



“Responsabilidad con pensamiento positivo”

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

**TRABAJO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA DIGITAL Y
TELECOMUNICACIONES**

TEMA:

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA CONTROLAR
LA REFRIGERACIÓN EN UNA PLANTA DE CO₂**

AUTOR:

EDISON PATRICIO CARVAJAL BASANTES

TUTOR:

ING. RENÉ ERNESTO CORTIJO LEYVA, MG

QUITO, ECUADOR

2018

DECLARACIÓN

Yo, Edison Patricio Carvajal Basantes, estudiante de la carrera de ingeniería en Electrónica Digital y Telecomunicaciones, en la Universidad Tecnológica Israel, declaro que el contenido aquí descrito es de mi autoría y de mi absoluta responsabilidad legal.

Quito D.M. Agosto del 2018

Edison Patricio Carvajal Basantes

C.I: 171622240 - 9

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de titulación certifico:

Que el trabajo de titulación **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA CONTROLAR LA REFRIGERACIÓN EN UNA PLANTA DE CO₂.”**, presentado por el Sr. Edison Patricio Carvajal Basantes, estudiante de la carrera de Electrónica Digital y Telecomunicaciones, reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Tribunal de Grado, que se designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Quito D.M. Agosto del 2018

TUTOR

.....
Ing. René Ernesto Cortijo Leyva, Mg

AGRADECIMIENTO

Este proyecto es fruto de la ayuda, impulso y apoyo de muchas personas que me incentivaron día con día a seguir adelante y cumplir con mis objetivos.

Un agradecimiento especial a la empresa LINDE ECUADOR S.A. Por haberme permitido implementar mi proyecto en sus instalaciones, otorgándome toda la apertura y colaboración para llevar a feliz término este trabajo y alcanzar los objetivos trazados en un inicio.

Gracias a mis maestros en este camino Universitario, en especial a mi tutor Mg. René Cortijo, por haber sido parte vital al momento de orientarme y corregirme en este proceso, por haberme dado la oportunidad de llevar a cabo este proyecto bajo su colaboración, siempre brindándome sus acertados consejos

Gracias a mis compañeros con los que avanzamos juntos todo este trayecto por habernos impulsado unos con otros hasta ver cristalizado nuestro camino académico, ha sido muy grato compartir aulas y ahora llegar a cosechar el fruto de nuestro esfuerzo.

A mi familia por haber sido el pilar donde apoyarme en cada paso que di, por haberme siempre incentivado y apoyado de manera incondicional, por siempre haber confiado en mis capacidades y en mis ganas de salir adelante.

A todas aquellas personas que me brindaron su apoyo en este trayecto, quedo eternamente agradecido por sus valiosos aportes.

DEDICATORIA

A Dios por permitirme haber llegado hasta este punto de mi vida y poder brindar un aporte a la sociedad con mi proyecto.

A mis padres porque gracias a que siempre me inculcaron la dedicación y el esfuerzo para con mis estudios y por siempre haberme apoyado, hoy estoy culminando con éxito mi carrera Universitaria, siempre serán mi fuente de admiración.

A mi esposa e hija por haber sido mi apoyo durante todo este camino que hemos recorrido juntos, por haberse convertido en mi inspiración para que hoy estemos cosechando los frutos del apoyo y estímulo incondicional que me brindaron.

Patricio Carvajal

TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN	i
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
DEDICATORIA	iv
INDICE DE FIGURAS.....	viii
INDICE DE TABLAS	xi
INDICE DE ECUACIONES.....	xi
RESUMEN	xii
INTRODUCCIÓN	1
Antecedentes de la situación objeto de estudio	1
Planteamiento del problema	1
Formulación del problema	1
Justificación del problema.....	1
OBJETIVOS	1
Objetivo general	1
Objetivos específicos.....	2
Alcance.....	2
Descripción de los capítulos.....	3
CAPÍTULO 1	20
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	20
1.1 Sistemas de refrigeración.....	20
1.1.1 Tipos sistemas de refrigeración.....	20
1.2 Equipos de enfriamiento	26
1.2.1 Torre de enfriamiento.....	26
1.3 Condensadores evaporativos.....	27
1.3.1 Funcionamiento.....	28
1.4 Intercambiadores de calor.....	29
1.4.1 Clasificación.....	29
1.4.2 Aplicaciones.....	32
1.5 Equipos de control e instrumentación.....	33

1.5.1	Control de nivel.....	33
1.5.2	Control de temperatura.....	40
1.5.3	Control de pH del agua.....	46
1.6	PLC (controlador lógico programable).....	47
1.6.1	Definición.....	47
1.6.2	Arquitectura interna.....	50
1.6.3	Aplicaciones y funciones	52
1.7	Tratamiento del agua	52
1.7.1	Sistema de ablandadores	53
1.7.2	Sistema de osmosis.....	53
1.8	Bombas dosificadoras.....	54
1.8.1	Características de las bombas dosificadoras	54
1.8.2	Aplicaciones	56
CAPÍTULO 2.....		21
MARCO METODOLÓGICO		21
CAPÍTULO 3		62
PROPUESTA.....		62
3.1	Bosquejo general del proyecto a implementar.....	62
3.2	Diseño software	64
3.2.1	Descripción del sistema de automatización.....	64
3.2.2	Características técnicas del PLC S7-1200, CPU 1214C	65
3.3	Entradas y salidas del sistema.....	66
3.3.1	Entradas analógicas para temperatura	66
3.3.2	Entradas analógicas del PLC:.....	67
3.3.3	Entradas digitales del PLC	68
3.3.4	Salidas digitales del PLC.....	69
3.4	Programación del sistema de refrigeración.....	70
3.5	Descripción de segmentos del programa	72
3.6	Información adicional de conversión de valor de ingeniería.	76
3.7	Módulo de entradas analógicas para RTD's	83
3.8	Diagrama del sistema programado	84
3.9	Diseño esquemático	86

3.9.1	Diagrama de fuerzas	86
3.9.2	Diagrama unifilar de control	87
3.9.3	Diagrama de conexión eléctrica del sensor de temperatura	89
3.9.4	Topología de red.....	90
3.10	Diseño hardware	92
3.10.1	Elementos de manipulación.....	93
3.10.2	Selector de tres posiciones	93
3.10.3	Selector de dos posiciones.....	94
3.10.4	Pulsador de emergencia.....	95
3.10.5	Pulsador de marcha	96
3.10.6	Pulsador de paro	97
3.10.7	Relés de control lógico.....	98
3.10.8	Indicadores lumínicos	100
3.11	Diseño y programación del HMI	101
3.11.1	Funciones del HMI local	103
3.11.2	HMI local implementado	103
3.11.3	Software Tia Portal Professional V13	105
3.11.3.1	Instalación	105
3.11.3.2	Actualizaciones	108
3.11.4	Programación de la pantalla KTP 600.....	112
3.11.5	Presupuesto.....	117
CAPÍTULO 4.....		116
IMPLEMENTACIÓN.....		116
4.1	Desarrollo	116
4.2	Implementación	116
4.3	Pruebas de funcionamiento.....	124
4.4	Análisis de resultados	128
CONCLUSIONES		129
RECOMENDACIONES		131
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		132
ANEXOS		134

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1	Sistema de refrigeración enfriado por aire de un vehículo.	21
Fig. 1.2	Sistema de refrigeración por aceite	22
Fig. 1.3	Sistema general de refrigeración por agua	23
Fig. 1.4	Radiador.....	24
Fig. 1.5	Bomba centrífuga	24
Fig. 1.6	Sensor de temperatura IT-PT100	25
Fig. 1.7	Pirómetro	25
Fig. 1.8	Elementos principales del sistema de refrigeración por agua.....	26
Fig. 1.9	Torre de enfriamiento protón	27
Fig. 1.10	Esquema de un condensador evaporativo.....	29
Fig. 1.11	Esquema de un intercambiador de tubo	31
Fig. 1.12	Intercambiadores de placas.....	31
Fig. 1-13	Multitubulares	32
Fig. 1.14	Interruptores flotantes.....	33
Fig. 1.15	Varillas de inmersión	34
Fig. 1.16	Desplazador.....	35
Fig. 1.17	Sensor magnetostrictivo.....	35
Fig. 1.18	Sensor de nivel por capacitancia.....	36
Fig. 1.19	Sensor de nivel por conductividad.....	36
Fig. 1.20	Sensor de nivel por conductividad.....	37
Fig. 1.21	Sensor de nivel térmico	38
Fig. 1.22	Sensor de nivel de vibración.....	38
Fig. 1.23	Sensor de nivel láser	39
Fig. 1.24	Sensor de nivel láser	40
Fig. 1.25	Sensor ultrasónico	40
Fig. 1.26	Termocuplas	41
Fig. 1.27	Termómetro bimetalico	42
Fig. 1.28	Termómetro de líquido	42
Fig. 1.29	Pirómetro	43
Fig. 1.30	Termistor.....	43
Fig. 1.31	Termo resistencia	44
Fig. 1.32	Termopar	44
Fig. 1.33	Fibra óptica.....	45
Fig. 1.34	Fibra óptica.....	45
Fig. 1.35	Construcción de un RTD Pt100	46
Fig. 1.36	Esquema general de un sistema automatizado	48
Fig. 1.37	PLC compacto	49
Fig. 1.38	PLC modular	49
Fig. 1.39	Estructura básica de un PLC	51
Fig. 1.40	Sistema de Ablandadores.....	53
Fig. 1.41	Sistema de Osmosis	54

Fig. 1.42	Representación lineal vs gráfica de bomba centrífuga	55
Fig. 1.43	Bomba dosificadora de motor eléctrico	56
Fig. 2.1	Esquema tipo de investigación	21
Fig. 3.1	Diagrama de bloque	63
Fig. 3.2	PLC S7-1200	65
Fig. 3.3	Diagrama estructural en bloques	71
Fig. 3.4	Pulsador de emergencia	72
Fig. 3.5	Memorias encendido y apagado	73
Fig. 3.6	Alarmas de HMI	74
Fig. 3.7	Entrada analógica de temperatura a escala	74
Fig. 3.8	Encendido y apagado de la bomba de agua	75
Fig. 3.9	Alarmas por alto o bajo nivel de agua	75
Fig. 3.10	Lectura sensor de temperatura PT-100	76
Fig. 3.11	Valor del PLC convertido a valor real	76
Fig. 3.12	Aplicación de factor multiplicativo	76
Fig. 3.13	Configuración del módulo RTD	77
Fig. 3.14	Bloque análogo	77
Fig. 3.15	Temperatura torre protón	78
Fig. 3.16	Arranque de bombas de agua	79
Fig. 3.17	Marcha paro de ventiladores	80
Fig. 3.18	Marcha paro motor torre protón	81
Fig. 3.19	Manual automático purgas	82
Fig. 3.20	Programación horómetro y reloj	83
Fig. 3.21	Entradas análogas para RTD's con 8 espacios	84
Fig. 3.22	Diagrama del sistema programado	85
Fig. 3.23	Diagrama de fuerzas	86
Fig. 3.24	Diagrama unifilar de control	88
Fig. 3.25	Ensamble RTD'S a módulo analógico de RTD'S	89
Fig. 3.26	Dimensiones del tablero eléctrico	90
Fig. 3.27	Topología de red	91
Fig. 3.28	Arquitectura del proceso de control	92
Fig. 3.29	Selector de tres posiciones	93
Fig. 3.30	Selector de dos posiciones	94
Fig. 3.31	Pulsador de emergencia	95
Fig. 3.32	Pulsador de marcha	96
Fig. 3.33	Pulsador de paro	97
Fig. 3.34	Luces piloto verdes	100
Fig. 3.35	Luces piloto de error	101
Fig. 3.36	Luces piloto de alarma	101
Fig. 3.37	Pantalla táctil ktp 600 de Siemens	103
Fig. 3.38	Pantalla animación temperatura	104
Fig. 3.39	Pantalla animación nivel de agua	105
Fig. 3.40	Archivo ejecutable	105
Fig. 3.41	Selección de carpeta simatic_EKB_install_2012_03_08	106

Fig. 3.42	Pantalla del programa ejecutable	106
Fig. 3.43	Instalación de licencias.....	107
Fig. 3.44	Pantalla final instalación paso 7.....	108
Fig. 3.45	Dar inicio a un nuevo diseño	109
Fig. 3.46	Apertura de programa.....	109
Fig. 3.47	Pasos para realizar la actualización	110
Fig. 3.48	Librerías instaladas en el TIA PORTAL V13	110
Fig. 3.49	Selección de licencias.....	111
Fig. 3.50	Agregar un dispositivo	111
Fig. 3.51	Selección de PLC y HMI.....	112
Fig. 3.52	Direccionamiento IP.....	113
Fig. 3.53	Comunicación Ethernet PLC – HMI.....	113
Fig. 3.54	Creación de pantalla	114
Fig. 3.55	ON/OFF Bomba y ventilador #3.....	115
Fig. 3.56	ON/OFF Bomba y ventilador #4.....	115
Fig. 3.57	ON/OFF Motor torre protón.....	116
Fig. 3.58	Pantalla reloj.....	116
Fig. 3.59	Pantalla horómetro	117
Fig. 4.1	Bomba principal de agua	117
Fig. 4.2	Sensor de nivel tipo varilla	117
Fig. 4.3	Sensor de nivel en condensador evaporativo	118
Fig. 4.4	Bombas dosificadoras de la piscina	120
Fig. 4.5	Bomba dosificadora en condensador evaporativo.....	120
Fig. 4.6	Electroválvula DANFOSS	121
Fig. 4.7	Torre de enfriamiento protón	122
Fig. 4.8	Tablero eléctrico principal	123
Fig. 4.9	Parte interior tablero eléctrico principal	123
Fig. 4.10	Activación alarmas en pantalla táctil nivel agua.....	124
Fig. 4.11	Activación alarmas en pantalla táctil temperatura.....	125

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Datos técnicos de CPU-1214C	65
Tabla 3.2	Entradas analógicas de temperatura	66
Tabla 3.3	Entradas analógicas.....	67
Tabla 3.4	Entradas digitales	68
Tabla 3.5	Salidas digitales.....	69
Tabla 3.6	Características técnicas selector tres posiciones	94
Tabla 3.7	Características técnicas selector dos posiciones.....	95
Tabla 3.8	Características técnicas del pulsador de emergencia	96
Tabla 3.9	Características técnicas del pulsador de marcha.....	97
Tabla 3.10	Características técnicas del pulsador de paro.....	98
Tabla 3.11	Características técnicas del Relé	99
Tabla 3.12	Datos técnicos de pantalla táctil KTP 600	102
Tabla 3.13	Presupuesto	118
Tabla 4.1	Pruebas realizadas en los diferentes equipos	126
Tabla 4.2	Resultado ahorro energético.....	128

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 3.1	VOLTAJE 220 VAC	99
Ecuación 3.2	VOLTAJE 120 VAC.....	99

RESUMEN

Este proyecto de investigación implementó un sistema automatizado para controlar la refrigeración y variables de temperatura, nivel, control de pH, tratamiento y dosificación de la calidad del agua en la planta de CO₂ de la empresa Linde Ecuador S.A,

Se presenta una breve descripción de la planta ubicada en el cantón Machachi que es el lugar donde se ejecutó el proyecto.

El control de nivel en la piscina de refrigeración, presión y temperatura de agua de proceso, inyección de las bombas dosificadoras, reducción de la conductividad eléctrica, se logró mediante la instalación del PLC S7-1200 y sus módulos de control digitales y analógicos, así también se instaló una pantalla Touch Screen KTP 600 Siemens para visualizar todas las variables que se está monitoreando, lo cual permite mantener un registro actualizado de todo el proceso.

Se mejoró la calidad del agua con la implementación de las bombas P121-358TI, las cuales inyectan el químico que disminuye la conductividad y el pH del agua.

Con la implementación de este proyecto se consiguió un ahorro energético considerable lo cual se demuestra con los resultados obtenidos al final del proyecto, evidenciados en la tabla 4.2.

Palabras Claves: PLC S7-1200, Sistema de Refrigeración, pH, variables, KTP 600, bomba P121-358TI.

Abstract

This research project implemented an automated system to control the refrigeration and variables of temperature, level, pH control, treatment and dosage of water quality in the CO2 plant of the company Linde Ecuador S.A,

A brief description of the plant located in the Machachi canton is presented, which is the place where the project was executed.

The level control in the cooling pool, pressure and temperature of the process water, injection of the dosing pumps, reduction of the electrical conductivity, was achieved by installing the S7-1200 PLC and its digital and analog control modules, as well as A Touch Screen KTP 600 Siemens screen was also installed to visualize all the variables that we are monitoring, which allows us to maintain an updated record of the entire process.

The quality of the water was improved with the implementation of the P121-358TI pumps, which inject the chemical that decreases the conductivity and pH of the water.

With the implementation of this project, considerable energy savings were achieved, which is demonstrated by the results obtained at the end of the project, these results are evidenced at 4.2 table.

KEY WORDS: PLC S7-1200, Cooling System, pH, variables, KTP 600, pump P121-358TI.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes de la situación objeto de estudio

Desde el año de 1942 entró en funcionamiento la planta de producción de dióxido de carbono “Agua y Gas de Sillunchi” ubicada en el cantón Mejía parroquia Machachi, siendo sus primeros dueños la familia Guarderas, para en el año de 1998 pasar a ser parte de la multinacional AGA S.A. convirtiéndose en la única planta de producción a granel de CO₂ natural comercializando este gas natural a las principales empresas de bebidas carbonatadas por sus altos estándares de calidad. En el año 2008 la empresa nuevamente se involucra en un proceso de transición en esta ocasión con la multinacional alemana The Linde Group, incursionando al cambio tecnológico acorde a la época y viéndose obligado a mejorar sus procesos productivos, reducción de costos por procesos manuales pero manteniendo los altos índices de calidad del producto con el fin de aumentar el margen de utilidad posicionándose en el mercado como la empresa número uno de producción, distribución y comercialización de CO₂.

Planteamiento del problema

Actualmente en la planta de CO₂ de la empresa Linde Ecuador S.A no se tiene un sistema de control del nivel de agua en la piscina de refrigeración de sus equipos, además que la calidad del agua no cumple con algunos estándares requeridos.

El control del proceso lo realizan de forma manual los operadores de planta, lo que ha llevado a que por factores operativos como electromecánicos se presenten inconvenientes de altos o bajos niveles de agua que han producido que la planta detenga su producción.

Entre los problemas más comunes se tiene saturación de filtros, altas temperaturas de los equipos, alta conductividad eléctrica del agua, ya que actualmente es de 4000us y los parámetros requeridos son de 1500us esto da lugar a incrustaciones en el sistema por los sólidos disueltos.

Estos inconvenientes reducen la eficiencia de transferencia de calor creando grandes pérdidas de energía, mala dosificación del agua porque actualmente el pH es de 9.8 y se requiere mantener en 8.2 para evitar efectos microbiológicos y de corrosión que afectan a los equipos.

Formulación del problema

Automatización y diseño del control de nivel de agua en la piscina de refrigeración para optimizar el consumo de agua. Actualmente en la planta CO₂ de la empresa Linde Ecuador S.A no se tiene un sistema de control del nivel de agua para la piscina de refrigeración de sus equipos y en los condensadores evaporativos, esta tarea la realizan de forma manual los operadores de planta, lo que ha llevado a que por algunos factores ya sea humanos como electromecánicos se han presentado inconvenientes de altos o bajos niveles de agua que han producido para no programadas en su proceso y grandes cantidades de desperdicio de agua.

Justificación del problema

La implementación de este proyecto permitirá el control de nivel y la calidad de agua de refrigeración, ya que este no dependerá al 100% del operador, sino que simplemente hará un control rutinario y no un control permanente. Además, contaremos con un control de manejo remoto para la activación de la bomba principal de agua, bombas dosificadoras y/o apertura de las electroválvulas para purgar los sedimentos en el caso de ser necesario, para evitar las paradas no programadas, altos consumos de agua, altas temperaturas en los equipos y disminución de TDS.

OBJETIVOS

Objetivo general

Implementar un sistema automatizado para controlar la refrigeración en una planta de CO₂

Objetivos específicos

- Establecer las tecnologías apropiadas para el control del sistema de refrigeración en la planta de CO₂.
- Diseñar el sistema de control de agua mediante la implementación de un PLC marca siemens S7-1200.
- Implementar alarmas visibles y audibles para el control de nivel, conductividad eléctrica y temperatura del agua.
- Controlar la conductividad eléctrica del agua que dan lugar a incrustaciones y reducen la eficiencia de transferencia de calor.
- Diseñar un sistema de control automático para la dosificación del químico regulador de pH para evitar efectos microbiológicos y de corrosión que afectan a los equipos.
- Controlar el tiempo de encendido y apagado del sistema para el retro-lavado y regeneración de la resina del ablandador y filtro para mantener una dureza baja del agua.
- Reducir el consumo de energía eléctrica del sistema.
- Realizar pruebas de funcionamiento y validación de resultados.

Alcance

La implementación de este proyecto contempla la ejecución del mismo de manera eficaz y en el tiempo que se determinó para su desarrollo en el cronograma realizado previamente, consiguiendo controlar en su totalidad el sistema de refrigeración de la planta de CO₂.

Cuando el proyecto se encuentre completamente ejecutado, se prevé obtener un ahorro energético representativo para la empresa lo cual viene siendo la mayor ventaja en términos económicos, así mismo otra de las ventajas es que este proyecto permitirá

aumentar la eficiencia de la planta de CO₂, ya que se aumentará considerablemente la calidad de agua que se utilizará en el proceso.

Descripción de los capítulos

Se da inicio a la evidencia física de este proyecto recogiendo todos los datos relevantes a la empresa en la cual se implementará este trabajo, en especial en lo concerniente a estado de equipos con los cuales se va a trabajar, el funcionamiento en general de los equipos involucrados en el proceso, la calidad actual del agua y el método de trabajo actual al momento de dosificar los químicos para el proceso en el agua.

En el primer capítulo se pone de manifiesto toda la investigación teórica realizada al momento de escoger la tecnología más adecuada para implementar en el proceso de refrigeración del agua para que el proyecto sea lo más eficiente al momento de ponerlo en marcha.

En el capítulo dos se pone de manifiesto el método que ha sido utilizado en este caso el experimental y el deductivo, así mismo se determina las variables dependiente e independiente de acuerdo a como se las implementará en el proceso para verificar el comportamiento que desempeñarán dentro de este, se analiza muestras y finalmente se presenta resultados los cuales nos determinaran la fiabilidad y validez de la propuesta presentada.

El capítulo tres se describe la parte técnica de los equipos que se va a utilizar, los materiales y elementos que serán necesarios para la implementación del proyecto y sobre todo la manera en la que estos se comunicarán entre si al momento de hacer las conexiones.

También se evidencia en este capítulo, el programa ya en funcionamiento, con el PLC programado describiendo los sensores que se utilizarán dependiendo de la variable que se vaya a controlar y la forma en la que cada uno de estos elementos como pulsadores, sensores y actuadores van a reaccionar dependiendo del desempeño del proceso ya sea desencadenando alarmas o en toma de decisiones como encendido o apagado del sistema dependiendo del daño.

En el capítulo cuatro, se verá ya el desarrollo del cronograma planificado para llevar a cabo la implementación del sistema dentro del proceso, se ingresarán los valores reales en todos los elementos de control, se concluirá con la programación del PLC con las instrucciones y parámetros del proceso y finalmente el diseño del HMI.

Se reflejará la comunicación que van a tener los equipos programados con el sistema SCADA y TIA PORTAL existentes en la planta de CO₂, lo cual nos permitirá un mejor control del proceso y lo más interesante de manera remota.

Finalmente se analiza los resultados obtenidos de las pruebas realizadas para satisfacer los objetivos establecidos al iniciar este proyecto y poder concluir si se logró cumplir a cabalidad con lo propuesto, para proceder a hacer la entrega del proyecto contribuyendo en el proceso de manera proactiva.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En la siguiente sección vamos a abordar varios ítems respecto al sistema de refrigeración, controles de nivel, variaciones en la temperatura, dosis aplicadas para tratar y mantener la calidad del agua.

1.1 Sistemas de refrigeración

La característica principal de utilizar un método para refrigerar se apoya principalmente en conservar una temperatura a niveles adecuados acorde a cada equipo que se utiliza para desarrollar el trabajo, para conseguir este parámetro se disipa todo el calor que el equipo acumula mientras se encuentra trabajando de tal manera que si notamos que la máquina tiene algún aumento en su nivel térmico se deduce claramente un mal funcionamiento sea este mecánico o al momento de realizar la refrigeración.

1.1.1 Tipos sistemas de refrigeración

En el siguiente subcapítulo vamos a explicar brevemente los tipos de refrigeración de acuerdo a su elemento principal de uso.

- Refrigeración por aire. - Para llevar a cabo el método de enfriamiento con ayuda de aire realizamos un barrido en los cilindros ayudándonos de la corriente de aire que se genera por el movimiento de los equipos o con los movimientos que se realiza de manera mecánica forzando al equipo a desplazarse, generalmente se usa este método en motores de motos o aviones de potencia tanto mayor como menor, por motivos de costos, integridad y también por el peso bajo que mantienen.

Así mismo nos proporciona algunas ventajas el utilizar este método ya que nos evitamos gastos de mantenimiento, por el hecho de que este sistema no cuenta con partes

móviles lo hace muy seguro, permite que el nivel térmico de equilibrio se consiga con facilidad y de igual manera el peso es mínimo. Nos encontramos también con algunas desventajas debido al ruido y a que los equipos tienden a subir su nivel térmico a medida que baja la velocidad de funcionamiento, además al momento de realizar la regulación esta es bastante sensible.

En la figura 1.1 se muestra el sistema de refrigeración enfriado por aire de un vehículo.

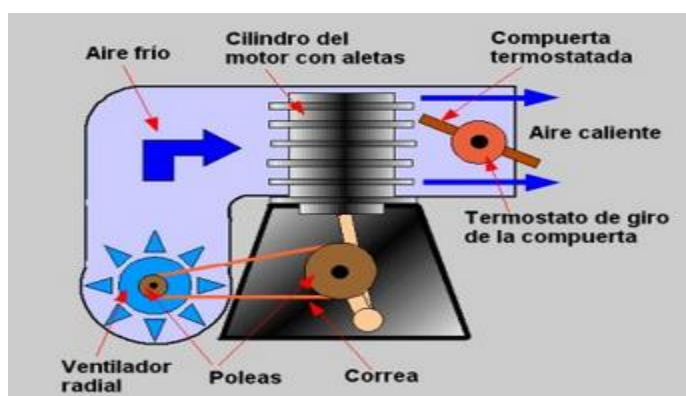


Fig. 1.1 Sistema de refrigeración enfriado por aire de un vehículo.

Fuente: Gráfico tomado de la dirección electrónica:

(MCIA, 2016)

- Refrigeración por aceite.- Este método de enfriamiento es utilizado principalmente en compresores que usan un pistón en su mecanismo de funcionamiento así como los que utilizan un tornillo en su mecanismo y este tipo de compresores los encontramos en motores que realizan su combustión de manera interna ya que así se aprovecha la propiedad lubricadora del aceite y se logra aumentar o mantener el tipo de vida útil de los equipos principalmente en las piezas que realizan el proceso de enfriamiento y están en constante contacto por lo tanto tiende a desgastarse tales como el cárter, el filtro y la bomba que trabajan con aceite, tomando en cuenta siempre el nivel de aceite que actualmente se puede observar en un panel de control instalado en el equipo para su fácil visualización.

Se observa cómo trabaja un sistema de refrigeración por aceite en el motor de un vehículo, el proceso se inicia en el momento en el que el aceite ingresa al cárter el cual debe conservar su temperatura ayudado del aire que ingresa desde el ambiente hacia el

motor en el momento en el que este se pone en marcha al revolucionar el motor este va a consumir mayor cantidad de aceite por ende el trabajo de refrigeración no se dará de manera correcta, mientras que si por el contrario aceleramos el automóvil el aire del ambiente entrará a mantener el nivel térmico del aceite y no permitirá que este se sobrecaliente y se consuma y de esta manera se confirma un adecuado trabajo operacional en el cárter, ya que al mantener la temperatura se mantendrá el nivel de aceite en el parámetro máximo para evitar el proceso de lubricación o al menos retardarlo.

La figura 1.2 nos muestra el proceso de enfriamiento por aceite.

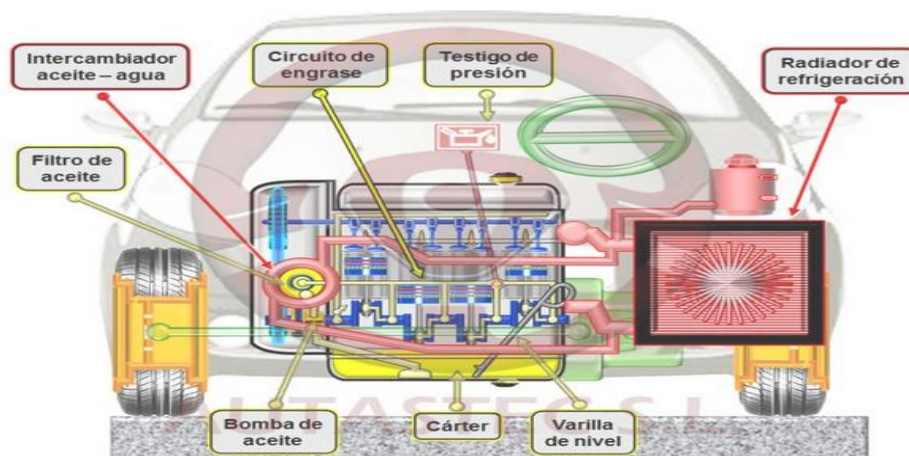


Fig. 1.2 Sistema de refrigeración por aceite

Fuente: Gráfico tomado de la dirección electrónica

(AUTASTECH, 2015)

- **Refrigeración por agua.-** Este método de enfriamiento mediante agua se basa en sacar la temperatura de un equipo y así evitamos el mal funcionamiento de las máquinas o que salgan definitivamente de funcionamiento el principio fundamental de este método es justamente como su nombre lo indica a base de agua para que esta transfiera el calor al sistema de refrigeración de tal manera que se mantenga el nivel de temperatura la mayor cantidad de tiempo, su principal ventaja es que gracias a las propiedades del agua como son el valor de su densidad y su capacidad para llevar calor, con respecto al aire puede transferir el calor a distancias largas con menos cantidad fluyendo en el sistema, por esta razón este método de enfriamiento permite reemplazar los ventiladores por radiadores.

Un sistema de refrigeración por agua está conformado básicamente por el equipo al cual se va a mantener la temperatura se coloca una bomba para que esta haga fluir el líquido y se utiliza un disipador de calor que podría ser un ventilador y todo el sistema se conecta mediante tubo, además se puede facilitar el llenado del sistema y por ende la optimización en cuestión de tiempo si colocamos un depósito de agua.

La figura 1.3 representa el método de enfriamiento por agua.

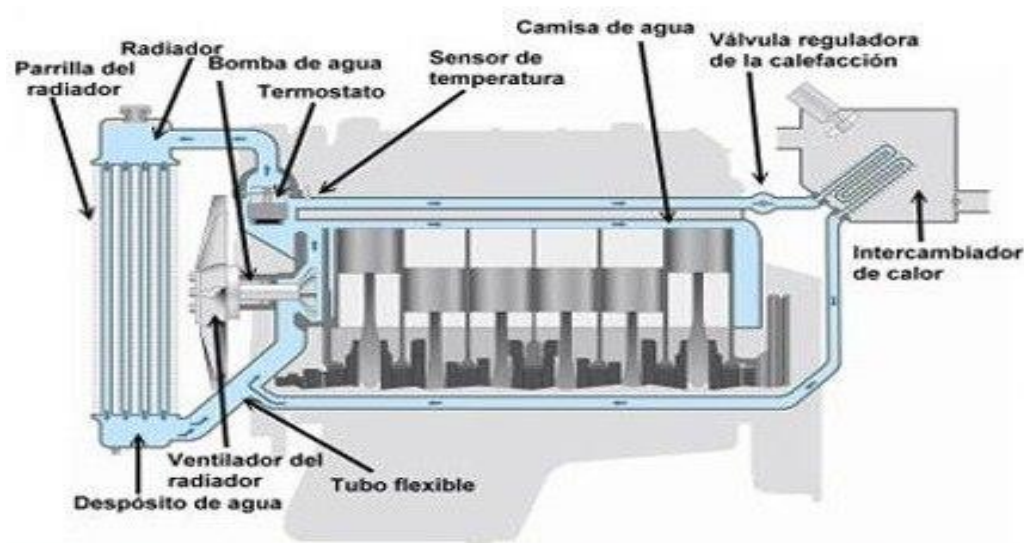


Fig. 1.3 Sistema general de refrigeración por agua

Fuente: Gráfico tomado de la dirección electrónica
(VEHÍCULO, 2012)

Principios que constituyen un sistema de refrigeración por agua. - Se destaca los siguientes elementos:

- Radiador: está conformado por dos depósitos superior e inferior que se conectan mutuamente gracias al dispositivo designado para que cumpla con la función de refrigeración, los cuales son necesarios para dotar al radiador de la capacidad que se empleará. Su principal función es la de enfriar el líquido refrigerante lo cual logra realizar mediante las astas que forman parte de su constitución, para que tenga contacto con la máxima cantidad de aire está localizado en la parte delantera del motor.

Además, consta de un tapón para evitar que el radiador se presurice liberando el vapor que se produce en el momento en que el agua cumple con su proceso de ebullición y

con las válvulas refrigerantes el fluido regresa a los depósitos, tal como se muestra en la figura 1.4. (MOTORES, 2012)

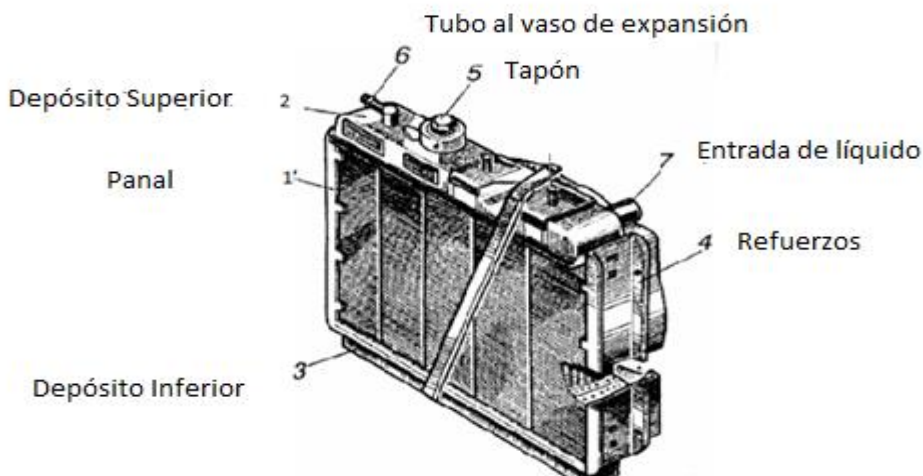


Fig. 1.4 Radiador

Fuente: Gráfico tomado de la dirección electrónica
(MOTORES, 2012)

- Bomba centrífuga: consiste en varias una máquina que consiste en un conjunto de paletas rotatorias encerradas dentro de una caja o cárter, o una cubierta o coraza, siendo su principal característica convertir la energía mecánica de un impulsor incrementando la velocidad del fluido, como se muestra en la figura 1.5. (QUIMINET, 2015)

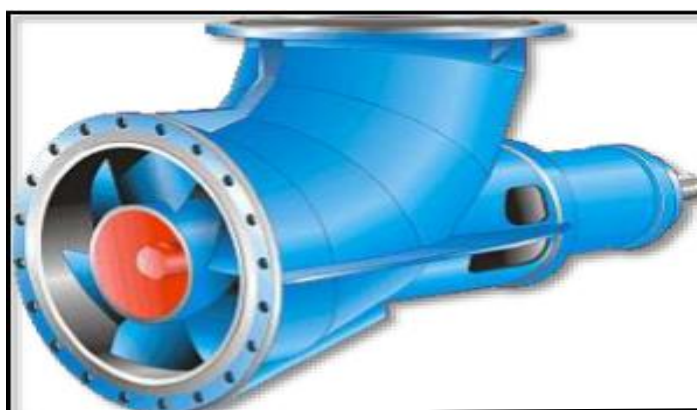


Fig. 1.5 Bomba centrífuga

Fuente: Gráfico tomado de la dirección electrónica
(QUIMINET, 2015)

- **Sensor de temperatura:** Estos dispositivos transforman los cambios de temperatura en señales eléctricas que son procesados por equipo eléctrico o electrónico, generalmente constituido por un elemento sensor, la vaina que se encuentra saturada de materia extremadamente conductora para facilitar la transmisión de los cambios térmicos al sensor y al equipo al cual va conectado.



Fig. 1.6 Sensor de temperatura IT-PT100

Fuente: Elaborado por el autor

- **Indicador de temperatura:** es un instrumento usado para controlar la variable térmica. El indicador de temperatura tiene una entrada procedente de un sensor de temperatura y tiene una salida que está conectada a un elemento de control, siendo uno de los más conocidos el pirómetro a nivel industrial ya que nos ayuda a medir temperaturas extremadamente elevadas, consta de un filamento que se calienta por una corriente eléctrica hasta alcanzar un nivel máximo y el resultado que arroja será el valor de la corriente eléctrica que viene a ser la temperatura alcanzada.



Fig. 1.7 Pirómetro

Fuente: Elaborado por el autor

A continuación, en la figura 1.8, un sistema general de refrigeración por agua incluyendo los elementos descritos anteriormente.

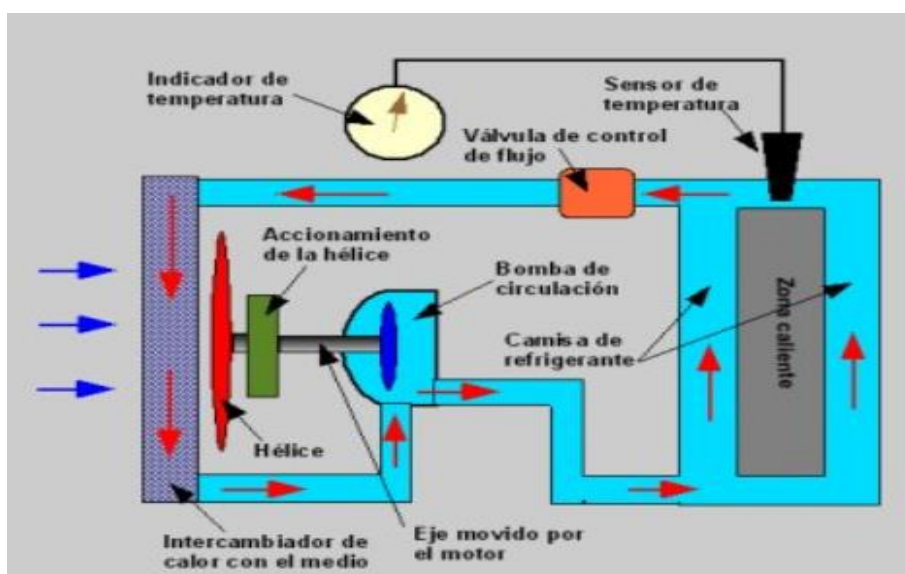


Fig. 1.8 Elementos principales del sistema de refrigeración por agua

Fuente: Gráfico tomado de la dirección electrónica

(WANKEL, 2009)

1.2 Equipos de enfriamiento

Son equipos que se encuentran estructurados para evacuar la energía calorífica de un área a otra valiéndose de diversos parámetros como los son la temperatura, potencia, caudal de aire, volumen de control, etc.

1.2.1 Torre de enfriamiento

Cuando necesitamos enfriar líquido en volúmenes altos es en donde se ocupa este equipo, haciendo uso del proceso de conducción o evaporación se arranca el calor del agua a diferencia de otros procesos como por ejemplo el uso de intercambiadores de calor donde se requiere específicamente de una superficie plana, este es de un valor económico relativamente bajo.

- **Funcionamiento.** - El flujo de agua que es el que va a ser distribuido de ser posible por todo el sistema que así lo requiera empieza con el ingreso del líquido el cual lo hace por la parte alta de la torre para lo cual se necesita de una tubería a la cual se instala rociadores o ranuras que serán las que distribuyan el líquido.

El agua al chocar directamente con el aire que ingresa en sentido contrario el cual proviene de un ventilador ubicado en el domo del equipo y que viene con un nivel térmico menor al del líquido que ingresa por la parte alta de la torre, este contacto es el que va a producir el enfriamiento, ya que se produce el proceso de evaporación donde humedad y temperatura del aire son inversamente proporcionales a las del agua, tal como nos muestra la figura 1.9.

“La temperatura límite de enfriamiento del agua es la temperatura del aire a la entrada de la torre. Parte del agua que se evapora, causa la emisión de más calor por eso se puede observar vapor de agua encima de la torre de enfriamiento.” [1]

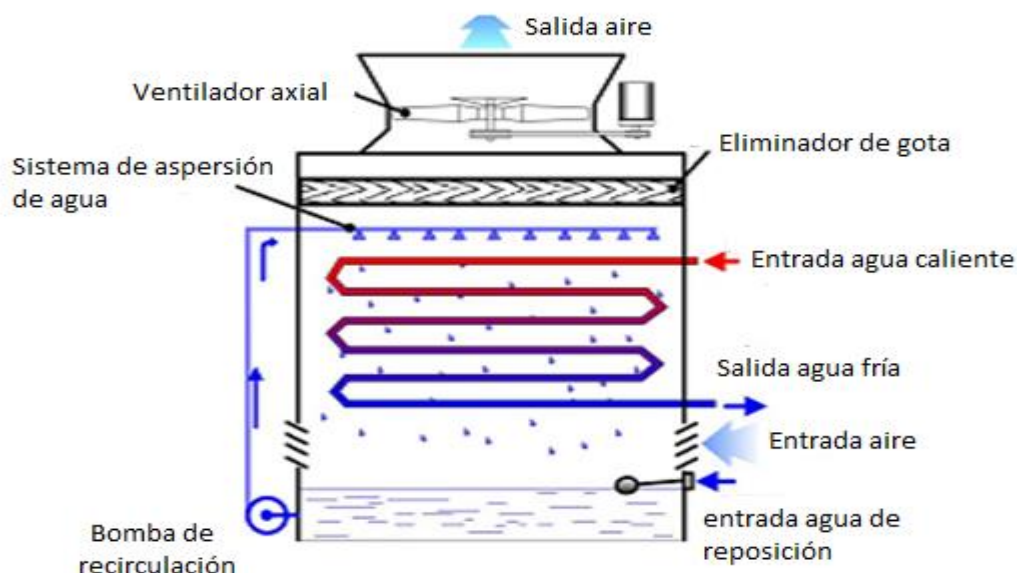


Fig. 1.9 Torre de enfriamiento protón

Fuente: Gráfico tomado de la dirección electrónica
(PROTÓN, 2009)

1.3 Condensadores evaporativos

La principal función de este equipo es permitir que un gas que ha sido comprimido y calentado a altas temperaturas regrese a su estado líquido y de esta manera se vuelva a dar inicio al proceso de refrigeración.

En la figura 1.10 observamos el diagrama y componentes de un condensador evaporativo común.

