ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE LAS CÁMARAS DE CONGELACIÓN DE EUROFISH S.A

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

JUAN EDUARDO GARZÓN PAZ
juanchogzn@hotmail.com

DIRECTOR: ING. RICARDO FABRICIO PREIS VARGAS, MSc
fpreis@ecua.net.ec

CO-DIRECTORA: ING. YADIRA LUCIA BRAVO NARVÁEZ, MSc
yadira.bravo@epn.edu.ec

Quito, Enero 2013

DECLARACIÓN

Yo, Juan Eduardo Garzón Paz, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

_____

Juan Eduardo Garzón Paz

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Juan Eduardo Garzón Paz, bajo mi supervisión.

Ricardo Fabricio Preis Vargas
DIRECTOR DEL PROYECTO

Yadira Lucía Bravo Narváez
CODIRECTORA DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi familia por su apoyo, en especial a mis tíos (Tío Vini y Tía Xime) que me han brindado abrigo durante este tiempo de estudio universitario, y me han aconsejado para salir adelante.

A la empresa EUROFISH S.A. por darme la oportunidad de realizar mi tesis.

A la Msc. Yadira Bravo por ser co-directora de mi tesis, una excelente persona y profesional.

A mi director de tesis Msc. Fabricio Preis, el cual me asesoro y guio en el proyecto.

A mis amigos y compañeros de universidad con los cuales hemos compartido este ciclo de la vida.

A mí enamorada Pauly por darme fuerzas para seguir adelante en momentos de debilidad.

A los profesores quienes han impartido sus conocimientos sin egoísmo alguno.

DEDICATORIA

A mis padres ya que con su esfuerzo me han ayudado a seguir adelante y de esta forma convertirme en un profesional.

CONTENIDO

CAPÍTULO 1 1

MARCO TEÓRICO 1

1.1. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ATÚN 1

1.1.1. MATERIA PRIMA. 1

1.1.2. TRANSPORTE. 2

1.1.3. CLASIFICACIÓN Y PESO. 2

1.1.4. ALMACENAMIENTO 3

1.1.5. DESCONGELAMIENTO Y PESAJE. 3

1.1.6. EVISCERADO 4

1.1.7. COCCIÓN. 4

1.1.8. ENFRIAMIENTO Y NEBULIZADO 5

1.1.9. LIMPIEZA DEL ATÚN 6

1.1.10. ENVASADO 6

1.1.11. ETIQUETADO 9

1.1.12. ALMACENADO 9

1.2. CÁMARA DE REFRIGERACIÓN 10

1.2.1. ELEMENTOS DE LA CÁMARA DE REFRIGERACIÓN. 11

1.2.1.1. Compresor. 11

1.2.1.2. Condensador 11

1.2.1.3. Recibidor 12

1.2.1.4. Válvula de expansión. 12

1.2.1.5. Recirculador. 13

1.2.1.6. Evaporador 14

1.3. DESCARCHADO. 15

1.4. PLC 17

1.5. PANTALLA TÁCTIL 18

CAPÍTULO 2 19

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL 19

2.1. ELEMENTOS DE LA CÁMARA DE REFRIGERACIÓN. **20**

2.1.1. COMPRESORES. **20**

2.1.2. EVAPORADORES. **22**

2.1.4. RECIBIDOR **25**

2.1.5. CONDENSADOR EVAPORATIVO **26**

2.1.7. HMI **30**

2.1.8. TRANSFORMADOR Y SUPERVISOR DE VOLTAJE. **30**

2.1.9. PLC (PROGRADOR LÓGICO PROGRAMABLE) **32**

2.2. PROTECCIONES **33**

2.3. CÁLCULO DE PROTECCIONES **33**

2.3.1. CÁLCULO DE RELÉ Y RELÉ TÉRMICO **33**

2.4. CONTACTORES **40**

2.5. CABLEADO. **40**

CAPÍTULO 3 42

DESARROLLO DEL SOFTWARE 42

3.1. INTRODUCCIÓN **42**

3.2. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA **42**

3.3. SOFTWARE PARA EL PLC Y HMI **46**

3.4. PROGRAMA DESARROLLADO EN EL PLC **46**

3.4.1. BOMBA + VENTILADOR **47**

3.4.2. COMPRESORES + RECIBIDOR **49**

3.4.3. EVAPORADORES **50**

3.4.4. RTD **52**

3.5. PROGRAMACIÓN DEL HMI **53**

3.5.1. CÁMARA NUEVA **53**

3.5.2. CONDENSADOR **57**

3.5.3. RECIBIDOR **58**

3.5.4. RECIRCULADOR **58**

3.5.5. COMPRESORES **59**

3.5.6. FALLAS Y ALARMAS **60**
3.6. PROGRAMACIÓN DEL ARRANCADOR SUAVE **61**
3.7. PROGRAMACIÓN DEL RECIRCULADOR **61**
3.8. PROGRAMACIÓN DEL COMPRESOR **63**
CAPÍTULO 4 64
PRUEBAS Y RESULTADOS 64
4.1. PRUEBAS EN LOS EVAPORADORES. **64**
4.2. PRUEBAS EN LAS VÁLVULAS QUE REALIZAN DESCARCHADO. **64**
4.3. PRUEBAS EN EL RECIRCULADOR **64**
4.4. PRUEBAS EN EL RECIBIDOR **65**
4.5. PRUEBAS EN EL COMPRESOR **65**
CAPÍTULO 5 66
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 66
5.1. CONCLUSIONES **66**
5.2. RECOMENDACIONES **67**

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 68
CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS 68
ANEXO 2 73
DISTRIBUCIÓN DE LOS EVAPORADORES 73
ANEXO 3 74
DIAGRAMA EN AUTOCAD DE LA UBICACIÓN DE LAS VÁLVULAS 74
ANEXO 4 75
CONEXIONES AL PLC 75
ANEXO 5 76
DIAGRAMA UNIFILAR Y TABLEROS 76
ANEXO 6 77
VALORES POR DEFECTO DEL ARRANCADOR SUAVE 77

ANEXO 7 78
VALORES POR DEFECTO DEL COMPRESOR 78
ANEXO 8 79
DIMENSIONAMIENTO DE CABLEADO 79
ANEXO 9 81
ENTRADAS Y SALIDAS DEL PLC 81
ANEXO 10 86
CREACIÓN DEL PROGRAMA PARA EL PLC 86
ANEXO 11 93
DIAGRAMAS P&ID 93

ÍNDICE DE FIGURAS

PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL ATÚN

Figura 1.1: Obtencion Del Atún 2
Figura 1.2: Transporte 2
Figura 1.3: Clasificación Según La Especie Y Tamaño 3
Figura 1.4: Cámara Frigorífica 3
Figura 1.5: Descongelamiento Del Atún 4
Figura 1.6: Eviscerado Del Atún 4
Figura 1.7: Cocción 5
Figura 1.8: Enfriamiento 5
Figura 1.9: Nebulizado 6
Figura 1.10: Limpieza Del Atún 6
Figura 1.11: Enfundado 7
Figura 1.12: Sachet 7
Figura 1.13: Autoclave 8
Figura 1.14: Enlatado 8
Figura 1.15: Etiquetado 9
Figura 1.16: Almacenado 9
Figura 1.17:Proceso del atún 10

Figura 1.18:Compresor 11
Figura 1.19: Condensador 12
Figura 1.20: Recibidor 12
Figura 1.21:Válvula De Expansión 13
Figura 1.22: Recirculador 13
Figura 1.23: Evaporador 14
Figura 1.24: Ciclo De Refrigeración 15
Figura 1.25: Descarchado 16
Figura 1.26:Válvulas que Intervienen en el Descarchado 17
Figura 1.27: PLC 18
Figura 1.28:Pantalla Táctil 18
Figura 2.1:Compresor GEA FES 21
Figura 2.2:Arrancador Suave BENSHAW 21
Figura 2.3.Evaporador Marca EVAPCO 23
Figura 2.4. Ciclo de descarchado de los Evaporadores 23
Figura 2.5. Recirculadorl 25
Figura 2.6: Recibidor 26
Figura 2.7:Condensador Evaporativo 26
Figura 2.8:Válvula solenoide S7A 28
Figura 2.9:Válvula Paro Succión CK2D 29
Figura 2.10:Válvula Gas Caliente S4AD 29
Figura 2.11: Pantalla Táctil 30
Figura 2.12:Transformador 30
Figura 2.13:Supervisor De Voltaje 32
Figura 2.14:BREAKER PLUS 35
Figura 2.15: Relé para transformador y Supervisor de Votaje 36
Figura 2.16: Relé térmico 38
Figura 2.17: Relé Secundario para Evaporadores y Válvula Solenoide S7A 38
Figura 2.18:RELÉ MARCA CAMSCO 38
Figura 2.19:Relé Secundario Para Válvulas de Paro Succión y Gas Caliente 39
Figura 3.1:Secuencia De Los Evaporadores 45

Figura 3.2:Proficy Machine Edition 46
Figura 3.3: Diagrama de Flujo Principal 47
Figura3.4. Diagrama de Flujo “Subrutina Bomba + Ventilador” 48
Figura 3.5: Diagrama de Flujo “Subrutina Compresor + Recibidor” 49
Figura3.6: Diagrama de Flujo “Subrutina Evaporador 16” 51
Figura 3.7 Diagrama de Flujo “Subrutina RTD” 52
Figura 3.8: Pantalla Principal 53
Figura 3.9: Pantalla Cámara Nueva 53
Figura 3.10: Pantalla Evaporadores 54
Figura 3.11: Pantalla status Defrost 55
Figura 3.12: Pantalla Tiempos 56
Figura 3.13: Variar Tiempos de Descarchado del Evaporador 16 56
Figura 3.14: Pantalla Condensador 57
Figura 3.15: Pantalla Condensador On 57
Figura 3.16 Pantalla Recibidor 58
Figura 3.17: Pantalla del Recirculador 59
Figura 3.18: Pantalla Compresores 59
Figura 3.19: Pantalla Compresor 1 60
Figura 3.20: Pantalla de Fallas 61
Figura 3.21: Valores por defecto del Variador de Nivel 62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Características Eléctricas del Compresor 20
Tabla 2.2. Características de los Evaporadores 22
Tabla 2.3. Características eléctricas de las bombas. 24
Tabla 2.4. Características eléctricas del Condensador Evaporativo 27
Tabla2.5: Características del Transformador. 31
Tabla 2.6: Características del Supervisor de Voltaje. 31
Tabla2.7: Corrientes de relés y relés térmicos 34

Tabla 2.8: Relés del Transformador y Supervisor de Voltaje..... 35
Tabla 2.9: Características eléctricas de los relés de la cámara frigorífica. 36
Tabla 2.10: Características eléctricas de los relés del transformador y supervisor de voltaje. 37
Tabla 2.11: Características eléctricas de los relés térmicos de los elementos de la cámara frigorífica. 37
Tabla2.12: Características eléctricas de los relés secundarios. 39
Tabla 2.13: Características eléctricas de los relés secundarios para Válvulas de Paro Succión y Gas Caliente 39
Tabla2.14: Características eléctricas de los contactores..... 40
Tabla 3.1: Secuencia Del DESCARCHADO..... 43
Tabla A1.1. Cargas térmicas 70
Tabla A1.2. Carga térmica del atún 70
Tabla A1.3. Carga térmica total 71
Tabla A1.4. Toneladas de refrigeración de los evaporadores 71

RESUMEN

El presente proyecto tiene como fin desarrollar un sistema de control capaz de mantener la temperatura constante, a -18℃ bajo cero para la conservación del atún.

La cámara frigorífica donde se almacena el atún tiene una capacidad de 7000 toneladas y de esta manera, cuando haya veda de esta, tener una gran reserva y continuar con la producción. Para lo cual se controla diferentes elementos que intervienen en el ciclo de refrigeración como son: evaporadores, válvulas, compresores, recibidor, recirculador y condensador.

Algunos elementos que intervienen en el sistema de refrigeración son controlados por un PLC el cual se encuentra conectado a una pantalla táctil en el cual se pone en marcha a dichos elementos y se los monitorea mediante un HMI, además se puede medir la temperatura dentro de la cámara ya que cuenta con dos sensores de temperatura.

Para controlar a los diferentes elementos del sistema de refrigeración se dimensiona los breakers, contactores, relés térmicos, cables, transformador, supervisor de voltaje.

La programación de arrancadores suaves de los compresores y el nivel del amoniaco del recirculador, son programados mediante los manuales de estos.

La programación de los compresores se realiza con ayuda de los manuales, teniendo en cuenta el dato de la presión de succión ya que este es el encargado de mantener la temperatura constante dentro de la cámara de refrigeración.

PRESENTACIÓN

Para el control de la cámara de refrigeración se realiza el dimensionamiento de elementos que intervienen en esta, la programación en el PLC para controlarlos y monitorearlos desde una pantalla táctil.

En el capítulo 1 se realiza una introducción al proceso en el cual el atún es extraído del mar hasta su empaquetamiento, además de los elementos que intervienen en la cámara de refrigeración, también se habla del descarchado el cual es necesario para el correcto funcionamiento de los evaporadores.

En el capítulo 2 se realiza el diseño e implementación del sistema de control destacando el dimensionamiento de los elementos del sistema de refrigeración, además de protecciones, contactores y cableado.

En el capítulo 3, el desarrollo del software en el cual se describe las características del sistema de refrigeración, y los diagramas de flujo los cuales representan el programa en el PLC, además de la programación de la pantalla táctil en la que se controla y monitorea los elementos de la cámara frigorífica.

En el capítulo 4 se presentan las pruebas realizadas en la cámara frigorífica y los resultados obtenidos, en el cual se prueba a cada uno de los diferentes elementos del sistema de refrigeración.

En el capítulo 5 se presentan las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ATÚN

EL proceso comienza mar adentro donde se obtiene el atún, este es atrapado y puesto en cámaras frigoríficas que tienen los barcos pesqueros; una vez que el atún llega al puerto es transportado a la empresa inmediatamente ya que se debe evitar su descomposición, en la planta son inspeccionados, de ahí pasan por el siguiente proceso: clasificación, pesaje, almacenamiento, descongelamiento, eviscerado, lavado, cocción, enfriamiento, limpieza, envasado (funda, enlatado, sachet), etiquetado, almacenado.

1.1.1. MATERIA PRIMA.

El atún es capturado en el océano Pacífico (figura 1.1) el cual tiene 15 especies, siendo cuatro las de mayor importancia: *Thunnusobesus* (patudo-ojo grande), *Thunnusalbacares* (aleta amarilla), *Katsuwomuspelamis* (bonito barrilete), *Acanthocybiumsolandri* (wahoo)[1].

En las cámaras frigoríficas de los barcos se utiliza salmuera para la conservación del atún.

---

[1]"EVOLUCIÓN DE LA PESQUERIA ARTESANAL DEL ATÚN EN AGUAS ECUATORIANAS"; www.inp.gob.ec

Figura 1.1: Obtencion Del Atún[i]

1.1.2. TRANSPORTE.

El atún es transportado desde el puerto de Manta en baldes (figura 1.2), cada uno de estos puede contener hasta una tonelada aproximadamente, el tiempo de transporte debe ser rápido para que este no se descongele.

Figura 1.2: Transporte[ii]

1.1.3. CLASIFICACIÓN Y PESO.

Una vez llegado atún a la planta, este se clasifica por tamaño y especie (figura 1.3); ya que llegan otro tipo de especies diferentes al atún y estos no son procesados, una vez terminado, se procede ha pesar para determinar cuanta materia prima se tiene de cada especie.

Figura 1.3: Clasificación Según La Especie Y Tamaño[iii]

1.1.4. ALMACENAMIENTO

El almacenamiento, se realiza en cámaras (figura 1.4) cuya función es mantener una temperatura de -18℃ para conservar el atún, usando un sistema de refrigeración.

Figura 1.4: Cámara Frigorífica[iv]

1.1.5. DESCONGELAMIENTO Y PESAJE.

La materia prima que se va a utilizar se lo coloca un día antes en la pre cámara, realizando un pre descongelamiento, se lo transporta y ducha con agua a una temperatura de 24℃ (figura 1.5).

Figura 1.5: Descongelamiento Del Atún[v]

1.1.6. EVISCERADO

El atún descongelado se limpia retirando cuidadosamente las vísceras y se corta en secciones (figura 1.6), estas son puestas con cuidado en bandejas las cuales son ubicadas en carros especialmente diseñados para el proceso de cocción.

Figura 1.6: Eviscerado Del Atún[vi]

1.1.7. COCCIÓN.

Aquí se aplica al atún, vapor saturado (figura 1.7) el cual mantendrá la mayoría de los nutrientes, y evitara la oxidación de las grasas.

Figura 1.7: Cocción[vii]

1.1.8. ENFRIAMIENTO Y NEBULIZADO

Se enfría el atún a través de rociado con agua al clima (figura 1.8), después de esto se lo nebuliza, es decir, se pulveriza el agua en gotas finísimas de modo que forma una nube pequeña con lo cual mantiene la humedad relativa del atún (figura 1.9).

