	13
Tableros # 1 y 2	Activación de válvula solenoide Tanque de agua	15	20	15

Tabla 4. 18. Dimensionamiento final de conductores para el proyecto

4.4.5. Dimensionamiento de elementos de protección eléctrica

Los elementos de protección eléctrica tienen como objetivo la anulación o limitación de las consecuencias destructivas o peligrosas de las corrientes excesivas, sobrecargas y defectos de aislamiento, y separar el circuito defectuoso del resto de la instalación.

Se hace una distinción entre la protección de:

- Elementos de la instalación (cables, instrumentos)
- Personas y animales
- Motores eléctricos

Dado que los equipos utilizados poseerán un adecuado aterrizaje⁷, y cada tablero cuenta con otros elementos para aislarlo de la tensión de red (interruptores de encendido – apagado), la seguridad del operario dependerá únicamente del seguimiento de las normas básicas de seguridad industrial y sentido común. En el presente proyecto tampoco se comanda motor de ningún tipo. Eso implica que el dimensionamiento de los elementos de protección eléctrica está destinado a la protección de los elementos de la instalación (fuentes, transmisores y PLC).

La protección de circuitos se la establece para evitar dos tipos básicos de fallas: sobrecargas y corrientes de cortocircuito. Un elemento que proporciona tal protección, además de otras funcionalidades indicadas en la Tabla 4. 19, es el interruptor automático, o termomagnético.

Se había indicado que se tiene un considerable stock en bodega de la empresa de interruptores automáticos en la serie C60H, de Schneider Electric, así que el método

⁷ Conexión física del circuito a tierra.

de dimensionamiento y selección de los interruptores automáticos se hará de acuerdo al procedimiento estipulado por esta marca (SCHNEIDER ELECTRIC, 2010).

Aislamiento	(Cuando abierto)
Control	Funcional
	Conmutación de emergencia
	Apagado para mantenimiento
Protección	Sobrecarga
	Cortocircuito
	Defecto de aislamiento
	Mínima tensión

Tabla 4. 19. Funciones realizadas por un interruptor automático

Dentro de la línea C60H, se tienen tres tipos de interruptores automáticos, distinguidos uno de otro por medio de curvas, que se usan para funciones específicas, detalladas en la Tabla 4. 20.

Curva	Uso	Valores de In (A)
B	Generadores, Cables largos	1 a 63
C	Cargas convencionales	1 a 63
D	Motores, transformadores	1 a 63

Tabla 4. 20. Tipos de interruptores automáticos C60H, de Schneider Electric

El tipo de interruptor automático que se escoge pertenecerá a la curva C.

La corriente a la cual se abrirá el interruptor automático está determinada por la corriente nominal I_N , multiplicada por un factor de 1.25 (determinada así por Schneider Electric para interruptores C60H serie C). Luego se realizan los siguientes pasos:

- a) Determinar si el equipo o circuito posee un valor de protección recomendado (que se denominará I_{N1}), en cuyo caso ir al literal f), caso contrario seguir al literal b);

- b) Aproximar al valor inmediato superior, identificado como “Especific. (A)” en la Tabla 4. 21, obteniéndose I_{N1} ;

C60H: curva C. C60N: curvas B y C (temperatura de referencia: 30 °C)

Especific. (A)	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	45 °C	50 °C	55 °C	60 °C
1	1,05	1,02	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88	0,85
2	2,08	2,04	2,00	1,96	1,92	1,88	1,84	1,80	1,74
3	3,18	3,09	3,00	2,91	2,82	2,70	2,61	2,49	2,37
4	4,24	4,12	4,00	3,88	3,76	3,64	3,52	3,36	3,24
6	6,24	6,12	6,00	5,88	5,76	5,64	5,52	5,40	5,30
10	10,6	10,3	10,0	9,70	9,30	9,00	8,60	8,20	7,80
16	16,8	16,5	16,0	15,5	15,2	14,7	14,2	13,8	13,5
20	21,0	20,6	20,0	19,4	19,0	18,4	17,8	17,4	16,8
25	26,2	25,7	25,0	24,2	23,7	23,0	22,2	21,5	20,7
32	33,5	32,9	32,0	31,4	30,4	29,8	28,4	28,2	27,5
40	42,0	41,2	40,0	38,8	38,0	36,8	35,6	34,4	33,2
50	52,5	51,5	50,0	48,5	47,4	45,5	44,0	42,5	40,5
63	66,2	64,9	63,0	61,1	58,0	56,7	54,2	51,7	49,2

Tabla 4. 21. Factor de corrección de temperatura, para interruptor automático C60H de curva C

- c) Estimar la reducción de capacidad conductora en función de la temperatura ambiente, usando la misma tabla, obteniéndose la que se denominará I_{N2} ;
- d) Si el equipo a proteger se halla dentro de un tablero, se debe a su vez multiplicar I_{N2} por un factor de 0.8 debido al calentamiento mutuo de componentes, obteniéndose I_{N3} ;
- e) Determinar si I_{N3} es mayor que I_{N1} (es decir, que se asegure que el interruptor automático no se abra bajo condiciones normales de servicio). Si es así, el valor del interruptor automático es I_{N1} , y si no es así se debe escoger un valor mayor al original de I_{N1} y regresar a b);
- f) Con el valor de I_{N1} se escoge el modelo⁸ del interruptor automático, usando la Tabla 4. 22 para tal efecto.

⁸ Se recomienda protección de dos polos, para protección de fase y neutro en los tableros.

Tipo	Dimensión (A)	Modelo		
		Curva B	Curva C	Curva D
2P				
	1	C60HB 201	C60HC 201	C60HD 201
	2	C60HB 202	C60HC 202	C60HD 202
	4	C60HB 204	C60HC 204	C60HD 204
	6	C60HB 206	C60HC 206	C60HD 206
	10	C60HB 210	C60HC 210	C60HD 210
	16	C60HB 216	C60HC 216	C60HD 216
	20	C60HB 220	C60HC 220	C60HD 220
	25	C60HB 225	C60HC 225	C60HD 225
	32	C60HB 232	C60HC 232	C60HD 232
	40	C60HB 240	C60HC 240	C60HD 240
	50	C60HB 250	C60HC 250	C60HD 250
	63	C60HB 263	C60HC 263	C60HD 263

Tabla 4. 22. Modelos de interruptores automáticos marca Schneider de dos polos, para curvas B, C y D.

En el caso de la fuente del PLC del Tablero 1, así como las fuentes de los Tableros 2 y 3, vienen con recomendaciones de fábrica para las protecciones:

- Fuente del PLC, Tablero de control No. 1: 16A
- Fuente de voltaje Tablero de control No. 2: 4A
- Fuente de voltaje Tablero de control No. 2: 4^a

El único elemento para el que se debe dimensionar una protección adicional es la válvula solenoide. Se siguen los pasos indicados anteriormente.

- a) No existe un valor recomendado de fábrica para este componente, por lo que se prosigue el dimensionamiento.
- b) La corriente que maneja la válvula solenoide es 1,082 A. La corriente de excitación de una válvula solenoide es de aproximadamente 3 veces la corriente nominal, es decir 3,246A. Es necesario tomar este valor, para evitar que durante

la activación de la válvula solenoide, se abra también la protección. A los 3,246A obtenidos se lo multiplica por el factor de 1,25, da un resultado de 4.056A. La protección superior es $I_{N1}=6A$.

- c) La temperatura del entorno de la válvula solenoide es en promedio 20 °C. La corriente corregida para este caso es de $I_{N2}=6,24A$.
- d) Como el interruptor automático se halla dentro de un tablero, se multiplica por 0,8, es decir $I_{N3}=4,992A$.
- e) El valor de $I_{N3}=4,992A$ no es mayor al valor original de $I_{N1}=6A$; se escoge un nuevo valor de $I_{N1}=10A$, el cual a 20 °C presenta un $I_{N2}=10,6A$, que multiplicado por 0,8, da $I_{N3}=8.48A$, este valor sí es mayor al original $I_{N1}=6A$.
- f) De acuerdo a la Tabla 4. 22, el interruptor automático que protegerá al circuito de la válvula solenoide es el modelo C60HC 210.

La Tabla 4. 23 muestra un resumen de las protecciones eléctricas a usarse en el proyecto.

Tablero de Control #	Protección recomendada (A)	Modelo interruptor automático
1	16	C60HC 216
2	4	C60HC 204
3	4	C60HC 204
3 (válvula solenoide)	10	C60HC 210

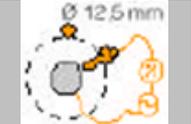
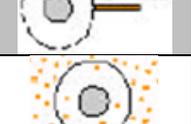
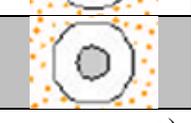
Tabla 4. 23. Dimensionamiento de protecciones eléctricas

4.4.6. Dimensionamiento de tableros de control

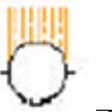
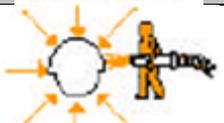
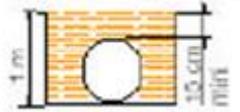
Existen tres parámetros que se deben dimensionar en un tablero de control (González, 2001):

- Aspecto constructivo: Hace referencia al acabado del tablero. Pueden ser:

- Cajas: Usadas en montajes embutidos o sobrepuestos en muros. Se tiene acceso total a los elementos que ésta almacena. Útiles para sistemas sencillos.
- Gabinetes: Usadas en montajes embutidos o sobrepuestos en muros.. Es cerrado y accesible únicamente a través de una puerta batiente vertical u horizontal. Útiles para sistemas sencillos o medianos.
- Armarios: Autosoportantes y de ensamblaje en piso. Son accesibles por dos lados a través de puertas batientes. Útiles para sistemas grandes.
- Grado de Protección Industrial IP: Condiciones ambientales que puede soportar el tablero (y los elementos que éste alberga). Contenidas en las publicaciones IEC 144 e IEC 549. Posee dos cifras (IPXX); ambas se hallan detalladas en la Tabla 4. 24 literales a y b.
- Dimensiones físicas.

IP (1ª cifra)	Test	Descripción
0		Sin protección
1		Protegido contra cuerpos sólidos superiores a 50 mm
2		Protegido contra cuerpos sólidos superiores a 12 mm
3		Protegido contra cuerpos sólidos superiores a 2.5 mm
4		Protegido contra cuerpos sólidos superiores a 1 mm
5		Protegido contra el polvo
6		Totalmente protegido contra el polvo

a) Especificación IP, Primera cifra

IP (2ª cifra)	Test	Descripción
0		Sin protección
1		Protegido contra caídas verticales de gotas de agua
2		Protegido contra caídas de agua hasta 15° de la vertical
3		Protegido contra caídas de agua hasta 60° de la vertical
4		Protegido contra proyecciones de agua en toda dirección
5		Protegido contra el lanzamiento de agua en toda dirección
6		Protegido contra el lanzamiento de agua similar a golpes del mar
7		Protegido contra la inmersión
8		Protegido contra los efectos prolongados de inmersión bajo presión

b) Especificación IP, Segunda cifra
 Tabla 4. 24. Grado de protección de los tableros eléctricos

4.4.6.1. Tablero de control No. 1

Este tablero será sobrepuesto en el muro del Taller de la fábrica, en una ubicación cercana a la Sala de Control. Almacenará principalmente al PLC. El acceso a los elementos ensamblados deberá hacerse a través de una puerta batiente vertical, que normalmente se hallará asegurada con una llave. Desde el punto de vista del aspecto constructivo, se usará un gabinete.

Se requiere que los elementos almacenados tengan mínima incidencia del polvo. No se hallará expuesta a precipitación de líquidos de ningún tipo. El grado de protección industrial que se escoge es IP50 o superior.

Las dimensiones físicas requeridas (ancho x alto x profundidad en milímetros) son 600 x 600 x 200.

4.4.6.2.Tablero de control No. 2

Este tablero será sobrepuesto en un muro aledaño al sector de bancos de hielo de la empresa. Almacenará principalmente transmisores de temperatura. El acceso a los elementos ensamblados deberá hacerse a través de una puerta batiente vertical, que normalmente se hallará asegurada con una llave. Desde el punto de vista del aspecto constructivo, se usará un gabinete.

Se requiere que los elementos almacenados tengan mínima incidencia del polvo. No se hallará expuesta a precipitación de líquidos de ningún tipo. El grado de protección industrial que se escoge es IP50 o superior.

Las dimensiones físicas requeridas (ancho x alto x profundidad en milímetros) son 300 x 300 x 200.

4.4.6.3.Tablero de control No. 3

Este tablero será sobrepuesto en un muro aledaño al sector de calderos de la empresa. Almacenará principalmente transmisores de presión y nivel. El acceso a los elementos ensamblados deberá hacerse a través de una puerta batiente vertical, que normalmente se hallará asegurada con una llave. Desde el punto de vista del aspecto constructivo, se usará un gabinete.

Se requiere que los elementos almacenados tengan mínima incidencia del polvo. Periódicamente se realiza el mantenimiento de los calderos en esa zona, en la cual se produce precipitación de agua en todas las direcciones. El grado de protección industrial que se escoge es IP55 o superior.

Las dimensiones físicas requeridas (ancho x alto x profundidad en milímetros) son 300 x 300 x 200.

La Tabla 4. 25 muestra un resumen de especificaciones de los tableros que se usarán en el proyecto, con productos disponibles en bodega de la empresa. Se puede confirmar que el tamaño escogido para estos tableros es suficientemente amplio para albergar los elementos que se instalarán aquí, tal como se muestra en ANEXO G: PLANOS MECÁNICOS.

Tablero de control No.	Parámetro considerado		
	Aspecto constructivo	Grado IP	Dimensiones (ancho x alto x profundidad) [mm]
1	Gabinete	IP55	600 x 600 x 200
2	Gabinete	IP55	300 x 300 x 200
3	Gabinete	IP55	300 x 300 x 200

Tabla 4. 25. Especificaciones de tableros usados en el proyecto

4.5. Descripción de equipos

Como resultado de los procesos de selección y dimensionamiento de componentes se tiene ahora una idea más global de los equipos que conformarán el proyecto. Estos componentes aseguran un óptimo desempeño bajo las exigentes condiciones de un entorno industrial.

A continuación se recopilan las funcionalidades más importantes de los componentes eléctricos que conforman este proyecto, aunque se puede hallar

información más específica a través de hojas de datos técnicos, indicadas en la sección ANEXO D: DATOS TÉCNICOS.

4.5.1. Controlador CompactLogix 1768 Estándar

Es el nombre que recibe el sistema modular de control de aplicaciones a nivel de máquina a utilizarse en este proyecto. Fabricado por Allen Bradley, proporciona una fuerte capacidad de integración con otros componentes de la misma marca (ALLEN BRADLEY, 2013). Incluye la capacidad de comunicación a través de varias opciones: EtherNet/IP, DeviceNet y ControlNet. Permite el manejo de módulos de entrada/salida tanto en AC, DC y relé; manejo de entradas/salidas analógicas e incluso módulos de movimiento de robots industriales. En la Figura 4. 3 se muestra un controlador CompactLogix 1768 ensamblado para una aplicación.



