



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

TRABAJO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA DIGITAL Y TELECOMUNICACIONES

TEMA: AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL MEDIANTE UN PLC, INTERFACE HMI Y CONTROL REMOTO DESDE DISPOSITIVOS MÓVILES

AUTOR: Diego Armando Cóndor Chuqui

TUTOR: Mg Ernesto Rene Cortijo Leiva

QUITO- ECUADOR

AÑO: 2019

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Diego Armando Cóndor Chuqui declaro bajo juramento que el tema planteado para aprobación es de mi autoría, y no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Adjunto evidencia del estudio realizado.

Diego Armando Cóndor Chuqui
CC No. 1719934984

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de titulación certifico:

Que el trabajo de titulación, “AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL MEDIANTE UN PLC, INTERFACE HMI Y CONTROL REMOTO DESDE DISPOSITIVOS MÓVILES.” presentado por el Sr. Diego Armando Cóndor Chuqui, 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. Septiembre del 2018

TUTOR

.....

Ing. René Ernesto Cortijo Leyva, Mg.

AGRADECIMIENTO

Agradezco especialmente a Dios, quien me ha dado la salud y fortaleza para cumplir este gran sueño.

A mis padres Alfonso Cóndor y María Dolores Chuqui, quienes me han estado apoyo siempre y en todo momento, y quienes han sido un ejemplo a seguir en aquellos momentos de adversidad y en aquellos momentos de felicidad, ya que es necesario estar preparado para tener mejores oportunidades en la vida.

A mis Hermanas, sobrinos amigos, y compañeros con quienes he tenido la oportunidad de compartir momentos buenos y malos.

A mis profesores que durante estos años han inculcado en mí el don de la responsabilidad, dedicación y perseverancia. En especial a mi tutor el Mg, Rene Ernesto Cortijo Leyva, principal colaborador durante todo este proceso.

Diego Armando Cóndor Chuqui

DEDICATORIA

Dedico esta tesis y todo este esfuerzo a mis padres y hermanas sobrinos quienes siempre me brindaron su apoyo cuando más lo necesite, por eso este trabajo es para ellos; quienes son un pilar importante en mi vida, todo este esfuerzo con mucho cariño para mi familia.

Diego Armando Córdor Chuqui

TABLA DE CONTENIDO

CONTENIDO	PÁGINA
ANTECEDENTES	xv
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	xvi
JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	xvi
OBJETIVO GENERAL	xvi
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	xvii
ALCANCE	xvii
DESCRIPCIÓN DE LOS CAPÍTULOS	xvii
1.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	19
1.1.1. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	19
1.2 CICLO DE REFRIGERACIÓN	20
1.2.1 Compresión.....	20
1.2.2 Condensación	20
1.2.3 Expansión	21
1.2.4 Evaporación.....	21
1.3 UNIDAD ENFRIADORA DE LÍQUIDOS	22
1.3.1 FUNCIONAMIENTO DE LA UNIDAD ENFRIADORA DE LÍQUIDOS	
23	
1.4 REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN	23
1.4.1 Máquina frigorífica por compresión mecánica.....	24
1.4.2 Aplicación de la refrigeración por compresión en la Industria.....	25
1.5 COMPRESOR.....	25
1.5.1 Tipos de compresores	25
1.5.2 Compresores centrífugos.	26
1.5.3 Compresores de pistón.....	27
1.5.4 Compresores de tornillo.....	28
1.5.5 Compresores de scroll.....	29
1.5.6 Válvula de expansión.....	30
1.6 COMPRESOR ALTERNATIVO VILTER VMC 450 XL.....	30
1.6.1 Presión de succión	31

1.6.2	Presión de descarga	31
1.6.3	Relación de compresión.....	32
1.7	AUTOMATIZACIÓN	32
1.7.1	Objetivos del control de procesos.....	33
1.7.2	Estructura general de un sistema de automatización industrial.....	33
1.7.3	Componentes de la automatización	34
1.7.4	Niveles de automatización.....	36
1.7.5	Comunicaciones	37
1.7.6	Controlador lógico programable o PLC	37
1.7.7	Características de un PLC.....	38
1.7.8	Funciones básicas de un PLC.....	39
1.7.9	Ventajas de la utilización de un PLC.....	40
1.7.10	Lenguaje de programación de un PLC	40
1.7.11	Interfaz hombre máquina (HMI)	44
2.1	MARCO METODOLÓGICO	45
2.1.1.	MÉTODO DEDUCTIVO.....	45
2.1.2.	MÉTODO DE OBSERVACIÓN DIRECTA	45
2.1.3.	MÉTODO EXPERIMENTAL	46
2.1.4.	MÉTODO DOCUMENTACIÓN.....	46
3.1	PROPUESTA	47
3.1.1.	DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA PROPUESTA.....	47
3.1.2	RECONOCIMIENTO DEL PROCESO	47
3.1.3	PLANTEAMIENTO DE LA PROPUESTA.....	48
3.1.4	MÓDULOS DE LA PROPUESTA.....	49
3.1.5	DIAGRAMA DE FLUJO DEL FUNCIONAMIENTO.....	49
3.1.6	DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO.....	52
3.1.7	CONFIGURACION DE ENTRADAS ANALÓGICA.....	54
3.1.8	CALIBRACION DE ENTRADAS ANALOGICAS	54
3.1.9	PROGRAMACIÓN DE ALARMAS.....	54
3.1.10	MODO AUTOMÁTICO	57
3.1.11	MODO MANUAL	58
3.2	ASPECTOS TECNICOS DEL PRODUCTO	58

3.2.1	SENSORES O TRANSMISORES DE PRESIÓN DANFOS.....	58
3.2.2	PLC DELTA SX2.....	59
3.2.3	PANEL TÁCTIL HMI DOP-B0. ESPECIFICACIONES	60
3.2.4	NÚMERO DE ENTRADAS Y SALIDAS	61
3.2.5	ENTRADAS ANALÓGICAS 4-20mA en SX2.....	61
3.2.6	TRABLERO ELÉCTRICO	62
3.2.7	DISEÑO ELÉCTRICO	63
3.2.8	COMUNICACIÓN.....	65
3.2.9	SOFTWARE O PROGRAMA	65
3.3	ANÁLISIS DE COSTOS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO	65
3.3.1	SELECCIÓN DEL PLC.....	66
3.3.2	ANÁLISIS DE LA SELECCIÓN DEL PLC	66
3.3.3	SELECCIÓN DE LA HMI.....	67
3.3.4	SELECCIÓN DE MATERIALES	67
3.3.5	PRESUPUESTO DEL PROYECTO.....	68
3.3.6	ANÁLISIS DE TIEMPOS	70
3.3.7	VENTAJAS DEL PRODUCTO PROPUESTO.....	75
4.1	IMPLEMENTACION	76
4.2	PROGRAMACIÓN DEL PLC.....	76
4.2.1	DIAGRAMA DE FLUJO PANTALLAS	78
4.2.2	PROGRAMACION DEL HMI	78
4.2.3	CONFIGURACIÓN DE LA CONECTIVIDAD CON ANDROID	83
4.2.4	DISEÑO DEL TABLERO DE CONTROL	86
4.2.5	DISEÑO Y DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS.....	86
4.2.6	CONSTRUCCION DEL TABLERO DE CONTROL.....	90
4.2.7	PRUEBAS DE ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	93
4.2.8	Prueba de conexiones	93
4.2.9	Pruebas de voltaje	94
4.2.10	Prueba de módulo de presión con calibrador de procesos o generador de señales.....	95
4.2.11	Pruebas de comunicación	96
4.2.12	Resultados obtenidos	96

PROGRAMACIÓN LADDER PLC DELTA	106
MEDIDAS DEL TABLERO DE CONTROL.....	107
DIAGRAMA ELECTRÓNICO	108
CRONOGRAMA	109

LISTA DE FIGURAS

CONTENIDO	PÁGINA
Figura. 1.1. Ciclo de refrigeración.....	20
Figura. 1.2. Unidad enfriadora de líquidos.....	22
Figura 1.3. Funcionamiento de una unidad enfriadora de líquidos.....	23
Figura. 1.4. Ciclo de refrigeración – máquina frigorífica.....	24
Figura. 1.5. Compresor centrífugo	26
Figura. 1.6. Compresor de pistón	27
Figura. 1.7. Compresor de tornillo	28
Figura. 1.8. Compresor scroll.....	29
Figura. 1.9. Compresor Vilter VMC 450XL.....	31
Figura 1.10. Carrera de succión.....	31
Figura 1.11. Carrera de succión.....	32
Figura 1.12. Componentes de la automatización.....	34
Figura 1.13. Pirámide de automatización	36
Figura 1.14. PLC	38
Figura 1.15. Diagrama de bloques de un PLC.....	39
Figura 1.16. Diagrama de funciones secuenciales.....	41
Figura 1.17. Diagrama de bloques funcionales	42
Figura 1.18. Diagrama tipo escalera.....	42
Figura 1.19. Visualización diagrama AWL.....	43
Figura 1.20. Texto estructurado.....	43
Figura 1.21. Interfaz hombre maquina	44
Figura 3.1. Diagrama de bloques de la propuesta.....	47
Figura 3.2. Diagrama de la propuesta.....	47
Figura 3.3. Sensor Danfos AKS	59
Figura 3.4 PLC Delta SX2.....	44
Figura 3.5 HMI Delta DOP-B0	45
Figura 3.3 Diagrama de flujo del programa del PLC 1	49
Figura 4.2. Diagrama de flujo del programa del PLC 2	52
Figura 3.2 Diagrama de flujo del programa del PLC 3	52
Figura 3.3 Diagrama de flujo del programa del PLC 4	51

Figura 4.5. Diagrama de flujo del programa del PLC 5	79
Figura 4.6. Software de programación del HMI.....	79
Figura 4.7. Pantalla 1	79
Figura 4.8. Pantalla 2.....	79
Figura 4.9. Pantalla 3.....	80
Figura 4.10. Pantalla 4.....	80
Figura 4.11. Pantalla 5.....	81
Figura 4.12. Pantalla 6.....	81
Figura 4.13. Pantalla 7.....	82
Figura 4.14. Pantalla 8.....	82
Figura 4.15 Configuración preliminar	83
Figura 4.16 Configuración eRemote	84
Figura 4.17 Búsqueda de equipo Delta.....	84
Figura 4.18 Ingreso password HMI.....	84
Figura 4.19. Pantalla en eRemote.....	85
Figura 4.20. Pantalla en eRemote.....	85
Figura 4.21 Pruebas de continuidad	94
Figura 4.22 Pruebas de eléctricas	95
Figura 4.23 Pruebas de módulos de presión.....	95
Figura 4.24 Pruebas de comunicación.....	96
Figura 4.25 Compresor Vilter.....	96
Figura 4.26. Pantalla principal.....	112
Figura 4.27 Pantalla de lectura	113
Figura 4.28 Pantalla de operación	113
Figura 4.29 Pantalla de control.....	115
Figura 4.30 Pantalla de alarmas.....	116

LISTA DE TABLAS

CONTENIDO	PÁGINA
Tabla 3.1. Entrada del proceso	61
Tabla 3.2. Entrada del proceso	61
Tabla 3.3. Selección del PLC	51
Tabla 3.4. Selección del HMI.....	52
Tabla 3.5. Análisis de costos	55

RESUMEN

El presente documento pretende describir el desarrollo del proyecto “AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL MEDIANTE UN PLC, UN INTERFACE HMI Y CONTROL REMOTO DESDE DISPOSITIVOS MÓVILES”, mismo que será ejecutado a través de la empresa Ilusol de propiedad del ingeniero Álvaro Carrera, que se orienta a la prestación de servicios eléctricos y de control.

Mediante este proyecto se pretende dar una solución al sistema de refrigeración industrial de una unidad enfriadora de líquidos usado en la producción de cubos de hielo, para la transportación de camarones. Para esto se utilizará los equipos de automatización tales como: un PLC, un HMI y adicional se configurará un control remoto desde un dispositivo móvil.

El resultado final será un sistema de refrigeración automatizado, mediante el uso de sensores y transductores, controlados en todas sus etapas, con facilidades para que el operador pueda configurar el proceso de acuerdo a los requerimientos y pueda monitorear el sistema tanto desde la interfaz hombre máquina implementado, como desde un dispositivo móvil que puede ser un celular o Tablet.

La solución presentada pretende mejorar la eficiencia del sistema de refrigeración, disminuir sus pérdidas, pero principalmente presentar una solución para la industria.

Palabras claves: automatización, PLC, Interfaz, dispositivo móvil, refrigeración industrial, HMI, sensor, transductor.

ABSTRACT

This document aims to describe the development of the project “AUTOMATION OF AN INDUSTRIAL REFRIGERATION SYSTEM THROUGH A PLC, AN HMI INTERFACE AND REMOTE CONTROL FROM MOBILE DEVICES”, which will be executed through the Ilusol Company owned by Engineer Álvaro Carrera, which is oriented to the provision of electrical and automation services.

This project aims to provide a solution to the industrial refrigeration system of a liquid chiller unit used in the production of ice cubes, for the transportation of shrimp. For this, the automation equipment will be used, such as: a PLC, an HMI and an additional remote control will be configured from a mobile device.

The final result will be an automated refrigeration system, through the use of sensors and transducers, controlled in all its stages, with facilities so that the operator can configure the process according to the requirements and can monitor the system both from the Human Interface Machine implemented, as from a mobile device that can be a cell phone or tablet.

The solution presented aims to improve the efficiency of the refrigeration system, reduce its losses, but mainly present a solution for the industry.

Keywords: automation, PLC, interface, mobile device, industrial refrigeration, HMI, sensor, transducer.

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

Los sistemas de refrigeración en la industria sin importar el ámbito, cumplen con el objetivo de mantener la temperatura correcta de los equipos o ambientes, al eliminar el exceso de calor por combustión o fricción. Los procesos requieren que su necesidad de refrigeración sea satisfecha para asegurar su fiabilidad. Tanto los procesos como los equipos industriales requieren que sus parámetros de funcionamiento permanezcan estables, uno de estos es la temperatura de operación, que depende de la capacidad de refrigeración y de la continuidad de esta, el objetivo es el aumento de la eficiencia y la reducción de pérdidas en el proceso de producción, otro tema importante de cuidar en estos tiempos es el medio ambiente, por lo que es necesario reducir las emisiones.

En la actualidad la industria busca mejorar la eficiencia, autonomía y confiabilidad de los procesos y equipos mediante la automatización, a través de PLCs (Controlador Lógico Programable), HMI (Interfaces Hombre Máquina) y las redes de comunicación. Automatizar es para la industria importante porque le permite ser competitivo.

Los dispositivos móviles hoy en día, no solo son un medio de comunicación sino una herramienta de trabajo, es así que existen procesos que pueden ser monitoreados desde los dispositivos móviles en tiempo real y que además se puede modificar parámetros con sus respectivas seguridades y responsabilidades para un mejor control.

Este proyecto quiere a través de la automatización y el uso de los dispositivos electrónicos, mejorar la eficiencia y precisión en el monitoreo de la operación de un sistema de refrigeración.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, el ahorro de energía y la optimización en los procesos son los puntos de mayor importancia en todo proyecto que se vaya a realizar, es un factor determinante tomar en cuenta estos aspectos. En este caso particular el presente trabajo consta de la “AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UN CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC) Y UNA INTERFACE HMI” que ayudará al operador a visualizar los parámetros corregir posibles fallas y así reducir esfuerzos y tener un mayor control del proceso.

JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Los sistemas de control propios de los equipos de refrigeración, que fueron adquiridos en años anteriores por las industrias, poseen sistemas de control mecánicos, los cuales representan un problema para las mismas, pues tienen alta tendencia a fallos, otro factor es que requieren en todo momento de la presencia física del operador junto a la máquina para detectar fallas en el proceso y recalibrar parámetros de control. Por esta razón como parte de los servicios que presta la empresa ILUSOL RENOVA, ubicada en la parroquia de Tumbaco, de propiedad del Ingeniero Álvaro Carrera, propone a sus clientes una solución mediante la automatización del sistema de refrigeración industrial con amoníaco, para equipos de la marca Vilter, mediante el uso de controladores lógicos programables, interfaces hombre máquina, además se desea añadir un control remoto mediante dispositivos móviles, los cuales podrán ser visualizados en tiempo real y podrán ser controlados mediante un protocolo de comunicación.

OBJETIVO GENERAL

“Automatizar un sistema de refrigeración industrial mediante PLC e interface HMI y control remoto desde dispositivos móviles”.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar la programación del PLC DELTA DVP20SX211R para el encendido del motor compresor y equipos auxiliares como transmisores de presión.
- Diseñar la programación de la interface HMI DELTA DOP-B0E211 para el monitoreo visualización y control del sistema de refrigeración.
- Construir el tablero control.
- Implementar el software eRemote en el Smartphone para el control y enlace con la HMI mediante comunicación IP y WIFI.
- Configuración de protocolos de comunicación Ethernet Wifi para enlazar con el HMI.
- Simular el funcionamiento del proyecto mediante calibradores de campo

ALCANCE

Se desarrollará la programación del plc mediante el software WPLSoft versión 2.46 se lo realizará con la ayuda del manual de programación como guía.

También se desarrollará la programación de la HMI mediante el software DOPSoft versión 2.00.07 aquí se diseña las pantallas, donde se puede controlar el encendido y apagado tanto manual como automático del compresor, se visualizarán las presiones de succión y descarga, así como también la presión de aceite y parámetro que podrán ser cambiados acorde a la necesidad del operador.

Se realizará la configuración del Eremote para dispositivos móviles el cual tendrá acceso al sistema de refrigeración y al control del proceso inalámbricamente.

DESCRIPCIÓN DE LOS CAPÍTULOS

En el capítulo 1 se presenta la fundamentación teórica, describe el concepto general de una unidad enfriadora de líquidos del sistema de refrigeración industrial, conceptos

básicos y fundamentales de automatización, PLCs, interfaces hombre máquina y el uso de dispositivos móviles aplicados a los sistemas de control.

En el Capítulo 2 se describe el marco metodológico a utilizar en este proyecto.

En el Capítulo 3 se describe la propuesta de solución presentada, se realiza un análisis de los precios de los equipos a utilizar, se detalla los recursos requeridos y también las ventajas que proporciona el sistema instalado.

En el Capítulo 4 se muestra el desarrollo del proyecto, su construcción, su implementación, las pruebas de funcionamiento y un análisis de los resultados obtenidos.

Se presentan las conclusiones y recomendaciones sobre el proyecto realizado.

Referencias bibliográficas donde se utilizarán fuentes de la web, libros de automatización revistas y documentales.

Y finalmente los anexos contendrán el cronograma en Project, fichas de datos de los elementos utilizados, diagramas y la programación del PLC.

CAPITULO 1

1.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Este proyecto exige conocimientos en distintas áreas de la ingeniería electrónica, requiere de la aplicación de los conocimientos básicos y avanzados de los sistemas de control y automatización industrial, tanto en control como en instrumentación. Así como también, se hace necesario el reconocimiento del proceso que cumple el sistema de refrigeración industrial. (Antonio, 2012)

1.1.1. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Como parte del reconocimiento del proceso es necesario entender qué es un sistema de refrigeración y es así que se lo llega a entender como el proceso que permite mantener o conservar una temperatura adecuada conforme este lo requiera. El proceso de refrigeración consiste en absorber el calor de un lugar no deseado (bajar la temperatura) y abastecer ese nivel de calor de un cuerpo o espacio. El ámbito de aplicación, se encuentra en procesos tales como: control de temperatura en equipos y procesos, máquinas de conservación de alimentos, confort ambiental (aires acondicionados), transporte de productos farmacéuticos, entre otros. (Física de Fluídos y termodinámica)

Refrigerar es un proceso termodinámico, este implica remover el calor de un cuerpo o espacio hacia otro lugar, es decir mover el calor de un lugar no deseado por ejemplo los alimentos, van a un lugar deseado como el exterior de una nevera, esto sucede porque el refrigerante atrapa o absorbe el calor de los alimentos y lo transporta hacia afuera. (Física de Fluídos y termodinámica)

1.2 CICLO DE REFRIGERACIÓN

1.2.1 Compresión

El esfuerzo mecánico de compresión, se denomina al desempeño del compresor al realizar su trabajo, que consiste en elevar la presión de sólido capaz de deformarse o medio continuo, tiene dos características disminuye el volumen y eleva la temperatura. El compresor es un equipo utilizado para reducir a menor volumen un líquido o gas por medio de las presiones, su función es que mediante la aplicación de dos fuerzas contrarias se presiona el fluido y de esta forma este adquiere movimiento (energía cinética) con una presión suficiente para fluir. El compresor es el elemento que proporciona energía al sistema. En condiciones de temperatura constante el compresor succiona refrigerante en forma de vapor a una baja presión y descarga vapor a alta presión (comprimido), por lo tanto disminuye volumen, en la Figura 1.1 se puede observar el ciclo de refrigeración. (Guachi, 2017)



Figura 1.1. Ciclo de refrigeración

Fuente. (Guachi, 2017)

1.2.2 Condensación

La condensación, es el proceso inverso a la evaporización, es ir del estado gaseoso a líquido. Esta conversión se da debido a la reducción de la temperatura, en esta fase se utiliza un condensador, al mismo que ingresa el medio refrigerante en estado gaseoso a alta temperatura, el calor contenido en el refrigerante es cedido al medio ambiente. En esta

fase ocurre que, el refrigerante pierde calor y es el ambiente quien gana calor, convirtiéndose el condensador en un intercambiador de calor.