Figura 1.8: Enfriamiento[viii]

Figura 1.9: Nebulizado[ix]

1.1.9. LIMPIEZA DEL ATÚN

Se retira la piel, huesos y sangre del atún, y con ello se obtienen lomos de atún, los cuales son observados por el control de calidad, cabe destacar que la piel, huesos y sangre son materia prima para las empresas que se dedican hacer alimento para animales (figura 1.10).

Figura 1.10: Limpieza Del Atún[x]

1.1.10. ENVASADO

Existen 3 tipos de envasados los cuales son:

i. *Enfundado.* El lomo de atún se guarda en fundas a vacío (figura 1.11) y de esta forma alargar el tiempo de consumo, para luego ser congelado.

Figura 1.11: Enfundado[xi]

ii. *Sachet.* Los lomos se guardan en sachet (figura 1.12), se introduce en ellas aceite para luego ser selladas, en seguida son ubicadas en autoclaves (figura 1.13), el cual es un recipiente metálico con un cierre hermético que permite trabajar a alta presión y de esta manera esterilizar el producto, los cuales ayudan a que el producto se conserve por varios años.

Figura 1.12: Sachet[xii]

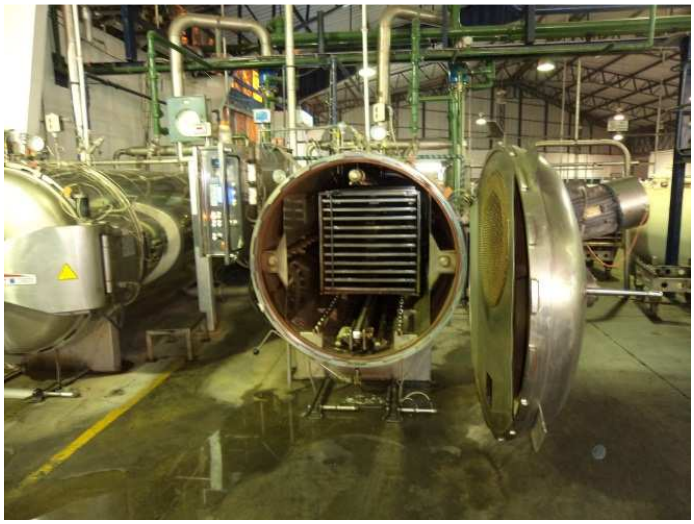


Figura 1.13: Autoclave[xiii]

iii. *Enlatado.* Los lomos se guardan en latas, se introduce en ellas aceite para luego ser selladas, una vez selladas son ubicadas en autoclaves los cuales ayudan a que el producto se conserve por varios años (figura 1.14).

Figura 1.14: Enlatado[xiv]

1.1.11. ETIQUETADO

En este proceso se colocan fechas de elaboración expiración en el cual se indica el periodo que se debe consumir el producto (figura 1.15).

Figura 1.15: Etiquetado[xv]

1.1.12. ALMACENADO

Este es el último proceso en el cual se empacan los productos y se almacenan en bodega hasta que llegue el transporte y llegue a los consumidores (figura 1.16).

Figura 1.16: Almacenado[xvi]

En el siguiente gráfico se indica el proceso del atún que es capturado en el mar hasta que llega a bodega (figura 1.17).

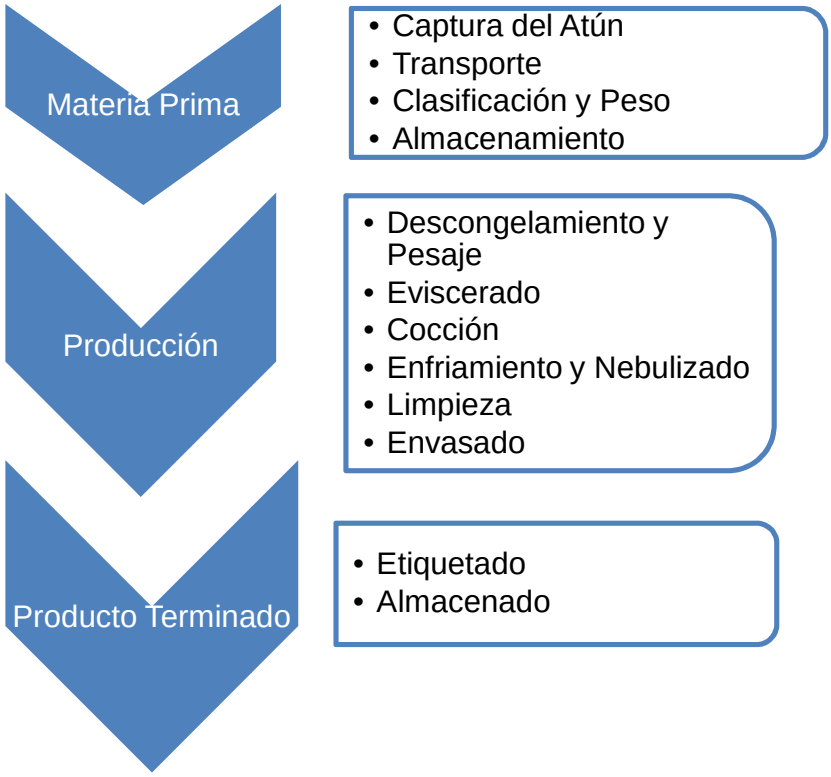


Figura 1.17: Proceso del atún[xvii]

1.2. CÁMARA DE REFRIGERACIÓN.

La cámara de refrigeración es utilizada para extraer la energía térmica de esté y de está manera reducir la temperatura.

En el mercado los alimentos, vacunas y distintos productos requieren de un adecuado sistema de refrigeración, para evitar su deterioro y que de esta forma se dañen.
La carne de animales (bovinos, porcinos, peces y aves) posteriormente de ser sacrificados son atacados por microrganismos que, a temperatura ambiente, atacan los

tejidos. La carne deja de ser comestible en 2-3 días.[2] Por este motivo, manteniendo las carnes a bajas temperaturas, el proceso de deterioro se puede evitar y así consumir la carne por varios meses.

1.2.1. ELEMENTOS DE LA CÁMARA DE REFRIGERACIÓN.

1.2.1.1. Compresor.

Su función es aspirar el gas refrigerante a baja presión del recirculador y comprimirlo, con esto aumenta la presión y lo envía al condensador (figura1.18).

Figura 1.18: Compresor[xviii]

1.2.1.2. Condensador

Es un intercambiador de calor en el que se produce la condensación del gas refrigerante que proviene de la descarga del compresor. En el condensador (figura 1.19) se produce la transferencia de calor del gas refrigerante mediante agua al exterior.

A la salida se obtiene líquido refrigerante el cual se envía al recibidor.

---

[2]SISTEMA DE REFRIGERACION POR COMPRESION.pdf

Figura 1.19: Condensador[xix]

1.2.1.3. Recibidor

Es el almacenador del refrigerante líquido (figura 1.20), recibe el líquido refrigerante desde el evaporador y cuando llega a un nivel alto lo envía al recirculador a través de la válvula de expansión.

Figura 1.20: Recibidor[xx]

1.2.1.4. Válvula de expansión.

Su función es recibir líquido refrigerante a alta presión del recibidor y a su salida obtener líquido refrigerante a baja presión por lo que la temperatura también baja y lo envía al recirculador (figura 1.21).

Figura 1.21:Válvula De Expansión[xxi]

1.2.1.5. Recirculador.

Es un separador el cual recibe el gas/líquido refrigerante de los evaporadores, además recibe líquido refrigerante a baja presión y a baja temperatura de la válvula de expansión.

Su nombre separador describe por si sola su función la cual es separar líquido y gas refrigerante, el líquido se dirige a los evaporadores y el gas es absorbido por los compresores (figura 1.22).

Figura 1.22: Recirculador[xxii]

1.2.1.6. Evaporador

Es un intercambiador de calor el cual transfiere la energía térmica contenida en el interior de la cámara hacia un gas refrigerante (amoníaco) a baja temperatura.

Cuando el refrigerante ingresa al evaporador absorbe el calor del producto, al ejecutar este proceso el refrigerante pasa de estado líquido a estado gaseoso.

El refrigerante líquido lo recibe del recirculador y el gas refrigerante que se obtiene a la salida del evaporador se envía al mismo recirculador (figura 1.23).

Figura 1.23: Evaporador[xxiii]

En la siguiente figura 1.24 se indica el ciclo de refrigeración:

1) El recirculador el cual abastece al sistema de refrigeración tiene almacenado refrigerante líquido a alta presión.
2) El líquido a alta presión pasa por la válvula de expansión en el cual se obtiene líquido a baja presión
3) El líquido a baja presión es almacenado en el recirculador el cual separa líquido y gas,
4) El líquido a baja presión es enviado a los evaporadores los cuales envían líquido y gas a baja presión al recirculador

5) El gas a baja presión se despacha desde el recirculador a los compresores los cuales lo transforman a gas de alta presión
6) El gas a alta presión es enviado al evaporador el cual lo transforma a líquido a alta presión
7) El líquido a alta presión es enviado al recibidor y de esta manera empieza nuevamente el proceso.

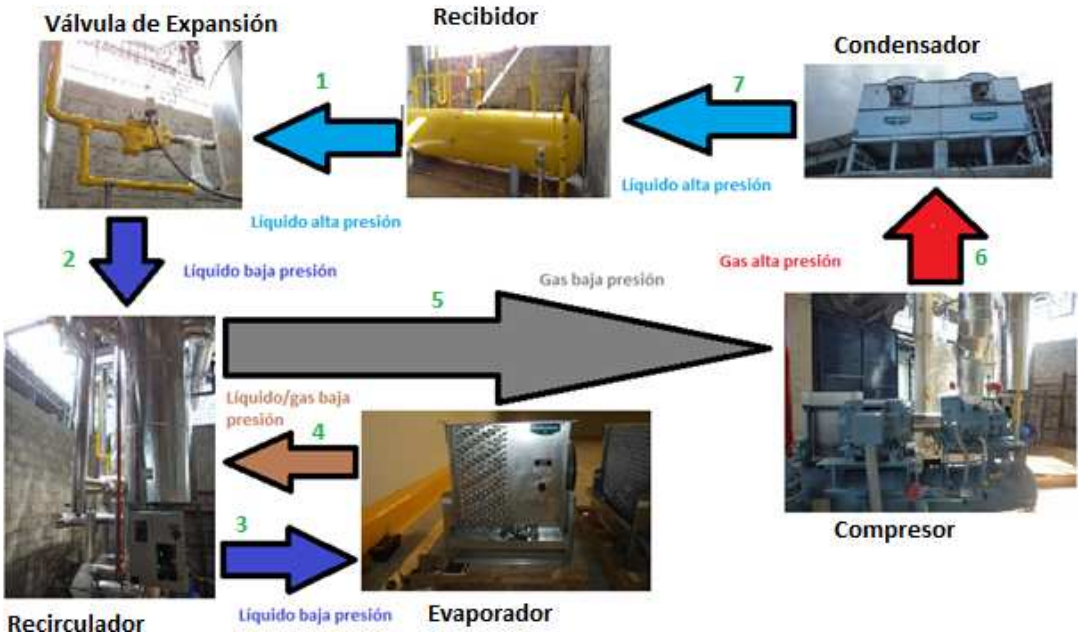


Figura 1.24: Ciclo De Refrigeración

1.3. DESCARCHADO.

El descarchado (figura 1.25) es un proceso importante para proteger a los evaporadores, ya que la materia prima tiene humedad y este al momento de realizar el proceso de refrigeración tiende a pegarse en las partes calientes formando hielo a su alrededor, para minimizar al máximo este fenómeno se apaga el evaporador por un tiempo y se envía gas caliente y luego se succiona la humedad del evaporador, una vez concluido este ciclo vuelve a encenderse el evaporador.

Figura 1.25: Descarchado[xxiv]

Para realizar el descarchado se necesitan de 3 tipos de válvulas, estas son:

i) *Válvula solenoide (S7A).* Esta válvula permite el paso del refrigerante líquido a los evaporadores

ii) Válvula paro succión (CK2D). Esta válvula se utiliza normalmente para aplicaciones de baja temperatura en las líneas de retorno de humedad del evaporador.

iii) *Válvula Gas Caliente (S4AD).* Esta válvula de cierre de resorte es adecuada para el uso en líneas de gas caliente por lo cual es usado específicamente para ayudar con el golpe de ariete y la desaceleración repentina de líquido.

En la figura 1.26 se muestran las válvulas que realizan el escarchado.

Figura 1.26:Válvulas que Intervienen en el Descarchado[xxv]

1.4. PLC

Este elemento es utilizado para automatizar el proceso de refrigeración ya que tiene varias entradas, salidas, inmunidad al ruido eléctrico. Posee una batería que conserva el programa en la memoria no volátil, también tiene respuesta en tiempo real por lo cual es útil en una industria atunera.

El PLC (figura 1.27) va a controlar todos los elementos descritos anteriormente.

Figura 1.27: PLC[xxvi]

1.5. PANTALLA TÁCTIL

Este elemento se conecta al PLC para realizar el control y monitoreo, es decir, se puede controlar los elementos de la cámara de refrigeración, ver si estos están encendidos o apagados, poner alarmas si algún proceso funciona incorrectamente, por lo cual se puede realizar un control distribuido ya que se puede crear varias pantallas y de esta manera en cada pantalla tener un proceso diferente (figura 1.28).

Figura 1.28: Pantalla Táctil[xxvii]

CAPÍTULO 2

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

Los elementos que intervienen en la cámara de refrigeración (excepto los evaporadores) abastecerán tanto a la cámara frigorífica como a la cámara antigua que esta en proceso de automatización.

La estimación de la carga térmica en la cámara frigorífica es el primer paso a tomarse en cuenta ya que se determina la potencia frigorífica máxima necesaria para cubrir las necesidades de la cámara; la estimación de las necesidades térmicas se realiza bajo las condiciones menos favorables.

Esta potencia máxima permite dimensionar los equipos como son el compresor, evaporador, condensador evaporativo.

En el Anexo 1 se observa las consideraciones y cálculos de las cargas térmicas[3].

Una vez dimensionada la capacidad frigorífica se dimensionaron los elementos para la cámara de refrigeración y a la cámara antigua de refrigeración que se encuentra en proceso de automatización (excepto los evaporadores), los seleccionados fueron los siguientes:

a) 4 compresores.
b) 13 evaporadores de los cuales 12 estarán distribuidos uniformemente dentro de la cámara y uno estará situado en la pre-cámara.
c) 1 recirculador el cual tendrá 2 bombas las cuales son utilizados para enviar líquido refrigerante a baja presión y temperatura a los evaporadores.

---

[3] Ver Anexo 1 “CÁLCULO DE CARGA TÉRMICAS”

d) 1 recibidor el cual se almacena el refrigerante.
e) El condensador que cuenta con 1 bomba de agua y 2 ventiladores.

2.1. ELEMENTOS DE LA CÁMARA DE REFRIGERACIÓN.

2.1.1. COMPRESORES.

Son 4 compresores marca GEA FES modelo 110GM para amoniaco (figura 2.1) la cual es conocido líder en el mundo de la industria de la refrigeración; se dimensiono 4 compresores por motivo de seguridad ya que si se dimensiona solo uno y este se daña la materias prima se echaría a perder, las características eléctricas del compresor son:

Potencia	150HP
Velocidad	3600RPM
Voltaje	460V
Fases	3
Frecuencia	60Hz
Eficiencia	94.5%
Capacidad	60 TR (Toneladas de Refrigeración)
Carcasa del Motor	A prueba de goteo, con aberturas para el ingreso de aire para enfriar el motor utilizado en un ambiente limpio.
Corriente a plena carga	162 A
Corriente a rotor bloqueado	1069 A
Factor de servicio	1.15

Tabla 2.1. Características Eléctricas del Compresor

Figura 2.1: Compresor GEA FES[xxviii]

Cada compresor tiene un arrancador suave de 150HP (figura 2.2), marca BENSHAW el cual viene dimensionado correctamente para el funcionamiento correcto del compresor.

Figura 2.2: Arrancador Suave BENSHAW[xxix]

2.1.2. EVAPORADORES.

Son 7 evaporadores (figura 2.3) marca EVAPCO los cuales son de tipo SSTMC lo cual significa que están fabricados con acero inoxidable y sus aletas son de aluminio.

Los 7 evaporadores están divididos de la siguiente manera, con las siguientes características[4].