Figura 4. 3. Ejemplo de controlador CompactLogix 1768 ensamblado

4.5.1.1. Controlador 1768-L43

Constituye la Unidad Central de Proceso de cualquier aplicación a nivel industrial que use a la plataforma CompactLogix 1768 Estándar para su implementación. Para instancias del proyecto en curso, este componente se encargará de controlar los actuadores del sistema, así como del escalado de las señales que

proviengan de los transmisores (ayudados por los módulos de entradas analógicas). En la Figura 4. 4 se muestra al controlador 1768-L43.



Figura 4. 4. Controlador 1768-L43

4.5.1.2.Módulo 1769-IQ16F

Es un módulo de alta velocidad de 16 entradas a 24 VDC. De forma general, sirve bien para la conexión de componentes cuya lógica de funcionamiento sea activación / desactivación, tales como interruptores, fines de carrera, etc. (Figura 4. 5)



Figura 4. 5. Módulo de entradas DC 1769-IQ16F

4.5.1.3.Módulo 1769-OB16P

Es un módulo de 16 salidas 24 VDC de estado sólido. Ideal para la activación de relés, válvula solenoides, lámparas y pequeños motores compatibles con este voltaje. (Figura 4. 6).



Figura 4. 6. Módulo de salidas DC 1769-OB16P

4.5.1.4.Módulo 1769-IF4I

Se trata de un módulo para la entrada de 4 señales analógicas, independientes entre sí. Configurables por software, de manera que la señal de entrada sea en voltaje (-10V a 10V, 0V a 10V, 0V a 5V ó 1V a 5V) o corriente (0 a 20 mA ó 4 a 20 mA). Se los usa para la adquisición de las señales provenientes de los transmisores del proyecto. (Figura 4. 7).



Figura 4. 7. Módulo de entradas analógicas 1769-IF4I

4.5.1.5.Módulo 1768-ENBT

Este módulo permite la conexión del Controlador 1768-L43 a una red Ethernet/IP. La conexión de este módulo a un switch permitirá la comunicación del PLC con el resto de componentes de la red. Este módulo se indica en la Figura 4. 8.



Figura 4. 8. Módulo de comunicación EtherNet/IP 1768-ENBT

4.5.1.6.Switch compacto 1783-EMS04T

Se trata de un switch que permite la comunicación de equipos que se a través de Ethernet/IP. En este punto convergerán el PLC, y el computador, para su comunicación. Posee cuatro puertos para la comunicación. Este componente se indica en la Figura 4. 9.



Figura 4. 9. Switch compacto EtherNet/IP 1783-EMS04T de 4 puertos.

4.5.1.7. Fuente 1768-PA3

Esta fuente provee la alimentación de 24VDC al controlador 1768-L43 y módulos asociados a éste (realizando internamente y de forma automática una reducción a 5VDC requerida por algunos módulos). Adicionalmente presenta las siguientes características:

- Voltaje de alimentación de 85 a 265 VAC.
- Frecuencia del voltaje de alimentación de 47 a 63 Hz.
- Protección contra sobrecarga, y elevadas corrientes de arranque.

Esta fuente se muestra en la Figura 4. 10.



Figura 4. 10. Fuente de alimentación del PLC 1768-PA3

4.5.2. Fuente 1606-XLP15E

Esta fuente por su parte sirve para alimentar los transmisores de los Tableros 2 y 3. Proporciona un voltaje de 24 VDC a su salida, siempre que se la alimente con una tensión de 240 VAC \pm 10% a 60Hz. Posee internamente un fusible de 3,15A con retardo para protección. La Figura 4. 11 muestra la fuente explicada.



Figura 4. 11. Fuente de voltaje 1606-XLP15E

4.5.3. Sensor y Transmisor de temperatura MST665

En este proyecto se deben usar 5 de estos conjuntos sensor - transmisor, para todos los bancos de hielo cuya temperatura se desea monitorizar. El sensor utilizado es una RTD de tipo PT100 de 3 hilos (Figura 4. 12) de especificación IP68 (sumergible). La necesidad de que el sensor sea sumergible es debido a que los tanques de agua de los bancos de hielo se hallan contruidos en el suelo, lo que involucra en una gran dificultad en la construcción de un termopozo destinados a albergar el sensor PT100.



Figura 4. 12. RTD tipo PT100 de 3 hilos, especificación IP68

El sensor PT100 se conectará al transmisor de temperatura MST665 para montaje en riel DIN (Figura 4. 13), el cual provee una señal de salida de 4 a 20 mA, con la posibilidad de envío de una señal de 3.8 mA cuando exista apertura de la RTD (MUESENTECHNIK, 2013).



Figura 4. 13. Transmisor de temperatura MST665

4.5.4. Transmisor de presión PBS-RP160SN1SS0D5AOZ

El transmisor de presión Sick modelo PBS-RP160SN1SS0D5AOZ, está compuesto por un sensor de presión de tipo piezoeléctrico, que mediante circuitería electrónica interna se halla conectado al transmisor dentro de una misma carcasa (Figura 4. 14).



Figura 4. 14. Transmisor de presión PBS-RP160SN1SS0D5AOZ

El transmisor posee otras características entre las que se citan las siguientes (SICK, 2013):

- Medición de presión relativa
- Unidades en psi
- Rango de medición entre 0 y 160 (psi).
- Conexión al proceso neumático / hidráulico a través de roscado de 1/4".
- Conexión al sistema electrónico a través de conector M12, a través de 5 pines.
- Sin ningún acabado específico.

El transmisor arroja a su salida una señal de 4-20 mA. Se usará dos de estos transmisores, para la medición de presión en los Calderos # 1 y 2 respectivamente.

4.5.5. Transmisor de nivel UM30-214113

El transmisor de nivel Sick modelo UM30-214113, está compuesto por un sensor de nivel ultrasónico que se halla conectado al transmisor como tal (Figura 4. 15). La elección de ultrasonido frente a otros métodos es porque el líquido cuyo nivel se desea conocer es diésel, en general, poco conductor; adicionalmente, se requiere el mínimo de modificaciones mecánicas a las instalaciones actuales en la fábrica.



Figura 4. 15. Transmisor de nivel UM30-214113

Este transmisor permite la medición de niveles en un rango de 350-3400 mm, arrojando a su salida una señal de 4-20 mA, ó de 0 – 10V. Se conecta al resto del sistema eléctrico a través de un conector M12 con 5 pines (SICK, 2013). Se usará dos de estos transmisores, para la medición de nivel en los Tanques de diésel # 1 y 2 respectivamente.

4.5.6. Relé 24 VDC Telemecanique RUM C2AB1BD

Un relé (TELEMECHANIQUE, 2013) es un dispositivo electromecánico que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

En este caso, se usará para la activación de cargas de potencia, cuando alguna de las salidas del PLC (24VDC) se active. Se dispone en la empresa de gran cantidad de relés RUM de propósito general, con dos contactos NA y dos contactos NC asociados. La base para el relé que se dispone es de contactos mixtos (Figura 4. 16).



Figura 4. 16. Relé 24 VDC Telemecanique

4.5.7. Válvula solenoide UNI-D SUW-50#316

La válvula solenoide SUW-50#316 (UNI-D, 2013) es de tipo todo-nada, normalmente cerrada, de 2" de diámetro, 220 VAC de alimentación, de marca UNI-D. Su propósito es el desfogue automático de la cisterna de la Torre de Enfriamiento cada 8 horas, programado en el PLC. (Figura 4. 17)



Figura 4. 17. Válvula solenoide SUW-50#316

4.5.8. Interruptor automático C60HC 204 y C60HC 216

Constituye los componentes de seguridad eléctrica de los Tableros que integran este proyecto. Son interruptores automáticos, dimensionados a 4A (C60HC 204), 10A (C60HC 210) y 16A (C60HC 216). El interés primordial a través de la instalación de estos, es evitar sobrecargas y corrientes de cortocircuitos que malograrían los equipos. En la Figura 4. 18 se muestra el interruptor automático C60HC 204; para el caso del C60HC 210 y C60HC 216 cambia el rotulado del componente, aunque físicamente es similar.



Figura 4. 18. Interruptor automático C60HC 204

4.6. Asignación de entradas y salidas del PLC

Ahora que se conocen los módulos de los que consta el PLC, es menester definir una función a las entradas y salidas que se requieran para implementar este sistema. Los módulos de los que dispone el PLC permiten holgadamente asignar una determinada tarea a cada entrada o salida.

De forma general, se tienen entradas tanto digitales como analógicas, y la salida es digital únicamente. Con el propósito de señalar al tablero, se asignarán funcionalidades adicionales al módulo de salidas digitales. Todas estas tareas se muestran resumidas en la Tabla 4. 26.

Módulo	Tipo de módulo	Tipo de señal	Borne	Funcionalidad
1769-IQ16F	Entrada	Digital	IN 0	Interruptor de activación del programa del PLC
1769-IF4I (1)	Entrada	Analógica	Ch0+	Recepción señal del transmisor de temperatura, Banco de Hielo # 1
1769-IF4I (1)	Entrada	Analógica	Ch1+	Recepción señal del transmisor de temperatura, Banco de Hielo # 2
1769-IF4I (1)	Entrada	Analógica	Ch2+	Recepción señal del transmisor de temperatura, Banco de Hielo # 3
1769-IF4I (1)	Entrada	Analógica	Ch3+	Recepción señal del transmisor de temperatura, Banco de Hielo # 5
1769-IF4I (2)	Entrada	Analógica	Ch0+	Recepción señal del transmisor de presión, Caldero # 1
1769-IF4I (2)	Entrada	Analógica	Ch1+	Recepción señal del transmisor de presión, Caldero # 2
1769-IF4I (2)	Entrada	Analógica	Ch2+	Recepción señal del transmisor de nivel, Tanque de Diésel # 1
1769-IF4I (2)	Entrada	Analógica	Ch3+	Recepción señal del transmisor de nivel, Tanque de Diésel # 2
1769-IF4I (3)	Entrada	Analógica	Ch0+	Recepción señal del transmisor de temperatura, Banco de Hielo # 5
1769-OB16P	Salida	Digital	OUT 1	Activación relé para comando de válvula solenoide de purga, Torre de enfriamiento
1769-OB16P	Salida	Digital	OUT 2	Indicador de PLC en línea

Tabla 4. 26. Asignación de funciones a entradas y salidas del PLC

4.7. Listado de equipos, instrumentación, accesorios y materiales

Uno de los factores que determinan el éxito de la instalación y puesta en marcha de un proyecto en general, es contar con una lista completa de los recursos que tal proyecto requiere. El talento humano es una pieza indispensable dentro de estos recursos a disponer, aunque en Pasteurizadora “El Ranchito”, hay suficiente personal capacitado para numerosas actividades dentro del ámbito técnico. Esto permite considerar otro componente fundamental: los materiales que se utilicen en este proyecto.

Conocer los materiales, instrumentos, insumos, etc., que una obra requiere es de ayuda para la empresa que financie el proyecto en cuestión, esencialmente porque permite:

- Estimar costos de equipos y almacenaje.
- Establecer tiempos de importación / entrega.
- Disminuir inventarios.

Todas estas ventajas se ven traducidas en una optimización de recursos financieros al interior de la empresa.

Las listas que a continuación se muestran son un recopilatorio de las listas de materiales indicadas en varios de los planos mostrados en el ANEXO G: PLANOS MECÁNICOS. En dicho anexo también se indican especificaciones de ensamblaje.

4.7.1. Tablero de Control # 1

Los componentes del Tablero de Control # 1 se indican en la Tabla 4. 27.

Descripción	Marca	Modelo	Cantidad	Unidad
Bornera para riel DIN	---	26-10 AWG	18	---
Riel DIN 35mm x 15mm	---	---	1	m
Canaleta ranurada 25mm x 25mm	---	---	2	m
Cable AWG 14, aislamiento TW	---	---	18	m
Cable AWG 18, aislamiento TW	---	---	5	m
Cable AWG 15, aislamiento TW	---	---	228	m
Cable instrumentación, blindaje foil general	---	5 hilos (AWG18)	203	m
Cable instrumentación, blindaje foil general	---	6 hilos (AWG18)	82	m
Terminal tipo espada, aislado, AWG 22-16	---	---	100	---
Terminal tipo punta, aislado, AWG 22-16	---	---	100	---
Gabinete Eléctrico 60cm x 60cm x 20cm	---	IP55	1	---
Conector recto para manguera conduit 1"	---	---	2	---
Manguera conduit de 1"	---	---	Sin definir	---
Prensaestopas de PVC	---	4 a 8 mm	2	---
Tirafondos de 1/4" x 2"	---	---	4	---
Tacos Fisher S10	---	50 mm	4	---
PLC (CPU)	Allen-Bradley	1768-L43	1	---
Fuente de PLC	Allen-Bradley	1768-PA3	1	---
Módulo PLC Ethernet/IP	Allen-Bradley	1768-ENBT	1	---
Módulo de entradas al PLC de 24 VDC	Allen-Bradley	1769-IQ16F	1	---
Módulo de salidas al PLC de 24 VDC	Allen-Bradley	1769-OB16P	1	---
Módulo de entradas analógicas al PLC	Allen-Bradley	1769-IF4I	3	---
Tapa terminal derecha para el PLC	Allen-Bradley	1769-ECR	1	---
Switch compacto para red Ethernet	Allen-Bradley	EMS04T	1	---
Interruptor automático de 16A, 1 polo	Schneider Electric	C60HC 216	1	---
Interruptor automático de 10A, 2 polos	Schneider Electric	C60HC 210	1	---
Relé 24 VDC	Telemecanique	RUM C2AB1BD	1	---
Luz piloto 110 VAC, blanca	Xider	AD22-22DS	1	---
Luz piloto 24 VDC, verde	Xider	AD22-22DS	1	---
Selector de dos posiciones, un polo	Xider	---	1	---

Tabla 4. 27. Lista de componentes del Tablero de control # 1

4.7.2. Tablero de Control # 2

Los componentes del Tablero de Control # 2 se indican en la Tabla 4. 28.