El condensador es el equipo encargado de recibir el refrigerante en estado gaseoso y convertirlo a estado líquido. Al condensador ingresa el refrigerante en estado gaseoso, este al ceder todo el calor contenido en el gas al medio ambiente, el refrigerante a su vez, se condensa, es decir va a pasar a un estado líquido a baja temperatura y alta presión. (Guachi, 2017)

1.2.3 Expansión

Una de las características de los gases es que pueden expandirse al incrementar la temperatura, debido a que las partículas que lo componen aumentan la energía, por tanto tienden a moverse con mayor facilidad, su volumen es mayor que cuando su temperatura era menor. En esta fase se utiliza una válvula de expansión. (Guachi, 2017)

La válvula de expansión es aquella que controla o regula la cantidad de refrigerante que entra al evaporador, en función de su carga térmica. También reduce la presión y temperatura del líquido refrigerante que ingresa al evaporador. Una válvula de expansión es un dispositivo de apertura y cierre, es un componente importante en los sistemas de refrigeración y aire acondicionado, pues su aporte en el proceso es generar la caída de presión mediante la pulverización del líquido refrigerante, fase necesaria para acoplar el funcionamiento del condensador y el evaporador en el sistema. El refrigerante líquido entra en el dispositivo de expansión donde se reduce su presión y como efecto de este, se restringe bruscamente su temperatura. (Guachi, 2017)

1.2.4 Evaporación

El evaporador es un intercambiador de calor, que a diferencia del condensador lleva al fluido refrigerante de estado líquido a estado gaseoso, es decir en esta fase el refrigerante es quien gana calor del medio y al mismo tiempo se enfría, con la finalidad de combatir la humedad que existe para evitar la emisión de pequeñas partículas de agua cristalizada por

la baja temperatura. También se puede hablar, de mover o extraer el calor de un lugar no deseado a un lugar deseado, se le conoce como evaporador porque en esta fase el refrigerante pasa a un estado gaseoso, ingresa a baja temperatura y baja presión pasa por el evaporador y absorbe el calor del cuerpo o medio y sale a alta temperatura y baja presión, así se cumple el proceso de vaporización. (Guachi, 2017)

1.3 UNIDAD ENFRIADORA DE LÍQUIDOS

En la Figura 1.2 se muestra una máquina frigorífica, que es aquella cuya finalidad la de enfriar un medio líquido, generalmente agua, a través del intercambio térmico. Puede también operar en modo bomba de calor para calentar ese líquido. Las máquinas frigoríficas son equipos de climatización muy usados por la capacidad que tienen de enfriar o calentar, según sea el requerimiento. (Revista Cero Grados Celsius, 2017)

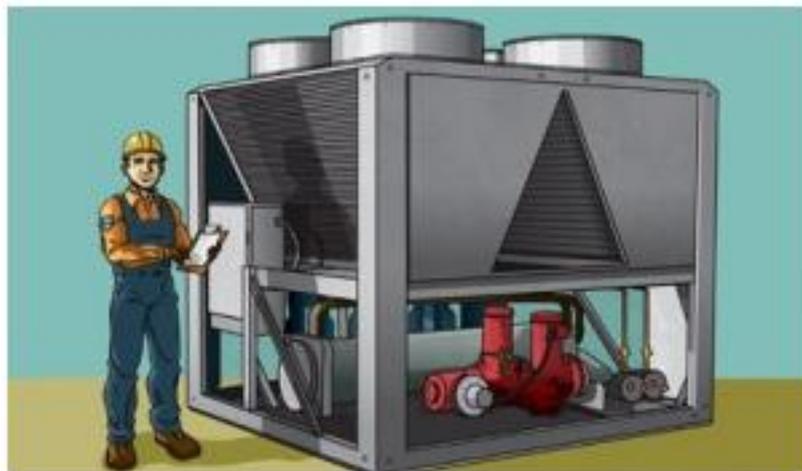


Figura. 1.2. Unidad enfriadora de líquidos
Fuente. (Revista Cero Grados Celsius, 2017)

1.3.1 FUNCIONAMIENTO DE LA UNIDAD ENFRIADORA DE LÍQUIDOS

En una máquina de refrigeración, el enfriamiento se obtiene usualmente por vaporización del fluido refrigerante cuya definición es: Fluido utilizado en la transmisión del calor, que en un sistema frigorífico absorbe el calor a bajas temperaturas y presión, cediéndolo a temperatura y presión más elevadas. Este proceso tiene lugar generalmente con cambios de estado del fluido, en la Figura 1.3 se puede observar el funcionamiento de la unidad enfriadora de líquidos. (Nadia R, 2017)

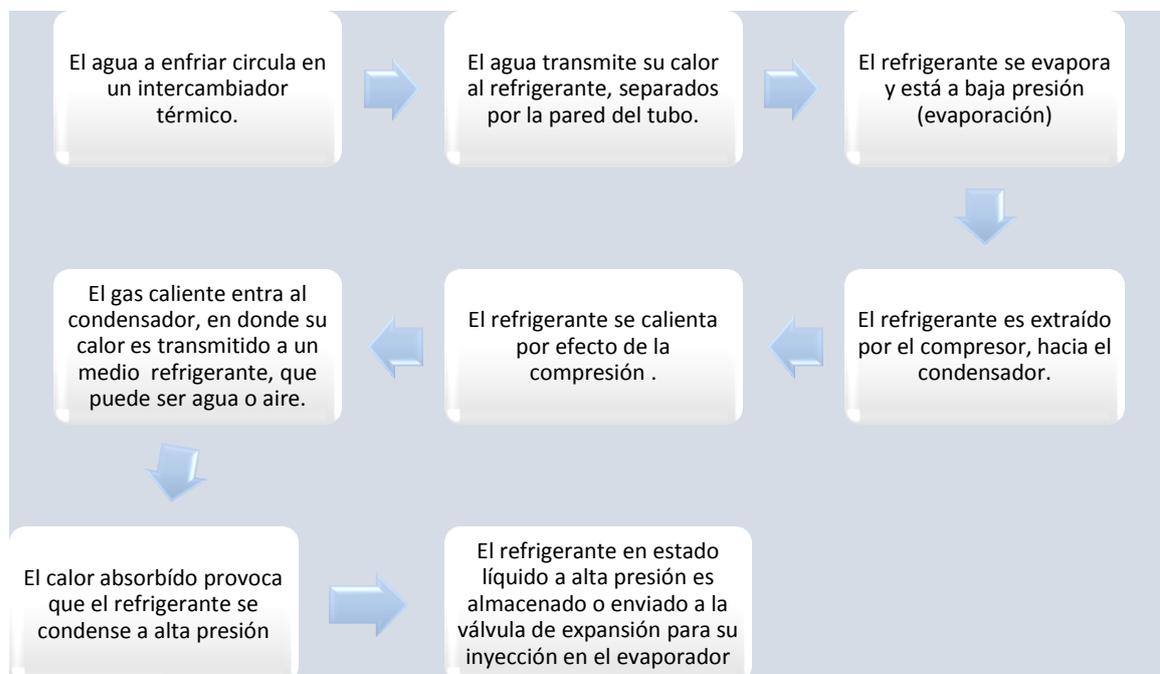


Figura 1.3. Funcionamiento de una unidad enfriadora de líquidos
Fuente. (Autor)

1.4 REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN

Comprimir es el proceso de forzar mecánicamente el movimiento de un fluido de tal forma que este circule en un ciclo cerrado el cual genera zonas de alta presión y zonas de baja presión, el propósito es retirar calor de un lugar no deseado y moverlo a un lugar deseado donde se pueda desechar o disipar. (Climatización, 2014)

La refrigeración por compresión, es el método de refrigeración que consiste en comprimir el flujo de un refrigerante en un ciclo cerrado que se encuentra separado en dos zonas como se dijo anteriormente, de alta y baja presión, con la finalidad de que exista un intercambio de calor desde el refrigerante al medio y desde el refrigerante al cuerpo o medio que se desea refrigerar, en el evaporador es la zona de baja presión y baja temperatura, en este se da el intercambio con el cuerpo o medio a refrigerar y en el condensador es la zona de alta temperatura y alta presión en este el refrigerante cede calor al medio. (Climatización, 2014)

1.4.1 Máquina frigorífica por compresión mecánica

Es aquella que es utilizada para mover calor de un cuerpo a otro. Una máquina frigorífica por compresión consta de cuatro elementos fundamentales que se detallan a continuación y se muestra en la Figura. 1.4. (Climatización, 2014)

1. Todo líquido, al cambiar al estado de vapor absorbe el calor del medio que lo rodea
2. La temperatura hierve y evapora un líquido.
3. Todo vapor puede cambiar su estado líquido.
4. La temperatura y la presión guardan una relación proporcional.

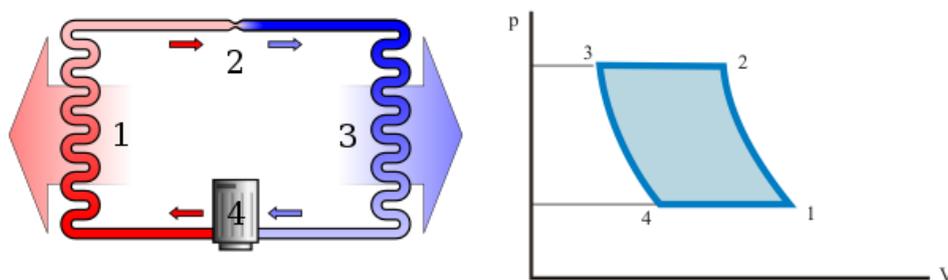


Figura. 1.4. Ciclo de refrigeración – máquina frigorífica
Fuente. (Climatización, 2014)

1.4.2 Aplicación de la refrigeración por compresión en la Industria

Se puede encontrar máquinas frigoríficas por compresión en:

- Equipos de refrigeración industrial
- Refrigerador, nevera o frigorífico
- Aire acondicionado doméstico y comercial
- Fabricación de hielo
- Enfriador de agua
- Cámaras de refrigeración
- Aire acondicionado automotor
- Tanque de leche
- Sistemas de transporte de alimentos

1.5 COMPRESOR

Un sistema de refrigeración para su funcionamiento requiere de varios elementos o partes. Un compresor es una máquina que aumenta la presión de un fluido compresible como gases o vapores. Es un generador de aire comprimido, que consiste en someter el aire a dos fuerzas opuestas para que se reduzca su volumen y se genere mayor presión. Se basa en la Ley de Boyle Mariotte que plantea, a temperatura constante, el volumen es inversamente proporcional a la presión, es decir a mayor volumen menor presión y a menor volumen mayor presión. (Lira, 2017)

1.5.1 Tipos de compresores

Los compresores se clasifican de acuerdo con sus características, pueden ser: abiertos, semiherméticos o cerrados.

- Son compresores abiertos aquellos que son utilizados en aplicaciones cuya producción tienen un motor eléctrico externo.
- Son compresores cerrados o herméticos, aquellos cuya característica principal es que están sellados y son utilizados normalmente para refrigeración en general.
- Los compresores semiherméticos son aquellos que cuentan con el motor integrado, pero no están sellados esto facilita su reparación a la hora del mantenimiento.

1.5.2 Compresores centrífugos.

Los compresores centrífugos son turbo máquinas que consisten en un rotor que gira dentro de una carcasa, provista de aberturas para entrada y salida del fluido. El rotor es el elemento que convierte la energía mecánica del eje en energía cinética del fluido. Cuando operan a plena carga son muy eficientes; Este compresor no es un sistema común, pero son muy usados en un entorno industrial, en la Figura. 1.5. se describe sus partes. (Hvacr)

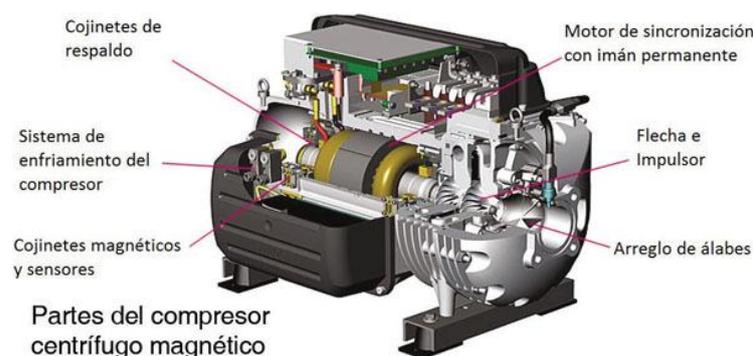


Figura. 1.5. Compresor centrífugo
Fuente. (Hvacr)

1.5.3 Compresores de pistón.

También llamados recíprocos, son compresores de refrigeración. Se basan en el mecanismo biela - manivela o cigüeñal, tienen válvulas anti-retorno controladas en base a la presión. Es decir en la válvula de descarga cuando la presión del cilindro supera la presión de descarga, esa diferencia de presión levanta la lámina y se da el proceso de descarga, ocurre lo contrario en la válvula de succión, pues en esta cuando la presión del cilindro es menor a la presión de la zona de succión, esa diferencia de presión levanta la lámina y se inicia el proceso de succión. En la Figura. 1.6 se muestra las partes del compresor de pistón. (compresor, 2108)

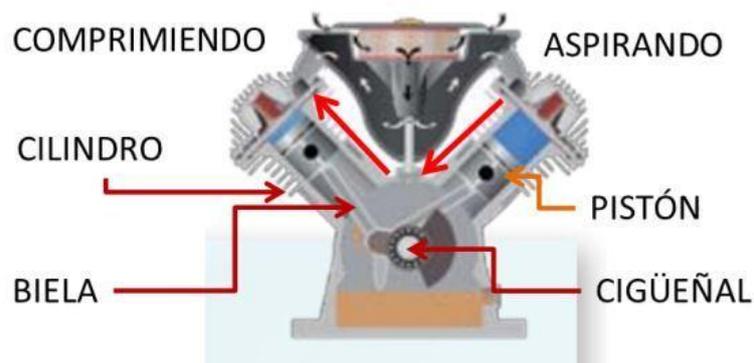


Figura. 1.6. Compresor de pistón
Fuente. (compresor, 2108)

Sus principales ventajas son: capacidad de compresión variable, adaptables y pueden ser usados en periodos largos.

La aplicación de los compresores de pistón, es común en procesos o aplicaciones comerciales e industriales, principalmente en sistemas estacionarios, también en el almacenaje de productos cárnicos, aplicaciones médicas y en preservación criónica.

1.5.4 Compresores de tornillo

Los compresores de tornillo tienen como principal característica es que están formados por dos tornillos o rodillos acoplados, que giran en sentido contrario uno de otro. Conlleva un ciclo continuo de compresión, ya que el aire ingresa por un lado y al mismo tiempo sale por el otro extremo en un solo tiempo, en este recorrido el espacio entre los rodillos o tornillos distribuye la compresión del aire como se muestra en la Figura. 1.7 Compresor de tornillo. (MARTIN, 2017)

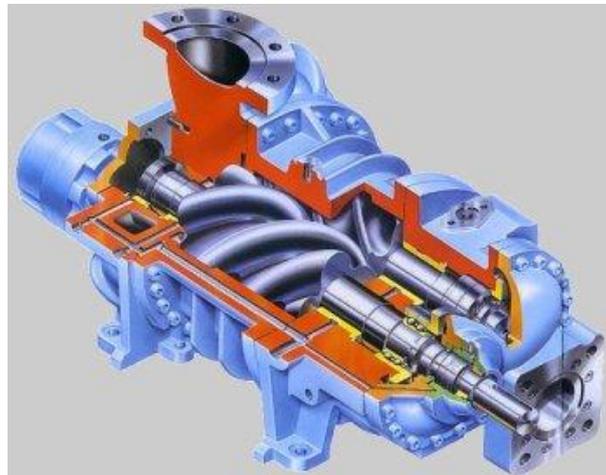


Figura. 1.7. Compresor de tornillo
Fuente. (MARTIN, 2017)

Sus principales ventajas son:

- Estabilidad
- Permite el manejo de cantidades de refrigerante grandes.
- Facilita el mantenimiento y limpieza de sus componentes.
- Disminución de los niveles de ruido.

Los compresores de tornillo, pueden ser semiherméticos, herméticos o abiertos, son seleccionados de acuerdo con la aplicación para la que vayan a ser utilizados, estas pueden

ser: comerciales, industriales, marinos, sistemas con riesgos de explosión, sistemas de transporte, unidades de enfriamiento de líquido. (MARTIN, 2017)

1.5.5 Compresores de scroll

Son compresores herméticos, formados por dos espirales localizadas en la parte superior del compresor, una fija ubicada en la parte superior y otra móvil en la parte inferior que describe una órbita de trayectoria definida con respecto a la anterior. La espiral móvil esta acoplada al eje del motor, esta describe un movimiento orbital. (Bejarano, 2013)

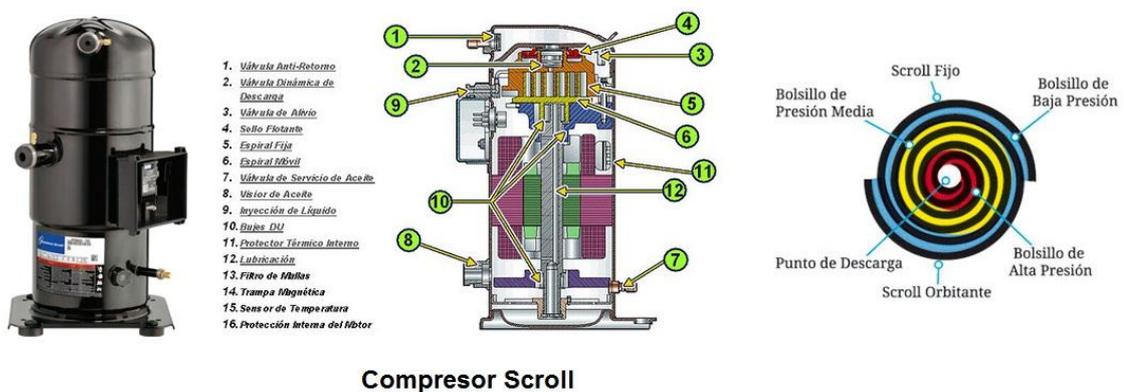


Figura. 1.8. Compresor scroll
Fuente. (Bejarano, 2013)

Las principales ventajas de los compresores de scroll son:

- Su diseño presenta un 70% menos de piezas móviles.
- Bajo nivel sonoro o de ruido.
- Baja vibración.
- Eficiente a altas temperaturas.
- Menor peso y menor tamaño.
- Robustos y fiables en su funcionamiento.

Sus ventajas hace que sean utilizados en aplicaciones, de aire acondicionado, tanto residencial como comercial y en sistemas de refrigeración de alta y media temperatura, puede ser en equipos de instalación fija o transportable. (Bejarano, 2013)

1.5.6 Válvula de expansión

Su función es suministrar y regular el fluido del refrigerante al evaporador, en función de la carga térmica. Esta válvula es diseñada de acuerdo con el tipo de refrigerante. Es un controlador en donde el recalentamiento es mayor cuando la válvula tiene una apertura mayor.

1.6 COMPRESOR ALTERNATIVO VILTER VMC 450 XL

El compresor Vilter VMC 450XL mostrado en la Figura 1.9 es de tipo recíprocante de pistón, es decir es una máquina que comprime el gas o líquido mediante el desplazamiento de un pistón dentro de un cilindro, están compuestos por pistones que se desplazan dentro de los cilindros hasta que las válvulas de descarga y de succión actúen de acuerdo con el diseño.

El 450XL puede funcionar con amoníaco, halocarbono e incluso algunos refrigerantes de hidrocarburos. Funciona en aplicaciones extremas con un diferencial de presión de hasta 250 PSI. Puede ser accionado por correa hasta 224 kW o accionado directamente hasta 280 kW. Y puede funcionar a altas relaciones de compresión hasta 12:1 con ciertos refrigerantes halocarbonados. Este compresor tiene una enorme cilindrada de 85 m³ / hr mientras corre a 1200 RPM. El compresor Vilter 450XL se puede instalar casi en cualquier lugar, incluso en un piso superior si es necesario, ya que la vibración se mantiene al mínimo. El nivel de ruido también es bajo debido al uso de válvulas de succión y descarga de placa anular de acción rápida (Emerson, 2018)



Figura. 1.9. Compresor Vilter VMC 450XL
Fuente. (Emerson, 2018)

1.6.1 Presión de succión

En la Figura 1.10 muestra la presión a la entrada del compresor, también se la conoce como presión de admisión. (Emerson, 2018)

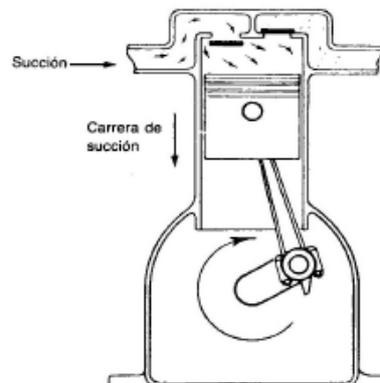


Figura 1.10. Carrera de succión
Fuente. (Emerson, 2018)

1.6.2 Presión de descarga

En refrigeración, se conoce con este nombre a la presión a la salida del compresor, mostrado en la Figura 1.11 (Emerson, 2018)

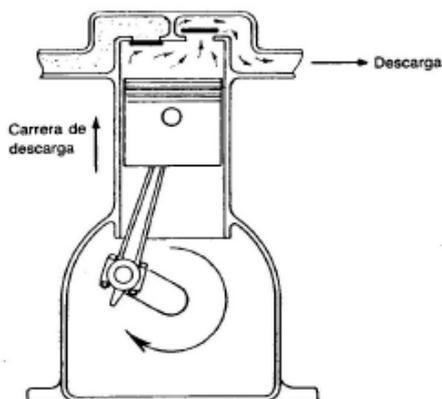


Figura 1.11. Carrera de succión
Fuente. (Emerson, 2018)

1.6.3 Relación de compresión

Corresponde a la razón geométrica que resulta del cociente entre la presión absoluta de descarga y la presión absoluta de admisión o succión en el trabajo realizado por un compresor en un sistema o máquina frigorífica. (Climatización, 2014)

$$R_c = \frac{P_d}{P_s}$$

Ec. 1 Relación de compresión
Fuente. (Acondicionado, 2014)

Donde

Rc= Relación de compresión

Pd= Presión de descarga

Ps= Presión de succión

1.7 AUTOMATIZACIÓN

La automatización industrial como parte de la ingeniería es aquella que busca mejorar los procesos y funcionamiento de las máquinas a través del control automático, tiene como objetivo optimizar recursos, mejorar la calidad de los productos y lograr que el proceso productivo se realice con mayor eficiencia energética. Los sistemas automatizados

reducen la participación de la intervención humana, pues son capaces de actuar basados en una lógica previamente determinada en espacio y tiempo (Antonio, 2012).

1.7.1 Objetivos del control de procesos

- Uno de los objetivos principales de la industria es que los procesos sean manejados con seguridad tanto para el personal que labora, como para la planta y que funcionen de forma estable.
- Diseñar sistemas de control amigables con el operador que le permitan monitorear el proceso, entender su funcionamiento y operar o tomar acción cuando el mismo lo requiera.
- Entregar un producto que cumpla con las especificaciones sin que hayan cambios no deseados debido a perturbaciones en el proceso.
- Proporcionar al operador la facilidad de calibrar y recalibrar el proceso o puntos de seteo, sin que estos altere su operatividad.
- Prevenir la mala manipulación de las variables que puedan ocasionar un funcionamiento incorrecto de la máquina o proceso fuera de los parámetros de operación segura.
- Conocer y diseñar un proceso que opere a la par con objetivos de calidad de cada producto.
- Encontrar una solución adecuada que permita mejorar y maximizar la calidad del producto con bajo consumo de energía.

1.7.2 Estructura general de un sistema de automatización industrial.

Se habla de sistema automatizado, a aquel que contiene de dos partes principales: parte de mando y parte operativa.

Parte operativa: es aquella que actúan de forma directa con el proceso o máquina. Son aquellos elementos que permita detectar o sensor la operación (sensores, transmisores,

finales de carrera, entre otros) y a su vez aquellos que permiten mover o cumplir una acción establecida (motores, cilindros, compresores, entre otros) (Antonio, 2012).

La parte control: en el transcurso del tiempo, se manejaron dos tecnologías: la primeras y más antigua es la tecnología cableada que se basa en el usos de elementos neumáticos, tarjetas electrónicas, relevadores electromagnéticos; la segunda y más actual la tecnología programada que basa su funcionamiento en el uso de un autómeta programable o PLC (Antonio, 2012).

1.7.3 Componentes de la automatización

La automatización de los procesos es cada vez más importante en la producción y funcionamiento de las maquinas industriales. En todo proceso industrial se requieren elementos de control para su automatización. Estos son de 3 tipos básicamente: elementos sensores, controladores y actuadores como se muestra en la Figura 1.12 (Antonio, 2012).