Distribución en la cámara frigorífica	**Potencia, voltaje, amperaje de cada ventilador**	**Toneladas de refrigeración**	**Número de ventiladores**
1 evaporador en la pre-cámara	2HP/440V/4.9 A	5.5	1
2 evaporadores en la cámara	2HP/440V/4.7 A	8.1	2
5 evaporadores en la cámara	3HP/440V/6.7 A	12.1	2
Marca		Baldor	
Frecuencia		60 HZ	
Fases		3	
Factor de servicio		1.15	
Diseño B		Tiene un normal arranque a baja corriente de arranque para varias aplicaciones industriales	
Clase F		Su máxima temperatura permitida es de 155℃	

Tabla 2.2. Características de los Evaporadores

[4] Ver Anexo 2 “DISTRIBUCIÓN DE LOS EVAPORADORES”

Figura 2.3. Evaporador Marca EVAPCO[xxx]

Su distribución en la cámara frigorífica es uniforme (Anexo 2) para que extraiga el calor, además en el descarchado se debe apagar un evaporador cada cierto tiempo y los demás deben abastecerlo mientras este se descarcha, es decir, si el evaporador 16A/B esta apagado los evaporadores 17A/B, 18A/B, 19A/B, 20A/B, 21A/B y 27 deben estar encendidos, después de que termine el descarchado del evaporador 16A/B, empieza el descarchado del evaporador 21A/B y el resto de evaporadores deben estar encendidos, y así sucesivamente como se puede ver en la figura 2.4

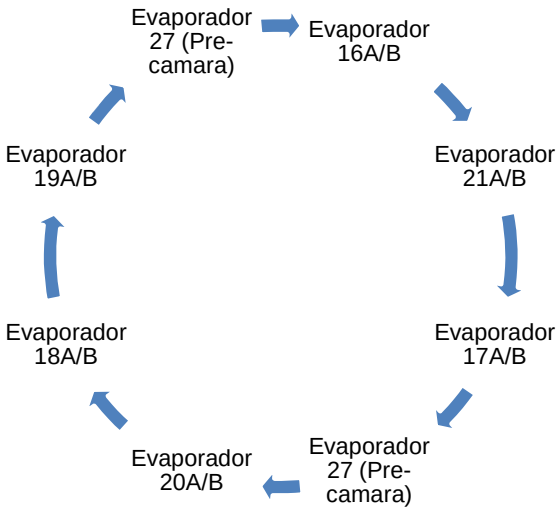


Figura 2.4. Ciclo de descarchado de los Evaporadores

Para la extracción de calor dentro de la cámara frigorífica se debe tener más de un evaporador para que cubra toda el área de la cámara, además se ha dimensionado siete evaporadores para respaldar al sistema de refrigeración.

2.1.3. RECIRCULADOR.

El recirculador (figura 2.5) es un separador de gas y líquido refrigerante, por lo cual se lo dimensiona para que abastezca a los compresores y evaporadores.

El recirculador se encarga de bombear el amoniaco, ya a baja temperatura, a todo los evaporadores ubicados en la cámara frigorífica. La capacidad de almacenamiento de amoniaco a nivel de operación es de 1,000 Kg; La unidad viene equipada con dos bombas de 5 HP cada una. Las mismas trabajan alternativamente un número determinado de horas. La idea de la dualidad es por respaldo al sistema.

Potencia	5HP
Voltaje	460V
Amperios	6.7 A
Velocidad	1750 RPM
Marca	Cornell 2CB
Frecuencia	60 Hz
Fases	3
Factor de Servicio	1.15
Clase F	Su máxima temperatura permitida es de 155℃
Código K	8.5 A es la corriente a rotor bloqueado
Diseño B	Tiene un normal arranque a baja corriente de arranque para varias aplicaciones industriales
Eficiencia	87.5%
Factor de potencia	80%
Carcasa del motor	TEFC totalmente cerrado con ventilación exterior usado en ambientes sucios.

Tabla 2.3. Características eléctricas de las bombas.

El recirculador consta con un Nivel Electrónico (Controlador interno) marca Hansen Tipo Vari-Level el cual controla el nivel del refrigerante, bombas y válvula de expansión, también posee alarmas de nivel bajo, nivel alto, nivel peligroso

Además el recirculador tiene flotadores mecánicos tipo switch de seguridad, visores, separador de aceite, válvulas especiales para el suministro del líquido con su respectivo solenoide.

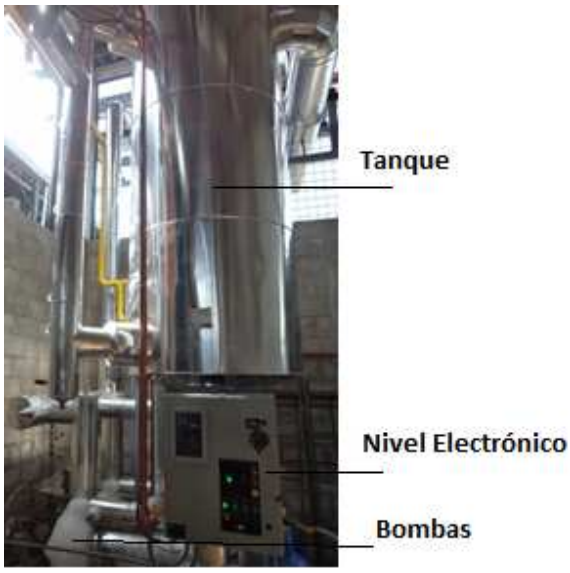


Figura 2.5. Recirculadorl[xxxi]

2.1.4. RECIBIDOR

El recibidor almacena el amoniaco y debe tener la capacidad para abastecer al recirculador, evaporadores y tubería.

El recibidor es de marca Briede International HPLR 4816, tiene de diámetro 48 pulgadas y de largo 16 pies con capacidad para almacenar 3,351 kilos de amoniaco de 30º a 35ºC, este es de forma horizontal. El tanque recibidor viene con todas sus conexiones listas para acoplarse a las tuberías el cual cuenta con nivel de líquido.

Figura 2.6: Recibidor[xxxii]

2.1.5. CONDENSADOR EVAPORATIVO

Su capacidad debe ser lo suficiente para abastecer el evaporador, compresor y enfriadores de aceite.

La marca del condensador evaporativo es marca EVAPCO modelo CATC-415 (figura 2.7) con capacidad para disipar 4,150 MBH (4'150,000 BTU/HR), con dos ventilador de 10HP y una bomba de 5 HP. La unidad cave dentro de un contenedor cubico de 40ft.

Características del condensador evaporativo:

Calor Disipado: 3870000 MBH @78ªC

Dimensiones: 5.5m (L) x2.24m (W) x3.64m (H)

Peso: 15040 lbs sin cargar (sin agua) 18540 lbs cargado (con agua).

Figura 2.7: Condensador Evaporativo[xxxiii]

	Bomba de Agua	Ventiladores
Potencia	5HP	10HP
Voltaje	460V	460V
Amperios	6.7 A	11.9Amp
Velocidad	1750 RPM	1760RPM
Marca	Cornell 2CB	EMERSON
Frecuencia	60 Hz	60Hz
Fases	3	3
Factor de Servicio	1.15	1.15
Clase F (Temperatura máxima)	155℃	155℃
Código K/G (Corriente a rotor bloqueado)	8.5 A	5.9 A
Diseño B	Arranque normal a baja corriente para varias aplicaciones industriales	
Eficiencia	87.5%	91.7%
Factor de potencia	80%	85.9%
Carcasa del motor	TEFC totalmente cerrado con ventilación exterior usado en ambientes sucios.	TE totalmente cerrado

Tabla 2.4. Características eléctricas del Condensador Evaporativo

2.1.6. VÁLVULAS.

Cada evaporador utiliza 3 tipos de válvulas las cuales son[5]:

[5] Anexo 3 “DIAGRAMA EN AUTOCAD DE LA UBICACIÓN DE LAS VÁLVULAS ”

1) Válvula solenoide (S7A)

Esta válvula tipo solenoide es adecuada para el paso de líquido amoniaco. Es activado mediante energía eléctrica a 120VAC/1.18A, su cuerpo es echo de hierro y es resistente al agua y hielo.

La válvula (figura 2.8) puede abrirse manualmente en caso de falla eléctrica, además puede ser fácilmente retirado de las bridas para su mantenimiento o reparación.

Figura 2.8:Válvula solenoide S7A[xxxiv]

2) Válvula Paro Succión (CK-2D)

Se utiliza esta válvula para retornar la humedad desde el evaporador al recirculador, es normalmente abierta y posee 2 solenoides para su cierre.
Los solenoides se encienden en forma secuencial para el paso de la humedad al recirculador, el primer solenoide lo cierra un 15% y el segundo solenoide lo cierra el restante 85%, para ser activadas necesitan un voltaje de 120VAC, esta válvula es resistente al agua y al hielo (figura 2.9)
.

Figura 2.9:Válvula Paro Succión CK2D[xxxv]

3) Válvula Gas Caliente (S4AD)

Esta válvula previene el daño de vapor además combina gas fuerte y suave, esta integrada por 2 válvulas solenoides para su apertura ya que se encuentra normalmente cerrada.

Esta diseñada para ayudar a que no exista daño por el golpe de ariete y una súbita desaceleración de líquido.

La válvula (figura 2.10) se la abre por secuencia ya que al activar el solenoide 2 se abre un 15% y el solenoide 1 el otro 85%.
Las válvulas solenoides necesitan de 120VAC para ser energizadas y actuar, esta válvula esta diseñada para resistir agua y hielo.

Figura 2.10:Válvula Gas Caliente S4AD[xxxvi]

2.1.7. HMI

La interfaz hombre máquina se lo realiza a través de una pantalla táctil (figura 2.11) en la cual se puede controlar los procesos de la cámara de refrigeración y de esta forma visualizarlos mediante pantallas, es alimentada por una fuente de 24Vdc y sus dimensiones son 4.86'' de alto y 6.14'' de ancho y 2.76'' de profundidad.

Figura 2.11: Pantalla Táctil[xxxvii]

2.1.8. TRANSFORMADOR Y SUPERVISOR DE VOLTAJE.

La cámara posee un transformador monofásico para transformar 440Vac a 220Vac, el transformador es necesario ya que los contactores funcionan con 220Vac. (Figura 2.12).

Figura 2.12: Transformador[xxxviii]

Marca	Federal Pacific
Características físicas	es totalmente encapsulado, sin ventilación, se utiliza para el exterior, y puede trabajar hasta 115ªC.
Potencia Aparente	1.5 KVA
Frecuencia	60Hz
Fases	1
Peso	45LBS
Cobertura	3R (aire, lluvia, nieve)
Voltaje de entrada	480V
Corriente de entrada	3.1Amp
Voltaje de salida	240V
Corriente de salida	6.3Amp

Tabla2.5: Características del Transformador.

Además la cámara posee un supervisor de voltaje trifásico el cual abre un contacto normalmente cerrado y envía esta información a una entrada del PLC.

El supervisor es de la marca Allen Bradley (figura 2.13) y su número de serie es 813S-V3-480V y posee las siguientes características técnicas:

Fases	3
Rango de operación	440 a 480VAC
Frecuencia	50 a 400Hz
Voltaje máximo	2 al 22% del voltaje nominal
Voltaje mínimo	2 al 22% del voltaje nominal
Asimetría	2 al 22% del voltaje nominal
Contacto a la salida	2 Normalmente abiertos
Dimensiones	45 x 80 x 99.5 mm

Tabla 2.6: Características del Supervisor de Voltaje.

Figura 2.13: Supervisor De Voltaje[xxxix]

2.1.9. PLC (CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE)

Se utiliza los PLC tipo Versamax de la marca General Electric, tres módulos de expansión, 2 de ellos tienen salida tipo relé y 1 de entradas análogas tipo Pt100, ya que tienen alta velocidad de respuesta y posee puertos de expansión y son perfectos para aplicaciones industriales por su inmunidad al ruido que la industria posee.

Este elemento va a controlar evaporadores, válvulas, compresores, condensador, recirculador, recibidor por los cual necesita expandir sus salidas; además, va a recibir información de la temperatura por lo cual necesita entradas tipo análogas[6]

Se posee en total 40 entradas digitales, 4 entradas análogas, y 56 salidas tipo relé distribuidas de la siguiente manera: (Ver anexo 9)

---

[6] Ver anexo 4 “CONEXIONES AL PLC”

2.2. PROTECCIONES

Las protecciones son necesarias para proteger al personal, salvaguardar los conductores de alimentación al motor y evitar incendios de origen eléctrico.

A los motores se los debe proteger contra cortocircuitos y sobrecargas.

En la cámara frigorífica se utilizan las siguientes protecciones[7]:

a) Relé térmico

Protegen al motor contra sobrecargas y es asociado a un contactor que realiza la apertura del circuito de potencia.

b) Relé

Este protege cuando circulan corrientes excesivas las que pueden provocar sobrecalentamiento y deteriorar la vida útil del motor.

2.3. CÁLCULO DE PROTECCIONES

2.3.1. CÁLCULO DE RELÉ Y RELÉ TÉRMICO

Se lo realizo utilizando 2 ecuaciones:

i. $Ir=K*In$ (2.1)

Ir=corriente del relé

K=2

In= corriente nominal

[7] Ver Anexo 5 “DIAGRAMA UNIFILAR y TABLEROS”

ii. $It=c*In$ (2.2)

It=corriente del relé térmico

c=1.15

In= corriente nominal

De acuerdo a esto se dimensiona las protecciones de los elementos de la cámara de refrigeración.

	Corriente nominal	Corriente del Relé	Corriente Relé térmico
Evaporador 2HP (pre-cámara)	4.9 Amp	12.25Amp	5.88Amp
Evaporador 2HP (cámara)	4.7 Amp	11.75Amp	5.64Amp
Evaporadores 3HP (cámara)	6.7 Amp	16.75Amp	8.04Amp
Recirculador 2 motores de 5HP	15.1 Amp	31.647Amp	Vienen internamente en el recirculador
Compresor	El arrancador suave viene con protecciones		
Ventiladores del condensador 10HP	14 Amp	28Amp	16.8Amp
Bomba del condensador de 5HP	7.6 Amp	15.96Amp	9.12Amp

Tabla2.7: Corrientes de relés y relés térmicos

Para los relés que van en el transformador y el supervisor de voltaje no son necesarios cálculos ya que se obtuvo la información de la corriente en los datos de placa.

	Datos de Placa	Corriente del Relé
Transformador monofásico 1.5KVA	Corriente de Entrada = 3.1 A Corriente de Salida = 6.3 A	Entrada del transformador 4Amp Salida del transformador 10Amp
Supervisor de voltaje trifásico	2 A	4 Amp

Tabla 2.8: Relés del Transformador y Supervisor de Voltaje.

Los breaker, los relés térmicos y el PLC son marca General Electric, aunque se puede contar con una gama extensa de marcas.

La familia de breakers utilizada es Breaker plus (figura 2.14), ya que son dispositivos para bajo voltaje y tiene aplicaciones de control, vienen en diferentes tamaños y modelos para cada necesidad.

El tamaño del marco FD160 el cual se utiliza esta diseñado para el uso en carril DIN para aplicaciones industriales.

Figura 2.14:BREAKER PLUS[xl]

Se utilizan 2 tipos de relé para los elementos de la cámara de refrigeración:

<table>
<tr><th rowspan="2"></th><th colspan="3">Breaker</th></tr>
<tr><th>Ithe (corriente térmica nominal)</th><th>Uj (voltaje de aislación nominal)</th><th>Fases</th></tr>
<tr><td>Evaporadores</td><td rowspan="2">16 A</td><td rowspan="2">690 V</td><td rowspan="4">3</td></tr>
<tr><td>Bomba de agua del condensador</td></tr>
<tr><td>Ventiladores del Condensador</td><td rowspan="2">32 A</td><td rowspan="2">750 V</td></tr>
<tr><td>2 bombas del recirculador</td></tr>
</table>

Tabla 2.9: Características eléctricas de los relés de la cámara frigorífica.

Para el transformador se usa dos breakers, uno para la entrada y otro para la salida, además se utiliza uno para el supervisor de voltaje (figura 2.15).

Figura 2.15: Relé para transformador y Supervisor de Votaje[xli]

	Ithe(corriente térmica nominal)		Uj (voltaje de aislación nominal)		Fases
	Entrada	Salida	Entrada	Salida	1
Transformador	6 Amp	10 Amp	440V	440V	
Supervisor de Voltaje	16 Amp		440V		

Tabla 2.10: Características eléctricas de los relés del transformador y supervisor de voltaje.

Se utilizan 3 tipos de relés térmicos (figura 2.17) para los elementos de la cámara de refrigeración.

	Rango de corriente	Uj (voltaje de aislación nominal)	Contactor normalmente abierto	Contactor normalmente cerrado	Fases
Evaporadores 3HP	5.5 a 8.5 A	440 V	1	1	3
Bomba de agua del condensador					
Evaporadores 2HP	2.5 a 4 A	440 V			
2 bombas del recirculador	14.5 a 18 A	440 V			
Ventiladores del Condensador					

Tabla 2.11: Características eléctricas de los relés térmicos de los elementos de la cámara frigorífica.

Figura 2.16: Relé térmico[xlii]

2.3.2. RELÉS SECUNDARIOS

Los relés secundarios sirven para manejar a las bobinas de los contactores, ya que las bobinas de los contactores son de 220V y las salidas del PLC son de 120V.

Los relés marca General Electric (figura 2.18) se los puede activar manualmente en caso de que el PLC falle mientras que los relés de marca CAMSCO (figura 2.19) solo se los puede activar mediante el PLC

Figura 2.17: Relé Secundario para Evaporadores y Válvula Solenoide S7A[xliii]

Figura 2.18:RELÉ MARCA CAMSCO[xliv]

	Voltaje de bobina	Voltaje del Contactor	Capacidad de corriente	Marca
Evaporadores	120 V	250V	12 A	General Electric
Válvula Solenoide S7A				
Ventiladores del Condensador	120 V	220 V	10 A	CAMSCO
Bomba de agua del condensador				

Tabla2.12: Características eléctricas de los relés secundarios.