Descripción	Marca	Modelo	Cantidad	Unidad
Bornera para riel DIN	---	26-10 AWG	9	---
Riel DIN 35mm x 15mm	---	---	1	---
Canaleta ranurada 25mm x 25mm	---	---	2	---
PT100 de 3 hilos	---	IP68	4	---
Conector macho para RTD	---	---	4	---
Conector hembra para RTD	---	---	4	---
Cable de extensión para RTD	---	3 hilos	100	m
Cable AWG 13, tipo TW	---	---	25	m
Cable AWG 20, tipo TW	---	---	5	m
Terminal tipo punta, aislado	---	---	50	---
Gabinete eléctrico 30cm x 30cm x 20cm	---	IP55	1	---
Conector recto para manguera conduit de 3/4"	---	---	2	---
Manguera conduit de 3/4"	---	---	Sin definir	---
Prensaestopas de PVC	---	4 a 8 mm	2	---
Tirafondos de 1/4" x 2"	---	---	4	---
Tacos Fisher S10	---	50 mm	4	---
Cable de instrumentación, blindaje general	---	5 hilos, AWG18	203	m
Fuente 24 VDC, 1.5 A	Allen Bradley	1606-XLP15E	1	---
Transmisor de temperatura 4 a 20 mA	Muesentechnik	MST665	4	---
Interruptor automático 4A, 1 polo	Schneider Electric	C60HC 204	1	---
Luz piloto 110 VAC, blanca	Xider	AD22-22DS	1	---

Tabla 4. 28. Lista de componentes del Tablero de control # 2

4.7.3. Tablero de Control # 3

Los componentes del Tablero de Control # 3 se indican en la Tabla 4. 29.

Descripción	Marca	Modelo	Cantidad	Unidad
Bornera para riel DIN	---	26-10 AWG	9	---
Riel DIN 35mm x 15mm	---	---	1	---
Canaleta ranurada 25mm x 25mm	---	---	2	---
PT100 de 3 hilos	---	IP68	1	---
Conector macho para RTD	---	---	1	---
Conector hembra para RTD	---	---	1	---
Conector hembra M12	---	recto	4	---
Cable de extensión para RTD, cubierta de teflón	---	3 hilos	13	m
Cable AWG 13	---	---	10	---
Cable AWG 20	---	---	5	m
Terminal tipo punta, aislado	---	---	50	---
Gabinete eléctrico 30cm x 20cm x 20cm	---	IP66	1	---
Conector recto para manguera conduit de 3/4"	---	---	2	---
Manguera conduit de 3/4"	---	---	Sin definir	---
Prensaestopas de PVC	---	4 a 8 mm	2	---
Tirafondos de 1/4" x 2"	---	---	4	---
Cable de instrumentación, blindaje general	---	6 hilos, AWG18	203	m
Fuente 24 VDC a 1.5 A	Allen Bradley	1606-XLP15E	1	---
Cable de control AWM (para M12)	Allen Bradley	4 hilos	106	m
Transmisor de temperatura, 4 a 20 mA	Muesentechnik	MST665	1	---
Interruptor automático 4A, 1 polo	Schneider Electric	C60HC 204	1	---
Transmisor de presión, 4 a 20 mA	Sick	PBS ⁹	2	---
Transmisor de nivel, 4 a 20 mA	Sick	UM30-214113	2	---
Luz piloto 110 VAC, blanca	Xider	AD22-22DS	1	---

Tabla 4. 29. Lista de componentes del Tablero de control # 3

⁹ El modelo completo del transmisor de presión es PBS-RP160SN1SS0BMAOZ.

4.7.4. Accesorios para la construcción de soportes

Los materiales requeridos para la construcción de los soportes para los transmisores de nivel se indican en la Tabla 4. 30. Se insta a la construcción de estos soportes, dado que el fabricante de los transmisores de nivel en su catálogo de accesorios no provee un ítem que satisfaga las condiciones del presente proyecto.

Componente	Material	Dimensión (pulgadas)	Cantidad	Unidad
Tubo	Bronce	4	1	m
Varilla roscada	Acero inoxidable	3/4	0.5	m
Tuerca	Hierro galvanizado	3/4	8	---

Tabla 4. 30. Materiales para elaboración de soportes de transmisores de nivel

4.7.5. Accesorios para la construcción de *ByPass* de la Torre de Enfriamiento

La electroválvula no actúa por si sola en el proceso de purga de la Torre de Enfriamiento; es necesaria la adición de otros accesorios, indicados en la Tabla 4. 31.

Componente	Material	Dimensión (pulgadas)	Cantidad
Válvula UNI-D mod. SUW-50#316, 220 VAC, NA	Acero inoxidable	2	1
Válvula de globo, media vuelta	Acero inoxidable	2	1
Unión universal	Hierro galvanizado	2	1
Tee	Hierro galvanizado	2	2
Codo de 90	Hierro galvanizado	2	2
Neplo de 15 cm	Hierro galvanizado	2	2
Neplo de 10 cm	Hierro galvanizado	2	2

Tabla 4. 31. Materiales requeridos para construcción de *ByPass* en Torre de Enfriamiento

4.8. Planos P&ID

Los documentos mencionados se hallan en:

ANEXO E: PLANOS P&ID

La normativa de estos planos está regida por organismos internacionales de normalización y resumida en manuales disponibles en internet (ASPEN TECHNOLOGY, 2013); (MINISTERIO IRANÍ DEL PETRÓLEO, 1996); (UNIVERSIDAD DE TEXAS, 2013). Dentro de estos planos, se debe establecer que los elementos que se añaden en este proyecto, así como su significado, se describen en la Tabla 4. 32.

Nomenclatura	Función	Ubicación
TT-201	Transmisor de temperatura	Banco de Hielo # 1
TT-202	Transmisor de temperatura	Banco de Hielo # 2
TT-203	Transmisor de temperatura	Banco de Hielo # 3
TT-301	Transmisor de temperatura	Banco de Hielo # 4
TT-204	Transmisor de temperatura	Banco de Hielo # 5
PIT-305	Transmisor Indicador de presión	Caldero # 1
PTI-306	Transmisor Indicador de presión	Caldero # 2
LTI-307	Transmisor Indicador de nivel	Tanque de diésel # 1
LTI-308	Transmisor Indicador de nivel	Tanque de diésel # 2
SV-201	Válvula solenoide	Torre de enfriamiento
TI-101	Indicador de temperatura	Sala de control
TI-102	Indicador de temperatura	Sala de control
TI-103	Indicador de temperatura	Sala de control
TI-104	Indicador de temperatura	Sala de control
TI-105	Indicador de temperatura	Sala de control
PI-101	Indicador de presión	Sala de control
PI-102	Indicador de presión	Sala de control
LI-101	Indicador de nivel	Sala de control
LI-102	Indicador de nivel	Sala de control

Tabla 4. 32. Nomenclatura de elementos modificados / a instalar del presente proyecto

4.9. Planos eléctricos

Dentro de los parámetros de la ingeniería de detalle se halla la documentación minuciosa de todas las etapas que abarque el proyecto. Uno de los puntos más importantes es la implementación de la etapa eléctrica, puesto que este tipo de componentes conforman prácticamente la totalidad de los elementos usados. En tal virtud, se ha dividido la explicación de esta información a través de los documentos indicados en:

ANEXO F: PLANOS ELÉCTRICOS

Tal anexo a su vez se halla dividido en las secciones mencionadas a continuación.

4.9.1. Planos eléctricos de mando y potencia

SECCIÓN i: MANDO Y POTENCIA

4.9.2. Planos eléctricos de conexionado

SECCIÓN ii: CONEXIONADO

4.9.3. Planos eléctricos de interconexionado

SECCIÓN iii: INTERCONEXIONADO

4.10. Planos mecánicos

Los documentos mencionados se hallan en:

ANEXO F: PLANOS MECÁNICOS

En el archivo “MEC_5” del anexo mencionado, el ÍTEM # 35 corresponde a los conectores rectos que albergan sendas mangueras Conduit. Éstas son usadas con el propósito de lograr un adecuado ingreso de todos los conductores que transmiten señal o voltaje de alimentación al interior de los tableros. Para todos los tableros, se tienen siempre 2 de estos conectores, unidos cada uno a una manguera que indiferentemente se bautizarán como “A” y “B”. En la Tabla 4. 33, Tabla 4. 34 y Tabla 4. 35, se indican los conductores contenidos por cada manguera en cada Tablero de control.

Conector	Contenido	Tipo de señal (E/S)
"A"	Cable de alimentación 110VAC	Entrada
"A"	Cable de activación de válvula solenoide	Salida
"B"	Cable de señales del área de Bancos de Hielo	Entrada
"B"	Cable de señales del área de Calderos	Entrada

Tabla 4. 33. Entrada y salida de cables hacia Tablero de Control No. 1

Conector	Contenido	Tipo de señal (E/S)
"A"	Cable de alimentación 110VAC	Entrada
"B"	Cables de sensores PT100 (Bancos de Hielo No. 1, 2, 3 y 5)	Entrada
"B"	Cable de señales del área de Bancos de Hielo	Salida

Tabla 4. 34. Entrada y salida de cables hacia Tablero de Control No. 2

Conector	Contenido	Tipo de señal (E/S)
"A"	Cable de alimentación 110VAC	Entrada
"B"	Cables de transmisores de presión y nivel (Calderos No. 1 y 2; Tanques de diésel No. 1 y 2)	Entrada
"B"	Cables de sensor PT100, Bancos de Hielo No. 4	Entrada
"B"	Cable de señales del área de Bancos de Hielo	Salida

Tabla 4. 35. Entrada y salida de cables hacia Tablero de Control No. 3

4.11. Planos de obra civil

Los documentos mencionados se hallan en:

ANEXO G: PLANOS CIVILES

CAPÍTULO 5

DESARROLLO DE SOFTWARE

En el presente capítulo se realiza una descripción de los recursos de software utilizados para la programación, así como las variables, tecnologías y procesos diseñados. Además, la explicación de los programas de control que se serán implementados en el PLC y el PC.

Debido a parámetros de eficiencia y sobre todo por motivos económicos los dispositivos sugeridos en todos los procesos serán de marca Allen Bradley, por tanto para la programación se ha utilizado los programas RSLogix 5000 y Wonderware InTouch.

Allen Bradley proporciona una arquitectura integrada ideal para el control de procesos a través de entornos de software de programación y compatibilidad para comunicaciones a través de varias plataformas de hardware.

5.1. Programación del PLC

Para la interpretación de variables dentro del sistema de monitorización y la automatización de la purga de la torre de agua de helada se utilizará un PLC Allen Bradley CompactLogix 1768-L43. Para desarrollar el programa del PLC mencionado se ha empleado el software RSLogix 5000 Versión 17, el mismo que ha permitido una programación sencilla de cada estado del proceso. A través de la lógica programada se monitorea las variables de proceso que para este caso son Presión,

Temperatura, Nivel y se controla la válvula solenoide de la Torre de enfriamiento a través de un bloque temporizador. En la Figura 5. 1 se muestra el flujo de información del proceso.

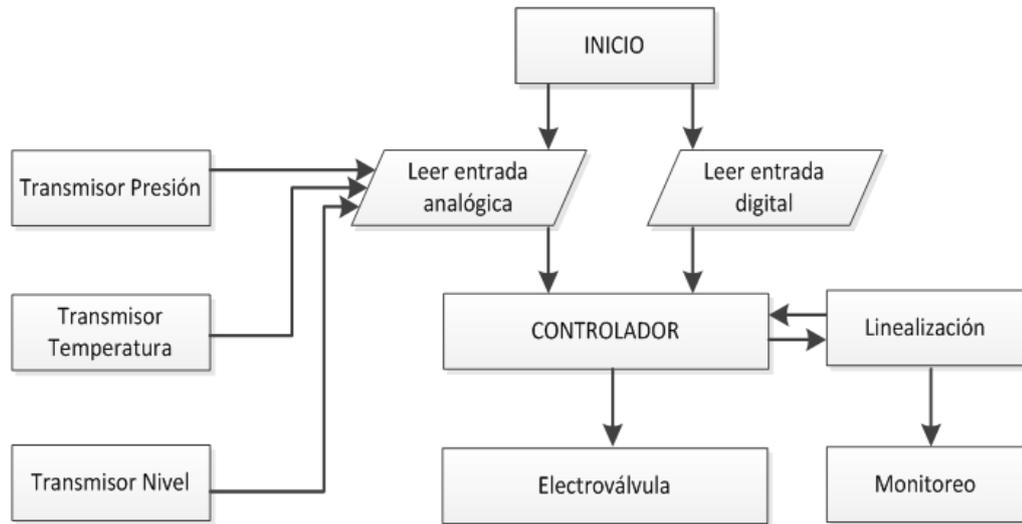


Figura 5. 1. Diagrama de flujo del sistema

5.1.1. Software de Programación RSLogix 5000

RSLogix 5000 es un paquete de software que cumple con la normativa IEC 61131-3 que es una estandarización para autómatas programables, periféricos y lenguajes de programación, éste estándar está dividido en dos partes como se muestra en la Figura 5. 2.

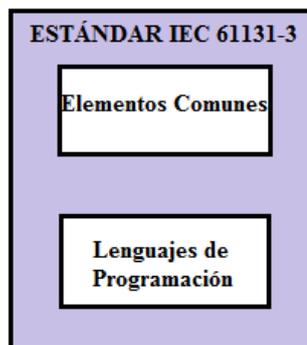


Figura 5. 2. División del Estándar IEC 61131-3

Elementos Comunes: Dentro de estos elementos se definen los tipos de datos, las variables y la configuración de programas que incluye rutinas y subrutinas.

Lenguajes de Programación: RSLogix 5000 maneja los 4 lenguajes de programación normalizados para el desarrollo de programas de aplicación:

- Lógica de escalera de relés o diagrama *Ladder*: Programación basada en operaciones de contactos normalmente abiertos o cerrados que controlan una salida, es decir, es la presentación gráfica del cableado.
- Texto estructurado: Lenguaje de alto nivel que puede ser utilizado para codificar instrucciones complejas e instrucciones anidadas.
- Diagramas de bloques de funciones: Basado en el álgebra de Boole cuya programación se representa con compuertas lógicas representadas con símbolos normalizados.
- Diagramas de funciones secuenciales o lista de instrucciones: Es el modelo del lenguaje ensamblador donde las instrucciones son enlistadas para que el controlador las vaya desarrollando.

5.1.1.1.Requisitos mínimos para la instalación del Software RSLogix 5000

Los requisitos mínimos para la instalación de RSLogix 5000 se muestran en la Tabla 5. 1.

Descripción	Valor
Computador de	Pentium II de 450 MHz
Sistema Operativo	Microsoft Windows XP Professional, Service
RAM	256 MB
Disco Duro	1.3 GB de espacio libre en el disco
Requisitos de Video	Adaptador de gráficos VGA de 256 colores Resolución mínima de la pantalla de 800x600

Tabla 5. 1. Requisitos mínimos para la instalación de RSLogix 5000

5.1.2. Lista de Tags

Las entradas analógicas correspondientes al presente proyecto deben ser asignadas a etiquetas (*tags*) que son direcciones las cuales interactúan entre el PLC y el HMI del operador y viceversa.

En la Tabla 5. 2 se detalla la lista de *tags* utilizadas en el programa del PLC, implementado en RSLogix 5000.

