



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería de Mecánica

**PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA EL CONTROL DE EQUIPO DE  
REFRIGERACIÓN POR MEDIO DE LA INSTALACIÓN DE UN PLC SIEMENS LOGO 8 CON  
UN MÓDULO GSM; EN LA EMPRESA PANIFRESH, S.A.**

**Erick Josué Alejandro Luna Méndez**

Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, mayo de 2020



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA EL CONTROL DE EQUIPO DE  
REFRIGERACIÓN POR MEDIO DE LA INSTALACIÓN DE UN PLC SIEMENS LOGO 8 CON  
UN MÓDULO GSM; EN LA EMPRESA PANIFRESH, S.A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ERICK JOSUÉ ALEJANDRO LUNA MÉNDEZ**  
ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, MAYO DE 2020



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Roberto Guzmán Ortíz
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

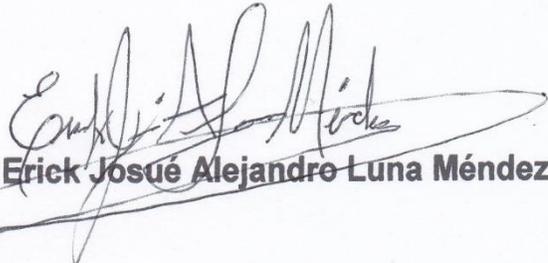


## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA EL CONTROL DE EQUIPO DE REFRIGERACIÓN POR MEDIO DE LA INSTALACIÓN DE UN PLC SIEMENS LOGO 8 CON UN MÓDULO GSM; EN LA EMPRESA PANIFRESH, S.A.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 24 de abril de 2019



**Erick Josué Alejandro Luna Méndez**





Guatemala, 27 de enero de 2020  
REF.EPS.DOC.46.01.2020.

Ing. Oscar Argueta Hernández  
Director Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingegniero Argueta Hernández.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Erick Josué Alejandro Luna Méndez** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 201503824, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA EL CONTROL DE EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN POR MEDIO DE LA INSTALACIÓN DE UN PLC SIEMENS LOGO 8 CON UN MÓDULO GSM, EN LA EMPRESA PANIFRESH, S.A.**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

  
Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda  
Asesor-Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Mecánica



c.c. Archivo  
EDSZ/ra





Guatemala, 27 de enero de 2020  
REF.EPS.D.40.01.2020

Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Morales Baiza:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA EL CONTROL DE EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN POR MEDIO DE LA INSTALACIÓN DE UN PLC SIEMENS LOGO 8 CON UN MÓDULO GSM, EN LA EMPRESA PANIFRESH, S.A.**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Erick Josué Alejandro Luna Méndez** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Edwin Estuardo Sarceño Zepeda.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"

  
Ing. Oscar Arqueta Hernández  
Director Unidad de EPS

OAH/ra







**USAC**

TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

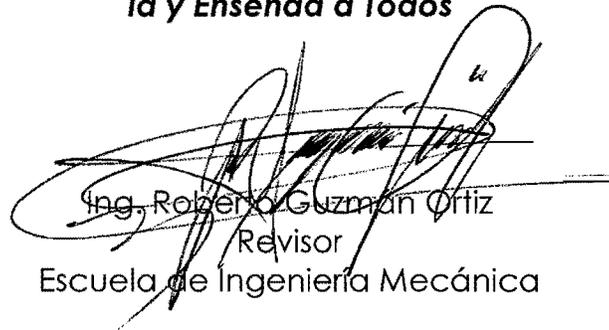
Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.052.2020

El Revisor de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA EL CONTROL DE EQUIPO DE REFRIGERACIÓN POR MEDIO DE LA INSTALACIÓN DE UN PLC SIEMENS LOGO 8 CON UN MÓDULO GSM; EN LA EMPRESA PANIFRESH, S.A.** del estudiante **Erick Josué Alejandro Luna Méndez, CUI 2995067380101, Reg. Académico No. 201503824** y habiendo realizado la revisión de Escuela, se autoriza para que continúe su trámite en la oficina de Lingüística, Unidad de Planificación.

**"Id y Enseñad a Todos"**

  
Ing. Roberto Guzmán Ortiz  
Revisor  
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, febrero 2020

/aej





**USAC**

TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

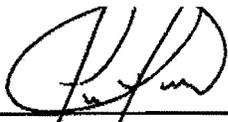
Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.EIM.126.2020

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA EL CONTROL DE EQUIPO DE REFRIGERACIÓN POR MEDIO DE LA INSTALACIÓN DE UN PLC SIEMENS LOGO 8 CON UN MÓDULO GSM; EN LA EMPRESA PANIFRESH, S.A.** del estudiante **Erick Josué Alejandro Luna Méndez**, DPI 2995067380101, Reg. Académico 201503824 y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

**"Id y Enseñad a Todos"**

  
Vo.Bo. Ing.



Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, mayo de 2020

/aej





**Decanato  
Facultad de Ingeniería  
24189101- 24189102**

DTG. 126.2020.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA EL CONTROL DE EQUIPO DE REFRIGERACIÓN POR MEDIO DE LA INSTALACIÓN DE UN PLC SIEMENS LOGO 8 CON UN MÓDULO GSM; EN LA EMPRESA PANIFRESH, S.A.**, presentado por el estudiante universitario: **Erick Josué Alejandro Luna Méndez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, **autoriza la impresión del mismo.**

IMPRÍMASE:

Inga. Anabella Cordova Estrada  
Decana

Guatemala, mayo de 2020

/asga



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Luz divina que ha iluminado el sendero de mi vida, quien permitió que culminara este trabajo, dándome sabiduría, memoria y entendimiento.
- Mis padres** Norma Méndez y Erick Luna, por su amor y apoyo incondicional.
- Mis abuelas** Por sus bendiciones y cariño durante mi vida, especialmente.
- Mi tía** Sandra Muralles, por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.