Al momento de hablar de ahorro de energía especialmente en plantas de procesos y en la industria en general este es el equipo que más se comercializa ya que aparte de su moderna constitución, ayuda a mantener o bajar costos de producción, ya que al no necesitar una gran cantidad de aire el consumo energético en los ventiladores que se utilizan para mantener la temperatura de los motores disminuye notoriamente.

Este equipo acopla las características tanto de un condensador como de una torre de enfriamiento de la cual hablamos en el ítem anterior.

Este equipo se utiliza en varios sectores, a continuación, se señala algunos de estos:

- Instalaciones de aire acondicionado para uso industrial: este hace uso de la condensación por agua con lo cual se evita el efecto invernadero ya que no permite la elevada emisión de CO₂ al ambiente.
- Industrias de productos congelados: almacenamiento frigorífico adecuado de productos alimenticios.
- Refrigeración industrial: Ya que libera el calor que se produce en el momento en que las máquinas frigoríficas se condensan y lo transfiere a la atmósfera, lo cual vuelve al condensador evaporativo un sistema simple, económico e higiénico.

1.3.1 Funcionamiento

El gas que ha sido comprimido y sobrecalentado es el que ingresa por el colector de la parte alta del condensador específicamente en la estructura formada por tubos lisos el cual se conoce con el nombre de serpentín, al este humedecerse ininterrumpidamente mientras dura el proceso el gas se condensa ya que se produce la pulverización del líquido. Este gas al pasar por el proceso de condensación ya se almacena en el serpentín del colector de la parte inferior del condensador, pero en estado líquido el cual ya puede ser reutilizado por el sistema.

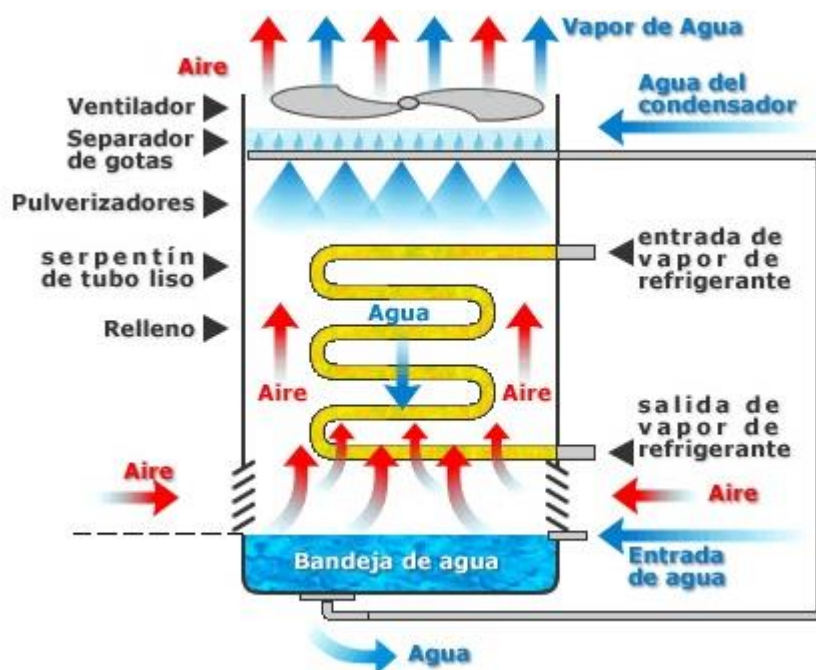


Fig. 1.10 Esquema de un condensador evaporativo

Fuente: Gráfico tomado de la dirección electrónica
(FRIGORIFICOS, 2015)

1.4 Intercambiadores de calor

Este tipo de dispositivo se utiliza específicamente como su nombre lo indica transmitir calor entre fluidos los cuales pueden estar independizados por un obstáculo o pueden estos estar en contacto directo, forman parte principalmente en sistemas de aire acondicionado, refrigeración, calefacción e inclusive en equipos de uso diario como el computador.

1.4.1 Clasificación

Tenemos una diversidad de estos dispositivos entre los cuales se detallan a continuación los más relevantes:

- Intercambiadores de contacto directo. - Estos dispositivos se caracterizan porque el intercambio de calor se produce entre fluidos que se combinan totalmente de manera física.
- Intercambiadores de contacto Indirecto. - Estos dispositivos para que se produzca la transferencia de calor no necesitan tener un contacto entre fluidos, sino que hacen uso del

proceso de conducción para lo cual se ayudan del obstáculo que en este caso debe ser una pared que los mantiene separados para transferirse el calor.

Pueden subclasificarse en:

- Alternativos. - Aquí los fluidos se alternan para transitar por la misma área del sistema de esta manera al transmitirle calor a una superficie del sistema que se encuentra fría esta lo va transfiriendo a otra área del equipo de manera sucesiva y si en algún momento los fluidos llegan a tener un contacto este es relativamente mínimo por lo tanto se desprecia siempre y cuando el nivel de contaminación no afecte el proceso. (UNITARIAS, 2015)
- De superficie. - En este dispositivo no existe contacto entre los fluidos de ninguna manera ya que para realizar la transferencia de calor hacen uso de la pared separadora como medio de conducción. (UNITARIAS, 2015)

Estos también poseen una subclasificación, y son:

- Intercambiadores de tubo. - Siendo el más utilizado en la industria por sus diversas facilidades y ventajas ya sea al construirlo, al limpiarlo y repararlo, además permite alcanzar flujos de calor bastante altos en relación de su peso y volumen, gracias a su versatilidad permite que su diseño se adecúe a casi cualquier aplicación requerida. (UNITARIAS, 2015)

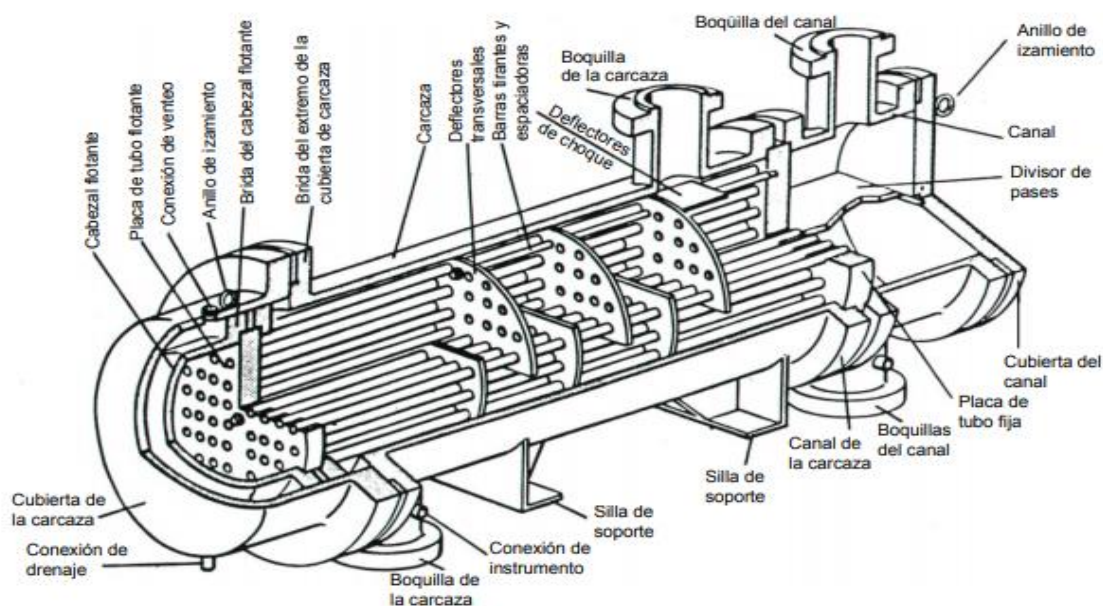
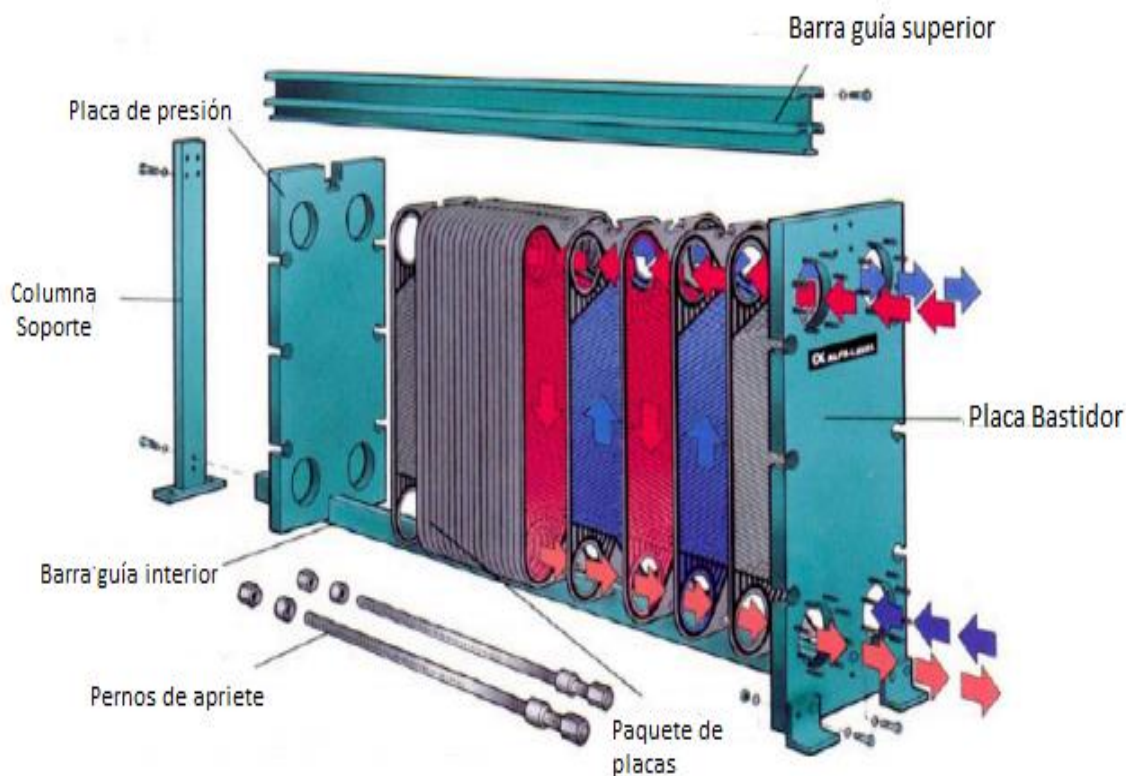


Fig. 1.11 Esquema de un intercambiador de tubo

Fuente: Gráfico tomado de la dirección electrónica
(UNITARIAS, 2015)

- Intercambiadores de placas. - Formado por láminas delgadas, procesadas en una prensa de precisión, lo cual permite darles un diseño corrugado a las placas. Este diseño permite separar las dos corrientes de fluidos, este modelo de intercambiadores se utiliza generalmente para trabajos con fluidos altamente viscosos, un limitante de este modelo son los empaques que se encuentran formando canales entre las placas para que los fluidos fríos y calientes circulen alternadamente, se ha obtenido presiones has de 30 bar (Mpa) y temperaturas de hasta 250 °C, tal como se muestra en figura 1.12. (UNITARIAS, 2015)

**Fig. 1.12 Intercambiadores de placas**

Fuente: Gráfico tomado de la dirección electrónica
(UNITARIAS, 2015)

- Multitubulares. - Este intercambiador se caracteriza básicamente por poseer una constitución bastante simple y no tener un alto valor económico en el mercado al momento

de estructurarlo, ya que utiliza materiales como: tubos, T conectoras, codos, y un cabezal, por el tubo interior circula una corriente mientras que la otra corriente circula por el ánulo formado entre los tubos, en la figura 1.13 tenemos un ejemplo. (UNITARIAS, 2015)

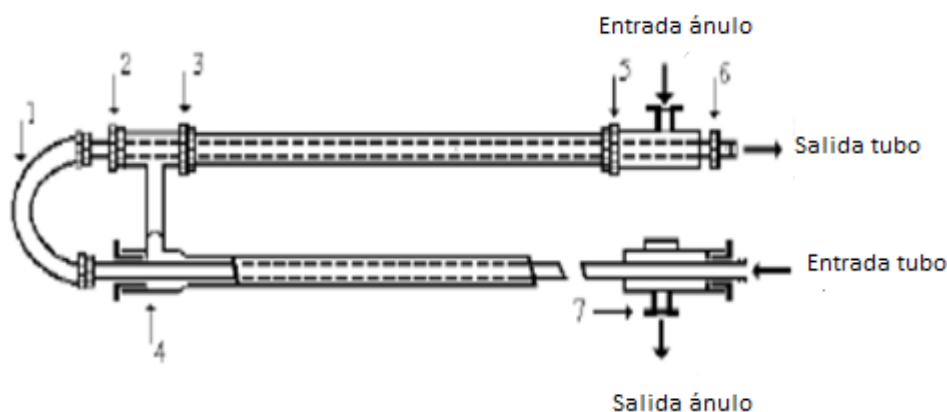


Fig. 1-13 Multitubulares

Fuente: Gráfico tomado de la dirección electrónica
(UNITARIAS, 2015)

1.4.2 Aplicaciones

Los podemos utilizar en diversos equipos y sistemas ya sean químicos o mecánicos entre los más relevantes tenemos a continuación:

- Torres de Enfriamiento secas.
- Calentadores de Agua y otros fluidos, mediante vapor.
- Enfriadores de Aceite.
- Enfriadores de agua salada.

En el radiador de nuestro vehículo podemos entender mejor el funcionamiento de estos dispositivos de transferencia de calor ya que al colocar el líquido refrigerante este se expande por el motor y va desprendiendo el calor hasta el radiador, mientras que el refrigerante hace el recorrido por el motor va bajando su temperatura con ayuda del aire que ingresa del ambiente.

1.5 Equipos de control e instrumentación

El propósito de los equipos de instrumentación y control está centrado en el análisis, diseño y automatización de los diversos procesos especialmente en áreas industriales, incorporando los componentes básicos para realizar mediciones para construir y modificar parámetros dentro de los procesos.

1.5.1 Control de nivel

Existen varias alternativas para conseguir controlar el nivel, va a depender de varios factores tales como en donde lo aplicaremos, tipo de fluido, forma del contenedor donde se requiere medir el nivel, la presión del recipiente:

A continuación, se menciona las diversas maneras de hacer un correcto control de nivel: (The Rosemount Level Marketing Team, June 2013).

➤ **Medición tipo manual / mecánico:**

- **Interruptores flotantes:** su característica básica es controlar el nivel de líquido en los tanques, de tal manera que en el circuito eléctrico determina si la electrobomba sigue su marcha o se detiene, de tal manera que se obtiene un sistema de fácil manejo y efectivo funcionamiento. (INDUSTRIES, 2017)



Fig. 1.14 Interruptores flotantes

Fuente: Gráfico tomado de la dirección electrónica
(INDUSTRIES, 2017)

- Varillas de inmersión: está constituida por una sonda en forma de tubo, y cuenta con un imán que recorre toda la sonda el cual activa unos contactos cuando el nivel del fluido sube o baja, se puede encontrar diversos tipos de estas varillas en el mercado dependiendo del uso que se le vaya a dar. (INDUSTRIES, 2017)



Fig. 1.15 Varillas de inmersión

Fuente: Gráfico tomado de la dirección electrónica
(INDUSTRIES, 2017)

➤ **Medición tipo electromecánica:**

- Desplazadores: emplea principalmente el principio de Arquímedes que dice que todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje hacia arriba proporcional al peso del volumen del líquido desalojado, de esta manera se puede controlar el nivel de un líquido ya que la fuerza que va a ejercer el desplazador será proporcional al nivel del líquido.



Fig. 1.16 Desplazador

Fuente: Gráfico tomado de la dirección electrónica
(PERU, 2015)

- **Magnetostrictivo:** el principio de este sensor es la medida del tiempo de eco, un alambre Magnetostrictivo está tensado en el tubo de medición, este alambre es magnetizado de forma axial por imanes instalados en el flotador, la distancia del imán del flotador a un punto cero previamente definido, se mide con una medida del tiempo eco, los sistemas electrónicos transformarán esta señal en una señal analógica.

**Fig. 1.17 Sensor magnetostrictivo**

Fuente: Gráfico tomado de la dirección electrónica
(UNITRONICS, 2018)

➤ **Medición por contacto electrónico:**

- **Capacitancia:** en la medición de nivel capacitiva, el sensor capacitivo y el depósito forman los dos electrodos de un condensador. Cualquier cambio en el nivel provoca un cambio en la capacidad, que se convierte en una señal de nivel, los sensores de nivel capacitivos cubren una amplia gama de aplicaciones. (UNITRONICS, 2018)



Fig. 1.18 Sensor de nivel por capacitancia
Fuente: Gráfico tomado de la dirección electrónica
(UNITRONICS, 2018)

- **Conductividad:** En conmutadores de nivel conductivo, una señal de salida está conectada a un electrodo aislado. Cuando el medio entra en contacto con el electrodo, una corriente mínima fluye por el medio a la caja. Un amplificador de voltaje eléctrico recoge esta corriente y la envía como una señal. Dependiendo del nivel respectivo, un flujo de corriente proporcional es capturado entre la varilla y la pared metálica del tanque o un electrodo de referencia y luego dirigido a un amplificador. La resistencia del líquido disminuye proporcionalmente a la parte sumergida de la varilla. Si el líquido es homogéneo, se proporciona una medición lineal del nivel lleno y, por tanto, una salida de señal lineal de 4 a 20 mA. Este dispositivo de medición de nivel es ideal para usar con sustancias resistentes. (Zimmer, 2018)

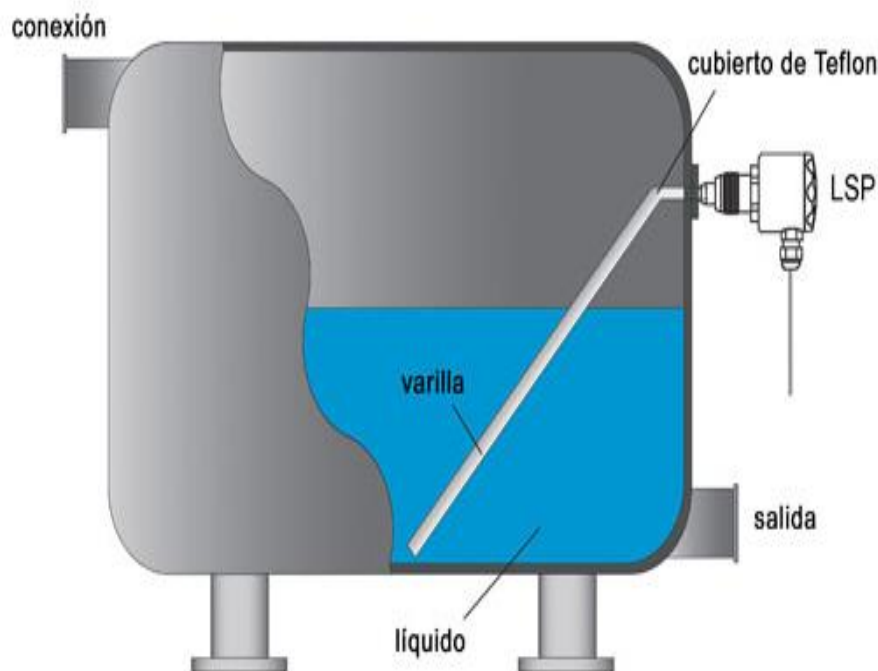


Fig. 1.19 Sensor de nivel por conductividad

Fuente: Gráfico tomado de la dirección electrónica
(INDUSTRY, 2017)

- Radar de sonda guiada: En la medición de nivel por radar guiado se conducen los impulsos radar a lo largo de una sonda de cable o barra y se reflejan en la superficie del producto. La sonda de medición del sensor se ocupa de que la señal llegue al producto sin interrupciones.

Este método de medición permite medir líquidos, sólidos e interface en líquidos.
(VEGA CORPORATION, 2017)



Fig. 1.20 Sensor de nivel por conductividad

Fuente: Gráfico tomado de la dirección electrónica
(VEGA CORPORATION, 2017)

- Térmico: Los sensores temperatura son dispositivos utilizados en aplicaciones de edificación para medir la temperatura de un fluido, normalmente aire o agua. Habitualmente, se los conoce también por el nombre de sondas de temperatura.

Un ejemplo típico es su uso en los sistemas de preparación de agua caliente sanitaria. Para controlar que la temperatura es adecuada en un depósito, y que no existe peligro de proliferación de bacterias o de excesiva temperatura, se introducen una o más sondas en el depósito. A partir de la lectura de temperatura enviada por la sonda, se regula la aportación de energía al tanque, que puede ser mediante energía eléctrica, flujo de un líquido a través de un intercambiador de calor. (P, 2017)



Fig. 1.21 Sensor de nivel térmico
Fuente: Grafico tomado de la dirección electrónica
(VEGA CORPORATION, 2017)

- Nivel de vibración (diapasón): es un interruptor de nivel de llenado para líquidos con una horquilla vibratoria como elemento sensor. Está diseñado para el uso industrial en todos los campos de la tecnología de proceso y puede emplearse en líquidos. Las aplicaciones típicas son la protección contra rebose o contra el funcionamiento sin lubricación. sirven para comprobar o controlar los niveles de llenado en atmósferas potencialmente explosivas, también con líquidos, gases, nieblas o vapores inflamables. Gracias a su sistema de medición sencillo puede emplearse casi independientemente de las propiedades químicas y físicas del líquido. También funciona en condiciones de medición duras, como turbulencias, burbujas de aire, formación de espuma, adherencias, vibraciones externas fuertes o material de llenado cambiante. (Ingenieros, 2017)



Fig. 1.22 Sensor de nivel de vibración
Fuente: Gráfico tomado de la dirección electrónica
(INDUSTRY, 2017)

➤ **Medición tipo electrónico sin contacto.**

- **Láser:** El sensor de medición de nivel láser, es empleado para el control de nivel, detección de conductos obstruidos y monitoreo de acumulación. Este dispositivo sin contacto puede emplearse en sólidos o materiales granulados de todos los materiales dieléctricos y en una variedad de recipientes. El sensor mide en un haz estrecho de 1° para evitar la divergencia de haz, lo cual lo hace ideal para uso en recipientes estrechos o espacios restringidos. Esta tecnología de medición resuelve problemas de confiabilidad causados por el ángulo de la superficie, la inclinación, la textura, la granularidad o el color de material.

El sensor tiene un rango de medición de hasta 160 pies y es preciso (hasta +/- 1 pulgadas). También puede emplearse en equipos de procesos restrictivos, o en equipo confinado como trituradoras. El láser no se ve afectado por vapores densos ni por presión y es muy versátil para una amplia variedad de industrias y materiales. (BINMASTER, 2017)



Fig. 1.23 Sensor de nivel láser

Fuente: Gráfico tomado de la dirección electrónica
(VEGA CORPORATION, 2017)

- **Radar sin contacto:** El radar sin contacto se basa en la tecnología de microondas que detecta solo superficies que reflejan energía. En una situación de medición, las variaciones en la temperatura, el polvo o los cambios en la presión no afectan la precisión. El dispositivo mide el tiempo que tardan las microondas en dejar el transmisor, reflejarse en el medio y volver. El nivel es directamente proporcional al tiempo de vuelo. Con la tecnología sin contacto, también es posible calcular volumen y masa. (Emerson, 2016)



Fig. 1.24 Sensor de nivel láser

Fuente: Gráfico tomado de la dirección electrónica
(INDUSTRY, 2017)

- **Ultrasónico:** El sensor ultrasónico es una solución fiable para la medición por ultrasonidos, rentable y de alto rendimiento ideal para depósitos pequeños de fluido. Permite flexibilidad en las aplicaciones diseñadas para la integración del sistema, conductancia y sensores de presión. Se configura fácilmente a través de una conexión USB y el software compatible con Windows XP. (Areny, 2012)



Fig. 1.25 Sensor ultrasónico

Fuente: Gráfico tomado de la dirección electrónica
(OMEGA, 2017)

En el caso de las centrales hidroeléctricas, por ser recipientes abiertos (represa) y por tratarse de un fluido limpio (agua) el medidor de nivel más usado es por presión.

1.5.2 Control de temperatura

La temperatura es una de las variables físicas más importantes, ya que las partículas en movimiento constante liberan energía reflejado en calor, motivo por el cual debe ser medida con la mayor exactitud y así lograr un mejor control de este factor:

Tenemos varios instrumentos para su medición:

- **Termocuplas:** son los sensores de temperatura eléctricos más utilizados en la industria, una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo, al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño, del orden de los milivoltios el cual aumenta con la temperatura. (Areny, 2012)



Fig. 1.26 Termocuplas

Fuente: Gráfico tomado de la dirección electrónica (OMEGA, 2017)

- **Termómetros bimetalicos:** es un instrumento utilizado para medir temperatura mediante la contracción y expansión de dos distintas aleaciones metálicas de alto y bajo coeficiente de dilatación. Los termómetros bimetalicos están constituidos por un tubo en cuyo interior está colocada una espiral helicoidal bimetalica. Dicha espiral está soldada por un extremo a la parte inferior del tubo y por otra a su vez conectada a una varilla de transmisión, una aguja indicadora. (INDUSTRY, 2017)



Fig. 1.27 Termómetro bimetalico

Fuente: Gráfico tomado de la dirección electrónica
(INDUSTRIES, 2017)

- Termómetros de líquido en capilares de vidrio: es un tubo de vidrio en cuyo interior hay mercurio, mismo que se desplaza uniformemente dependiendo de la temperatura.
(INDUSTRY, 2017)



Fig. 1.28 Termómetro de líquido

Fuente: Gráfico tomado de la dirección electrónica
(OMEGA, 2017)

- Pirómetros: Se utiliza para medir temperaturas sumamente altas. Por lo general es utilizado en fundiciones, hornos y demás lugares donde las temperaturas son muy elevadas.
(Areny, 2012)



Fig. 1.29 Pirómetro

Fuente: Elaborado por el autor

- Termistor: Este es una variación de los termómetros. Cuando la temperatura varía también lo hace su resistencia eléctrica. (Areny, 2012)



Fig. 1.30 Termistor

Fuente: Elaborado por el autor

- Termo resistencias: trabaja según el principio de que en la medida que varía la temperatura, su resistencia se modifica, y la magnitud de esta modificación puede relacionarse con la variación de temperatura. Tienen elementos sensitivos basados en conductores metálicos, que cambian su resistencia eléctrica en función de la temperatura. Este cambio en resistencia. se puede medir con un circuito eléctrico, que consiste de un

elemento sensible, una fuente de tensión auxiliar y un instrumento de medida. (Jabob-Fraden, 2012)



Fig. 1.31 Termo resistencia

Fuente: Elaborado por el autor

- Termopares: es un sensor para medir la temperatura. Se compone de dos metales diferentes, unidos en un extremo. Cuando la unión de los dos metales se calienta o enfría, se produce una tensión que es proporcional a la temperatura. Las aleaciones de termopar están comúnmente disponibles como alambre. (Jabob-Fraden, 2012)



Fig. 1.32 Termopar

Fuente: Elaborado por el autor

- Fibra óptica: La fibra óptica es esencialmente una tubería para luz. El grupo de sensores conocidos como termómetros de fibra óptica en general se refiere a los dispositivos que miden temperaturas más altas en las que se usa física de radiación de cuerpo negro. Los objetivos de temperaturas más bajas (digamos de $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $400\text{ }^{\circ}\text{C}$) se pueden medir al activar diversos materiales de detección como fósforos, semiconductores o

cristales líquidos con enlaces de fibra óptica que ofrecen las ventajas de entorno y ubicación remota. (OMEGA, 2017)



Fig. 1.33 Fibra óptica

Fuente: Grafico tomado de la dirección electrónica
(OMEGA, 2017)

- **Termografía:** La termografía es un procedimiento que se emplea para obtener información sobre la temperatura de un objeto a distancia sin emplear el contacto físico con el mismo, a través de captar la radiación infrarroja del espectro electromagnético, mediante una cámara que pueden transformar la energía radiada en información sobre la temperatura de dichos elementos. (OMEGA, 2017)



Fig. 1.34 Fibra óptica

Fuente: Gráfico tomado de la dirección electrónica
(OMEGA, 2017)

A nivel industrial para el correcto control de la temperatura especialmente en devanados y rodamientos de motores se utiliza el detector de temperatura resistivo (RTD) para de esta manera aprovechar el efecto que tiene la temperatura en la conducción de los electrones así si existiera un aumento en la temperatura también existiría un aumento en la resistencia eléctrica. El tipo de RTD más conocido y utilizado es el Pt100 llamados así por el material en el que se encuentran fabricados que es el platino y a que presentan una resistencia de 100 ohm a 0°C.

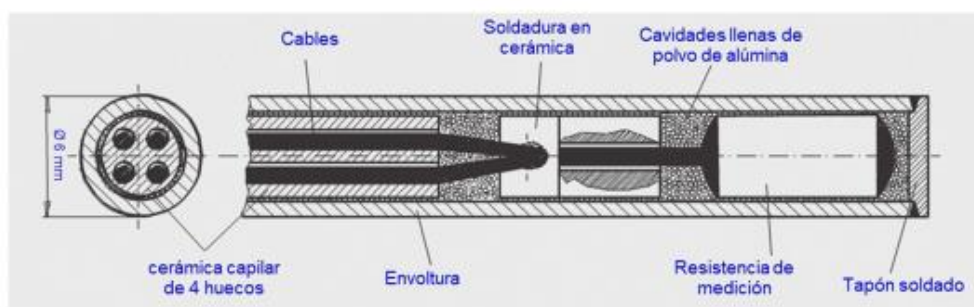


Fig. 1.35 Construcción de un RTD Pt100

Fuente: (Corporation, 2008)

1.5.3 Control de pH del agua

El pH es la forma en que una sustancia manifiesta su acidez o alcalinidad mediante su potencial hidrógeno determinados por una escala marcada de 0 a 14 donde los valores que se encuentren por debajo de 7 corresponden al grado ácido que posee determinada sustancia y los valores que correspondan por encima de 7 nos determinan la alcalinidad de esta. Este parámetro influye directamente con un par de fenómenos importantes que ocurren en el agua como son la corrosión y las incrustaciones en las redes de distribución debido a la dureza residual del agua.

Encontramos algunos medidores de pH en el mercado:

- Medidores de pH portátil
- Medidores de pH de Banco
- Electroodos de pH
- GHE
- Water master
- Papel indicador

1.6 PLC (controlador lógico programable)

En el control de procesos industriales es básica la implementación de microprocesadores principalmente para el control de aplicaciones específicas.

1.6.1 Definición

En la industria es muy común la utilización de estos dispositivos ya que permite diseñar dentro de sus sistema electrónico y poder facilitar su manipulación al usuario que va a operarlo ya que almacena las directrices a seguir e incluso facilita la ejecución de operaciones aritméticas evitando que se cometan errores, este dispositivo se supervisa y controla con entradas digitales y analógicas y de la misma manera con salidas de las mismas características para que el control de los equipos sea más eficiente al momento de programar el proceso sujeto a inspección y así aumentar la eficiencia tanto en la calidad del producto como en minimizar los errores durante la ejecución. (INDUSTRY, 2017)

La programación y manejo de un PLC puede ser realizado por operadores con conocimientos en el campo electrónico, no habiendo necesidad de conocimientos informáticos. Un PLC es la evolución que ha tenido la sociedad en cuanto a control de procesos empleando tecnología eléctrica.

Para poder tener un sistema automatizado debemos tener en cuenta tres aspectos esenciales:

- Sección operativa
- Sección de control
- Sección de supervisión y explotación

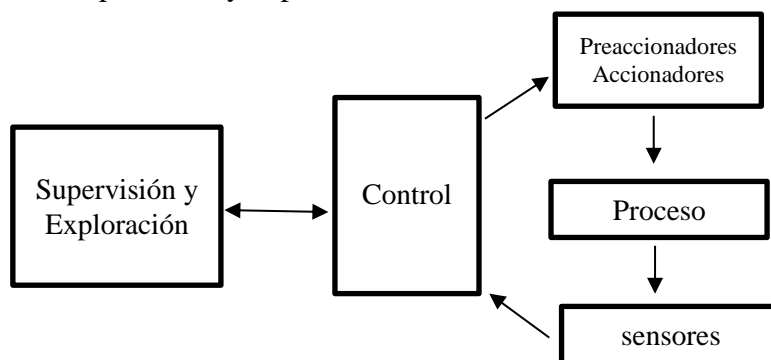


Fig. 1.36 Esquema general de un sistema automatizado

Fuente: Elaborado por el autor

En la figura 1.36, se muestra un esquema de las tres secciones incorporadas en un mismo sistema.

Se clasifican de la siguiente manera:

- Compactos. - En un solo bloque, usados principalmente en procesos simples, son considerados de gama baja, tienen incorporados en su unidad central todas las interfaces de entrada y salida son muy limitados en cuestión de potencia. (INDUSTRY, 2017)

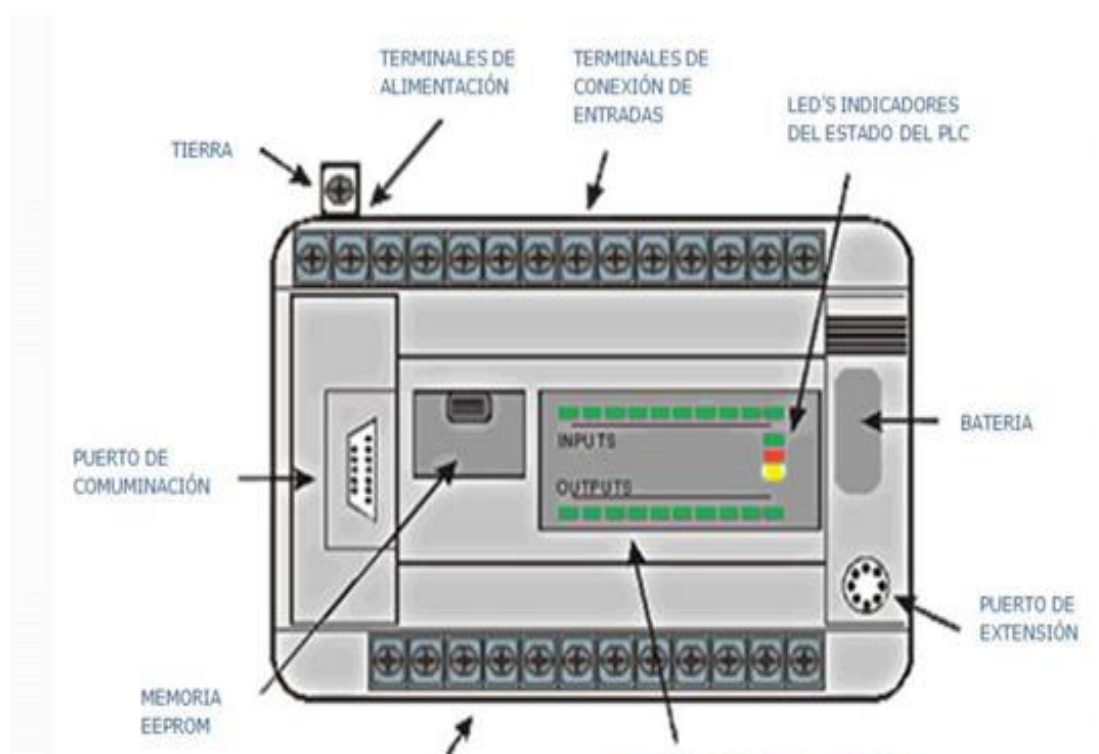
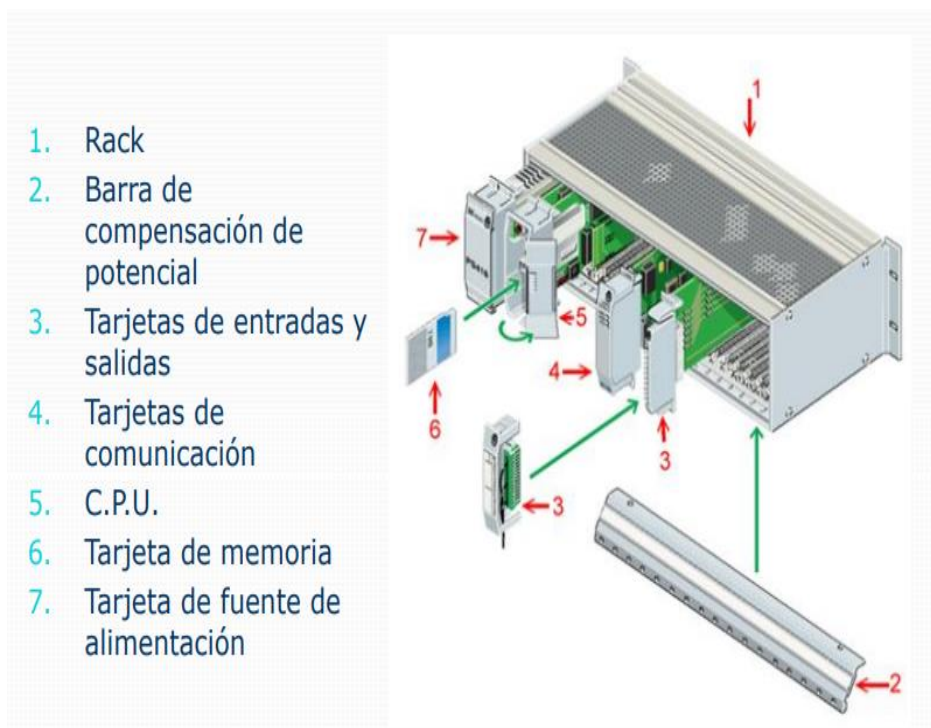


Fig. 1.37 PLC compacto

Fuente: Gráfico tomado de la dirección electrónica
(INDUSTRY, 2017)

- Modular. - Separados en módulos con funciones específicas, son considerados de gama alta, se adaptan con facilidad a las necesidades del usuario gracias a su flexibilidad al momento de configurarlos como está formado por varios módulos cuando uno de esta falla es necesario únicamente reemplazar este, a diferencia del compacto que al encontrarse formado por un solo bloque no cuenta con este beneficio. (OMEGA, 2017)

**Fig. 1.38 PLC modular**

Fuente: Gráfico tomado de la dirección electrónica
(OMEGA, 2017)

1.6.2 Arquitectura interna

Explicado de una forma genérica tenemos que el PLC cuenta con las áreas a continuación detalladas:

- **CPU (Unidad Central de Proceso):** Es la encargada de transferir los datos desde las entradas hacia las salidas es el que va a ejecutar el programa cargado en la memoria.

Consta de tres aspectos básicos:

- **Microprocesador:** Este circuito integrado se va a encargar de desarrollar todo lo que son operaciones aritméticas-lógicas dentro del controlador.
- **Memorias:** Son las encargadas de guardar temporalmente todas las instrucciones, direcciones o datos afines del proceso.
- **Los circuitos auxiliares:** Dentro de estas unidades se llevan a cabo la toma de decisiones lógicas el desarrollo de cálculos y lanzar una señal para cada una de las órdenes.
- **Interfaces de entrada y salida:** Estas permiten establecer la conexión directa ya que reciben la información de todas las entradas instaladas y la envían a las diversas máquinas para dar inicio al proceso ya que codifica en un lenguaje comprensible por el CPU, donde los interfaces de entrada que vienen siendo los captadores van a mantener una comunicación constante del estado del proceso para de esta manera poder mantener los dispositivos internos del controlador en correcto funcionamiento, mientras que en la interfaz de salida va a directamente decodificar las señales que nos emite el CPU y finalmente las envía a los actuadores que pueden ser lámparas, relés, etc. (INDUSTRY, 2017)
- **Unidad de alimentación:** Esta unidad se encarga básicamente de la alimentación eléctrica y adecuada a todo el controlador para garantizar el adecuado funcionamiento de los circuitos electrónicos que lo conforman. (INDUSTRY, 2017)

- **Unidad de programación:** Consta de una consola de programación desde donde se va a programar y transferir estos comandos al controlador, actualmente el dispositivo que cumple con esta función es el ordenador.
- **Periféricos:** Estos dispositivos extienden los beneficios que brinda un controlador principalmente porque nos permite contar con un mayor número de entradas y salidas dependiendo de la aplicación para la cual será usado el controlador.
- **Módulos de comunicaciones:** Como su nombre lo indica este módulo nos va a permitir la interacción entre CPU, consola de programación y periféricos tenemos dos módulos de comunicación que son los más conocidos RS-232 y RS 422/485.
- **Memoria del controlador:** Esta sin duda es la más importante porque es la que nos va a almacenar todas las variables y tareas en la secuencia correcta para iniciar el proceso que estemos programando, estas no estarán reflejadas en los dispositivos de salida, pero son los que van a darnos las señales de que podemos ejecutar un programa previamente guardado.

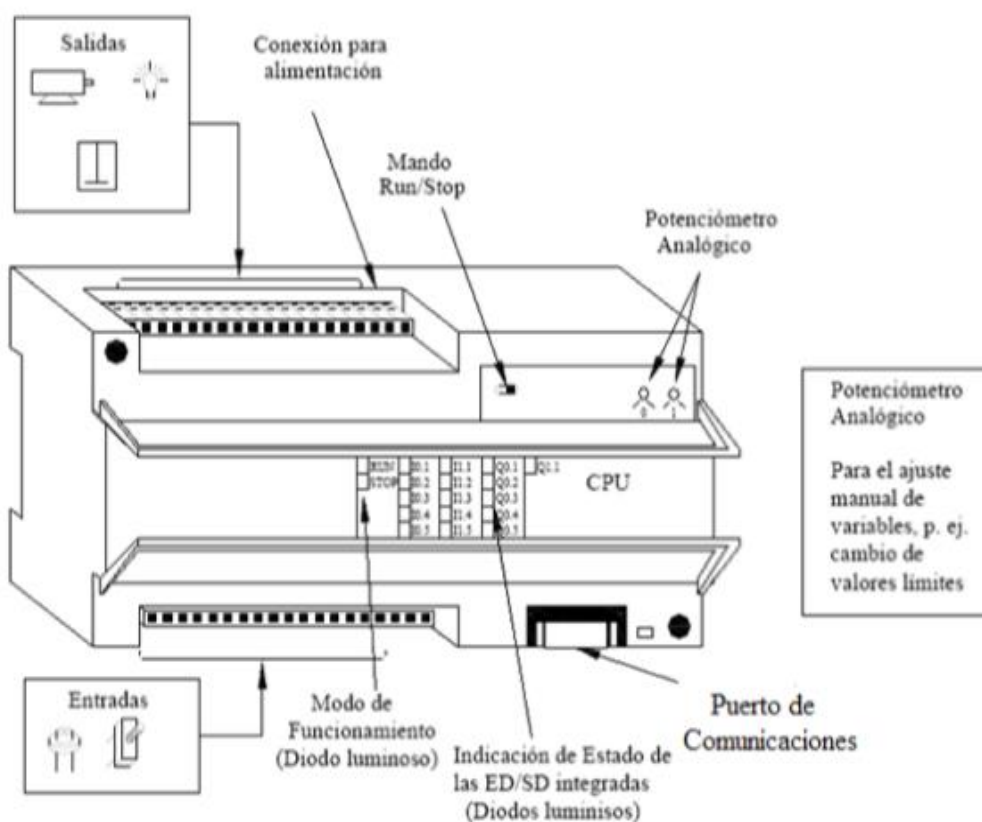


Fig. 1.39 Estructura básica de un PLC

Fuente: (electrónica, 2012)

1.6.3 Aplicaciones y funciones

Principalmente lo usamos a nivel industrial cuando tenemos actuadores distintos en un mismo proceso y queremos verificar centralizadamente las diversas etapas del proceso, o cuando tenemos procesos de producción que cambian periódicamente o son secuenciales y especialmente cuando tenemos espacios reducidos y queremos mantener un chequeo permanente del proceso.