Figura 1.12. Componentes de la automatización
Fuente. (Antonio, 2012)

Sensores. – son componentes o dispositivos con capacidad de detectar magnitudes físicas o químicas, a las cuales se les conoce como variables de instrumentación, que son convertidas en señales o variables medibles. (Antonio, 2012)

Ejemplos de las variables de instrumentación, pueden ser: temperatura, humedad, presión, alcalinidad, luminosidad, entre otras. (Antonio, 2012)

Transductor. – Es aquel que se encarga de convertir las señales de los sensores en un tipo de señal diferente, la cual es más común en señales eléctricas, cuyos valores de salida están normalizados. (Antonio, 2012)

Los sensores también son transductores, se los debe elegir de acuerdo con el interés u objetivo del proceso a implementar, en el mercado la mayoría se encuentran normalizados a salidas de 4 a 20 mA, 0-10 voltios. (Antonio, 2012)

Los sensores o transductores para ser útiles en ingeniería, deben pasar por un proceso de calibración o escalamiento, mediante el cual se relaciona la variable medida con la señal de salida, misma que ingresará al controlador para su respectivo procesamiento de acuerdo con los parámetros de diseño. Existen dos tipos de transductores, estos son:

Transductores analógicos: Estos entregan una señal de tipo continuo, generalmente son señales de voltaje o corriente eléctrica. Estas señales para ser usadas en automatización deben ser calibradas o escaladas a valores de ingeniería. (Antonio, 2012)

Transductores digitales: Entrega una señal digital a manera de pulsaciones que pueden ser contadas, son leídas como unos o ceros. Los transductores digitales tienen la ventaja de tener mayor compatibilidad con los computadores, controladores lógicos y demás dispositivos de automatización. (Antonio, 2012)

1.7.4 Niveles de automatización

La automatización se encuentra distribuida en niveles de acuerdo con su ubicación, los atributos y la incidencia, así se tienen establecidos cuatro niveles como se observa en la Figura 1.13 Pirámide de automatización (Antonio, 2012)

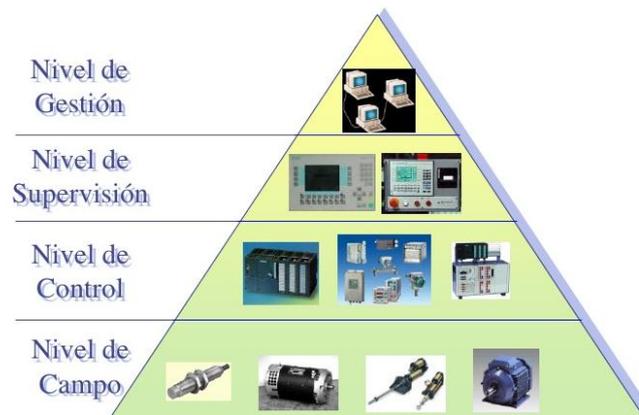


Figura 1.13. Pirámide de automatización
Fuente. (Antonio, 2012)

Nivel de campo: También es conocido como nivel de instrumentación, en este se encuentran los equipos y dispositivos que actúan directamente con el proceso o máquina. Están ubicados en este nivel, los actuadores tales como motores, compresores, válvulas, sensores y transductores, así como también sensores de nivel, presión y posición entre otros. (Antonio, 2012)

Nivel de control: En este nivel se encuentran los equipos o elementos que gestionan a los actuadores y sensores, pueden ser PLCs, DCSs, tarjetas lógicas, variadores de frecuencia, entre otros. En general son dispositivos programables, que se encuentran configurados para ajustarse y personalizar el funcionamiento del proceso o máquina. (Antonio, 2012)

Nivel de supervisión: En este nivel se supervisa los elementos de control, esto se lo hace mediante sistemas de monitoreo, como HMI (Interfaces hombre máquina), que

pueden ser pantallas industriales o computadores. En este nivel se encuentran los sistemas SCADA (Antonio, 2012)

Nivel de gestión: También compuesto por computadores. En este nivel no es relevante el estado y la supervisión de los procesos de planta. Lo que importa es la información relacionada a la producción y su gestión asociada. Cantidad de materia prima utilizada, producción neta, registro de almacenamiento, etc. En este nivel también se puede vincular la planta con sistemas de control y monitoreo externos. (Antonio, 2012)

1.7.5 Comunicaciones

Los sistemas de automatización en sus diferentes niveles jerárquicos requieren estar vinculados mediante redes industriales, a través de diferentes tipos de lenguajes de comunicación, a estos se los conoce como protocolos de comunicación. En automatización se manejan diferentes protocolos de acuerdo con los lenguajes que son como un conjunto de reglas o estructura que siguen para que dos o más dispositivos puedan comunicarse entre sí. Las comunicaciones en la pirámide de automatización pueden darse tanto de manera horizontal como vertical. (RAMIREZ, 2010)

Los protocolos más utilizados en la industria son: Profibus DP, FieldBus, Devicenet, Modbus, Can Open, AS-i, Ethernet/IP, Modbus TCP/IP, entre otros. Las comunicaciones industriales son de gran utilidad tanto en pequeños procesos como en grandes procesos de la industria, su utilidad radica en que permite reducir tiempos de mantenimiento, optimizar los niveles de repuesta relacionados con la productividad y mejora la eficiencia en el proceso productivo. (RAMIREZ, 2010)

1.7.6 Controlador lógico programable o PLC

En la Figura 1.14 se muestra un controlador lógico programable, que está basado en un procesador, se diferencia de un computador, ya que posee características que le

permiten ser utilizados en la automatización industrial. Reemplazan a los sistemas antiguos de control basados en relés o neumática, ya que a diferencia de estos si permiten manejar elementos discretos como funciones lógicas, secuencias, contadores, temporizados, conteos y lógica matemática útiles al momento de controlar máquinas y procesos.

Su aplicación en la industria es diversa, puede ir desde el control de la temperatura de una habitación, hasta procesos como tratamiento de aguas, control de generadores y compresores, sistemas eléctricos de alta potencia, sistemas de calefacción y refrigeración, control de acceso, domótica, puertas automáticas, máquina de lavado de vehículos, embalaje e imprenta, equipos médicos, entre otros (Antonio, 2012).

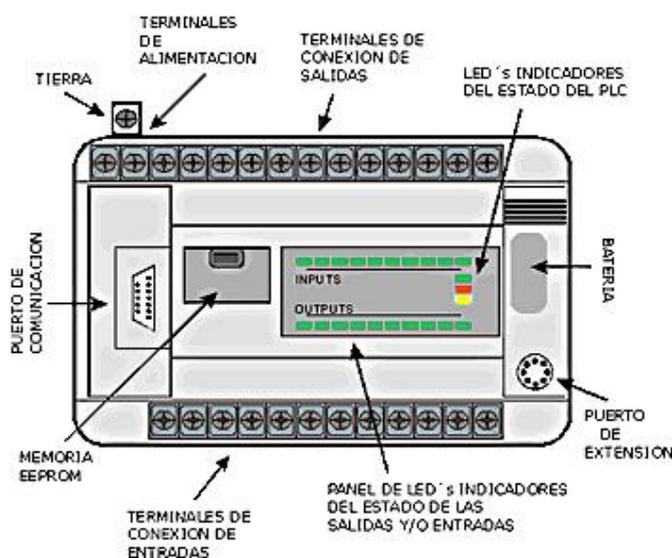


Figura 1.14. PLC
Fuente. (Antonio, 2012)

1.7.7 Características de un PLC

En la figura 1.15 se demuestra el diagrama de bloques interno de un PLC como está constituido y cuáles son las partes.

Controlador: Permite controlar e integrar un sistema, mediante el empleo de entradas (I) y salidas (Q). A través de éstos se logran mantener una interconexión basada en una lógica entre los elementos primarios de entrada y los elementos finales de salida. (Crespo, 2013)

Lógico: Utiliza la lógica para realizar una serie de indicaciones programadas, no se limita al manejo de cierto número de instrucciones si no que, por el contrario tiene la capacidad de manejar varias instrucciones incluso al mismo tiempo. (Crespo, 2013)

Programable: Se pueden almacenar varios programas en la memoria y a su vez, se puede reprogramar por el usuario de acuerdo a las exigencias que surgen de la presencia de necesidades. Cuenta con una amplia capacidad de memoria. (Crespo, 2013)

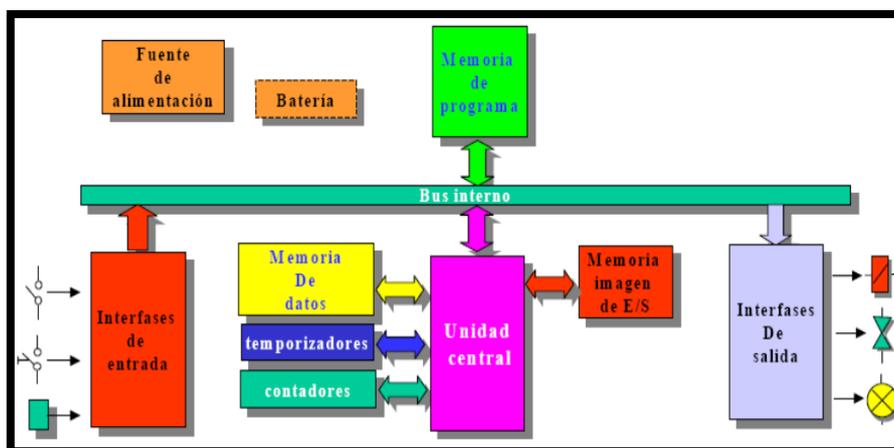


Figura 1.15. Diagrama de bloques de un PLC
Fuente. (Crespo, 2013)

1.7.8 Funciones básicas de un PLC.

- **Detección:** El PLC capta las señales de diferentes tipos, del proceso o máquina.
- **Mando:** Crea y envía acciones al sistema de acuerdo con la programación que contenga.

- Comunicación hombre maquina: Reporta sobre la configuración al supervisor o al operador.
- Programación: Permite modificaciones en la programación por medio del operador siempre y cuando esté autorizado.

1.7.9 Ventajas de la utilización de un PLC

No todos los autómatas ofrecen las mismas ventajas sobre la lógica cableada, ello es debido principalmente, a la variedad de modelos existentes en el mercado y las innovaciones técnicas que surgen constantemente. Tales consideraciones me obligan en referirme a las ventajas que proporciona un autómata de tipo medio. (Antonio, 2012)

- El PLC responde a las necesidades humanas de automatización, pues están diseñados para trabajar en ambientes industriales que incluyen: altas temperaturas, alta vibración, ruido, entre otros.
- Al automatizar se reduce el costo de la mano de obra, pues se disminuye la necesidad de intervención humana en el proceso.
- Mejora el monitoreo de los procesos, por lo que facilita la detección de fallas
- Los PLCs pueden manejar múltiples equipos de manera simultánea.
- Las ventajas mencionadas anteriormente, conjugan en ahorros en mano de obra, mantenimiento y energía.

1.7.10 Lenguaje de programación de un PLC

Los controladores programables para facilitar el diseño de los especialistas manejan diferentes tipos de lenguajes que dependen de la marca y modelos de los PLCs, estos están basados en gráficos, textos, funciones de lógica y matemática, los lenguajes de programación para un PLC son de dos tipos: visuales y escritos. Entre los visuales están SFC, FBD y LAD, con una simbología similar a la que se utiliza en planos y esquemas de automatización y diagramas de bloques. Entre los escritos están “ST e IL o STL” con una similitud a la que se utiliza en programación informática a manera de sentencias. Los programadores o desarrolladores de PLC, están instruidos de forma multidisciplinaria, pues a más de conocer los distintos tipos de lenguajes de programación deben estar en la capacidad de comprender y traducir a flujo de programación los procesos o funcionamientos industriales. (Crespo, 2013)

Diagrama de funciones secuenciales: es una programación de tipo gráfico, descriptivo y secuencial similar al diagrama de flujo, puede estar organizado con subprogramas o subrutinas, mismas que dependen de una anterior y forman parte del programa de control. Son una serie de rutinas estructuradas, en etapas, acciones y transiciones. (Crespo, 2013)

Una secuencia de funciones está representada por bloques o cajas rectangulares, entrelazadas por línea. Cada etapa o rutina representa un estado del sistema y las líneas una transición de estado como se detalla en la Figura 1.16 (Crespo, 2013)

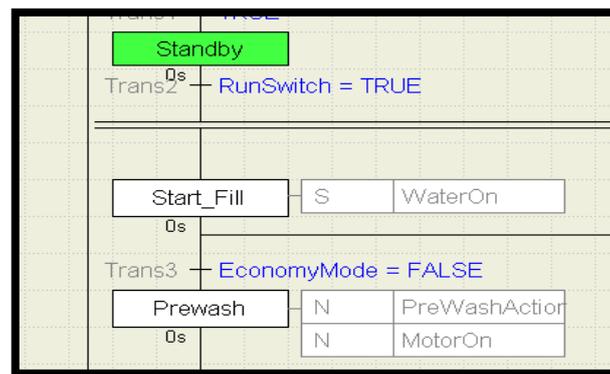


Figura 1.16. Diagrama de funciones secuenciales
Fuente. (Crespo, 2013)

Diagrama de bloques de funciones: Este modelo de programación está basado en la lógica aritmética, un diagrama de bloques enlaza variables de un modelo matemático mediante bloques de función. Es un lenguaje de alto nivel que permite diseñar mediante funciones básicas a manera de bloques, para procesos de baja complejidad es un lenguaje muy utilizado y común, especialmente en aplicaciones que requieren obtener información de componentes del sistema de control en la Figura 1.17 se detalla el diagrama de bloques funcionales (Crespo, 2013).

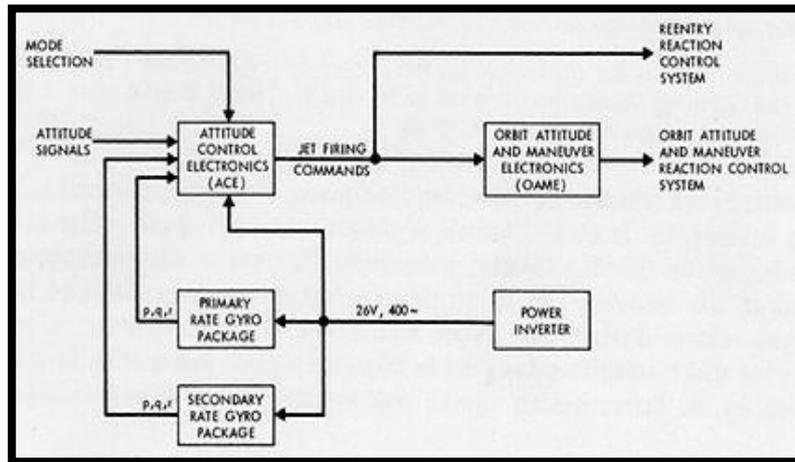


Figura 1.17. Diagrama de bloques funcionales
Fuente. (Crespo, 2013)

En la Figura 1.18 se muestra el diagrama de tipo escalera: Este es el lenguaje más común en la utilización de PLCs, casi todos los modelos y tipos de PLCs lo soportan. Tiene gran similitud a los diagramas, de conexión de sistemas de control mediante el uso de relés electromecánicos, compuestos por conexiones gráficas de tipo booleano, en forma diagramas de circuitos eléctricos. En este lenguaje se usan la mayoría de señales booleanas y no se usan variables análogas. Tiene una estructura de programación simple, está alimentada de izquierda a derecha, utiliza barras de alimentación, elementos de enlace y estados, trabaja en base a la lógica de unos “1” que significa con energía y ceros “0” sin energía. Con su función los elementos interconectados dejan fluir la energía a los demás elementos o la interrumpen. Considerado uno de los lenguajes más utilizados por los desarrolladores en la programación, pues es soportado por casi todas las marcas y modelos, además su facilidad y simplicidad, pues es lo más cercano al lenguaje máquina Este lenguaje se conoce como LAD (*Ladder Logic*). (Unicrom, 2016)

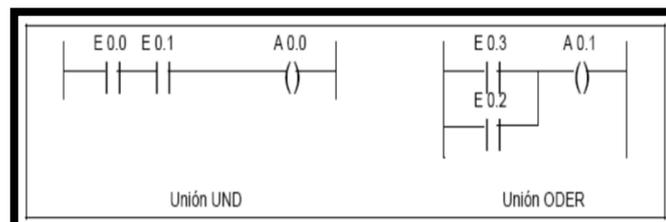


Figura 1.18. Diagrama tipo escalera
Fuente. (Unicrom, 2016)

En la Figura 1.19 se muestra la lista de instrucciones (IL/STL): Es un lenguaje tipo texto, se asemeja a un ensamblador o código de máquina. Su uso es muy conveniente en programas de poca extensión. Consisten en dar instrucciones seguidas de una dirección sobre la que va a actuar dicha instrucción. (Unicrom, 2016)

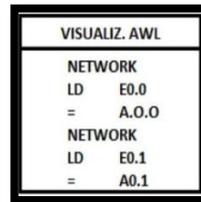


Figura 1.19. Visualización diagrama AWL.
Fuente. (Unicrom, 2016)

En la Figura 1.20 se muestra el texto estructurado (ST): Este es un lenguaje de tipo textual, de alto nivel y mayor complejidad, utilizado por desarrolladores con un nivel más alto de instrucción en programación, este lenguaje es muy similar a los lenguajes PASCAL, BASIC y C. Por medio de este lenguaje se pueden formular tareas construir bloques de funciones basados en reglas o instrucciones, es decir que para la automatización y control es de gran utilidad. Es una forma de programar, cuando se requiere generar ciclos se usa como ejemplo: “if”, “while”, “for”, “case”. También se lo conoce como SCL (Lenguaje de Control Estructurado). (Unicrom, 2016)

```

1
2  (* infoPLC.net TEMPORIZADOR *)
3
4  (*Instruccion TIMX ( Bit de activacion, Nombre del temporizador, Valor de temporizacion) *)
5  TIMX(Marcha,Temporizador1,Valor_Tim);
6
7  (* infoPLC.net ACTIVACION DE TEMPORIZADOR y PUESTA A ON DE MOTOR *)
8  IF Temporizador1.CF = TRUE THEN
9      Motor:= TRUE;
10 END_IF;
11
12

```

Figura 1.20. Texto estructurado
Fuente. (Wikipedia, 2104)

1.7.11 Interfaz hombre máquina (HMI)

En la figura 1.21 se muestra una interfaz hombre máquina cuya finalidad permite la comunicación entre el operador del proceso o equipos con el sistema de control, este permite la interacción entre el operador o supervisor con la máquina o proceso. Es conocido como un Entorno mediante el cual se puede visualizar, monitorear y controlar procesos o equipos, debe ser amigable y comprensible para la persona que interactúe con él, sin dejar de ser seguro y confiable. (Instrument, 2018)



Figura 1.21. Interfaz hombre maquina
Fuente. (Instrument, 2018)

CAPITULO 2

2.1 MARCO METODOLÓGICO

Para dar inicio al desarrollo de este proyecto, se usaron los métodos de investigación como la técnica de revisiones bibliográficas ya que fu necesario, buscar información de varias fuentes que permitieron conocer varios proyectos con características similares para mejorar la problemática actual y recopilar así los datos necesarios para presentar una propuesta innovadora, además se incluyen textos de automatización y control, instrumentación electrónica e información de hojas técnicas de cada uno de los dispositivos seleccionados para realizar el sistema de comunicación. Además se usaron varios métodos tales como deductivos, observación directa, método experimental y documentación.

2.1.1. MÉTODO DEDUCTIVO

Para la fundamentación teórica basados en una revisión bibliográfica, se elaboró el Capítulo 1, con el desarrollo del mismo el método deductivo, para abordar desde el aspecto más general de los sistemas de refrigeración y al partire este llegar hasta conocer sus componentes principales, su funcionamiento, que son aquellos que van a ser intervenidos en este proyecto. También mediante este método se desarrolla el tema de automatización, de tal forma que al tener claros los dos temas generales de la fundamentación teórica, se pueda elaborar una propuesta acorde a los requerimientos de la industria.

2.1.2. MÉTODO DE OBSERVACIÓN DIRECTA

Se realiza un levantamiento de todos los componentes del sistema de refrigeración, principalmente del compresor Vilter, esta observación permitió conocer el estado y funcionamiento actual, tanto del equipo como de su sistema de control

2.1.3. MÉTODO EXPERIMENTAL

En la fase de implementación, se realizó la programación tanto del PLC como la HMI, basado en la lectura comprensiva y analítica de los manuales de programación de los equipos. Una vez programados tanto el PLC como el HMI, se configura también la conectividad con dispositivos móviles y a través de la técnica de prueba y error se corrige los problemas e inconvenientes presentados en el proceso, tales como calibración en la lectura de sensores y transductores, tiempos, y funcionamiento de aplicaciones para dispositivos móviles.

2.1.4. MÉTODO DOCUMENTACIÓN

El proyecto de investigación se desarrolló con una modalidad bibliográfica ya que en primera instancia se revisó proyectos de tesis de grado que tienen alguna semejanza con el tema propuesto, además de tener un enfoque más amplio del tema seleccionado se documentó todo lo realizado durante la ejecución del presente trabajo.

Esta investigación se fundamentó básicamente en información recopilada en internet, folletos, libros, revistas y alguna otra información relacionada con el tema, enfocándose en los métodos y equipos utilizados para el desarrollo del sistema de refrigeración industrial.

CAPITULO 3

3.1 PROPUESTA

3.1.1. DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA PROPUESTA

En el diagrama de bloques de la Figura 3.1 se presenta el proceso a seguir para la elaboración de la propuesta, es así que se iniciará por el reconocimiento del proceso, pues antes de plantear la propuesta es necesario conocer el requerimiento del Cliente.

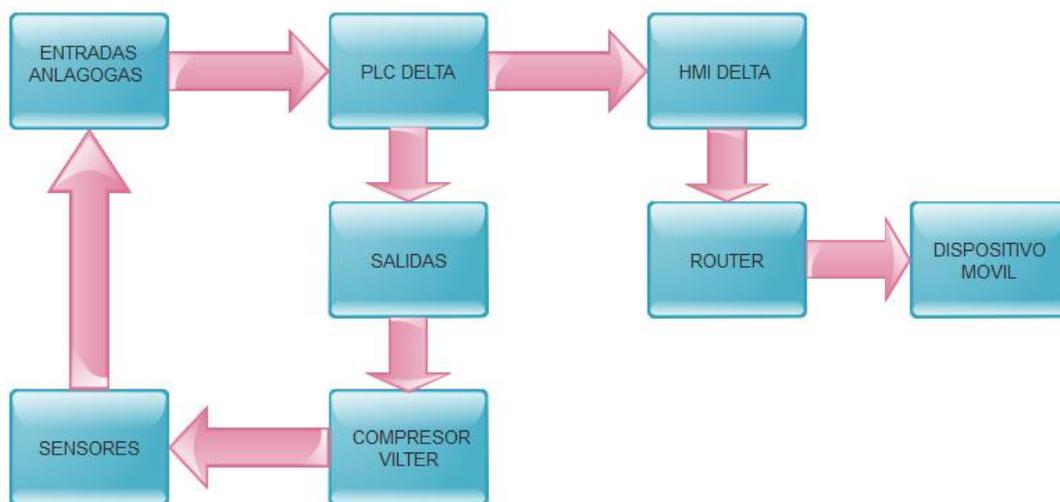


Figura 3.1. Diagrama de bloques de la propuesta.
Fuente. (Autor)

3.1.2 RECONOCIMIENTO DEL PROCESO

Actualmente el compresor alternativo Vilter VMC 450 XL, utilizado tiene un sistema de control con uso de sensores de tipo mecánico como presostatos, los cuales poseen una membrana que con el uso y el tiempo pierden su elasticidad y se vuelven deficientes, otro problema encontrado es que el sistema actual no permite llegar a la presión deseada. De igual manera no existe visualizadores o indicadores de los parámetros.