## AGRADECIMIENTOS A:

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Alma <i>máter</i> que me abrió sus puertas; gracias porque en ella forjé mis conocimientos, los cuales pondré al servicio de mi prójimo.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.
<b>Mis amigos de la Facultad</b>	Por su apoyo y compañerismo que siempre me han brindado a lo largo de todos los años, por todos los momentos buenos y malos que hemos compartido y que quedan por compartir.
<b>Panifresh, S.A.</b>	Por permitirme la oportunidad de poder aplicar los conocimientos adquiridos y a la vez brindarme nuevos conocimientos.
<b>Departamento de Mantenimiento Panifresh</b>	Por hacer que cada día de trabajo sea una experiencia diferente y de mucho aprendizaje, por cada momento divertido a lo largo de este camino y las valiosas enseñanzas y consejos que me han impartido, así como por su apoyo.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Descripción de la empresa .....	1
1.1.1. Reseña histórica .....	1
1.1.2. Misión .....	1
1.1.3. Visión.....	2
1.1.4. Valores .....	2
1.1.5. Política de calidad.....	2
1.1.6. Organización.....	2
1.2. Conceptos del equipo de refrigeración .....	3
1.2.1. ¿Qué es el sistema de refrigeración? .....	4
1.2.1.1. Compresor .....	5
1.2.1.2. Evaporador .....	10
1.2.1.3. Condensador .....	10
1.2.1.4. <i>Chiller</i> .....	11
1.2.2. Energía térmica .....	11
1.2.2.1. Convección.....	11
1.2.2.2. Conducción.....	12
1.2.3. Tipos de refrigeración .....	12

1.2.3.1.	Genetron 404 A .....	13
1.2.3.2.	Genetron 407C .....	13
1.2.3.3.	AZ 50 "R-507" .....	14
1.2.4.	Tipos de mantenimiento .....	14
1.2.4.1.	Correctivo .....	15
1.2.4.2.	Preventivo .....	15
2.	FASE DE INVESTIGACIÓN: ANÁLISIS DE RENDIMIENTO DEL EQUIPO DE REFRIGERACIÓN .....	17
2.1.	Diagnóstico y análisis de la situación actual del equipo .....	17
2.1.1.	Condición actual del equipo .....	17
2.1.2.	Fallas recurrentes del equipo .....	20
2.1.3.	Puntos críticos del equipo .....	21
2.1.4.	Impacto económico debido a paros inesperados ....	23
2.2.	Análisis de los parámetros de medición en el equipo.....	24
2.2.1.	Presión .....	24
2.2.1.1.	Presión de succión .....	24
2.2.1.2.	Presión de descarga .....	25
2.2.1.3.	Presión de aceite.....	25
2.2.2.	Corriente.....	26
2.2.2.1.	Amperaje .....	27
2.2.2.2.	Voltaje .....	28
2.2.2.3.	Frecuencia.....	28
2.2.3.	Temperatura.....	29
2.2.3.1.	Temperatura de aceite .....	29
2.2.3.2.	Temperatura de sistema <i>mixer</i> hércules .....	29

	2.2.3.3.	Temperatura de sistema <i>blast freezer</i> .....	30
2.3.		Análisis de rendimiento.....	31
	2.3.1.	Eficiencia del equipo.....	31
	2.3.2.	Factores de influencia en el equipo .....	35
	2.3.3.	Certeza de funcionamiento del equipo de refrigeración.....	36
	2.3.4.	Rendimiento del fabricante .....	37
	2.3.5.	Costos por mantenimiento.....	38
3.		FASE TÉCNICO PROFESIONAL: PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO .....	39
	3.1.	Necesidad de la elaboración de plan de mantenimiento .....	39
	3.2.	Qué es un plan de mantenimiento.....	40
	3.3.	Plan de mantenimiento RCM.....	41
	3.3.1.	RCM para equipo de refrigeración.....	45
	3.4.	Plan de mantenimiento predictivo.....	46
	3.4.1.	Qué es mantenimiento predictivo .....	47
	3.4.2.	Importancia del mantenimiento en el equipo .....	48
	3.4.3.	Inspección predictiva .....	48
	3.4.3.1.	Inspección <i>in situ</i> .....	51
		3.4.3.1.1. Análisis predictivo.....	49
	3.4.3.2.	Monitoreo remoto.....	50
	3.4.4.	Registro y control de datos periódicos del equipo de refrigeración.....	51
		3.4.4.1. Orden de trabajo OT .....	52
	3.4.5.	Análisis de vibración .....	54
	3.4.6.	Análisis de termografía .....	55
	3.4.7.	Momento y forma de solución del equipo .....	56

	3.4.7.1.	Historial de repuestos.....	56
	3.4.7.2.	Listado de repuestos .....	57
	3.4.8.	Programa de mantenimiento .....	60
	3.4.8.1.	Actividades de mantenimiento.....	60
4.		INSTALACIÓN DE PLC PARA MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	67
4.1.		Concepto básico de PLC.....	67
4.2.		Instrumentación.....	69
	4.2.1.	Transductores .....	69
	4.2.2.	Termocuplas.....	71
	4.2.2.1.	Termocuplas tipo J.....	72
	4.2.2.2.	Termocuplas PT 100 .....	74
4.3.		Logo de Siemens .....	76
4.4.		Qué es un GSM .....	77
4.5.		Sistema de visualización .....	79
	4.5.1.	Tablero eléctrico.....	79
	4.5.2.	Pantalla delta.....	81
	4.5.3.	Teléfono móvil.....	82
5.		FASE DOCENTE: CAPACITACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO.....	85
5.1.		Efectos directos e indirectos del mantenimiento .....	85
5.2.		Indicadores.....	86
	5.2.1.	Tiempo de operación.....	87
	5.2.2.	Cantidad de desperdicio controlado .....	88
5.3.		Evaluación de eficiencia del equipo .....	91
5.4.		Presentación del programa de mantenimiento predictivo.....	92
5.5.		Plan de capacitación .....	98