Nombre	Canal/Dirección	Tipo de dato	Descripción
sistema_activo	Local:1:I.Data0	Binary	Interruptor de activación general del sistema
valvula_solenoide	Local:2:O.Data.0	Binary	Permite la activación de la válvula solenoide
luz_piloto	Local:2:O.Data.1	Binary	Luz indicadora de sistema en línea
t1	Local:3:I.Ch0Data	Real/Float	Recibe señal de corriente del transmisor de temperatura del Banco Hielo 1.
t2	Local:3:I.Ch1Data	Real/Float	Recibe señal de corriente del transmisor de temperatura del Banco Hielo 2.
t3	Local:3:I.Ch2Data	Real/Float	Recibe señal de corriente del transmisor de temperatura del Banco Hielo 3.
t5	Local:3:I.Ch3Data	Real/Float	Recibe señal de corriente del transmisor de temperatura del Banco Hielo 5.
p1	Local:4:I.Ch0Data	Real/Float	Recibe señal de corriente del transmisor de presión del Caldero 1.
p2	Local:4:I.Ch1Data	Real/Float	Recibe señal de corriente del transmisor de presión del Caldero 2.
n1	Local:4:I.Ch2Data	Real/Float	Recibe señal de corriente del transmisor de nivel del Tanque de Diésel 1.
n2	Local:4:I.Ch3Data	Real/Float	Recibe señal de corriente del transmisor de nivel del Tanque de Diésel 1.
t4	Local:5:I.Ch0Data	Real/Float	Recibe señal de corriente del transmisor de temperatura del Banco Hielo 4.
temp1		Real/Float	Contiene valor real de la Temperatura del Banco de Hielo 1
temp2		Real/Float	Contiene valor real de la Temperatura del Banco de Hielo 2
temp3		Real/Float	Contiene valor real de la Temperatura del Banco de Hielo 3
temp4		Real/Float	Contiene valor real de la Temperatura del Banco de Hielo 4
temp5		Real/Float	Contiene valor real de la Temperatura del Banco de Hielo 5
pres1		Real/Float	Contiene valor real de la Presión del Caldero 1
pres2		Real/Float	Contiene valor real de la Presión del Caldero 1
niv1		Real/Float	Contiene valor real del Nivel del Tanque de Diésel 1
niv2		Real/Float	Contiene valor real del Nivel del Tanque de Diésel 2

Tabla 5. 2. Lista de *tags* usadas en el programa del PLC

La Tabla 5. 3 lista las *tags* utilizadas en el HMI; las cuales por facilidad se han llamado con el mismo nombre que las tags a las que se asocian provenientes del software RSLogix 5000.

Nombre	Tipo de Dato	Descripción
niv1	Real/Float	Muestra el valor obtenido de la ecuación correspondiente para mostrar la cantidad de diésel que posee el tanque de la superficie.
niv2	Real/Float	Muestra el valor obtenido de la ecuación correspondiente para mostrar la cantidad de diésel que posee el tanque del subsuelo.
pres1	Real/Float	Contiene el valor obtenido de la ecuación correspondiente para indicar la presión en que se encuentra el caldero de 100HP.
pres2	Real/Float	Contiene el valor obtenido de la ecuación correspondiente para indicar la presión en que se encuentra el caldero de 250HP.
temp1	Real/Float	Contiene el valor obtenido de la ecuación correspondiente para indicar la temperatura del banco de agua helada 1.
temp2	Real/Float	Contiene el valor obtenido de la ecuación correspondiente para indicar la temperatura del banco de agua helada 2.
temp3	Real/Float	Contiene el valor obtenido de la ecuación correspondiente para indicar la temperatura del banco de agua helada 3.
temp4	Real/Float	Contiene el valor obtenido de la ecuación correspondiente para indicar la temperatura del banco de agua helada 4.
temp5	Real/Float	Contiene el valor obtenido de la ecuación correspondiente para indicar la temperatura del banco de agua helada 5.

Tabla 5. 3. Lista de *tags* usadas en la interfaz HMI

5.1.3. Análisis de rutinas

La programación del sistema de monitorización y automatización consta de una rutina principal. En la cual se desarrolla el escalamiento de nivel, temperatura y presión.

Un segmento de la programación en LADDER se muestra en la Figura 5.3.

Se observa que el escalamiento de cada una de las variables se utiliza el bloque CPT. Para el uso del mismo previamente se debe configurar el/los módulos de entradas y salidas analógicas.

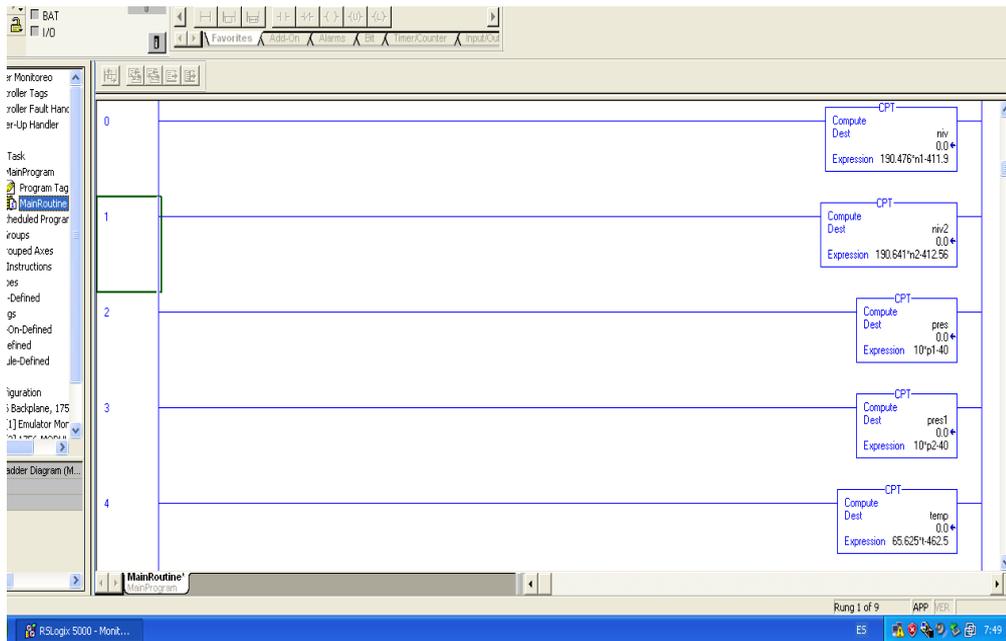


Figura 5. 3. Segmento de programación LADDER

Con el software RSLogix 5000 se puede configurar de forma ágil a la mayoría de los módulos E/S mediante sus propiedades. Una vez dentro de las propiedades del módulo buscamos la pestaña *Configuration*, como se ve en la Figura 5. 4.

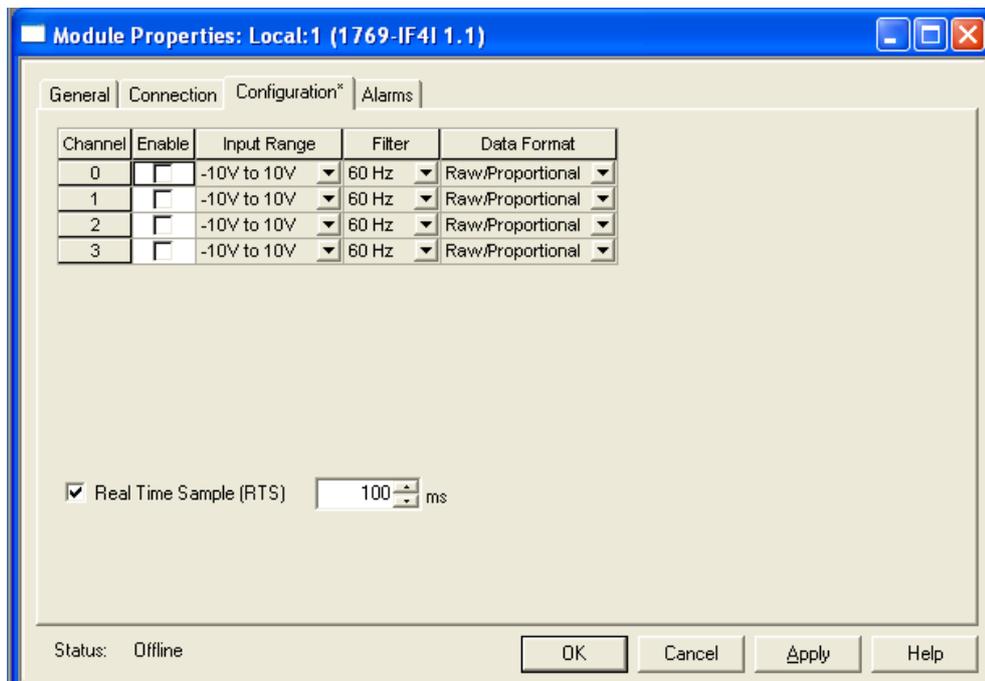


Figura 5. 4. Parámetros por defecto de canales en un módulo de E/S analógica.

Se debe configurar tantos canales como sean necesarios, por ejemplo el canal 0, habilitamos el canal marcando el recuadro, ahora se pueden modificar los parámetros de acuerdo a las necesidades. Se utilizará la opción de 0 a 20 mA, por las señales a recibir. Esta acción se observa en la Figura 5. 5.

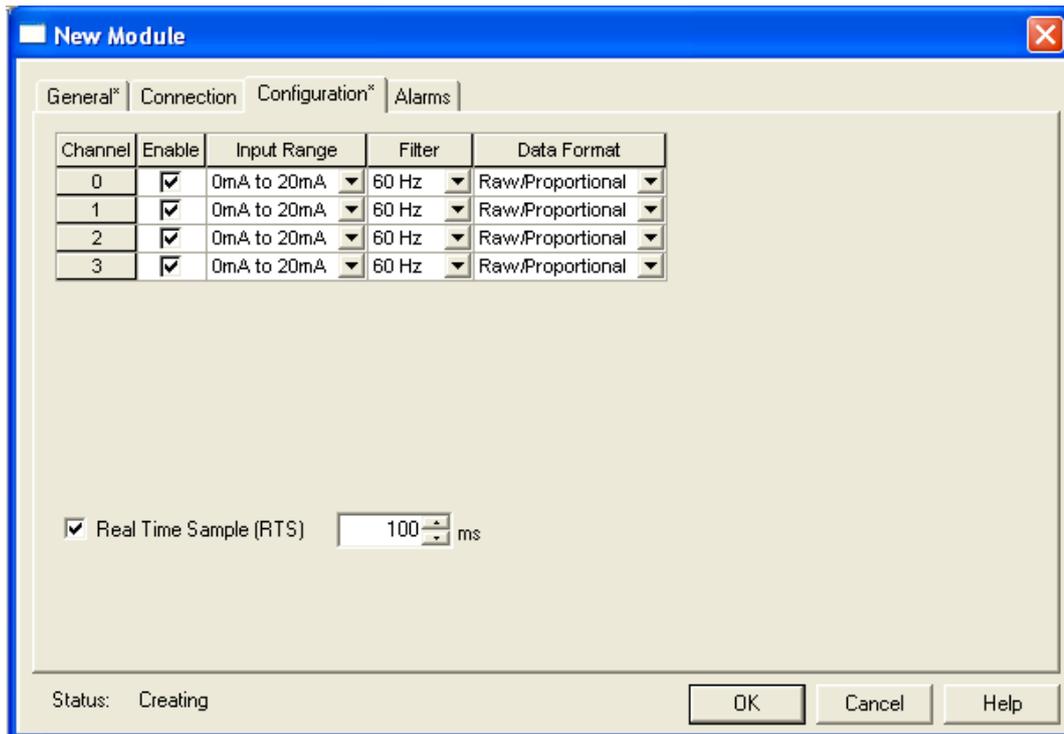


Figura 5. 5. Configuración necesaria del canal para la aplicación

Y luego se da clic en “OK”. Las entradas analógicas del módulo 1769-IQ16F al configurarse de la manera indicada asignan a cada canal la correspondencia indicada en la Tabla 5. 4, en base a la cual se pueden establecer ecuaciones lineales para cada caso.

Corriente que ingresa al módulo analógico (mA)	Dimensión en unidades crudas
0	0
4	6241
20	31206

Tabla 5. 4. Correspondencia entre la corriente del módulo analógico y las unidades crudas automáticamente otorgadas por éste.

5.1.3.1. Obtención de las ecuaciones de recta de los transmisores electrónicos

En esta sección se indica el proceso de obtención de las ecuaciones de recta de los transmisores electrónicos, que se conectan a las entradas analógicas del PLC.

En la Tabla 5. 5 se recapitulan las características de los dispositivos a utilizar.

Transmisor	Unidad	Medida a la que marca 4mA	Medida a la que marca 20mA	Observación
Temperatura	°C	-250	850	3.6 mA en circuito abierto
Presión	psi	0	160	Ninguna
Nivel	mm	350	3400	Ninguna

Tabla 5. 5. Características de los transmisores electrónicos

La ecuación que se usará en los transmisores debe adoptar la forma de la ecuación general de la recta (Ec. 5. 1) para posteriormente ingresarse en el programa del PLX. Los valores de “x” corresponderán a las unidades crudas, y los valores de “y” corresponden a la magnitud que se mida (temperatura, presión o nivel).

$$y = mx + b; \text{ Ecuación de la recta} \tag{Ec. 5. 1}$$

Los valores de “m” y “b” en la Ec. 5. 1 están determinados por la Ec. 5. 2 y Ec. 5. 3:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \tag{Ec. 5. 2}$$

$$b = y_1 - \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}\right) x_1 \tag{Ec. 5. 3}$$

Donde los subíndices “1” y “2” son indicados para cada caso.

Obtención de la ecuación del transmisor de temperatura

Combinando la información disponible en la Tabla 5. 4 y Tabla 5. 5, se obtiene la Tabla 5. 6, que proporciona los datos para la deducción de la ecuación de la recta correspondiente.

Subíndice	x (Unidades crudas)	y (Temperatura [°C])
1	6241	-200
2	31206	850

Tabla 5. 6. Datos del transmisor de temperatura

Reemplazando en la Ec. 5. 2 y Ec. 5. 3, se obtiene

$$m = \frac{850 - (-200)}{31206 - 6241} = 0.042$$

$$b = -200 - \left(\frac{850 - (-200)}{31206 - 6241} \right) 6241 = -462.489$$

Entonces, la ecuación general (basándose en la Ec. 5. 1) de la recta es:

$$y = 0.042x - 462.489 \quad \text{Ec. 5. 4}$$

Adicionalmente se menciona que cuando el módulo analógico arroje una lectura de 3.6 mA (5617 en unidades crudas) implicará la apertura del RTD en el transmisor.