Además, debemos tomar en cuenta las funciones básicas de un PLC entre las cuales vamos a destacar las principales:

- El sistema va a contar con captadores de señales, el PLC tiene una función de DETECCIÓN para lograr leer las alarmas provenientes de estos captadores que están distribuidos por todo el sistema.
- El PLC cuenta con una función de MANDO de esta manera envía las órdenes para ser ejecutadas por medio de los accionadores y preaccionadores.
- Va a existir siempre una COMUNICACIÓN entre el operador y la máquina de esta manera puede obedecer los comandos que este ingrese y así mismo informar del estado del proceso.
- La función de PROGRAMACIÓN de un PLC permite que se inserte el programa que va a permitir el correcto funcionamiento del proceso.

1.7 Tratamiento del agua

En este proceso vamos a destacar dos etapas la primera que corresponderá a almacenar el agua en una cisterna y la segunda que es la que nos compete directamente donde le daremos al agua el debido tratamiento químico para que sea apta para iniciar el proceso.

El agua de procesos como la llamaremos necesita cumplir con parámetros de dureza, control de contaminación, pH, Dosificación de químicos.

Se conocen dos sistemas de tratamiento de agua:

1.7.1 Sistema de ablandadores

Donde el objetivo principal es reducir la concentración de Calcio y Magnesio los cuales van a determinar la dureza del agua. El ablandador de agua no son más que tanques con granos de zeolita o resina cargados eléctricamente.

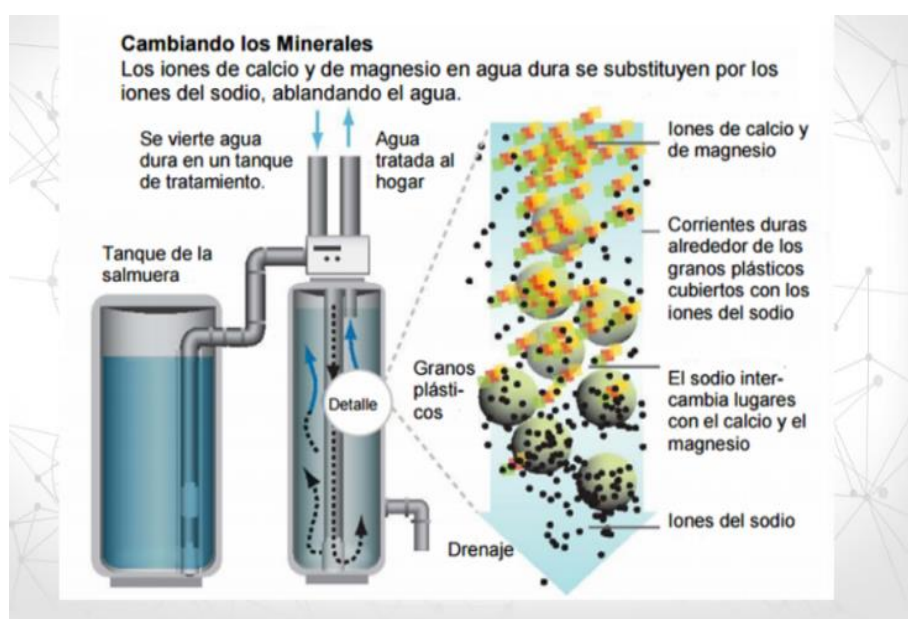


Fig. 1.40 Sistema de Ablandadores

Fuente: (Ponsa, 2015)

1.7.2 Sistema de osmosis

El proceso que se utiliza es el conocido como Osmosis Inversa en la cual las moléculas de un solvente son capaces de atravesar una membrana permeable para diluir una solución más concentrada, se utiliza membranas altamente selectivas para que

permitan el paso del solvente lo que se conoce como filtro de Osmosis así el agua termina lista para utilizar en diversas aplicaciones. (Ponsa, 2015)



Fig. 1.41 Sistema de Osmosis

Fuente: (Ponsa, 2015)

1.8 Bombas dosificadoras

Como su nombre lo indica se utiliza para poder aplicar exactamente en un medio una dosis de diversas sustancias dentro de un proceso, ya que nos permiten dosificar la misma cantidad de producto en un tiempo constante evitando de esta manera errores por manipulación operativa, principalmente utilizadas cuando las cantidades a dosificar son muy pequeñas y se requiere un control preciso para optimizar sus efectos en el proceso y así mismo evitar el desperdicio de producto por su costo. (Ingenieros, 2017)

1.8.1 Características de las bombas dosificadoras

- Es lineal, se puede ajustar el caudal.
- Debe ser precisa al momento de aplicar el volumen desplazado.
- La presión de la bomba debe ser independiente de la presión que pueda alcanzar la tubería para que el caudal no pierda precisión.
- No puede tener fugas sobre todo si se trabaja con químicos peligrosos. (Ingenieros, 2017)

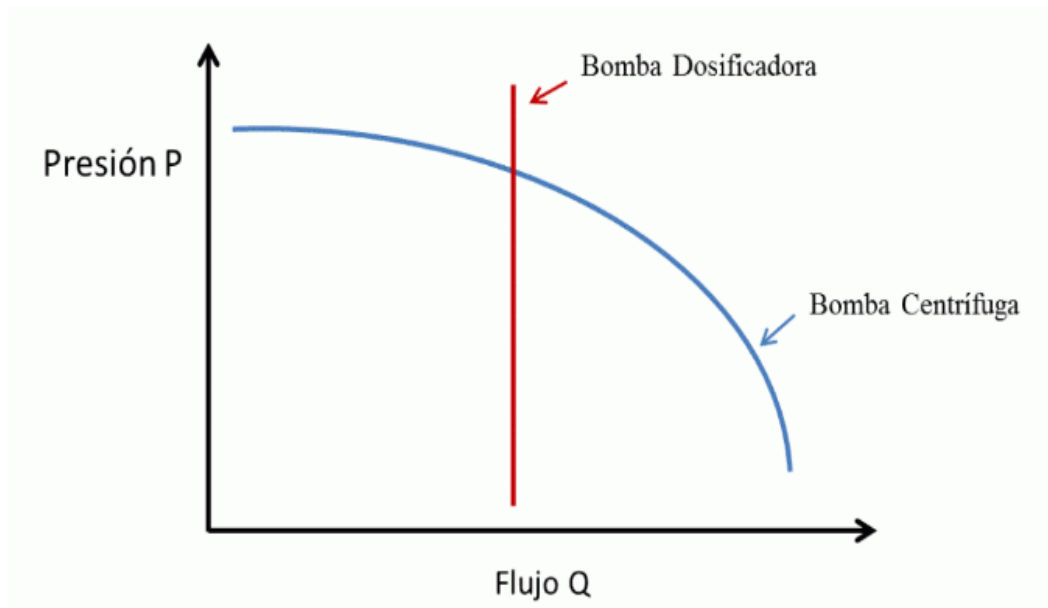


Fig. 1.42 Representación lineal vs gráfica de bomba centrífuga

Fuente: (Velasquez, 2015)

El caudal o flujo que se dosificará se calcula por medio de la siguiente expresión matemática:

$$\text{Flujo} = \% \text{ Carrera} \times \text{Volumen de Carrera} \times \text{Ciclos por unidad de tiempo}$$

El flujo se expresa en las siguientes unidades:

Litros por hora l/h

Litros por día l/día

Galones US por hora GPH

Galones por día GPD

Podemos encontrar bombas dosificadoras de varios tipos:

- Bombas electromagnéticas
- Bombas que trabajan mediante motor eléctrico
- Bombas Hidráulicas
- Bombas Neumáticas

De las enumeradas anteriormente las más comunes son las accionadas por motor eléctrico que es la que se muestra en la figura 43.



Fig. 1.43 Bomba dosificadora de motor eléctrico

Fuente: Gráfico tomado de la dirección electrónica:
(INDUSTRY, 2017)

1.8 2 Aplicaciones

Las bombas dosificadoras son utilizadas en diversos procesos como:

Tratamiento de aguas:

- Cloración de aguas potables: la desinfección de agua es la aplicación más usual, para la medición, control y dosificación de productos químicos, existen leyes que establecen características muy exigentes en cuanto a la calidad de agua, el nivel de purificación y desinfección son parámetros que debe ser regulados y controlados. (Laboral, 1994)
- Estaciones de bombeo: en algunos lugares es habitual la inyección de hipoclorito (sódico o cálcico) para la desinfección del agua extraída de pozos en la propia cabecera, para así aprovechar el tiempo de transporte hasta la planta de tratamiento. A menudo es necesario el uso de equipos capaces de inyectar contra altas presiones de red es donde entran en acción las bombas dosificadoras. (Laboral, 1994)

- Tratamiento de torres de refrigeración: mediante los instrumentos MTOWER se pueden monitorizar y regular los parámetros fundamentales del agua para asegurar un funcionamiento perfecto y constante de la instalación, con un mantenimiento reducido y un ahorro garantizado. Controlan la dosificación del inhibidor y regulan la purga según la conductividad. De esta manera queda garantizada la protección contra la corrosión y los depósitos en las instalaciones, junto con una máxima eficiencia de los sistemas de enfriamiento. (Emerson, 2016)

En el área agrícola:

- Trazabilidad en la producción agrícola: La dosificación proporcional y el control PIQ en la dosificación por control de conductividad de productos fertilizantes, fitosanitarios y fito reguladores en horticultura intensiva permiten un control exhaustivo de los factores de cultivo. El control del pH favorece la estabilidad y efectividad de nutrientes como Fósforo y Hierro, favoreciendo al mismo tiempo el mantenimiento de emisores (goteros, micro aspersores) y la uniformidad del sistema de riego. El control de productos inyectados permite conocer y certificar los inputs válvula a válvula y su coste. (Laboral, 1994)
- Dosificación de medicamentos: la dosificación proporcional de medicamentos en granjas permite un aporte continuado proporcional al agua consumida por cada animal. La agitación periódica en un pequeño depósito asegura la homogeneidad del producto inyectado. El uso de bombas dosificadoras electromagnéticas permite estos tratamientos con un bajo coste energético sin precisar presión en la red para su funcionamiento.

CAPÍTULO 2

MARCO METODOLÓGICO

Se va a utilizar el método experimental ya que se debe diseñar un sistema de control el cual estará interconectado con módulos de electrónica y comunicación, de tal manera que quede demostrado que este proyecto está establecido en su totalidad en base a criterios metodológicos para garantizar su fiabilidad y validez, como indica la figura 2.1.

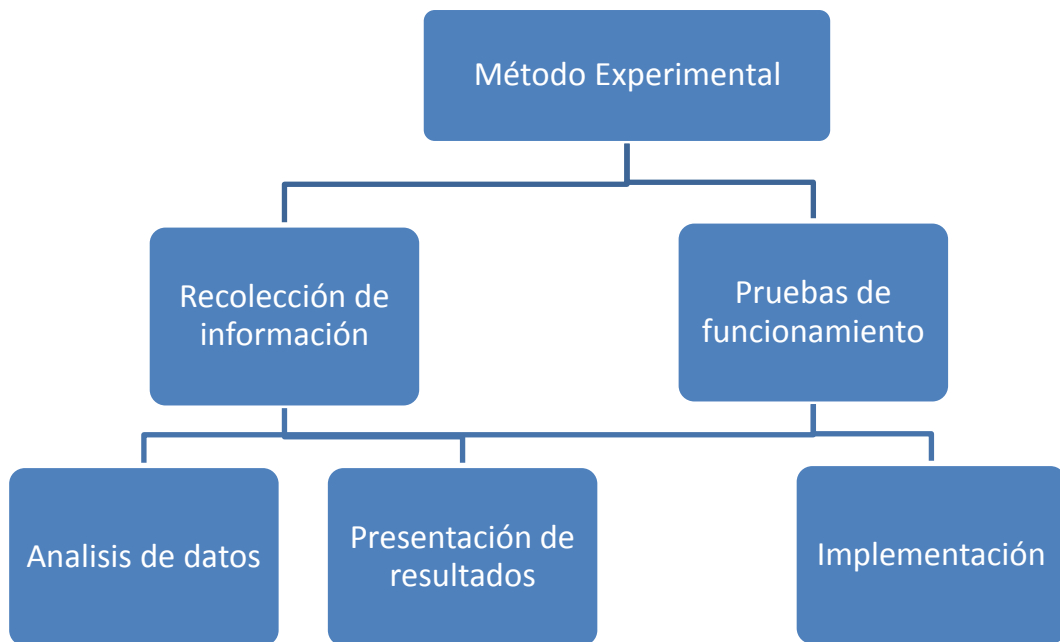


Fig. 2.1 Esquema tipo de investigación

Fuente: Elaborado por el autor

Todas las variables que determinarán este proyecto han sido sometidas a diversas pruebas para observar el efecto que tendrán en el proceso a medida que se iba implementando cada una de ellas, de esta manera conseguimos conocer directamente el desempeño de la planta frente a estos cambios.

Otro método que se va a utilizar es el método deductivo ya que se aplicará los conocimientos que se han descubierto durante el estudio de la carrera en el área de electrónica y telecomunicaciones.

El trabajo propuesto y aprobado para implementarse en la empresa es la Automatización y Diseño del control de nivel de agua en la piscina de refrigeración para mejorar el gasto de agua. En la empresa LINDE específicamente en su planta de extracción de CO₂ no se tiene un sistema de control del nivel de agua para la piscina de refrigeración de sus equipos y en los condensadores evaporativos, esta tarea la realizan de forma manual los operadores de planta, lo que ha llevado a que por algunos factores ya sea humanos como electromecánicos se han presentado inconvenientes de altos o bajos niveles de agua que han producido para no programadas en su proceso y grandes cantidades de desperdicio de agua.

Previamente se realizó un análisis documental para determinar la viabilidad de este proyecto, y poder aplicar el método escogido ya que se trata de hacer una documentación básica para contrastarlo con la parte experimental del diseño que se va a implementar.

Con este tipo de metodología se quiere a realizar la implementación de la propuesta de manera inmediata o más directa, y aprovechar que se cuenta con los recursos para poner en marcha el proyecto y mejorar el proceso que se está llevando a cabo en la actualidad.

La población que ha sido objeto de estudio fue el PLC el cual está diseñado para poner activar o detener el proceso, por lo cual nos va a permitir recolectar datos que nos ayuden a determinar el desempeño del proyecto directamente en el momento que este empieza a intervenir en el proceso.

Los datos recogidos para posteriormente ser analizados fueron arrojados por el PLC los cuales nos van a servir para determinar si existen o no mejoras en el proceso a medida que vayamos implementando y cambiando variables en el sistema.

Para la recolección de los datos se hizo uso de instrumentos de control de presión, y temperatura, para crear un historial de comportamiento con todo lo almacenado.

Ya con los datos recolectados se procedió a realizar un análisis para tener la certeza y garantizar que el proyecto presentado cumplirá con el fin para el cual fue propuesto.

En el esquema del plan autorizado por la compañía LINDE S.A se determina un presupuesto de \$ 6000 USD para su ejecución, tal como se muestra en la tabla 1, para lo cual primero se realizó un estudio de los que equipos que se van a adquirir constatando que todos se encuentran disponibles en el mercado nacional.

Además, queda demostrada la viabilidad del proyecto ya que la Planta de CO₂-Quito se encuentra en constante proceso de automatización y disminución de consumo de agua, con lo cual esta nueva automatización no solo disminuirá las fallas operativas, sino que también es amigable con el medio ambiente principalmente con un recurso vital y no renovable como el agua.

CAPÍTULO 3

PROPUESTA

La propuesta de este proyecto esta seccionado básicamente por los tres diseños: Hardware, software y esquemático que nos llevará directamente a la implementación como la fase final.

3.1 Bosquejo general del proyecto a implementar

Consta de todos los elementos que van a ser utilizados al momento de la implementación del proyecto, alarmas, sensores, selectores, el diseño y la programación respectiva del software con sus respectivas conexiones, además se hace uso de una pantalla táctil HMI con botones interactivos y su correspondiente programación con capacidad de responder ante cualquier eventualidad relacionada con el proceso que es el que se va a controlar en la empresa LINDE S.A.

En la figura 3.1 se muestra el diagrama en bloques de los elementos a implementar en el sistema de refrigeración:

- SL1 sensor nivel piscina principal.
- SL2 sensor nivel cisterna agua.
- SL3 sensor nivel condensador evaporativo #3.
- SL4 sensor nivel condensador evaporativo #4.
- pH CEV3 sensor pH condensador evaporativo #3.
- pH CEV4 sensor pH condensador evaporativo #4.
- TC CEV3 transmisor de conductividad condensador evaporativo #3.
- TC CEV4 transmisor de conductividad condensador evaporativo #4.
- EV2 electroválvula ingreso agua a piscina principal.
- EV3 electroválvula ingreso agua condensador evaporativo #3.
- EV4 electroválvula ingreso agua condensador evaporativo #4.
- EV5 purga agua condensador evaporativo #3.
- EV6 purga agua condensador evaporativo #4

- BD3 bomba dosificadora condensador evaporativo #3.
- BD4 bomba dosificadora condensador evaporativo #4.
- TT temperatura retorno agua de refrigeración.

El sensor SL1 controla el nivel de agua en la piscina de refrigeración, cuando el nivel esté bajo envía a encender la bomba B1 de la cisterna y activar la electroválvula EV2 para recuperar el nivel de la piscina.

El sensor SL2 controla el nivel de la cisterna principal en el caso de que baje el nivel detendrá las bombas B1 y B2 por seguridad de proceso evitando que las bombas caviten.

El SL3 controla el nivel de agua en el condensador evaporativo #3, envía una señal digital cuando el nivel en el depósito de dicho condensador sea bajo, activando de esta manera EV3 para recuperar el nivel de trabajo.

El SL4 trabaja bajo los mismos principios de funcionamiento que SL3, pero en el equipo condensador evaporativo #4 y activando la electroválvula EV4.

El sensor de pH CEV3 mide el valor de pH en el agua del condensador evaporativo #3 cuando dicha variable se encuentre fuera de parámetros $\geq 8,2$ envía una señal para activar la bomba dosificadora BD3 que mantendrá el valor de la variable cercano a 8.

De la misma manera va a trabajar el sensor pH CEV4 con la diferencia que este sensor activa la bomba dosificadora BD4.

El transmisor de conductividad TC CEV3 mide la variable de conductividad del agua en el condensador evaporativo #3 y cuando esta variable sobrepase el valor seteado de 1500 μ Siemens envía la señal al PLC para que active la electroválvula de purga EV5, para mantener el valor de la conductividad.

El transmisor de conductividad TC CEV4 va a trabajar bajo los mismos parámetros y realizará acciones similares que el transmisor del condensador evaporativo #3, pero en el condensador evaporativo #4.

En el ANEXO 1 al final del documento podemos evidenciar el esquema gráfico para tener una idea clara del proyecto, así como los elementos y equipos implementados.

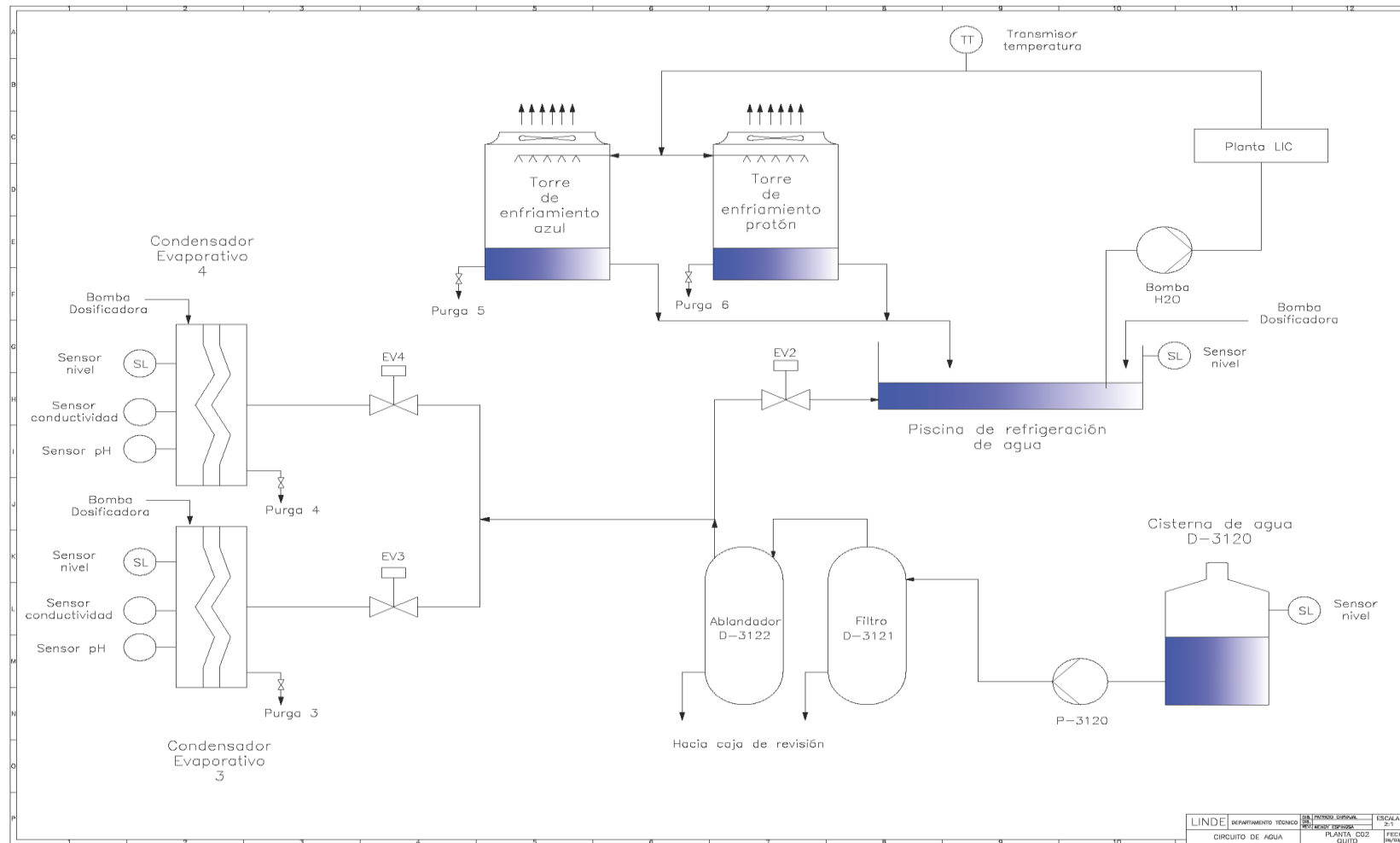


Fig. 3.1 Diagrama de bloque

Fuente: Elaborado por el autor

3.2 Diseño software

En este proyecto se va a realizar la programación de un PLC S7-1200 de la serie CPU 1214C AC/DC RELÉ para controlar las variables del proceso antes mencionadas, se usará este PLC ya que posee entradas y salidas tipo relé, es decir, ON / OFF ya sea para 110Vac o 24Vdc, y 2 canales de entradas análogas. ANEXO 2 Data sheet del PLC.

El programa que se ocupará es el TIA PORTAL V13 ya que presenta mayores opciones para la programación, además de ser una versión actualizada de Siemens.

Se realizará diferentes lazos de control PID como:

- Lazos de control de temperatura.
- Lazos de control por conductividad.
- Lazos de control por presión.

3.2.1 Descripción del sistema de automatización

Como se menciona anteriormente la planta de CO₂ carece de un sistema en su piscina de refrigeración para controlar el nivel de agua por ende no controlan el nivel de temperatura de sus diferentes equipos así como en sus condensadores evaporativos de NH₃ de forma automática, de tal manera que se ven obligados a realizar esta tarea por medio de operadores humanos susceptibles a cometer errores ya sea por manipulación o elementos electromecánicos lo cual muchas veces ha desencadenado en que la planta detenga su producción y por ende se produce un gran desperdicio de agua, a estos inconvenientes se debe la premura de implementar un diseño que permita automatizar el control en estos equipos.

Las variables del proceso a controlar son:

- Nivel
- Temperatura
- Presión H₂O
- Conductividad eléctrica H₂O
- pH H₂O

- TDS (total sólidos disueltos)

3.2.2 Características técnicas del PLC S7-1200, CPU 1214C

A continuación, en la Tabla 3.1 se muestra las características técnicas de la CPU:

Tabla 3.1 Datos técnicos de CPU-1214C

Marca:	SIEMENS
Modelo:	6ES7 214-1BG31-0XB0
CPU:	1214C AC/DC/Relé
Alimentación:	110/220 VAC
Entradas digitales:	14 a 24 VDC
Salidas digitales:	10 salidas a relé.
Entradas análogas:	2 de 0-10 VDC
Módulos de señales:	8
Módulos de comunicación:	3
Comunicación:	Profinet /Industrial Ethernet RJ45 10/100Mbps
Signal board	1
Memoria:	75 Kb
Software:	TIA PORTAL versión 11

Fuente: Elaborado por el autor



Fig. 3.2 PLC S7-1200

Fuente: Elaborado por el autor

3.3 Entradas y salidas del sistema

A continuación, se detalla las entradas y salidas tanto análogas como digitales usadas en la programación del PLC, esto depende del tipo de equipos, sensores, instrumentación, actuadores que intervienen en el proyecto.

3.3.1 Entradas analógicas para temperatura

Debido a que en el proyecto se van a manejar variables de temperatura, se procede a implementar un módulo analógico SM 1231 tipo RTD para la medición de dicha magnitud, en la tabla 3.2 se indica los sensores de temperatura a usar y su medición de parámetro. En el ANEXO 3 se muestra los valores de resistencia para un RTD Pt-100 respecto a variaciones de temperatura.

Tabla 3.2 Entradas analógicas de temperatura

Canal del PLC	Dirección del PLC	Instrumento	Medición de parámetro.
0	IW112	Sensor de temperatura(RTD) (-50 a 260°C)	Temperatura retorno agua de refrigeración
1	IW114	Sensor de temperatura(RTD) (-50 a 260°C)	Temperatura de bomba llenado de CO2
2	IW116	Libre	Libre
3	IW118	Libre	libre
4	IW120	Libre	Libre
5	IW122	Libre	Libre
6	IW124	Libre	Libre
7	IW126	Libre	Libre

Fuente: Elaborado por el autor

Los canales 2, 3, 4,5, 6, 7 quedan libres para en un futuro ocuparlos con otras variables de entrada.

3.3.2 Entradas analógicas del PLC:

Como en el proyecto se va a hacer uso de diferentes transmisores los cuales emiten señales analógicas (4-20mA), se vio la necesidad del uso de un módulo análogo SM1231 AI, el cual consta de 8 entradas de este tipo. En la tabla 3.3 se observa el tipo de transmisor a utilizar, canal a ocupar en el módulo, parámetro a medir y la dirección del PLC.

Tabla 3.3 Entradas analógicas

Canal del PLC	Dirección del PLC	Instrumento	Medición de parámetro.
0	IW96	Transmisor de presión (0 – 414,5 Psi)	Presión de NH3 del condensador evaporativo #3
1	IW98	Transmisor de presión (0 – 414,5 Psi)	Presión de NH3 del condensador evaporativo #4
2	IW100	Sensor pH CEV3	Medir pH condensador evaporativo #3
3	IW102	Sensor pH CEV4	Medir pH condensador evaporativo #4
4	IW104	Sensor de conductividad CEV3	Medir conductividad en condensador evaporativo #3
5	IW106	Sensor de conductividad CEV4	Medir conductividad en condensador evaporativo #4
6	IW108	Libre	Libre
7	IW110	Libre	Libre

Fuente: Elaborado por el autor.

De las 8 entradas que consta el módulo se utilizaron 6 quedando disponibles 2 entradas análogas como reserva.

3.3.3 Entradas digitales del PLC

En la tabla 3.4 se describe cada una de las entradas digitales del proyecto, ya que este tipo de señales presentan 2 únicos estados ON-OFF, el PLC que se implementó dispone de 14 entradas digitales de las cuales se ocuparán 8 y quedarán disponibles 6 entradas como reserva.

Tabla 3.4 Entradas digitales

Dirección del PLC	Denominación	Uso
ID0.0	P0	Pulsador de emergencia.
ID0.1	SL1	Sensor nivel Piscina principal
ID0.2	SL2	Sensor nivel cisterna agua
ID0.3	SL3	Sensor nivel condensador evaporativo #3
ID0.4	SL4	Sensor nivel condensador evaporativo #4
ID0.5	T1	Térmico bomba H2O CE3
ID0.6	T2	Térmico bomba H2O CE4
ID0.7	T3	Térmico motor torre Protón
ID1.0	-----	Reserva
ID1.1	-----	Reserva
ID1.2	-----	Reserva
ID1.3	-----	Reserva
ID1.4	-----	Reserva
ID1.5	-----	Reserva

Fuente: Elaborado por el autor.

3.3.4 Salidas digitales del PLC

El PLC utilizado consta de 10 salidas digitales ya que el proyecto cuenta con un número mayor de salidas digitales, se vio en la necesidad de ocupar un módulo adicional de 8 salidas digitales tipo relé de 24Vdc. En la tabla 3.5 se observan las variables a controlar tanto con las salidas propias del PLC como del módulo adicional.

Tabla 3.5 Salidas digitales

Dirección del PLC	Denominación	Uso
Q0.0	Ventilador CEV3	Motor de ventilador CEV3
Q0.1	Ventilador CEV4	Motor de ventilador CEV4
Q0.2	MTEP	Motor torre enfriamiento protón
Q0.3	B3	Motor bomba agua CEV3
Q0.4	B4	Motor bomba agua CEV4
Q0.5	EV2	Electroválvula ingreso agua a piscina principal
Q0.6	EV3	Electroválvula ingreso agua CEV3
Q0.7	EV4	Electroválvula ingreso agua CEV4

Q1.0	EV5	Purga agua CEV3
Q1.1	EV6	Purga agua CEV4
Q16.0	B1	Bomba cisterna
Q16.1	B2	Bomba piscina principal
Q16.2	BD3	Bomba dosificadora CEV3
Q16.3	BD4	Bomba dosificadora CEV4
Q16.4	Libre	Libre
Q16.5	Libre	Libre
Q16.6	Libre	Libre
Q16.7	Libre	Libre

Fuente: Elaborado por el autor

Las salidas a partir de Q16.0 a Q16.7 corresponden al módulo adicional implementado, de la salida Q16.4 a la Q16.7 quedan libres para el control de otras variables.

En el ANEXO 4 se muestra la tabla de variables del programa exportada del PLC.

3.4 Programación del sistema de refrigeración

El proyecto está creado en lenguaje LADDER en el cual se va a crear segmento a segmento cada uno de los lazos de control, con su respectivo diagrama de bloque en cual se indica en la figura 3.3 que nos muestra un diagrama estructural en bloques del programa donde se puede identificar los elementos de entrada, salida y controlador.

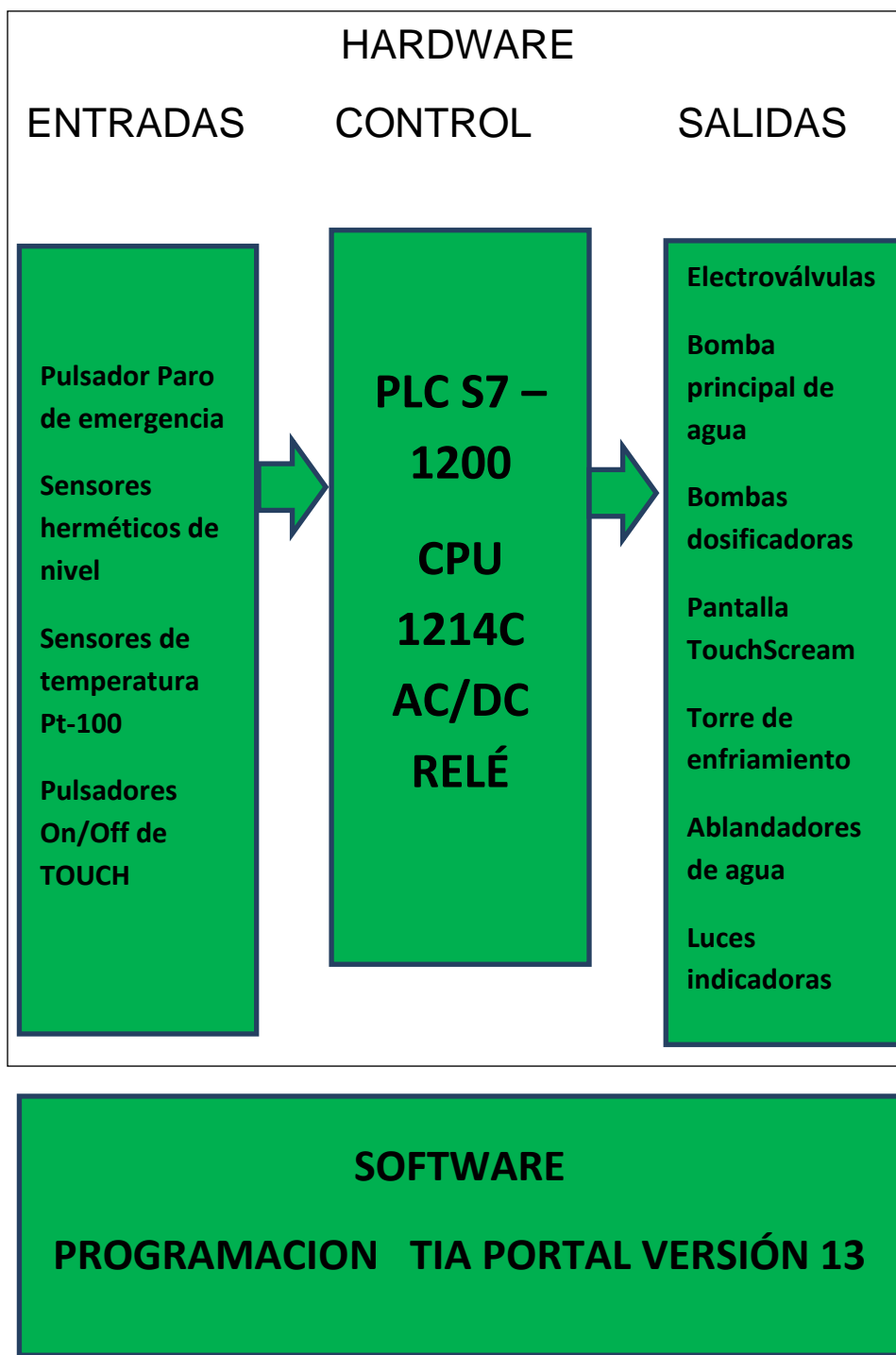


Fig. 3.3 Diagrama estructural en bloques

Fuente: Elaborado por el autor

3.5 Descripción de segmentos del programa

En esta sección del ejecutable se programa un botón de emergencia figura 3.4 el cual tiene como función principal detener y apagar las salidas del PLC para garantizar la seguridad del sistema, inmediatamente después de ser pulsado por el usuario.

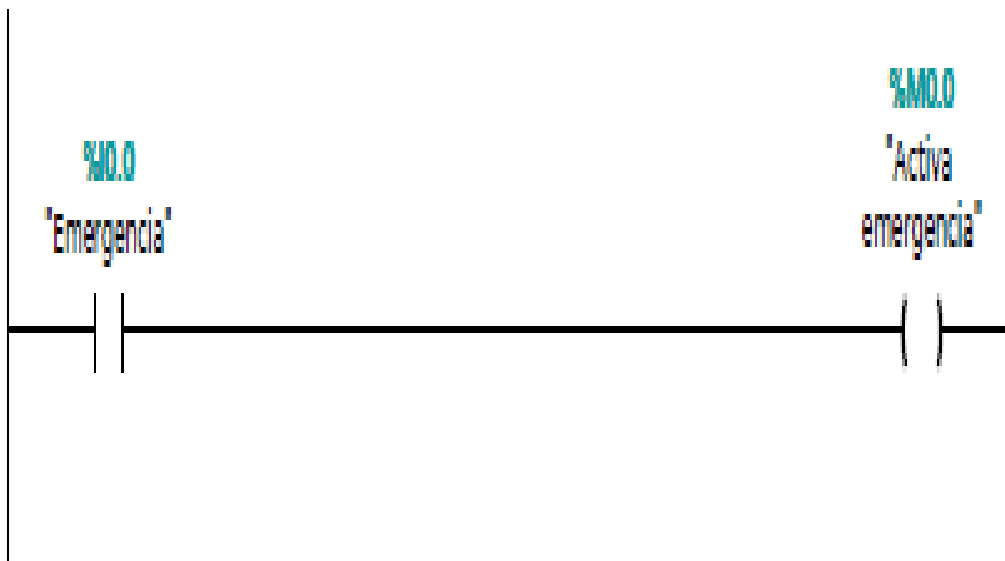


Fig. 3.4 Pulsador de emergencia

Fuente: Elaborado por el autor

El sistema de enfriamiento se va a ver controlado por esta sección del programa el cual emite señales que están gobernadas por el HMI para activar o desactivar el funcionamiento del ventilador del condensador evaporativo para lo cual cuenta con un par de pulsadores que nos indican “Marcha” o “Paro”.

De esta manera se logrará tener el control del funcionamiento de los ventiladores que son parte primordial en el proyecto y al mismo tiempo nos emita una señal directamente al PLC cuando se detengan y así poder controlar las fallas que se puedan presentar, como se muestra en la figura 3.5 para tener un esquema más claro.

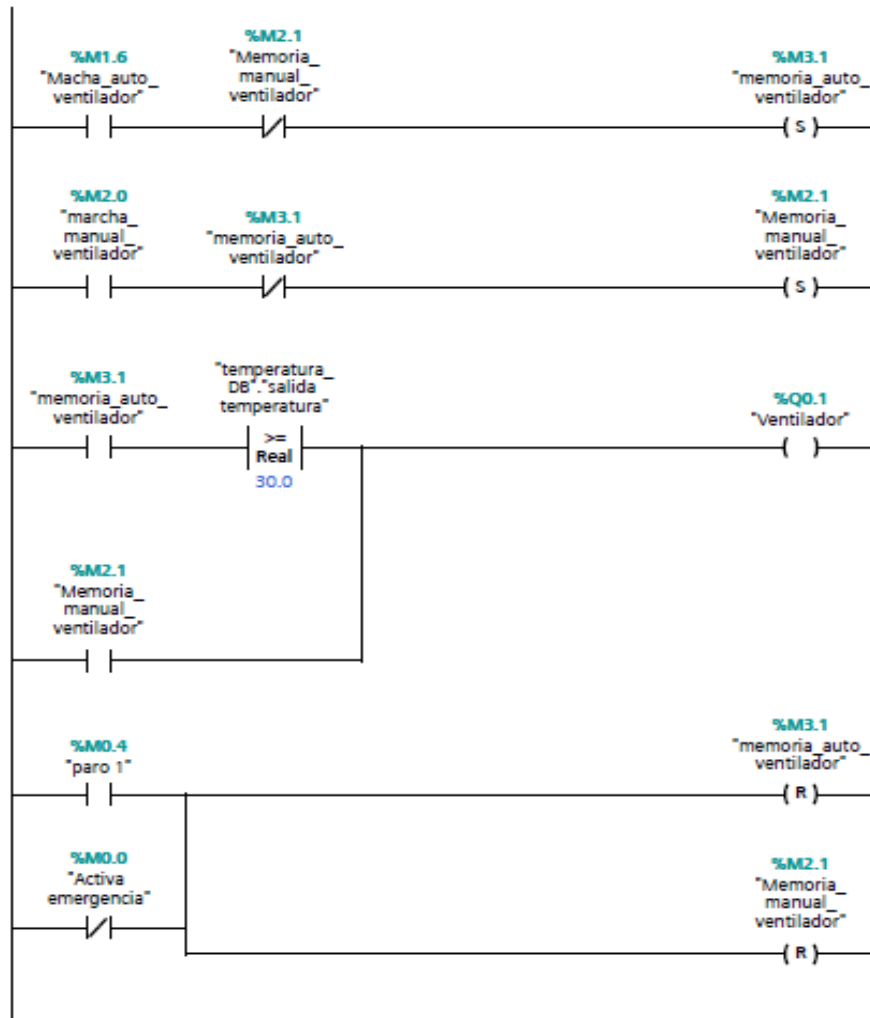


Fig. 3.5 Memorias encendido y apagado

Fuente: Elaborado por el autor

En este segmento en la programación del sistema vamos a tener control sobre las variaciones que pueda tener el valor que controla el rango de temperatura de esta manera si este sale del rango normal se nos mostrará una alarma en la pantalla táctil conocidas como luces piloto las que nos permitirán dar solución al problema figura 3.6.

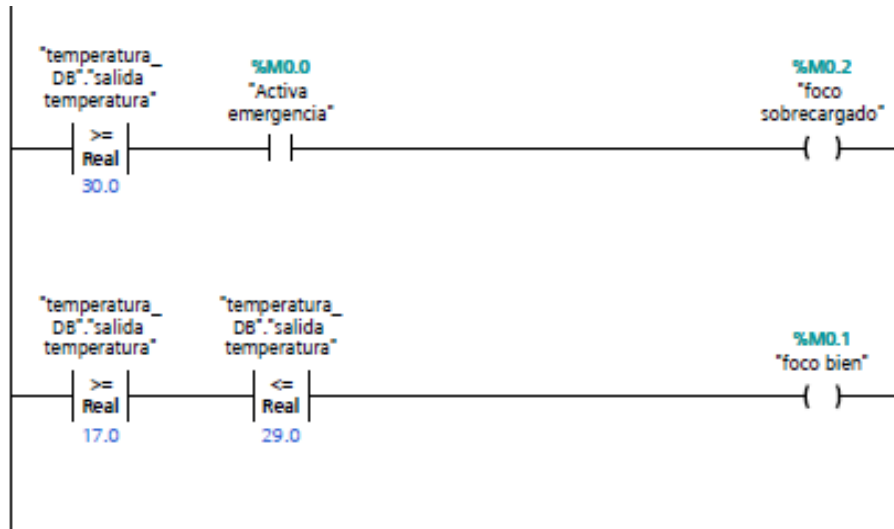


Fig. 3.6 Alarmas de HMI

Fuente: Elaborado por el autor

En esta sección figura 3.7 vamos a controlar y mantener un monitoreo constante en la variable análoga para lo cual se escala el valor de la temperatura para y se obtiene una medida promedio del valor dentro del proceso.