CONCLUSIONES ..... 101  
RECOMENDACIONES ..... 103  
BIBLIOGRAFÍA ..... 105  
ANEXOS ..... 109



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Organigrama del departamento de mantenimiento de Panifresh, S.A.....	3
2.	Proceso de refrigeración .....	4
3.	Compresor de tornillo .....	7
4.	Tornillo de compresor.....	7
5.	Cojinetes de compresor .....	9
6.	Plano de equipo de refrigeración .....	18
7.	Diagrama de Mollier .....	31
8.	Diagrama de Mollier del equipo.....	32
9.	Hoja de mantenimiento RCM .....	45
10.	Hoja de decisión RCM.....	46
11.	Hoja de control de respuesta .....	57
12.	Programa de mantenimiento semanal.....	62
13.	Programa de mantenimiento trimestral .....	64
14.	Programa de mantenimiento anual .....	65
15.	PLC delta y logo v8 .....	68
16.	Transductor de succión .....	70
17.	Transductor de descarga .....	70
18.	Transductor de aceite.....	71
19.	Termocupla tipo J de descarga .....	73
20.	Termocupla tipo J de aceite .....	73
21.	Termocupla PT 100 <i>blast freezer</i> .....	75
22.	Termocupla PT 100 <i>mixer</i> Hércules .....	75

23.	Logo V8 .....	76
24.	GSM, CMR 2020.....	78
25.	Tablero eléctrico .....	80
26.	Pantalla delta .....	82
27.	Mensajería deteléfono .....	83
28.	Gráfica de pérdida de tiempo de operación .....	87
29.	Pantalla de variadores .....	94
30.	Parámetros de variador .....	95
31.	Alarmas activas / historial .....	95
32.	Ventana de temperatura .....	96
33.	Ventana de transductores.....	97
34.	<i>On/Off</i> de alarma .....	98
35.	Plan de capacitación, plan de mantenimiento.....	99

## TABLAS

I.	Ejemplo de análisis de criticidad .....	44
II.	Desperdicio de refrigeración .....	89
III.	Comparación de desperdicio de refrigeración. ....	90
IV.	Consumo de lubricante y refrigerante.....	91

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>BTU</b>	British Thermal Unit
<b>°C</b>	Centígrados
<b>°F</b>	Fahrenheit
<b>Lb</b>	Libras
<b>L2</b>	Línea 2 o línea de multi-productos
<b>Psi</b>	Libras por pulgada cuadrada



## GLOSARIO

<b><i>Blast freezer</i></b>	Es una cámara frigorífica o cuarto frío de almacenamiento de productos de pastelería en un ambiente por debajo de la temperatura exterior.
<b>Capacitación</b>	Conjunto de medios para instruir a la persona proporcionándole toda información teórica y práctica que le permita desempeñar de mejor manera su trabajo.
<b>GSM</b>	Global System for Mobile Communications, sistema global para las comunicaciones móviles.
<b>Indicadores</b>	Es una medida cuantitativa que puede usarse como guía para controlar y valorar la calidad de las diferentes actividades.
<b>Mantenimiento</b>	Son procedimientos de servicio, conservación y reparación que se llevan a cabo en las máquinas, para que puedan estar en óptimas condiciones en su funcionamiento.
<b><i>Mixer Hércules</i></b>	Es una máquina o equipamiento industrial diseñado para preparar masas alimentarias de panadería, que substituye el trabajo manual de amasar una mezcla de harina.

<b><i>Outsourcing</i></b>	Es un término del inglés que traducido al español significa tercerización. Es la subcontratación de servicios que consiste en la búsqueda de una fuente externa a la empresa que presta servicios.
<b>Plan</b>	Modelo sistemático que se elabora antes de realizar una acción, que define a grandes rasgos las ideas que van a orientar y condicionar una planificación que debe ser realizada para completar un proyecto.
<b>PLC</b>	Programmable Logic Controller, controlador lógico programable.
<b>Proceso</b>	Conjunto de etapas sucesivas de actividades mutuamente relacionadas para poner en práctica todas las operaciones que se necesitan y así modificar las particularidades de un mantenimiento.
<b>Programa</b>	Es una aplicación que concreta los objetivos y temas que se exponen en el plan y que, además, tiene como objetivo poder realizar una tarea concreta de una manera sencilla.
<b>SAP</b>	System Administration Production.

## RESUMEN

Panifresh, S.A. es una empresa guatemalteca dedicada a la elaboración de una amplia gama de productos para panadería, cuya base es la harina, entre ellos pan de hamburguesa, pasteles, bolas frías para pizza, tortilla, *muffin*, pan tradicional, entre otros. Estos productos se realizan conforme a los requisitos solicitados por los clientes, tanto nacionales como internacionales

Con el propósito de ser un aliado en calidad y servicio a sus clientes, se tiene una producción continua las 24 horas, parando solamente un día a la semana para efectuar mantenimiento y limpieza de las líneas de producción, con el fin de cumplir con los altos estándares de higiene que se requieren como empresa industrial de alimentos y para mantener una óptima condición y un buen rendimiento en los equipos.

Dentro de los departamentos que conforman la empresa Panifresh,S.A., se encuentra el departamento de mantenimiento, el cual es el encargado de conservar en las mejores condiciones de operación el equipo o maquinaria utilizada para la elaboración de pan por medio de planeación, programación e implementación de rutinas de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo.

El inconveniente que se ha presentado en el departamento de mantenimiento es el alto índice de porcentaje de desperdicio de producto obtenido el año pasado, debido a fallas y paros inesperados en ciertos equipos o maquinarias. Por lo tanto, el departamento ha detectado, a partir de los resultados obtenidos, que uno de los equipos con mayor desperdicio de

producto generado es el equipo de refrigeración que abastece a la *mixer* Hércules y *blast freezer* de la L2 y pastelería, respectivamente.