Otro parámetro a controlar es la presión del aceite lubricante, misma que actualmente posee dos preso-switches, el primero para alarma de advertencia de baja presión y el segundo para apagado del equipo por muy baja presión.

También se mide la presión de descarga, de la misma forma tiene dos presostatos para control, el uno para alarma de advertencia de alta presión y el segundo para apagado de la máquina por muy alta presión de descarga.

3.1.3 PLANTEAMIENTO DE LA PROPUESTA

Como se muestra en la Figura 3.2 una vez reconocido el proceso, la propuesta planteada comprende el cambio de los presostatos por instrumentos análogos con señal de 4 a 20 mA, para lo cual se usarán transmisores de presión utilizados para aire acondicionado comercial y para aplicaciones de refrigeración comercial e industrial específicamente, son fabricados en acero inoxidable para ser compatibles con refrigerantes.

La tecnología de estos sensores ofrece una precisión de regulación de alta presión, factores muy importantes en la capacidad energética de red y en las plantas de refrigeración.

Las señales de estos sensores, tanto análogas como digitales serán llevadas hacia el PLC, que mediante el programa diseñado controlará las salidas de tipo relé. El PLC también tendrá una comunicación de tipo Modbus RS 485 con la HMI que será el que facilite el monitoreo y operación del proceso.

Uno de los requerimientos es que mediante la HMI ofrezca conectividad a dispositivos Android, de tal forma que el operador pueda controlar el equipo sin necesidad de acercarse al monitor de operación. Para lo cual se usará protocolos de comunicación Ethernet TCP/IP hacia un equipo Router, el mismo que a través de cualquier conexión a internet permitirá el acceso al sistema de monitoreo desde cualquier dispositivo Android



Figura 3.2 Diagrama de la propuesta Fuente (Autor)

3.1.4 MÓDULOS DE LA PROPUESTA

La propuesta se desarrollará en 4 módulos las cuales serán:

- Módulo de control
- Módulo de visualización
- Módulo de comunicación
- Módulo de activación

3.1.5 DIAGRAMA DE FLUJO DEL FUNCIONAMIENTO

El funcionamiento del compresor como se muestra en la Figura 3.3 se basa en la medida de la presión de la succión del valor calibrado en la programación del PLC de acuerdo a la necesidad establecida, una vez que la presión sube el valor o punto de seteo se enciende el compresor de la siguiente forma:

- Si la presión se encuentra arriba de los 20 psi, que es el punto de seteo, entonces debe arrancar con una capacidad del 100% hasta alcanzar la temperatura ideal, es decir con 8 pistones del compresor
- Si la presión se encuentra por arriba de los 50 psi deberá trabajar con una capacidad del 60% ayuda a estabilizar la temperatura ideal, es decir con 6 pistones del compresor
- Si la presión se encuentra por arriba de los 100 psi deberá trabajar con una capacidad del 30% con una temperatura ideal, es decir con 2 pistones

Así este proceso quedará en forma automática con los valores emitidos por los transmisores.

Al pasar el gas por el compresor, la presión se eleva y también la temperatura, el cual fluye por el condensador en donde el gas se convierte en líquido a la misma presión y menor temperatura.

El líquido ingresa a la válvula de expansión, misma que lo pulveriza para pasar al evaporador que es donde el agua del proceso absorbe el frío y el amoníaco del compresor absorbe el calor es decir se produce el intercambio de calor, el amoníaco sale del evaporador para iniciar nuevamente el ciclo.

Es usual que cuando se arranque el compresor se mida alta presión de descarga, por el remanente del proceso anterior, para lo cual existe una válvula de bypass de compresor que sirve para eliminar esta alarma.

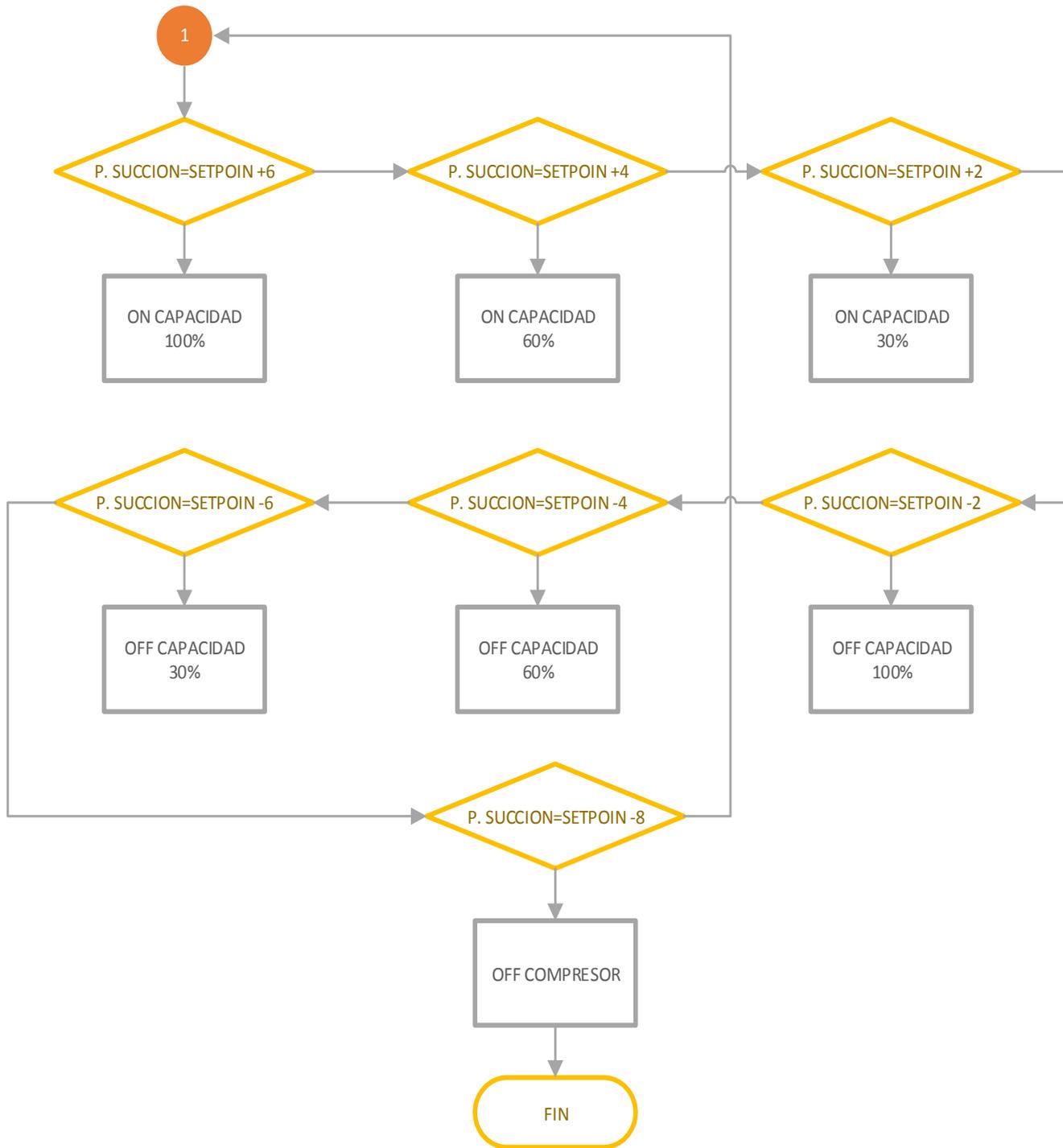
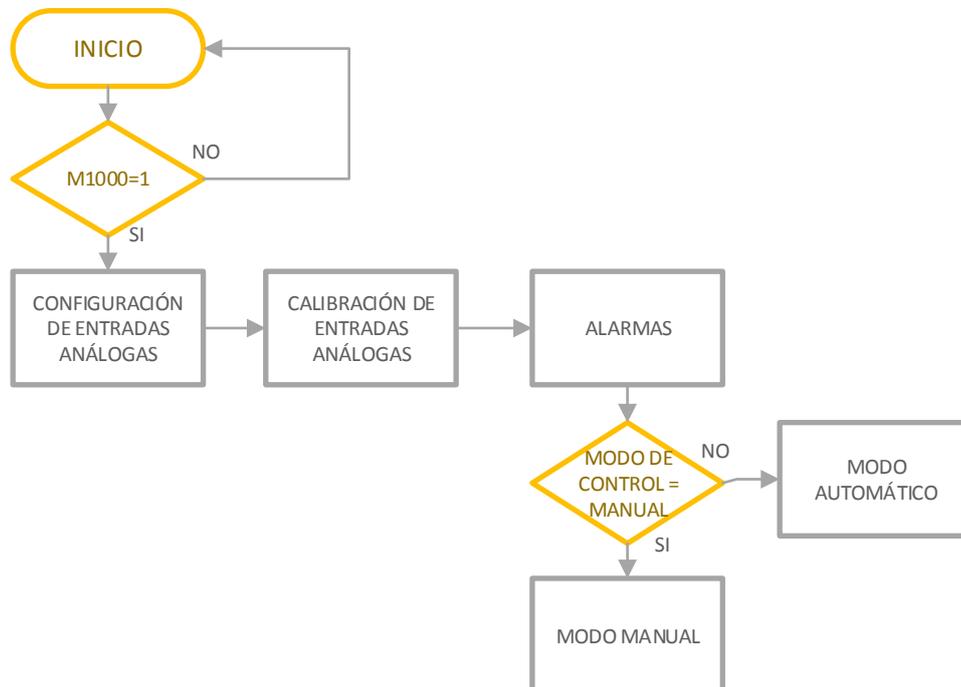


Figura 3.3 Diagrama de flujo del programa del PLC 4

3.1.6 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO

En la Figura 3.4 describe el funcionamiento del compresor se basa en la medida de la presión de succión, una vez que la presión sube del valor o punto de seteo se enciende el compresor, que posee un conjunto de procesos que interactúan en armonía para tener el enfriamiento ideal y de esta manera cumplir con los requisitos de la empresa usuaria, en este caso es ILUSOL los subprocesos que tiene el compresor son los siguientes:

- Configuración de entradas analógicas
- Calibración de entradas analógicas
- Alarmas
- Modo manual
- Modo automático



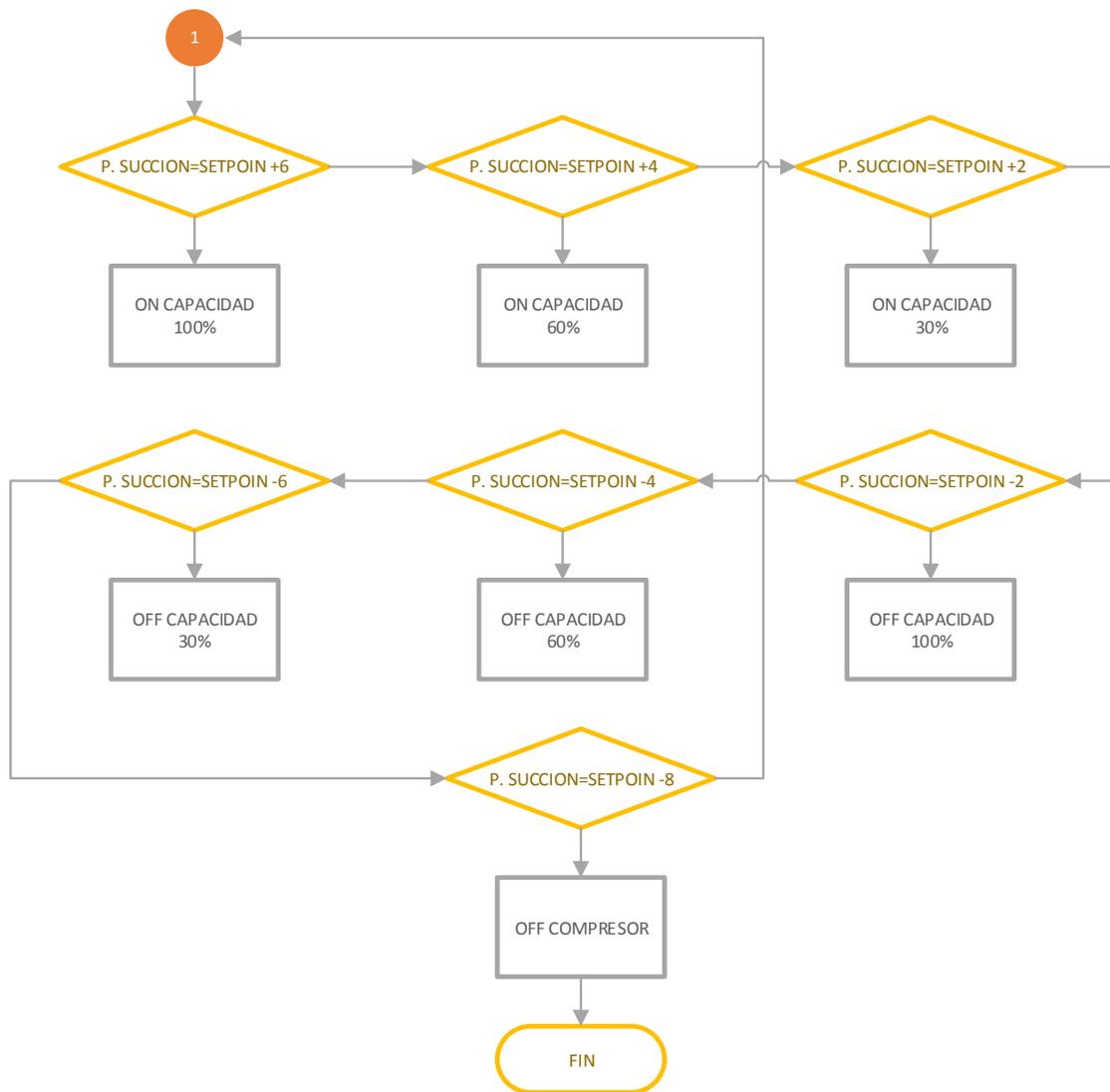


Figura 3.4 Diagrama de flujo del proceso Fuente. (Autor)

3.1.7 CONFIGURACION DE ENTRADAS ANALÓGICA

Para adquirir datos externos, procesarlos y generar una respuesta. La forma de adquirir estos datos es mediante las entradas analógicas en los PLC. Estas entradas permiten la conexión con sensores o dispositivos de medición. Estos elementos realizan una conversión entre magnitud física que midan y una magnitud eléctrica que el PLC pueda trabajar. (TITOS, 2018)

El PLC trabaja con estos datos en función de la programación interna que se haya establecido y generar una señal de salida que volcara sobre el elemento actuador que realizará la acción deseada. (TITOS, 2018)

3.1.8 CALIBRACION DE ENTRADAS ANALOGICAS

Para la calibración de las entradas analógicas se utilizará un sensor transmisor Danfos AKS de 4 a 20 mA de dos hilos el proceso consiste en hacer que muestre una alarma si la presión de succión disminuye al menos de 20 psi y si sube a más de 100 psi es decir la presión siempre debe estar entre 20 a 100 y estos valores se podrá visualizar en la HMI, para esta calibración se considera los siguientes conceptos.

- Elegir y configura la tarjeta de entra analógica
- Programar la alarma pertinente de alta y baja
- Graficar la presión en la HMI

3.1.9 PROGRAMACIÓN DE ALARMAS

Para programar la alarma, como muestra en la Figuras 3.5 simplemente lee la señal recibida y si es inferior al valor parametrizado dará alarma de baja y si se superior al valor establecido dará alarma de alta.

Además, de configurar una tercera alarma que es la lectura la cual debe estar entre 4000 y 20000 ya que de no ser así, es que algo pasa en la instalación.

A la hora de programar las alarmas de alta y de baja, y aunque no sea el caso, es conveniente filtrar dichas alarmas, esto es temporizarlas de tal forma que un pico bien por arriba o por abajo, no de alarma ya que puede considerar como un pequeño ruido en la señal que hay que tratar como tal y por tanto no refleje una falsa alarma.

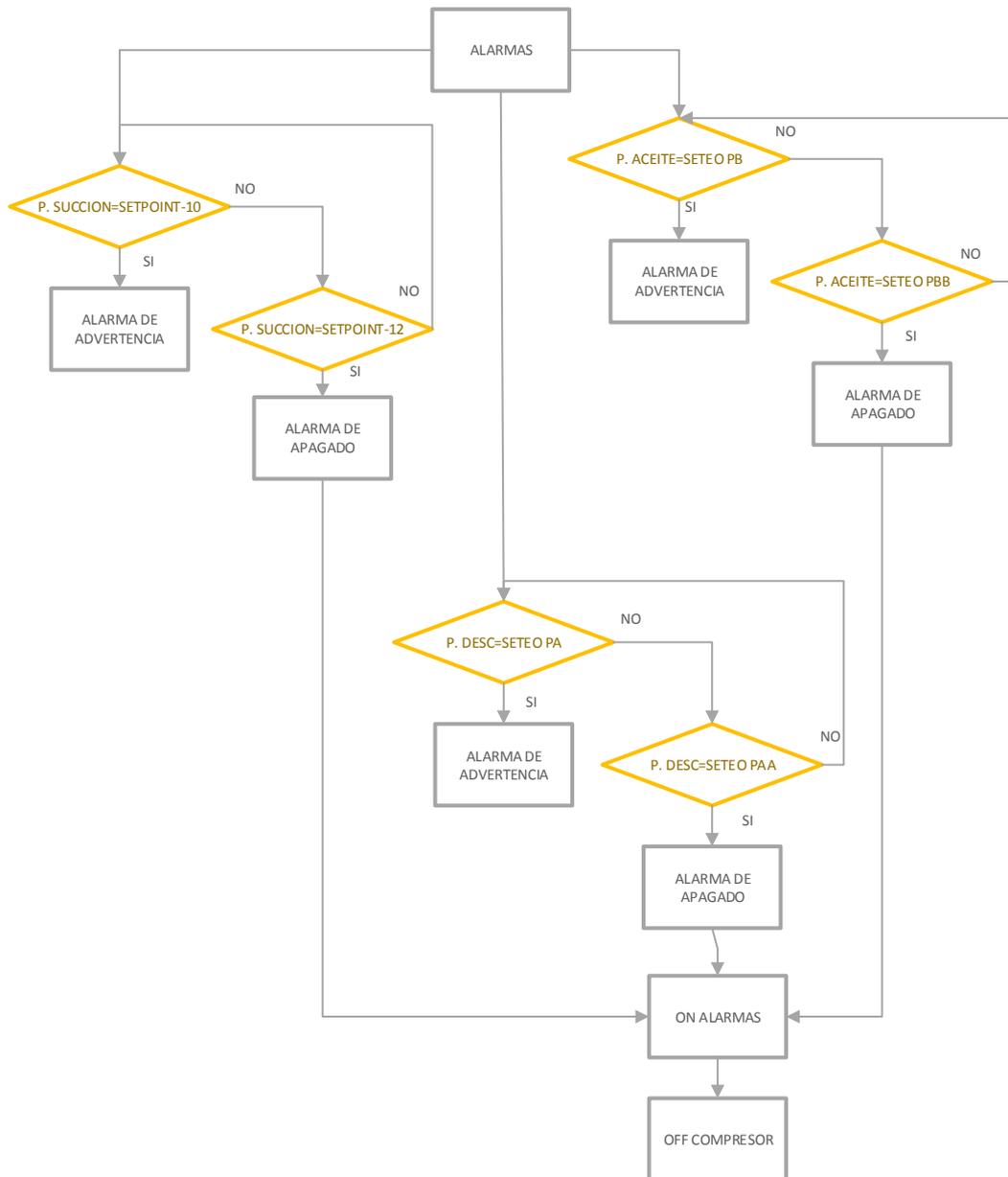


Figura 3.5 Diagrama de flujo del proceso Fuente. (Autor)

3.1.10 MODO AUTOMÁTICO

Al seleccionar el modo automático, el motor eléctrico del compresor no enciende debido a que los parámetros se encuentran alarmados, al resetear las alarmas el motor encenderá y dará paso a diferentes funciones, que serán emitidas por los transmisores de presión las cuales están calibradas para la protección del sistema, entonces si se tiene una baja presión de succión el motor se apagará de la misma manera pasará con la sobrepresión así al mantener las presiones requeridas el sistema trabaja de forma automática. Como se muestra en la Figura 3.6

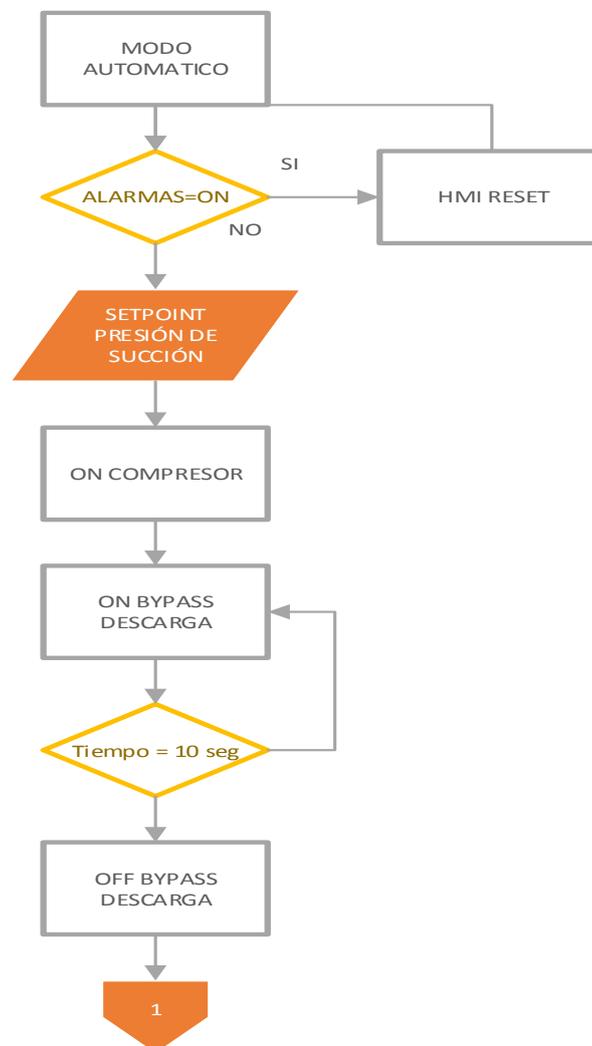


Figura 3.6 Diagrama de flujo del Proceso Fuente. (Autor)

3.1.11 MODO MANUAL

Cuando se selecciona en modo manual el motor eléctrico del compresor no se mueve de acuerdo a las parámetros impuestos por el operador ya que se encuentra con alarmas por baja presión, al resetear dichas alarmas el motor recibirá la orden de encender. Como se muestra en la Figura 3.7

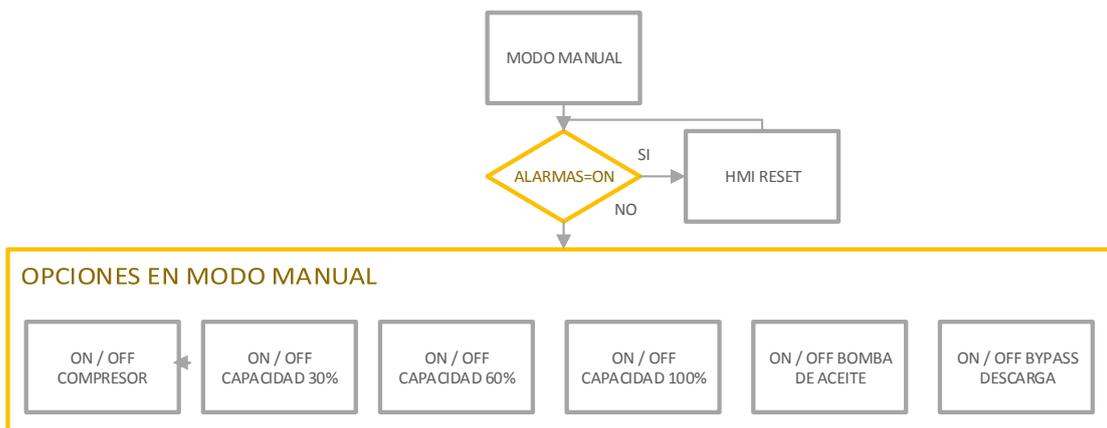


Figura 3.7 Diagrama de flujo del Proceso
Fuente. (Autor)

3.2 ASPECTOS TECNICOS DEL PRODUCTO

3.2.1 SENSORES O TRANSMISORES DE PRESIÓN DANFOS

Los transmisores de presión AKS mostrados en la Figura 3.8 están diseñados para un control preciso y optimizado energéticamente. Su diseño robusto hace que el AKS sea apropiado en un amplio rango de aplicaciones como: Planta de refrigeración, aplicaciones de control de proceso, aplicaciones de laboratorio. Ofrecen compensación por temperatura para transmisores de baja (LP) y alta (HP) presión, desarrollados especialmente para instalaciones de refrigeración: LP: $-30 - +40^{\circ}\text{C}$ (16 bar) y HP: $0 - +80^{\circ}\text{C}$ (>16 bar). Compatibilidad con todos los refrigerantes incluido el amoníaco. Protección eficaz contra la humedad significa que el sensor se puede instalar en ambientes muy agresivos. (Danfos, 2018).