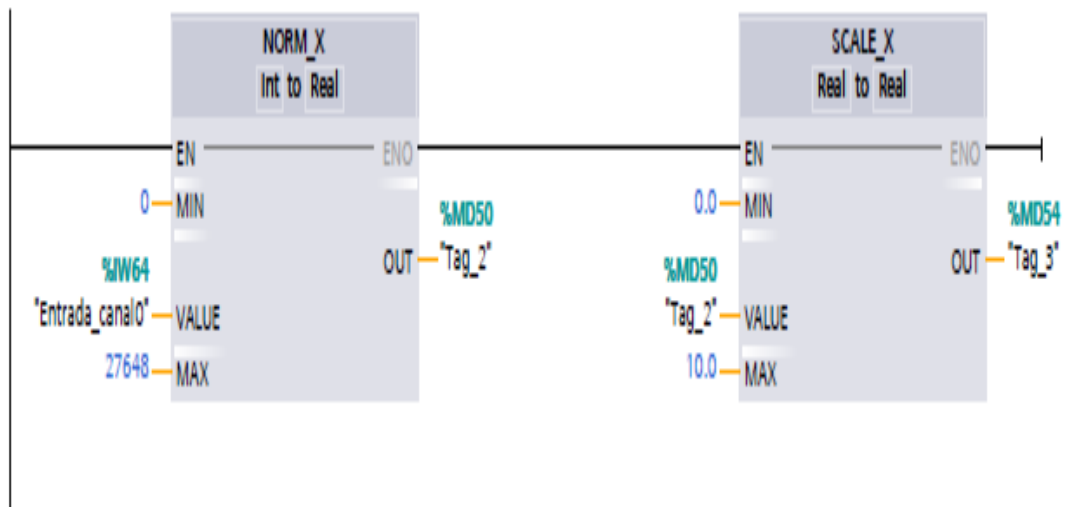


Fig. 3.7 Entrada analógica de temperatura a escala

Fuente: Elaborado por el autor

Una bomba de agua colocada en los condensadores evaporativos va a enviar agua para mantener el nivel de temperatura correcto en el NH3, aquí se ingresa una variable dentro del programa que permita el prendido y apagado de esta bomba. Ver figura 3.8.

La bomba también puede ser activada o desactiva de forma manual y automática ya sea para tareas de mantenimiento correctivo o preventivo.

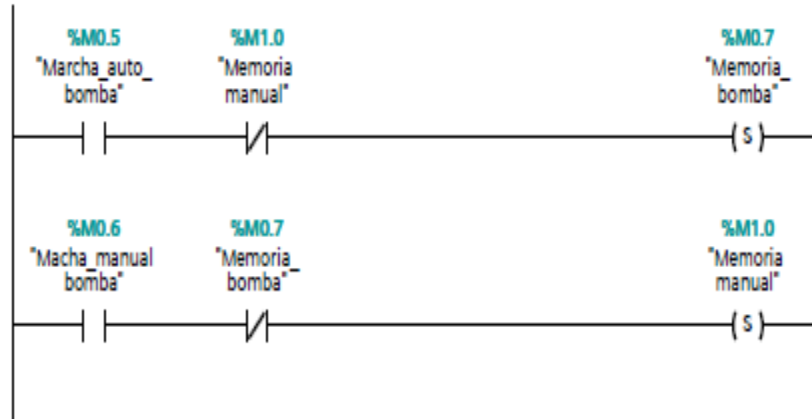


Fig. 3.8 Encendido y apagado de la bomba de agua

Fuente: Elaborado por el autor

Este segmento de la figura 3.9, vamos a controlar y evitar que el sistema se quede sin nivel de agua y deje de refrigerar y así prevenir que aumente el nivel tanto en la temperatura como en la presión del sistema de NH3 para lo cual nos vamos a servir de alarmas programadas para emitir señales ya sea por niveles bajos o altos en el agua.

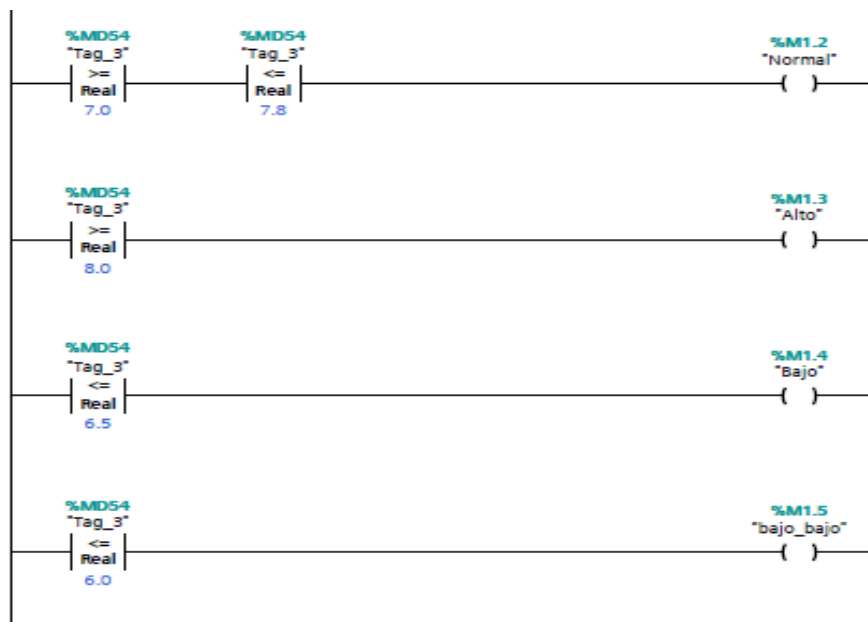


Fig. 3.9 Alarmas por alto o bajo nivel de agua

Fuente: Elaborado por el autor

3.6 Información adicional de conversión de valor de ingeniería.

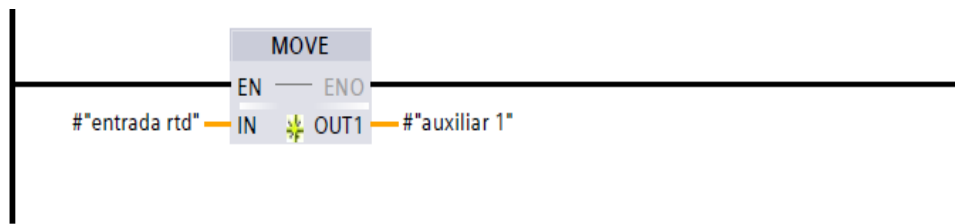


Fig. 3.10 Lectura sensor de temperatura PT-100

Fuente: Elaborado por el autor

En esta sección se va a obtener un valor mediante la lectura realizada al sensor de nivel de temperatura PT-100, valor que se va a custodiar dentro de un auxiliar para posteriormente realizar su transformación a un valor real, como se muestra en la figura 3.11.

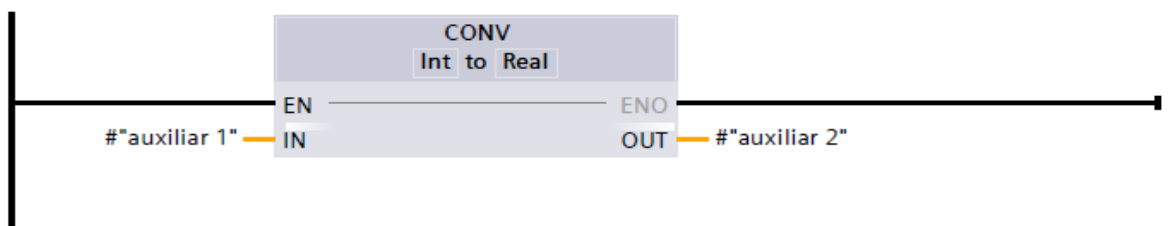


Fig. 3.11 Valor del PLC convertido a valor real

Fuente: Elaborado por el autor

En esta sección se controlará y monitoreará el proceso programado para lo cual se realiza el cambio del valor de ingeniería marcado en el PLC por un valor real que nos permitirá mantener los niveles adecuados, como se muestra en la figura 3.12.

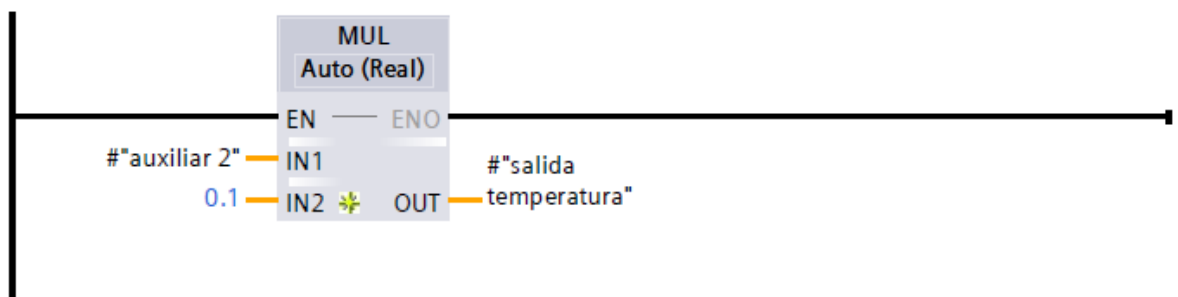


Fig. 3.12 Aplicación de factor multiplicativo

Fuente: Elaborado por el autor

Una vez obtenido el valor real y debido a la configuración del módulo de RTD del PLC se debe realizar la operación matemática de multiplicación para desplazar el valor real a un lugar hacia la derecha por lo cual se multiplica por 0.1, como se muestra en la figura 3.13.

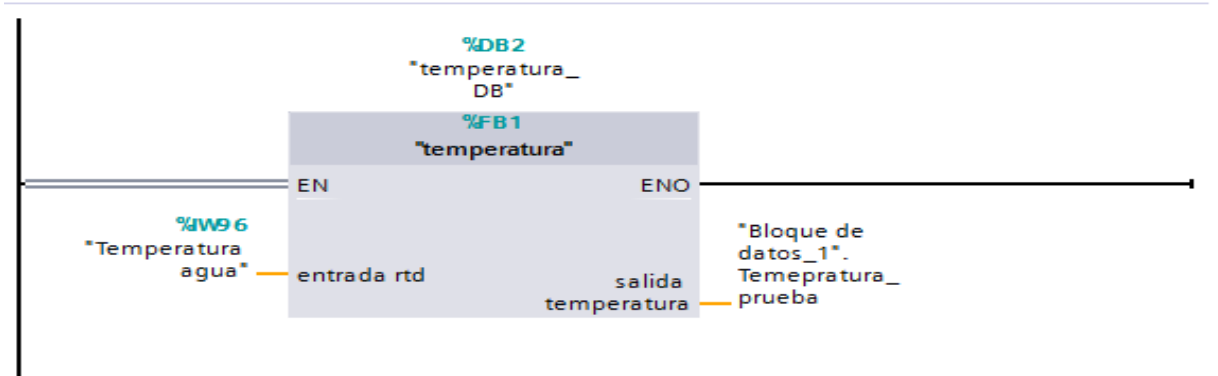


Fig. 3.13 Configuración del módulo RTD

Fuente: Elaborado por el autor

- **Valores análogos de presión**

En el bloque siguiente del programa se realiza la adquisición de los datos de presión y conductividad, las cuales son señales analógicas (4-20 mA) para realizar el control de acuerdo con la necesidad del proyecto como se muestra en la figura 3.14.

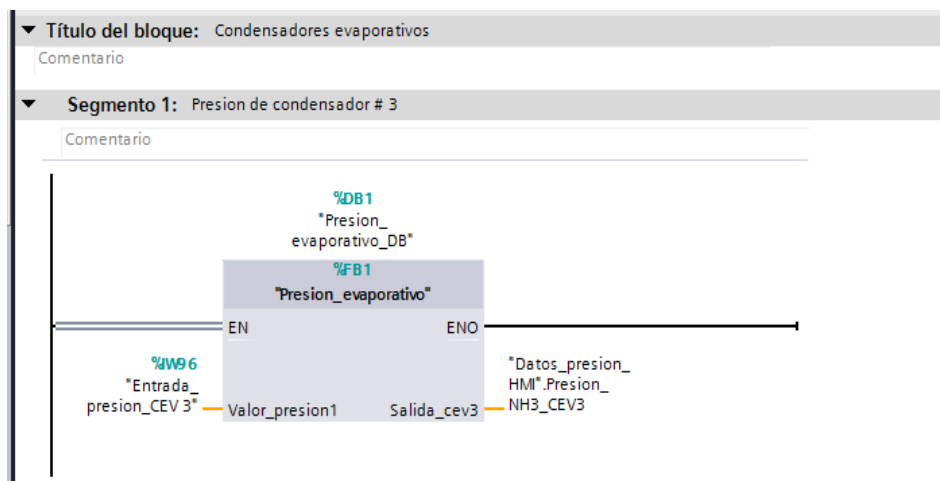


Fig. 3.14 Bloque análogo

Elaborado por el autor

- **Valores análogos de temperatura**

En esta parte del programa se realiza la adquisición de los datos de temperatura para realizar el control de acuerdo con la necesidad del proyecto como se muestra en la figura 3.15, de igual manera que en el bloque anterior son señales analógicas (4-20mA).

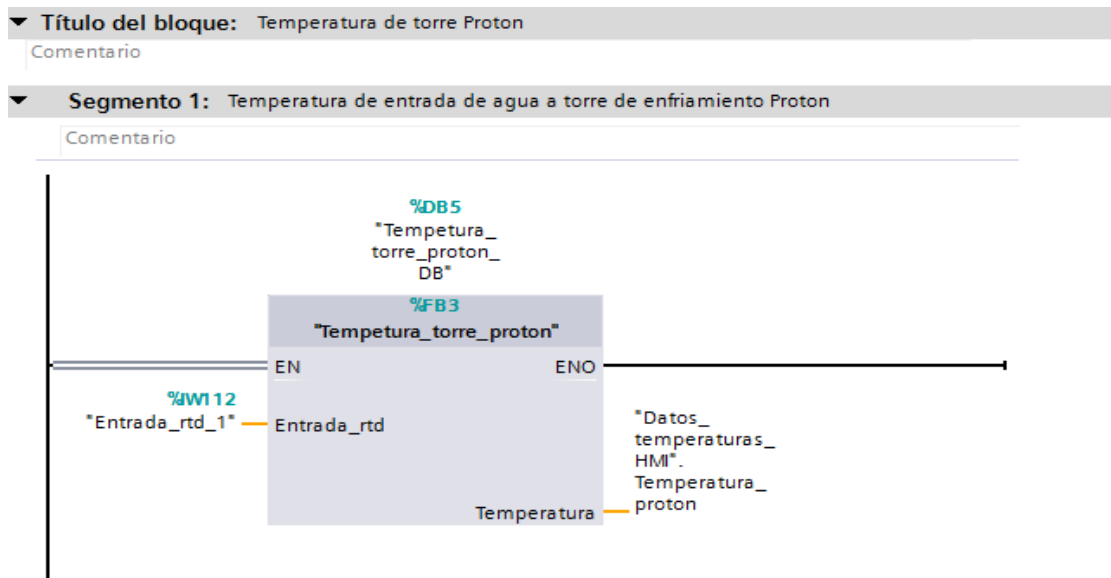


Fig. 3.15 Temperatura torre protón

Elaborado por el autor

- **ARRANQUE DE BOMBAS DE AGUA:**

En este bloque se programa el marcha y paro de las bombas de agua de los condensadores evaporativos # 3 y 4 como se observa en la figura 3.16, con esto queda determinado el correcto funcionamiento de estos equipos dentro del sistema y así mismo la respuesta que deberán tener cuando se detecte alguna falla en el proceso ya sea apagándose y reiniciándose a su debido momento.

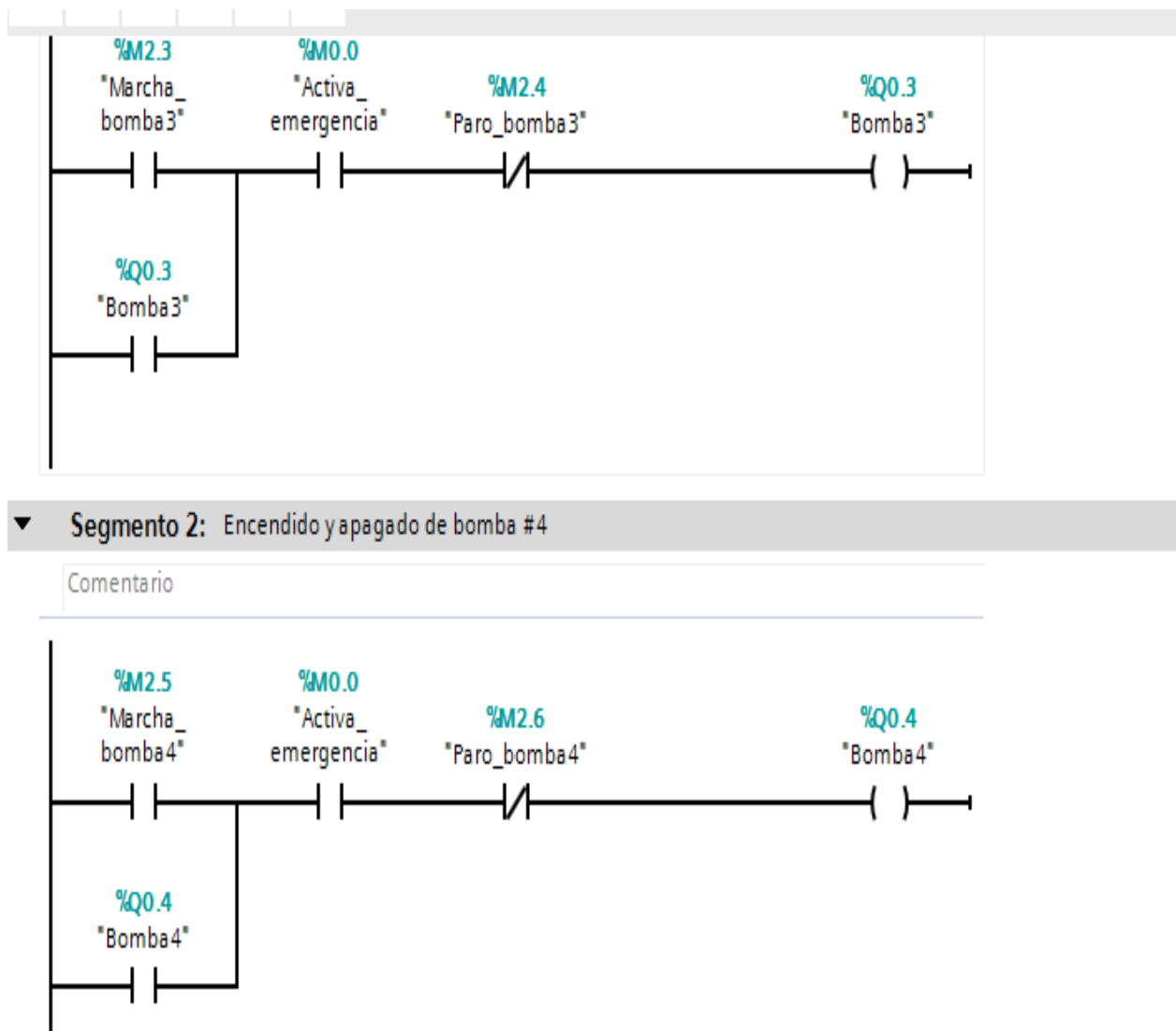


Fig. 3.16 Arranque de bombas de agua

Elaborado por el autor

- **ARRANQUE AUTOMÁTICO / MANUAL DE VENTILADORES DE CONDENSADORES.**

En esta parte del programa se realiza el encendido y apagado de los ventiladores de forma manual y automática siendo este último mediante el dato de presión para realizar el control automático de los dos ventiladores de los condensadores evaporativos # 3 y 4 como se muestra en la figura 3.17.

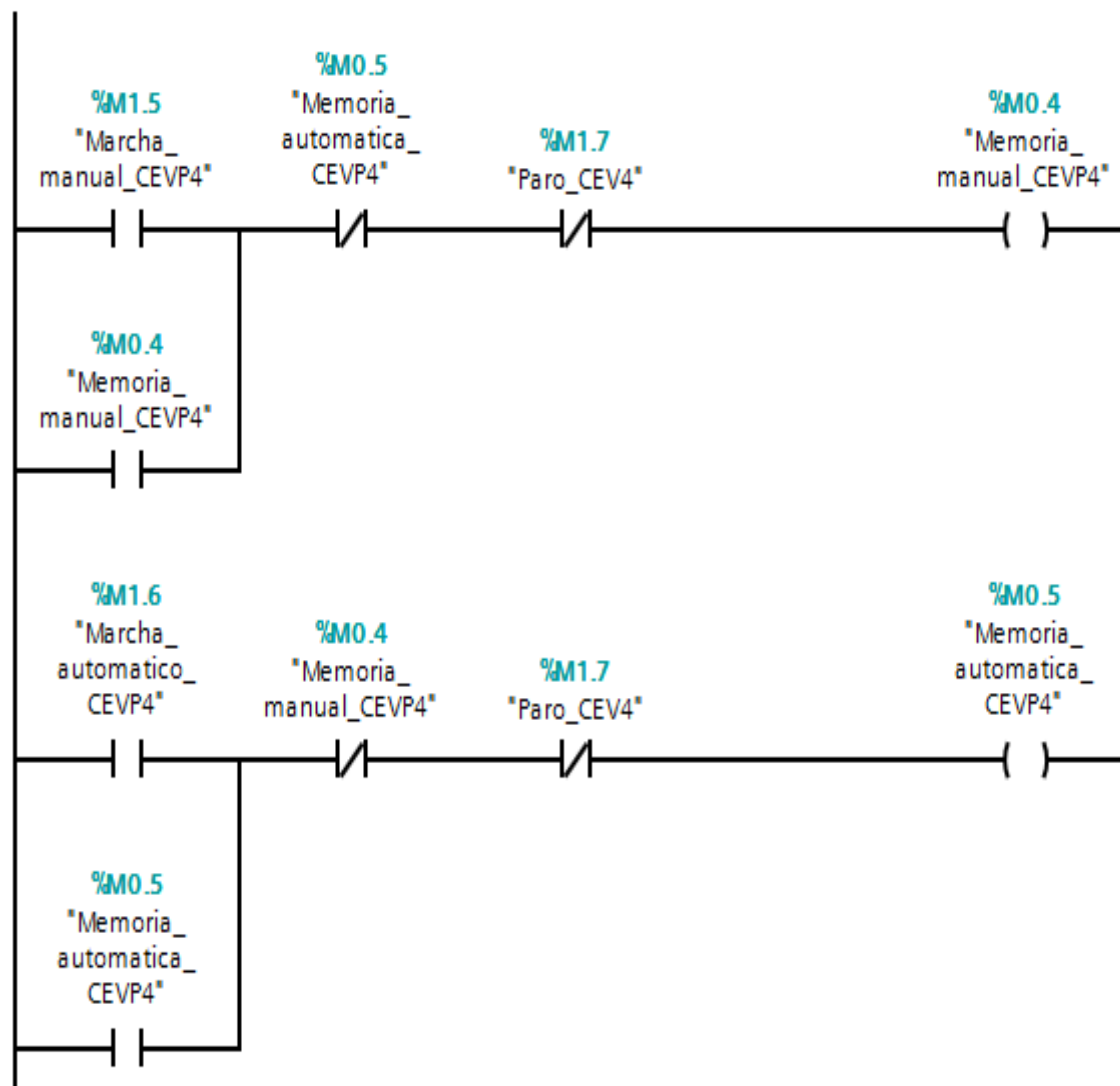


Fig. 3.17 Marcha paro de ventiladores

Elaborado por el autor

- **ARRANQUE DE TORRE PROTON.**

En este bloque se programa el control automático de la torre de enfriamiento de agua para su control se usa la variable de temperatura de agua es así si el valor es mayor de 28 °C se enciende y si el valor es menor 24 °C se apaga como se muestra en la figura 3.18.

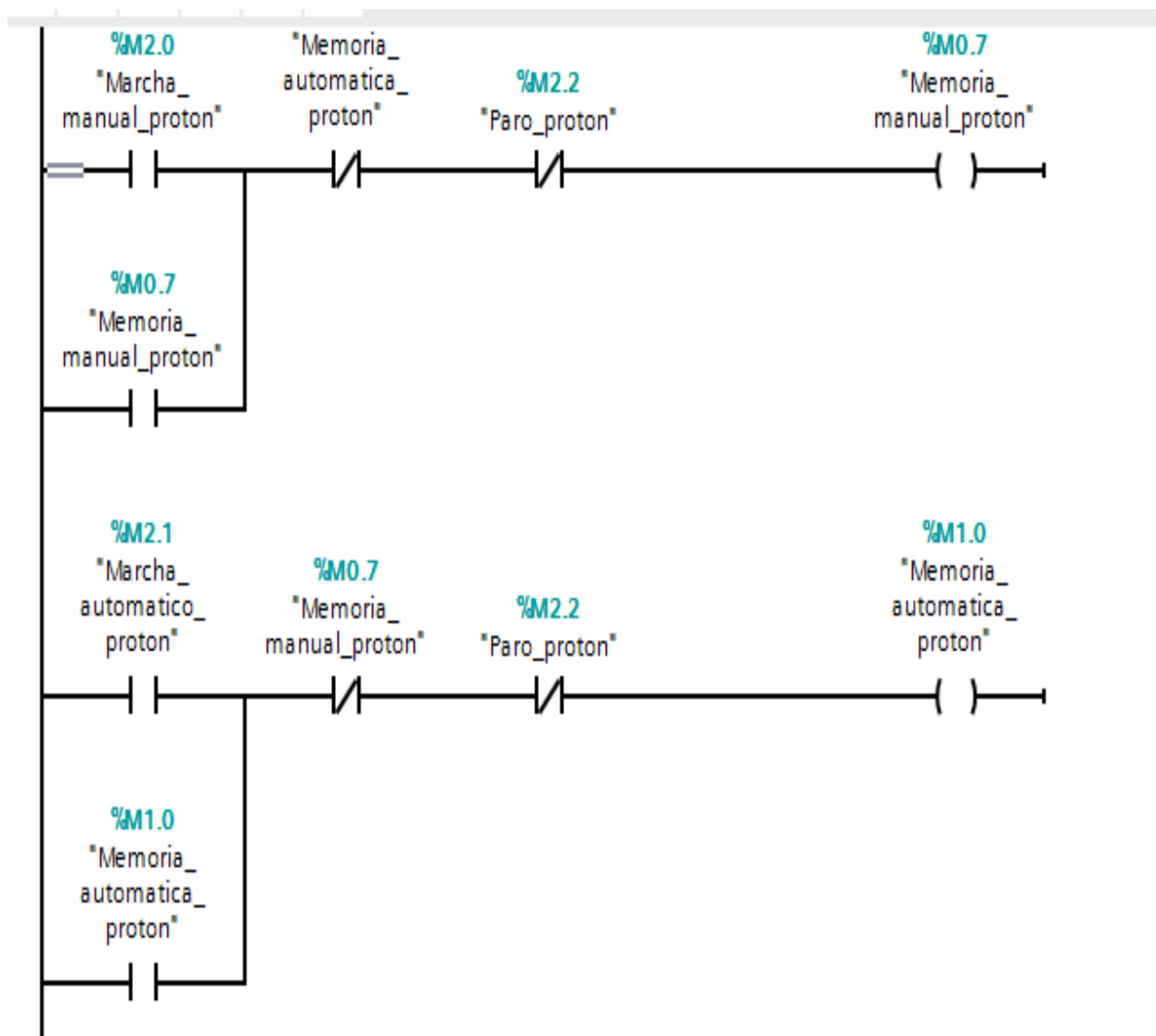


Fig. 3.18 Marcha paro motor torre protón

Elaborado por el autor

- **PURGAS DE AGUA.**

En esta parte del proyecto se programa las purgas de agua de forma automática a fin de mejorar la conductividad en los condensadores evaporativos como se muestra en la figura 3.19.

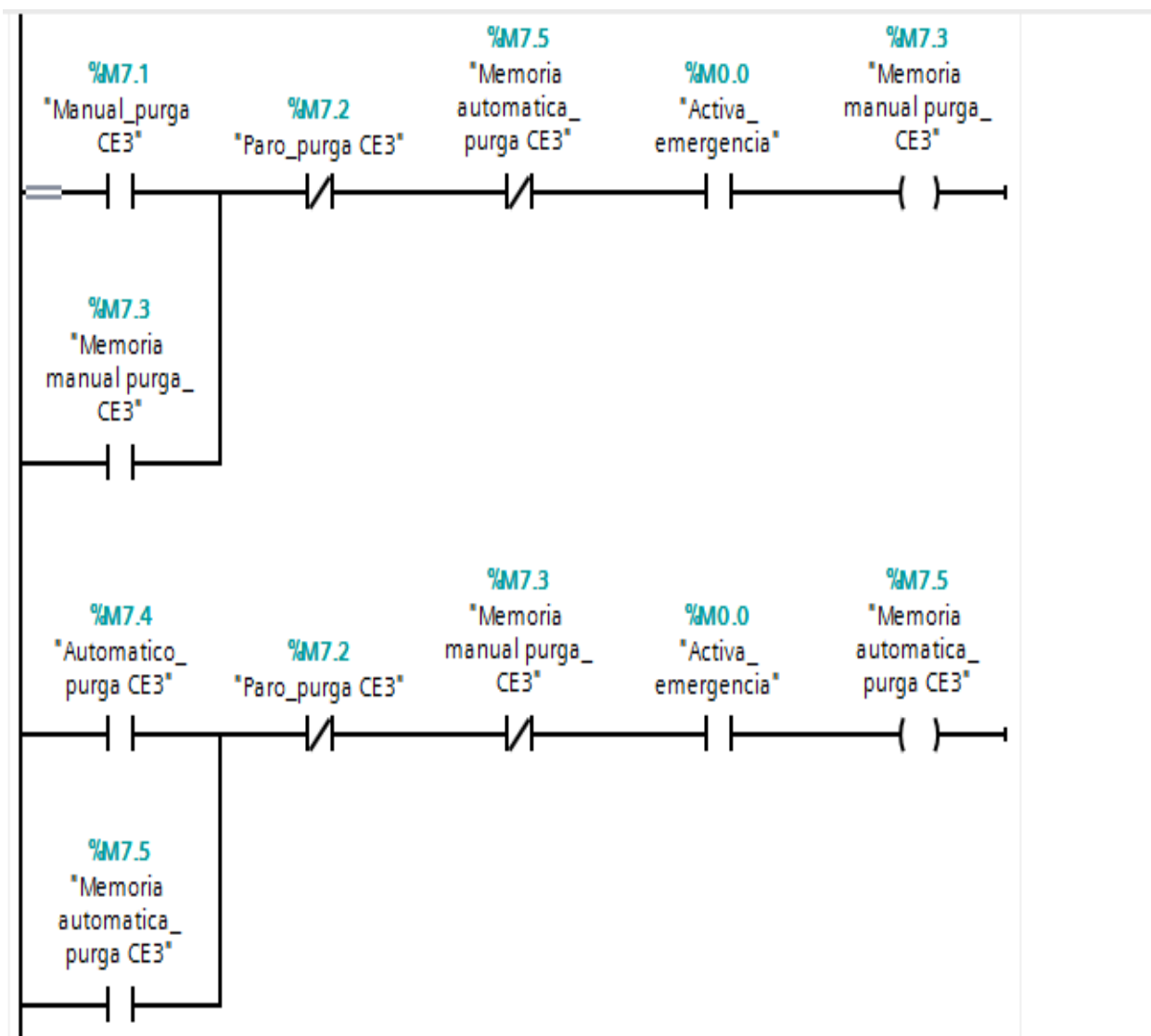


Fig. 3.19 Manual automático purgas

Elaborado por el autor

- **HOROMETRO**

Debido a que el usuario necesita conocer el tiempo de funcionamiento para dar mantenimiento a las máquinas se procede a programar en este bloque un horómetro como se muestra en la figura 3.20.

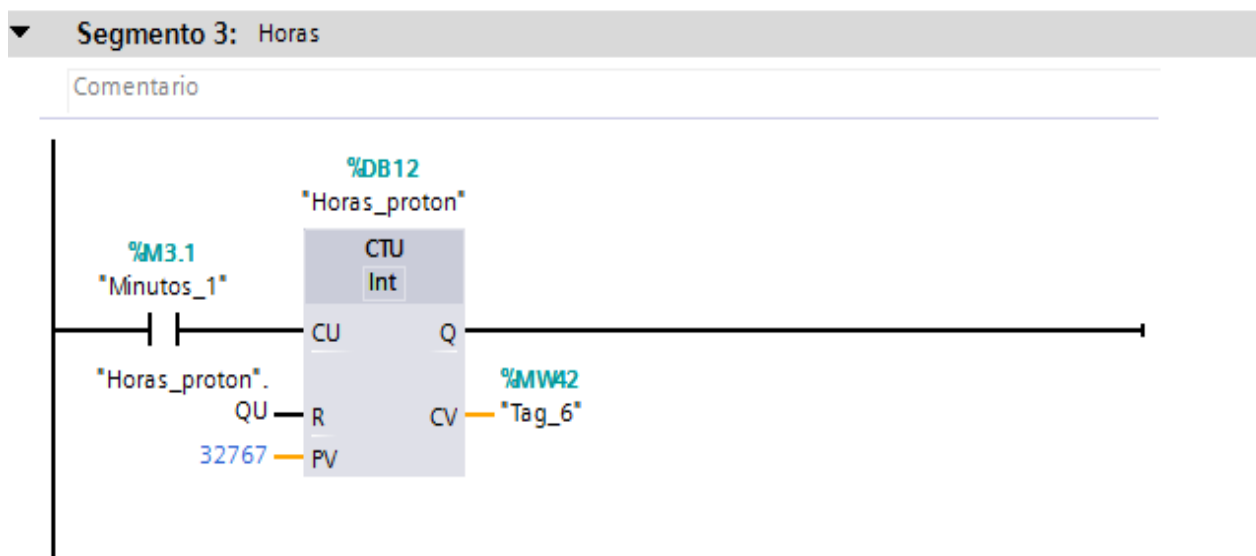


Fig. 3.20 Programación horómetro y reloj

Elaborado por el autor

En el ANEXO 5 se muestra el programa en su totalidad extraído directamente de la memoria del PLC.

3.7 Módulo de entradas analógicas para RTD's

En este fragmento queda establecido el número de entradas analógicas de las cuales se va a hacer uso para realizar la medida de valores de temperatura, los que nos serán de utilidad cuando se conecte los transmisores que miden el nivel térmico los que se encuentran ubicados en el compresor. Se ha elegido trabajar con un módulo analógico SM 1231 RTD ya que nos permite adaptar las señales provenientes de las RTD's y además nos brinda 8 entradas analógicas lo cual hace que la instalación de nuestro sistema se ejecute de manera efectiva, tal como se muestra en la figura 3.21.



Fig. 3.21 Entradas análogas para RTD's con 8 espacios

Fuente: Elaborado por el autor

3.8 Diagrama del sistema programado

Al finalizar todo lo que tiene relación con la programación del sistema, se procede a estructurar el hardware y configurarlo en el sistema existente TIA PORTAL el cual nos denotará en el PLC la disponibilidad de entradas y salidas, así como también en el módulo SM 1231 RTD's.

En la figura 3.22 se muestra las entradas y salidas ocupadas en el PLC, en el ANEXO 6 se observa más detalladamente todas las variables implicadas en el sistema con su respectiva conexión a sus diferentes módulos.

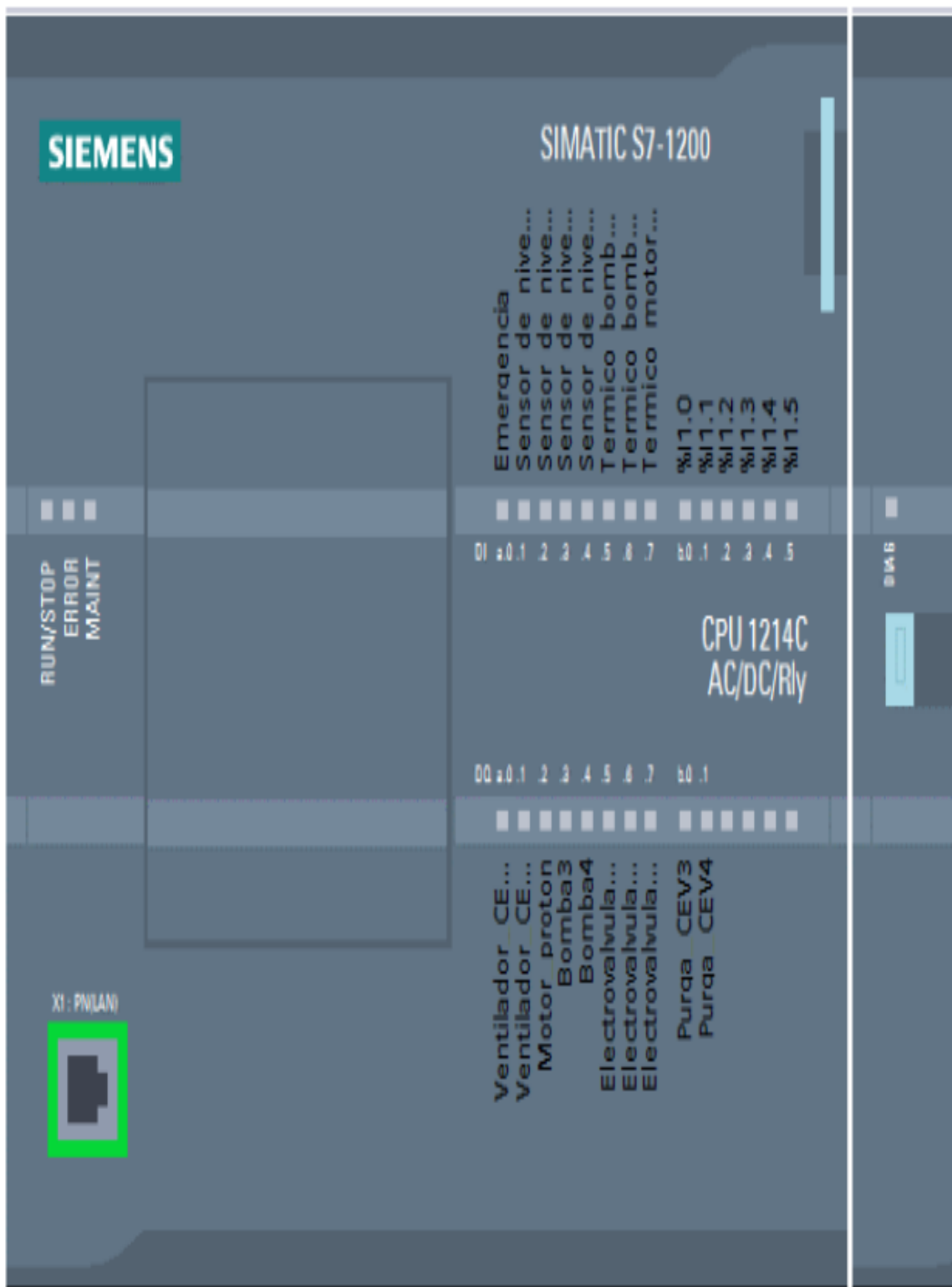


Fig. 3.22 Diagrama del sistema programado

Fuente: Sistema TIA PORTAL Empresa LINDE

3.9 Diseño esquemático

Se esquematizará el proyecto a implementar principalmente haciendo uso del diagrama unifilar de control y diagrama de fuerza, de esta manera al momento de realizar las respectivas conexiones entre los elementos no haya equivocaciones, corto circuitos, que puedan dañar los dichos elementos.

Adicional al momento de realizar algún tipo de mantenimiento (correctivo o preventivo) se minimice el tiempo de revisión y/o puesta en marcha del sistema.

3.9.1 Diagrama de fuerzas

En vista de que las estructuras físicas de los circuitos de fuerza son relativamente nuevas, se optó por no realizar ningún cambio en sus acometidas, elementos de control y protecciones. Como se muestra en la figura 3.23 los motores tienen una forma de arranque del tipo DIRECTO.

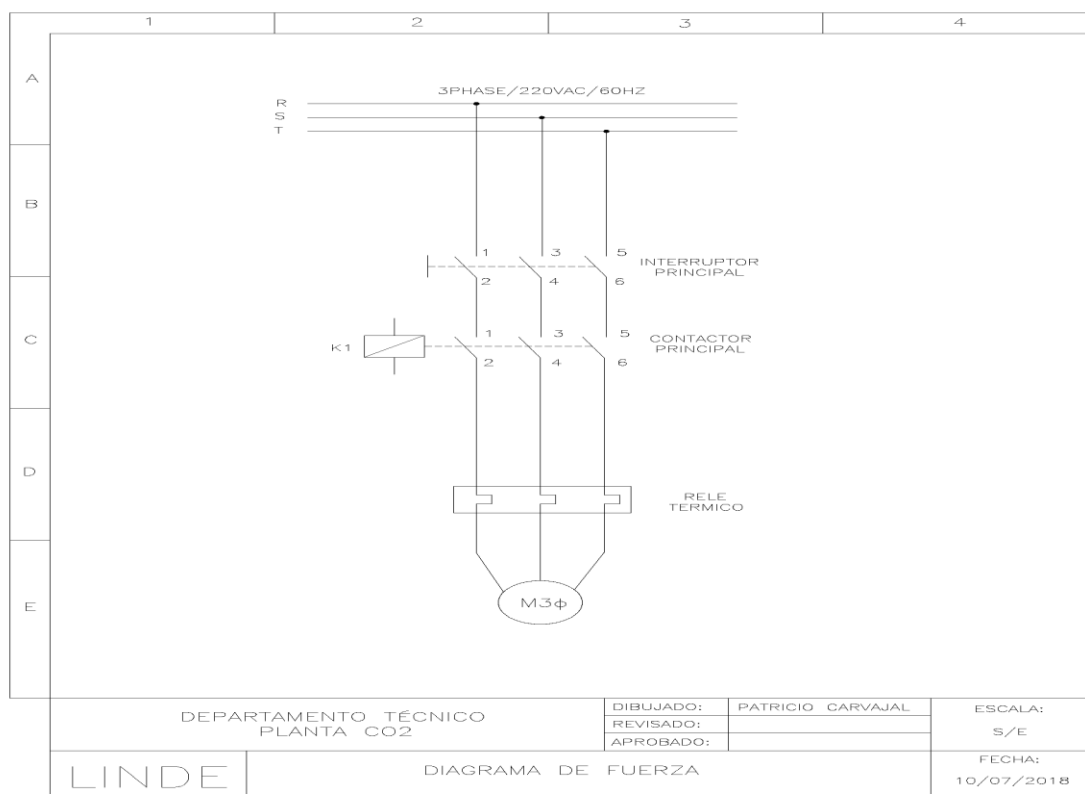


Fig. 3.23 Diagrama de fuerzas

Fuente: Elaborado por el autor

3.9.2 Diagrama unifilar de control

El diagrama unifilar es la representación gráfica de una instalación eléctrica, en el que indican los diferentes elementos tanto de conducción, protección y control que conforman dicha instalación.

Este será definido por las entradas y salidas del PLC implementado, como podemos observarlo gráficamente en la figura 3.24.

En el diagrama unifilar se muestran las conexiones físicas de todos los elementos que intervienen en el proyecto a continuación, se enumera cada uno de estos:

- Paro de emergencia.
- Sensores de nivel.
- Sensores de conductividad.
- Sensores de pH.
- Sensores de presión.
- Sensores de temperatura.
- Bombas dosificadoras.
- Relés térmicos de bombas y motores.
- Electroválvulas.
- Relés de control.
- Contactores de motores.
- Elementos de protección.

ANEXO 7 Diagrama unifilar y de conexiones del PLC, equipos y elementos implementados en el sistema.