Para las válvulas paro succión (CK2D) y gas caliente (S4AD) se utiliza los siguientes relés secundarios (figura 2.20) por protección al PLC, los cuales vienen en pares para ahorrar espacio en el riel.

Figura 2.19: Relé Secundario Para Válvulas de Paro Succión y Gas Caliente[xlv]

	Voltaje de alimentación	Capacidad de corriente	Marca
Válvula Paro Succión CK2D	120 V	10 A	Allen Bradley
Válvula Gas Caliente S4AD			

Tabla 2.13: Características eléctricas de los relés secundarios para Válvulas de Paro Succión y Gas Caliente

2.4. CONTACTORES

Para el control de los evaporadores y para los ventiladores y la bomba de agua del ventilador es necesario el uso de estos ya que sirven para permitir el paso de la corriente mediante las señales de control del PLC.

Ya que el PLC es General Electric se opto por comprar los contactores (figura 2.21) de la misma marca.

<table>
<tr><th></th><th>Uj (voltaje de aislación nominal)</th><th>Potencia máxima</th><th>Fases</th><th>Voltaje contactores</th><th>Corriente contactores</th><th>Voltaje bobina</th><th>Contactor normalmente abierto</th></tr>
<tr><td>Evaporadores</td><td rowspan="4">1000 V</td><td rowspan="2">4 HP</td><td rowspan="4">3</td><td rowspan="4">460 V</td><td rowspan="2">10 A</td><td rowspan="4">220 V</td><td rowspan="4">1</td></tr>
<tr><td>Bomba de Agua del Condensador</td></tr>
<tr><td>Ventiladores del Condensador</td><td rowspan="2">10 HP</td><td rowspan="2">17.5 A</td></tr>
<tr><td>2 bombas del recirculador</td></tr>
</table>

Tabla2.14: Características eléctricas de los contactores

2.5. CABLEADO.

Para conectar los elementos de control de la cámara de refrigeración se utiliza cable tipo THHN ya que tienen las siguientes características:

- *Conductor de cobre recocido sólido (14-8 AWG) trenzado concéntrico comprimido Unilay (un solo sentido)*

- *Aislamiento con PVC y sobre-capa de nylon, con excelentes propiedades térmicas y eléctricas con gran resistencia a la llama, a la humedad y a los agentes químicos*
- *Para cableado de edificaciones, circuitos de control y potencia, instalados en bandejas o ductos y adecuado para uso en sitios secos (90℃) o húmedos (75℃) expuestos a lubricantes, gasolina o aceite, Resistente al fuego*
- *Voltaje de operación: 600 V*

Calculo la sección del cable a su máxima longitud, la longitud máxima de cable a utilizar se encuentra en el punto más lejano, si la dimensión de la cámara es 48x38x7 metros, el perímetro es 93 metros, los equipos más alejados son los evaporadores y de máxima potencia es 3HP, se utiliza la siguiente formula para calcular la sección del cable.

$$S = \frac{P*L}{\gamma*e*U} \qquad (4.1)$$

P=potencia en vatios.
L=longitud del cable en metros
γ= conductividad (56 para cobre)
e= caída de voltaje admisible (5% en circuitos internos)
U= voltaje de servicio.

$$S = \frac{P*L}{\gamma*e*U} = \frac{3*746*93}{56*5*460} = 1.62mm^2$$

Se utiliza el cable AWG#14 ya que es el inmediato superior con un diámetro de 1.628mm, el radio es 0.815mm, con esto calculamos la sección[8].

$$S = \pi * r^2 = \pi * 0.815^2 = 2.086mm^2.$$

[8] Ver Anexo 8, “DIMENSIONAMIENTO DE CABLEADO”

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DEL SOFTWARE

3.1. INTRODUCCIÓN

El único elemento que va a controlar el sistema de refrigeración es el PLC el cual es el encargado de permitir encender los compresores, evaporadores, válvulas, condensador y recibidor, además este se va a comunicar con una pantalla táctil de la cual se puede accionar los elementos de la cámara de refrigeración, además en la pantalla táctil se visualizan que elementos se encuentran encendidos o apagados.
A continuación se detallan las características que requiere el sistema de refrigeración para controlarlo.

3.2. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA

a) Cuando se interrumpe la energía eléctrica, o se acciona con el botón de paro de emergencia, se activa un contacto llamado relé general de control el cual parará a todos los elementos de la cámara de refrigeración.
b) La bomba de agua, la cual es parte del condensador debe tener botón de encendido, apagado, además un relé térmico para su protección.
c) Los ventiladores que son parte del condensador no deben accionarse si la bomba esta apagada, posee botón de encendido, apagado y el relé térmico de la bomba.
d) El recibidor posee un sensor de nivel bajo, cuando este se activa espera un tiempo, el cual se lo puede variar en la pantalla táctil, y desactiva la válvula de expansión que carga al recirculador con la finalidad de evitar un desgaste.
e) Cuando el recirculador tiene suficiente refrigerante se cierra un contacto el cual envía una señal al PLC, con esta señal y la bomba de agua esta encendida espera 5 minutos y arranca el primer compresor, una vez encendido este

después de 5 minutos se enciende el segundo compresor, y finalmente después de 5 minutos se enciende el tercer compresor.

f) Los evaporadores tienen botón de encendido y apagado; para accionar este primero debe activarse la válvula solenoide de líquido S7A la cual permite el paso del refrigerante y después de un tiempo se activan los evaporadores.

g) Para realizar el descarchado se debe seguir una secuencia la cual se indica en la siguiente tabla (tabla 3.1).

Secuencia Descarchado

		Refrigeración Normal	Evaporador sin refrigerante.	Gas Caliente Etapa suave	Gas Caliente Etapa fuerte	Equilibrio 1st etapa	Equilibrio 2nd etapa	Drenaje	Introducir líquido refrigerante	Refrigeración Normal
	Minutos	Minutos	Minutos	Minutos	Minutos	Minutos	Minutos	Minutos	Minutos	Minutos
	28.5		5	2	12	0.5	3	3	3	
Válvula Solenoide Líquido S7A	Sol # 1									
Válvula paro succión CK2D	Sol # 1									
	Sol # 2									
Válvula Gas Caliente S4AD	Sol # 1									
	Sol # 2									
Evaporador										

Tabla 3.1: Secuencia Del DESCARCHADO[9]

[9] Secuencia capturada de las válvulas PARKER que realizan el descarchado.

La tabla nos indica el tiempo de 4 elementos en el descarchado los cuales son:

i. Válvula Líquido Solenoide S7A. Posee un solenoide, la válvula se encuentra normalmente cerrada.
ii. Válvula Paro Succión CK2D. Posee dos solenoides (sol), la válvula se encuentra normalmente cerrada, el sol#1 abre la válvula un 85% y el sol#2 abre la válvula un 15%.
iii. Válvula Gas Caliente S4AD. Posee dos solenoides (sol), la válvula se encuentra normalmente abierta, el sol#1 cierra la válvula un 85% y el sol#2 cierra la válvula un 15%.
iv. Evaporador. Se encuentra apagado sin la señal de encendido.

La secuencia de descarchado sigue los siguientes pasos[10]:

- Para iniciar el descarchado se deben apagar la válvula solenoide S7A para que no circule el refrigerante y el evaporador queda encendido por 5 minutos.
- Después del apagado del evaporador se enciende el sol #2 de las válvulas CK2D y S4AD la cual abre y cierra respectivamente un 15 % de estas para que el paso de amoniaco no sea tan fuerte.
- Posteriormente después de 2 minutos se enciende el sol #1 la cual abre y cierra al 100% las válvulas CK2D y S4AD respectivamente.
- Inmediatamente después de 12 minutos se apaga el sol#1 de la válvula S4AD, después de 30 segundos se desactivan sol#2 de la válvula S4AD y el sol#1 de la válvula CK2D.
- Pasa 3 minutos y se desactiva el sol#2 de la válvula CK2D, después de eso el evaporador con las válvulas se mantendrán apagados por 3 minutos.

[10] Los tiempos del descarchado pueden ser variados en la pantalla táctil

- Seguidamente se activara la válvula S7A para el paso del refrigerante, inmediatamente después de 5 minutos se encenderá el evaporador y quedara encendido hasta el siguiente ciclo de descarchado.

Esta secuencia de descarchado se aplica a todos los evaporadores, después de terminar el descarchado de un evaporador pasa un tiempo de 5 minutos y se activa el descarchado de otro evaporador la cual se muestra en la siguiente figura (figura 3.1)

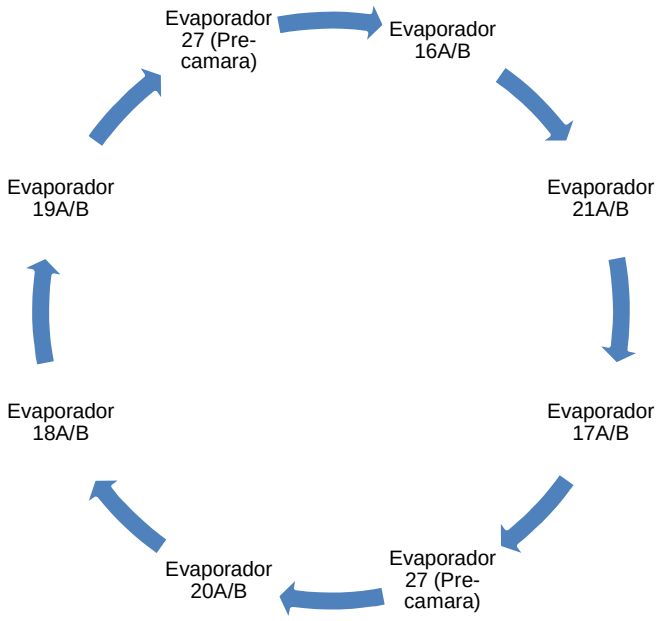


Figura 3.1: Secuencia De Los Evaporadores

- El motivo por el cual el evaporador 27 (pre-cámara) realiza el descarchado 2 veces; es por estar a la entrada de la cámara de refrigeración, recibe mayor cantidad de calor y humedad.
- Además el descarchado se lo hace por regiones, primero se realiza el descarchado en el sector izquierdo de la cámara, luego en el derecho, y así sucesivamente, de esta manera se evita que se caliente la cámara.

3.3. SOFTWARE PARA EL PLC Y HMI

Se utiliza el software Proficy Machine Edition versión 6.5 (figura 3.2), el cual tiene un entorno para desarrollar interfaz del operador y las aplicaciones de control, además proporciona una interfaz de programación en la cual se arrastra el elemento hasta la pantalla, en donde se tiene los elementos necesarios para la programación.

Todos los componentes dentro del software son fáciles de usar para la programación, en este se programa el PLC y la pantalla táctil para el control del proceso de refrigeración, también el software proporciona una ruta de migración de las variables sin problemas, esto nos sirve para la comunicación entre el PLC y la pantalla táctil.

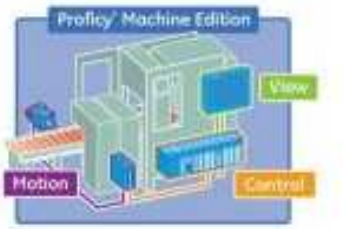


Figura 3.2: Proficy Machine Edition[xlvi]

3.4. PROGRAMA DESARROLLADO EN EL PLC.

Primero se crea subrutinas, en cada subrutina ira un proceso de refrigeración con el objetivo de distribuirlo por facilidad de programación.

El diagrama de flujo principal (figura 3.3) en el cual se llama a las subrutinas es el siguiente:

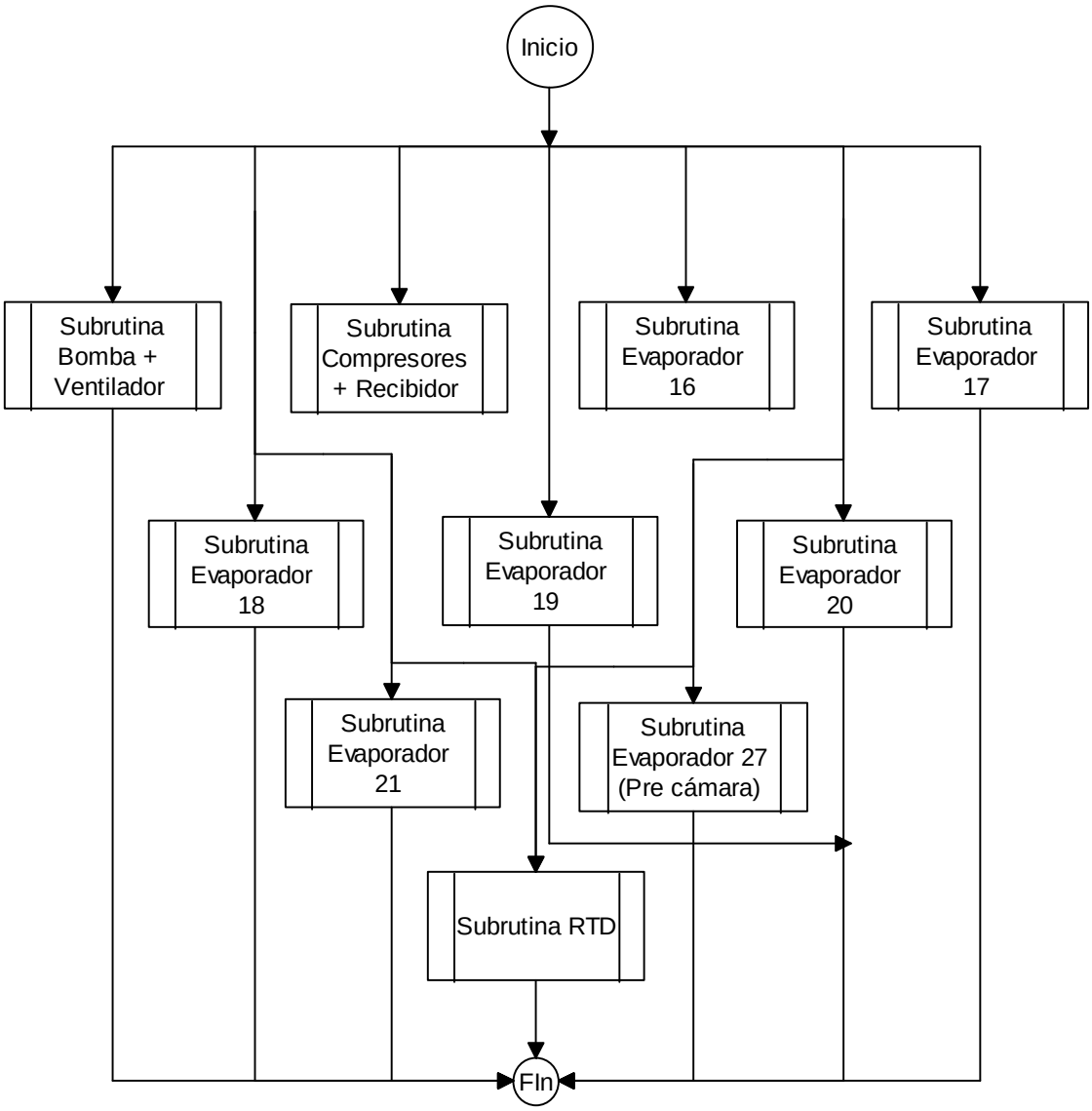


Figura 3.3: Diagrama de Flujo Principal

3.4.1. BOMBA + VENTILADOR

En la figura 3.4 se muestra el diagrama de flujo para el control de la bomba y los 2 ventiladores del condensador evaporativo, la condición principal es que si la bomba se encuentra encendida se puede activar los ventiladores.