La implementación de un plan de mantenimiento para el control de los equipos de refrigeración surge de la necesidad de anticipar las posibles fallas mecánicas y paros inesperados que se originan en el equipo de refrigeración.

Esto proporcionará el aumento en la eficiencia y rendimiento del equipo, una reducción en gastos por mantenimiento correctivo, así como un aumento de respuesta por parte de los técnicos mecánicos para reparar un problema desde su origen.

El desarrollo de este proyecto abarca todos los aspectos relacionados al mantenimiento. Por tal motivo se llevó a cabo la elaboración de un plan de mantenimiento predictivo para el monitoreo, seguimiento y control del equipo de refrigeración y progresos en el mantenimiento del mismo.

Con el proyecto se pretende planear e instalar un sistema de monitoreo y control para la elaboración de un plan de mantenimiento predictivo que permita anticiparse a las posibles fallas y paros inesperados, con el fin de reducir la cantidad de desperdicio de producto por equipo y, al mismo tiempo, disminuir el tiempo de respuesta en reparación del equipo de refrigeración.

# OBJETIVOS

## General

Elaborar un plan de mantenimiento predictivo que permita la reducción de pérdida por desperdicio de producto y el control de los paros y fallas frecuentes en el equipo de refrigeración.

## Específicos

1. Realizar un análisis de técnicas, instrumentación de medición y análisis de variables generales del equipo refrigeración.
2. Examinar las diferentes maquinarias que componen el equipo de refrigeración.
3. Identificar áreas críticas donde se generan la mayoría de fallas y paros mecánicos en el equipo.
4. Optimizar la eficiencia y disponibilidad del equipo de refrigeración.
5. Elaborar la documentación necesaria para llevar el control, monitoreo y seguimiento del rendimiento del equipo de refrigeración.
6. Diseñar un plan de capacitación para los técnicos mecánicos.



## INTRODUCCIÓN

La necesidad de mantener en óptimas condiciones el equipo y máquinas industriales utilizados para la industria alimenticia es de suma importancia. En la empresa donde se realizó el proyecto se elaboran productos alimenticios, por lo tanto deben mantenerse en excelentes condiciones las máquinas y equipos industriales para no afectar la calidad del producto.

El departamento de mantenimiento es el encargado de conservar las máquinas y equipos industriales de la empresa en óptimas condiciones y de realizar el mantenimiento de los mismos para que no tengan ninguna falla durante la producción, por lo que debe tenerse un manejo correcto de los planes de mantenimiento.

En el presente documento se muestra el proyecto de graduación titulado *Plan de mantenimiento predictivo para el control de equipo de refrigeración, por medio de la instalación de un PLC Siemens Logo 8 con un módulo GSM, en la empresa Panifresh, S.A.*, en el cual se presenta la problemática en el departamento de mantenimiento en el área de refrigeración a través de análisis, diagnóstico e implementación para su mejora.

En la fase de investigación se llevó a cabo el análisis y diagnóstico de los paros y fallas recurrentes en el equipo de refrigeración, lo cual ayudó a conocer el estado actual en el que se encuentra. Del mismo modo se identificaron y examinaron los distintos componentes del equipo como puntos críticos y parámetros de medición.

En la fase técnico-profesional se desarrolló el plan de mantenimiento predictivo, el cual se basa en la importancia del mantenimiento, inspecciones predictivas, registro y control de datos del funcionamiento del equipo, órdenes de trabajo y de técnica predictivas, que son implementadas en el equipo de refrigeración.

Con la implementación e instalación de un PLC con módulo GSM se estableció un sistema de programación de monitoreo y seguimiento de los parámetros de medición del equipo de refrigeración, que son utilizados para el desarrollo del plan de mantenimiento predictivo para mejorar el rendimiento y eficiencia del mismo. Para apoyar la realización del proyecto se desarrolló también un plan de mantenimiento RCM, que sirve para saber la confiabilidad en la que se encuentra el equipo de refrigeración.

En la fase de docencia se estableció un plan de capacitación de cómo utilizar el plan de mantenimiento predictivo, también cómo funciona el sistema de programación de monitoreo y control del plan de mantenimiento, para así observar los resultados obtenidos de la instalación del plan mismo.

# 1. GENERALIDADES

## 1.1. Descripción de la empresa

A continuación se describe la empresa.

### 1.1.1. Reseña histórica

Panifresh, S.A. inició sus operaciones en 1960 como una pequeña panadería familiar. Para 1996 la panadería creció debido a una alianza con Fresh Start Bakeries, de California, Estados Unidos, para convertirse en lo que es ahora, un principal proveedor de pan de hamburguesa de los restaurantes de la cadena McDonald's, distribuyendo sus productos a toda Centroamérica, El Caribe y México.

En la actualidad Panifresh, S.A. cuenta con una gran diversidad de productos como panes de *hot dog*, tortillas, *muffins*, *baguettes* y un sinfín de productos, para convertirse en un proveedor importante de restaurantes como Quiznos, Taco Bell, Isopan, KFC, entre otros.