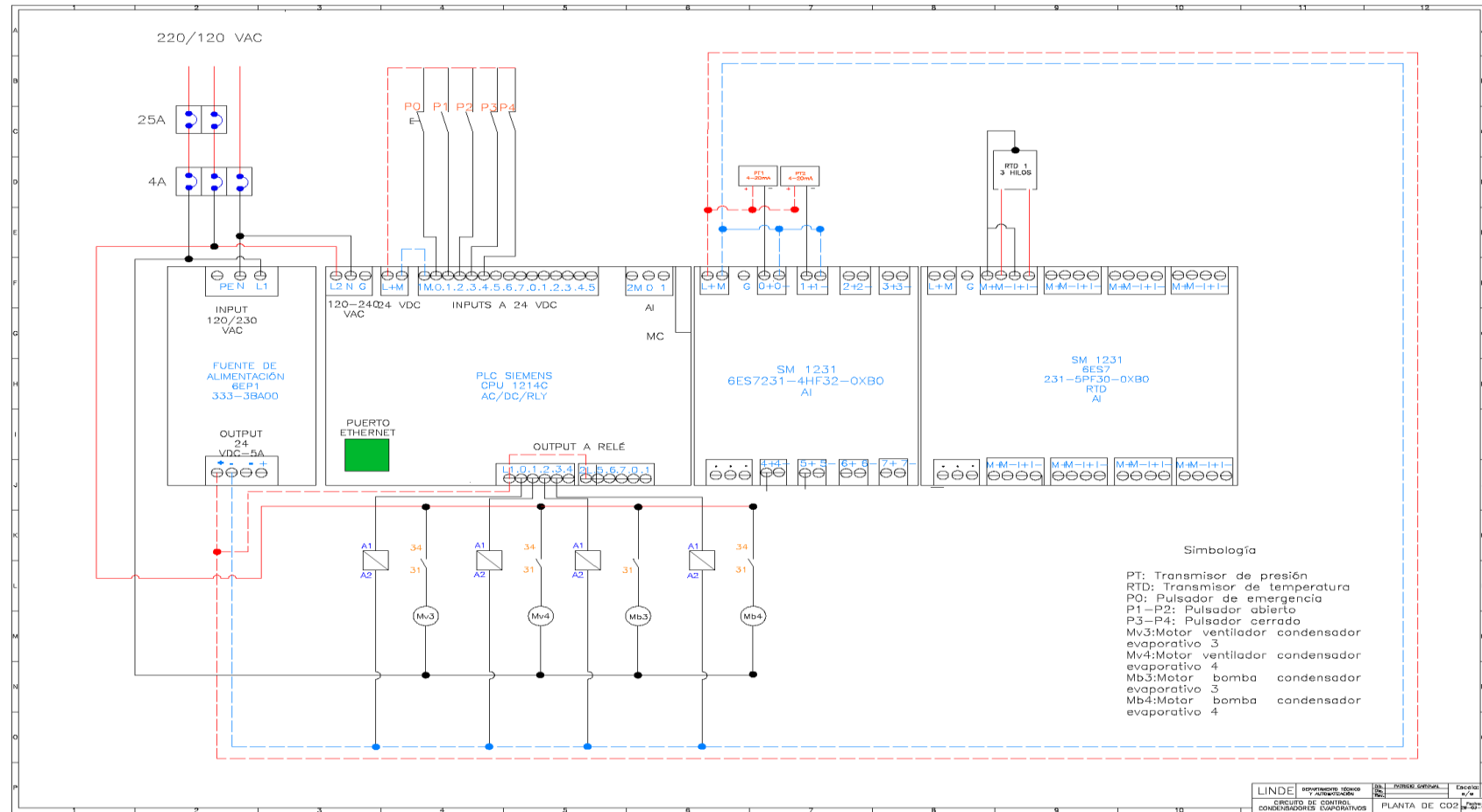


Fig. 3.24 Diagrama unifilar de control

Fuente: Elaborado por el autor

3.9.3 Diagrama de conexión eléctrica del sensor de temperatura

En el diagrama de la figura 3.25 podemos notar las conexiones realizadas para su correcto funcionamiento con voltaje 220V

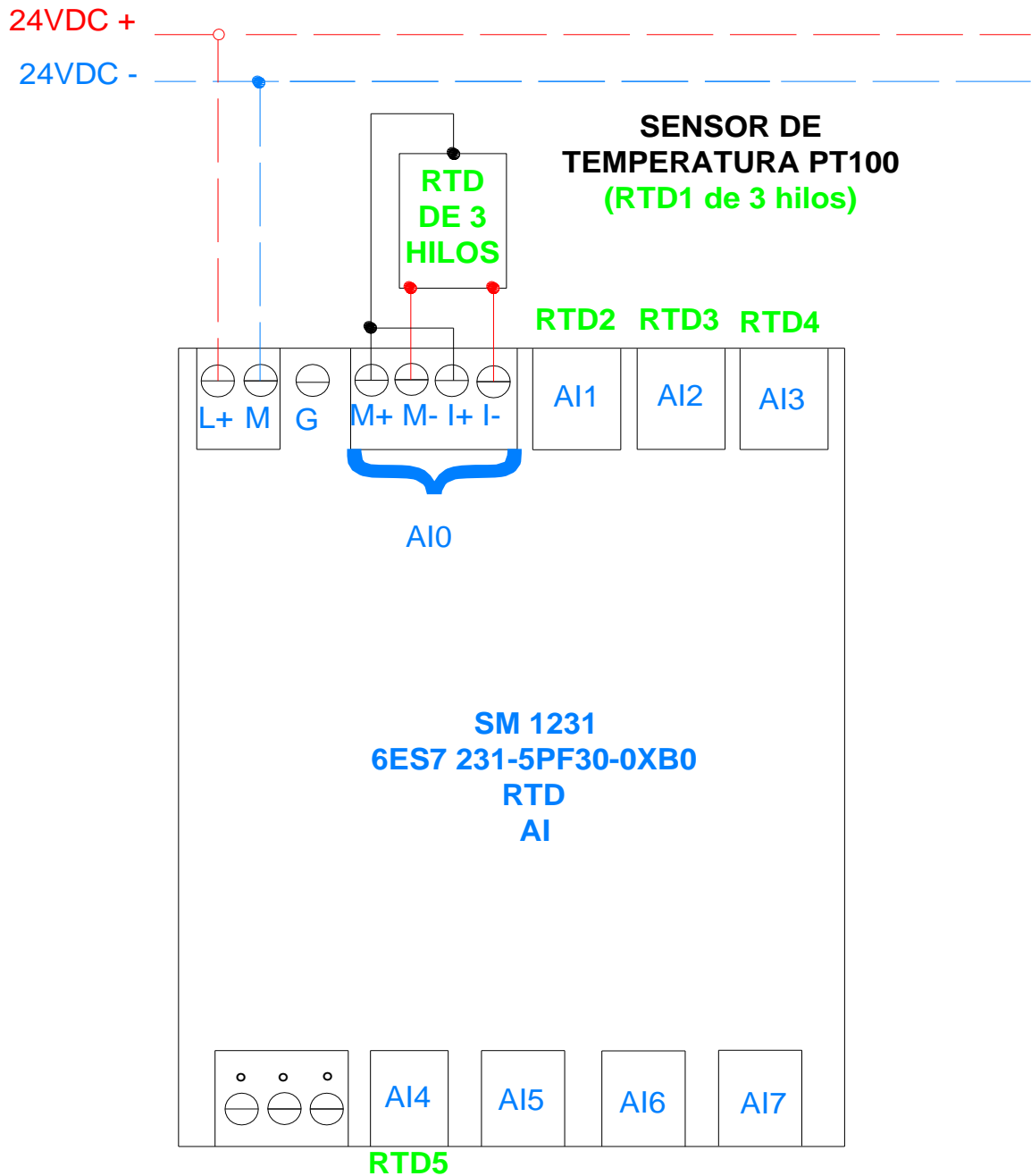


Fig. 3.25 Ensamble RTD'S a módulo analógico de RTD'S

Fuente: Elaborado por el autor

Al realizar el montaje del tablero eléctrico que se muestra en la figura 3.26, se toma en cuenta principalmente las normas INEN vigentes, para definir la medida del tablero a instalar (INEN 2 568:2010), y finalmente tomar en cuenta los requerimientos básicos para la instalación de este tablero (NEC Cap. 15).

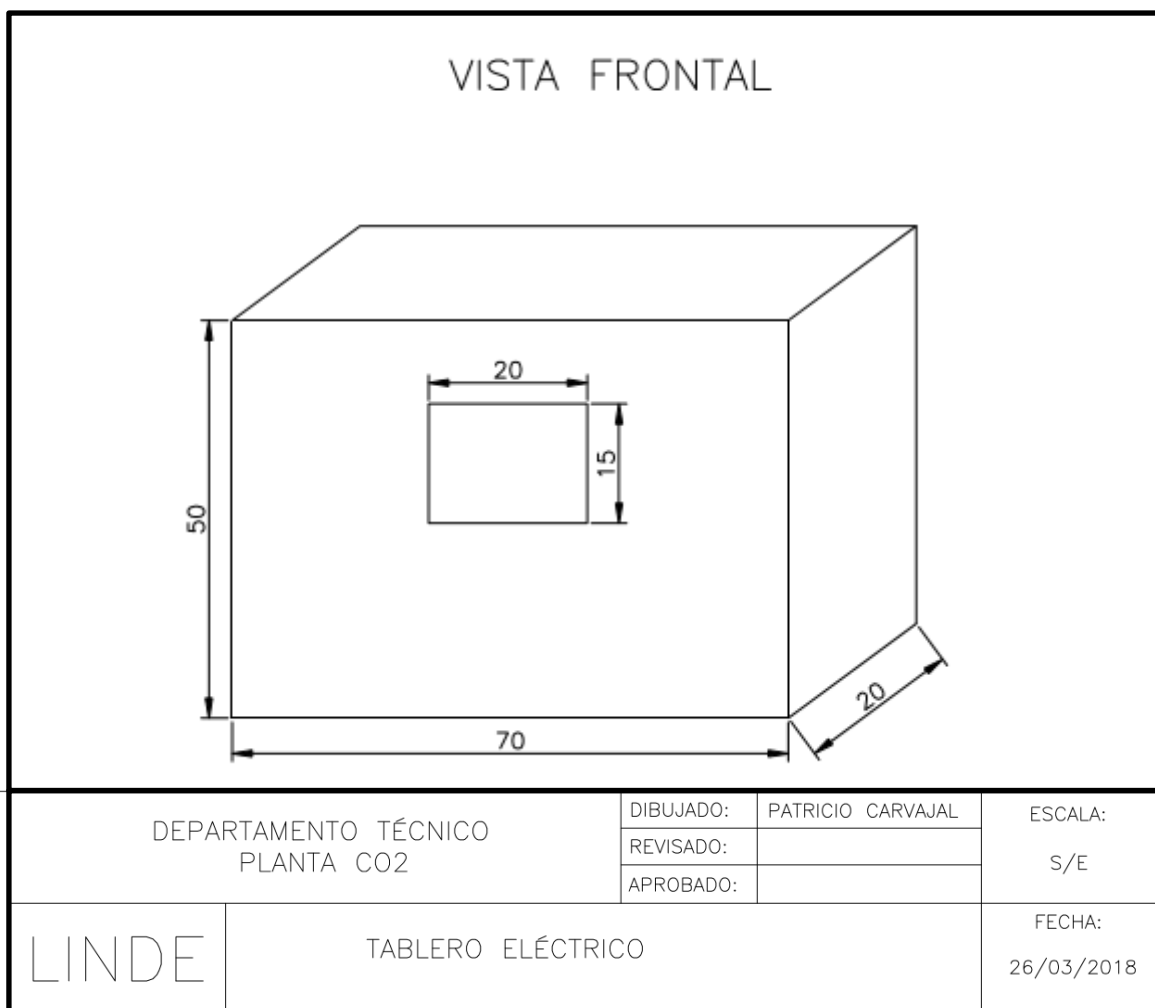


Fig. 3.26 Dimensiones del tablero eléctrico

Fuente: Elaborado por el autor

3.9.4 Topología de red

En esta sección se podrá hacer una idea del mapa físico de una red la cual va a ser utilizado para el intercambio de datos.

La topología de red la determina únicamente la configuración de las conexiones entre nodos. La distancia entre los nodos, las interconexiones físicas, las tasas de transmisión y los tipos de señales no pertenecen a la topología de la red, aunque pueden verse afectados por la misma.

Los componentes fundamentales de una red son el servidor, los terminales, los dispositivos de red y el medio de comunicación.

En la figura 3.27 se observa un diseño de la topología de red de conexión Ethernet

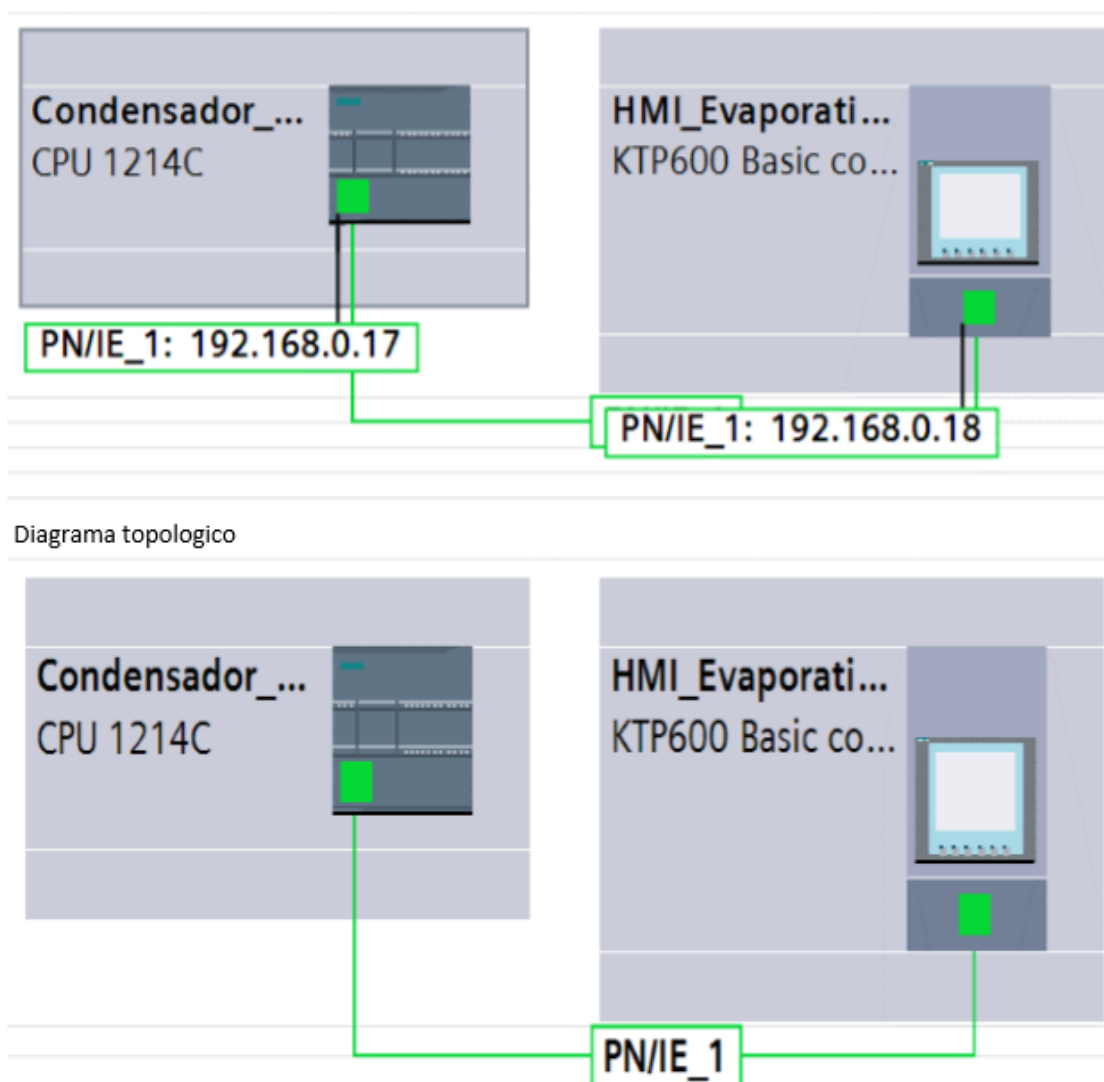


Fig. 3.27 Topología de red

Fuente: Elaborado por el autor

3.10 Diseño hardware

Los equipos que van a conformar la parte de automatización se verán descritos en esta sección, para poder tener una idea clara del proceso a llevar a cabo, tal como se muestra en la figura 3.28.

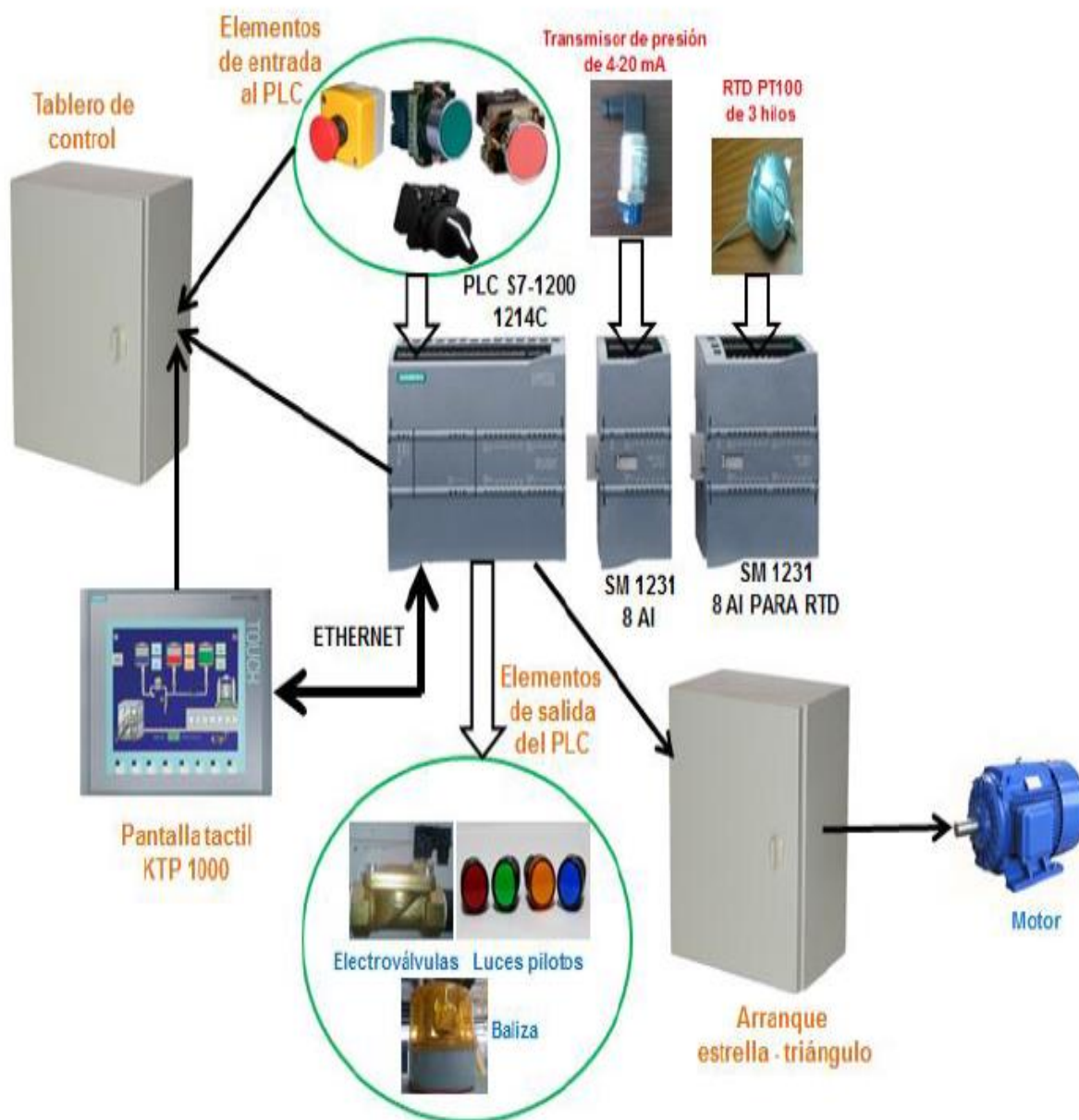


Fig. 3.28 Arquitectura del proceso de control

Fuente: Elaborado por el autor

3.10.1 Elementos de manipulación

En el tablero que va a ayudar a controlar las variables se encuentran los elementos que van a ser manipulados como son los selectores y los pulsadores, los cuales van a trabajar directamente controlando el compresor.

3.10.2 Selector de tres posiciones

El voltaje de estos selectores es de 24 VDC y consumen 4mA de corriente, estas son las premisas en base a las cuales se escoge un selector, para este proyecto se va a hacer uso de un selector de tres posiciones que cumpla con todos los aspectos técnicos que se requieren para su correcto funcionamiento, siendo en este caso el selector de la marca SCHNEIDER ELECTRIC el que mejor se apega a nuestros requerimientos como se muestra en la tabla 3.6.

De esta manera se a determinar el modo de funcionamiento de los equipos, con ayuda del selector que se ha escogido previamente, como se indica en la figura 3.29, se determina que el lado derecho del selector va a indicar que el sistema está operando en modo manual y a su vez el lado izquierdo del selector indica que se está operando en modo automático.



Fig. 3.29 Selector de tres posiciones.

Fuente: Elaborada por el autor

Tabla 3.6 Características técnicas selector tres posiciones

SELECTOR DE TRES POSICIONES	
MARCA	SCHNEIDER ELECTRIC
CORRIENTE	10 A
VOLTAJE AC	600 V
VOLTAJE DC	600

Fuente: Elaborado por el autor

3.10.3 Selector de dos posiciones

Tal como el selector de tres posiciones este tipo de selector tiene características que lo identifican y lo diferencian tales como su Voltaje que en este caso es de 120 VAC y su corriente 0.55 A. como se ha decidido trabajar con la marca SCHNEIRDER ELECTRIC esta se seguirá utilizando en todos los dispositivos por ser la que más se adecuada a los requerimientos del sistema, como se muestra en la tabla 3.7.

Este selector afectará directamente a la bomba de agua considerada la principal este se encargará del encendido y el apagado de este equipo, se puede observar en la figura 3.30, si el selector indica el costado diestro de la bomba indica que está encendida, así mismo si marca el borde izquierdo la bomba se encontrará apagada.



Fig. 3.30 Selector de dos posiciones

Fuente: Elaborada por el autor

Tabla 3.7 Características técnicas selector dos posiciones.

SELECTOR DE DOS POSICIONES	
MARCA	SCHNEIDER ELECTRIC
CORRIENTE	10 A
VOLTAJE AC	600 V
VOLTAJE DC	600

Fuente: Elaborado por el autor

3.10.4 Pulsador de emergencia

El pulsador de emergencia es un contacto físico que se encuentra en estado normalmente cerrado su nomenclatura es NC (Normally Close). Para que este elemento funcione correctamente necesita 24VDC de voltaje y 4mA de corriente, ya que este corresponde a una entrada digital del PLC, al igual que los elementos anteriores hemos escogido un pulsador de la marca SCHNEIDER ELECTRIC cuyos datos técnicos observamos en la tabla 3.8 siendo este el que cumple con nuestros requerimientos.

Si se produjera algún desperfecto o imprevisto en los parámetros marcados para el proceso el pulsador de emergencia es el que le permitirá al operador presionar este botón y de inmediato el sistema dejará de trabajar apagándose totalmente, en el momento en el cual se haya solucionado el desperfecto el sistema se podrá reiniciar con total normalidad al hacer girar el botón de arranque, tal como se muestra en la figura 3.31.



Fig. 3.31 Pulsador de emergencia

Fuente: Elaborada por el autor

Tabla 3.8 Características técnicas del pulsador de emergencia

PULSADOR DE EMERGENCIA	
MARCA	SCHNEIDER ELECTRIC
CORRIENTE	10 A
VOLTAJE AC	600 V
VOLTAJE DC	600

Fuente: Elaborado por el autor

3.10.5 Pulsador de marcha

El pulsador de marcha es un contacto físico que se encuentra en estado normalmente abierto su nomenclatura es NO (Normally Open). Los parámetros que se exigen para este dispositivo y su correcta funcionalidad son 24 VDC o 110VAC, es considerado también dentro del PLC como una entrada digital, al igual que con los otros dispositivos se sigue trabajando con la marca SCHNEIDER ELECTRIC ya que cumple con los requerimientos de ingeniería, lo cual queda evidenciado en la tabla 3.9.

Al pulsar este botón se accionará dándonos como respuesta el encendido manual del compresor, tal como se muestra en la figura 3.32.

**Fig. 3.32 Pulsador de marcha**

Fuente: Elaborada por el autor

Tabla 3.9 Características técnicas del pulsador de marcha

PULSADOR DE MARCHA	
MARCA	SCHNEIDER ELECTRIC
CORRIENTE	10 A
VOLTAJE AC	600 V
VOLTAJE DC	600

Fuente: Elaborado por el autor

3.10.6 Pulsador de paro

Los requerimientos de este pulsador son 24 VDC y 4mA de corriente, hemos escogido la marca SCHNEIDER ELECTRIC cuyas características son las que se ajustan a nuestros requerimientos tal como se indica en la tabla 3.10.

Al accionar este elemento obtendremos como respuesta que las bombas se apagarán de forma manual, tal como se muestra en la figura 3.33.



Fig. 3.33 Pulsador de paro

Fuente: Elaborada por el autor

Tabla 3.10 Características técnicas del pulsador de paro

PULSADOR DE PARO	
MARCA	SCHNEIDER ELECTRIC
CORRIENTE	10 A
VOLTAJE AC	600 V
VOLTAJE DC	600

Fuente: Elaborado por el autor

3.10.7 Relés de control lógico

Las salidas digitales de un sistema van a ser necesariamente controladas por estos relés de control lógico lo cual los convierte en esenciales ya que intervienen directamente en el encendido y apagado de elementos de control final (electroválvulas, alumbrado, motor).

El momento de dimensionar el relé tuvimos en cuenta varias consideraciones:

- Voltaje de activación.
- Número de contactos.
- Corriente a soportar por parte de los contactos.
- Voltaje máximo en contactos en circuito abierto.

Al contar con dispositivos para realizar el control que poseen voltajes con corriente alterna distintos existe la necesidad de hacer el cálculo matemático de la corriente circulante en los contactos del relé.

- **Cálculos de corriente que circula por los contactos**

Ecuación 3.1 VOLTAJE 220 VAC

- **POTENCIA APARENTE (S)**

$$I_{RMS} = \frac{S}{V_{RMS}}$$

$$I_{RMS} = \frac{1.5 VA}{220 V}$$

$$I_{RMS} = 6.82 mA$$

Ecuación 3.2 VOLTAJE 120 VAC

$$I_{RMS} = \frac{S}{V_{RMS}}$$

$$I_{RMS} = \frac{1.5 VA}{220 V}$$

$$I_{RMS} = 12.50 mA$$

Fuente (Ponsa, 2015)

Los parámetros requeridos para estos dispositivos de control están determinados en 24VDC en cuanto al voltaje que alimentará los contactos y la corriente debe ser superior a 12.50 mA circulando por los contactos; en este caso este elemento vamos a utilizar la marca FINDER ya que es el que se ajusta a los requerimientos como se indica en la tabla 3.11.

Tabla 3.11 Características técnicas del Relé

Relé	
Marca	FINDER 55.33.9.024.0010
Corriente AC	10 A
Voltaje AC	250 V
Voltaje DC	30 V
Corriente en DC	10 A
Potencia inductor	1.5 VA

Corriente inductor	6 mA
--------------------	------

Fuente: Elaborado por el autor

3.10.8 Indicadores lumínicos

El tablero de control consta de luces de diferente color rojo, verde y amarillo, la cuales están instaladas con voltaje de 110 y 220 VAC a 60Hz con esto evidenciaremos el correcto funcionamiento del tablero y se conocen como luces piloto.

- Luz verde. - Sabemos que un dispositivo está encendido o funcionando de manera correcta si contamos con tres indicadores que muestren lo siguiente, tal como muestra la figura 3.34:
 - Presencia de voltaje.
 - Bomba encendida
 - Compresor encendido



Fig. 3.34 Luces piloto verdes

Fuente: Elaborada por el autor

- Luz roja. - Cuando esta luz se enciende como se muestra en la figura 3.35 nos está señalando que el sistema se encuentra detenido por cualquiera de estas razones:
 - El pulsador de emergencia fue manipulado.
 - La temperatura y presión se salieron del parámetro y los equipos se encuentran en error o falla.
 - El sistema está detenido



Fig. 3.35 Luces piloto de error

Fuente: Elaborada por el autor

- Luz amarilla. - Se enciende cuando se acciona una pre-alarma indicando que los valores de cualquier variable tienen una tendencia a salir fuera de los parámetros seteados, ver la figura 3.36.

**Fig. 3.36 Luces piloto de alarma**

Fuente: Elaborada por el autor

3.11 Diseño y programación del HMI

Para un óptimo control de los parámetros que intervienen en todo el circuito de agua como son nivel, temperatura, presión, conductividad y la dosis adecuada en el sistema de refrigeración de la planta de producción de CO₂, se pone en funcionamiento un HMI local para que haga interacción directa entre el operador y los equipos controlados, para lo cual se implementa una pantalla táctil de 6 pulgadas (ANEXO 8 Data Sheet), la cual cuenta con 6 pulsadores igual que el PLC instalado, el cual se adquiere de marca SIEMENS el cual al contar con una interfaz de comunicación Ethernet va a aceptar la interacción PLC-HMI, todo esto se lleva a cabo con ayuda de la aplicación TIA PORTAL V13 la cual nos permite trabajar en su plataforma para tanto en la programación como en el diseño de la pantalla táctil, como se muestra en la figura 3.37.

Tabla 3.12 Datos técnicos de pantalla táctil KTP 600

Marca	SIEMENS
Modelo	6AV6647-0AF11-3AX0.
Tipo	KTP 600 PN, táctil.
Alimentación	24 VDC
Tamaño	10.4 pulgadas
Teclas de función	8.
Color	256
Comunicación	Interfaz PROFINET / Industrial Ethernet.
Software	TIA PORTAL WinCC V13 Basic.

Fuente: Elaborado por el autor



Fig. 3.37 Pantalla táctil ktp 600 de Siemens

Fuente: Elaborado por el autor

3.11.1 Funciones del HMI local

Este dispositivo va a ser de mucha utilidad para la persona que lo va a manipular ya que le va a permitir supervisar constantemente si el sistema de refrigeración está trabajando correctamente, los parámetros que se puede supervisar son los siguientes:

- Niveles de presión, temperatura, conductividad eléctrica dentro del líquido.
- Inspección de los equipos cuando estos se encuentren encendidos o apagados
- Visualización de alarmas.
- Administrador de usuarios.
- Datos almacenados de niveles de presión y temperatura al instante
- Hora y fecha en tiempo real.

3.11.2 HMI local implementado

En esta pantalla se puede ver reflejados los siguientes parámetros del HMI local:

- Temperatura del agua.
- Encendido de ventilador de la torre de enfriamiento.
- Visualización de alarmas.
- Modo de operación. (manual y automático).
- Margen de agua dentro de la piscina de refrigeración.

El usuario podrá moverse dentro de las pantallas del HMI y controlar directamente el correcto funcionamiento de los equipos que conforman el sistema en el momento que lo desee ya que como se menciona cuenta con una pantalla táctil y cada una cuenta con un botón táctil con diseño y programación determinada dependiendo de la pantalla en que se navega. Las figuras 3.38 y 3.39 muestra la pantalla y botones que han sido activados.

Las animaciones que se cargaron en la pantalla son las siguientes:



Fig. 3.38 Pantalla animación temperatura

Fuente: Elaborada por el autor

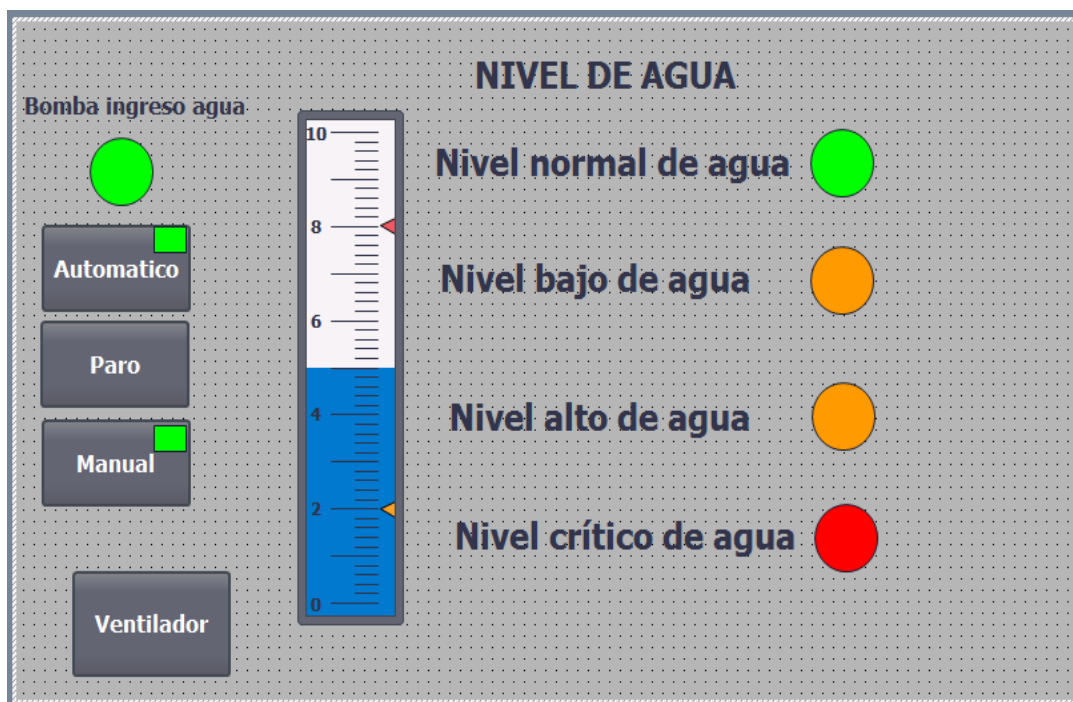


Fig. 3.39 Pantalla animación nivel de agua

Fuente: Elaborada por el autor

3.11.3 Software Tia Portal Professional V13

3.11.3.1 Instalación

Para iniciar la instalación de este software se ingresa a la carpeta STEP7 ubicada en el DVD del producto, buscar el archivo ejecutable START de Siemens y al hacer doble clic sobre este icono se inicia la instalación del programa, como se muestra en la figura 3.40.

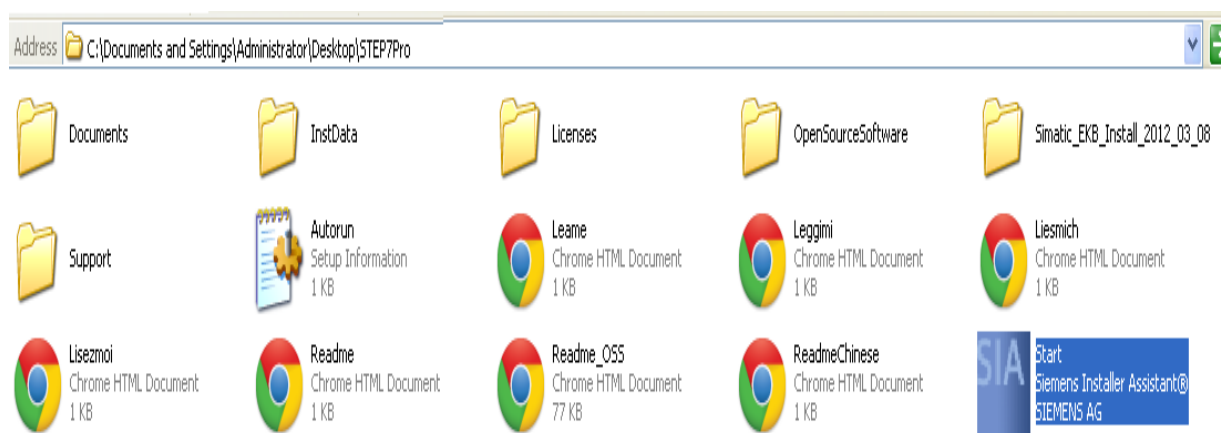
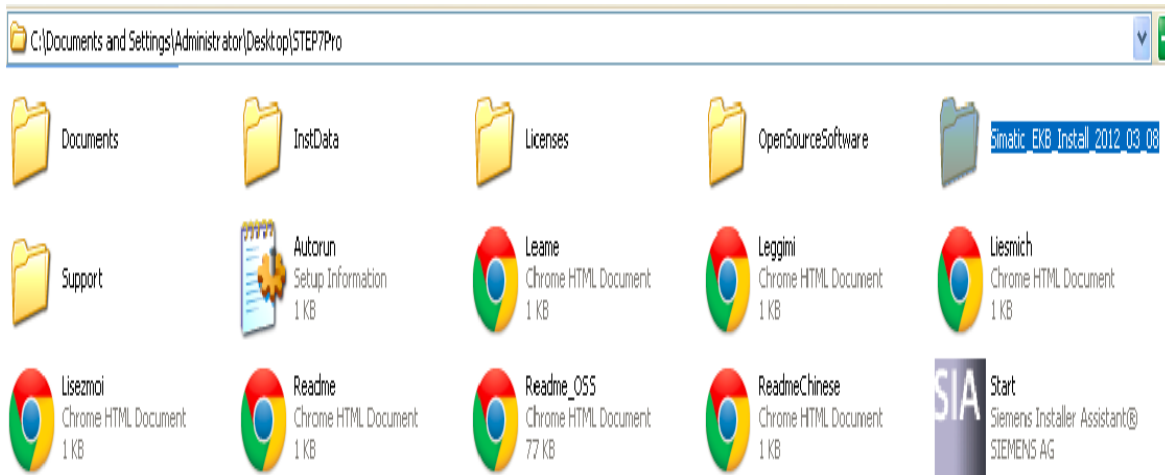


Fig. 3.40 Archivo ejecutable

Fuente: Elaborada por el autor

Una vez finalizada la instalación. En la carpeta STEP7 Pro seleccionar la carpeta



Simatic_EKB_Install_2012_03_08, como indica la figura 3.41.

Fig. 3.41 Selección de carpeta simatic_EKB_install_2012_03_08

Fuente: Elaborada por el autor

Para el siguiente paso se debe desactivar la protección del antivirus y luego abrir el archivo ejecutable, se procede a activar el STEP7 Pro y luego se debe ejecutar el Simatic_EKB_Install_2012_03_08, como indica la figura 3.42.

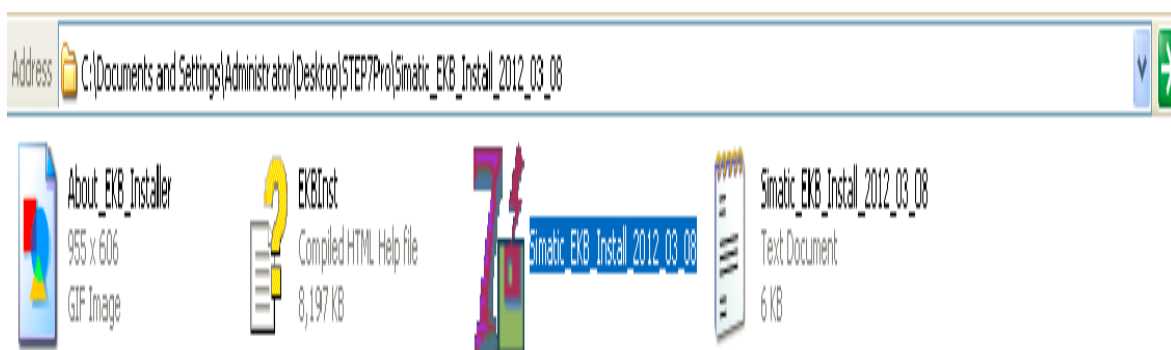


Fig. 3.42 Pantalla del programa ejecutable

Fuente: Elaborada por el autor

Seleccionar “All Keys” en el recuadro izquierdo de la pantalla y de estas licencias que se presentan buscar la licencia Step7 V13 Professional Combo y Step7 V13 Professional, como indica la figura 3.43.

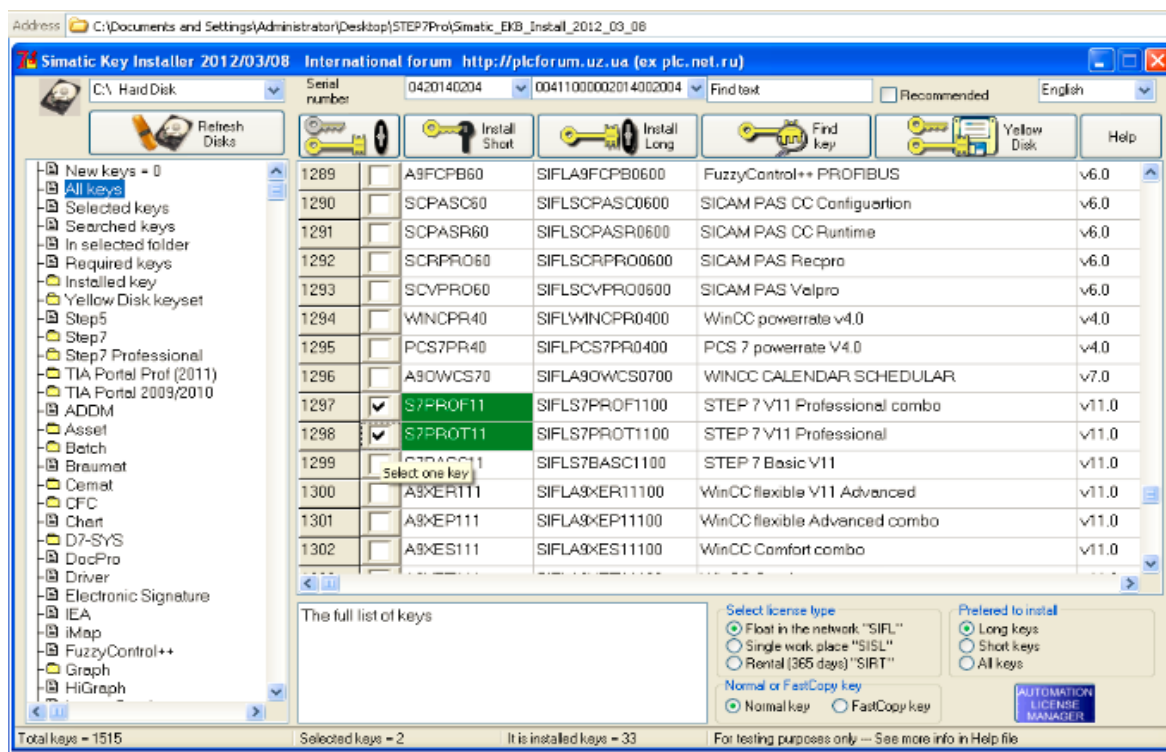


Fig. 3.43 Instalación de licencias

Fuente: Elaborada por el autor

Una vez que se han completado todas las instrucciones anteriormente indicadas se despliega una pantalla como se visualiza en la figura 3.44, esto indica que el software de programación está instalado de forma correcta y listo para usarse.