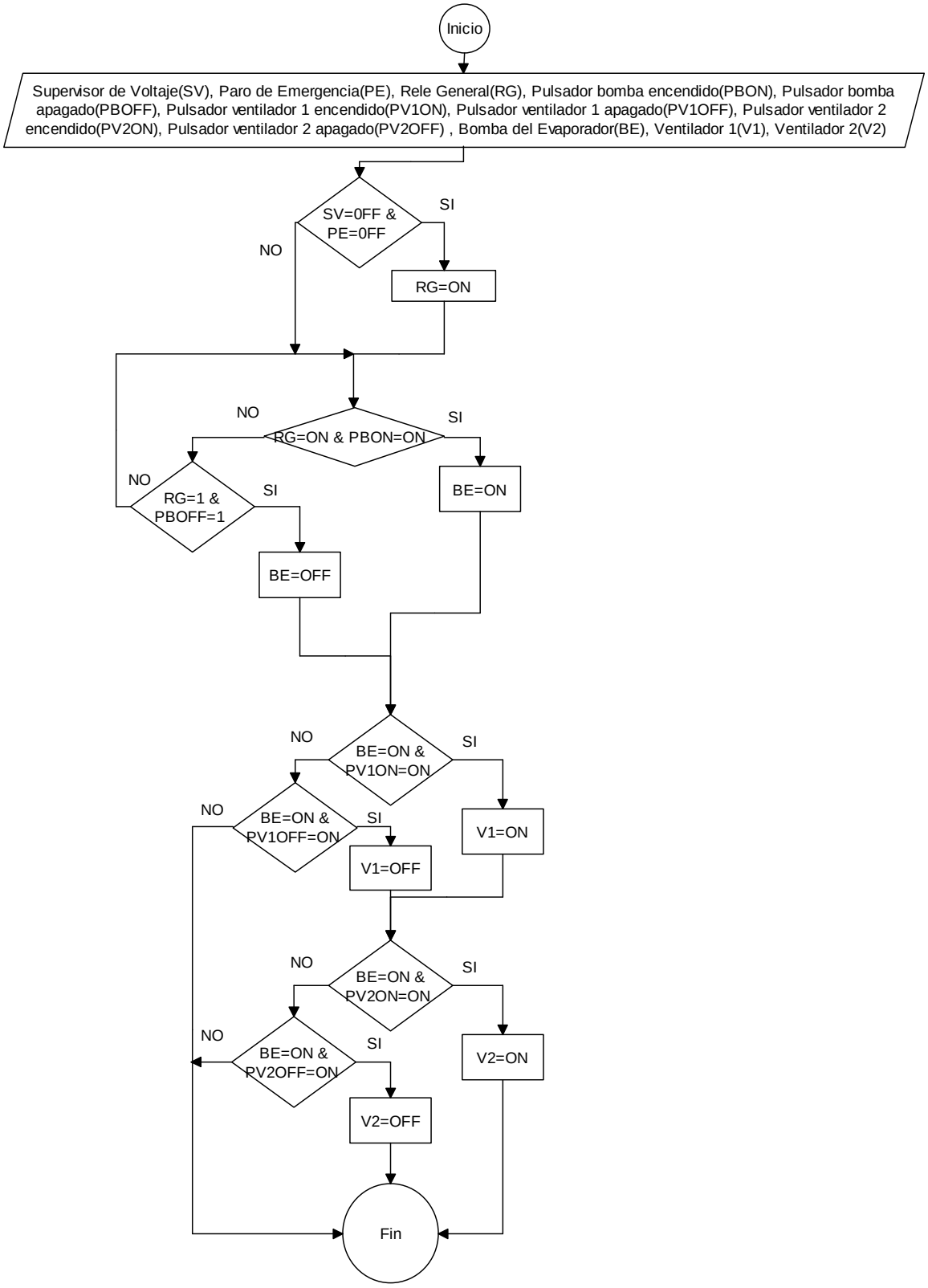


Figura3.4. Diagrama de Flujo “Subrutina Bomba + Ventilador”

3.4.2. COMPRESORES + RECIBIDOR

En la figura 3.5 se muestra el diagrama de flujo para el control de encendido de los compresores, los compresores se encenderán si el nivel del recirculador se encuentra dentro de los limites de seguridad ya si ingresa refrigerante en estado líquido a los compresores, estos se dañarían.

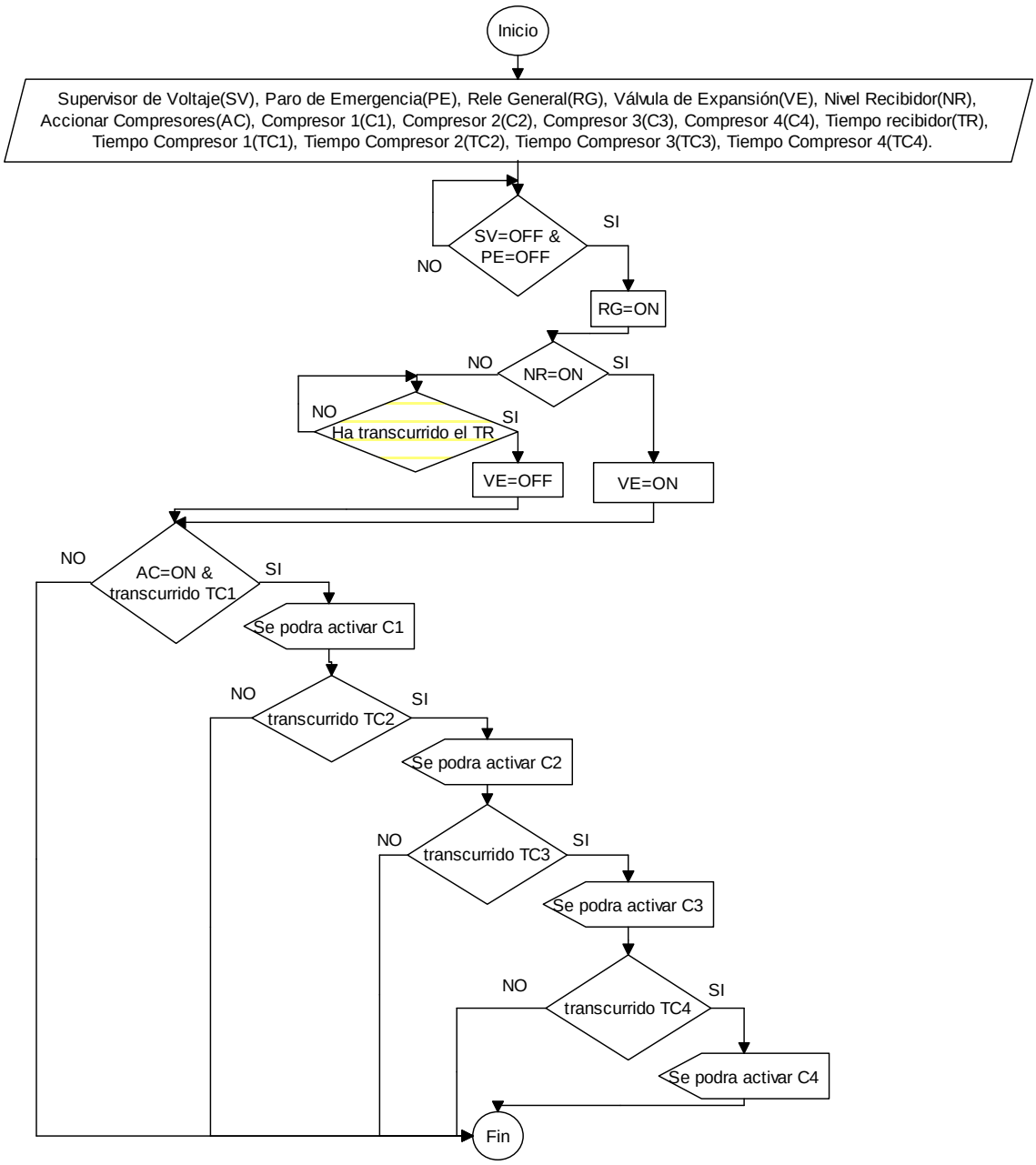
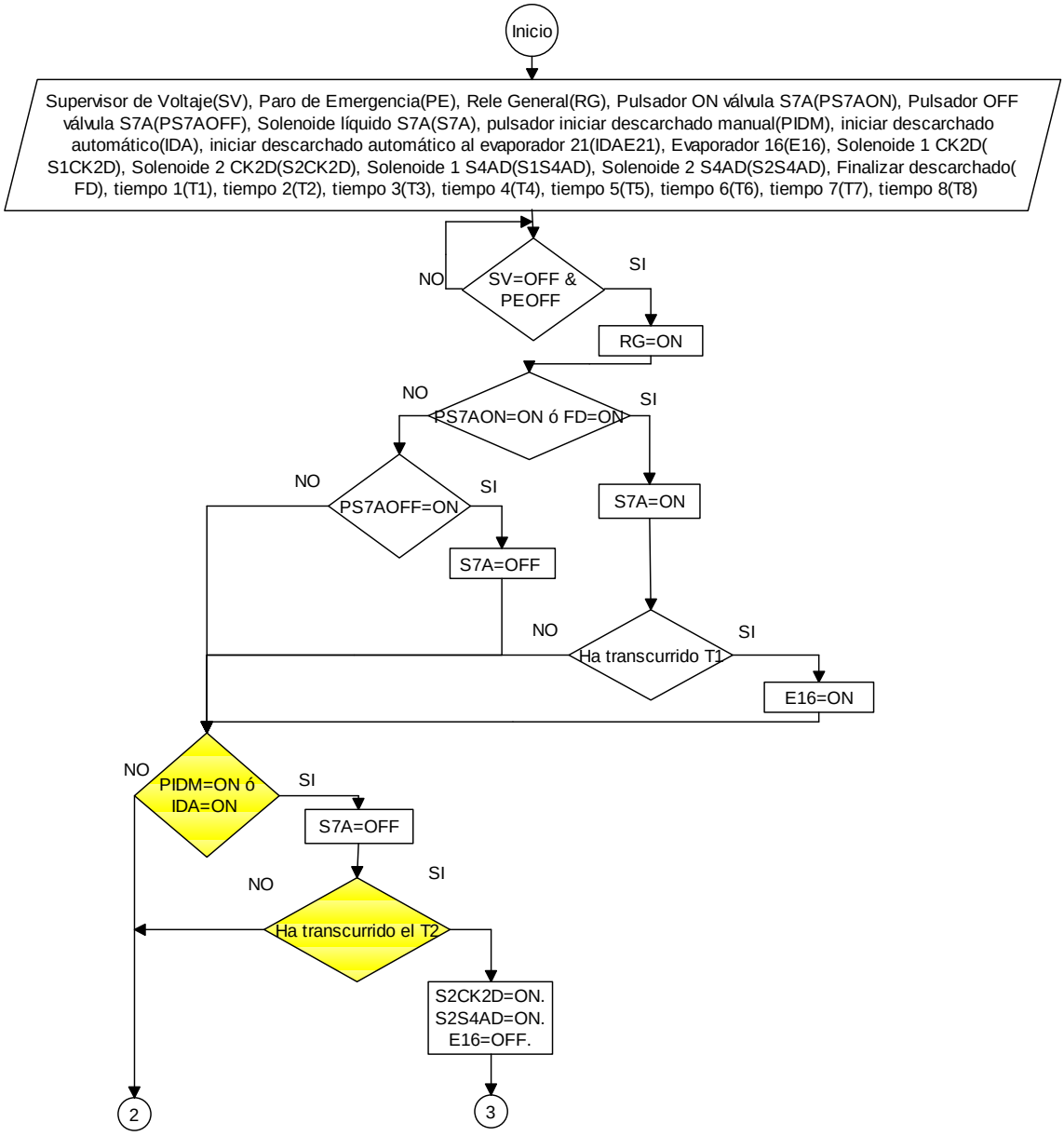


Figura 3.5: Diagrama de Flujo “Subrutina Compresor + Recibidor”

3.4.3. EVAPORADORES

En la figura 3.6 se muestra el diagrama de flujo para el control del evaporador 16 con su etapa de descarchado, ya que el diagrama de flujo se aplica a todos los evaporadores, para poner en marcha a cualquier evaporador primero debe estar activada la válvula solenoide S7A la cual introduce líquido refrigerante a baja presión a estos, después de un tiempo se activa el evaporador; la secuencia de descarchado se lo explico anteriormente en el punto 3.2.



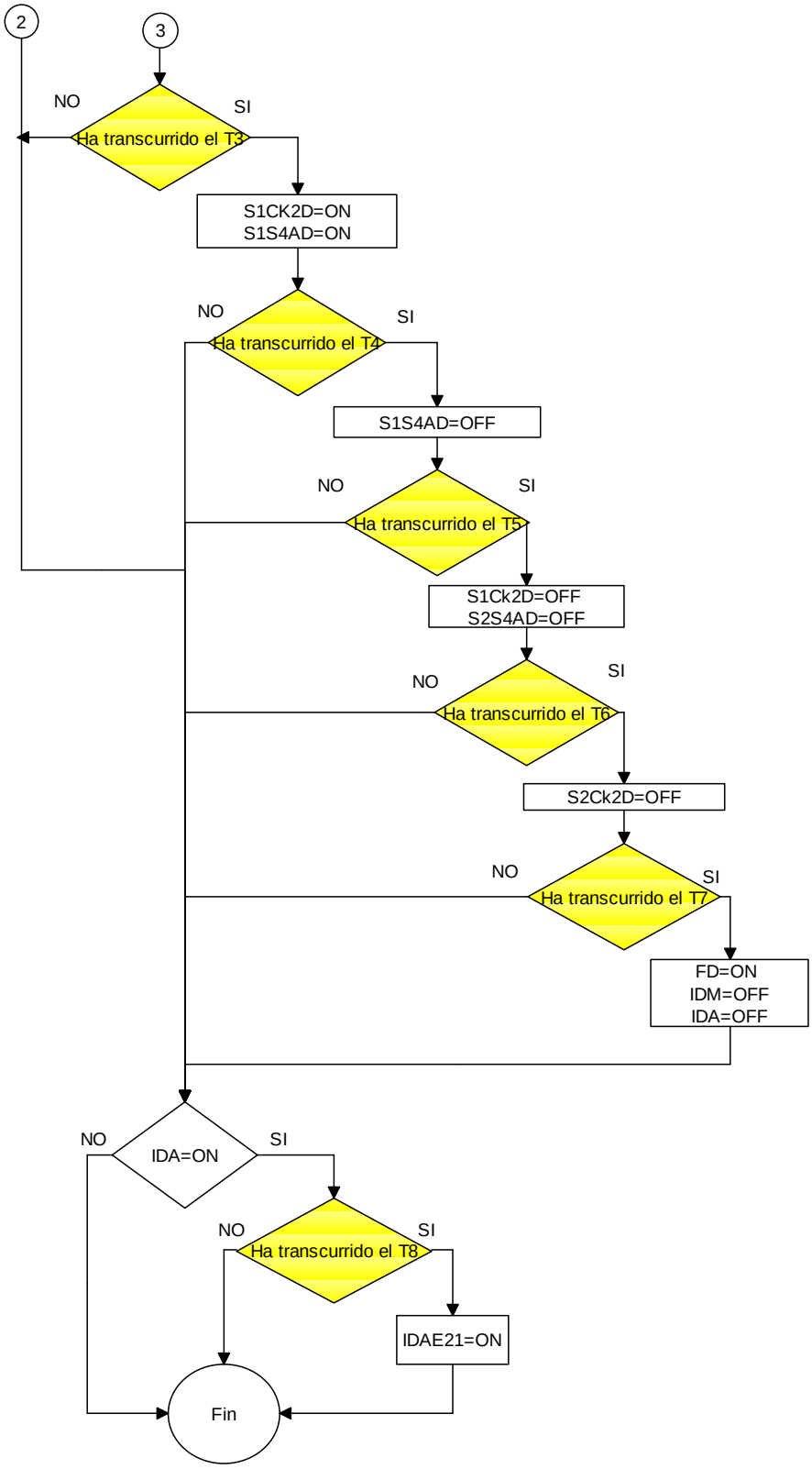


Figura3.6: Diagrama de Flujo “Subrutina Evaporador 16”

3.4.4. RTD

En la figura 3.7 se muestra el diagrama de flujo para la lectura de temperatura de la cámara y la pre cámara en grados centígrados los cuales son observados en la pantalla táctil, el modulo de expansión del PLC lee el cambio de resistencia del PT100 y lo transforma en datos los cuales son enviados a la pantalla táctil y se observa la temperatura de grados centígrados.

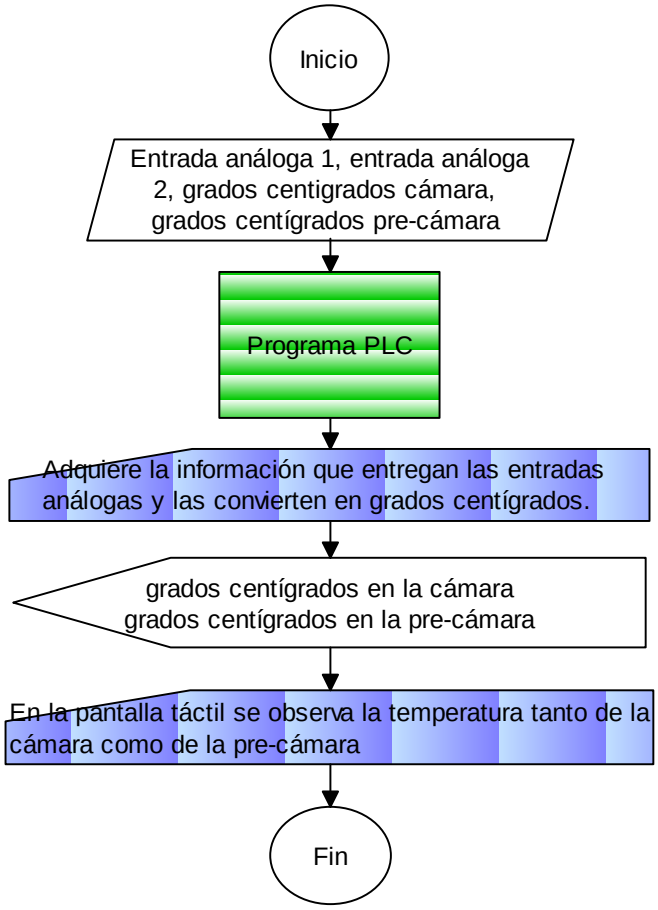


Figura 3.7 Diagrama de Flujo “Subrutina RTD”

3.5. PROGRAMACIÓN DEL HMI

La pantalla principal de la pantalla táctil se despliega como se indica en la figura 3.8

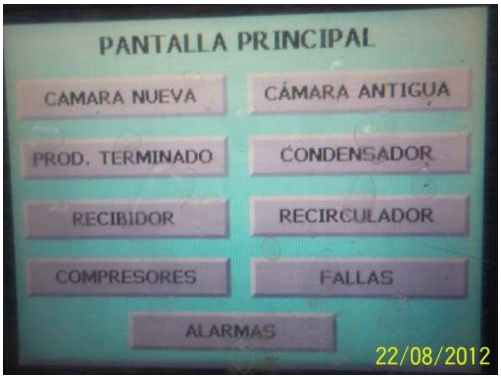


Figura 3.8: Pantalla Principal[xlvii]

En esta pantalla se observa el proceso frigorífico de la cámara, además se observa las botoneras para la cámara antigua que se encuentra en proceso de automatización, a futuro todo se podrá controlar desde esta pantalla táctil.