Por otro lado, el rango nominal entre los que oscila la temperatura de los bancos de hielo en Pasteurizadora “El Ranchito” es de -13 a 13 °C, para poder determinar estado de alarma se consideró el rango de -15 a 15 °C, si se reemplaza estos valores en la Ec. 5.4 se obtienen los valores máximos y mínimos de unidades crudas en los que oscilara la monitorización de temperatura en el PLC, así:

$$-15 = 0.042x - 462.489$$

$$x = 10639; \quad \text{valor mínimo en unidades crudas}$$

$$15 = 0.042x - 462.489$$

$$x = 11352; \quad \text{valor máximo en unidades crudas}$$

Por lo tanto ahora se puede considerar las condiciones de alarma para cuando el sistema esté por debajo de los -13°C y por encima de los 13°C.

Obtención de la ecuación del transmisor de presión

Combinando la información disponible en la Tabla 5. 4 y Tabla 5. 5, se obtiene la Tabla 5. 7, que proporciona los datos para la deducción de la ecuación de la recta correspondiente.

Subíndice	X (Unidades crudas)	Y (Presión [psi])
1	6241	0
2	31206	160

Tabla 5. 7. Datos del transmisor de presión

Reemplazando en la Ec. 5. 2 y Ec. 5. 3, se obtiene

$$m = \frac{160 - 0}{31206 - 6241} = 0.006$$

$$b = 0 - \left(\frac{160 - 0}{31206 - 6241} \right) 6241 = -40$$

Entonces, la ecuación general (basándose en la Ec. 5. 1) de la recta es:

$$y = 0.006x - 40 \quad \text{Ec. 5. 5}$$

El rango nominal entre los que oscila la presión de los calderos en Pasteurizadora “El Ranchito” es de 80 a 110 psi, si se reemplaza estos valores en la Ec. 5.5 se obtienen los valores máximos y mínimos de unidades crudas en los que oscilara la monitorización de presión en el PLC, así:

$$80 = 0.006x - 40$$

$$x = 18723; \quad \text{valor mínimo en unidades crudas}$$

$$110 = 0.006x - 40$$

$$x = 23404; \quad \text{valor máximo en unidades crudas}$$

Por lo tanto ahora se puede considerar las condiciones de alarma para cuando el sistema esté por debajo de los 80 psi y por encima de los 110 psi.

Obtención de la ecuación del transmisor de nivel

Combinando la información disponible en la Tabla 5. 4 y Tabla 5. 5, se obtiene la Tabla 5. 8, que proporciona los datos para la deducción de la ecuación de la recta correspondiente.

Subíndice	X (Unidades crudas)	Y (Nivel [mm])
1	6241	350
2	31206	3400

Tabla 5. 8. Datos del transmisor de nivel

Reemplazando en la Ec. 5. 2 y Ec. 5. 3, se obtiene

$$m = \frac{3400 - 350}{31206 - 6241} = 0.122$$

$$b = 350 - \left(\frac{3400 - 350}{31206 - 6241} \right) 6241 = -412.469$$

Entonces, la ecuación general (Ec. 5. 1) de la recta es:

$$y = 0.122x - 412.469 \quad \text{Ec. 5. 6}$$

Ahora, esta ecuación se usará en la medición de nivel de los dos tanques de diésel. Recuérdese sin embargo, que ambos tanques poseen diámetros diferentes; el tanque de diésel 1 posee un diámetro de 1600 mm y el tanque de diésel 2, 2200 mm.

En el caso del tanque de diésel 1, se considerarán condiciones de alarma cuando el nivel de diésel se halle por debajo de los 100 mm, o por encima de los 1500 mm. Recuérdese que el transmisor está montado en la parte superior del tanque, apuntando hacia abajo, por lo que los límites del sensor serán:

- 350 mm del montaje más 1600 mm de diámetro del tanque menos los 100 mm indicados para el límite inferior, es decir 1850 mm;
- 350 mm del montaje más los 1600 mm de diámetro del tanque, menos los 1500 mm indicados para el límite inferior, es decir 450 mm;

Convirtiendo estos valores en unidades crudas se tiene

$$1850 = 0.122x - 412.469$$

$$x = 18518; \quad \text{valor m\u00ednimo en unidades crudas}$$

$$450 = 0.122x - 412.469$$

$$x = 7059; \quad \text{valor m\u00e1ximo en unidades crudas}$$

Es decir que cuando la medida en unidades crudas sea *mayor* a 18518, se tendr\u00e1 una condici\u00f3n de alarma de *nivel m\u00ednimo* de combustible; y cuando la medida en unidades crudas sea *menor* a 7059, se tendr\u00e1 una condici\u00f3n de alarma de *nivel m\u00e1ximo* de combustible.

Para el caso del tanque de di\u00e9sel 2, se considerarán condiciones de alarma cuando el nivel de di\u00e9sel se halle por debajo de los 100 mm, o por encima de los 2100 mm. Los l\u00edmites del sensor ser\u00e1n:

- 350 mm del montaje m\u00e1s 2200 mm de di\u00e1metro del tanque menos los 100 mm indicados para el l\u00edmite inferior, es decir 2450 mm;
- 350 mm del montaje m\u00e1s los 2200 mm de di\u00e1metro del tanque, menos los 2100 mm indicados para el l\u00edmite inferior, es decir 450 mm;

Convirtiendo estos valores en unidades crudas se tiene

$$2450 = 0.122x - 412.469$$

$$x = 23430; \quad \text{valor m\u00ednimo en unidades crudas}$$

$$450 = 0.122x - 412.469$$

$$x = 7059; \quad \text{valor m\u00e1ximo en unidades crudas}$$

Es decir que cuando la medida en unidades crudas sea *mayor* a 23430, se tendr\u00e1 una condici\u00f3n de alarma de *nivel m\u00ednimo* de combustible; y cuando la medida en

unidades crudas sea *menor* a 7059, se tendrá una condición de alarma de *nivel máximo* de combustible.

5.1.3.2. Implementación de ecuaciones en el programa del PLC

Bloque CPT

La instrucción CPT realiza las operaciones aritméticas que el usuario define en forma de expresión matemática o fórmula.

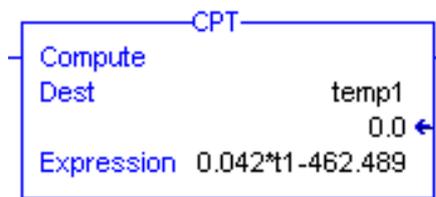


Figura 5. 6. Bloque CPT.

La Figura 5. 6 muestra al bloque CPT. Los operandos de este bloque están determinados en la Tabla 5. 9.

Operando	Tipo	Formato	Descripción
<i>Dest</i>	DINT REAL	<i>Tag</i>	<i>Tag</i> para almacenar el resultado
<i>Expression</i>	DINT REAL	ecuación	Expresión que consiste en tags y/o valores inmediatos separados por operadores

Tabla 5. 9. Operandos del bloque CPT

Cuando se habilita, la instrucción CPT evalúa la expresión y coloca el resultado en *Dest*.

La ejecución de una instrucción CPT es un poco más lenta y usa más memoria que la ejecución de las otras instrucciones de cálculo/matemáticas. La ventaja de esta instrucción es que le permite introducir expresiones complejas en una sola instrucción.

Bloque GSV

La instrucción GSV recibe y envía datos de sistema del controlador que se almacenan los objetos. La Figura 5. 7 indica al bloque en estudio.

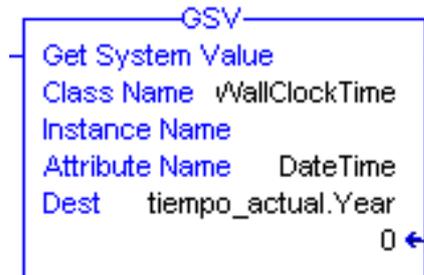


Figura 5. 7. Bloque GSV

Los operandos del bloque GSV se muestran en la Tabla 5. 10.

Operando	Tipo	Formato	Descripción
<i>Class Name</i>		nombre	Nombre del objeto
<i>Instance Name</i>		nombre	Nombre de objeto específico cuando el objeto requiere un nombre
<i>Attribute Name</i>		nombre	Atributo del objeto. El tipo de datos depende del atributo que se selecciona.
<i>Destination</i>	SINT INT DINT REAL	tag	Destino de los datos del atributo

Tabla 5. 10. Operandos del bloque GSV

La instrucción GSV recibe y envía datos de sistema del controlador que se almacenan en objetos. El controlador almacena datos del sistema en objetos. Cuando se habilita, la instrucción GSV recupera la información especificada y la coloca en el destino.

Cuando se introduce un GSV, el software de programación muestra las clases de los objetos válidas, nombres de objetos y nombres de atributos para cada instrucción. Para esta instrucción, se puede obtener valores para todos los atributos disponibles.

Una vez que se ha configurado correctamente cada uno de los parámetros del bloque GSV es de mucha utilidad ya que permite tomar el valor de la hora en tiempo real, de tal forma, que mediante lógica de programación se puede aprovechar de dicho valor para activar la electroválvula cada 8 horas al día durante 20 segundos. De tal forma que la purga se realiza de forma automática cada día gracias a este módulo.

5.2. Creación de la Interfaz Humano – Máquina

La Interfaz Humano Máquina es el medio con que el usuario puede comunicarse con una máquina, un equipo, proceso o computadora, y normalmente suelen ser fáciles de entender y fáciles de accionar. Se usará al software Wonderware Intouch Versión 10.0 para crear tal interfaz.

5.2.1. Descripción del software Wonderware Intouch

InTouch es un paquete de software utilizado para crear aplicaciones de interface hombre máquina bajo entorno PC. InTouch utiliza como sistema operativo el entorno de WINDOWS. El paquete consta básicamente de dos elementos:

- WINDOWMAKER
- WINDOWVIEWER.

WINDOW MAKER es el sistema de desarrollo, permite todas las funciones necesarias para crear ventanas animadas interactivas conectadas a sistemas de I/O externos o a otras aplicaciones de WINDOWS.

WINDOW VIEWER es el sistema *runtime* utilizado para rodar las aplicaciones creadas con WINDOWMAKER.

Wonderware Intouch funciona con uno cualquiera de los siguientes sistemas operativos:

- Microsoft Windows Server 2003 with Service Pack 1.
- Microsoft Windows 2000 Server with Service Pack 4.
- Microsoft Windows 2000 Advanced Server with Service Pack 4.
- Microsoft Windows XP Professional with Service Pack 2.
- Microsoft Windows XP Tablet PC Edition.

Los Requerimientos de hardware son:

- Procesador PIII con 1.2 GHz o superior.
- Mínimo 512 MB, recomendado 1 GB.
- 4 GB de espacio del disco duro disponible.
- Adaptador *display* Súper VGA (1024 × 768).
- CD-ROM o DVD para la instalación.
- Teclado, ratón o dispositivo señalador compatible.

5.2.2. Diseño de pantallas

Una HMI para el control, supervisión y monitoreo de señales debe cumplir requerimientos, tales como:

- Debe contar con una pantalla principal, pantallas secundarias en donde se muestre cada proceso
- En la pantalla de cada proceso se observará los datos más relevantes como datos de la presión, nivel y temperatura.

- Las pantallas deben contar con coloreo dinámico y animación de los estados en los equipos que se considere necesario.
- Se debe tener un área de alarmas, en el que se pueda hacer gestión de las mismas.

La metodología para el diseño de pantallas se basó en la guía ergonómica de diseño de interfaces de supervisión (GEDIS), la cual enfoca a ambientes industriales con salas de supervisión computarizada y centralizada. La primera fase de la GEDIS radica en la especificación de los principales elementos de la interfaz como la arquitectura, la navegación, los estándares de colores, fuentes, simbología, entre otros.

Los elementos de la interfaz se han ordenado de lo general a lo particular como se muestra en la Figura 5. 8.

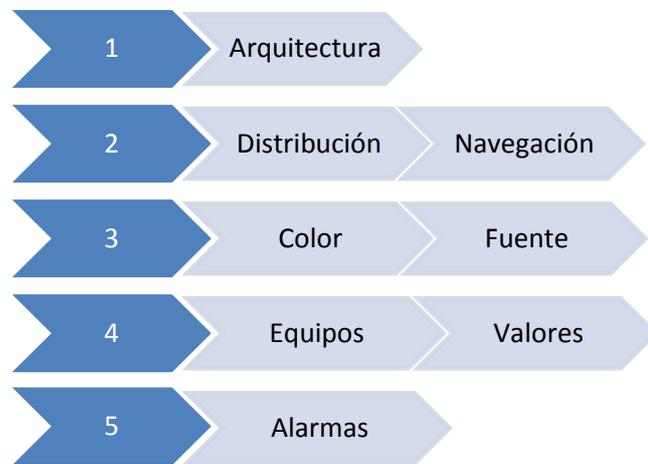


Figura 5. 8. Esquema general de la metodología de desarrollo de la interfaz

5.2.2.1.Arquitectura

Para iniciar con el proceso se debe establecer un mapa donde se define de manera general las diferentes pantallas con las que contara el operador para interactuar con el sistema. Este mapa deberá establecer las relaciones lógicas entre

las pantallas de manera que pueda determinar cómo navegará el operador dentro del sistema. El objetivo es que el sistema de navegación sea intuitivo y fácil de usar.

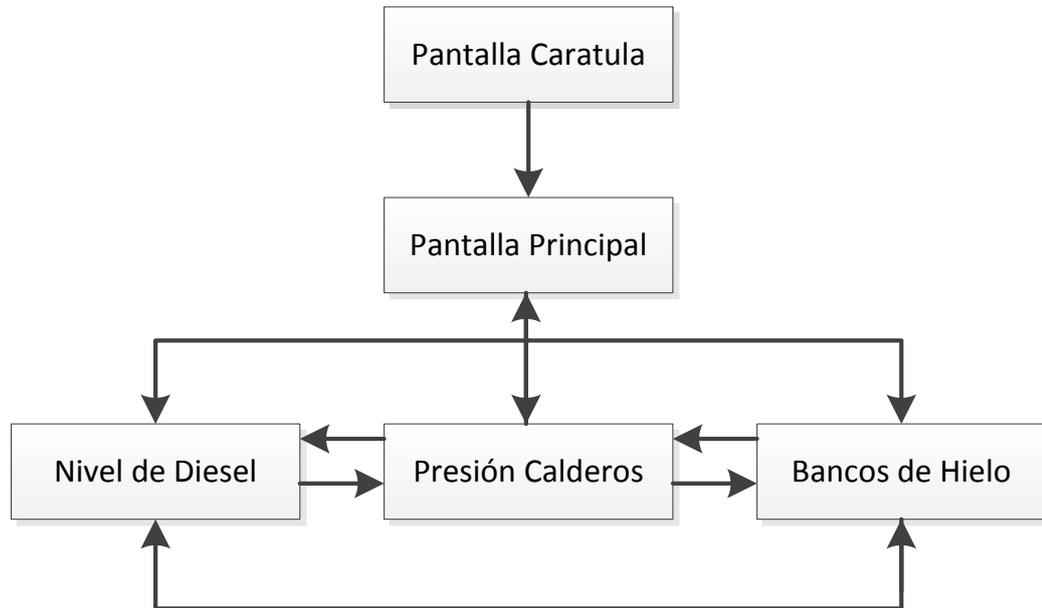


Figura 5. 9. Diagrama jerárquico de las pantallas del proceso

Como nos indica la guía GEDIS, uno de los pasos importantes en el diseño de la Interfaz Hombre-Máquina es definir todos los tipos de pantallas que serán utilizadas para el control y supervisión del sistema, así mismo se deberá desarrollar las plantillas para cada una de ellas, donde debe tomar en consideración los siguientes conceptos:

- Ubicación del título de la pantalla, hora, fecha y logotipo de la empresa.
- Si será utilizado, ubicación del menú del sistema.
- Ubicación de las alarmas del proceso.
- Ubicación del mímico del área o sub-área.
- Ubicación de funciones genéricas, tales como confirmación de alarmas.
- En caso de existir elementos como tendencias, tablas, definir su ubicación.