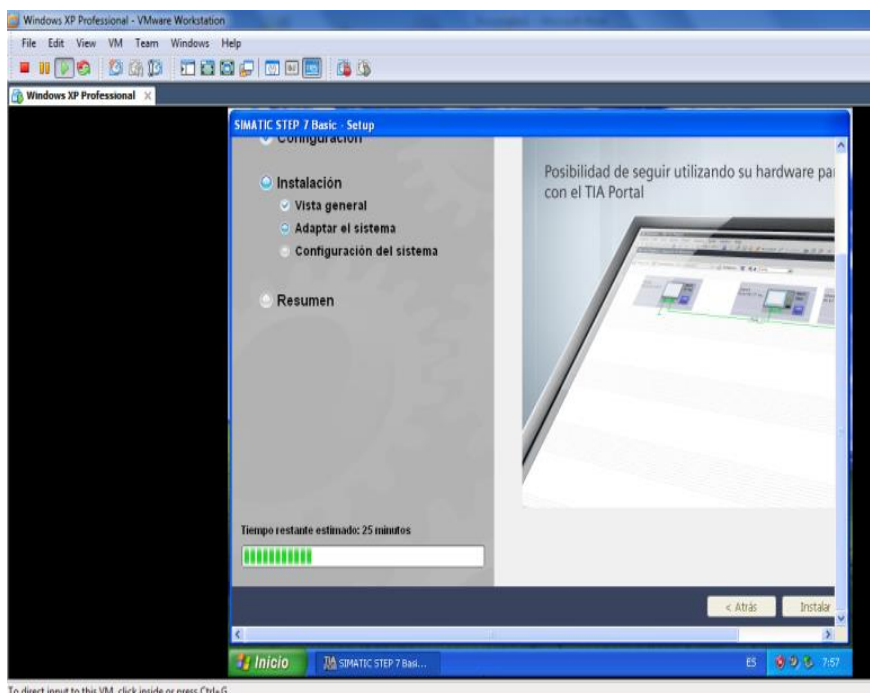


Fig. 3.44 Pantalla final instalación paso 7

Fuente: Elaborada por el autor

Es fundamental realizar las actualizaciones de hardware en el TIA PORTAL, para esto se debe usar el DVD de actualizaciones provisto con el producto.

3.11.3.2 Actualizaciones

Iniciar el programa TIA PORTAL V13 mediante el acceso directo que automáticamente se creó en el escritorio al finalizar la instalación y seleccionar “Create New Project”, como indica la figura 3.45.

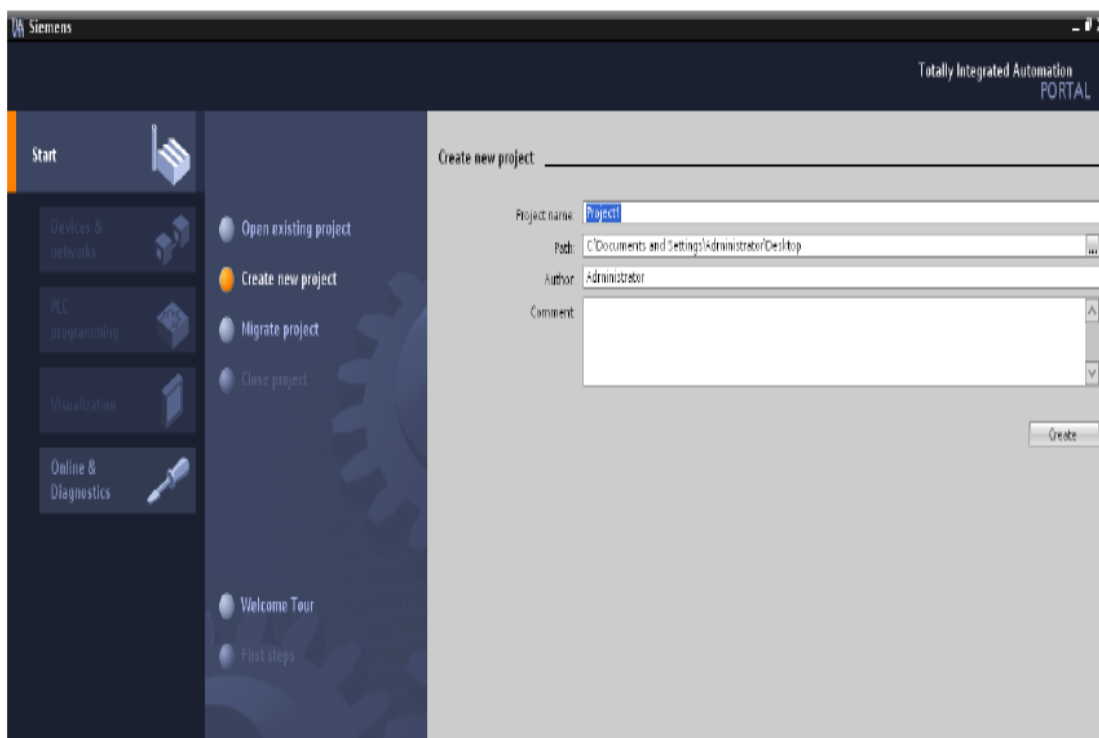


Fig. 3.45 Dar inicio a un nuevo diseño

Fuente: Elaborada por el autor

Creado el nuevo proyecto seleccionar “Open The Project View”, como se muestra en la figura 3.46.

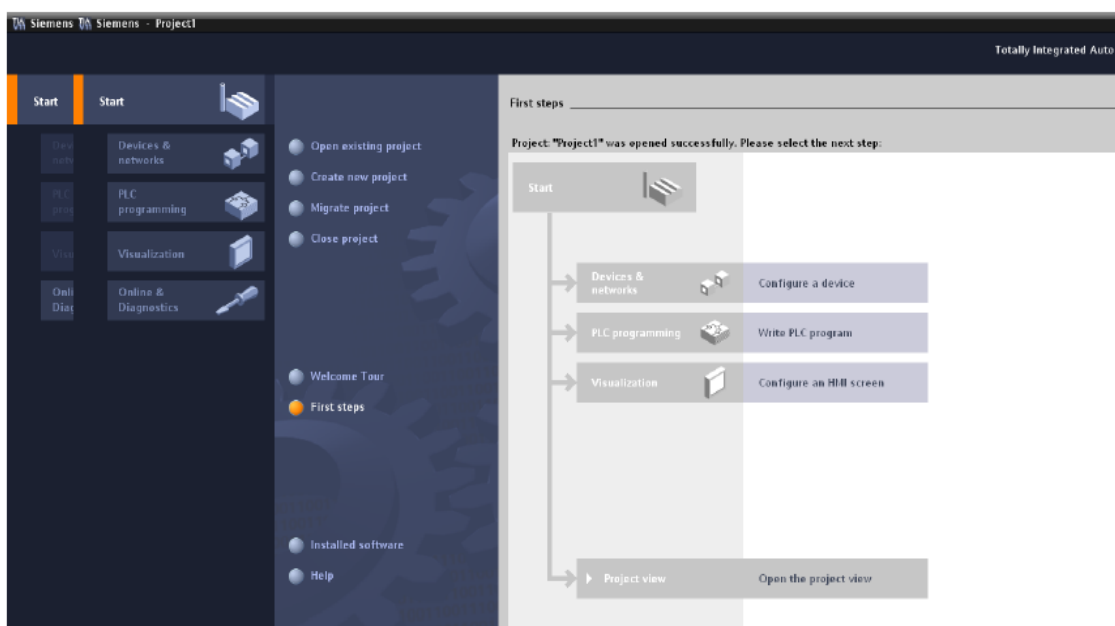


Fig. 3.46 Apertura de programa

Fuente: Elaborada por el autor

Se abre la ventana del proyecto, y buscamos “Opciones”, luego ubicarse en “Support Packages” para actualizar los paquetes de hardware que no vienen incluidos en el TIA PORTAL PROFESSIONAL, como indica la figura 3.47.

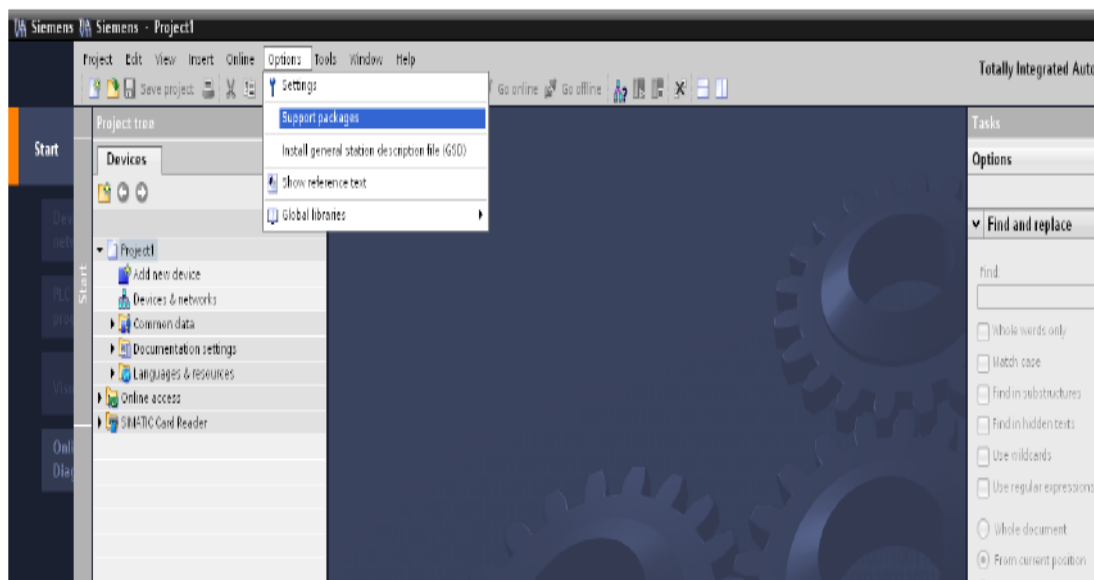


Fig. 3.47 Pasos para realizar la actualización

Fuente: Elaborada por el autor

Aparecerá una ventana con actualizaciones diferentes, ubicarse en el botón “Add from file System” para instalar las actualizaciones provenientes del DVD del programa, y también en el CD del PLC, como se muestra en la figura 3.48.

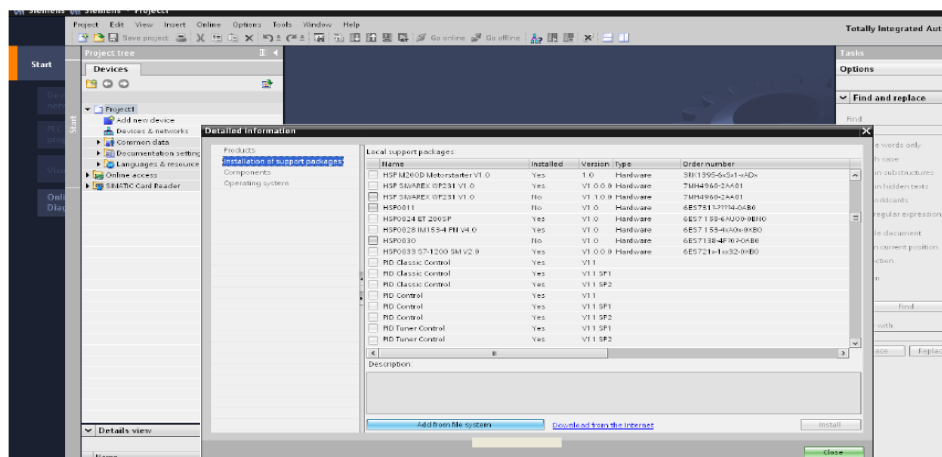


Fig. 3.48 Librerías instaladas en el TIA PORTAL V13

Fuente: Elaborada por el autor

Se selecciona todas las licencias que se desee instalar y luego pulsar “Open”, como indica la figura 3.49.

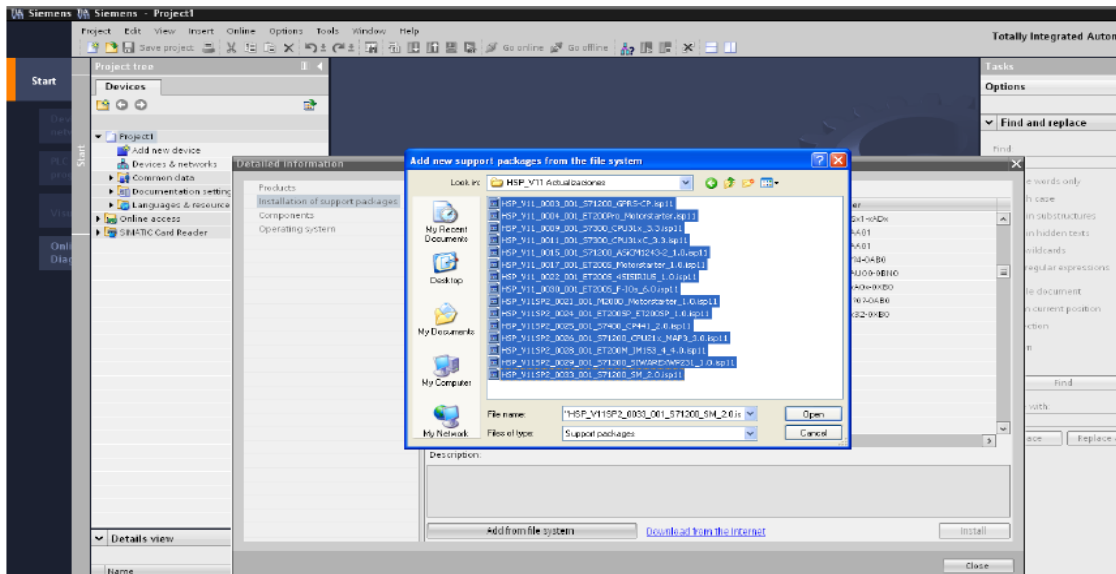


Fig. 3.49 Selección de licencias

Fuente: Elaborada por el autor

Una vez instaladas las actualizaciones, se busca la opción “Add New Devices”, para seleccionar el PLC con el cual se va a programar, como se muestra en la figura 3.50.

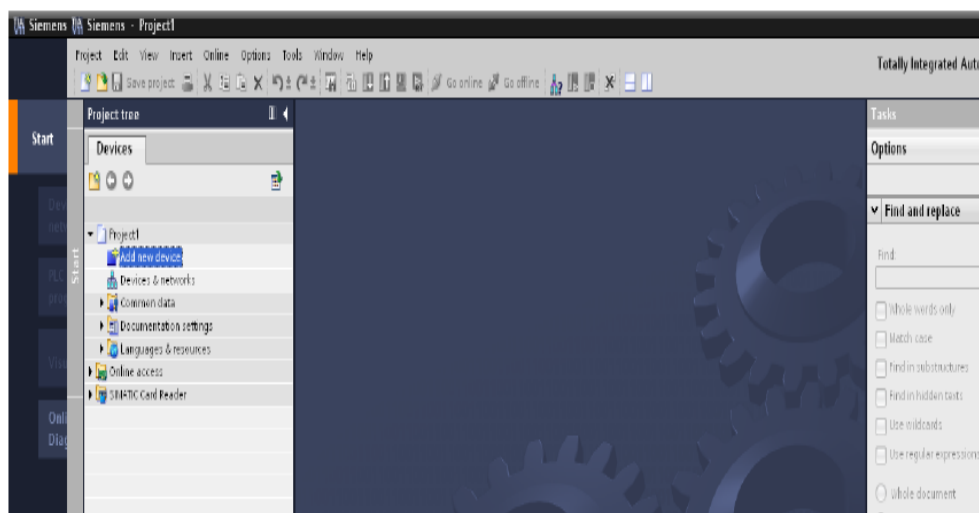


Fig. 3.50 Agregar un dispositivo

Fuente: Elaborada por el autor

Buscar el modelo de PLC y HMI requeridos, para comenzar con la programación del proyecto, para nuestro caso el PLC utilizado es el S7-1200 1214C AC/DC/RLY y el HMI KTP 600, tal como indica la figura 3.51.

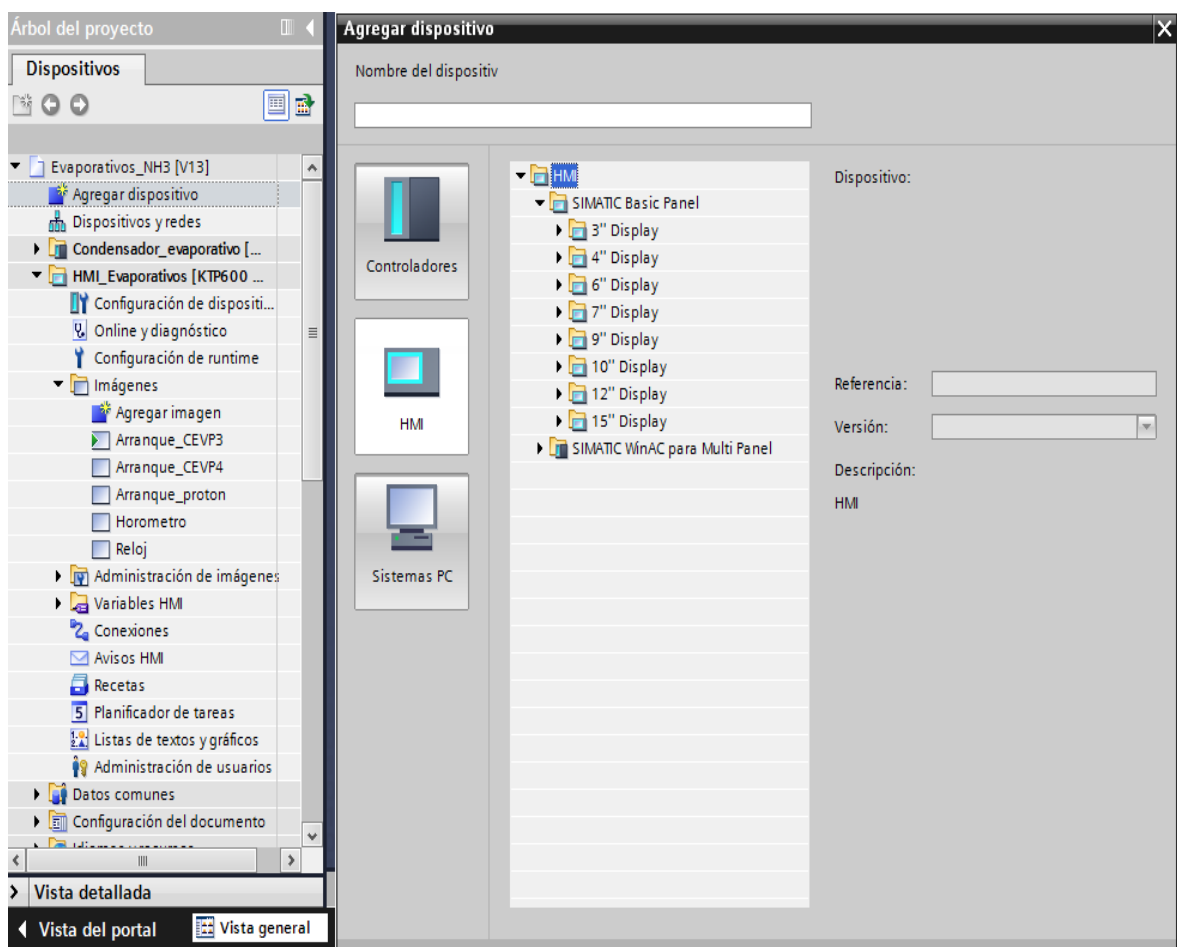


Fig. 3.51 Selección de PLC y HMI

Fuente: Elaborada por el autor

3.11.4 Programación de la pantalla KTP 600

- Paso 1:

Para iniciar con la programación del HMI se debe definir la dirección IP que va desde 0 hasta 255 para este proyecto la dirección designada es 192.168.0.18 como se muestra en la figura 3.52.

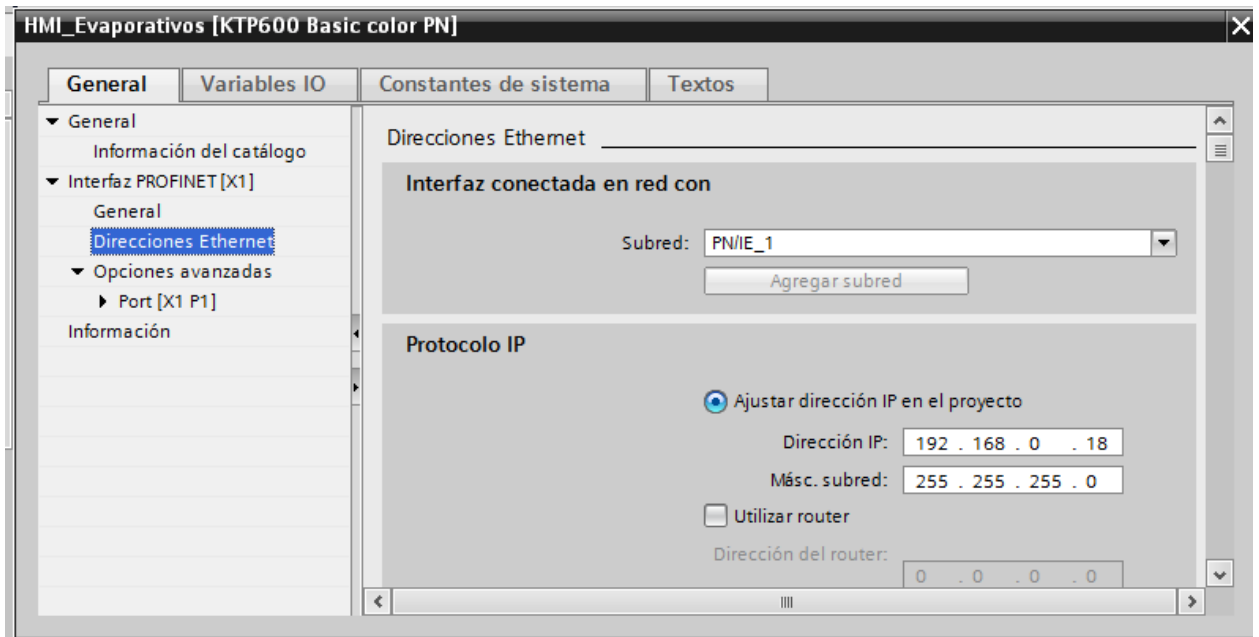


Fig. 3.52 Direccionamiento IP

Fuente: Elaborada por el autor

- Paso 2

Con el fin de visualizar las variables del control del PLC se realiza la comunicación Ethernet (PN/IE_1) entre el PLC-HMI como se muestra en la figura 3.53.

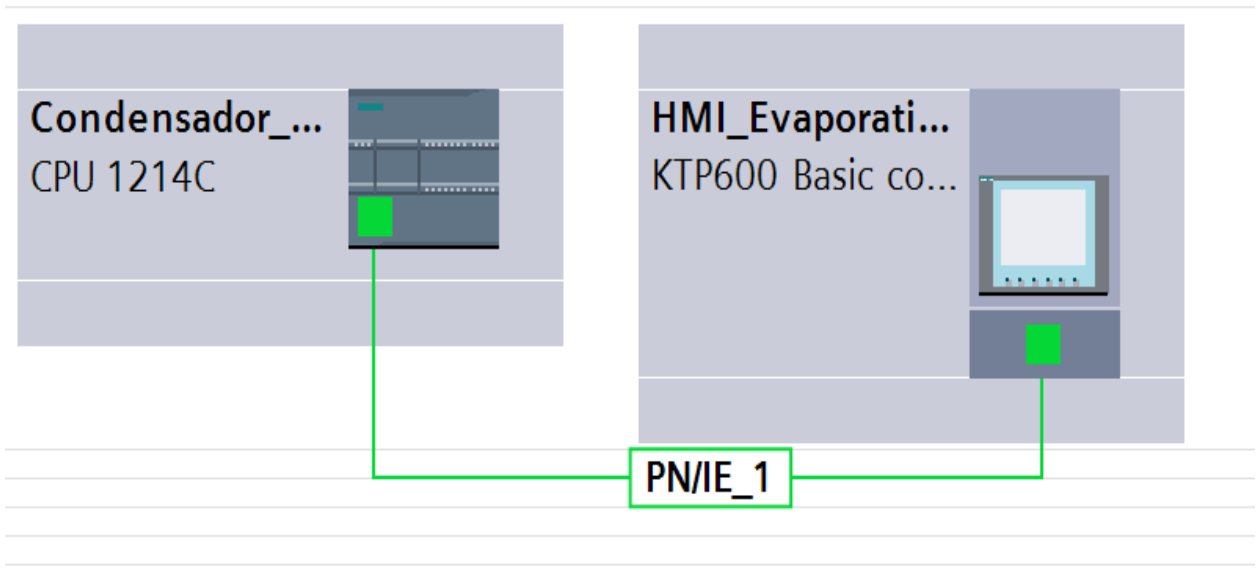


Fig. 3.53 Comunicación Ethernet PLC – HMI

Fuente: Elaborada por el autor

- Paso 3

Para la creación de las pantallas se debe hacer click en AGREGAR IMAGEN y automáticamente se genera el área de trabajo para el diseño del proyecto como se explica en la figura 3.54.

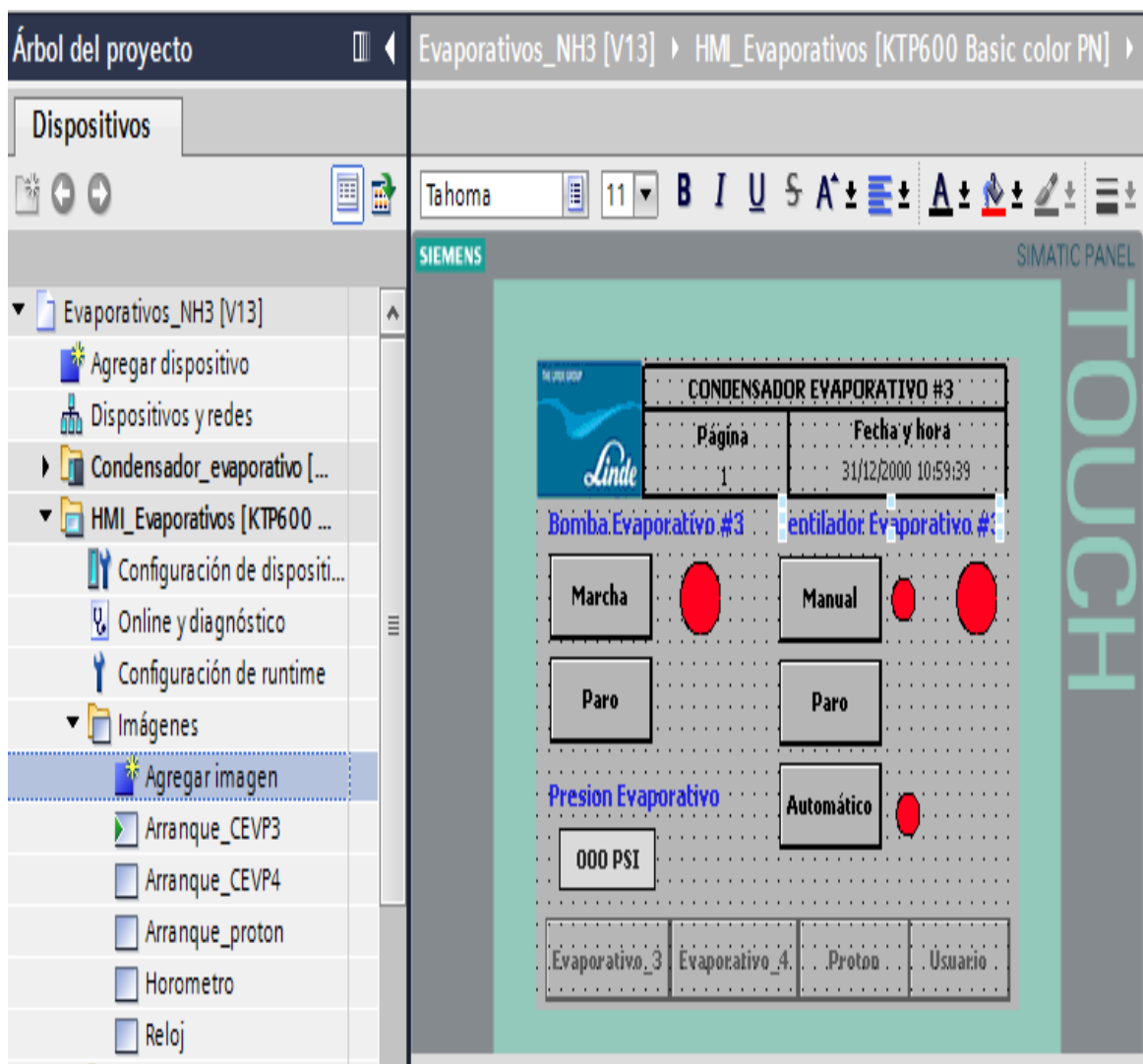


Fig. 3.54 Creación de pantalla

Fuente: Elaborada por el autor

Con este mismo proceso se puede crear las pantallas que el USUARIO crea conveniente.

En esta pantalla se encuentra el encendido y apagado de la bomba y ventilador del condensador evaporativo # 3, como indica la figura 3.55.



Fig. 3.55 ON/OFF Bomba y ventilador #3

Fuente: Elaborada por el autor

En esta pantalla se encuentra el encendido y apagado de la bomba y ventilador del condensador evaporativo # 4, como indica la figura 3.56.



Fig. 3.56 ON/OFF Bomba y ventilador #4

Fuente: Elaborada por el autor

En esta pantalla se programa el encendido y apagado de la torre de enfriamiento de agua Protón, así como las temperaturas de salida de agua del proceso y la temperatura de carga del CO2 liquido en el semitrailer, tal como muestra la figura 3.57.

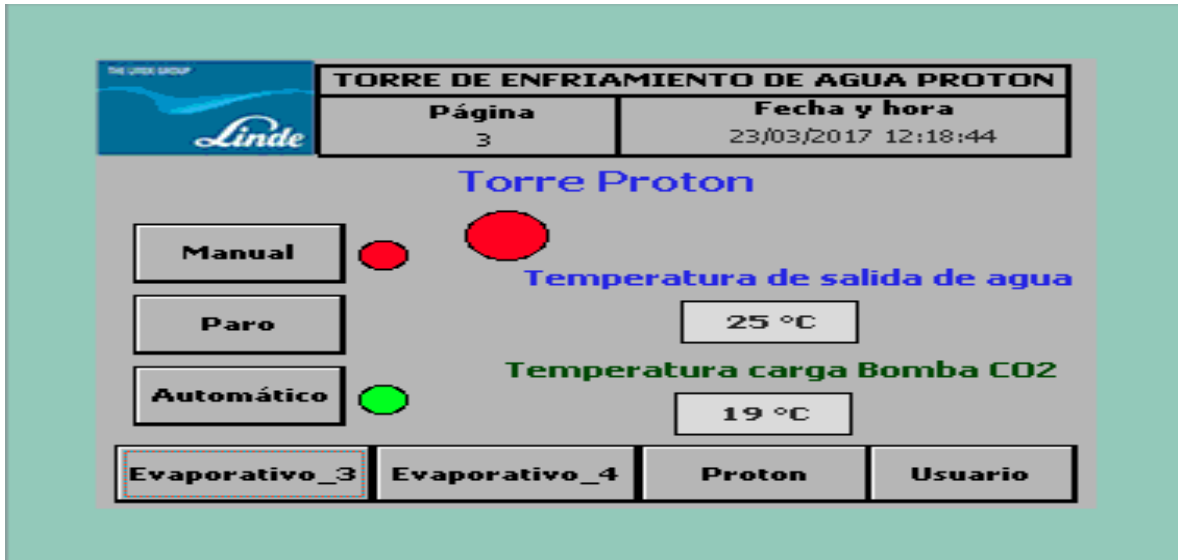


Fig. 3.57 ON/OFF Motor torre protón

Fuente: Elaborada por el autor

RELOJ: Tomada directamente del programa instalado, ver figura 3.58.

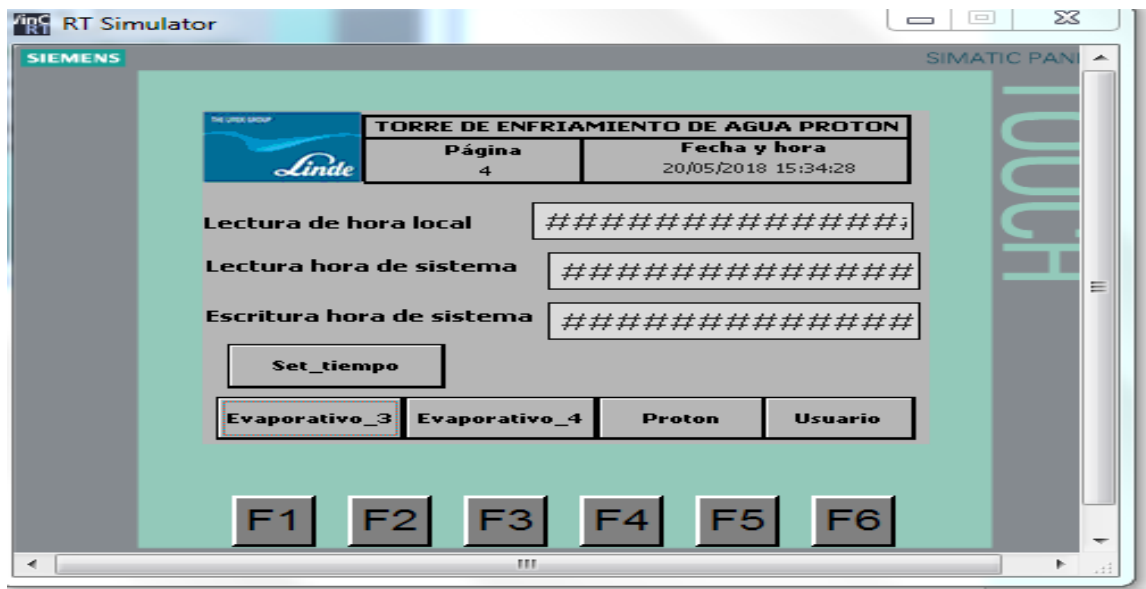


Fig. 3.58 Pantalla reloj

Fuente: Elaborada por el autor

HOROMETRO: Tomada directamente del programa instalado, ver figura 3.59.

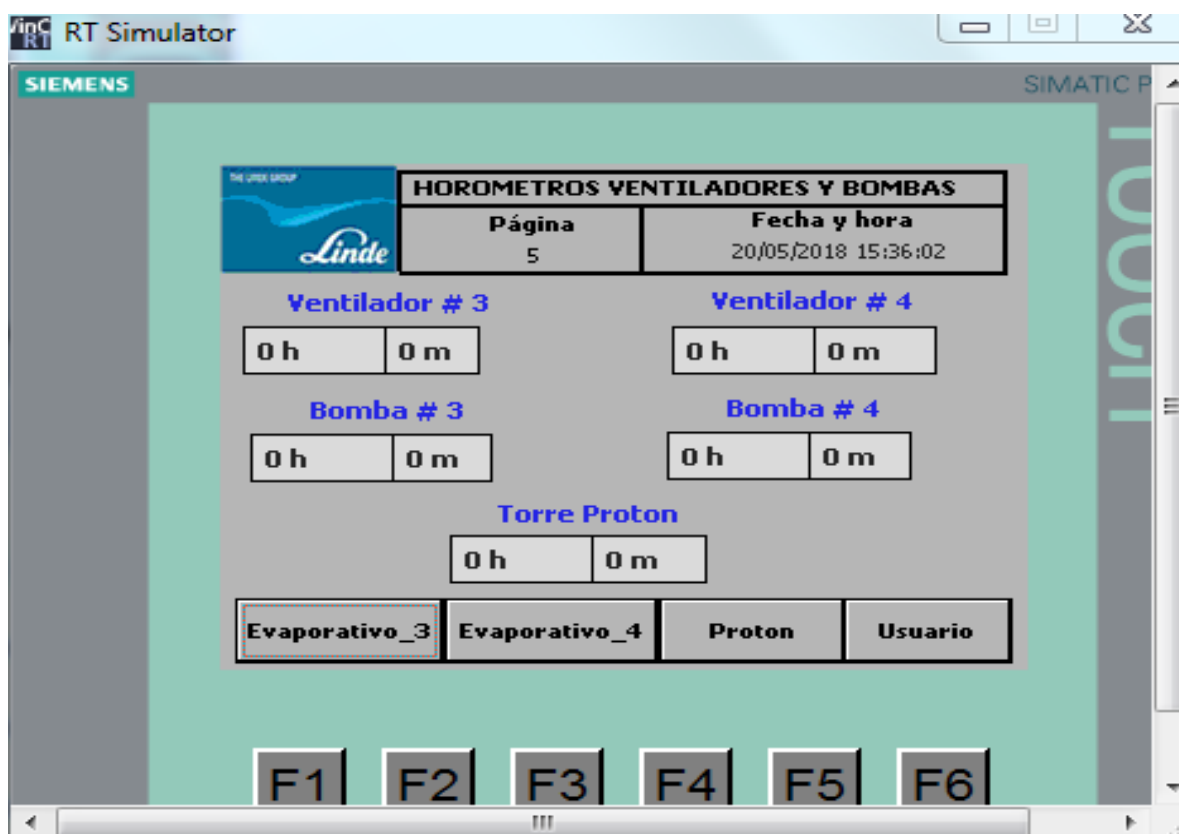


Fig. 3.59 Pantalla horómetro

Fuente: Elaborada por el autor

3.11.5 Presupuesto

La planta CO₂ de la empresa Linde Ecuador S.A va a financiar en su totalidad el costo del proyecto a ser implementado en sus instalaciones, cabe indicar que al ser una multinacional tiene relaciones directas con proveedores locales e internacionales lo que hace que se maneje descuentos especiales para la compra de dichos elementos, en este caso se cotiza con la empresa INASEL, la cual brinda descuentos de hasta 25% del total de la solicitud de compra.

En la tabla 3.13 se puede observar el presupuesto de los equipos, elementos de control y protección, actuadores, los cuales van a ser ocupados en el presente proyecto.

Tabla 3.13 Presupuesto

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	Valor unitario USD	Total USD
1	1	PLC S7-1200, CPU 1214C AC/DC/Relé	569,25	569,25
2	1	Módulo de señales analógicas 4 entradas	378	378
3	1	Módulo de señal de 4 entradas análogas tipo RTD	400	400
4	1	Módulo de señales digitales 8 entradas	166,5	166,5
5	1	Módulo de señales digitales 8 salidas	166,5	166,5
6	1	pantalla táctil KTP 500	600	600
7	3	Sensor de temperatura PT100 WATLOW	170	510
8	1	Fuente SITOP 110/220 VAC - 24VDC a 5 A	251,25	251,25
9	1	Breaker caja moldeada 3P-30AMP	69	69
10	4	Contactores 3P 32Amp bobina 220V	67,68	270,72
11	100	Metros cable flexible # 16 AWG negro	0,195	19,5
12	100	Metros cable flexible # 16 AWG rojo	0,195	19,5
13	100	Borneras para riel din para cable 16AWG con puentes	1,13	113
14	5	Relés de 8 pines 24Vdc	16,5	82,5
15	1	Tubería y accesorios conduit	400	400
16	1	Gabinete metálico de doble fondo de 70cm x 50cm y x 20c	120	120
17	1	Válvula de asiento inclinada 1" simple efecto modelo 5060	301	301
18	1	Bomba dosificadora P121-358TI	519,78	519,78
		TOTAL		USD 4956,5

Fuente: Elaborado por el autor

CAPÍTULO 4

IMPLEMENTACIÓN

4.1 Desarrollo

El sistema de refrigeración de la planta es usado para evitar el calentamiento de las máquinas tales como: compresores de CO₂, compresores de Amoniaco (NH₃), Condensadores evaporativos, torre de enfriamiento, en los ANEXOS 9 y 10 (PI&D 302-303) podemos observar el flujograma de dicho sistema de la planta CO₂.

Al poner en marcha este proyecto se tiene por objeto optimizar y desarrollar el sistema que se encarga de controlar el nivel de agua y su calidad para que pueda realizar el proceso de refrigeración correctamente, evitando que el operador manipule el proceso y, simplemente se vea encargado de realizar un control de rutina cada cierto tiempo para controlar que los valores se encuentren en el estándar, cuyos valores referenciales son: pH $\leq 8,2$, la conductividad 1500 μs , presión 140 PSI, la temperatura $\leq 27^{\circ}\text{C}$. Además, se contará con un sistema HMI para el control y visualización de las principales variables involucradas en el sistema en tiempo real, para evitar las paradas no programadas, altos consumos de agua, altas temperaturas en los equipos y disminución de TDS (Total de sólidos disueltos), y reducción del consumo de energía eléctrica de este circuito.

4.2 Implementación

Se realizará la automatización del sistema de control de nivel y calidad de agua con un PLC SIEMENS S7-1200 serie 1214C AC/DC/RLY, utilizando para ello sensores de nivel, bombas dosificadoras, electroválvulas, sensores de temperatura, sensores de conductividad, transmisores de presión, los cuales permitirán controlar las variables de presión, temperatura, conductividad de agua, nivel de agua, purgas, y así optimizar el sistema que actualmente ocasiona paradas de planta no programadas, saturación de filtros, altas temperaturas en los equipos y emisiones al ambiente.

Se instaló en la piscina principal un sensor de nivel tipo varillas, como se indica en la figura 4.2 el cual envía una señal al PLC cuando el nivel del agua baje para que encienda la bomba principal como se muestra en la figura 4.1 y el líquido ingrese nuevamente a la piscina.



Fig. 4.1 Bomba principal de agua

Fuente: Elaborada por el autor



Fig. 4.2 Sensor de nivel tipo varilla

Fuente: Elaborada por el autor

De igual manera se instalaron sensores de tipo varilla en los condensadores evaporativos para mantener el nivel adecuado de agua y el amoniaco cumpla con el proceso de condensación requerido, caso contrario al no tener la suficiente cantidad de agua el amoniaco regresará en estado gaseoso al depósito y esto hará que se eleven las presiones provocando que los equipos dejen de trabajar inesperadamente, como se muestra en la figura 4.3.