3.5.1. CÁMARA NUEVA

Al presionar cámara nueva en la pantalla principal se despliega la siguiente pantalla:

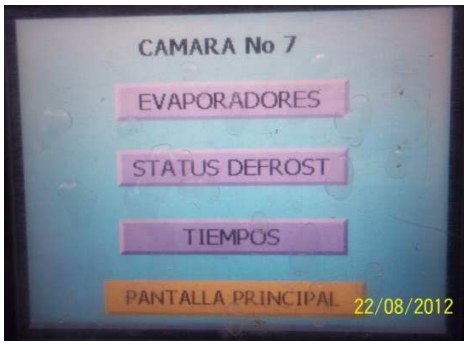


Figura 3.9: Pantalla Cámara Nueva[xlviii]

En esta pantalla además del botón que nos permite regresar a la pantalla principal existen 3 opciones las cuales son:

i. EVAPORADORES.

Al presionar evaporadores se despliega la siguiente ventana.

Figura 3.10: Pantalla Evaporadores[xlix]

En esta pantalla se puede observar que evaporador se encuentra encendido y apagado, también se puede observar que el evaporador 22A/B y 23A/B se encuentran de color rojo, esto es debido a que a futuro se podrán estos por motivo de seguridad en caso de que algún evaporador se dañe a futuro.

Además en esta pantalla se encuentran las botoneras de encendido y apagado para cada evaporador.

También existe un botón el cual permite regresar a la pantalla cámara nueva.

ii. STATUS DESCARCHADO

Al presionar status Defrost despliega la siguiente pantalla:

Figura 3.11: Pantalla status Defrost[l]

En esta pantalla se puede observar que evaporador se encuentra realizando descarchado, se puede hacer el descarchado de forma manual o automática.

El descarchado manual se escoge en el selector y realiza descarchado al evaporador y no manda la orden que realice descarchado a otro evaporador, mientras que el descarchado automático manda la orden que realice descarchado a otro evaporador.

Además se observa la temperatura de la cámara y de la pre-cámara en grados centígrados.
También existe un botón el cual permite regresar a la pantalla cámara nueva.

iii. TIEMPOS

Al presionar status Defrost despliega la siguiente pantalla:

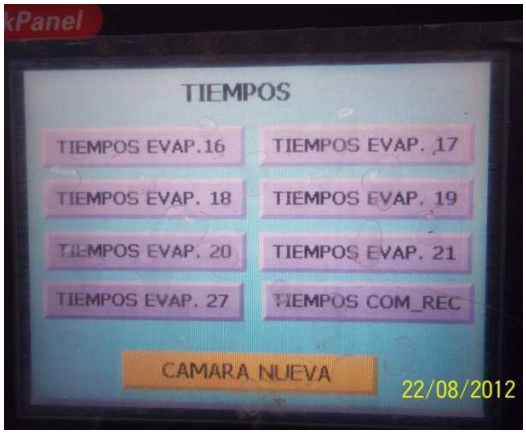


Figura 3.12: Pantalla Tiempos[li]

En esta pantalla se varía los tiempos de descarchado para cada evaporador y de esta manera reducir o ampliar el tiempo de descarchado, además se puede variar el tiempo de encendido de los compresores.

También existe un botón el cual permite regresar a la pantalla cámara nueva.
La pantalla para cambiar los tiempos luce de esta forma:

Figura 3.13: Variar Tiempos de Descarchado del Evaporador 16[lii]

Todas las pantallas tienen un botón el cual permite regresar a la pantalla tiempos.

3.5.2. CONDENSADOR

Al presionar este botón en la pantalla principal se despliega la siguiente pantalla:

Figura 3.14: Pantalla Condensador[liii]

En esta pantalla se observa el estado de la bomba y los ventiladores, el color azul representa encendido, y el color blanco representa apagado.

Además cuenta con 2 botones, uno regresa a la pantalla principal y el otro despliega la siguiente pantalla:

Figura 3.15: Pantalla Condensador On[liv]

En esta pantalla podemos encender y apagar la bomba de agua y los ventiladores, el color verde significa prendido y el color rojo apagado.

También existe un botón el cual permite regresar a la pantalla condensador.

3.5.3. RECIBIDOR

Al presionar este botón en la pantalla principal se despliega la siguiente pantalla:

Figura 3.16 Pantalla Recibidor[lv]

En esta pantalla se observa el nivel del recibidor el cual nos describe si esta cargado, cuando el nivel es bajo el contactor verde se vuelve color rojo, además se puede variar el tiempo en el cual se apagara la válvula de expansión en el caso de que el recibidor tenga bajo nivel de refrigerante.

También existe un botón el cual permite regresar a la pantalla cámara nueva.

3.5.4. RECIRCULADOR

Al presionar este botón en la pantalla principal se despliega la siguiente pantalla:

Figura 3.17: Pantalla del Recirculador[lvi]

En esta pantalla se observa si se encuentra activa la válvula de expansión, además se observa el contacto del sensor de nivel del recirculador, si este se encuentra activo permita el accionamiento de los compresores.
También existe un botón el cual permite regresar a la pantalla cámara nueva.

3.5.5. COMPRESORES

Al presionar este botón en la pantalla principal se despliega la siguiente pantalla:

Figura 3.18: Pantalla Compresores[lvii]

En esta pantalla se observa además del botón que regresa a la pantalla principal, 4 botones, cada uno de ellos nos indica si el compresor se encuentra encendido o apagado de la siguiente manera:

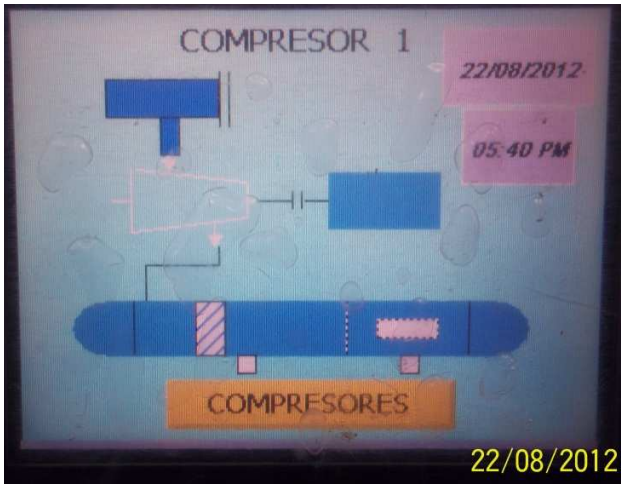


Figura 3.19: Pantalla Compresor 1[lviii]

El color azul significa encendido y el color blanco apagado, también posee un botón para regresar a la pantalla compresores.

3.5.6. FALLAS Y ALARMAS

En estas pantallas darán aviso de lo siguiente:

- Falla de energía
- Paro de emergencia
- Alto nivel de recirculador
- Falla bomba condensador
- Bajo nivel recibidor.

Estas pantallas tendrán el botón para regresar a la pantalla principal.

Si no ocurre ninguna falla o alarma, la pantalla luce de la siguiente manera:

Figura 3.20: Pantalla de Fallas[lix]

3.6. PROGRAMACIÓN DEL ARRANCADOR SUAVE

El arrancador suave se lo cargo con los valores de defecto[11]:

Los valores por defecto ayudan a la programación ya que se encuentran en los rangos que da el fabricante, los parámetros importantes en un arrancador suave son los valores de la corriente inicial, corriente final y el tiempo de la rampa ya que si se define de manera errónea estoy parámetros no arrancaría el compresor.

3.7. PROGRAMACIÓN DEL RECIRCULADOR

La programación del recirculador es sencilla ya que se deben variar 6 parámetros[12].

---

[11] Ver Anexo 6 “VALORES POR DEFECTO DEL ARRANCADOR SUAVE”

[12]Manual de usuario del variador de nivel del recirculador

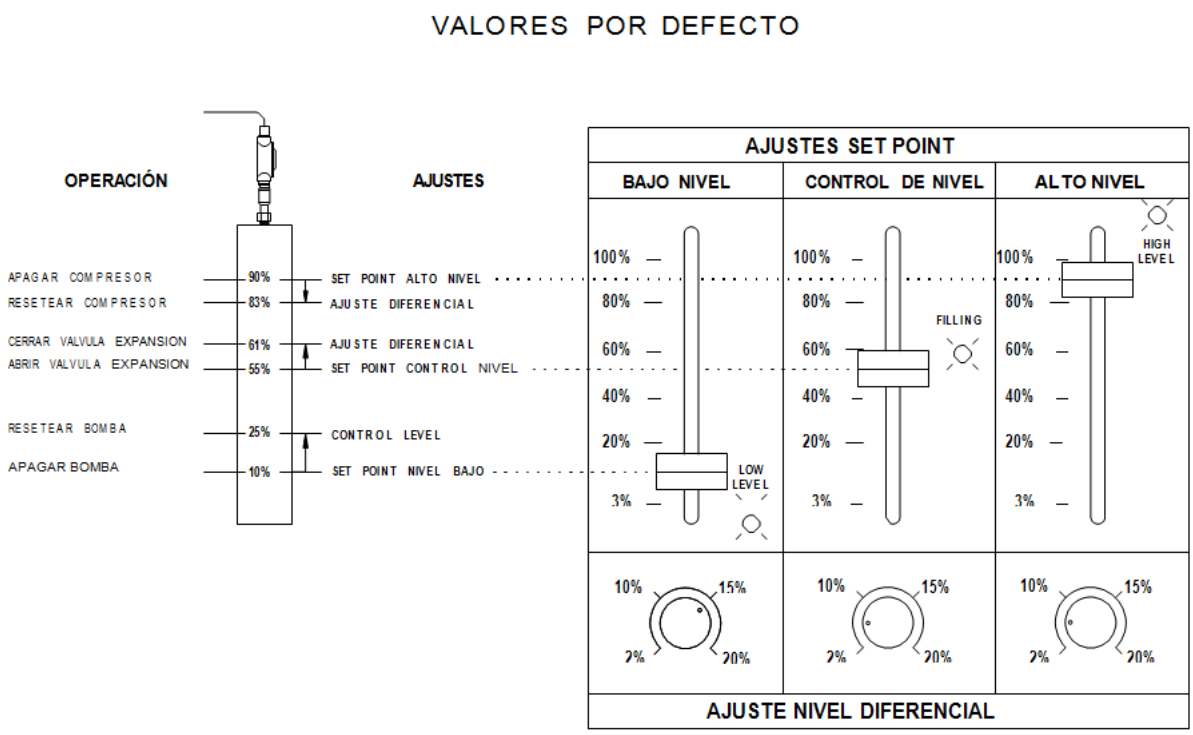


Figura 3.21: Valores por defecto del Variador de Nivel[11]

- BAJO NIVEL. El potenciómetro vertical que varía el nivel bajo debe estar entre 5% y 8% y el potenciómetro circular el cual varia el diferencial debe estar alrededor del 8%, esto evitara que el tanque no este vacío al 100% ya que las bombas necesitan líquido refrigerante para que las bombas no se dañen.
- CONTROL NIVEL. El potenciómetro vertical debe estar aproximadamente al 20% y el diferencial debe estar alrededor del 3%, este nivel indica el porcentaje de líquido respecto a la base del tanque, y controla que el nivel no rebase este.
- ALTO NIVEL. El potenciómetro vertical debe estar aproximadamente al 75% y el diferencial es del 8%, si el control de nivel no funciona este será el encargado de apagar la válvula de expansión y de esta manera evitar que llegue líquido a los compresores y los dañe.

3.8. PROGRAMACIÓN DEL COMPRESOR

Se puso los valores por defecto[13]:

El parámetro más importante del compresor el la presión de succión, ya que este será el encargado de mantener la temperatura a -18℃

[13]Ver Anexo 7 “VALORES POR DEFECTO DEL COMPRESOR”

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

En la cámara de refrigeración se realizaron las siguientes pruebas:

4.1. PRUEBAS EN LOS EVAPORADORES.

Todos los ventiladores deben tener el mismo sentido de giro para de esta manera no calentar la cámara de refrigeración.
Poniendo en marcha uno por uno a los evaporadores, 2 de estos tenían sentido diferente a los demás, por lo cual se cambio 2 fases de estos y se soluciono el problema.

4.2. PRUEBAS EN LAS VÁLVULAS QUE REALIZAN DESCARCHADO.

Al activar la secuencia del descarchado con tiempos de 10 segundos programados en el PLC y con pulsadores puestos en la pantalla táctil simulando el descarchado en un periodo corto de tiempo para cada paso que debe cumplir el descarchado.

En estas se pudo notar que 4 válvulas estaban realizando procesos no deseados, es decir, las válvulas S4AD y CK2D tienen 2 solenoides en las cuales estaban conectadas al revés, es decir, el solenoide 1 en lugar de el solenoide 2, y viceversa.
Se procede a conectarlas correctamente con lo que se soluciona el problema.

4.3. PRUEBAS EN EL RECIRCULADOR

Se apagan los motores para que de esta manera se llene de amoniaco desde el recibidor, en el cual se prueba la válvula de expansión que estaba abierta se cerró una vez que traspaso dicho nivel.

Se prenden las bombas, cerrando la válvula de expansión y de esta manera se prueba el nivel bajo el cual al activarse se enciende la alarma de nivel bajo y apaga las bombas ya que las bombas no deben trabajar sin líquido refrigerante.
El nivel alto se lo hizo mediante el simulador en el cual se pudo observar que cuando este se activa se activa una alarma y apaga el recirculador y la válvula de expansión, ya que el recibidor fue dimensionado para mayor capacidad con lo cual el refrigerante no logra llenar de refrigerante hasta un nivel alto.

4.4. PRUEBAS EN EL RECIBIDOR

El recibidor consta con un contactor normalmente cerrado el cual se abre cuando el nivel de líquido esta bajo.
La prueba se lo realiza mediante el PLC ya que cuando el recibidor tiene nivel bajo la válvula de expansión debe cerrarse para que de esta manera el recibidor se llene nuevamente y pueda abastecer al recirculador.

4.5. PRUEBAS EN EL COMPRESOR

El parámetro mas importante de la cámara de refrigeración es la presión de succión con el cual a mas baja presión, mas baja será la temperatura, al principio se trabajaba con 2 compresores, pero trabajaban por corto tiempo y descansaban, por lo cual se decidió trabajar con un compresor y bajar su presión de succión para abastecer la cámara y de esta manera que este siempre trabajando y no consumir la mitad de energía, se intercambian los 3 compresores a diario para tenerlos trabajando individualmente, los compresores fueron dimensionados para trabajar con la cámara antigua a futuro.

CAPÍTULO 5
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones y recomendaciones se obtuvieron de la cámara de refrigeración.

5.1. CONCLUSIONES

- La instalación de la cámara de refrigeración en la planta, ayuda a mejorar la economía de la empresa, ya que antes de que esta exista, tenían que pagar $150000 dólares mensuales por el alquiler de cámaras de refrigeración fuera de la industria.
- La cámara de refrigeración ayuda en el almacenamiento del atún, ya que se puede almacenar la suficiente materia prima para 3 meses en tiempo de veda del atún.
- La materia prima no se daña ya que la cámara proporciona la temperatura a -18℃ y con esto el atún mantiene su composición.
- La automatización se lo hace con ayuda del operario ya que de 18h00a 22h00 es hora pico de consumo de energía, en la cual la cámara permanece apagada, por lo cual el operario según el nivel de refrigerante que exista en el recibidor procede a apagar la cámara antes de las 18h00, y encenderla un poco antes de las 22h00.
- La materia prima varia de acuerdo a la especie, tamaño de este, por lo cual tiende a calentar de diferente manera la cámara de refrigeración, por ende se realiza descarchados extras a los evaporadores que presenten mayor cantidad de hielo en su exterior, mediante la pantalla táctil.
- El refrigerante utilizado es el amoniaco ya que este recorre distancias largas, es fácilmente detectable, y no es dañino a la capa de ozono.
- La pantalla táctil nos sirve para monitorear el estado de los evaporadores, condensador y compresor ya que posee indicadores los cuales indican el estado de cada uno de estos.

- Gracias a la batería interna del PLC, el programa se encuentra almacenado en la memoria por varias semanas, y de esta manera evitar que se borre la información por alguna falla eléctrica.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda dividir la materia prima de forma uniforme para que de esta manera no aglomerar el calor en una sola parte de la cámara de refrigeración y de esta manera optimizar la congelación de este.
- Es recomendable que la materia prima se traslade rápidamente desde el puerto a la empresa y de esta manera el atún se descongele lentamente.