Utilizando estos principios y conjuntamente a los principios de Gutenberg, los cuales estipulan que la información importante debe ir en la parte superior de la pantalla, los gráficos a izquierda, la información de miscelánea en la parte inferior izquierda, la parte de control en la derecha y siempre se debe mantener una estructura de rejilla. Con todo esto, la guía GEDIS nos ofrece la plantilla de una pantalla, la cual se muestra en la Figura 5. 10.

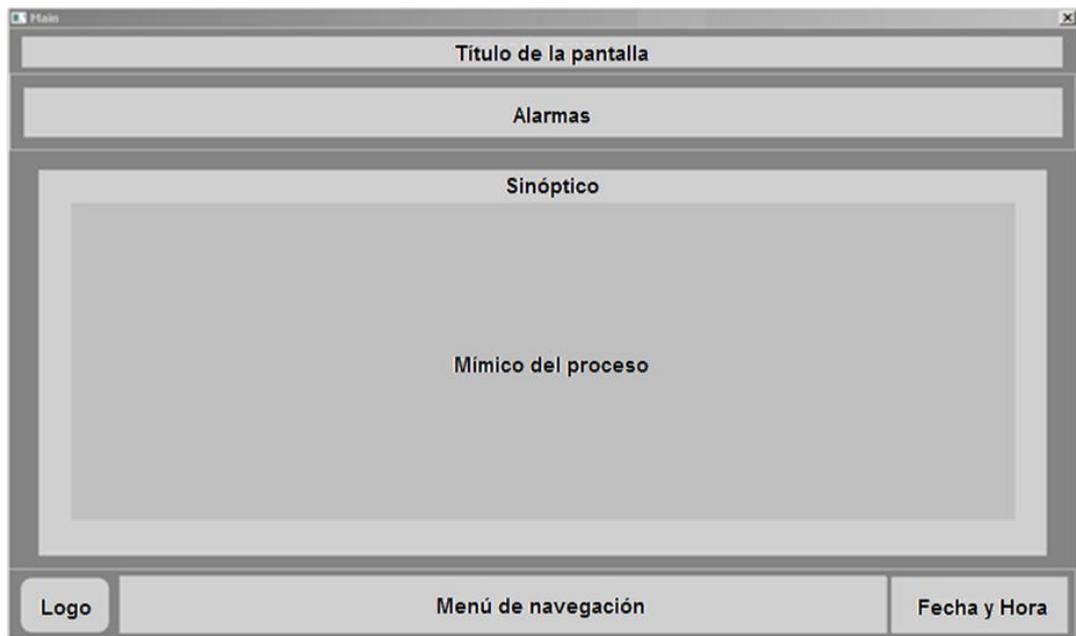


Figura 5. 10. Plantilla para el diseño de una pantalla de acuerdo a la guía GEDIS

Título de la pantalla

Para cumplir con las especificaciones de guía GEDIS en la pantalla de distribución se tomó en cuenta la información textual la cual es:

- No usar letras mayúsculas en todas las letras del texto, procurar combinarlas con las minúsculas

- No utilizar énfasis en el texto (subrayado, itálico, sombreado) salvo en casos especiales
- El color del texto debe contrastar con el fondo de la pantalla y debe respetar un código de colores previamente definido.
- Cuando se usa color en el texto se debe usar en toda la palabra y no solo en ciertos caracteres

Alarmas

Las alarmas junto con la representación del estatus de los equipos y de los valores analógicos del sistema constituyen los principales elementos con los que se informa al operador sobre el estado de la planta. Las alarmas son muy importantes ya que alertan al operador sobre las situaciones anómalas que se presentan en el proceso e implican una intervención de él.

Para esta sección se tomó como referencia las siguientes notas teniendo en cuenta que las alarmas que se presentan en la simulación son críticas, lo que quiere decir que necesitan de la atención urgente del operador.

- Los mensajes y las alarmas deben ser congruentes con los estándares de color, fuentes, texto, tamaño, espaciado y alineamiento predefinidos.
- Se debe evitar el exceso de alarmas y mensajes superfluos al operador.
- El texto de las alarmas debe mostrar el área/equipo concreto, la condición o parámetro anómalo, la prioridad, además de la hora y fecha del evento.
- Color de las alarmas (críticas, advertencias, mensajes, etc.)

Sinóptico

En esta sección se representa la parte gráfica del sistema, el cual contiene el proceso correspondiente.

Menú de navegación

La navegación no debe ser un obstáculo a las acciones del operador en situaciones de emergencia, por esta razón el área de navegación es de fácil uso para el operador tanto en emergencia como en el funcionamiento normal de la simulación.

Logotipo

Es importante colocar el logo de la empresa en el lado inferior izquierdo para reconocer a quien pertenece la interfaz.

Fecha y Hora

Estos dos elementos son muy importantes ya que siempre es importante conocer la fecha y la hora en fin de estar conscientes del tiempo en que suceden los eventos dentro del sistema que se debe controlar o supervisar.

5.2.2.2.Distribución de las pantallas

Pantalla de carátula

La pantalla Carátula contiene el título del proyecto de tesis, nombre de los autores, el logo de las instituciones que forman parte de este proyecto, la hora y fecha, y el botón que permite navegar hacia la aplicación.

La navegación hacia la pantalla principal del proceso es de libre acceso y se realiza mediante el botón IR AL PROCESO como se muestra en la Figura 5. 11.



Figura 5. 11. Pantalla de Carátula

Pantalla principal

En esta pantalla se encuentra una imagen del sistema de monitorización global, además de los botones de navegación hacia los diferentes procesos. Una muestra de esta pantalla se tiene en la Figura 5. 12 .

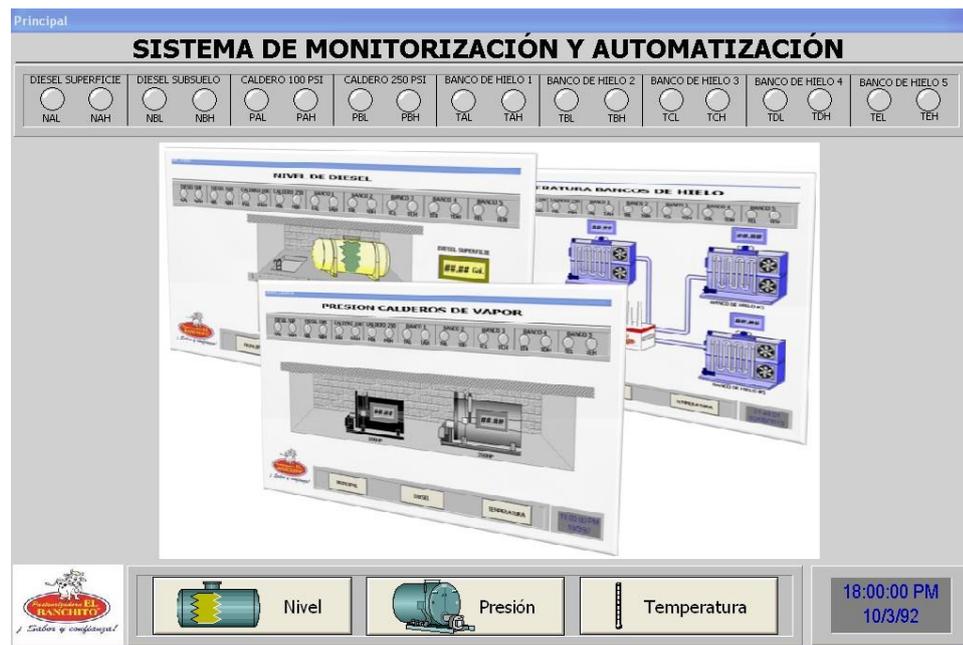


Figura 5. 12. Pantalla Principal

Aquí el usuario podrá determinar cuál es la variable de interés hacia la que quiere dirigirse en ese instante, es decir, elegir entre la revisión de los niveles de diésel, presión de los calderos o temperatura de los bancos de hielo.

Además, en esta como en las otras ventanas se visualizan las alarmas del sistema que indican las irregularidades que se pueden presentar, tales como:

- Nivel Bajo de diésel.
- Nivel Bajo/Alto de presión.
- Nivel Bajo/Alto de temperatura de cada Banco de Hielo.

Las alarmas se activan de acuerdo a las condiciones estipuladas en “5.1.3.1.Obtención de las ecuaciones de recta de los transmisores electrónicos”.

Un factor importante en la Pantalla Principal, y el resto de pantallas de los procesos, es que si el interruptor tipo perilla, montado físicamente en el gabinete del Tablero 1 no se halla activado, entonces el PLC no se encuentra en línea con el sistema de monitorización (se deberá accionarlo para activar el sistema); en el caso de no estar activado dicho tag se bloquean los indicadores de las variables con el indicador que se muestra en la Figura 5. 13.



Figura 5. 13. Indicador de alarma (PLC desactivado)

Pantalla de Nivel de Diésel

Desde esta pantalla (Figura 5. 14) se puede verificar la cantidad de diésel que dispone la planta; tanto del tanque que se encuentra en el Subsuelo como del tanque que se encuentra en la Superficie. Además, existe la posibilidad de trasladarse hacia

la pantalla de los demás procesos o a la pantalla principal, mediante los botones de navegación.

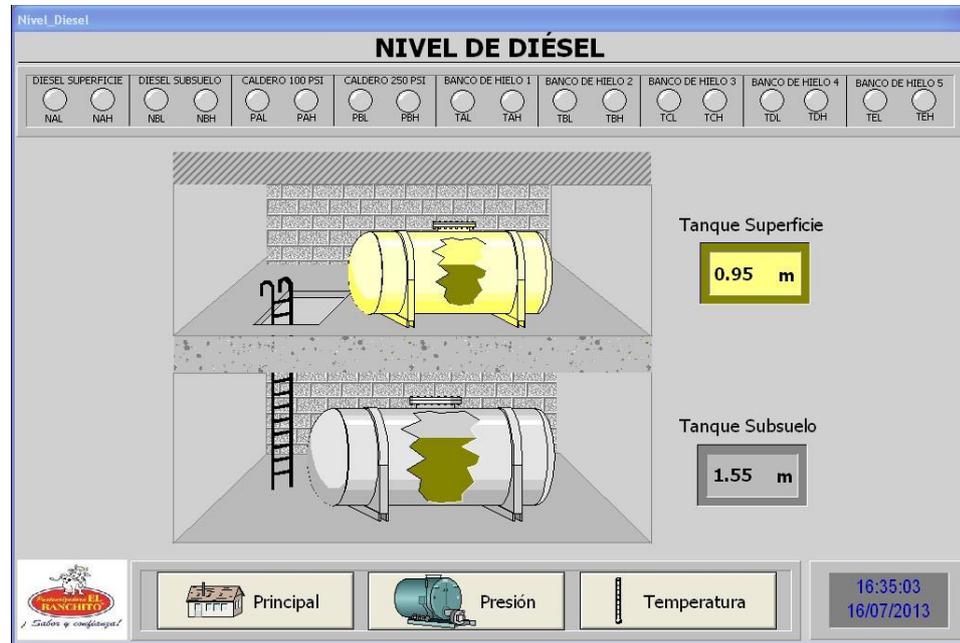


Figura 5. 14. Pantalla Nivel de Diésel

Pantalla de Presión de los Calderos

Esta pantalla (Figura 5. 15) están siendo monitoreadas dos variables que permiten visualizar el valor de la presión tanto del caldero de 100 HP como del caldero de 250 HP cada uno de los cuales está rotulado para su fácil identificación, como en las demás pantallas en está también se permite la navegación hacia las demás pantallas del proceso.

Pantalla de Temperatura de Bancos de Hielo

Para la medición de la temperatura en cada uno de los Bancos de Hielo se ha desarrollado está pantalla (Figura 5. 16) en donde se puede visualizar el valor exacto de la temperatura en que se encuentra cada uno de los mismos, los cuales se encuentran rotulados para evitar cualquier tipo de confusión. Una vez que el usuario

haya tomado estos datos podrá trasladarse a cualquier otro proceso o la pantalla principal mediante los botones de navegación.