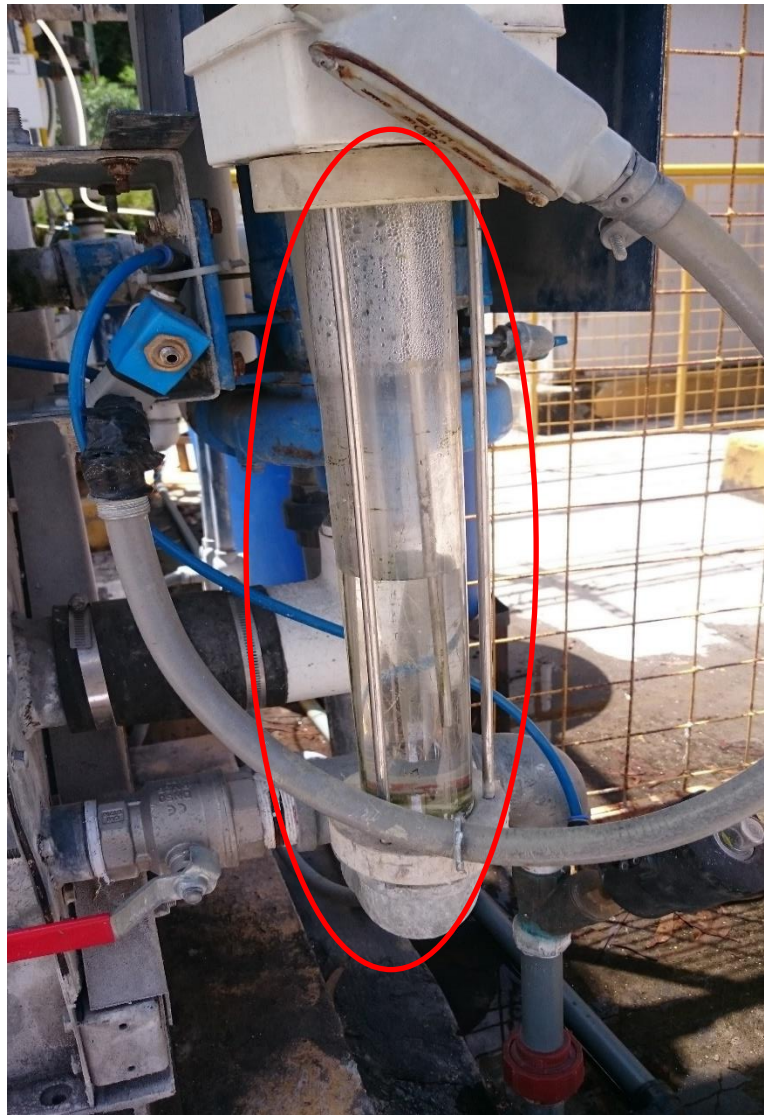


Fig. 4.3 Sensor de nivel en condensador evaporativo

Fuente: Elaborada por el autor

El sensor de conductividad instalado en la piscina principal será el encargado de medir la conductividad eléctrica del agua, este envía una señal analógica al PLC para iniciar el proceso de dosificación para lo cual se instalaron bombas dosificadoras (ANEXO 11) en la piscina y en los condensadores evaporativos, las cuales realizan el proceso de inyección automático del químico en el agua para mantener un valor cercano a los 1500 μS . ya que si este valor supera el parámetro establecido se tendrá incrustaciones en las tuberías, valores de los TDS (total sólidos disueltos) altos, corrosión en los equipos y evidentemente será causal de que los equipos dejen de funcionar de manera correcta y reduzcan su eficiencia durante el proceso, como se muestra en las figuras 4.4 y 4.5.

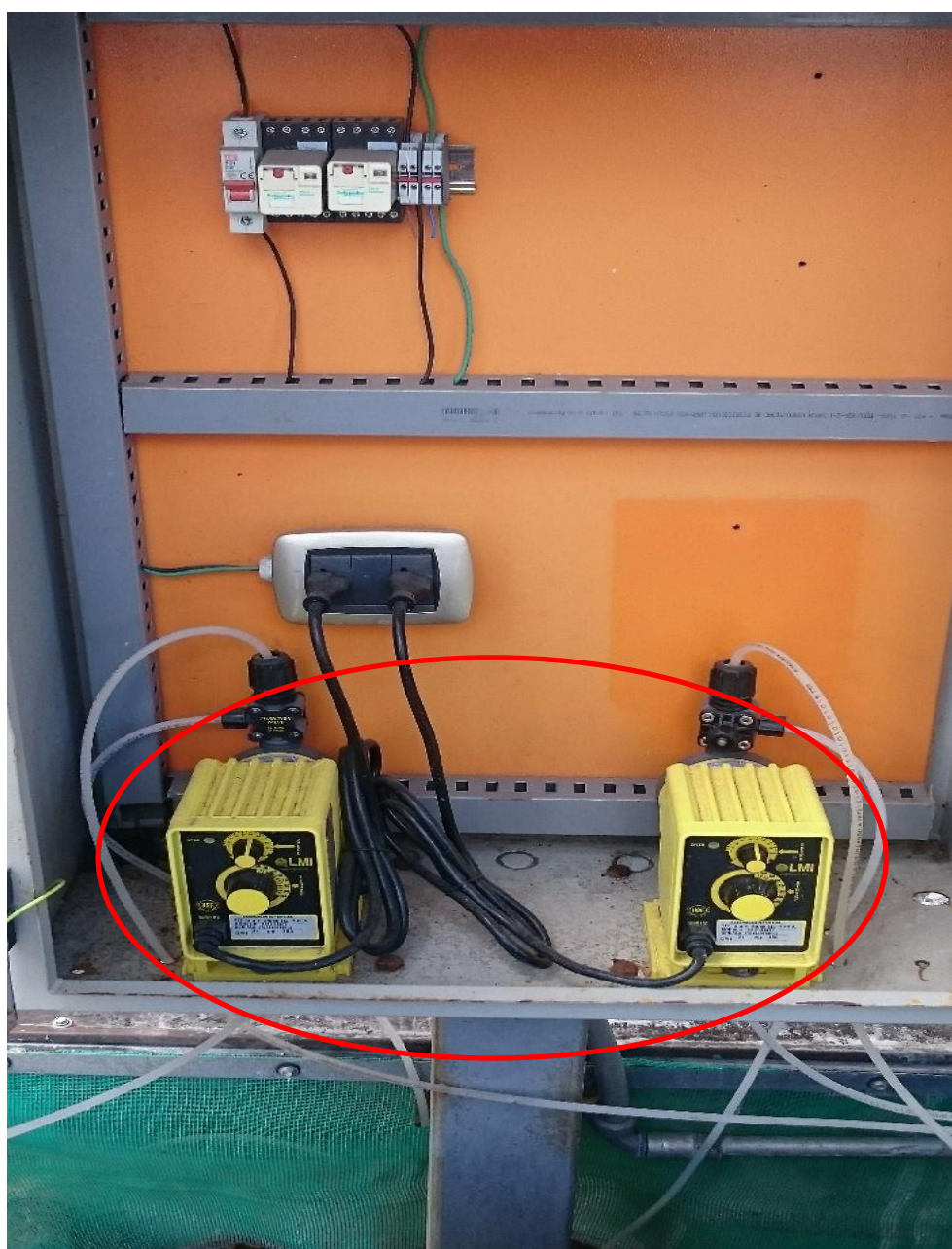


Fig. 4.4 Bombas dosificadoras de la piscina

Fuente: Elaborada por el autor

**Fig. 4.5 Bomba dosificadora en condensador evaporativo**

Fuente: Elaborada por el autor

Se instalaron electroválvulas marca DANFOSS en los condensadores las cuales realizarán la purga del agua de mala calidad y retroalimentarán el agua tratada, como se muestra en la figura 4.6.



Fig. 4.6 Electroválvula DANFOSS

Fuente: Elaborada por el autor

El nivel térmico se va ver controlado por un sensor de temperatura Pt-100 el cual es instalado directamente en la tubería por la cual retorna el agua por lo tanto la temperatura del líquido debe sostenerse en máximo 28°C caso contrario el PLC está programado para

dar la orden de que el ventilador del equipo de enfriamiento se encienda y la temperatura pueda mantenerse en el nivel adecuado en la figura 4.7 se muestra la torre de enfriamiento protón donde se instala el sensor.

**Fig.
4.7**



Torre de enfriamiento protón

Fuente: Elaborada por el autor

En el tablero eléctrico se encuentran los circuitos de control, tal como se muestra en la figura 4.8 y 4.9, fuerza del proceso además de una pantalla táctil en la cual el operador de planta podrá realizar la toma de lecturas de las variables (temperatura, presión, control de nivel de agua, alarmas) el proceso tiene 2 opciones de operación como es automática y manual.



Fig. 4.8 Tablero eléctrico principal

Fuente: Elaborada por el autor

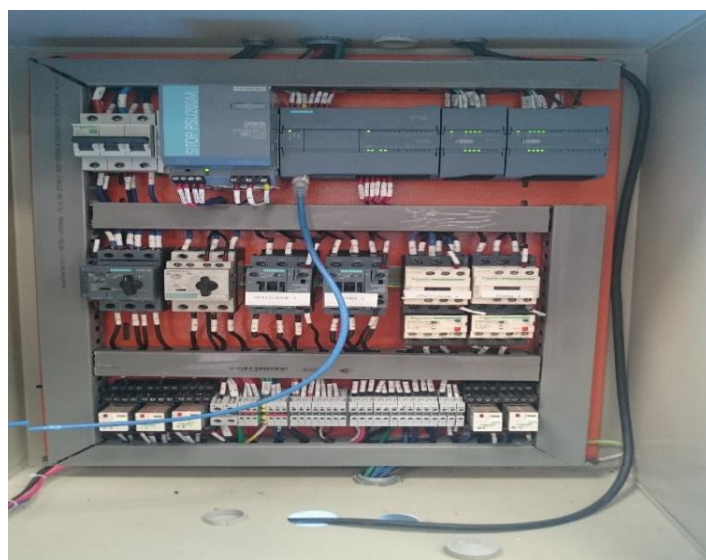


Fig. 4.9 Parte interior tablero eléctrico principal

Fuente: Elaborada por el autor

4.3 Pruebas de funcionamiento

Una vez finalizado el cableado en el tablero de control, se realizó una verificación de las conexiones midiendo continuidad entre las borneras y los terminales de los elementos conectados a estos (sensores de nivel, electroválvulas, transmisores de presión y temperatura), de acuerdo con las hojas técnicas de cada elemento.

Para probar los sensores de nivel se procedió a llenar un recipiente con agua y sumergir los electrodos, comprobando que por la conductividad del agua se cierra o abre el contacto programado en el PLC. En la pantalla táctil se visualiza el respectivo cambio de estado, es decir, por nivel normal, alto nivel, bajo nivel, mediante una luz piloto de color verde, anaranjado y rojo respectivamente como se muestra en las figuras 4.10.

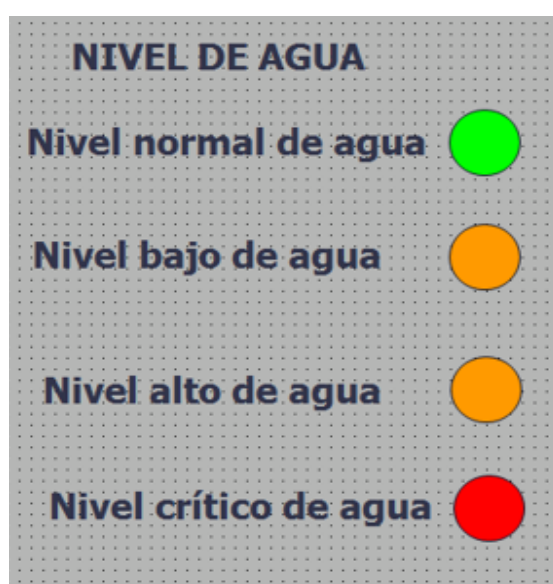


Fig. 4.10 Activación alarmas en pantalla táctil nivel agua

Fuente: Elaborado por el autor

Para realizar las pruebas en los transmisores de presión se procedió a colocar un manómetro patrón en paralelo al transmisor en el punto de medida con lo cual se obtuvo una diferencia de 8 Psig por lo que se tuvo que realizar un ajuste en la programación de la entrada analógica en el bloque NORM_X en la opción MIN, el valor se cambió de 5530 a 4000 siendo estos valores de ingeniería.

Durante las pruebas de funcionamiento de temperatura en la pantalla táctil se observó un valor de 20°C, se realiza una comparación con el valor medido por el sensor infrarrojo de temperatura (calibrado) obteniendo un valor de 20.5°C, por lo que la diferencia de

medidas es mínima y aceptable en el proceso. Si la temperatura se encuentra entre los 18°C y 27°C se activará la luz piloto de color verde, si excede el valor de los 27°C se activará la alarma de sobre temperatura (luz indicadora roja), enviando una señal para encender el motor de la torre de enfriamiento, esto se lo visualiza en la figura 4.11.

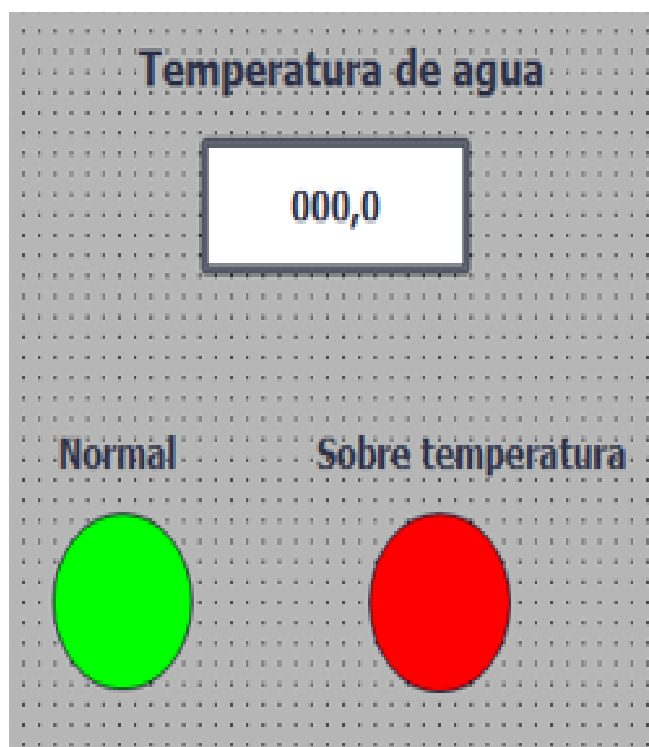


Fig. 4.11 Activación alarmas en pantalla táctil temperatura

Fuente: Elaborado por el autor

En la tabla 4.1 se muestran los resultados obtenidos de cada una de las pruebas realizadas a cada elemento y/o componente del sistema, esto antes de poner en marcha el proyecto implementado para que de ser necesario se realice alguna modificación ya sea mediante programa o en las diferentes conexiones.

Para comprobar el funcionamiento de los transmisores de conductividad y pH se compara los valores medidos por estos transmisores con la lectura que se toma de un equipo externo calibrado, las diferencias entre estas mediciones no fueron relevantes, es decir, se aceptó por el departamento de Calidad de la planta que se mantengan dichas mediciones, por lo que no se tuvo que realizar cambios en los bloques de programa del PLC.

Tabla 4.1 Pruebas realizadas en los diferentes equipos

Tarea	Tipo de tarea	Descripción	Cumple		Observación
			SI	NO	
1	Pruebas sensor nivel 1	Alto nivel	x		Sin Novedad
		Bajo nivel	x		Sin Novedad
2	Pruebas sensor nivel 2	Alto nivel	x		Sin Novedad
		Bajo nivel	x		Sin Novedad
3	Pruebas sensor nivel 3	Alto nivel	x		Sin Novedad
		Bajo nivel	x		Sin Novedad
4	Pruebas sensor nivel 4	Alto nivel	x		Sin Novedad
		Bajo nivel	x		Sin Novedad
5	Activación Electroválvula 2	Manual	x		Sin Novedad
		Automático	x		Sin Novedad
6	Activación Electroválvula 3	Manual	x		Sin Novedad
		Automático	x		Sin Novedad
7	Activación Electroválvula 4	Manual	x		Sin Novedad
		Automático	x		Sin Novedad
8	Activación Purga 3	Manual	x		Sin Novedad
		Automático	x		Sin Novedad
9	Activación Purga 4	Manual	x		Sin Novedad
		Automático	x		Sin Novedad
10	Activación Purga 5	Manual	x		Sin Novedad
		Automático	x		Sin Novedad
11	Activación Purga 6	Manual	x		Sin Novedad
		Automático	x		Sin Novedad
12	Sensor conductividad 3	Pre-alarma	x		Sin Novedad
		Alarma	x		Sin Novedad
13	Sensor conductividad 4	Pre-alarma	x		Sin Novedad
		Alarma	x		Sin Novedad

Fuente: Elaborado por el autor

4.4 Análisis de resultados

Se obtuvieron resultados que fueron muy favorables y todo esto fue soportado en el sistema de control que se programó para este proyecto, ya que es muy amigable para el manejo de los técnicos de planta de la empresa Linde Ecuador S.A.

Aumentó la confiabilidad de la planta evitando paradas no controladas por bajos niveles de agua.

En la tabla 4.2, se muestran los valores aproximados de ahorro económico que se obtuvo con la implementación de este proyecto, mediante la reducción del tiempo de trabajo de los principales motores del sistema, haciendo que el consumo de energía disminuya significativamente.

Para la obtención de los datos de la tabla 4.2 se realizó las siguientes actividades:

- Se realizó las mediciones de voltajes (V) y corrientes (A) en cada una de las fases que alimentan a cada motor con un multímetro marca FLUKE del que se tomó el valor más alto de cada medición, dichos valores se ubicaron en la columna 2 y 3 de la tabla respectivamente.
- Los datos de las columnas 4 y 5 que son factor de potencia fp y eficiencia Eff fueron tomados de los datos de placa de cada motor.
- Se programó en el PLC horómetros para cada equipo y estos se los visualiza en la pantalla táctil, estos tiempos se ubicaron en la columna 7.
- Finalmente se comparó los datos obtenidos antes de la implementación del proyecto, con los datos que obtuvo del proyecto ya ejecutado donde se refleja un ahorro energético de USD 6165,51.

Con la implementación de los transmisores de conductividad y electroválvulas de purga en los condensadores evaporativos #3 y #4, se redujo el valor de esta variable (conductividad eléctrica) a valores cercanos de 1500 μ Siemens, disminuyendo las incrustaciones en los intercambiadores mejorando la transferencia de calor entre el amoniaco-agua.

Con la instalación de sensores de pH y bombas dosificadores en los equipos mencionados en el párrafo anterior el valor del pH actualmente es menor $\leq 8,2$, evitando corrosiones en las tuberías y equipos que hacen que disminuya su tiempo de vida útil.

EQUIPO	Voltaje (V)	Corriente (A)	Factor de potencia (fp)	Eficiencia (Eff)	Potencia (KW)	Horas de trabajo	Energía consumida (Kw/h)	Costo Kw/h (USD)	Total/día (USD)	Total/mes (USD)	Total/año (USD)
Torre Enfriamiento #2	230,3	14	0,9	0,87	5,02	24	138,48	0,08	11,08	332,36	3988,37
Torre Protón	232,1	14	0,76	0,87	4,27	24	117,86	0,08	9,43	282,86	3394,28
Torre Enfriamiento #1	229,8	16,5	0,73	0,87	4,79	24	132,10	0,08	10,57	317,03	3804,41
Bomba Cond. Evap. #3	230,2	2,6	0,86	0,87	0,89	24	24,56	0,08	1,97	58,96	707,47
Ventilador Cond. Evap. #3	230,2	5,9	0,86	0,87	2,02	24	55,74	0,08	4,46	133,78	1605,41
Bomba Cond. Evap. #4	229,1	2,4	0,8	0,87	0,76	24	20,99	0,08	1,68	50,38	604,58
Ventilador Cond. Evap. #4	229,3	10,5	0,77	0,87	3,21	24	88,48	0,08	7,08	212,34	2548,09
COSTO ANUAL \$											12664,24
EQUIPO	Voltaje (V)	Corriente (A)	Factor de potencia (fp)	Eficiencia (Eff)	Potencia (KW)	Horas de trabajo	Energía consumida (Kw/h)	Costo Kw/h (USD)	Total/día (USD)	Total/mes (USD)	Total/año (USD)
Torre Enfriamiento #2	230,3	14	0,9	0,87	5,02	8	46,16	0,08	3,69	110,79	1329,46
Torre Protón	232,1	14	0,76	0,87	4,27	8	39,29	0,08	3,14	94,29	1131,43
Torre Enfriamiento #1	229,8	16,5	0,73	0,87	4,79	8	44,03	0,08	3,52	105,68	1268,14
Bomba Cond. Evap. #3	230,2	2,6	0,86	0,87	0,89	18	18,42	0,08	1,47	44,22	530,60
Ventilador Cond. Evap. #3	230,2	5,9	0,86	0,87	2,02	18	41,81	0,08	3,34	100,34	1204,06
Bomba Cond. Evap. #4	229,1	2,4	0,8	0,87	0,76	18	15,74	0,08	1,26	37,79	453,44
Ventilador Cond. Evap. #4	229,3	10,5	0,77	0,87	3,21	18	66,36	0,08	5,31	159,26	1911,07
COSTO ANUAL \$											6498,73

AHORRO 6165,51

Tabla 4.2 Resultado ahorro energético

Fuente Elaborado por el autor

CONCLUSIONES

- Se implementó un sistema automatizado para controlar la refrigeración en una planta de CO₂.
- Las tecnologías que se establecieron para el control del sistema de refrigeración son el uso de software, equipos electrónicos, elementos de control, sensores, actuadores, los cuales en la actualidad ayudan a que los procesos sean de mayor eficiencia y calidad.
- Se diseñó el sistema de control de agua mediante la implementación de un PLC marca Siemens S7-1200 CPU 1214C AC/DC/Relé, 1 módulo de entradas SM 1231 tipo RTD, 1 módulo salidas analógicas SM1231, 1 módulo salidas digitales SM1222.
- Se implementó una pantalla Touch Screen KTP 600 Siemens en la cual se visualizan las lecturas instantáneas de control de nivel, conductividad eléctrica, temperatura y presión del agua, las cuales si presentan alguna desviación activarán pre-alarmas y alarmas que permiten tomar acciones correctivas y evitan que la planta detenga su producción.
- Se instaló sensores de conductividad eléctrica y electroválvulas de purga en los condensadores evaporativos, se logró reducir el valor de la conductividad en un 80% en el condensador evaporativo #4 y un 75% en el condensador evaporativo #3 y se disminuyó las incrustaciones en las tuberías mejorando la eficiencia de cada uno de estos equipos.
- Se instaló bombas dosificadoras en la piscina principal y en los condensadores evaporativos las cuales dependiendo del valor del pH del agua inyectan una cantidad de químico para controlarlo, de esta manera el valor promedio del pH se mantiene en 8,2.
- Se controló el tiempo de encendido y apagado del sistema de retro-lavado del ablandador mediante la programación de un TIMER en el PLC, el cuál envía una

señal al controlador del ablandador para que dicha tarea se realice diariamente a las 11:00am.

- Se redujo el consumo de energía eléctrica en el sistema usando lazos de control de temperatura en los motores de la torre de enfriamiento y condensadores evaporativos ya que dichos equipos ya no trabajan las 24 horas sino aproximadamente 12 horas generando así un ahorro económico de 50%.
- Se realizaron las pruebas de validación de parámetros previamente establecidos a cada uno de los elementos de instrumentación comprobando que los lazos de control programados cumplen su función de mostrar la lectura instantánea de las variables presión, temperatura, nivel, pH, conductividad y activación de alarmas, por lo que se demuestra que el sistema se encuentra automatizado.

RECOMENDACIONES

- Realizar la instalación tanto del circuito de fuerza como de control tomar en cuenta las seguridades de trabajar con electricidad, usar EPP (Equipos de Protección Personal) para de esta manera evitar daños graves de equipos electrónicos por sobrecorrientes y/o descargas eléctricas a las personas.
- Crear en el programa de mantenimiento MAXIMO los Tags de identificación de todos los equipos e instrumentos instalados en el sistema.
- Incluir en el programa de Mantenimiento MAXIMO la frecuencia de revisión y/o mantenimiento preventivo de los equipos e instrumentos instalados para su control y correcto funcionamiento
- Realizar un listado de los elementos de control e instrumentación críticos y tener un backup en bodega para que en caso de daños estos puedan ser reemplazados a la brevedad evitando largos tiempos de parada.
- En el caso de querer modificar algún parámetro de alarmas del sistema, se debe solicitar la autorización pertinente al departamento correspondiente, además de que se realice con el suficiente criterio técnico.
- Realizar la limpieza periódica de los visores de nivel de los condensadores evaporativos para evitar fallas en el sistema.
- Instalar un sistema de protección a tierra en el tablero eléctrico para evitar daños en equipos electrónicos y/o proteger a las personas por descargas eléctricas.
- Instalar un sistema de control en los tanques de los químicos dosificadores para que en caso de bajo nivel las bombas dosificadoras no entren en estado de cavitación y se quemem.

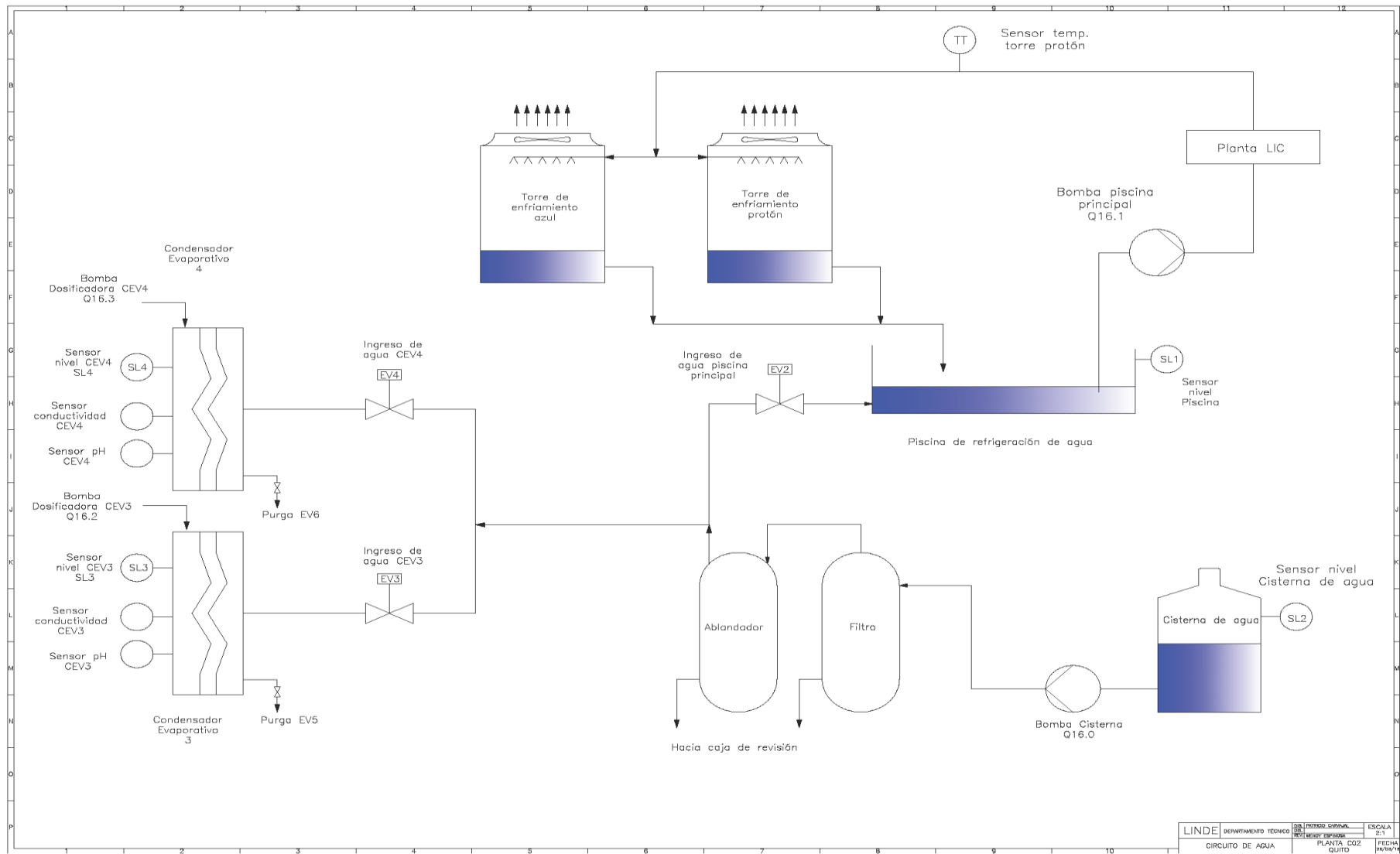
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Areny, R. P. (2012). *Sensores y Acondicionadores de señal*. Barcelona: Marcombo.
- AUTASTECH. (2015). Obtenido de <https://www.autastec.com>
- autor, E. p. (s.f.).
- BINMASTER. (2017). Obtenido de https://www.binmaster.com/_resources/e30d:odeexk-1gi/files/75612997z24fc7470/_fn/9250337_LL-100%20Manual%20Rev%200.pdf
- Corporation, W. I. (2008). *WIKA Instrument Corporation*.
- electrónica, c. s. (2012). edición 91 autómatas programables y PLC. *Revista saber electrónica*, 9.
- Emerson. (2016). *Emerson Automation Solutions*. Obtenido de <http://www.emerson.com/es-es/automation/measurement-instrumentation/level/continuous-level-measurement/about-non-contacting-radar>
- FRIGORIFICOS. (2015). Obtenido de <https://frigoristas.wordpress.com/condensadores>
- INDUSTRIES, J. (2017). Obtenido de <https://www.jola-info.de/fileadmin/Medien/Prospekte-Uebersicht/Jola-E.pdf>
- INDUSTRY, S. (2017). Obtenido de <https://www.industry.siemens.com/automation/aan/es/Pages/automation-technology.aspx>
- Ingenieros, B. (2017). *Ósmosis inversa/Nanofiltración Burkert*. España.
- Jacob-Fraden. (2012). *Handbook of modern sensors*. New York: Woodbury.
- Laboral, S. G. (1994). *vdocuments*. Obtenido de <https://vdocuments.site/documents/guia-legionelosis.html>
- MCIA. (2016). Obtenido de <https://www.baselogica.com/sistemas-refrigeracion/>
- MOTORES, M. (2012). Obtenido de <https://DiseñoConstruccióndeunRadiadordeAutomóvilparaelChvroletCorsa>
- OMEGA. (2017). Obtenido de <https://es.omega.com/pptst/LVCN414.html>
- P, S. &. (2017). *Sostenibilidad y Eficiencia Energética*. México.
- PERU, K. (2015). Obtenido de [https:// http://www.koboldperu.com](https://http://www.koboldperu.com)
- Ponsa, P. G. (2015). *Diseño y automatización Industrial*. 45.
- PROTÓN. (2009). Obtenido de <http://www.proton-colombia.com>

- QUIMINET. (2015). Obtenido de https://www.academia.edu/31676038/BOMBA_CENTRÍFUGA
- The Rosemount Level Marketing Team. (June 2013). *The Engineer's Guide to Level Measurement, 2013 Edition*. Chanhassen, MN, USA: Rosemount, Inc. Emerson Process Management.
- UNITARIAS, O. (2015). Obtenido de <https://operacionesunitarias1.files.wordpress.com/2011/07/unidad-iv>
- UNITRONICS. (2018). Obtenido de <http://www.side-automatizacion.com/es/marques/unitronics>
- VEGA CORPORATION. (2017). Obtenido de <https://www.vega.com>
- VEHÍCULO, R. (2012). Obtenido de <https://espaciocoche.com/sistema-de-refrigeracion-de-un-vehiculo/>
- Velasquez, J. (2015). *Los Sensores en la Producción*. Mérida.
- WANKEL. (2009). Obtenido de <http://wankelrotativomiguel.blogspot.com/2009/>
- Zimmer. (2018). Robótica y Automática. *Automatización para la Industria*, 51.

ANEXOS

ANEXO 1 CIRCUITO AGUA IMPLEMENTADO



LINDE	DEPARTAMENTO TÉCNICO	INGENIERO RESPONSABLE	ESCALA
	CIRCUITO DE AGUA	PLANTA CO2 QUITO	2:1
		FECHA	
		H/M/A/M	

ANEXO 2 PLC DATA SHEET



SIMATIC 57-1200 ANALOG INPUT,
8x AI RTD, 8 X AI RTD MODULE,

Supply voltage	
24 V DC	Yes
Input current	
Current consumption, typ.	90 mA
from backplane bus 8 V DC, typ.	80 mA
Power losses	
Power loss, typ.	1.5 W
Analog inputs	
Number of analog inputs	8; Resistance thermometer
permissible input frequency for current input (destruction limit), MAX.	± 35 V
Technical unit for temperature measurement adjustable	Degrees Celsius/digrees Fahrenheit
Input ranges	
Thermocouple	No
Resistance thermometer	Yes, Resistance type transmitter: Pt10, Pt50, Pt100, Pt200, Pt600, Pt1000, Ni100, Ni120, Ni200, Ni600, Ni1000, Cu10, Cu50, Cu100, LC Ni1000
Resistance	Yes, 100 Ω, 300 Ω, 600 Ω
Input ranges (rated values), resistance thermometers	
Cu 10	Yes

ANEXO 3 VALORES Pt100 RESPECTO A LA TEMPERATURA

°C	Ω	°C	Ω	°C	Ω	°C	Ω
-200	18.52	20	107.79	240	190.47	480	267.58
-195	20.68	25	109.73	245	192.29	485	269.25
-190	22.83	30	111.67	250	194.10	470	270.93
-185	24.97	35	113.61	255	195.91	475	272.61
-180	27.10	40	115.54	260	197.71	480	274.29
-175	29.22	45	117.47	265	199.51	485	275.97
-170	31.33	50	119.40	270	201.31	490	277.64
-165	33.44	55	121.32	275	203.11	495	279.31
-160	35.54	60	123.24	280	204.90	500	280.98
-155	37.64	65	125.16	285	206.70	505	282.64
-150	39.72	70	127.08	290	208.48	510	284.30
-145	41.80	75	128.99	295	210.27	515	285.96
-140	43.88	80	130.90	300	212.05	520	287.62
-135	45.94	85	132.80	305	213.83	525	289.27
-130	48.00	90	134.71	310	215.61	530	290.92
-125	50.06	95	136.61	315	217.38	535	292.58
-120	52.11	100	138.51	320	219.15	540	294.21
-115	54.15	105	140.40	325	220.92	545	295.85
-110	56.19	110	142.29	330	222.69	550	297.49
-105	58.23	115	144.18	335	224.45	555	299.12
-100	60.26	120	146.07	340	226.21	560	300.75
-95	62.28	125	147.95	345	227.96	565	302.38
-90	64.30	130	149.83	350	229.72	570	304.01
-85	66.31	135	151.71	355	231.47	575	305.63
-80	68.33	140	153.58	360	233.21	580	307.25
-75	70.33	145	155.46	365	234.96	585	308.87
-70	72.33	150	157.33	370	236.70	590	310.49
-65	74.33	155	159.19	375	238.44	595	312.10
-60	76.33	160	161.05	380	240.18	600	313.71
-55	78.32	165	162.91	385	241.91	605	315.31
-50	80.31	170	164.77	390	243.64	610	316.92
-45	82.29	175	166.63	395	245.37	615	318.52
-40	84.27	180	168.48	400	247.09	620	320.12
-35	86.25	185	170.33	405	248.81	625	321.71
-30	88.22	190	172.17	410	250.53	630	323.30
-25	90.19	195	174.02	415	252.25	635	324.89
-20	92.16	200	175.86	420	253.96	640	326.48
-15	94.12	205	177.69	425	255.67	645	328.08
-10	96.09	210	179.53	430	257.38	650	329.64
-5	98.04	215	181.36	435	259.08	655	331.22
0	100.00	220	183.19	440	260.78	660	332.79
5	101.95	225	185.01	445	262.48		
10	103.90	230	186.84	450	264.18		
15	105.85	235	188.66	455	265.87		

ANEXO 4 TABLA DE VARIABLES EXPORTADAS DEL PLC

Totally Integrated Automation Portal						
Condensador_evaporativo [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Variables PLC / Tabla de variables estándar [107]						
Variables PLC						
Variables PLC						
Nombre	Tipo de datos	Dirección	Remanencia	Visible en HMI	Accesible desde HMI	Comentario
<input type="checkbox"/> Entrada_presion_CEV3	Word	%W96	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Entrada_presion_CEV4	Word	%W98	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Temperatura_agua_refrigeracion	Word	%W112	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Emergencia	Bool	%I0.0	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Activa_emergencia	Bool	%M0.0	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Memoria_manual_C EVP3	Bool	%M0.1	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Memoria_automatica_C EVP3	Bool	%M0.2	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Memoria_encendido_C EVP3	Bool	%M0.3	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Ventilador_C EVP3	Bool	%Q0.0	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Memoria_manual_C EVP4	Bool	%M0.4	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Memoria_automatica_C EVP4	Bool	%M0.5	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Memoria_encendido_C EVP4	Bool	%M0.6	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Ventilador_C EVP4	Bool	%Q0.1	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Memoria_manual_proton	Bool	%M0.7	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Memoria_automatica_proton	Bool	%M1.0	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Memoria_encendido_proton	Bool	%M1.1	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Motor_proton	Bool	%Q0.2	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Marcha_manual_C EVP3	Bool	%M1.2	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Marcha_automatico_C EVP3	Bool	%M1.3	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Paro_C EV3	Bool	%M1.4	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Marcha_manual_C EVP4	Bool	%M1.5	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Marcha_automatico_C EVP4	Bool	%M1.6	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Paro_C EV4	Bool	%M1.7	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Marcha_manual_proton	Bool	%M2.0	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Marcha_automatico_proton	Bool	%M2.1	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Paro_proton	Bool	%M2.2	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Marcha_bomba3	Bool	%M2.3	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Paro_bomba3	Bool	%M2.4	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Bomba3	Bool	%Q0.3	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Marcha_bomba4	Bool	%M2.5	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Paro_bomba4	Bool	%M2.6	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Bomba4	Bool	%Q0.4	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Setear_tiempo	Bool	%M2.7	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Tag_1	DWord	%MD200	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Tag_2	Int	%MW200	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Tag_3	Int	%MW300	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Tag_4	Int	%MW350	False	True	True	
<input type="checkbox"/> segundos_1	Bool	%M3.0	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Minutos_1	Bool	%M3.1	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Tag_5	Int	%MW40	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Tag_6	Int	%MW42	False	True	True	
<input type="checkbox"/> minutos_2	Bool	%M3.2	False	True	True	
<input type="checkbox"/> segundos_2	Bool	%M3.3	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Tag_7	Int	%MW44	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Tag_8	Int	%MW46	False	True	True	
<input type="checkbox"/> segundos_3	Bool	%M3.4	False	True	True	
<input type="checkbox"/> minutos_4	Bool	%M3.5	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Tag_9	Int	%MW48	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Tag_10	Int	%MW50	False	True	True	
<input type="checkbox"/> segundos_4	Bool	%M3.6	False	True	True	
<input type="checkbox"/> minutos_3	Bool	%M3.7	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Tag_11	Int	%MW52	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Tag_12	Int	%MW54	False	True	True	
<input type="checkbox"/> segundos_5	Bool	%M4.0	False	True	True	
<input type="checkbox"/> minutos_5	Bool	%M4.1	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Tag_13	Int	%MW56	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Tag_14	Int	%MW58	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Entrada de nivel_bomba CO2	Int	%W114	False	True	True	
<input type="checkbox"/> Sensor de nivel_piscinas	Bool	%I0.1	False	True	True	

**ANEXO 5 PROGRAMA COMPLETO EXTRAÍDO DE LA MEMORIA
DEL PLC**

Totally Integrated Automation Portal				
Condensador_evaporativo [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Bloques de programa Main [OB1]				
Main Propiedades				
General				
Nombre	Main	Número 1	Tipo OB	Idioma KOP
Numeraación	automática			
Información				
Título	Automatización de condensadores evaporativos de NH3	Autor	Comentario	Familia
Versión	0.1	ID personalizada		
Nombre			Tipo de datos	
Valor predet.			Comentario	
▼ Input				
Initial_Call	Bool			Initial call of this OB
Remanence	Bool			→True, if remanent data are available
Temp				
Constant				
Segmento 1: Presion de evaporativos				
Simbolo	Dirección	Tipo	Comentario	
Segmento 2: Temperatura proton				
Simbolo	Dirección	Tipo	Comentario	
Segmento 3: Arranque de condensadores evaporativos de NH3				
Simbolo	Dirección	Tipo	Comentario	
Segmento 4: Arranque de Torre de Enfriamiento Proton				
Simbolo	Dirección	Tipo	Comentario	
Segmento 5: Arranque de bombas de evaporativos # 3 y # 4				
Simbolo	Dirección	Tipo	Comentario	
Segmento 6: Reloj				
Simbolo	Dirección	Tipo	Comentario	

**ANEXO 6 DIAGRAMA DEL SISTEMA PROGRAMADO EN SU
TOTALIDAD**

SIEMENS

SIMATIC S7-1200

RUN/STOP
ERROR
MAINT

00: RWLAN



Emergencia
Sensor de nivel...
Sensor de nivel...
Sensor de nivel...
Sensor de nivel...
Termico bomb...
Termica bomba...
Termico motor...

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

CPU 1214C
AC/DC/Ry

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

Ventilador CF...
Ventilador CF...
Motor bomba3
Bomba3
Bomba4
Electrovalvula...
Electrovalvula...
Electrovalvula...
Purga CEV3
Purga CEV4

Entrada presio...
Entrada presio...
Sensor pH CEV3
Sensor pH CEV4

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

SM 1231
AI

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

Sensor conduc...
Sensor conduc...
%IW108
%IW110
%IW110

Temperature ...
Entrada de rtd...
%IW110
%IW110

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

SM 1231
RTD

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

%IW120
%IW122
%IW124
%IW126

Bomba cisterna
Bomba piscina
Bomba doctific...