ANEXO 1

CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS[14]

[14] Proporcionado por mi director de tesis Fabricio Preis, Msc

Las principales cargas térmicas a tomar en cuenta son las siguientes:

- Transmisión de calor a través de paredes, techo y suelo.
- Temperatura de ingreso de la materia prima.
- Transmisión de calor a través de luces, personas y máquinas.
- Masa del producto a refrigerarse.
- Perdidas de calor debido a la entrada de aire del exterior a la cámara.
- Transmisión de calor debido a los motores de los evaporadores.

La cámara tiene los siguientes datos:

- Dimensiones: 48m largox38m ancho x7m altura.
- Paredes y techo: aisladas con 6 pulgadas de poliuretano.
- Piso: aislado con 4 pulgadas de poliuretano.
- Temperatura fuera de la cámara: 29℃.
- Temperatura del piso: 23℃.

El poliuretano es la reacción de un alcohol con un isocianato, el cual sirve para mantener la temperatura dentro de la cámara de refrigeración.

Los datos se ingresan al programa “CRS” y sirve como guía, ya que el ajuste final se realiza a mano. Los datos son las dimensiones del cuarto, temperatura del cuarto, ingreso de producto, tipo de aislamiento, espesor, iluminación y descarchados.

	BTU/HR	**TR**
Transmisión de temperatura por techo, paredes, suelo	154,185	12.8
Entrada de aire del exterior de la cámara	50,412	4.2
11 Lámparas de 400W	15,012	1.3
4 personas	3,600	0.3

4 montacargas	2,666	0.2
Calor producido por los evaporadores	86,530	7.2
Descarchado	20,000	1.7
Total	**332,405**	**27.7**
10% de seguridad	**33.2405**	**2.8**
Total cámara sin atún	**365,646**	**30.5**

Tabla A1.1. Cargas térmicas

La capacidad de almacenamiento de la cámara es de 7000 toneladas de atún, pero no se ingresa tal cantidad en un instante, la carga máxima diaria que ingresa en la cámara es de 200 toneladas.

Se ingresan los siguientes datos en el programa:

- Peso en toneladas: 50, 100, 150, 200, 250.
- Temperatura de ingreso del atún = -4℃
- Temperatura del atún dentro de la cámara = -20℃
- Calor específico del atún = 0.43BTU/LB℉

En el cual se obtuvo los siguientes resultados:

Atún	Tin	Tout	Cp.	**Q**			
TONS	℃		BTU/LB℉	**BTU**	**Hr**	**BTU/HR**	**TR**
50	-4	-18	0.43	**1,191,960**	**12**	**99,330**	**8.3**
100	-4	-18	0.43	**2,383,920**	**12**	**198,660**	**16.6**
150	-4	-18	0.43	**3,575,880**	**12**	**297,990**	**24.8**
200	-4	-18	0.43	**4,767,840**	**12**	**397,320**	**33.1**
250	-4	-18	0.43	**5,959,800**	**12**	**496,650**	**41.4**

Tabla A1.2. Carga térmica del atún

Ya que se ingresaran máximo 200 toneladas diarias se tiene que:

	BTU/HR	TR
Total cámara sin atún	365,646	30.5
Atún	397,320	33.1
Total cámara con atún	**762,966**	**63.6**

Tabla A1.3. Carga térmica total

Se distribuye la cámara en 7 partes para congelar la cámara uniformemente, entonces al dividir $\frac{63.6\,TR}{7} = 9.09TR$.

Los evaporadores que se ubican en el centro de la cámara ver Anexo 2, recibirán aire de la parte exterior por lo cual tienen que tener mas capacidad de 9.09TR, el evaporador que se instale en la pre-cámara debe ser de menor capacidad, ya que el atún que se almacene en ese lugar debe estar más caliente para partir al descongelamiento, por lo cual se obtuvo la siguiente distribución:

Distribución en la cámara frigorífica	Toneladas de refrigeración
1 evaporador en la pre-cámara	5.5
1 evaporador en la cámara	8.1
5 evaporadores en la cámara	12.1
7 evaporadores	**74.1**

Tabla A1.4. Toneladas de refrigeración de los evaporadores

Se tiene 10.5 TR extra, esto sirve para compensar en el proceso de descarchado y cuando se realice mantenimiento de algún evaporador.

Para la cámara basta con un compresor de 60TR, el proyecto consta con 4 compresores de la misma capacidad ya que debe abastecer tanto a la cámara y a la cámara antigua que esta en proceso de automatización.

El condensador evaporativo es de 4’150,000 BTU/HR ya que debe conseguir enfriar el amoniaco gaseoso y transformarlo a líquido, de la cámara y la cámara antigua que esta en proceso de automatización.

La capacidad del recibidor es función de su volumen y de la densidad del amoniaco a la presión y temperatura en que esta almacenado. Para este caso es 587.4 Kg/m^3 @ 35℃; debe tener la capacidad de abastecer al reci rculador, evaporadores y tuberías de la cámara y cámaras que esta en proceso de automatización por ende su capacidad debe ser mayor y es de 3351 Kg.

Para el caso del recirculador es el mismo principio volumen y densidad. Para el líquido en el recirculador su densidad es 675.66 Kg/m^3 @ -28.33℃, su capacidad también debe ser mayor ya que debe abastecer a los evaporadores de la cámara y de cámara que esta en proceso de automatización y es de 1000kg.

ANEXO 2

DISTRIBUCIÓN DE LOS EVAPORADORES[15]

[15] Proporcionado por mi director de tesis Fabricio Preis, Msc

ANEXO 3

DIAGRAMA EN AUTOCAD DE LA UBICACIÓN DE LAS VÁLVULAS[16]

[16] Proporcionado por mi director de tesis Fabricio Preis, Msc

ANEXO 4

CONEXIONES AL PLC[17]

[17] Proporcionado por mi director de tesis Fabricio Preis, Msc

ANEXO 5

DIAGRAMA UNIFILAR Y TABLEROS[18]

[18] Proporcionado por mi director de tesis Fabricio Preis, Msc

ANEXO 6

VALORES POR DEFECTO DEL ARRANCADOR SUAVE[19]

[19] Copiado del manual de Usuario del Compresor

ANEXO 7

VALORES POR DEFECTO DEL COMPRESOR[20]

[20] Copiado del manual de Usuario del Compresor

ANEXO 8

DIMENSIONAMIENTO DE CABLEADO[21]

[21] Apuntes de la material “Instalaciones Electricas”

DATOS DEL CABLE

Calibre	Construcción		Ø	Espesores (mm)		Ø Externo Aprox.	Peso Total Aprox.	Ampacidad (A) ①			Conductores x conduit ②		Embalaje Estándar
(AWG/ MCM)	N° de Hilos	Ø de hilos (mm)	Conduc. (mm)	Aisl. (mm)	Sobrec. (mm)	(mm)	(kg/km)	THWN (75°C)	THHN (90°C)	MTW (90°C)	Ø conduit (Pulg)	N° de Conduct.	(metros)
14	1	1.628	1.63	0.42	0.125	2.75	24	20	25	-	1/2	12	R153/C763
12	1	2.052	2.05	0.42	0.125	3.15	35	25	30	-	1/2	9	R153/C763
10	1	2.588	2.59	0.56	0.125	3.95	56	35	40	-	1/2	5	R153/C763
8	1	3.264	3.26	0.82	0.155	5.20	92	50	55	-	1/2	3	C153/305
14	13/6	0.405 / 0.297	1.81	0.42	0.125	2.90	25	20	25	15	1/2	12	R153/C763
12	13/6	0.511 / 0.373	2.28	0.42	0.125	3.40	37	25	30	20	1/2	9	R153/C763
10	13/6	0.643 / 0.470	2.87	0.56	0.125	4.25	59	35	40	30	1/2	5	R153/C763
8	13/6	0.810 / 0.594	3.62	0.82	0.155	5.55	96	50	55	40	½	3	C153/305
6	13/6	1.021 / 0.747	4.56	0.82	0.155	6.50	146	65	75	55	3/4	4	C153/305
4	13/6	1.288 / 0.942	5.75	1.10	0.175	8.30	234	85	95	70	1	4	C153/305
3	13/6	1.488 / 1.059	6.46	1.10	0.175	9.05	289	100	110	80	1	3	C153/305
2	13/6	1.626 / 1.189	7.26	1.10	0.175	9.85	358	115	130	95	1	3	C153/305
1	19	1.69	8.20	1.37	0.205	11.35	460	130	150	110	1 1/4	4	C153/305
1/0	19	1.89	9.20	1.37	0.205	12.35	566	150	170	125	1 1/4	4	C153/305
2/0	19	2.13	10.35	1.37	0.205	13.50	707	175	195	145	1 1/2	3	C153/305
3/0	19	2.39	11.60	1.37	0.205	14.75	878	200	225	165	1 1/2	3	C153/305
4/0	19	2.68	13.00	1.37	0.205	16.15	1091	230	260	195	2	4	C153/305
250	37	2.09	14.20	1.60	0.255	17.90	1294	255	290	215	2	3	C153/305
300	37	2.29	15.55	1.60	0.255	19.25	1539	285	320	240	2	3	C153/305
350	37	2.47	16.80	1.60	0.255	20.50	1778	310	350	260	2 1/2	4	C153/305
400	37	2.64	17.95	1.60	0.255	21.65	2020	335	380	280	2 1/2	4	C153/305
450	37	2.80	19.00	1.60	0.255	22.70	2261	355	405	-	3	4	C153/305
500	37	2.95	20.05	1.60	0.255	23.75	2500	380	430	320	3	5	C153/305
600	61	2.52	22.00	1.87	0.255	26.25	3009	420	475	355	3	4	C153/305
750	61	2.82	24.65	1.87	0.255	28.90	3737	475	535	400	3 1/2	4	C153/305
1000	61	3.25	28.40	1.87	0.255	32.65	4919	545	615	-	3 1/2	3	C153/305

R= Carrete plástico C = Carrete madera

El número de calibre será el número 14 ya que maneja cargas hasta 25 amperios, este se utilizara en todas las conexiones.

ANEXO 9

ENTRADAS Y SALIDAS DEL PLC[22]

[22] Copiadas del programa Proficy Machine Edition

Se utilizo 23 entradas digitales de las cuarenta disponibles distribuidas de la siguiente manera:

Nombre	Tipo	Descripción
I00001	BOOL	Conf. arranqueevap. 16A
I00002	BOOL	Conf. arranqueevap. 16B
I00003	BOOL	Conf. arranqueevap. 17A
I00004	BOOL	Conf. arranqueevap. 17B
I00005	BOOL	conf. arranqueevap. 18A
I00006	BOOL	Conf. arranqueevap. 18B
I00007	BOOL	Conf. arranqueevap. 19A
I00008	BOOL	Conf. arranqueevap. 19B
I00009	BOOL	Conf. arranqueevap. 20A
I00010	BOOL	Conf. arranqueevap. 20B
I00011	BOOL	Conf. arranqueevap. 21A
I00012	BOOL	Conf. arranqueevap. 21B
I00013	BOOL	Conf. arranqueevap. 27
I00015	BOOL	Supervisor Voltaje
I00016	BOOL	Paro Emergencia
I00017	BOOL	Nivel Recibidor
I00018	BOOL	Arranque Compresores
I00019	BOOL	Encendido Ventilador 1
I00020	BOOL	Encendido Ventilador 2
I00021	BOOL	Encendido Bomba de Agua
I00022	BOOL	Alto Nivel Recirculador
I00023	BOOL	Relé térmico Bomba de Agua

Se utilizo 2 de 4 entradas análogas de la siguiente manera.

AI0020	INT	Entrada 1 PT100
AI0021	INT	Entrada 2 PT100

Las salidas están distribuidas de la siguiente manera:

Nombre	Tipo	Descripción
Q00001	BOOL	Evap. 16A
Q00002	BOOL	Evap. 16B
Q00003	BOOL	Evap. 17A
Q00004	BOOL	Evap. 17B
Q00005	BOOL	Evap. 18A
Q00006	BOOL	Evap. 18B
Q00007	BOOL	Evap. 19A
Q00008	BOOL	Evap. 19B
Q00009	BOOL	Evap. 20A
Q00010	BOOL	Evap. 20B
Q00011	BOOL	Evap. 21A
Q00012	BOOL	Evap. 21A
Q00013	BOOL	Evap. PRE_27
Q00014	BOOL	Sol. Liq. Evap. 16
Q00015	BOOL	Suction Stop Sol. # 1 CK2D
Q00016	BOOL	Suction Stop Sol. # 2 CK2D

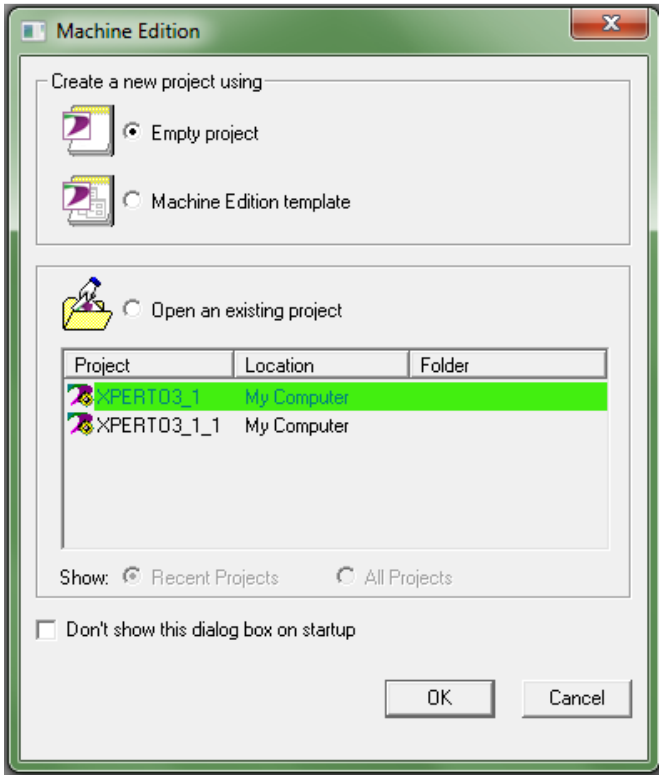
Q00017	BOOL	Hot Gas Sol #1 S4AD
Q00018	BOOL	Hot Gas Sol #2 S4AD
Q00019	BOOL	Sol. Liq. Evap. 17
Q00020	BOOL	Suction Stop Sol. # 1 CK2D
Q00021	BOOL	Suction Stop Sol. # 2 CK2D
Q00022	BOOL	Hot Gas Sol #1 S4AD
Q00023	BOOL	Hot Gas Sol #2 S4AD
Q00024	BOOL	Sol. Liq. Evap. 18
Q00025	BOOL	Suction Stop Sol. # 1 CK2D
Q00026	BOOL	Suction Stop Sol. # 2 CK2D
Q00027	BOOL	Hot Gas Sol #1 S4AD
Q00028	BOOL	Hot Gas Sol #2 S4AD
Q00029	BOOL	Sol. Liq. Evap. 19
Q00030	BOOL	Suction Stop Sol. # 1 CK2D
Q00031	BOOL	Suction Stop Sol. # 2 CK2D
Q00032	BOOL	Hot Gas Sol #1 S4AD
Q00033	BOOL	Hot Gas Sol #2 S4AD
Q00034	BOOL	Sol. Liq. Evap. 20
Q00035	BOOL	Suction Stop Sol. # 1 CK2D
Q00036	BOOL	Suction Stop Sol. # 2 CK2D
Q00037	BOOL	Hot Gas Sol #1 S4AD
Q00038	BOOL	Hot Gas Sol #2 S4AD
Q00039	BOOL	Sol. Liq. Evap. 21

Q00040	BOOL	Suction Stop Sol. # 1 CK2D
Q00041	BOOL	Suction Stop Sol. # 2 CK2D
Q00042	BOOL	Hot Gas Sol #1 S4AD
Q00043	BOOL	Hot Gas Sol #2 S4AD
Q00044	BOOL	Sol. Liq.PRE_27
Q00045	BOOL	Suction Stop Sol. # 1 CK2D
Q00046	BOOL	Suction Stop Sol. # 2 CK2D
Q00047	BOOL	Hot Gas Sol #1 S4AD
Q00048	BOOL	Hot Gas Sol #2 S4AD
Q00049	BOOL	Compresor #1
Q00050	BOOL	Compresor #2
Q00051	BOOL	Compresor #3
Q00052	BOOL	Compresor #4
Q00053	BOOL	Solenoide Líquido Recibidor
Q00054	BOOL	Bomba de Agua
Q00055	BOOL	Ventilador1
Q00056	BOOL	Ventilador2