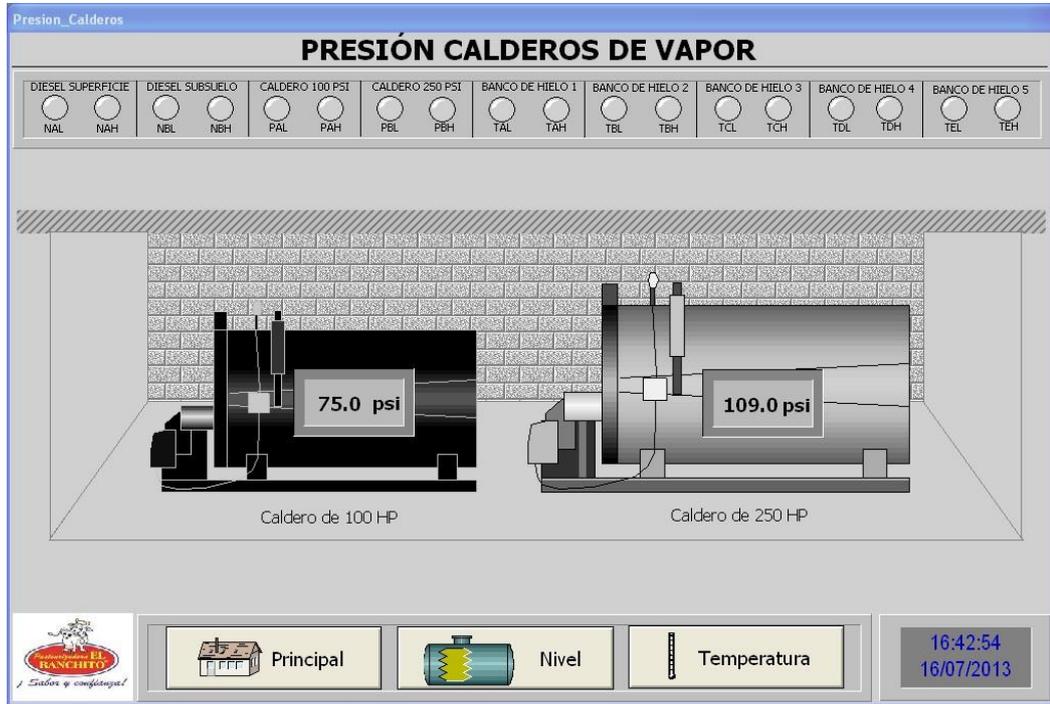


Figura 5. 15. Pantalla de Presión de los Calderos

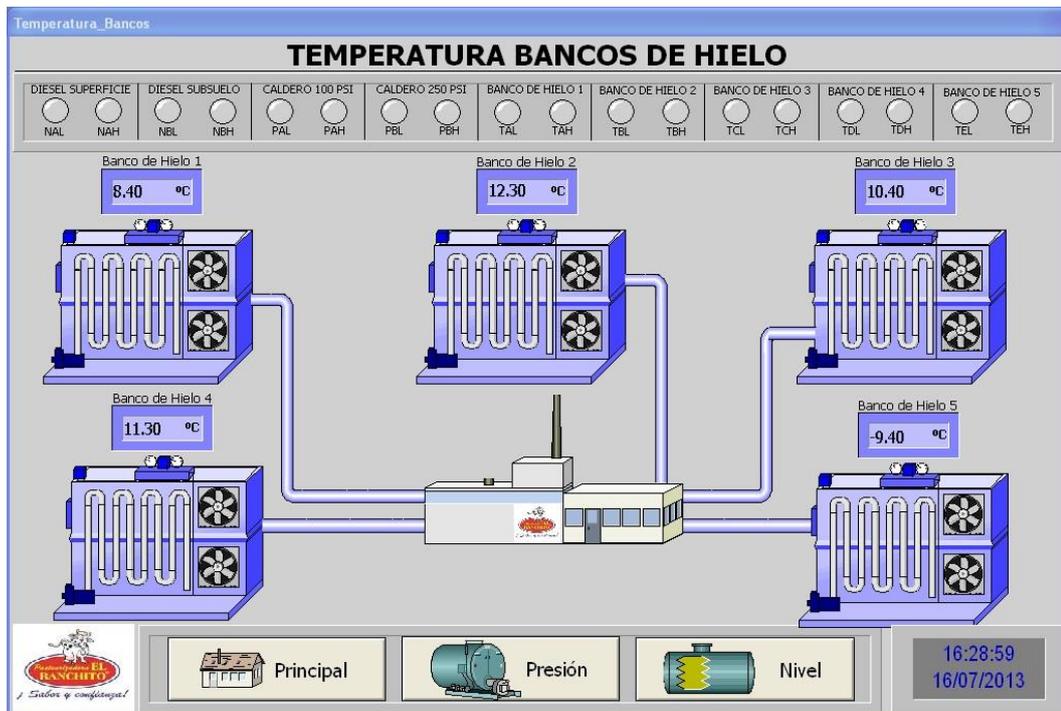


Figura 5. 16. Pantalla de Temperatura de Bancos de Hielo

5.2.2.3. Color y Fuente

Color

Como se estipula en la guía GEDIS, el color es uno de los elementos más importantes en el diseño de una interfaz, ya que su uso apropiado garantiza el confort del operador, facilitando un correcto control y visualización del proceso.

Para ello, la guía presenta un grupo de consideraciones, las mismas que se listan a continuación:

- Limitar el número de colores a cuatro para principiantes y no usar más de siete colores para los expertos en una pantalla y asegurarse que estos sean perfectamente diferenciables entre ellos.
- Cuando se combinen colores se debe maximizar el contraste entre ellos.
- No utilizar combinaciones con contrastes incompatibles como Rojo-Azul, Rojo-Verde, Azul-Amarillo, Amarillo-Blanco, Verde-Azul.
- Reforzar la distinción de colores con otros elementos: texto, tamaño, forma o posición, cuando sea necesario, evitando la combinación de texto y color.
- Para que el color sea visible, se debe usar en objetos de buen tamaño.
- Evitar el uso de intermitencia (blink) de colores salvo en casos especiales.
- Evitar el uso de colores primarios o fuertes en zonas grandes de la pantalla.
- No usar blanco y negro para el fondo de pantalla ya que dan mucho resplandor.
- Los colores de fondo deben ser contrastantes con los demás elementos.

La paleta de colores que se puede encontrar en el software Intouch de Wonderware se visualiza en la Figura 5. 17. De esta paleta, se han escogido los colores indicados en la Tabla 5. 11, Tabla 5. 12 y Tabla 5. 13.



Figura 5. 17. Paleta de colores del Software Intouch

Ítem	Color	Descripción
Fondo en General		Gris
Paneles		Gris

Tabla 5. 11. Colores asignados para el fondo de pantalla y contenedores

Ítem	Color	Descripción
Dispositivos Apagados		Gris
Dispositivos Encendidos		Rojo

Tabla 5. 12. Colores asignado para alarmas

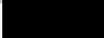
Ítem	Color	Descripción
Título de la Pantalla		Negro
Subtítulos		Negro
Texto de Alarma		Blanco

Tabla 5. 13. Colores asignados para el texto

Fuente

El uso de texto en una interfaz tiene el fin de etiquetar los equipos, informar al operador el estado del proceso o la función de los dispositivos dentro de la pantalla.

La guía GEDIS estipula que el uso del texto debe seguir ciertas consideraciones para su correcta utilización y son:

- No se deben utilizar más de tres tipos fuentes en la interfaz.
- No usar más de tres tamaños de la misma fuente.

- El tamaño de la fuente debe ser tal que se pueda leer a distancia por el operador, generalmente mayor a 8.
- No usar letras mayúsculas en todas las letras del texto, procurar combinarlas con las minúsculas.
- No utilizar énfasis en el texto (subrayado, itálico, sombreado) salvo en casos especiales.
- El color del texto debe contrastar con el fondo de la pantalla y debe respetar el código de colores previamente definido.
- Cuando se usa color en el texto se debe usar en toda la palabra y no solo en ciertos caracteres.
- Alinear el texto en pantalla y utilizar el mínimo posible de alineamientos verticales.
- El punto decimal siempre debe ir alineado.
- Espaciar el texto tanto horizontal como verticalmente y así evitar aglutinamientos.

La configuración utilizada para la Fuente del texto utilizada en cada ventana se muestra en la Figura 5. 18 (solo el tamaño de letra varía dependiendo de su función).

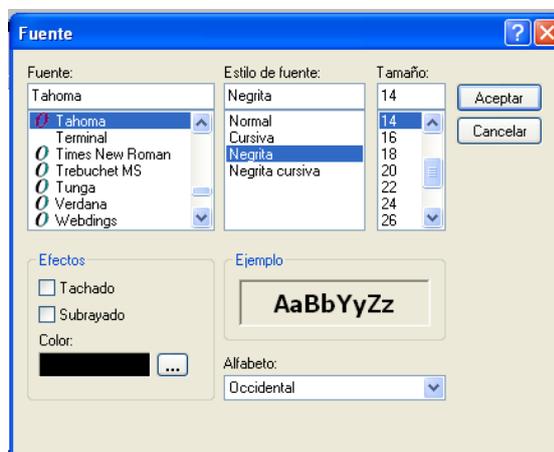


Figura 5. 18. Fuente y estilo de texto utilizado

5.2.2.4. Equipos y valores

Para la representación simbólica de los equipos, Intouch provee múltiples imágenes prediseñadas, siendo este beneficio muy útil para la representación y asociación con los equipos reales, permitiendo de tal forma que el operador relacione sin inconvenientes los equipos a representar. Así, un banco de hielo está representado en la Figura 5. 19, un tanque de diésel queda representado en la Figura 5. 20, y un caldero está representado en la Figura 5. 21.

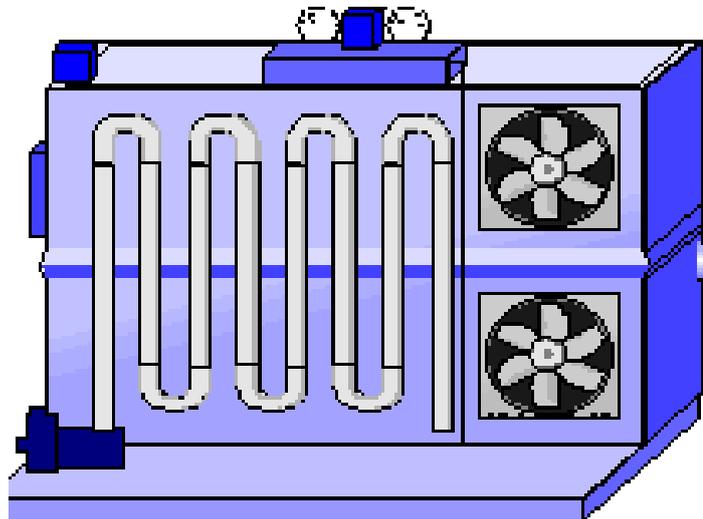


Figura 5. 19. Representación de los Bancos de Hielo.

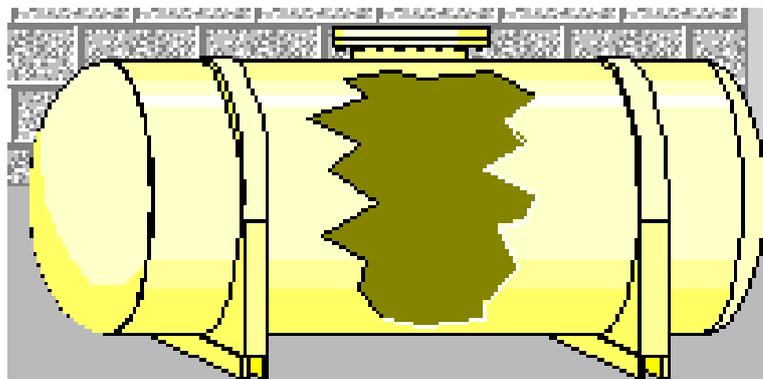


Figura 5. 20. Representación de los tanques de Diésel.

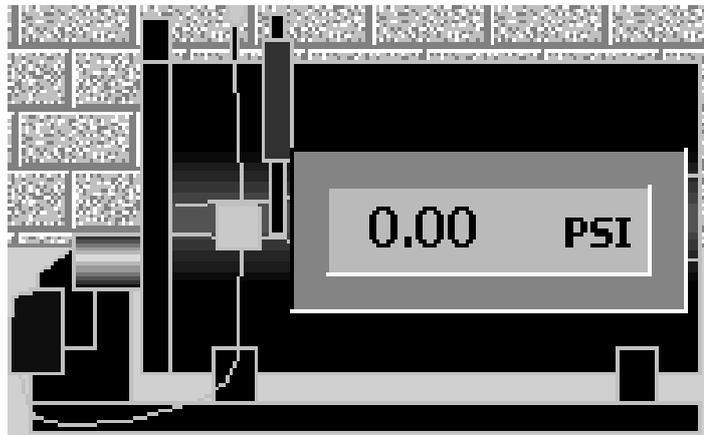


Figura 5. 21. Representación de los Calderos.

Los equipos poseen paneles para visualizar la magnitud medida, esto en función de informar al operador de todos los valores medidos a distancia por el sistema de monitorización; en la Figura 5. 22, Figura 5. 23 y Figura 5. 24 se muestran los diferentes indicadores utilizados para cada uno de los equipos.



Figura 5. 22. Panel para indicar la temperatura.

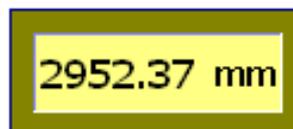


Figura 5. 23. Panel para indicar el nivel de diésel.



Figura 5. 24. Panel para indicar la temperatura.

5.2.2.5. Alarmas

El panel de Alarmas tiene la función de informar al operador de todos los eventos de emergencia que se presentan dentro del proceso. A continuación se presenta una descripción de cada una de las alarmas en la con sus tablas respectivas.

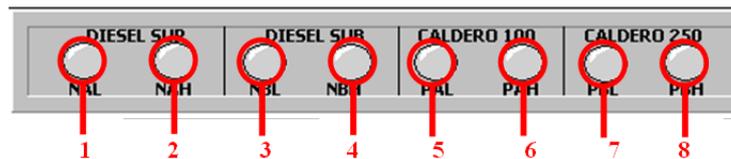


Figura 5. 25. Alarmas del sistema (I)

1	Alarma que indica nivel de diésel bajo en el Tanque de la superficie.
2	Alarma que indica nivel de diésel alto en el Tanque de la superficie.
3	Alarma que indica nivel de diésel bajo en el Tanque del subsuelo.
4	Alarma que indica nivel de diésel alto en el Tanque del subsuelo.
5	Alarma que indica presión baja en el Caldero de 100 HP.
6	Alarma que indica presión alta en el Caldero de 100 HP.
7	Alarma que indica presión baja en el Caldero de 250 HP
8	Alarma que indica presión alta en el Caldero de 250 HP.

Tabla 5. 14. Explicativo de Alarmas del sistema (I)

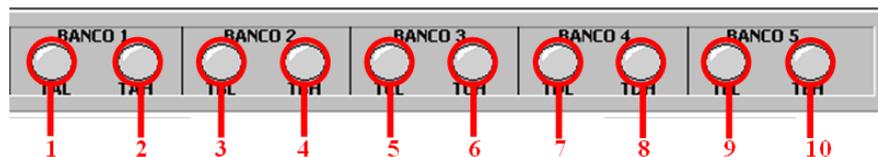


Figura 5. 26. Alarmas del sistema (II)

1	Alarma que indica nivel de temperatura bajo en el Banco de Hielo 1.
2	Alarma que indica nivel de temperatura alto en el Banco de Hielo 1.
3	Alarma que indica nivel de temperatura bajo en el Banco de Hielo 2.
4	Alarma que indica nivel de temperatura alto en el Banco de Hielo 2.
5	Alarma que indica nivel de temperatura bajo en el Banco de Hielo 3.
6	Alarma que indica nivel de temperatura alto en el Banco de Hielo 3.
7	Alarma que indica nivel de temperatura bajo en el Banco de Hielo 4.
8	Alarma que indica nivel de temperatura alto en el Banco de Hielo 4.
9	Alarma que indica nivel de temperatura bajo en el Banco de Hielo 5.
10	Alarma que indica nivel de temperatura alto en el Banco de Hielo 5.