Los sensores que se usarán son:

- Presión de succión: Sensor – Transmisor de presión Danfos AKS32, rango: 0-200 PSI
- Presión de descarga: Sensor – Transmisor de presión Danfos AKS33, rango: 0-415.5 PSI
- Presión de aceite lubricante: Sensor – Transmisor de presión Danfos AKS33, rango: 0-200 PSI



Figura 3.8 Sensor Danfos AKS
Fuente. (Danfos, 2018)

3.2.2 PLC DELTA SX2

La serie SX2 como muestra en la Figura 3.9 incorpora espectaculares funciones respecto de su predecesora SX. Una de las principales características es que soporta módulos de comunicación de alta velocidad (comunicación Ethernet, Can Open, analógicos, etc.).

La MPU SX2 dispone de un puerto USB para su programación y dos puertos RS-232 y RS-485 (Modbus maestro y esclavo), además de un mayor número de entradas y salidas respecto a la serie SX (8 entradas digitales, 6 salidas de relé, 4 entradas análogas y 2 salidas análogas) soporta hasta 480 I/O, una memoria de 16K y un procesador más rápido (0.35 a 1 microsegundo) para un mejor desempeño en los procesos, entradas y salidas de alta velocidad y funciones aritméticas avanzadas. (DELTA, 2018)



Figura 3.9 PLC Delta SX2
Fuente. (Instrument, 2018)

3.2.3 PANEL TÁCTIL HMI DOP-B0. ESPECIFICACIONES

Una interfaz de máquina humana (HMI) como es una plataforma que permite la interacción entre usuarios y equipos de automatización. Los productos HMI de Delta proporcionan varios puertos de comunicación para una comunicación rápida y un control conveniente de una amplia gama de máquinas, sistemas e instalaciones. La pantalla táctil a color permite la entrada intuitiva de parámetros y una variedad de formas de visualizar datos variables, incluidos los gráficos de tendencia y los elementos de alarma. La pantalla LCD de alta resolución visualiza el funcionamiento, la supervisión y el control eficiente en tiempo real. Además, el software de edición fácil permite a los usuarios crear rápidamente iconos visuales fáciles de navegar y diseñar pantallas de monitoreo intuitivas para aplicaciones, al tiempo que ajustan, programan secuencias operativas que mejoran la flexibilidad y ahorran tiempo. Esto permite un rápido desarrollo del sistema que simplifica el cableado y la instalación, ahorra gastos de operación y hace que los sistemas sean más eficientes, elimina el ajuste que consume tiempo y los costos de mantenimiento adicionales. (DELTA, 2018)

- 4,3 " Color (480 x 272 píxeles) TFT LCD 129 x 103 x 39
- 2 juegos de puertos COM, Ethernet soporte RS232 / RS485
- Para la transferencia / descarga de datos: RS232, USB, Ethernet
- Compatible con Ethernet
- La pantalla táctil cumple con IP65
- Admite pantalla horizontal / vertical

- Software de edición para PC, DOPSoft es compatible con los sistemas operativos: Windows XP, Windows Vista, Windows 7.

3.2.4 NÚMERO DE ENTRADAS Y SALIDAS

Para iniciar el proyecto se requiere identificar el número de entradas y salidas del PLC, tanto a nivel digital como analógicas. Una vez identificado que cumple con las características necesarias para el sistema, las cuales se detallan en las siguientes Tablas 3.1, 3.2

Entradas	Tipo
Presión de succión	Análogo
Presión de descarga	Análogo
Presión de aceite lubricante	Análogo
Hongo de seguridad	Digital

Tabla 3.1 Entradas requeridas
Fuente. (Autor)

Salidas	Tipo
Bypass compresor	Digital
ON/OFF compresor	Digital
Alarma(sonora)	Digital
Capacidad 30%	Digital
Capacidad 60%	Digital
Capacidad 100%	Digital

Tabla 3.2. Salidas requeridas
Fuente. (Autor)

3.2.5 ENTRADAS ANALÓGICAS 4-20mA en SX2

Lo que se ha escogido para este caso es el SX2 que es una tarjeta de entrada analógica incorporada en el PLC que es de 9/12/14 bits.

Lo primero será realizar la configuración del cableado como muestra en la Figura 3.3 ya que la entrada en corriente es de 4-20 mA a dos hilos que son los requerimientos plateados.

Se as especificaciones del transmisor la cuales van de 4-20 mA que serán las lecturas que en el programa se visualizaran como valores entre 0 y 27648 pero podrá ser cualquier valor en función de la tarjeta a configurar y el tipo de lectura.

Finalmente el transmisor dará 4 mA cuando la señal este al 0% de la escala y 20 mA cuando este al 100% de la escala en general la fórmula utilizada será:

$(P_{real} - P_{min}) / (P_{max} - P_{min}) = (señal_{mA} - 4mA) / (20mA - 4mA)$ que es la ecuación de una recta que pasa por dos puntos conocidos (P_{min} , 4mA) y (P_{max} , 20mA) por lo tanto, se tendrá que la recta vendrá dada $(P_{real} - 0psi) / (200psi - 0psi) = (Señal_{mA} - 4mA) / (20mA - 4mA)$, o lo que es lo mismo:

$Presión\ Real\ (psi) = (Señal_{mA} - 4mA) * (100psi) / (20mA - 0mA)$ Es decir, en el PLC se verá la $Presión = (señal - 0) * 100psi / (27648 - 0) = Señal * 100 / 27648$

3.2.6 TRABLERO ELÉCTRICO

Para dicho proyecto el sistema tendrá un tablero principal de control, en donde se integrarán los elementos seleccionados el tablero constará de las siguientes etapas de control las mismas que se describen a continuación.

- Breaker Principal del sistema de control Schneider de 10 A
- Fuente de poder delta 110VAC- 24 VDC
- PLC delta SX2

- Relés Camsco MK2P-I de bobina de 24 VDC contactos 250 VAC-28VDC
- Bornes de conexión de paso con contactos a tornillo
- Pantalla HMI delta DOP BO3

3.2.7 DISEÑO ELÉCTRICO

En la Figura 3.14 se muestra el diseño eléctrico, en este se tiene que el PLC es la parte medular del proceso ya que en él se encuentra toda la programación tanto para el control de las entradas análogas y la comunicación por medio de puertos R232 para la interface HMI, del cual tendrá una conectividad vía Wifi para el control remoto del proceso.

El PLC, interactúa de manera directa con cada uno de los transmisores que serán las que trabajan en función de una corriente de 4 a 20 mA que será emitida por la presión.

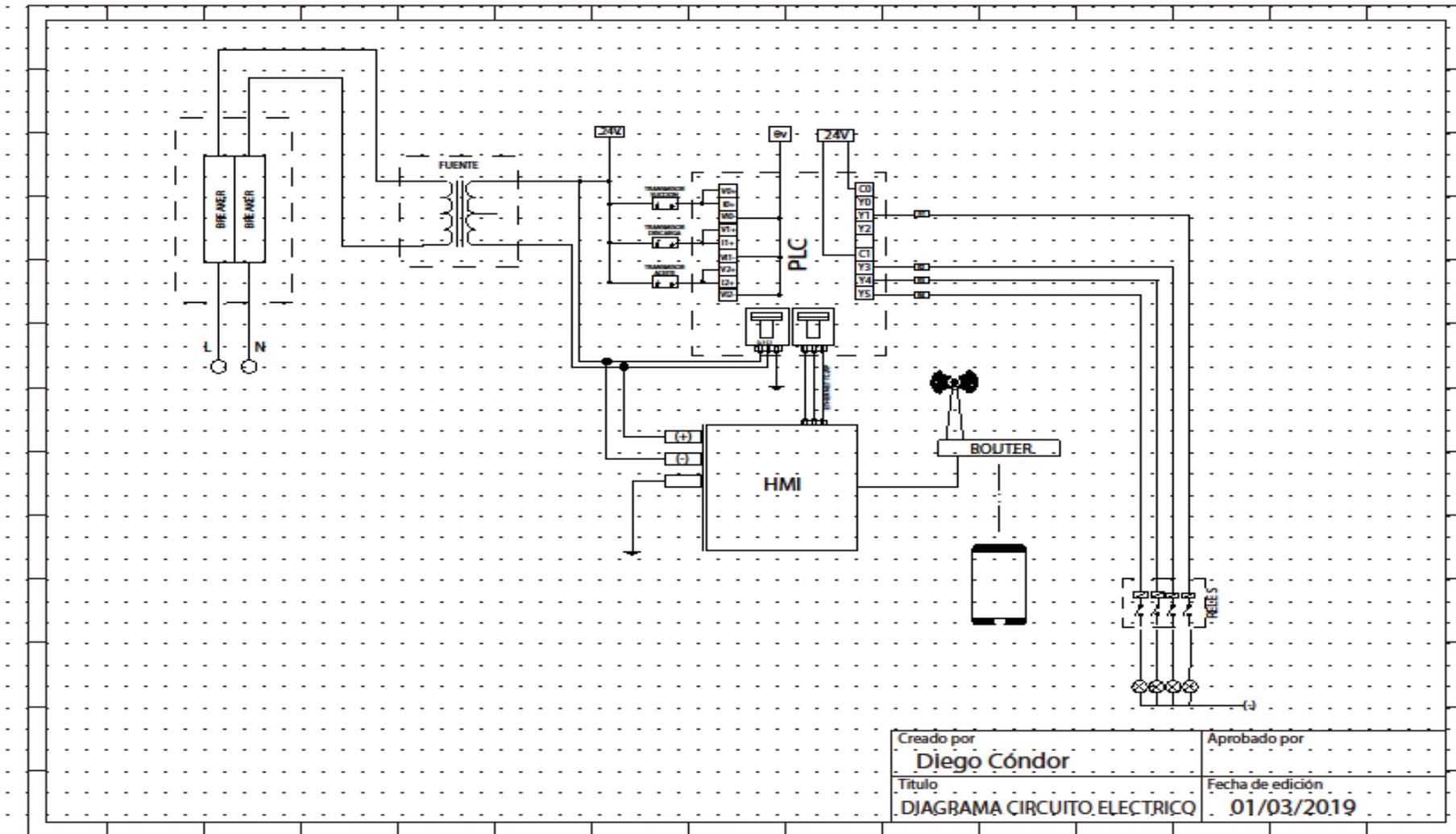


Figura 3.14

Fuente (Autor)

3.2.8 COMUNICACIÓN

La comunicación es la transferencia de datos de un lugar a otro. Existen dos tipos de comunicación, alámbrica que se realiza a través de cables o fibra óptica y la inalámbrica utiliza ondas electromagnéticas.

La comunicación requerida en entre el PLC y la HMI es por medio del protocolo MODBUS RS 485

3.2.9 SOFTWARE O PROGRAMA

Este tema es importante porque se requiere saber qué tipo de lenguajes maneja el PLC y que además si poseen un set de instrucciones, adicional se debe tomar en cuenta si es un software libre o no. Para este proyecto es necesario el manejo de dos lenguajes; Ladder o diagrama de escaleras para las variables digitales bloque de funciones y las variables análogas.

El software utilizado para la programación del PLC Delta es el WPLSoft en la versión 2.46, es un programa de descarga libre, maneja lenguajes como Ladder, bloques de funciones y diagrama de secuencias.

3.3 ANÁLISIS DE COSTOS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO

Para el análisis de costos, es necesario tomar en cuenta los objetivos planteados en el desarrollo del proyecto, esta servirá de base para investigar los elementos que se acoplen de forma idónea a las necesidades del proyecto, es necesario cumplir con las características

y funciones requeridas y la disponibilidad en el mercado de los elementos constitutivos para su desarrollo.

3.3.1 SELECCIÓN DEL PLC.

En el mercado actual de autómatas industriales o PLCs existen en gran cantidad de marcas y cada marca posee un amplio catálogo de modelos de diferentes características que se acoplan a las necesidades de los usuarios para la selección de dicho PLC se ha considerado las siguientes características que posee el PLC delta DVP2OSX2 (DELTA, 2018)

3.3.2 ANÁLISIS DE LA SELECCIÓN DEL PLC

En la Tabla 3.3 se detalla las especificaciones necesarias para el proyecto, se ha tomado como referencia 3 tipos de PLCs los cuales sobre sale el delta SX2 por sus entradas y salidas, comunicación y sobre todo el software libre.

PLC	# E/S	Comunicaciones	Software libre	Precio
Delta SX2	SI	SI	SI	\$ 550,00
Logo	SI	SI	Limitado en comparaciones y lógica matemática	\$ 500,00
Step 1200	SI (Requiere módulo de expansión análogo)	SI	NO	\$ 851,00

Tabla 3.3. Selección del PLC
Fuente. (Autor)

3.3.3 SELECCIÓN DE LA HMI

Las interfaces HMI disponibles en el catálogo empresa Ilusol son los que se muestra en la Tabla 3.4 y de esto es seleccionado el HMI Delta, pues este ofrece conectividad con Android, mismo que es un requerimiento adicional del cliente:

HMI	CONEXIÓN ANDROID	Precio
Siemens 4 pulgadas	NO	\$ 600,00
Delta 4 pulgadas	SI	\$ 450,00

Tabla 3.4. Selección del HMI
Fuente. (Autor)

3.3.4 SELECCIÓN DE MATERIALES

Para la elaboración del tablero de control se utilizarán los siguientes materiales detallados acorde a la propuesta realizada con el fin de garantizar la implementación del tablero de control.

- Caja o gabinete metálico son aquellos que se presentan como una sola unidad funcional sin posibilidad de expansión.
- Perfil o riel din es una platina doblada que se utiliza para la fijación de elementos en cuadros eléctricos.
- Regletero o Borneras es la parte del cuadro donde se encuentran las regletas o bornes de conexión se fijan en perfiles normalizados con pestañas tipo clip la conexión de los cables se realiza con tornillos de apriete.
- Terminales de tipo pin afilado son los que permiten realizar una correcta conexión de los cables
- Canaletas se utilizan para fijar los conductores eléctricos por el interior del cuadro.
- Espirales son cintas plasticas tubulares que permiten la creación de mangueras por arrollamiento en forma de espiral.

- Breaker son elementos de protección de las instalaciones eléctricas que se conectan en serie con el circuito que tiene q proteger
- Relés disponen de un circuito magnético y un conjunto de contactos.
- Cables o conductores eléctricos.

3.3.5 PRESUPUESTO DEL PROYECTO

Luego de haber seleccionado los elementos de todo el circuito se procede a realizar el presupuesto del proyecto. En la tabla 3.5 se puede observar el costo total por la implementación del proyecto en este constan los valores por material programación y mano de obra.

En el análisis de costos se considera el valor involucrado en el desarrollo del proyecto, los elementos constitutivos en la elaboración del sistema de refrigeración.

Fueron considerados varios puntos de vista, como es el espacio en el cual va a ser desarrollado, versatilidad, complejidad, calidad, durabilidad, precio, etc.

CANTIDAD	DESCRIPCION	Valor Unitario	Valor Total
1	PANTALLA DELTA HMI 4" DOP	450,00	450,00
1	PLC DELTA SX2	550,00	550,00
1	FUENTE DELTA 220-24VDC	82,00	82,00
1	CABLE DE COMUNICACIÓN PLC RS232	12,00	12,00
1	BREAKER DE 2 AMP	12,50	12,50
4	RELES 24 VDC 3CN/3NA	8,00	32,00
20	BORNERAS PARA RIEL DIN	1,50	30,00
1	CABLE APANTALLADO UTP/IP BLACO	2,00	2,00
1	FUNDA TERMINALES PUNTERA AZUL	5,00	5,00
1	RIEL DIN	2,75	2,75
1	FUNDA DE ESPIRAL NEGRO	3,00	3,00
1	CANALETA RANURADA	7,00	7,00
20	CABLE FLEX18 AWG	0,20	4,00
1	CABLE DE COMUNICACIÓN PLC HMI	14,00	14,00
1	REMACHADORA COAXIAL	15,00	15,00
	MANO DE OBRA		-
1	PROGRAMACION PLC DELTA	500,00	500,00
1	DIAS DE TRABAJO HOMBRE	500,00	500,00
1	PROGRAMACION PANTALLA DELTA	400,00	400,00
1	ARMADO Y DISEÑO DE TABLERO	350,00	350,00
		SUB TOTAL	2.971,25
		IVA	356,55
		TOTAL	3.327,80

Tabla 3.5. Análisis de costos
Fuente (Autor)

3.3.6 ANÁLISIS DE TIEMPOS

En el análisis de tiempo se realiza una descripción del cronograma realizado durante las fases que comprenden el desarrollo completo del proyecto, en las Figuras 3.15, 3.16, 3.17, 3.18 se muestra las actividades a realizar.

En la primera tarea se define el desarrollo de requerimientos para la programación del sistema de refrigeración industrial, la estructura del funcionamiento, estudio y selección del plc que se empleará para determinar su aplicación más estratégica.

La segunda fase está dedicada al diseño eléctrico, programación y comunicación.

Posteriormente en la tercera etapa se contempla la adquisición e implementación, se tomaron varios factores como cotizaciones, elementos eléctricos y de control, software a utilizar etc. que cumplen con las especificaciones técnicas requeridas.

La selección de dichos elementos se hace a base del costo beneficio, se elabora el tablero de control, diseño y planos eléctricos. Se realiza la programación de pantallas mediante el software DOPSoft, en el cual se crean la interface a controlar, por último se realizan las pruebas de funcionamiento mediante calibradores de campo y la entrega del proyecto.