### 1.1.2. Misión

“Estamos comprometidos a dar y ofrecer el 100 % de calidad y excelencia a todos nuestros clientes, internos y externos a través del mejoramiento

continuo y la vivencia personal de nuestros valores contribuyendo así al desarrollo integral del país.”<sup>1</sup>

### **1.1.3. Visión**

“Generar experiencias que trasciendan.”<sup>2</sup>

### **1.1.4. Valores**

- “Respetuosos
- Honestos
- Optimistas
- Responsables”<sup>3</sup>

### **1.1.5. Política de calidad**

“Cumplir con las especificaciones de nuestros clientes, innovar y mejorar continuamente nuestros procesos, respetar la ley y el medio ambiente.”<sup>4</sup>

### **1.1.6. Organización**

El departamento de mantenimiento se encuentra estructurado de la siguiente manera:

---

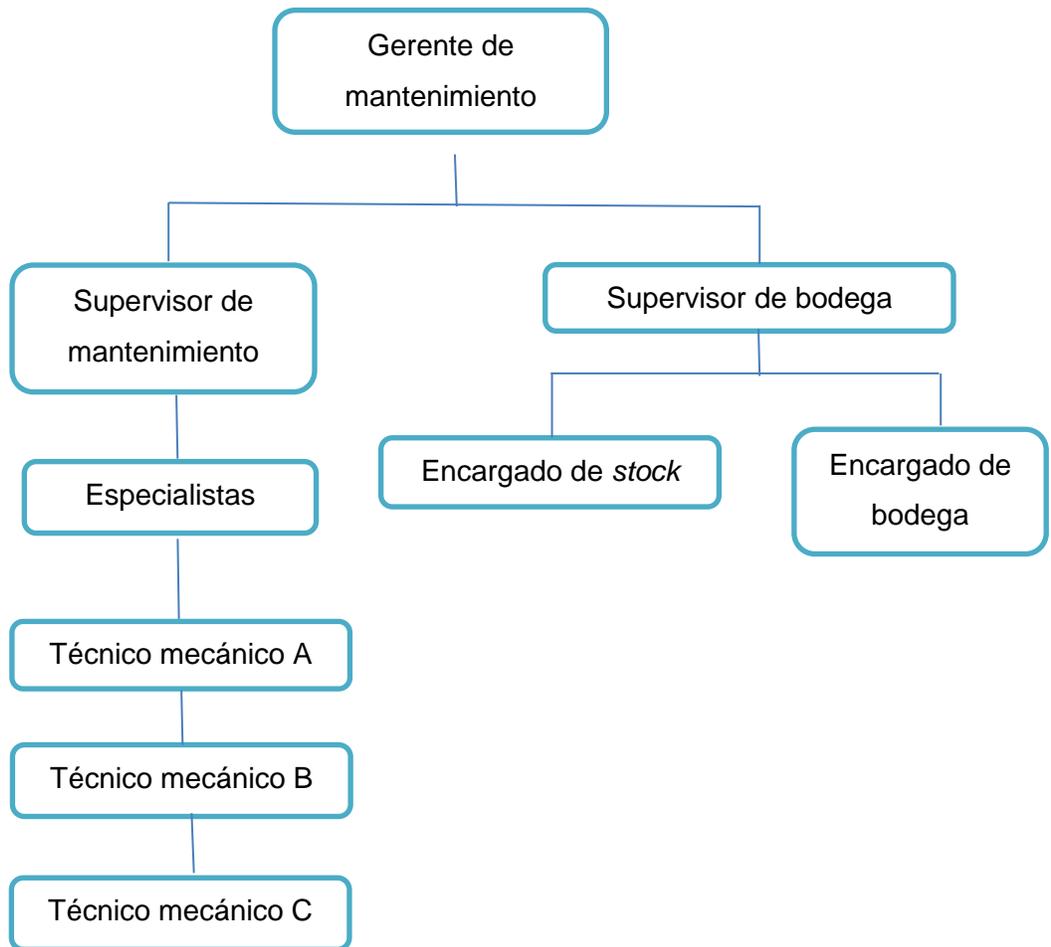
<sup>1</sup> Pani-Fresh, S.A. *Misión*. <http://panifresh.com.gt/>.

<sup>2</sup> Pani-Fresh, S.A. *Visión*. <http://panifresh.com.gt/>.

<sup>3</sup> Pani-Fresh, S.A. *Valores*. <http://panifresh.com.gt/>.

<sup>4</sup> Pani-Fresh, S.A. *Política de calidad*. <http://panifresh.com.gt/>.

Figura 1. **Organigrama del departamento de mantenimiento de Panifresh, S. A.**



Fuente: Panifresh, S.A. *Organigrama*. <http://panifresh.com.gt/>. Consulta: junio de 2019.

## 1.2. **Conceptos del equipo de refrigeración**

A continuación se presenta información relacionada al tema a tratar, para crear un conocimiento del cual se partirá.

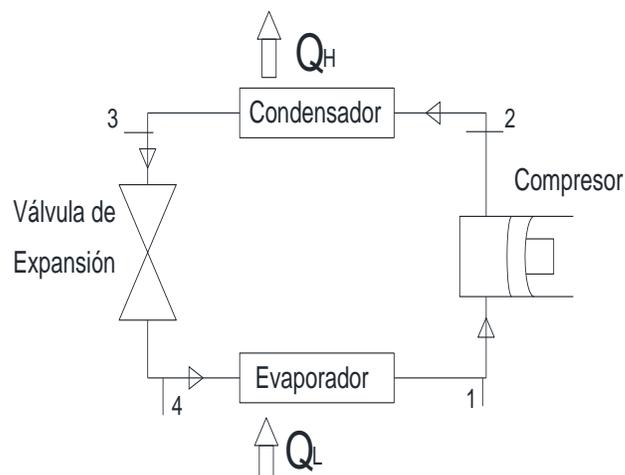
### 1.2.1. ¿Qué es el sistema de refrigeración?

Es aquel equipo basado en la termodinámica que se utiliza para la disminución de temperatura de un fluido, apoyado en el intercambio calorífico con un refrigerante para realizar el trabajo de reducción de su temperatura.

Además de ello sirve para la eliminación de exceso de calor en cualquier medio a través del intercambio térmico, mejor conocido como choque térmico con agua, con el fin de poder realizar la reducción de la temperatura de dicho medio a niveles próximos a la temperatura ambiente.