Tabla 5. 15. Explicativo de Alarmas del sistema (II)

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- La automatización de la válvula de purga de la Torre de Enfriamiento, se activará en las horas preestablecidas, 00:00 – 08:00 – 16:00. Esto evita que los operarios deban invertir aproximadamente 25 minutos cada vez, lo que se traduce en un ahorro estimado de 12.5 horas / hombre mensuales, que pueden ser invertidos en otras actividades.
- El sistema de monitoreo reduce estimativamente el tiempo de toma de datos de 45 minutos a 1 minuto. (Se realizan dos turnos de inspección, uno en la mañana y otro en la tarde). Esto arroja un acumulado mensual estimado de 44 horas / hombre mensuales, que pueden ser invertidos en otras actividades.
- Considerando el criterio anterior, y tomando en cuenta que el costo de 1 hora / hombre para Pasteurizadora “El Ranchito” es de USD \$2.60, entonces se puede generar un ahorro mensual estimado de USD \$114.40.
- El sistema aleja a los operadores de procesos potencialmente peligrosos. Esto implica un sustancial ahorro de la empresa por concepto de indemnizaciones y seguros, siempre que se consideren el reglamento interno de seguridad industrial.

- Se dividió el sistema en tres zonas, cada una con su propio gabinete eléctrico: la primera, ocupada principalmente por el PLC; la segunda, ocupada por los transmisores de temperatura de los bancos de hielo 1, 2, 3 y 5, principalmente; y la tercera, ocupada por los transmisores correspondientes a banco de hielo 4, calderos 1 y 2, tanques de diésel 1 y 2. Esto minimiza el impacto del mantenimiento del sistema, deteniendo sólo ciertas partes del mismo. Colateralmente se genera un ahorro por concepto de paradas inesperadas en la producción.
- Una de las peticiones que se realizó desde Gerencia General era el aprovechamiento de la mayor cantidad de componentes existentes en Bodega de insumos. El ahorro por este concepto para la empresa es de USD \$2983.67. Otro de los parámetros en los que ahorra la empresa es el concepto del costo de la ingeniería; el ahorro generado es de USD \$23760. El beneficio total para Pasteurizadora “El Ranchito” es USD \$26743.67.
- El costo de los implementos (PLC y transmisores esencialmente), es de USD \$14694.44.
- La razón beneficio/costo es de 1.82, lo que significa que de forma inmediata, la empresa tiene una ganancia de USD \$1.82 por cada dólar que se invierta en el proyecto.

6.2.Recomendaciones

- Para complementar la indicación de alarmas del sistema, debería instalarse indicadores visuales y/o acústicos que notifiquen al personal fuera de sala de

control acerca de alguna anomalía, en concordancia con la norma IEC 60204-1 que contempla estos temas.

- La acometida eléctrica del sistema debe ser ejecutada siguiendo la trayectoria indicada en los planos, debido a que las distancias allí indicadas satisfacen los valores de voltaje y corriente requeridos por los diversos equipos dentro de los rangos permitidos, y porque se trata de las distancias más cortas a los mismos.
- Al inicio del presente proyecto de diseño, se pensaba tentativamente reubicar el área de bancos de hielo, alejándolos más de su posición actual. De ser así, se recomienda realizar nuevos estudios de caídas de tensión en conductores, para redimensionar el calibre de los mismos.
- Se sugiere explotar toda la funcionalidad del módulo de entradas digitales 1769-IQ16F al considerar en un nuevo proyecto, la automatización de las válvulas de purga de los calderos, donde dos entradas controlen respectivamente la activación secuencial de cada caldero.
- En el proyecto sugerido de automatización de las válvulas de purga de los calderos, se tienen 7 válvulas por cada caldero, 14 válvulas en total. Para ser integradas en un sistema automático se deben reemplazar por válvulas solenoide, que pueden ser controladas por las salidas restantes en el módulo de salidas digitales 1769-OB16P.
- Dentro del proyecto sugerido de automatización de las válvulas de purga de los calderos, se debe considerar la instalación de un sensor de llama basado en

termocupla (debido al costo), el cual a través de un transmisor adicional MST-665, se puede conectar a una de las salidas sobrantes en el tercer módulo de entradas analógicas 1769-IF4I.

Referencias Bibliográficas

ALLEN BRADLEY. (Junio de 2013). Obtenido de Sitio web de Allen Bradley:

<http://www.ab.com/en/epub/catalogs/12762/2181376/>

ASPEN TECHNOLOGY. (13 de Julio de 2013). Obtenido de Sitio web aspentech:

<http://www.aspentech.com>

BUCO. (25 de Marzo de 2013). Obtenido de Sitio web HTT-ag: [http://www.htt-](http://www.htt-ag.com/es/)

[ag.com/es/](http://www.htt-ag.com/es/)

Cerda, M. (9 de Abril de 2013). Obtenido de Blog martinfix:

<http://martinfix.blogspot.com/2012/12/torres-de-enfriamiento.html>

ECOPETROL. (12 de Diciembre de 2006). Obtenido de Sitio web scribd:

<http://es.scribd.com/doc/49045399/5201492-04-MC-I-011-R01>

FUNDÉU BBVA. (20 de Marzo de 2013). Obtenido de Sitio web Wikilengua:

http://www.wikilengua.org/index.php/Terminesp:refrigerante_secundario

Gómez, O. (9 de Abril de 2013). Obtenido de Sitio web abe-ref: [http://www.abe-](http://www.abe-ref.com/espanol/pdf%20descarga/SISTEMAS%20DE%20ENFRIAMIENTO%20DE%20AGUA(OGA).pdf)

[ref.com/espanol/pdf%20descarga/SISTEMAS%20DE%20ENFRIAMIENTO%20DE%20AGUA\(OGA\).pdf](http://www.abe-ref.com/espanol/pdf%20descarga/SISTEMAS%20DE%20ENFRIAMIENTO%20DE%20AGUA(OGA).pdf)

González, C. (Marzo de 2001). Obtenido de Sitio web oocities:

<http://www.oocities.org/stselectricos/clase2.pdf>

Herrera, R. (10 de Abril de 2013). Autómatas Programables. (PLC). Implementación

I. San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina.

Jordan, T. (15 de Mayo de 2003). Obtenido de Sitio web itacanet:

http://www.itacanet.org/esp/agua/Seccion%201%20Sistemas%20de%20agua%20en%20general/Mecanica_de_Fluidos.pdf

- LENNTECH. (25 de Mayo de 2013). Obtenido de Sitio web de LENNTECH:
<http://www.lenntech.es/processes/softening/softening.htm>
- Mejía, J. (2011). *Ingeniería conceptual, básica y de detalle de un banco de pruebas para intercambiadores de calor tipo tubo concéntrico y multitubos para flujo paralelo y contraflujo utilizando como fluidos de trabajo aceites API y agua para el Laboratorio DECEM* (1 ed., Vol. 1). Quito, Pichincha, Quito: EPN.
- MINISTERIO IRANÍ DEL PETRÓLEO. (20 de Junio de 1996). Obtenido de Sitio web iop: <http://fumblog.um.ac.ir/gallery/280/e-pr-230a.pdf>
- Molina, J. (7 de Marzo de 2013). Obtenido de Sitio web profesormolina:
<http://www.profesormolina.com.ar/tecnologia/plc/introd.htm>
- MUESENTECHNIK. (3 de Julio de 2013). Obtenido de Sitio web de muesentechnik:
http://muesentechnik.de/Download/B_MST660_663_665_en.pdf
- NATIONAL INSTRUMENTS. (10 de Noviembre de 2003). Obtenido de Sitio web de National Instruments: <http://www.ni.com/white-paper/13034/es>
- Proaño, R. (2012). *Diseño e implementación de un sistema de automatización y control de un caldero industrial de vapor saturado para Construcciones Mecánicas* (1 ed., Vol. 1). Quito, Pichincha, Ecuador: EPN.
- QUIMINET. (20 de Diciembre de 2011). Obtenido de Sitio web QuimiNet:
<http://www.quiminet.com/articulos/bancos-de-hielo-funcionamiento-y-ventajas-2652889.htm>
- Quinga, A. (2009). *Desarrollo de un programa de mantenimiento para la pasteurizadora El Ranchito compañía limitada* (1 ed., Vol. 1). Quito, Pichincha, Ecuador: EPN.

- SCHNEIDER ELECTRIC. (Abril de 2010). Obtenido de Sitio web schneider-electric: http://download.schneider-electric.com/files?p_File_Id=27336384&p_File_Name=020511_E10-guia-diseno-instalac-electricas.pdf
- SICK. (4 de Julio de 2013). Obtenido de Sitio web Sick: http://www.sick.com/instruments/EN/home/products/Pages/product_overview.aspx
- TELEMECHANIQUE. (7 de Julio de 2013). Obtenido de Sitio web schneider-electric: <http://www.schneider-electric.com/products/ww/en/2800-interface-measurement-control-relays/2810-automation-relays/532-zelio-relay/>
- UNI-D. (7 de Julio de 2013). Obtenido de Sitio web de UNI-D: <http://www.unid.com.tw/ea11.htm>
- UNIVERSIDAD DE TEXAS. (22 de Mayo de 2013). Obtenido de sitio web de utexas: <http://younansetya.files.wordpress.com/2008/11/sample-pid.pdf>
- Villajulca, J. (13 de Mayo de 2013). Obtenido de Sitio web de instrumentación y control: www.instrumentacionycontrol.net/cursos-libres/instrumentacion/curso-practico-de-instrumentacion
- Zapata, F. (30 de Abril de 2013). Obtenido de Sitio web pad.rbb.usm: http://pad.rbb.usm.cl/doc/12697042/92301_INSTRUMENTACION_Y_AUTOMATIZACION/Cap4_Presion_2.pdf

ANEXOS

A. ANÁLISIS BENEFICIO – COSTO

B. PROGRAMACIÓN

C. MANUAL DE USUARIO

D. DATOS TÉCNICOS

E. PLANOS P&ID

F. PLANOS ELÉCTRICOS

SECCIÓN 1. MANDO Y POTENCIA

SECCIÓN 2. CONEXIÓN

SECCIÓN 3. INTERCONEXIÓN

G. PLANOS MECÁNICOS

H. PLANOS CIVILES

ANEXO A

ANÁLISIS BENEFICIO - COSTO

ANEXO B

PROGRAMACIÓN

ANEXO C

MANUAL DE USUARIO

ANEXO D

DATOS TÉCNICOS

ANEXO E

PLANOS P&ID

ANEXO F

PLANOS ELÉCTRICOS

SECCIÓN i.
MANDO Y POTENCIA

SECCIÓN ii.
CONEXIÓN

SECCIÓN iii.
INTERCONEXIÓN

ANEXO G

PLANOS MECÁNICOS

ANEXO H

PLANOS CIVILES

GLOSARIO

A

Amplificador operacional.- Circuito electrónico integrado, que posee dos entradas y una salida, usado para realizar operaciones matemáticas entre señales eléctricas continuas.

Analógico.- Alusivo a magnitudes o valores que varían en el tiempo de forma continua, tales como la distancia, la temperatura, la presión, etc.

Autómata programable.- Equipo electrónico capaz de ser programado en lenguaje no informático, cuyo propósito es controlar en tiempo real y en entornos industriales, un proceso secuencial.

Automatización.- Proceso de mecanización de las actividades industriales para reducir mano de obra, simplificar el trabajo, etc.

AWG.- Acrónimo de Calibre Americano de Alambres, por sus siglas en inglés (*American Wire Gauge*)

C

Ciclo de Rankine.- Ciclo termodinámico cuyo objetivo es convertir calor en trabajo.

E

ECF.- Acrónimo de Elemento Final de Control. Se trata de un dispositivo que actúa sobre un componente que incide de forma directa con la variable que se desea controlar.

Ethernet.- Tecnología de redes de computadoras de área local (LAN).

F

Filtro pasa bajos.- Filtro electrónico que permite el paso de las frecuencias más bajas, atenuando las señales superiores a ésta.

G

GEDIS.- Acrónimo de Guía Ergonómica para el Diseño de Interfaces de Supervisión

H

Hardware.- Componentes físicos de un sistema.

HMI.- Acrónimo en inglés de Interfaz Humano Máquina (*Human Machine Interface*).

I

Intercambiador de calor.- Dispositivo diseñado para transferir calor entre dos medios, mismos que pueden estar en contacto o separados por alguna barrera.

Interruptor Automático.- Dispositivo capaz de interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando éste sobrepasa ciertos valores máximos de funcionamiento.

L

LAN.- Acrónimo de Red de Área Local, por sus siglas en inglés (*Local Area Network*).

M

Medición de nivel por inspección directa.- Tubos laterales de inspección de nivel, o poleas.

Monitorización.- Acción bajo la cual se verifica de forma visual que un proceso o acción previa está encaminada de forma correcta hacia un resultado final deseado.

P

Patógeno.- Todo ente que puede producir enfermedad o daño a la integridad de un huésped, sea éste humano, animal o vegetal.

PLC.- Acrónimo de Controlador Lógico Programable, por sus siglas en inglés (*Programmable Logic Controller*).

R

RS Logix 5000.- Software usado en este proyecto para la programación de PLC de la línea 5000, en la marca Allen Bradley.

RTD.- Acrónimo de Dispositivo Termo Resistivo, por sus siglas en inglés. (*Resistance Temperature Detector*). Produce la variación de la resistencia de un conductor, al ser sometido a una cierta temperatura.

S

SALA DE CONTROL.- Asignación que se ha dado al Taller de Mantenimiento, para propósitos del proyecto.

Sensor.- Un sensor es un dispositivo que permite convertir una determinada magnitud física, en una magnitud eléctrica (voltaje, corriente, resistencia) diferente a magnitud la original, aunque guardando una determinada proporción entre ambas.

Software.- Conjunto de programas ejecutados por un computador o PLC.

T

Tag.- Método de asignación y referencia a locaciones de memoria en PLCs.

TCP/IP.- *Transmission Control Protocol / Internet Protocol*

Transmisor electrónico.- Dispositivo que se conecta a la salida de un sensor, para adaptarlas a señales estandarizadas a nivel industrial.

U

Ultrasónico.- Onda acústica cuya frecuencia se halla por encima del espectro audible por el humano, es decir, superior a 20 KHz.

V

Variable.- Cualquier elemento que posee características dinámicas, estáticas, físicas y químicas que se pueden medir constantemente.

VGA.- Acrónimo de Arreglo Gráfico de Vídeo, por sus siglas en inglés (*Vídeo Graphic Array*)

W

Wonderware Intouch.- Software usado en este proyecto para el diseño de HMI.

ELABORADO POR

Correa Mollocana Alex Daniel

Espinosa Guaita David Alejandro

APROBADO POR

Ing. Jenny Guato
GERENTE GENERAL "EL RANCHITO" CIA. LTDA.

ELABORADO POR

Correa Mollocana Alex Daniel

Espinosa Guaita David Alejandro

APROBADO POR

Ing. Diego Morillo
DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Xavier Segovia
CODIRECTOR DEL PROYECTO

FECHA DE ENTREGA: _____

Sr. Alex Daniel Correa Mollocana
AUTOR

Sr. David Alejandro Espinosa Guaita
AUTOR

Ing. Luis Orozco Brito, MsC..

**COORDINADOR DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**