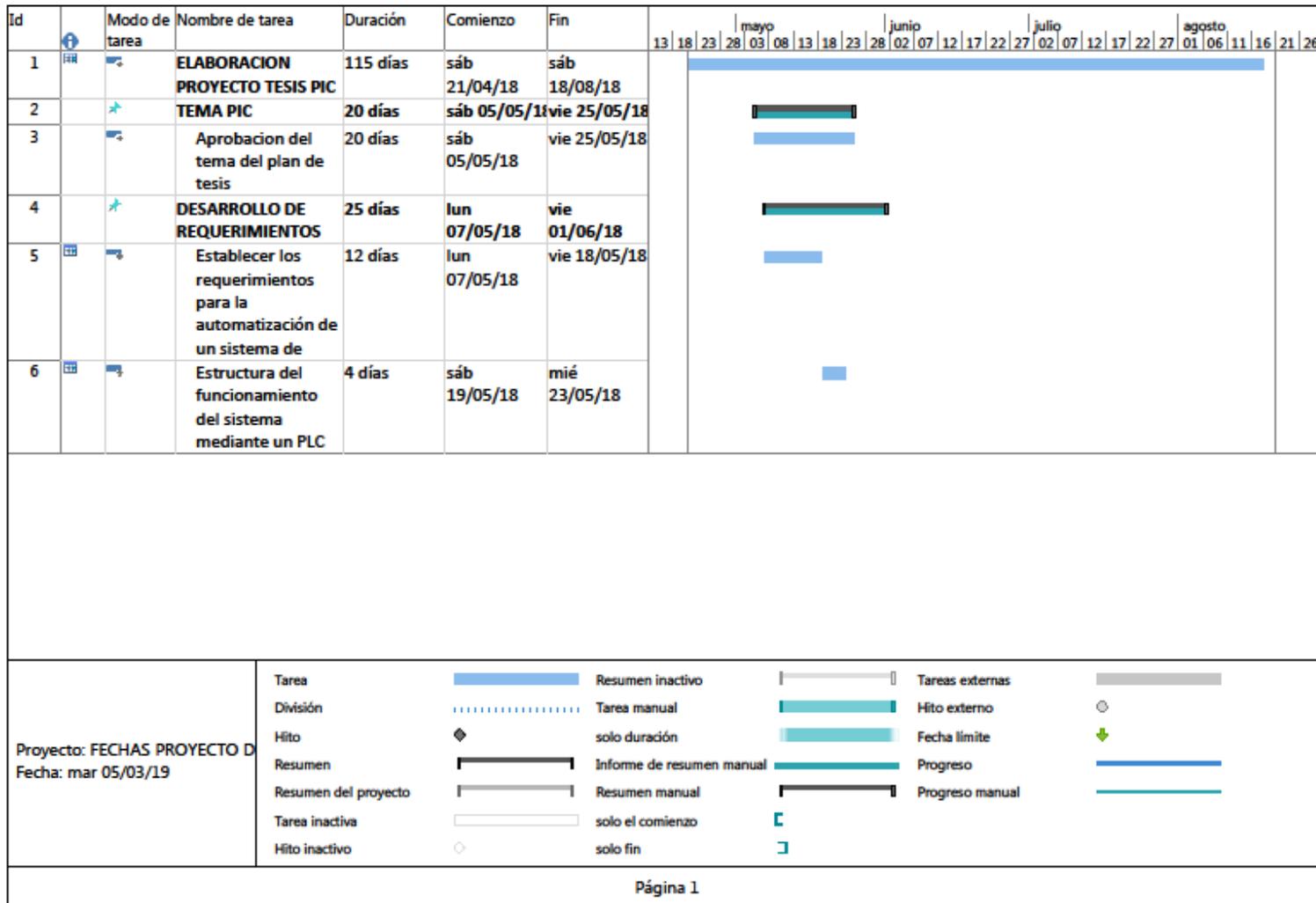


Figura 3.15
Fuente (Autor)

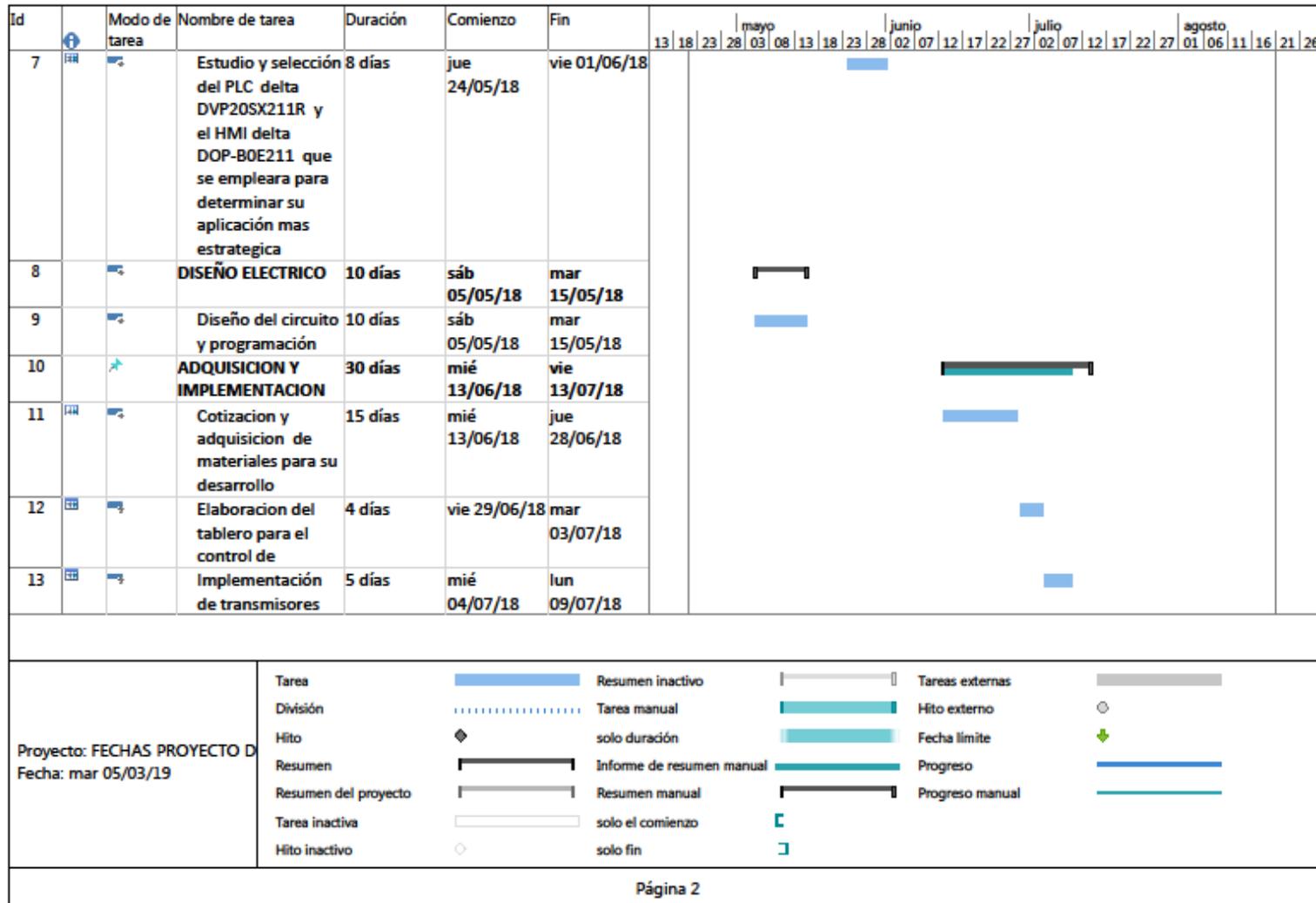


Figura 3.16
Fuente (Autor)

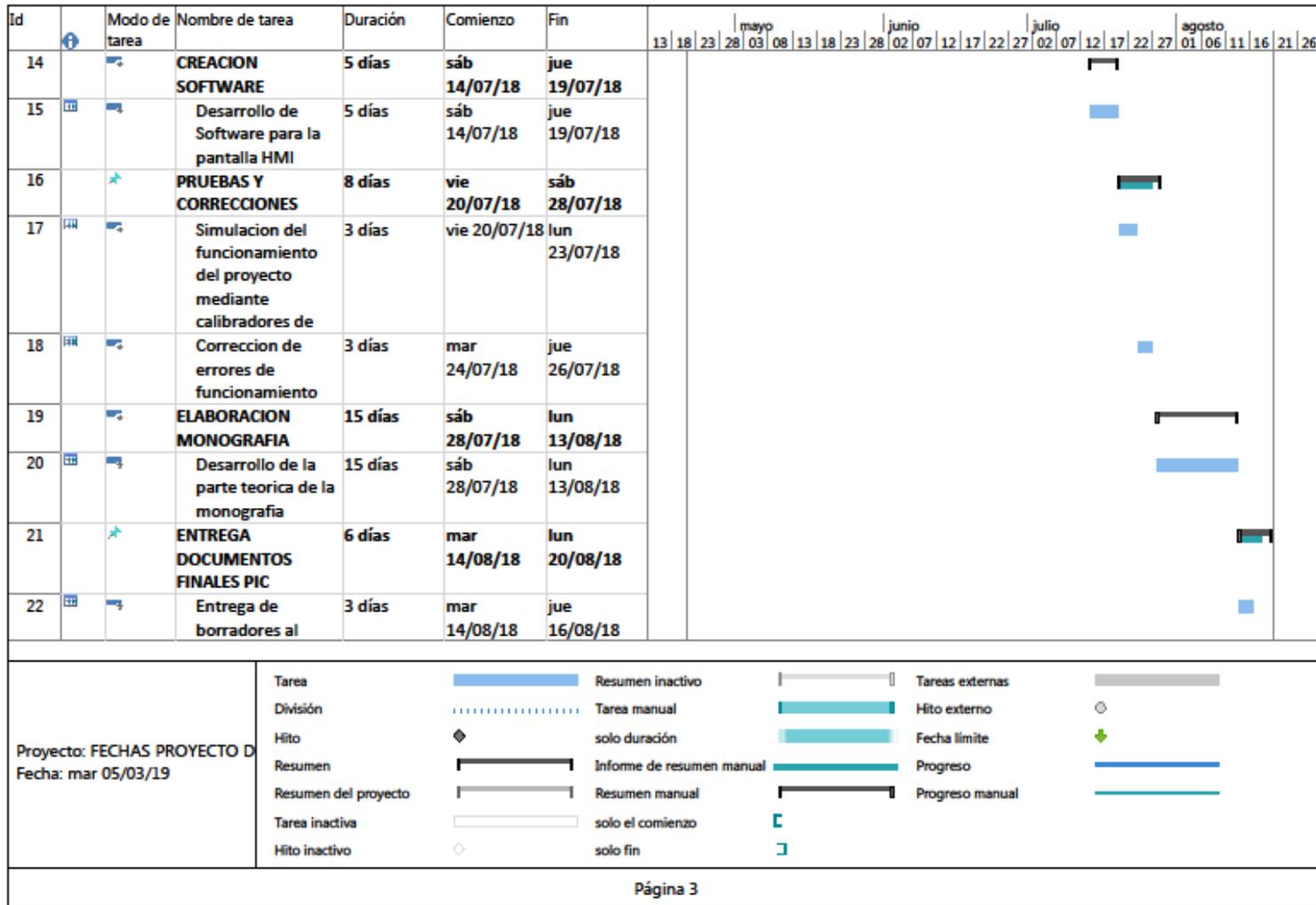


Figura 3.17
Fuente (Autor)

3.3.7 VENTAJAS DEL PRODUCTO PROPUESTO

Al realizar el cambio de un sistema de control de tipo mecánico a uno electrónico mediante PLC existen grandes ventajas tales como:

Mejora la eficiencia energética, pues se puede controlar de forma más precisa las capacidades de trabajo del compresor, lo cual disminuye el consumo de energía.

Con el cambio de presostatos a sensores de presión se disminuirá el tema de paradas del proceso por falla de los mismos.

El sistema permitirá mejor monitoreo del proceso, tanto desde el HMI como desde el dispositivo móvil que es una de las características que posee el HMI Delta, su facilidad de comunicación con sistemas Android.

El PLC y HMI Delta son equipos industriales, probados con excelentes características y que además disminuyen costos.

El tener una comunicación inalámbrica el operador disminuye los tiempos de respuesta ante cualquier eventualidad.

La comunicación por dispositivos móviles también hace que el operador disminuya el sobre esfuerzo en las tareas que realiza

CAPITULO 4

4.1 IMPLEMENTACION

En el desarrollo del sistema de refrigeración, fue necesario la adquisición de todos los materiales anteriormente indicados, estos se adquirieron en el mercado nacional, sin necesidad de su importación, la implementación del proyecto se divide en la parte eléctrica parte de control y la parte de programación de aplicación HMI.

Parte eléctrica.- esta parte está constituida por la elaboración del tablero eléctrico en el cual se integran todos los elementos a utilizar mediante diagramas y planos eléctricos se procede a su desarrollo.

Parte de control. - Esta estará constituida por la electrónica que comprende el controlador lógico programable, está es la parte medular del sistema de refrigeración, además de controlar todos los elementos constitutivos de la misma, los elementos electrónicos que se dispone son: interface hombre maquina HMI que realiza la comunicación con el Smartphone.

Parte de Software. - Esta hace referencia a la interface HMI, que será la parte a programar, que servirá para elaboración de pantallas, el programa será realizado con la herramienta, DOFsoft que es de acceso libre. La programación del PLC fue desarrollada mediante el software WPLSolf versión 2.30 la cual se muestra en la Figura

4.2 PROGRAMACIÓN DEL PLC

En la siguiente Figura 4.1 se muestra el diagrama de bloques del esquema del funcionamiento del sistema de refrigeración.

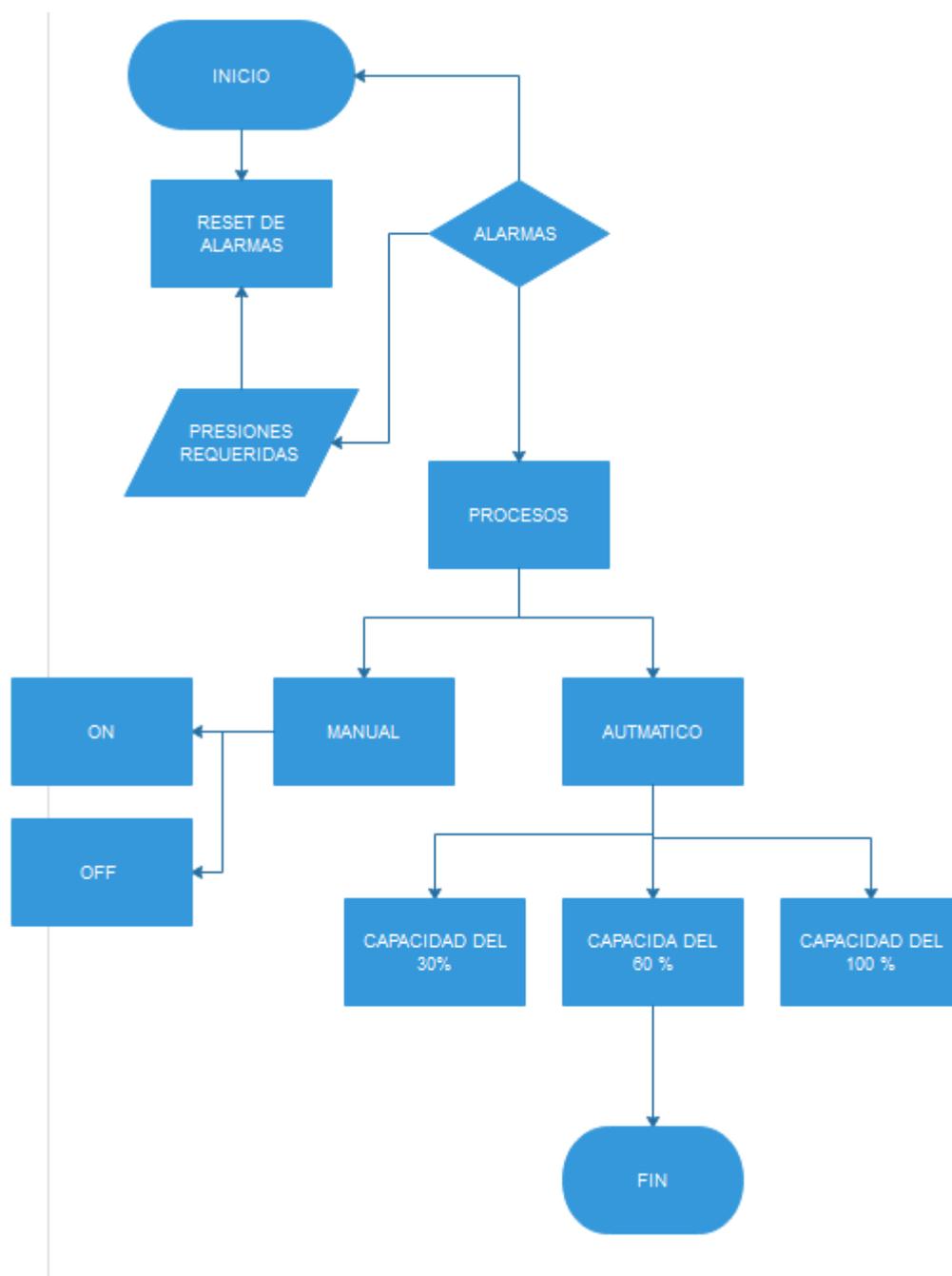
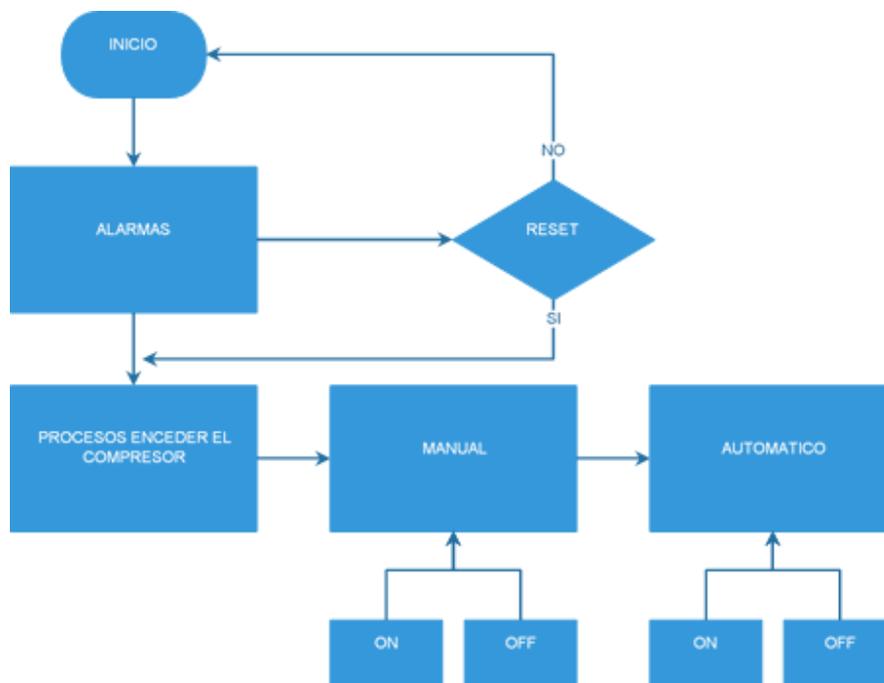


Figura 4.1
Fuente (Autor)

4.2.1 DIAGRAMA DE FLUJO PANTALLAS

En la Figura 4.2 se muestra el proceso inicial para el encendido del compresor el cual al tener las alarmas activas no encenderá por las bajas presiones, una vez alcanzado los valores nominales tendrá dos opciones de manual o automático



**Figura 4.2 Diagrama de Flujo
Fuente (Autor)**

4.2.2 PROGRAMACION DEL HMI

En la Figura 4.3 se muestra la pantalla principal que puede direccionar hacia el proceso o alarmas.



Figura 4.3 Pantalla 1
Fuente (Autor)

En la Figura 4.4 se visualiza los parámetros del proceso, muestra presiones de succión, y descarga, presión de aceite así como también el modo de operación si es manual o automático, el tipo de capacidad en el que se está activo.

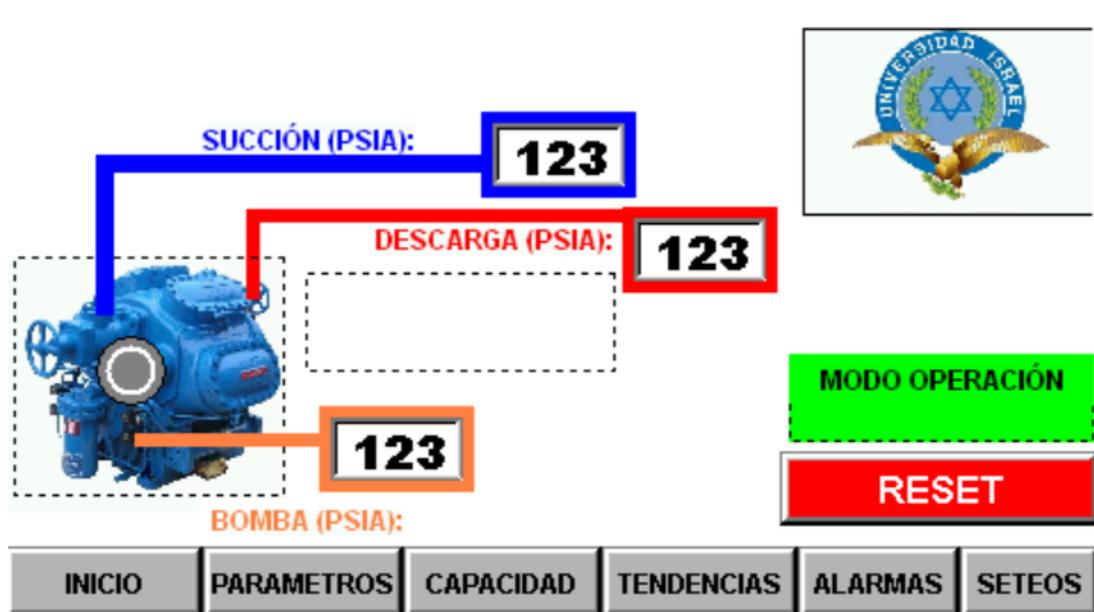


Figura 4.4 Pantalla 2
Fuente (Autor)

En la Figura 4,5 muestra los valores de las presiones tanto de succión como descarga presión neta de la bomba capacidades del 30% ,60% y 100% de trabajo del compresor.



Figura 4.5 Pantalla 3
Fuente (Autor)

En la Figura 4.6 muestra la presentación gráfica de la presión de succión así, como también los históricos y el valor en psi

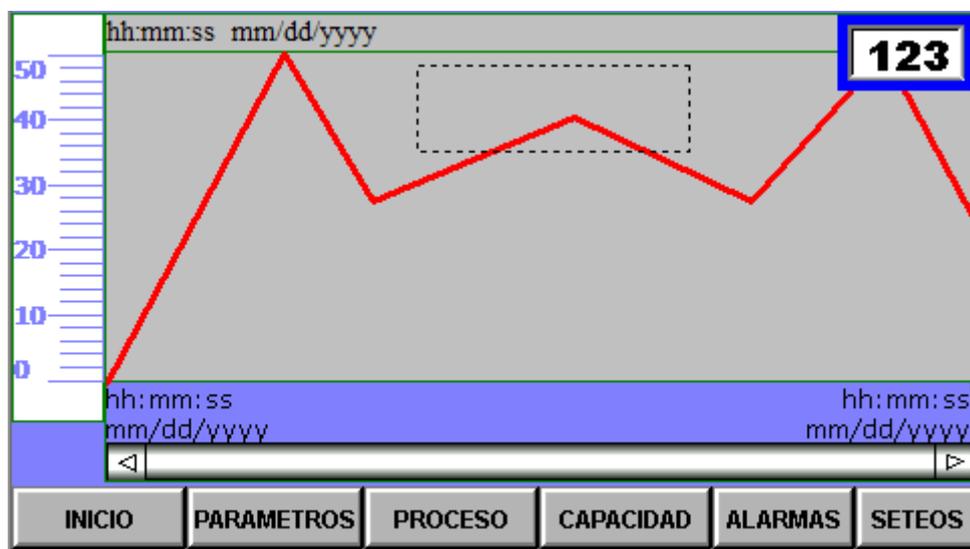


Figura 4.6 Pantalla 4
Fuente (Autor)

En la Figura 4.7 se representan las alarmas ya sea de advertencia o apagado del compresor por bajas o altas presiones de succión, descarga y presión de aceite.

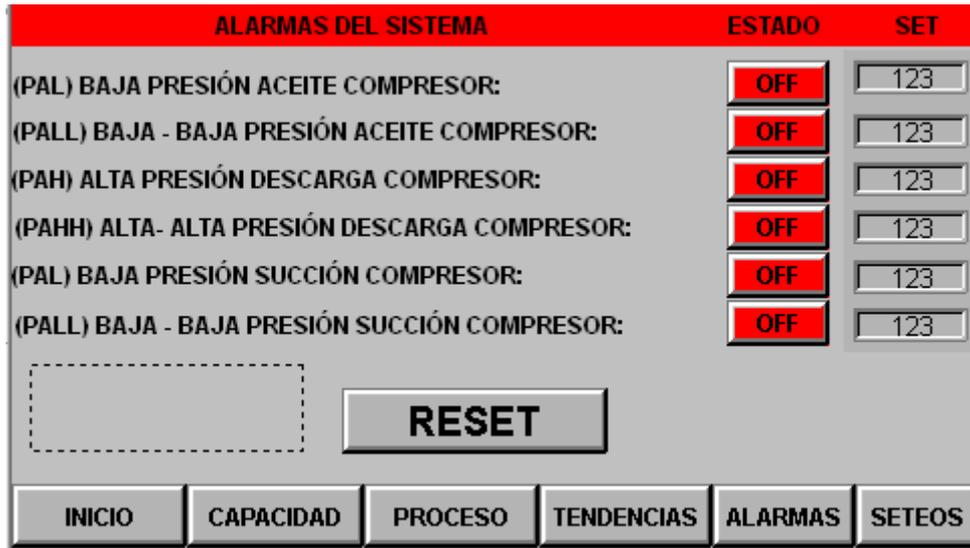


Figura 4.7 Pantalla 5
Fuente (Autor)

En la Figura 4.8 la pantalla permite el ingreso del setpoint o punto de seteo de la presión de succión, permite elegir el modo de operación, ya sea manual o automático, permite arrancar o apagar el compresor, bajo los parámetros establecidos en el PLC, es decir en modo manual.