Dentro de un equipo de refrigeración se tienen como componentes principales compresor, evaporador, válvula de expansión y condensador, como se muestra en la figura 2:

Figura 2. **Proceso de refrigeración**



Fuente: elaboración propia.

También se debe saber que se tienen dos sistemas de refrigeración para realizar un buen intercambio de calor: uno abierto y otro cerrado.

- El sistema abierto consiste en el intercambio calorífico de un refrigerante o fluido que se desea enfriar cuando está en contacto directo con el medio.
- El sistema cerrado consiste en el desplazamiento a través de una serie de tubos, por lo cual no se encuentra en contacto con el medio.

#### **1.2.1.1. Compresor**

Un compresor es el mecanismo o maquinaria fundamental dentro del equipo de refrigeración, por lo tanto, se puede decir que es el corazón que se encarga de la modificación de la temperatura del ambiente. Su funcionamiento se basa en el uso de energía a base de motores eléctricos, los cuales hacen circular el refrigerante por una serie de tuberías internas, produciendo la compresión del mismo y la posterior refrigeración.

La función del compresor en sí consiste en comprimir el refrigerante que se encuentra en su estado gaseoso (vapor), para hacerlo circular a través de las tuberías del sistema de refrigeración hacia el condensador. Para que el compresor pueda comprimir se necesita que el vapor o gas provenga del evaporador a una baja presión, para que luego se pueda elevar la misma.

De igual forma se debe saber que existen diferentes tipos de compresores que cumplen con distintas características, pero con el mismo funcionamiento principal, esto dependiendo de las necesidades del sistema de refrigeración o de lo que se pretende refrigerar.

A continuación se presentan algunos de los diferentes tipos de compresores de refrigeración:

- Compresor recíprocante: también llamado compresor alternativo o de pistón, es un compresor de gases que funciona con el movimiento de émbolos dentro de uno o varios cilindros, moviéndose por medio de un cigüeñal y biela para la obtención de gases de alta presión. La parte importante del funcionamiento del compresor es que la capacidad se ve afectada por la presión de trabajo.
- Compresor *scroll*: es un tipo de compresor que tiene dos espirales que se encargan de la compresión del gas, en donde una de las espirales se encuentra fija y se incorpora a la puerta de descarga, mientras la otra es la motricidad del compresor. Su funcionamiento se debe al movimiento relativo que se da entre ambas espirales obligando al refrigerante a desplazarse a la puerta de descarga. No obstante, este compresor presenta debilidades puntuales, una de ellas es la presión de escape bajo, por lo que entre más altas sean las relaciones de compresión, su eficiencia puede verse reducida.
- Compresor de doble tornillo: es un compresor que está conformado por dos tornillos que se encuentran en contacto uno con el otro y que giran en sentido contrario, en este tipo de compresor es necesario suministrar aceite para mantener todo el sistema lubricado y así evitar daños en los tornillos.

Figura 3. **Compresor de tornillo**



Fuente: Panifresh, S.A. *Compresor de tornillo*. <http://panifresh.com.gt/>. Consulta: junio de 2019.

Figura 4. **Tornillo de compresor**



Fuente: Panifresh, S.A. *Tornillo de compresor*. <http://panifresh.com.gt/>. Consulta: junio de 2019.

Los tornillos del compresor se reconocen con el nombre de macho y hembra. Para su funcionamiento el tornillo macho se encarga de desplazar al tornillo hembra, el refrigerante que proviene del evaporador es concentrado en los espacios entre los dientes del tornillo hembra, dando vueltas y comprimiéndose de manera continua conforme se mueve hacia su descarga.

Dentro del equipo de refrigeración existen tres compresores de tornillo Bitzel, en este tipo de compresor se tienen relevantemente pocas piezas móviles para su funcionamiento, entre ellas dos rotores, cojinetes y una válvula de corredera. El compresor funciona de una manera simple siendo esto uno de los puntos buenos que tiene.

- Los rotores: son la pieza clave del compresor de tornillo. Un rotor tiene lóbulos helicoidales denominados machos. Mientras el otro rotor tiene ranuras de acoplamiento helicoidales denominadas hembras.

El funcionamiento del rotor macho absorbe aproximadamente el 85 % de la torsión y el funcionamiento de la hembra es de aproximadamente del 15 %; por lo tanto, el compresor macho impulsa directamente a la hembra debido a que un engranaje impulsa al otro. Por tal motivo, solo el 15 % de la energía de entrada se transmite a través del engranaje del rotor.

El tipo de perfil que puede tener el diseño de rotor más común es el perfil asimétrico 4 + 6, ya que este perfil proporciona buena eficiencia y maquinabilidad. Su diseño asimétrico reduce las rutas de fuga a través del engranaje en el rotor y proporciona un pequeño agujero de soplado.

- Los cojinetes: debido a las cargas generadas por las presiones de gas deben de usarse cojinetes tanto radiales como de empuje para los compresores de tornillo; cuando el compresor se compone de doble rotor, las cargas de los cojinetes son bastante altas y, como resultado, las fallas en los cojinetes causan las principales fallas en el compresor de tornillo.

Figura 5. **Cojinetes de compresor**



Fuente: Panifresh, S.A. *Cojinetes de compresor*. <http://panifresh.com.gt/>. Consulta: junio de 2019.

Para los compresores de tornillo se pueden utilizar también cojinetes de bolas dobles de contacto angular. Los cojinetes de empuje son la conexión débil del compresor y la causa más frecuente de falla en el mismo, por recurrencia de desgaste en los cojinetes.

Otro factor a considerar en los compresores es la velocidad de funcionamiento en los compresores de tornillo, donde se debe aceptar el rango de velocidad periférica; para compresores inundados de aceite es de 30 a 60 m/seg. Si su funcionamiento es menor de 30 m/seg el compresor es antieconómico, porque el compresor es más grande en comparación a su capacidad y si está por encima de 60 m/seg, la eficiencia y la confiabilidad descienden. En los compresores de tornillo su funcionamiento se da a velocidades aproximadamente tres veces superiores a las de un compresor recíprocante y con altas cargas en los cojinetes que afectan su vida útil.