ANEXO 10

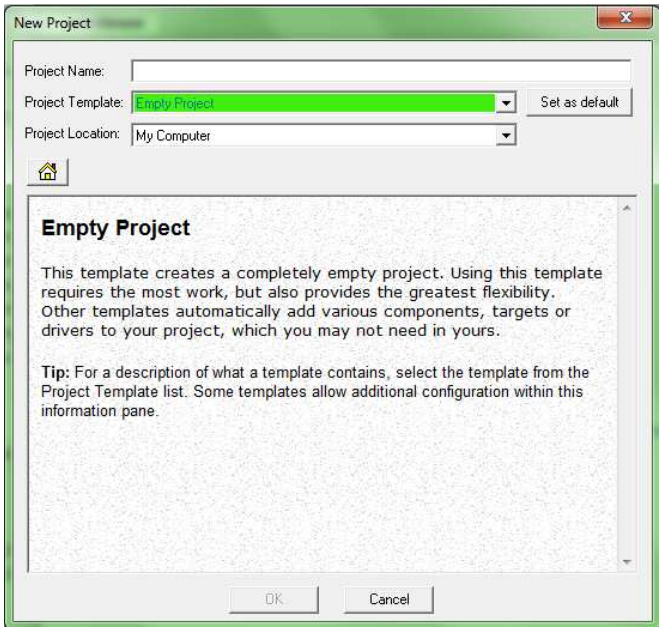
CREACIÓN DEL PROGRAMA PARA EL PLC

Al iniciar el programa desplegará para crear el proyecto

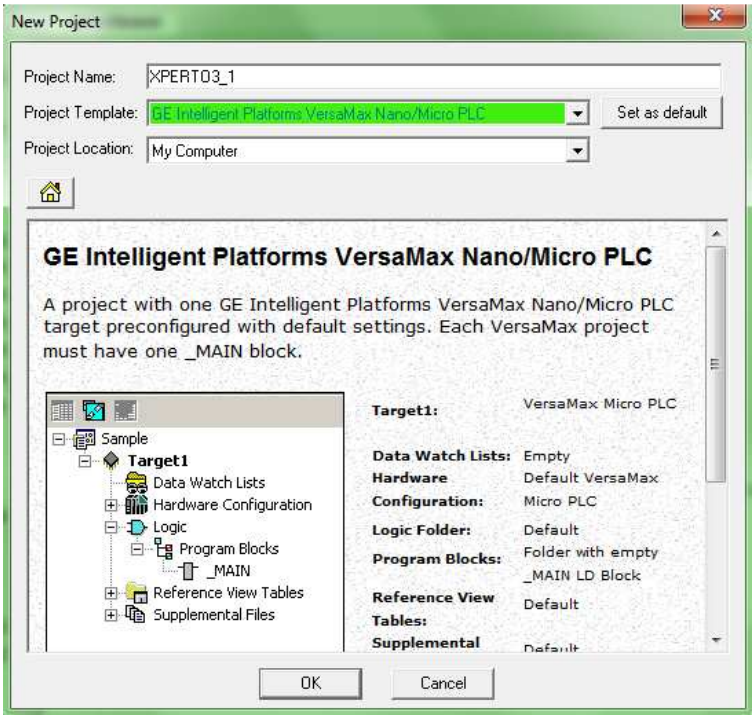


Se escoge créate a emptyproject.

Después de esto desplegará la siguiente pantalla.



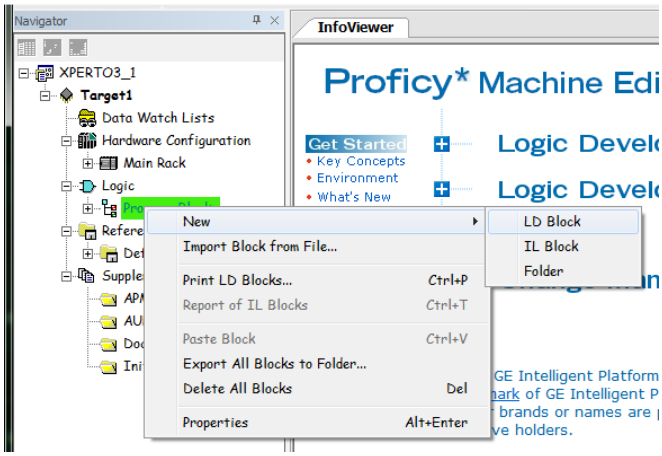
Se lo llena con un nombre y escogiendo el tipo del PLC Versa Max Nano/Micro de la siguiente manera y le damos OK:



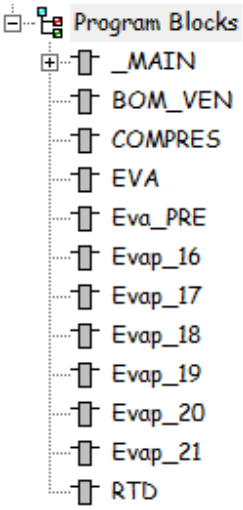
Una vez concluido desplegará la siguiente pantalla en la cual se realiza el control de la cámara de refrigeración:

Para cada proceso de la refrigeración se creara una pantalla para cada proceso y de esta el programa tendrá menos líneas, las pantallas se crean de la siguiente manera:

Se dará click derecho a *Program Blocks*, desplegará una pantalla en la cual se selecciona *New* y elegimos la opción *LD Block.*

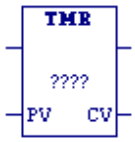


En el cual se creo las siguientes ventanas:



- En el programa se utilizo los siguientes elementos:

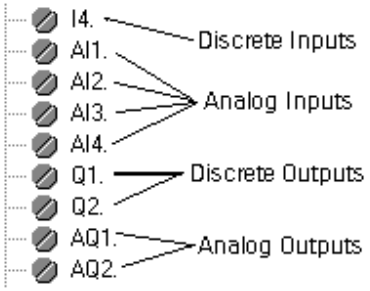
Contacto Normalmente Abierto. Pasa energía cuando la variable booleana esta encendida	BOOLV
Contacto normalmente Cerrado. Pasa energía cuando la variable booleana esta apagada	BOOLV
Bobina. Cuando recibe energía, la variable se enciende, caso contrario esta apagada.	

Temporizador. Cuando recibe energía empieza a incrementar su valor desde 0 hasta llegar al valor de tiempo fijado y permite el paso de energía, su valor vuelve a cero al no recibir energía.	
Bobina transición positiva. Cuando recibe un cambio de negativo a positivo la bobina se enciende.	
Factor de Escala. Cuando ingresa una variable análoga, este lo escala y pone el resultado a la salida.	

- Tipo de variables usadas en el programa:

Booleana (BOOL). Puede tener 2 valores: on/off.	BOOL Data Type
Entera (INT). Puede almacenar variables desde -32768 a +32767. Se usa para almacenar cantidades entradas o salidas análogas, no puede almacenar números fraccionarios.	INT Data Type
Palabra (Word). Puede almacenar cadenas de 16-bit, representado desde 0 a 65535. Se usa para almacenar cantidades positivas que no pueden ser fraccionales o negativos.	WORD Data Type

- Tipos de entradas y salidas:

	I: para entradas discretas AI: Para entradas análogas Q: Salidas discretas AQ: Salidas Análogas

En el sistema de refrigeración no se utilizan las salidas análogas.

- Uso de memoria interna:
  - %M. es una variable booleana discreta interna.
  - %R. Registros para almacenar los datos del programa.
- Lectura de temperatura del Pt100[23].

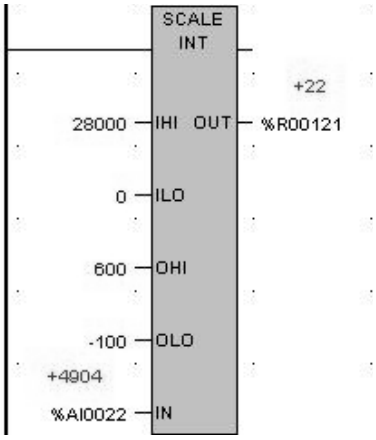
El factor de escala es usada para convertir el valor que ingresa en la entrada análoga (Pt100) en valor numérico de temperatura en grados Celsius o grados Fahrenheit.

Para grados, el rango de datos para el canal es de 0 a 28000

Si el valor indicado es 0, significa que el cable esta roto.

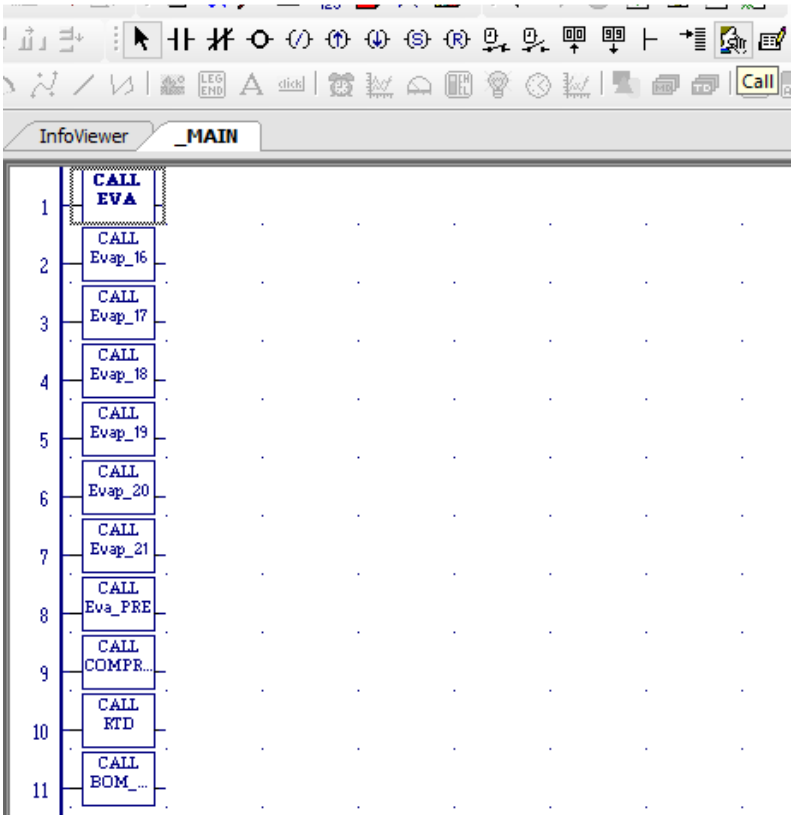
Si el valor sobrepasa 28000ªC significa que el Pt100 esta desconectado.

El segundo rango a tomar en cuenta para la conversión a grados Celsius es de -100 a 600ªC.



- *Subrutinas*: Estas son creadas en la ventana *MAIN* para que de esta en cada subrutina tener un proceso de refrigeración, si no es llamada, el PLC no lo reconocerá.

[23]Versamax Micro PLCs and Nano PLCs User's Manual- September 2007; Cap10-8, Pag202.


Call
InfoViewer
_MAIN
1 CALL EVA
2 CALL Evap_16
3 CALL Evap_17
4 CALL Evap_18
5 CALL Evap_19
6 CALL Evap_20
7 CALL Evap_21
8 CALL Eva_PRE
9 CALL COMPR...
10 CALL RTD
11 CALL BOM_...

ANEXO 11

DIAGRAMAS P&ID[24]

[24] Proporcionado por mi director de tesis Fabricio Preis, Msc

Referencia de Figuras

Capitulo 1

1.1. Proceso de Producción de atún

[i] Figura 1.1. Obtención del Atún, capturada en el puerto de Manta.
[ii] Figura 1.2. Transporte, capturada en la empresa EUROFISH S.A.
[iii] Figura 1.3. Clasificación según la Especie y Tamaño, capturada en la empresa EUROFISH S.A.
[iv] Figura 1.4. Cámara Frigorífica, capturada en la empresa EUROFISH S.A.
[v] Figura 1.5. Descongelamiento del Atún, capturada en la empresa EUROFISH S.A.
[vi] Figura 1.6. Eviscerado del Atún, capturada en la empresa EUROFISH S.A.
[vii] Figura 1.7. Cocción, capturada en la empresa EUROFISH S.A.
[viii] Figura 1.8. Enfriamiento, capturada en la empresa EUROFISH S.A.
[ix] Figura 1.9. Nebulizado, capturada en la empresa EUROFISH S.A.
[x] Figura 1.10. Limpieza del Atún, capturada en la empresa EUROFISH S.A.
[xi] Figura 1.11. Enfundado, capturada en la empresa EUROFISH S.A.
[xii] Figura 1.12. Sachet, capturada en la empresa EUROFISH S.A.
[xiii] Figura 1.13. Autoclave, capturada en la empresa EUROFISH S.A.
[xiv] Figura 1.14. Enlatado, capturada en la empresa EUROFISH S.A.
[xv] Figura 1.15. Etiquetado, capturada en la empresa EUROFISH S.A.
[xvi] Figura 1.16. Almacenado, capturada en la empresa EUROFISH S.A.
[xvii] Figura 1.17. Proceso del Atún, proceso realizado en la empresa EUROFISH S.A.

1.2. Cámara de refrigeración

[xviii] Figura 1.18. Compresor, capturada en la construcción de la cámara frigorífica en EUROFISH S.A.
[xix] Figura 1.19. Condensador, capturada en la construcción de la cámara frigorífica en EUROFISH S.A.
[xx] Figura 1.20. Recibidor, capturada en la construcción de la cámara frigorífica en EUROFISH S.A.
[xxi] Figura 1.21. Válvula de Expansión, capturada en la construcción de la cámara frigorífica en EUROFISH S.A.
[xxii] Figura 1.22. Recirculador, capturada en la construcción de la cámara frigorífica en EUROFISH S.A.
[xxiii] Figura 1.23 Evaporador, capturada en la construcción de la cámara frigorífica en EUROFISH S.A.
[xxiv] Figura 1.25 Descarchado, capturada en la construcción de la cámara frigorífica en EUROFISH S.A.
[xxv] Figura 1.26 Válvulas que Intervienen en el Descarchado, capturada en la construcción de la cámara frigorífica en EUROFISH S.A.
[xxvi] Figura 1.27 PLC, capturada en la construcción de la cámara frigorífica en EUROFISH S.A.
[xxvii] Figura 1.28 Pantalla Táctil, capturada en el manual Quick Panel Control & Quick Panel View.

Capitulo 2

2.1. Elementos de la cámara de refrigeración.

[xxviii] Figura 2.1 Compresor, copiada del manual GEA FORCE.
[xxix] Figura 2.2 Arrancador Suave BENSHAW, capturada en la construcción de la cámara frigorífica en EUROFISH S.A.
[xxx] Figura 2.3 Evaporador, copiada del manual de EVAPCO.
[xxxi]Figura 2.5 Recirculador, capturada en la construcción de la cámara frigorífica en EUROFISH S.A.
[xxxii] Figura 2.6 Recibidor, capturada en la construcción de la cámara frigorífica en EUROFISH S.A.
[xxxiii] Figura 2.7 Condensador Evaporativo, copiada del manual de EVAPCO
[xxxiv] Figura 2.8 Válvula Solenoide S7A, copiada del manual BAKER
[xxxv] Figura 2.9 Válvula Paro Succión CK2D, copiada del manual BAKER
[xxxvi] Figura 2.10 Válvula Gas Caliente S4AD, copiada del manual BAKER
[xxxvii] Figura 2.11 Pantalla Táctil, captura del manual de usuario

---

[xxxviii] Figura 2.12 Transformador, capturada en la construcción de la cara frigorífica en EUROFISH S.A
[xxxix] Figura 2.13 Supervisor de Voltaje, capturada en la construcción de la cara frigorífica en EUROFISH S.A
[xl] Figura 2.14 Breaker plus, capturada del manual de usuario
[xli] Figura 2.15 Relé para Transformador y Supervisor de Voltaje, Captura del manual de Usuario
[xlii] Figura 2.16 Relé Térmico, capturada en el manual de usuario
[xliii] Figura 2.17 Relé Secundario para Evaporadores y Válvula Solenoide S7A, capturado del manual de usuario
[xliv] Figura 2.18 RELÉ MARCA CAMSCO, capturada del manual de usuario.
[xlv] Figura 2.19 Relé Secundario Para Válvulas de Paro Succión y Gas Caliente, capturado del manual de usuario

Capítulo 3

3.3. Programa para el PLC y HMI

[xlvi] Figura 3.2 Proficy Machine Edition, capturada del manual de usuario

3.5. Programación del HMI

[xlvii] Figura 3.8 Pantalla Principal, capturada en de la pantalla táctil
[xlviii] Figura 3.9 Pantalla Cámara Nueva, capturada en de la pantalla táctil
[xlix] Figura 3.10 Pantalla Evaporadores, capturada en de la pantalla táctil
[l] Figura 3.11 Pantalla Status Defrost, capturada en de la pantalla táctil
[li] Figura 3.12 Pantalla Tiempos, capturada en de la pantalla táctil
[lii] Figura 3.13 Pantalla Tiempos de Descarchado del Evaporador 16, capturada en de la pantalla táctil
[liii] Figura 3.14 Pantalla Condensador, capturada en de la pantalla táctil
[liv] Figura 3.15 Pantalla Condensador On, capturada en de la pantalla táctil
[lv] Figura 3.16 Pantalla Recibidor, capturada en de la pantalla táctil
[lvi] Figura 3.17 Pantalla Recirculador, capturada en de la pantalla táctil
[lvii] Figura 3.18 Pantalla Compresores, capturada en de la pantalla táctil
[lviii] Figura 3.19 Pantalla Compresor 1, capturada en de la pantalla táctil
[lix] Figura 3.20 Pantalla Fallas, capturada en de la pantalla táctil