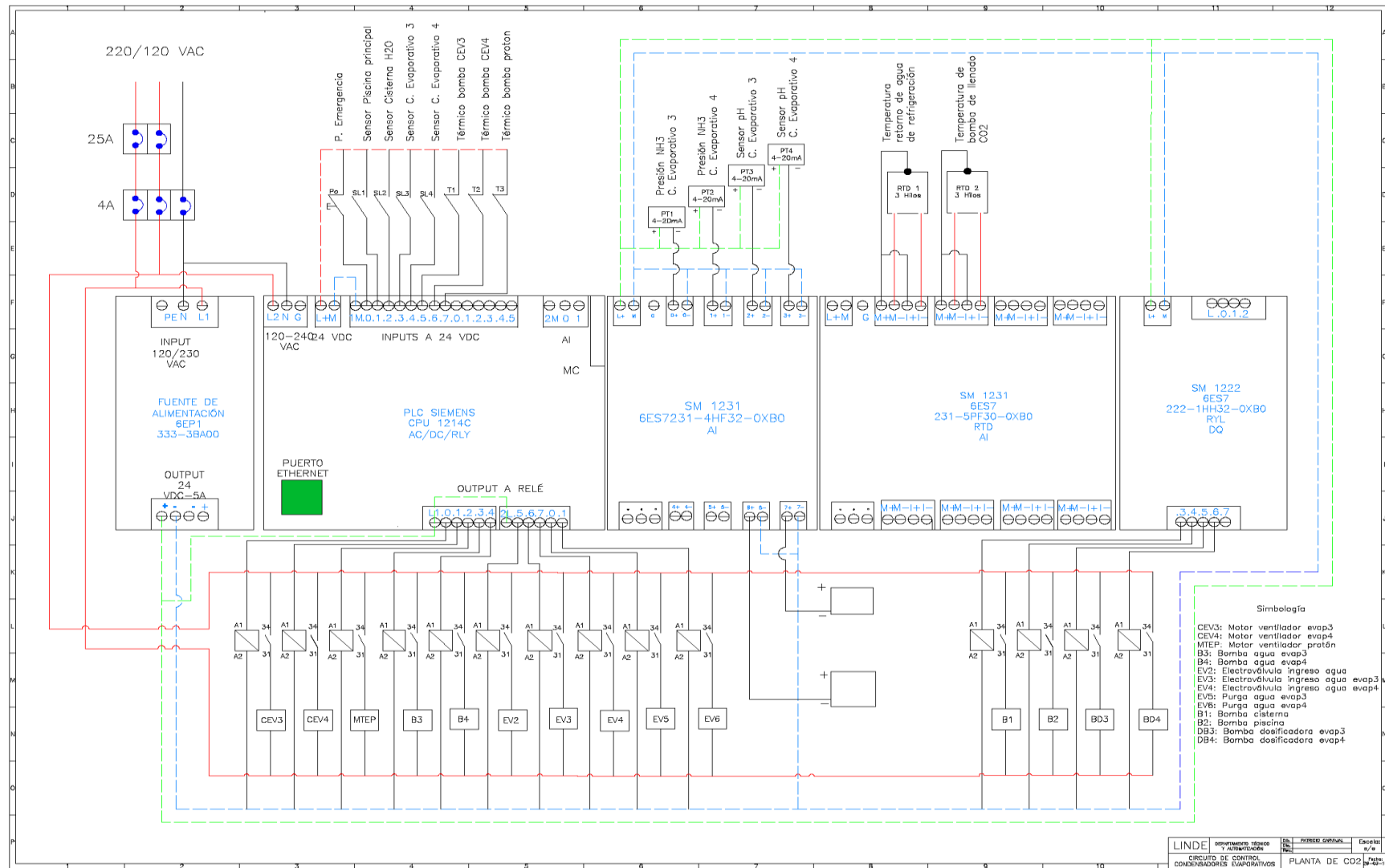
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

SM 1222
RLY

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

Bomba doctific...
%OI16.4
%OI16.5
%OI16.6
%OI16.7

ANEXO 7 DIAGRAMA UNIFILAR Y DE CONEXIONES DEL PLC



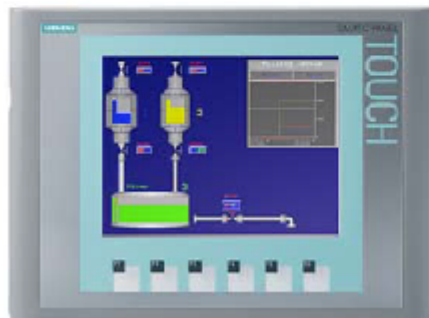
ANEXO 8 DATA SHEET PANTALLA KTP 600

SIEMENS

Data sheet

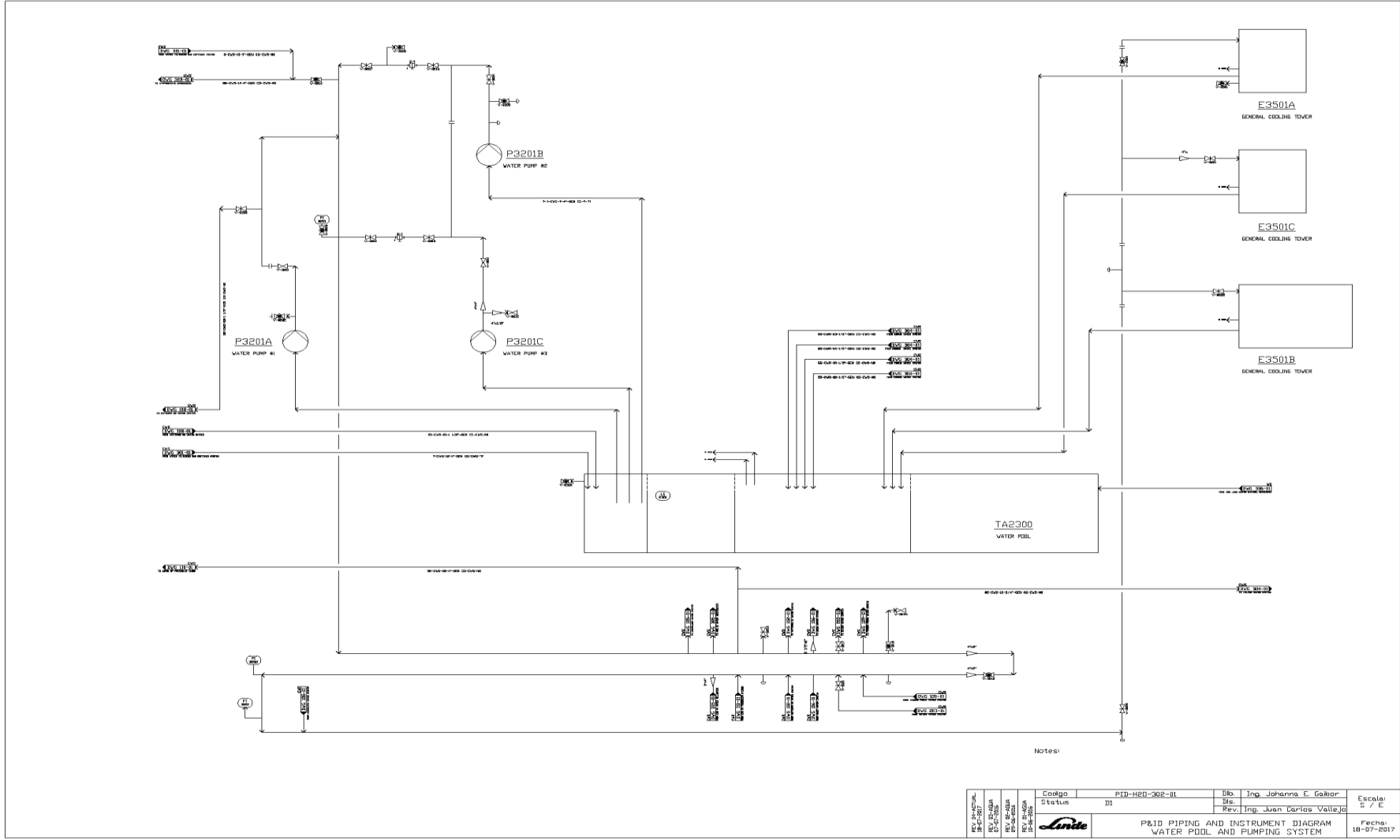
6AV6647-0AC11-3AX0

SIMATIC HMI KTP600 Basic Color DP, Basic Panel, Key/touch operation, 6" TFT display, 256 colors, MPI/PROFIBUS DP interface, configurable as of WinCC flexible 2008 SP2 Compact/ WinCC Basic V11/ STEP 7 Basic V11, contains open-source software, which is provided free of charge see enclosed CD



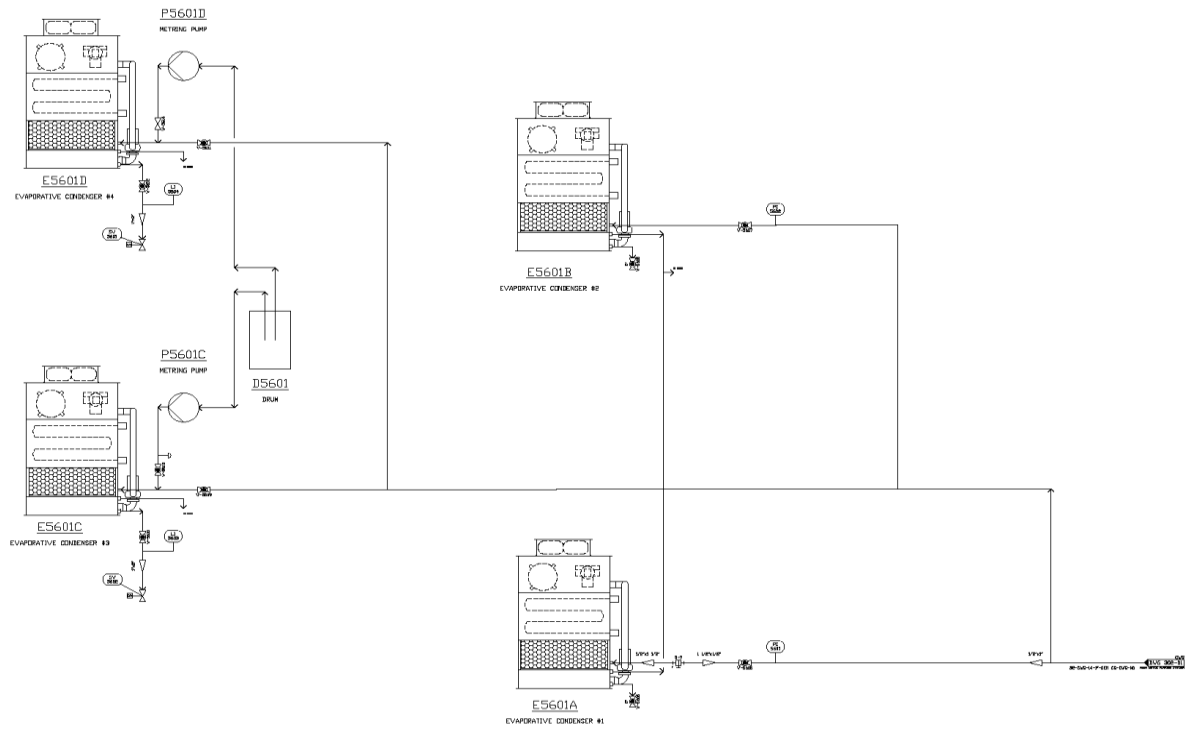
General information	
Product type designation	KTP600 Basic color DP
Display	
Design of display	TFT
Screen diagonal	5.7 in
Display width	115.2 mm
Display height	86.4 mm
Number of colors	256
Resolution (pixels)	
• Horizontal image resolution	320 Pixel
• Vertical image resolution	240 Pixel
Backlighting	
• MTBF backlighting (at 25 °C)	50 000 h
• Backlight dimmable	No
Control elements	
Keyboard fonts	
• Function keys	
— Number of function keys	6

**ANEXO 9 Y 10 PI & D DEL CIRCUITO DE AGUA REFRIGERACION
DE PLANTA CO2**



Notes:

REV. 01	DATE	DESCRIPTION	CODE	STATUS	PROJECT	DESIGNED BY	CHECKED BY	DATE	SCALE
				01	PID-H20-302-01	Ing. Johanne E. Galbar			5 / 6
						Rev. Ing. Juan Carlos Vallejo			
			P&ID PIPING AND INSTRUMENT DIAGRAM WATER POOL AND PUMPING SYSTEM				Fecha: 18-07-2017		



Notes:

REVISADO POR: REV. 02-2014 REVISADO POR: REV. 03-2014 REVISADO POR: REV. 04-2014	Código	PIB-H20-203-01	Dib.	Ing. Johanna E. Galbán	Escala: S / E
	Status	DI	Dib.	Rev. Ing. Juan Carlos Vallejo	
		P&ID PIPING AND INSTRUMENT DIAGRAM WATER SYSTEM OF EVAPORATIVE CONDENSERS			Fecha: 18-07-2017

ANEXO 11 BOMBAS DOSIFICADORAS

Configuration Data

Model **P14** **1** **358SI**

Electronic Metering Pumps

Manual Control

Speed (stroking frequency) fixed and stroke length manually adjustable.

- P02 — 0.20 GPH (0.79 l/h) — 150 psi (10.3 Bar)
- P03 — 0.42 GPH (1.6 l/h) — 110 psi (7.6 Bar)
- P04 — 0.58 GPH (2.2 l/h) — 250 psi (17.2 Bar)
- P05 — 1.00 GPH (3.8 l/h) — 110 psi (7.6 Bar)
- P06 — 2.00 GPH (7.6 l/h) — 50 psi (3.4 Bar)

Dual Manual Control

Speed (stroking frequency) and stroke length manually adjustable.

- P12 — 0.20 GPH (0.79 l/h) — 150 psi (10.3 Bar)
- P13 — 0.42 GPH (1.6 l/h) — 110 psi (7.6 Bar)
- P14 — 0.58 GPH (2.2 l/h) — 250 psi (17.2 Bar)
- P15 — 1.00 GPH (3.8 l/h) — 110 psi (7.6 Bar)
- P16 — 2.00 GPH (7.6 l/h) — 50 psi (3.4 Bar)

Instrument Responsive / Manual

Manual adjustment features of Series P1 plus switch conversion to external control for automatic systems.

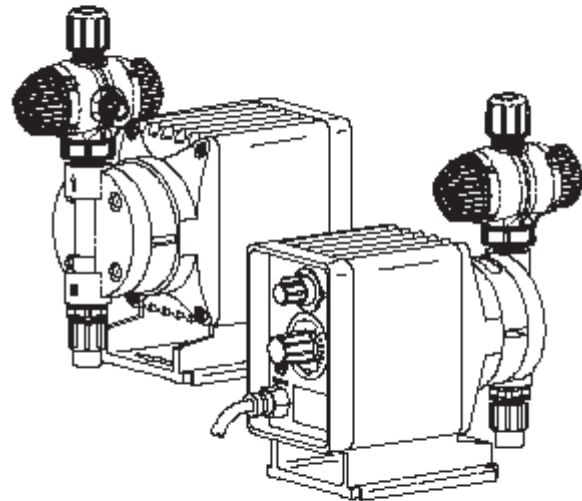
- P74 — 0.58 GPH (2.2 l/h) — 250 psi (17.2 Bar)
- P75 — 1.00 GPH (3.8 l/h) — 110 psi (7.6 Bar)
- P76 — 2.00 GPH (7.6 l/h) — 50 psi (3.4 Bar)

Voltage Code

- 1 — 120 VAC US Plug
- 2 — 240 VAC US Plug
- 3 — 220-240 VAC DIN Plug
- 5 — 240-250 VAC, UK Plug
- 6 — 240-250 VAC, Aust/NZ Plug
- 7 — 220 VAC, Swiss Plug

Liquid End

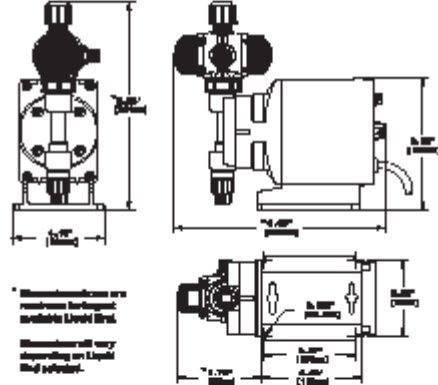
See next page for complete liquid end specifications and selection.



Specifications

Series	Strokes Per Minute (Adjustable)		Stroke Length (Adjustable) Recommended Minimum	Average Input Power @ Max Speed	Shipping Weight
	Min	Max			
P02, P03	fixed - 60		30%	22 watts	7.6 lbs (3.5 kg)
P04, P05	fixed - 100		20%		
P06	fixed - 60	100	30%		
P12, P13	.6	60	30%	22 watts	7.6 lbs (3.5 kg)
P14, P74	1		20%		
P15, P75	100				
P16, P76	100				

Dimensions



* Measurements are nominal for liquid ends available liquid end.
 Measurements may vary depending on liquid end selected.

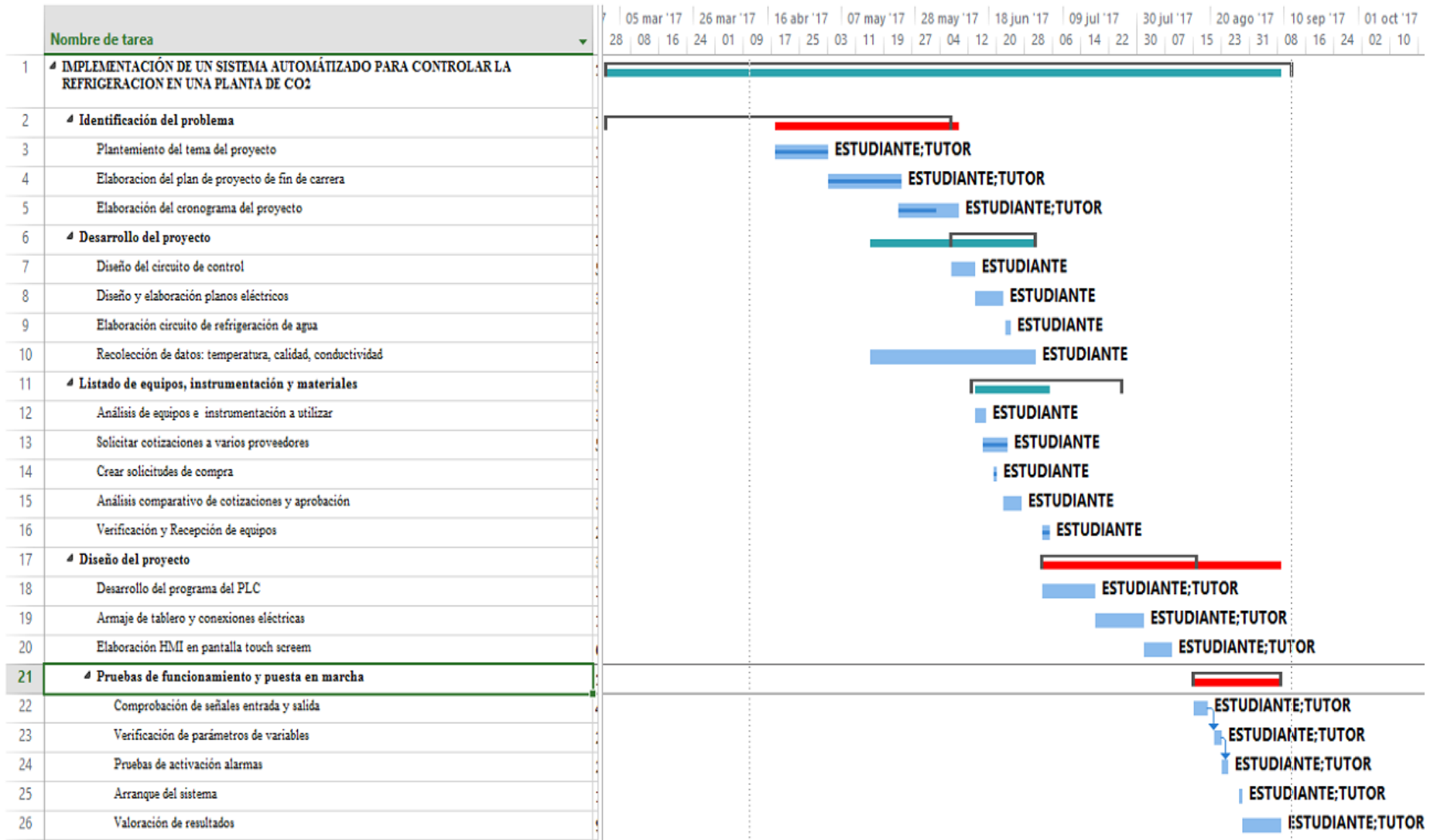


201 Ivyland Road
 Ivyland, PA 18974 USA
 TEL: (215) 293-0401
 FAX: (215) 293-0445
<http://www.lmipumps.com>

Replaces same of Rev.B 6/2012
 1998.C 11/2014

ANEXO 12 CRONOGRAMA

DIAGRAMA DE GANTT



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, Edison Patricio Carvajal Basantes, CI 1716222409 autor del trabajo de graduación:

“Implementación de un sistema automatizado para controlar la refrigeración en una planta de CO2.”, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Electrónica Digital y Telecomunicaciones** en la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de difundir el respectivo trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de graduación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, Septiembre del 2018

Atentamente.

Edison Patricio Carvajal Basantes.

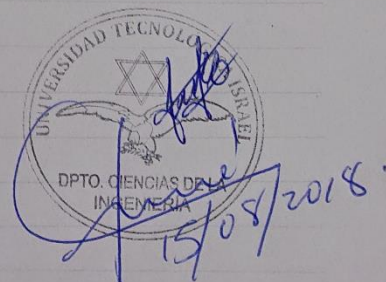
C.I. 1716222409

PLAG SCAN

Fecha: 2018-08-07 18:46 UTC

* Todas las fuentes 100 Fuentes de internet 100

- ✓ [0] [bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10589/1/CD-6276.pdf](#) 0.6% 73 resultados
- ✓ [1] [https://docplayer.es/64752389-Avances-de...stado-de-sonora.html](#) 1.2% 18 resultados
- ✓ [2] [www.itc.es/es/aplicaciones.html](#) 0.0% 11 resultados
- ✓ [3] [https://documentop.com/diseo-e-implem...723dd5b692dadf5.html](#) 0.7% 17 resultados
- ✓ [4] [https://vdocuments.mx/documents/02fs.html](#) 0.8% 17 resultados
- ✓ [5] [https://vdocuments.site/documents/guia-legionelosis.html](#) 0.5% 15 resultados
- ✓ [6] [www.plastico.com/producto-descripcion/Tr...Showroom123260117242](#) 0.0% 7 resultados
- ✓ [7] [https://vdocuments.mx/documents/cap-14-condensadores-y-torres-de-enfriamiento.html](#) 0.6% 14 resultados
- ✓ [8] [https://vdocuments.mx/documents/guia-tec...n-instalaciones.html](#) 0.5% 14 resultados
- ✓ [9] [https://vdocuments.mx/documents/caldera.html](#) 0.5% 11 resultados
- ✓ [10] [https://www.interempresas.net/Medicion/Articulos/41365-Metodos-de-medida-a-nivel.html](#) 0.0% 8 resultados
- ✓ [11] [www.itc.es/es/aplicaciones7-agricultura-y-ganaderia.html](#) 0.0% 7 resultados
- ✓ [12] [www.metrikalab.mx/equipos-que-calibramos/equipos-de-temperatura/](#) 0.0% 10 resultados
- ✓ [13] [https://www.slidshare.net/AndreaBlancoC/sensores-temperatura](#) 0.3% 6 resultados
- ✓ [14] [https://www.solerpalau.com/es-es/blog/sensor-temperatura/](#) 0.0% 6 resultados
- ✓ [15] [https://www.dirind.com/vdae/monografia.php?cla_id=14](#) 0.2% 5 resultados
- ✓ [16] [www.brammertz.com/es/contenido.php?551/p...nanofiltraci_.html](#) 0.0% 6 resultados
- ✓ [17] [https://vdocuments.mx/documents/diseo-d...atizados-ardaya.html](#) 0.3% 11 resultados
- ✓ [18] [https://documentop.com/universidad-polit...723ddb404628b41.html](#) 0.4% 13 resultados
- ✓ [19] [https://vdocuments.site/documents/peqmanualdelfoquista2011cw.html](#) 0.4% 10 resultados
- ✓ [20] [https://prezi.com/udeq6-q_grt9/united-prez/](#) 0.3% 4 resultados
- ✓ [21] [threefisicboys.blogspot.com/2016/](#) 0.0% 7 resultados
- ✓ [22] [disinel.com/family.php?ki=13](#) 0.0% 5 resultados
- ✓ [23] [https://www.burkert.es/es/type/8112](#) 0.0% 5 resultados
2 documentos con coincidencias exactas
- ✓ [26] [www.emerson.com/es-es/automation/measure...non-contacting-radar](#) 0.0% 6 resultados
- ✓ [27] [https://vdocuments.site/documents/manual-tecnico-suelo-radiante-57054e7bbf78a.html](#) 0.4% 9 resultados
- ✓ [28] [https://es.omega.com/prodinfo/medicion-con-libra-optica.html](#) 0.0% 3 resultados
- ✓ [29] [https://prezi.com/wajls0ccwsc/tipos-de-termometros-industriales/](#) 0.1% 6 resultados
- ✓ [30] [https://docobook.com/manual-de-operacion-aduanera-indice-disposiciones.html](#) 0.3% 9 resultados
- ✓ [31] [https://docplayer.es/40142391-Sistema-de-control-de-planta.html](#) 0.3% 8 resultados
- ✓ [32] [https://docplayer.es/8919478-Proyecto-fin-de-carrera.html](#) 0.3% 10 resultados
- ✓ [33] [https://docplayer.es/74092117-Universida...gia-electronica.html](#) 0.3% 8 resultados
- ✓ [34] [https://www.mesurex.com/sensores-de-temperatura-por-libra-optica/](#) 0.0% 3 resultados
- ✓ [35] [https://balchmasteriberamerica.wordpress...o-de-funcionamiento/](#) 0.0% 4 resultados





MANUAL DE USUARIO

**Implementación de un sistema automatizado para
controlar la refrigeración en una planta de co2**

AUTOR:

Patricio Carvajal

AÑO 2018

1.- INTRODUCCIÓN

Este manual está diseñado para facilitar a los técnicos de planta la operación, control y visualización de las diferentes variables que intervienen en el proceso como son temperatura, nivel, presión, control de pH, tratamiento y dosificación de la calidad del agua en la planta de CO₂ de la empresa Linde Ecuador S.A.

El sistema de control consta de elementos de protección que se enfoca en la seguridad tanto de los operarios como de equipos, su adecuada operación ayudará a aumentar la vida útil de dichos equipos.

La constante supervisión de las variables antes mencionadas ayuda a tomar decisiones en tiempo real en caso de tener algún parámetro fuera de rango.

2.- FUNCIONES DEL SISTEMA:

Las funciones principales del sistema son de vital utilidad para la persona que lo va a manipular ya que le va a permitir supervisar constantemente si el sistema de refrigeración está trabajando correctamente, los parámetros que se puede supervisar son los siguientes:

- Niveles de presión, temperatura, conductividad eléctrica dentro del líquido.
- Inspección de los equipos cuando estos se encuentren encendidos o apagados
- Visualización de alarmas.
- Administrador de usuarios.
- Datos almacenados de niveles de presión y temperatura al instante
- Hora y fecha en tiempo real.
- Pulsadores táctiles de encendido y apagado de los equipos.
- Pulsadores táctiles para la operación del sistema en modo Manual/Automático.

3.- MODOS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA

Para cambiar de modo de operación Manual/Automático del sistema primero debemos pulsar el botón PARO antes de seleccionar la opción.

- **Manual.-** en este modo el operador tiene el control total del sistema para encender o apagar los equipos de acuerdo a su requerimiento.

- **Automático.**- en este modo el sistema trabaja de acuerdo a valores seteados de operación.

3.1 CONDENSADORES EVAPORATIVOS

MODO MANUAL.-

En la Figura 1 se muestra la pantalla de encendido y apagado tanto de la bomba como del ventilador del condensador evaporativo 3 y 4, para lo cual debemos seguir los siguientes pasos:

1.- Seleccionar el modo de operación Manual con el botón digital ubicado en la pantalla táctil, se enciende una luz indicadora de color verde al lado derecho de dicho botón.

2.- Pulsar el botón digital MARCHA de cada equipo y observar que estos se pinten de color verde para indicar que estos arrancaron.

3.- Controlar que la presión del equipo este dentro de los parámetros establecidos para su correcto funcionamiento (140 – 160Psi), caso contrario se debe revisar físicamente que los equipos estén trabajando.

4.- Las indicaciones anteriores aplican también para el Condensador evaporativo #4.

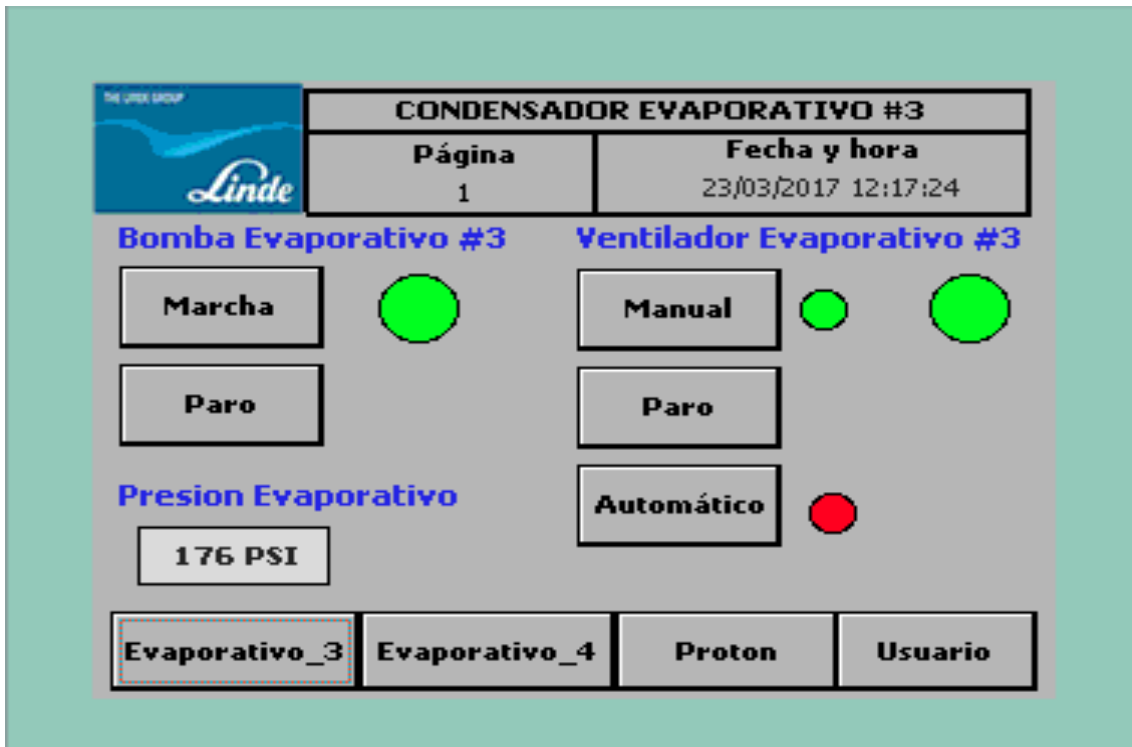


Figura 1.- Arranque/parada modo MANUAL Condensadores evaporativos.

MODO AUTOMÁTICO

En la Figura 2 se muestra la pantalla de encendido y apagado tanto de la bomba como del ventilador de los condensadores evaporativos 3 y 4, para lo cual debemos seguir los siguientes pasos:

1.- Seleccionar el modo de operación Automático con el botón digital ubicado en la pantalla táctil, se enciende una luz indicadora de color verde al lado derecho de dicho botón.

2.- Pulsar el botón digital MARCHA de cada equipo y observar que estos se pinten de color verde para indicar que estos arrancaron.

3.- Controlar que la presión del equipo este dentro de los parámetros establecidos para su correcto funcionamiento.

140 Psi motor ventilador se apaga.

160 Psi motor ventilador se enciende.

4.- Las indicaciones anteriores aplican también para el Condensador evaporativo #4.



Figura 2.- Arranque/parada modo Automático Condensadores evaporativos.

3.2 TORRE PROTÓN

Para cambiar de modo de operación Manual/Automático del sistema primero debemos pulsar el botón PARO antes de seleccionar la opción.

MODO MANUAL

En la Figura 3 se muestra la pantalla de encendido y apagado manual del ventilador de la torre de enfriamiento Protón, para lo cual debemos seguir los siguientes pasos:

1.- Seleccionar el modo de operación Manual con el botón digital ubicado en la pantalla táctil, se enciende una luz indicadora de color verde al lado derecho de dicho botón.

2.- Pulsar el botón digital MARCHA del equipo y observar que este se pinte de color verde para indicar que estos arrancaron, de esta manera el ventilador de la torre siempre permanecerá en ON sin importar el valor seteado.

3.- Controlar que la temperatura del agua este dentro de los parámetros establecidos para su correcto funcionamiento (20 – 28°C), caso contrario se debe revisar físicamente que los equipos estén trabajando.

Figura 3.- CONTROLADOR TORRE DE ENFRIAMIENTO / OPERACIONES



Controlador torre Protón.

MODO AUTOMÁTICO

En la Figura 4 se muestra la pantalla de encendido y apagado automático del ventilador de la torre de enfriamiento Protón, para lo cual debemos seguir los siguientes pasos:

1.- Seleccionar el modo de operación Automático con el botón digital ubicado en la pantalla táctil, se enciende una luz indicadora de color verde al lado derecho de dicho botón.

2.- Pulsar el botón digital MARCHA de cada equipo y observar que estos se pinten de color verde para indicar que estos arrancaron.

3.- Controlar que la presión del equipo este dentro de los parámetros establecidos para su correcto funcionamiento.

Menor a 20°C motor ventilador se apaga.

Mayor a 28°C motor ventilador se enciende.

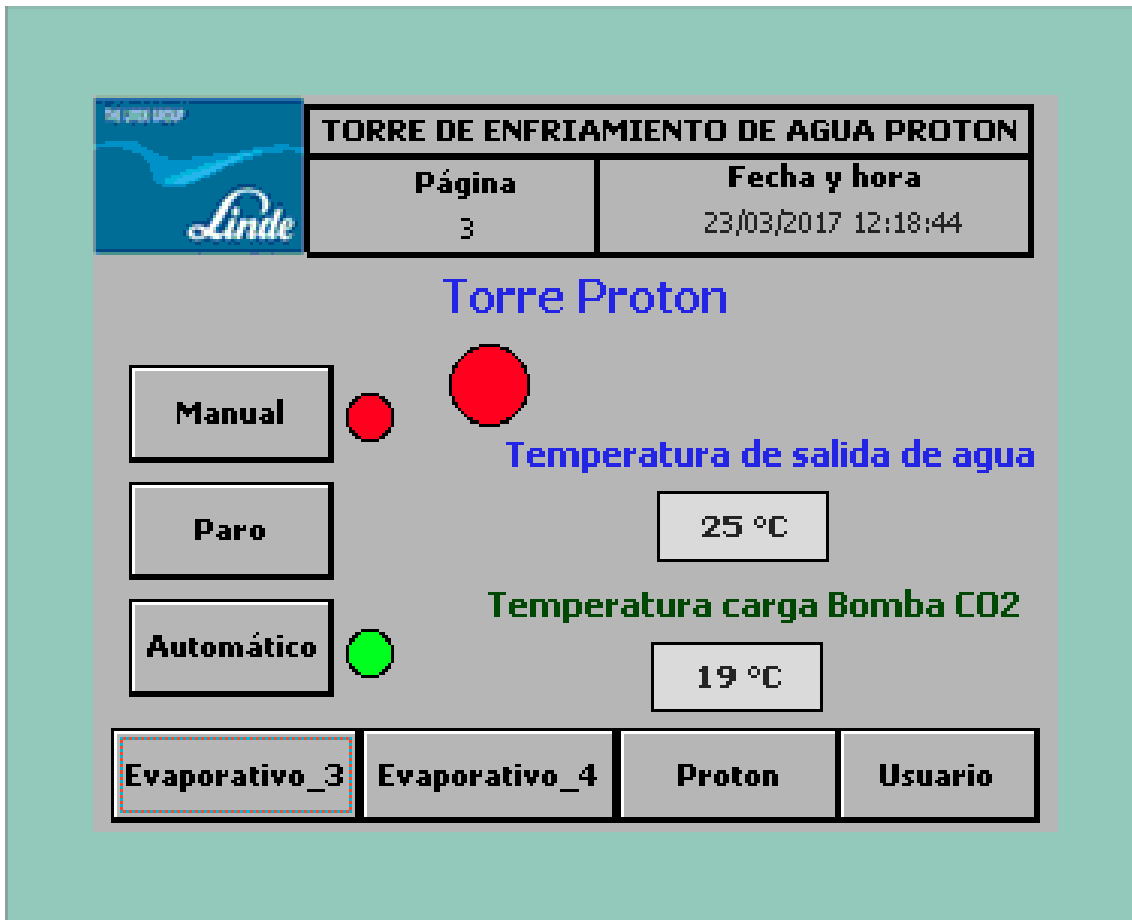


Figura 4.- ON/OFF modo automático ventilador torre Protón

Reloj.- en esta pantalla se visualiza la fecha y la hora en tiempo real, la cual puede ser modificada únicamente por el usuario Admin.

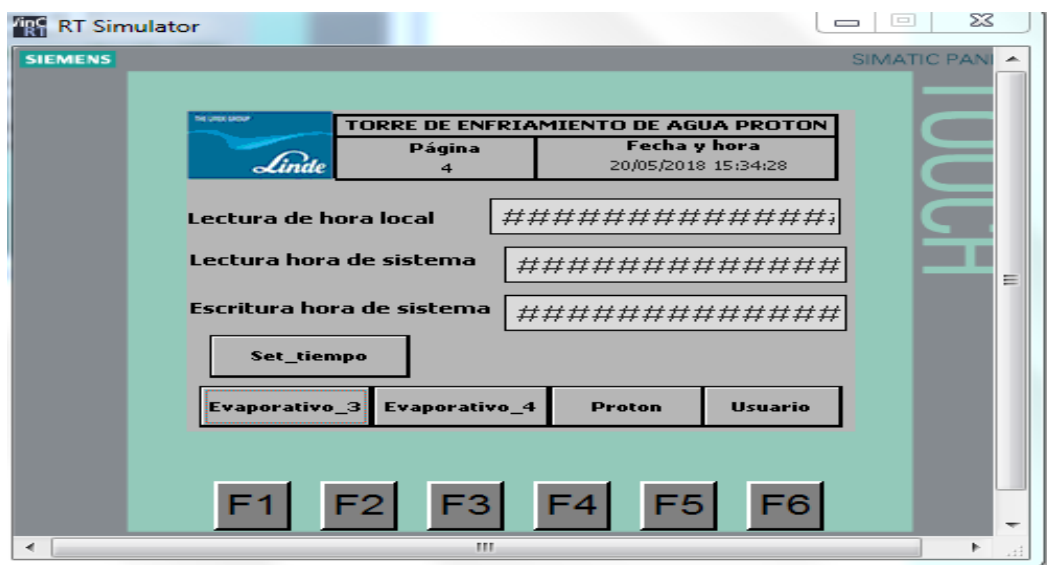


Figura 5.- Pantalla de configuración hora y fecha

Horómetro.- en la figura 6 se muestra las horas de funcionamiento de cada equipo, con esto los operadores y departamento de Mantenimiento puede planificar la revisión de cada equipo de acuerdo a su manual.

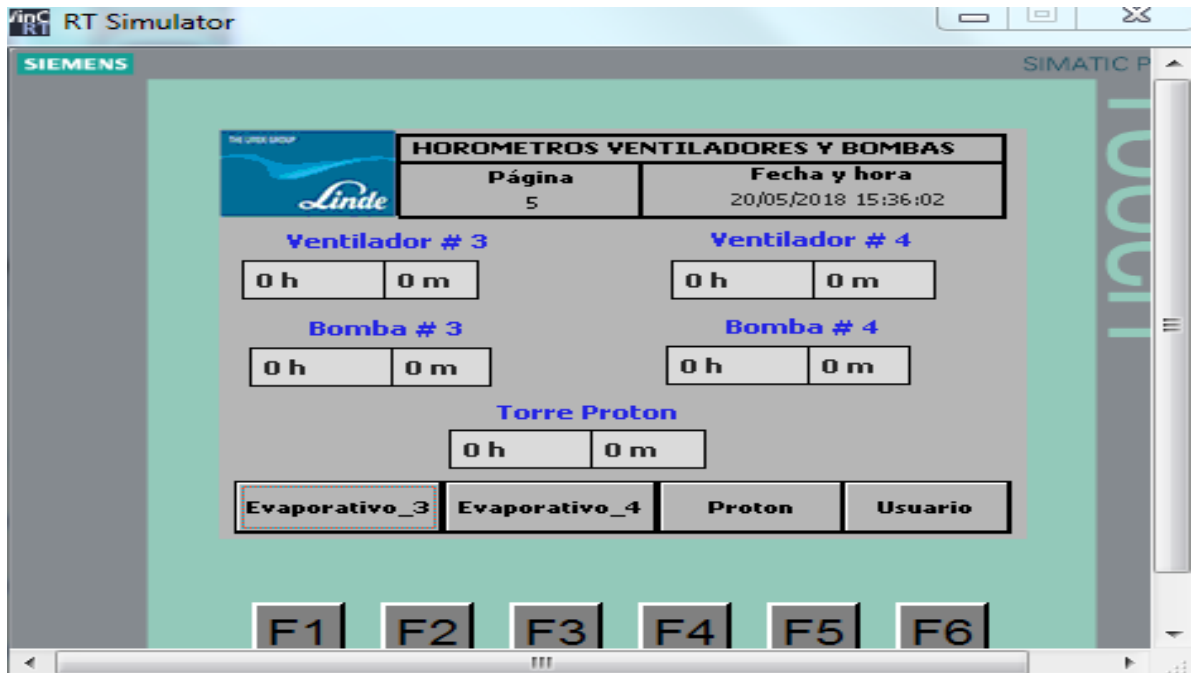


Figura 6.- Pantalla de horómetro

4.- ADMINISTRACIÓN DEL SISTEMA

Acceso a la pantalla HMI

En la figura 7 se visualiza la pantalla USUARIO la cual permite ingresar el nombre de usuario previamente, para esto se debe solicitar la autorización al departamento correspondiente, el usuario registrado es:

Nombre de usuario: Admin

Contraseña: Linde2017

El usuario tiene permiso para acceder a todas las funciones programadas en el sistema, es decir pueden utilizar los botones para cambiar los valores de SET del sistema.

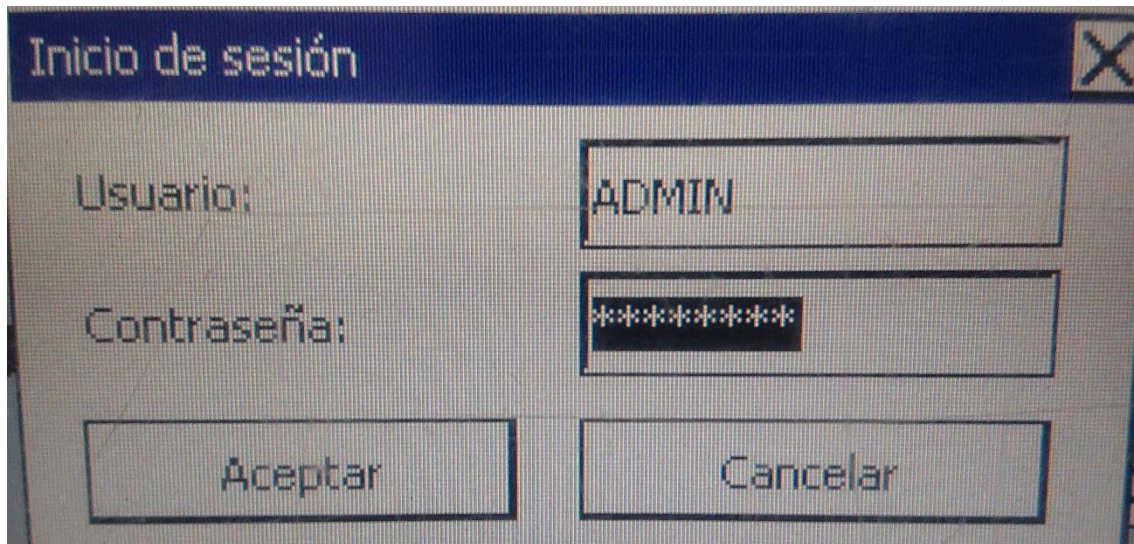


Figura 7.- Pantalla Usuario

ASISTENCIA TÉCNICA

Estamos para servirle, cualquier tema respecto a soporte técnico por favor comuníquese al servicio técnico autorizado.

CONTACTOS:

Patricio Carvajal B.

Tel: 0998247105

Mail: patriciocarvajal_636@hotmail.es