### **1.2.1.2. Evaporador**

El evaporador es el encargado de realizar el intercambio de calor entre los fluidos refrigerante, en él tiene lugar el paso de la energía térmica desde un medio hacia otro, mientras uno de ellos se enfría el otro se calienta hasta evaporarse. El evaporador es un equipo que normalmente se encuentra dentro del interior de una cámara frigorífica.

El funcionamiento de un evaporador se basa en expandir el refrigerante generando una baja de presión, cuando el refrigerante entra en el evaporador causa cambios en el fluido que provoca un aumento en el descenso de temperatura. Una vez dentro del evaporador, el refrigerante se convierte en un medio que absorbe el calor provocando como efecto la evaporación del mismo.

También un evaporador debe de contar con un sistema de deshielo, que consiste en dejar entrar agua en el sistema de tuberías del evaporador por un tiempo determinado, el cual se encarga de evitar la formación de escarcha que pueda causar posibles daños, averías y fallas en el equipo.

### **1.2.1.3. Condensador**

El condensador es un equipo conformado por un conjunto de tuberías onduladas o por serpentines, que permiten el paso de refrigerante en estado gaseoso, a una presión de descarga del compresor, para luego ser transformado en líquido; esto quiere decir pasar el refrigerante que está en estado gaseoso a estado líquido y así reducir su volumen. Básicamente el condensador disipa el calor ganado en el evaporador, más la energía introducida en el ciclo durante la compresión, en pocas palabras, el proceso de condensado se da a presión y temperatura elevadas.

El funcionamiento del condensador radica en el enfriamiento para perder el calor que trae el refrigerante por medio de la dispersión en el aire; en el condensador el refrigerante pierde no solo el calor que genera la compresión, sino también el calor absorbido en el evaporador.

#### **1.2.1.4. Chiller**

Es un equipo que consiste en la transferencia de calor de un proceso hacia el ambiente o de procesos industriales de alimentos, por lo general se necesita de agua o aire como medio de transferencia. El funcionamiento de un *chiller* se apoya en el intercambio de calor entre el refrigerante y el agua o aire, que es bombeado hacia el medio y ambiente al cual se quiere climatizar.

### **1.2.2. Energía térmica**

También conocida como la energía liberada en forma de calor. La energía térmica es un proceso muy común que se evalúa dentro del concepto de refrigeración. Es por ello que existen diferentes formas de poder liberar e intercambiar la energía térmica, en la refrigeración se tienen dos tipos de transferencia de la energía térmica: convección y conducción.

#### **1.2.2.1. Convección**

Es un proceso natural que se genera por medio de la transferencia de calor entre dos sustancias líquidas o dos sustancias gaseosas que se encuentran a diferentes temperaturas.

Para la refrigeración se puede encontrar el proceso de convección en la transferencia de calor, a partir del paso de calor entre dos fluidos, por ejemplo, el que se da en el proceso de un *chiller*.

De igual manera, en la refrigeración se tiene dos procesos para la transferencia de calor al sistema de refrigeración: el natural y el forzado. El proceso natural se produce a partir de la transferencia de calor debido a cambios en la densidad del fluido, y el proceso forzado se produce cuando se añade alguna fuerza externa para mover el fluido.

### **1.2.2.2. Conducción**

La conducción es la transferencia de calor entre dos cuerpos, basada en el contacto directo de sus partículas sin flujo neto de materia, que tiende a igualar la temperatura dentro de un cuerpo y entre diferentes cuerpos en contacto por medio de ondas.

En el proceso hay una transferencia de energía desde el cuerpo de mayor calor hacia el cuerpo de menor calor, provocando que el cuerpo con mayor temperatura ceda calor al cuerpo de menor temperatura, ocasionando que ambos posean la misma.

### **1.2.3. Tipos de refrigerante**

Los refrigerantes son una combinación química de gases que sirven para la reducción de la temperatura de un ambiente por debajo de la temperatura de su entorno, que pasa por diversos estados o condiciones, cada uno de estos cambios se denomina proceso. Entre los tipos de refrigerante que son utilizados

en los equipos de refrigeración de la empresa es posible encontrar los siguientes:

#### **1.2.3.1. Genetron 404 A**

Es una mezcla de gases refrigerantes HFC casi azeotrópica, con cero daños a la capa de ozono, que se utiliza en instalaciones para medias y bajas temperaturas. Es un tipo de refrigerante que es bueno como sustituto indirecto en equipos que ya habían trabajado con el refrigerante R-22 y sus sustitutos HCFC.

Tiene una capacidad frigorífica teórica de 5 % inferior respecto al R-502 a temperaturas de evaporación de -40 °C, con un coeficiente de rendimiento COP que se encuentra entre un 5 % y un 8 % inferior al R-502. Este refrigerante tiene la peculiaridad de ser únicamente compatible con aceites sintéticos POE, incluso su temperatura de descarga es inferior y, además, puede rellenar los equipos en caso de fuga.

#### **1.2.3.2. Genetron 407 C**

Es una mezcla ternaria de HFC-32, HFC-125 y HFC-134<sup>a</sup>, es el mejor sustituto para sistemas que operan con refrigerante R-22 en diversas aplicaciones. Además, es una mezcla con deslizamiento de temperatura, no es recomendable utilizarlo en enfriadores con evaporador inundado.

Este tipo de refrigerante se utiliza para enfriadores de desplazamiento positivo sin intercambiadores de calor inundados. Dentro de los puntos donde trabaja mejor el refrigerante, está el punto de ebullición que es de -45,5 °F. El refrigerante 407 C funciona de mejor manera para temperaturas positivas y

medias de evaporación; sus presiones de trabajo, capacidad y eficiencia en el sistema de refrigeración también precisan el vaciado del aceite. Este refrigerante trabaja de mejor manera para aplicaciones de temperaturas altas, medias y en instalaciones nuevas.