Figura 4.8 Pantalla 6
Fuente (Autor)

En la Figura 4.9 presenta los valores de seteo de las alarmas y a su derecha se encuentran los valores medidos.



Figura 4.9 Pantalla 7
Fuente (Autor)

En la Figura 4.10 muestra la pantalla, más útil en caso del uso para mantenimiento, desde esta se puede operar en modo manual controla las capacidades del compresor



Figura 4.10 Pantalla 8
Fuente (Autor)

4.2.3 CONFIGURACIÓN DE LA CONECTIVIDAD CON ANDROID

La conectividad con dispositivos Android se logrará mediante la conexión de la interfaz Ethernet de la HMI al puerto LAN Ethernet del equipo Router, configurado los dos puertos en el mismo segmento de red de la HMI, mediante la interfaz WAN del Router se podrá conectar la red de la HMI al internet. La HMI Delta cuenta con conectividad con Android 1.5 mediante la aplicación eRemote. La aplicación crea un túnel a través de la WAN hasta alcanzar la red LAN de la HMI, mediante el ingreso de la dirección IP del equipo.

En el sitio web de la compañía Delta Eletronics se puede descargar con el dispositivo móvil la aplicación gratuita Android eRemote App 1.0.0.21 y así realizar la siguiente configuración:

Antes de instalar la aplicación eRemote, en el dispositivo móvil, la configuración de seguridad no permite un origen desconocido, para ello se procede habilitar la opción instalar desde un origen desconocido. Como se muestra en la Figura 4.11

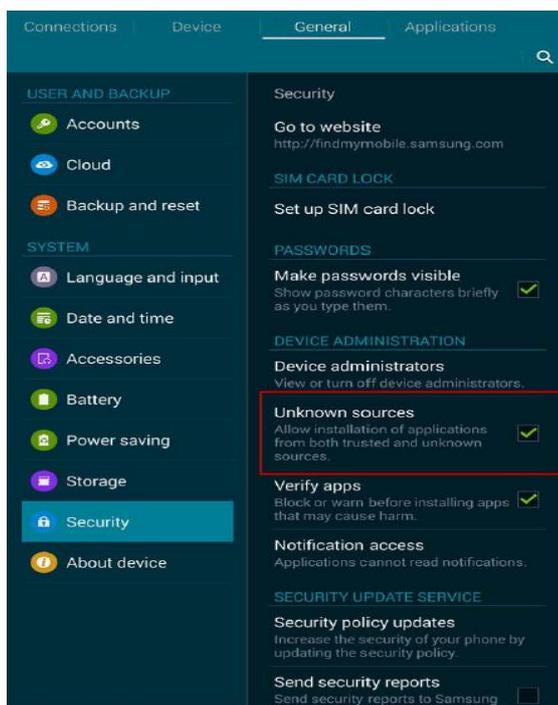


Figura 4.11 Configuración preliminar
Fuente (Autor)

En la Figura 4.12 se muestra la configuración de la aplicación eRemote. Cuando la instalación esté completa, haga clic en la aplicación eRemote para su ejecución y la pantalla se mostrará de la siguiente manera.

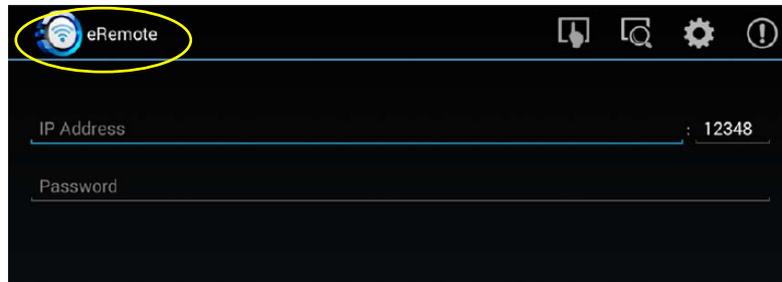


Figura 4.12 Configuración Eremote
Fuente (Autor)

En la Figura 4.13 Los usuarios también pueden buscar HMI a través de una dirección IP generada por la pantalla.



Figura 4.13 Búsqueda de equipo Delta
Fuente (Autor)

En la Figura 4.14 se ingres la contraseña predeterminada es 12345678).

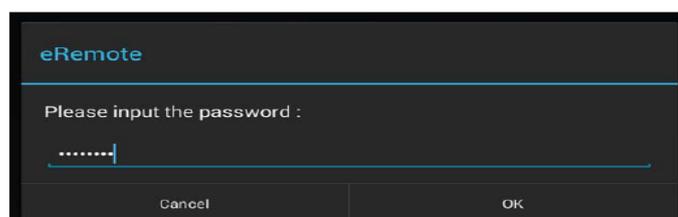


Figura 4.14 Ingresar contraseña
Fuente (Autor)

En la Figura 4.15 se muestra cuando se enlazan correctamente los dispositivos, de esta forma se puede controlar de una manera remota.



**Figura 4.15 Pantalla en eRemote
Fuente (Autor)**

4.2.4 DISEÑO DEL TABLERO DE CONTROL

Una vez identificado los elementos a utilizar, se procede con la construcción del tablero de control para la automatización del sistema de refrigeración. En la Figura 3.10 se muestra el diseño.

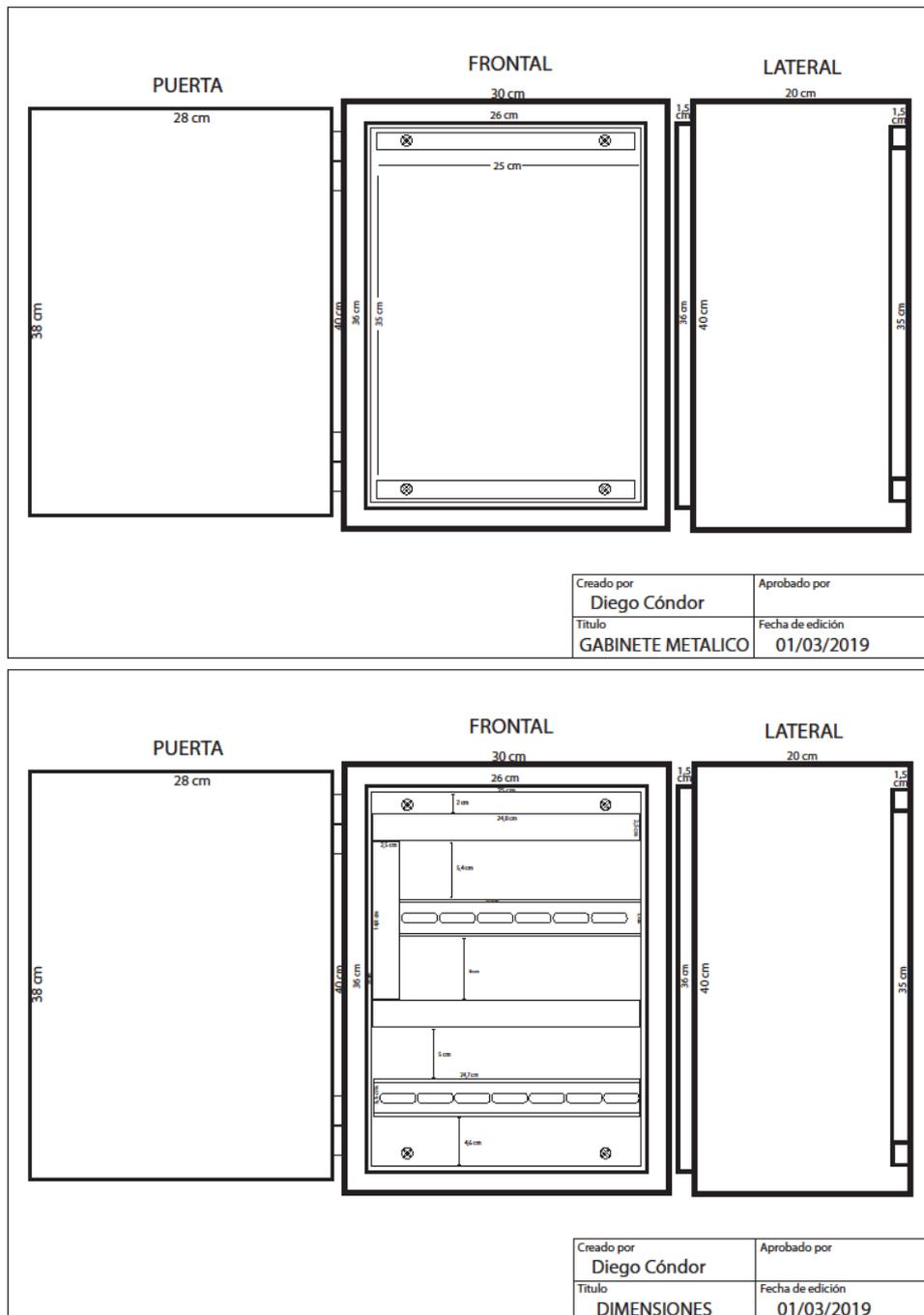


Figura. 3.10
Fuente. (Autor)

4.2.5 DISEÑO Y DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS

Para el diseño se utilizó un gabinete metálico, en el cual se realizó la distribución de los elementos mostrados en las Figuras 3.11, 3.12, 3.13 las cuales por sus dimensiones se integraron de la mejor forma.

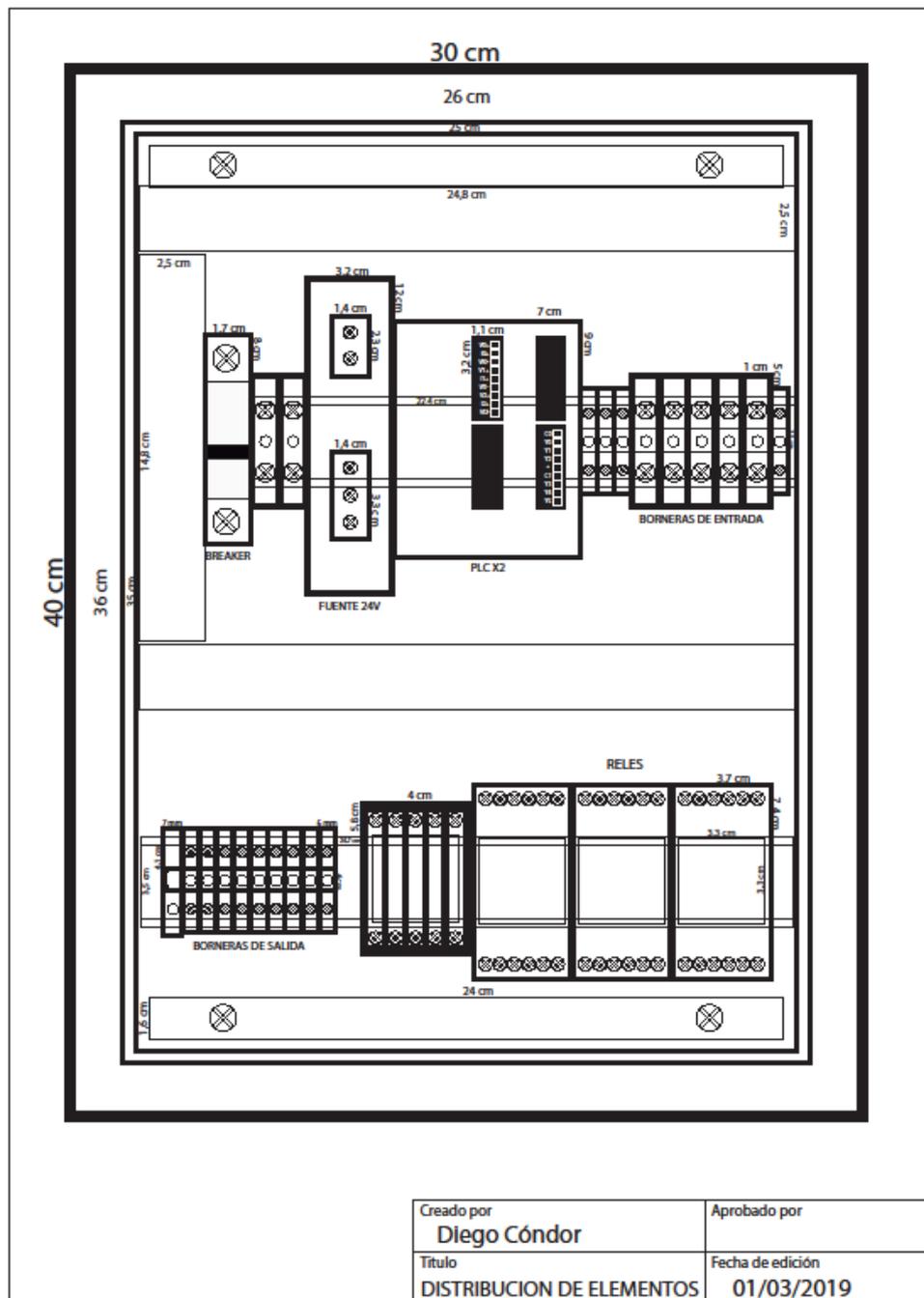


Figura. 3.11
Fuente. (Autor)

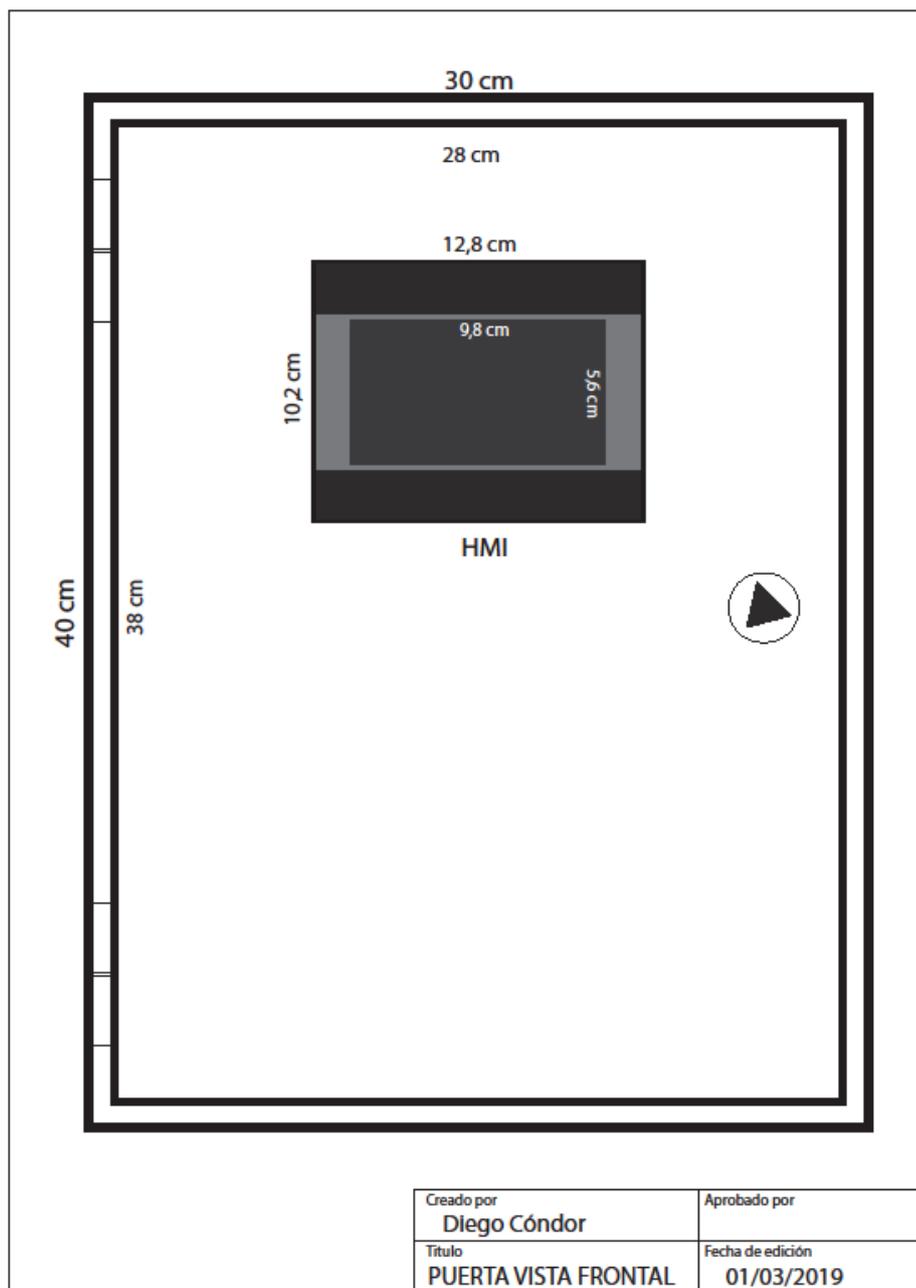


Figura 3.12
Fuente. (Autor)

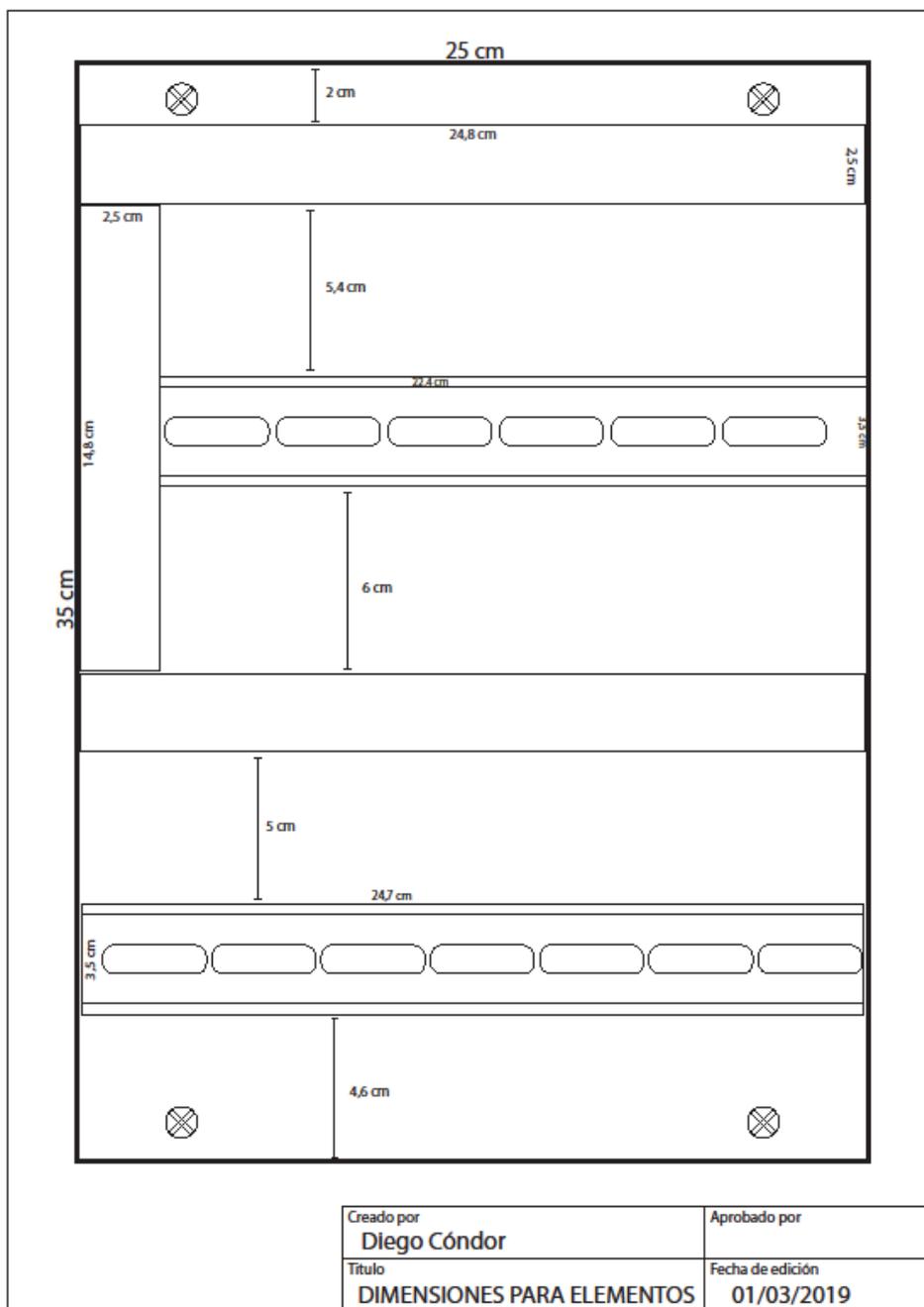


Figura. 3.13
Fuente. (Autor)

4.2.6 CONSTRUCCION DEL TABLERO DE CONTROL

Para la parte de la construcción del tablero de control fueron necesarias varias herramientas de mano y maquinas las cuales son:

- Cinta métrica (metro)
- Regla metálica
- Lima
- Sierra manual
- Sierra eléctrica
- Taladro
- Brocas
- Remachadora

En la Figura 16 se muestra las herramientas utilizadas para la construcción del tablero.



Figura 4.16 Herramientas
Fuente (Autor)

En la Figura 4.17 se muestra el diseño y las dimensiones para acoplar los elementos que integran el tablero es necesario utilizar herramientas de medida.

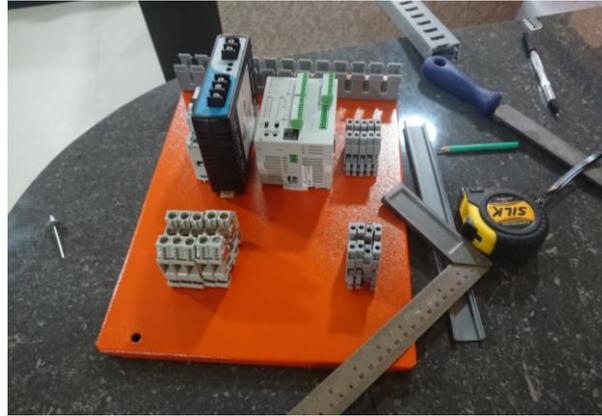


Figura 4.17 Dimensiones Fuente (Autor)

En la Figura 4.18 se muestra las herramientas fijación de la canaleta y los soportes para los elementos.



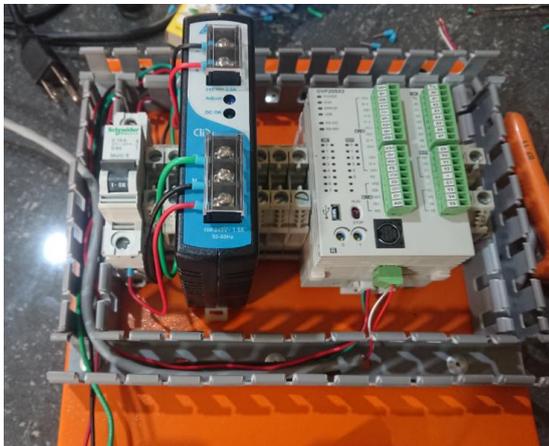
Figura 4.18 Fijación Fuente (Autor)

Una vez fijado los soportes se anclan los elementos tales como el plc fuente bornera y relés. Mostrados en la Figura 4.19



Figura 4.19 Fuente (Autor)

Una vez anclados los elementos se procede con la instalación eléctrica los cables se fijan en las canaleta ranurada como se muestra en la Figura 20.



**Figura 20 Instalación eléctrica
Fuente (Autor)**

Ya terminado la instalación eléctrica se procede a instalar el HMI el cual estará en la parte delantera del tablero como se muestra en la Figura 4.21



**Figura 4.21 Instalación HMI
Fuente (Autor)**

Una vez terminado todo el proceso de construcción del tablero se presenta dentro de la caja metálica como se muestra en la Figura 4.22

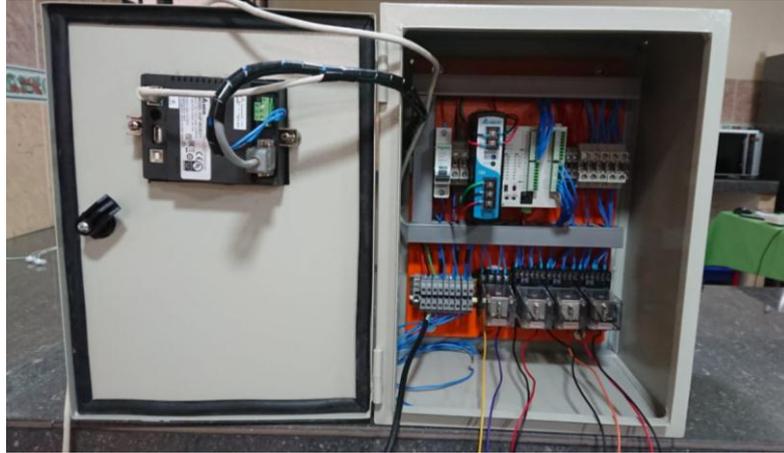


Figura 4.21 Presentación en Caja Fuente (Autor)

4.2.7 PRUEBAS DE ANÁLISIS Y RESULTADOS

En este presente se describen las diferentes pruebas realizadas en el tablero y los dispositivos de control de manera individual, con el objetivo de eliminar posibles errores que posteriormente afecten el funcionamiento de la máquina las pruebas a realizar son:

- Prueba de conexiones
- Pruebas eléctricas
- Pruebas de módulo de presión con calibrador de procesos o generador de señales
- Prueba de comunicación

4.2.8 Prueba de conexiones

El objetivo de esta prueba es verificar que todos los elementos y el cableado que conforman el tablero de control se encuentren debidamente conectados con la finalidad de descartar errores en la conexión. Para esto se utilizará un multímetro con el cual se procede

a medir continuidad entre los diferentes puntos. Al tener como referencia los diagramas de conexiones y la identificación realizada anteriormente se procede con la prueba como se muestra en la figura 4.21



**Figura 4.18 Pruebas de continuidad
Fuente (Autor)**

4.2.9 Pruebas de voltaje

El objetivo de estas pruebas es verificar que existan el correcto nivel de voltaje y corriente en los diferentes elementos del tablero de control.

Por medio de un multímetro se verifica el nivel de voltaje a la entrada y salida de la fuente de poder como se indica en la figura 4.22. Posteriormente se ejecuta el programa en el simulador (Wplsoft) para activar y desactivar las salidas del PLC con la finalidad de verificar el estado (off/on) de los dispositivos.



Figura 4.19 Pruebas de eléctricas
Fuente (Autor)

4.2.10 Prueba de módulo de presión con calibrador de procesos o generador de señales

Esta prueba tiene como fin comprobar el funcionamiento de las entradas análogicas del PLC las cuales son utilizadas para los transmisores de presión tanto para la succión y descarga del sistema de refrigeración. Para este propósito se utilizará calibradores de procesos o generador de señales como se muestra en la figura 4.23



Figura 4.20 Pruebas de módulos de presión
Fuente (Autor)

4.2.11 Pruebas de comunicación

Prueba de comunicación de interfaz gráfica y Eremote. Esta prueba tiene como finalidad obtener comunicación exitosa entre los dos dispositivos tales como la pantalla HMI y el control remoto Android para esto se utilizara un modem con acceso a internet vía wifi el cual será conectado por cable Ethernet a la pantalla HMI el cual generará una IP donde se enlazará el dispositivo Android como se muestra en la figura 4.24



Figura 4.21 Pruebas de comunicación
Fuente (Autor)

4.2.12 Resultados obtenidos

En la tabla 7 Se muestra los valores obtenidos en la medición de los elementos como resultado los siguientes valores

TABLA DE MEDICIONES	
ELEMENTOS A MEDIR	
VALORES DE VOLTAE EN LA ENTRDA S DE LA FUENTE	127.8
VALORES DE VOLTAJE EN LA SALIDA DE FUENTE	24VCD
VALORES DE VOLTAJE EN LA ENTRDA DEL PLC	24 VCD
VALORES DE VOTAJE EN LA HMI	24 VCD
VALORES DE VOLTAJE EN LOS RELES	24 VCD

Tabla 7. Pruebas de voltaje
Fuente (Autor)

En la tabla 8 se muestran los puntos en los cuales se realizaron las pruebas de continuidad como resultado se obtuvo.

PRUEBAS DE CONTINUIDAD			
PUNTO A	PUNTO B	CUMPLE	
		SI	NO
BORNERAS DE ENTRADAS	PLC	X	
BORNERAS DE SALIDAS	PLC		X
FUENTE DE 24 VCD	PLC	X	

**Tabla 8. Pruebas de continuidad
Fuente (Autor)**

En la tabla 9. Se realiza las mediciones con los calibradores de campo en cual se tiene los siguientes resultados

PRUEBAS DE CORRIENTE	
4mA	0 psi
14mA	50 psi
20 mA	100 psi

**Tabla 9. Pruebas de Corriente en calibradores
Fuente (Autor)**

Análisis de pruebas de fallos

	TIPO DE PRUEBA	DESCRIPCION	CUMPLIMIENTO		OBSERVACION
			SI	NO	
1	Prueba de Conexiones	Medición de continuidad	x		
		verificación de ajustes de tornillos en bornera		x	cables sueltos en las borneras
2	Pruebas eléctricas	voltaje 120 VCA en la entrada al sistema	x		
		medir resistencia en los bobinados del relé		x	marca 0 ohm en uno de los relés
		voltaje 24 VCD en la salida de la fuente	x		
3	Pruebas en los módulos de presión con calibradores de procesos o generador de señales	verificación de parámetros en la HMI		x	lazo no cierra el circuito
		generadores de señales emite la corriente necesaria		x	uno de los generadores con nivel de batería bajo
		verificación en pantalla del incremento de presión al aumentar la corriente de 4 a 20 mA	x		
		verificar el apagado por baja y alta presión		x	parámetros fuera de rango
4	Pruebas de comunicación	verificación de la comunicación RS232 PLC/HMI	x		
		verificación de la comunicación Ethernet al HMI	x		
		verificación de la conectividad vía wifi entre el dispositivo móvil y la HMI		x	direcciones IP no configuradas

Tabla 4.1 Análisis de Pruebas de fallos

Fuente. (Autor)

Análisis de prueba solventadas

	TIPO DE PRUEBA	DESCRIPCION	CUMPLIMIENTO		OBSERVACION
			SI	NO	
1	Prueba de Conexiones	Medición de continuidad	x		
		verificación de ajustes de tornillos en bornera	x		Se realiza reajuste de todas las borneras tanto de entrada y salida
2	Pruebas eléctricas	voltaje 120 VCA en la entrada al sistema	x		
		medir resistencia en los bobinados del relé	x		Se realiza el cambio de relé en mal estado
		voltaje 24 VCD en la salida de la fuente	x		
3	Pruebas en los módulos de presión con calibradores de procesos o generador de señales	verificación de parámetros en la HMI	x		Se realiza nueva conexión en las entradas analógicas
		generadores de señales emite la corriente necesaria	x		Se realiza el cambio de baterías de 9v en el calibrador de procesos
		verificación en pantalla del incremento de presión al aumentar la corriente de 4 a 20 mA	x		
		verificar el apagado por baja y alta presión	x		Se realiza la configuración de los parámetros de succión y descarga en el setpoint
4	Pruebas de comunicación	verificación de la comunicación RS232 PLC/HMI	x		
		verificación de la comunicación Ethernet al HMI	x		
		verificación de la conectividad vía wifi entre el dispositivo móvil y la HMI	x		Se realiza la configuración de las direcciones IP del dispositivo móvil y la HMI.

Tabla 4.1 Análisis de pruebas solventadas

Fuente. (Autor)

CONCLUSIONES

Una vez realizado el análisis del funcionamiento y especificaciones de la automatización de un sistema de refrigeración industrial mediante un plc, interface HMI y control remoto desde dispositivos móviles se logró definir los elementos necesarios para la construcción de la misma, la adaptación eléctrica y electrónica de cada uno de ellos permitió obtener resultados positivos en el proceso de funcionamiento, el diseño y desarrollo de pantallas en la HMI, la construcción del tablero de control y la comunicación desde dispositivos móviles.

La programación del plc en el software Wplsoft fue de gran ayuda ya que es un programa de fácil manejo que permite obtener resultados positivos ya que realizar simulaciones y se puede evidenciar posibles errores de programación.

Se realizó El diseño de las pantallas en el programa Dopsoft una herramienta muy útil y de fácil manejo en él se realizó el proceso de control del sistema de una manera amigable con el operador ya que él no necesitaría conocimientos de programación para su uso.

Para el diseño del tablero control se utilizó el software ilustrador en el cual se pudo distribuir los elementos de una manera eficaz, para la construcción del mismo se utilizó máquinas y herramientas de mano, obteniendo de manera exitosa el tablero de control.

Para la implementación del control remoto se instaló una aplicación en el dispositivo móvil el cual permite vinculase con la HMI y tener acceso al proceso de refrigeración, previo a los resultados obtenidos se pudo constatar que la comunicación es exitosa.

Se realiza la configuración, conexión y enlace mediante la opción menú de la HMI en la cual se direcciono una ip proveniente del Router. Obteniendo una conectividad satisfactoria

Mediante la ayuda de equipos de calibración se realiza la simulación de presión en las entradas análogas del plc obteniendo valores satisfactorios con lo cual se evidencia que el proyecto funciona al tener los resultados propuestos en la planificación del proyecto y de acuerdo a los parámetros requeridos por la empresa ILUSOL.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que para el proceso de automatización es importante primero conocer el funcionamiento, identificar las variables tanto de entradas o salida, ya sean análogas o digitales, para en base a estos datos y requerimientos del cliente, seleccionar o proponer una alternativa adecuada.

Se recomienda que al usar la aplicación eRemote de Android para una aplicación industrial se deba colocar las respectivas seguridades y limitar el acceso de forma responsable.

Es importante tener un sistema de seguridad por lo cual se recomienda proteger los dispositivos de comunicación con sus respectivas contraseñas ya que cualquier persona puede descargar la aplicación y acceder al proceso.

El encendido del sistema requiere de una lista de verificaciones y paso a cumplir. Para una correcta operación se sugiere que antes de poner en marcha el sistema se lean el manual de operación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bibliografía

- Revista Cero Grados Celsius*. (21 de Julio de 2017). Obtenido de Capacitación:
<https://www.0grados.com/chillers-aspectos-tecnicos/>
- Acondicionado, A. (enero de 2014). *Aire Acondicionado*. Obtenido de
<https://tuaireacondicionado.net/el-ciclo-de-refrigeracion-como-funciona/>
- Antonio, V. J. (03 de Mayo de 2012). *SlideShare*. Obtenido de Automatización en el
 Proceso de Manufactura: <https://es.slideshare.net/jvelasquezc/automatizacin-en-el-proceso-de-manufactura>
- ARANCIBIA, F. (2016). *POTECCONES ELECTRICAS* . Obtenido de
<https://es.slideshare.net/naibafdiango/protecciones-elctricas-68871713>
- Avid, R. G. (2010). *Automatización Industrial*. Cusco: Proing.
- Bejarano, e. (2013). *aula virtual*. Obtenido de
<http://tecn2aulavirtual.blogspot.com/2013/01/contenido-2-compresores-el-compresor.html>
- CARVAJAL MAYORGA LIZANDRO PAÚL, R. M. (23 de 11 de 2012). *SPOH*.
 Recuperado el 13 de 11 de 2017, de
<http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/3070/1/25T00204.pdf>
- Climatización, R. y. (15 de Enero de 2014). Obtenido de
<https://aireacondicionadojr.blogspot.com/2014/01/ciclo-de-refrigeracion-por-compresion.html>
- compresor, m. (marzo de 2108). *mundo compresor*. Obtenido de
<https://www.mundocompresor.com/articulos-tecnicos/diferentes-tipos-compresores>
- Crespo, J. (2013). Obtenido de
<http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/3070/1/25T00204.pdf>
- Danfoss. (15 de 08 de 2018). *Danfoss*. Obtenido de AKS, Transductores de presión: AKS,
 Transductores de presión
- DELTA. (enro de 2018). Obtenido de
<http://www.deltaww.com/services/DownloadCenter2.aspx?secID=8&pid=2&tid=0&CID=06&itemID=060301&TypeID=1&downloadID=DVP-SX+Series&title=DVP-SX+Series&dataType=3;&check=1&hl=en-US>

- Emerson. (28 de Julio de 2018). *Emerson*. Obtenido de Vilter VMC 450 XL Reciprocating Compressor for Industrial Refrigeration: <https://climate.emerson.com/en-us/shop/1/emerson-vilter-vmc-450-xl-reciprocating-compressor>
- Física de Fluidos y termodinámica*. (s.f.). Obtenido de Ciclo de Refrgeración: — <https://athanieto.wordpress.com/tematicas/segundo-principio-de-la-termodinamica/ciclo-de-refrigeracion/>
- Guachi, D. R. (2017). *Proyecto de Titulación. Automatización y Monitoreo de Sistemas de Refrigeración de los cuartos Frios*.
- Hvacr, M. (s.f.). Obtenido de Mundo Hvacr: <https://www.mundohvacr.com.mx/2011/07/aplicaciones-de-compresores/>
- Instrument, D. (2018). Obtenido de <http://es.delta-americas.com/Products/CategoryListT1.aspx?CID=060302&PID=1589&hl=en-US&Name=DOP-B03E211>
- LATAM, M. (2018). *LEY DE OHM*. Obtenido de <https://www.mecatronicalatam.com/resistencia/ley-de-ohm-ley-de-watt-potencia-electrica>
- Lira, R. (mayo de 2017). *scribd*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/84256115/COMPRESORES-RECIPROCANTES>
- MARTIN, Y. V. (2017). Obtenido de <https://procedimientosconstruccion.blogs.upv.es/tag/compresores-de-tornillo/>
- Mexicana, D. d. (29 de Agosto de 2018). *Automatización y Electrónica*. Obtenido de Controlador Lógico programable: https://www.dirind.com/dae/monografia.php?cla_id=25
- Pedro, G. R. (s.f.). *Diseño y Cálculo de compresores*.
- RAMIREZ, L. (2010). Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/734/A6.pdf>
- TITOS, J. D. (2018). *Entradas analógicas en los PLC. Sensores y conversión analógico-digital*. Obtenido de <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/tratamiento-entradas-analogicas-plc/>
- Unicrom. (2016). Obtenido de <https://unicrom.com/diagrama-de-escalera-plc/>
- Yanez, G. (10 de marzo de 2017). Obtenido de <http://bohnmxico.blogspot.com/2017/03/valvula-de-expansion-termostatica.html>

ANEXOS

ANEXOS A
PROGRAMACIÓN LADDER PLC DELTA

ANEXOS B
MEDIDAS DEL TABLERO DE CONTROL

ANEXOS C
DIAGRAMA ELECTRÓNICO

ANEXO D
CRONOGRAMA

ANEXOS E

MANUAL DE OPERACIÓN COMOPRESOR VILTER

4.7.1 Procedimiento de arranque

Para iniciar el procedimiento de arranque del compresor se debe realizar un checklist del entorno físico, mecánico y eléctrico, entre las principales tareas se tiene:

- Nivele de aceite
- Apertura de válvula de gas de succión
- Apertura de válvula de descarga de gas
- Apertura de válvula de flujo de agua de enfriamiento de cabezotes
- Verificar presión y flujo de agua de enfriamiento de cabezotes
- Apertura de válvula de retorno de aceite línea de descarga
- Verificar suministro de energía en el tablero de fuerza.
- Verificar que los sistemas de control HMI este encendido.
- Verificar que los él arrancado suave este sin alarmas y listo para el arranque.
- Verificar fugas de aceite o refrigerante.

En la Figura 4.8.1 muestra la pantalla principal el resumen de las hojas dinámicas que posee el proceso.



Figura 4.8.1 Pantalla principal

Fuente. (Autor)

En la figura 4.8.2 muestra que al pulsar en la pestaña PROCESO accedemos a la hoja principal donde podemos realizar el arranque y parada del equipo, se visualiza la conexión resumida de las instalaciones mecánicas, presiones de descarga y succión,



Figura 4.8.2 Pantalla de lectura
Fuente. (Autor)

En la Figura 4.8.2 que al pulsar en el diagrama de compresor Vilter accedemos a la siguiente hoja donde podemos realizar los dos tipos de arranque MODO MANUAL / MODO AUTOMATICO.

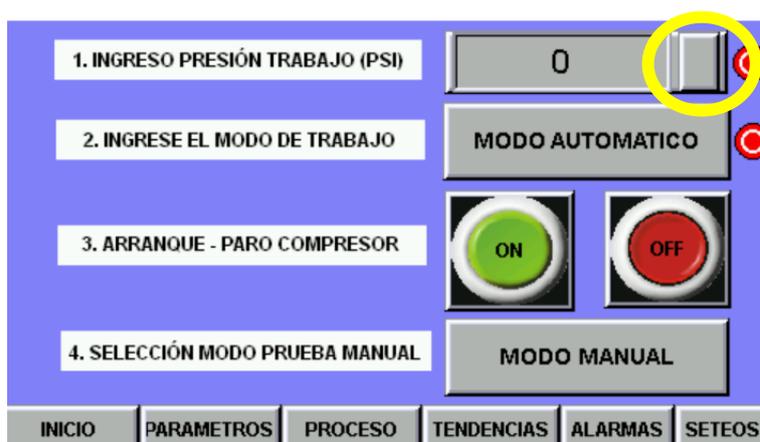


Figura 4.8.2 Pantalla de operación
Fuente. (Autor)

Procedimiento automático. - Para iniciar el arranque en modo automático debemos ingresar la presión de trabajo en PSI, en la pantalla al pulsar el recuadro subrayado se nos despliega el cuadro de números para ingresar la presión requerida, esta presión es el setpoint de la presión de succión, este valor ingresado es la presión de control principal y la que comanda el encendido y apagado del equipo.

Al seleccionar e valor requerido presionamos el recuadro que dice MODO AUTOMATICO donde se marcara de verde, una vez accionado el permisivo presionamos el circulo verde que dice ON, ese momento ingresa un timer lógico el cual arranca el compresor en modo automático.

Procedimiento manual.- Al igual que modo automático procedemos a seleccionar MODO MANUAL, una vez presionado se nos despliega la pantalla donde podemos arrancar el compresor así como los controles de capacidad, en este modo las señales de control para permisivo de arranque se encuentran inhibidas por lo cual podemos arrancar el compresor independientemente de la presión de succión que es la que controla el set de encendido y apagado del compresor en modo automático.

Pantalla de control principal

En la Figura 4.8.3 se muestra la pantalla que describe el control principal de las tres presiones principales para la operación del compresor:

- Presión de descarga
- Presión de succión
- Presión de aceite



**Figura 4.8.3 Pantalla de control
Fuente. (Autor)**

El sistema de control consta de una sincronización de presiones gobernadas por la presión de seting que es la presión de succión, si es seleccionado cualquier valor las presiones de descarga y control de capacidad se autorregulan automáticamente, en la figura se muestra las presiones seleccionadas, cabe recalcar que esta pantalla es solo de visualización.

En la figura 4.8.4 en la pantalla de alarmas se muestran las acciones de los sistemas auxiliares, describe la activación uno lógica o cero lógica (I 0), para que el compresor inicie el proceso de arranque deben estar todas las señales desactivadas, un ejemplo es el sensor de flujo, si la bomba de agua de refrigeración de cabezotes se encuentra funcionando con normalidad se muestra el recuadro de activación en modo OFF, pero si la bomba llegara a fallar se activa la alarma en modo ON y el compresor no arranca. Se recomienda que antes que inciden el arranque del sistema se deba resetear todas las alarmas.

Esta pantalla consta de dos páginas las cuales deben ser reseteadas para iniciar el procedimiento de arranque del equipo, si cualquier alarma no se resetear informar de la falla a los técnicos encargados del sistema para que verifique la falla. Por ningún motivo las señales deben ser activadas físicamente (Bypass).

Esta pantalla es solo de seteos, es decir es la única pantalla que podemos editar los comandos de control, estos valores deben ser editado por el técnico autorizado, el primer recuadro que dice ON compresor es la misma presión de succión que se ingresa en la pantalla al iniciar el procedimiento de arranque automático del equipo.

ALARMAS DEL SISTEMA		ESTADO	SET
(PAL) BAJA PRESIÓN ACEITE COMPRESOR:	<input type="button" value="OFF"/>	<input type="text" value="0"/>	
(PALL) BAJA - BAJA PRESIÓN ACEITE COMPRESOR:	<input type="button" value="OFF"/>	<input type="text" value="0"/>	
(PAH) ALTA PRESIÓN DESCARGA COMPRESOR:	<input type="button" value="OFF"/>	<input type="text" value="0"/>	
(PAHH) ALTA- ALTA PRESIÓN DESCARGA COMPRESOR:	<input type="button" value="OFF"/>	<input type="text" value="0"/>	
(PAL) BAJA PRESIÓN SUCCIÓN COMPRESOR:	<input type="button" value="OFF"/>	<input type="text" value="0"/>	
(PALL) BAJA - BAJA PRESIÓN SUCCIÓN COMPRESOR:	<input type="button" value="OFF"/>	<input type="text" value="0"/>	

INICIO	CAPACIDAD	PROCESO	TENDENCIAS	ALARMAS	SETEOS
--------	-----------	---------	------------	---------	--------

Figura 4.8.4 Pantalla de alarmas

Fuente. (Autor)

ANEXO F

DESCRIPCION DE LA CONFIGURACION E-REMOTE

ANEXO G

CERTIFICADO DE AUSPICIO DEL PROYECTO

ANEXO H

CERTIFICADO DE ENTREGA DEL PROYECTO

**ANEXO I
ANTIPLAGIO**