### **1.2.3.3. AZ 50 “R-507”**

El refrigerante R-507 o mejor conocido como AZ 50 es una mezcla azeotrópica, de la serie 500, que tiene nulo deslizamiento de temperatura. Esto se debe a los puntos de ebullición de cada refrigerante, en el cual el deslizamiento es menor de 2 °C, donde su composición es similar al Genetron 404 A. Por lo tanto, el refrigerante es un sustituto del refrigerante R-502, el cual tiene como beneficio su capacidad para no dañar la capa de ozono y mantener un medioambiental seguro.

El AZ 50 tiene una eficiencia energética más alta que otros refrigerantes alternativos, por lo cual es una excelente elección de refrigerante para aplicaciones de baja y mediana temperaturas, por eso puede ser un candidato para adecuar en equipos nuevos que utilizan R 404<sup>a</sup>, porque tienen cierta igualdad en su composición y porque trabajan con el mismo lubricante (POE).

### **1.2.4. Tipos de mantenimiento**

Mantenimiento es el conjunto de técnicas de trabajo destinadas a la conservación y servicio de equipos e instalaciones industriales, durante el mayor tiempo posible, que busca la más alta disponibilidad del equipo y con el máximo rendimiento, para garantizar el óptimo funcionamiento y buen estado de conservación de los mismos.

#### **1.2.4.1. Correctivo**

El mantenimiento correctivo es un conjunto de tareas que buscan arreglar o corregir las fallas y defectos de gravedad que se presentan en las máquinas que impiden el funcionamiento del equipo o máquina de manera normal. Este tipo de mantenimiento surge conforme se presente alguna falla de gravedad.

Para este tipo de mantenimiento no se requiere ninguna planificación, ya que solo requiere ir atendiendo las fallas o averías cuando son necesarias de ser reparadas dentro del proceso de producción. Por ello con este tipo de mantenimiento se obtiene como resultado parálisis de producción, generación de pérdidas de producto, tiempo de operación o producción y, entre todo ello, altos gastos de inversión.

#### **1.2.4.2. Preventivo**

El mantenimiento preventivo es un conjunto de tareas que tienen como objetivo realizar el trabajo de reparación ante posibles averías o fallas que pudieran ocurrir en las máquinas. Como propósito el mantenimiento preventivo pretende conseguir en las máquinas, los mismos servicios para compensar el desgaste que van sufriendo con el paso del tiempo, pero siempre antes de que surja una falla mayor para evitar llegar a la realización de un mantenimiento correctivo.

En el ámbito de las labores industriales se tiene como propósito llevar a cabo una recolección de datos que conlleve la obtención de estudios estadísticos del equipo, como el desarrollo de un listado de fallas que se elabore conforme estas surjan en el equipo, para con ello poder analizar los

datos obtenidos del equipo con los datos basados en los manuales del fabricante.

## **2. FASE DE INVESTIGACIÓN: ANÁLISIS DE RENDIMIENTO DEL EQUIPO DE REFRIGERACIÓN**

### **2.1. Diagnóstico y análisis de la situación actual del equipo**

El equipo de refrigeración es el encargado de llevar a cabo el proceso de intercambio de calor que se genera en un *chiller* y en un evaporador, para facilitar la liberación de calor que es utilizado en la empresa en el enfriamiento del producto terminado de pastelería y el enfriamiento de agua para la producción de la L2.

La evaluación en el control del estado del equipo y de los factores del entorno interno y externo probablemente tiene un impacto en el funcionamiento del equipo de refrigeración. Para desarrollar el objetivo debe ejecutarse un mantenimiento orientado a las necesidades del equipo y así minimizar los periodos de reparación y paros en el mismo.

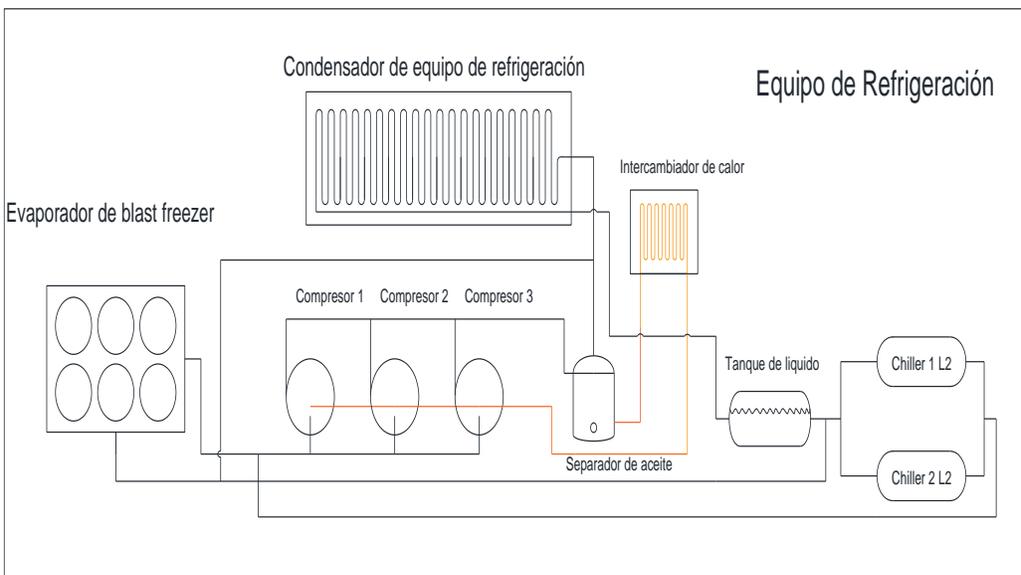
#### **2.1.1. Condición actual del equipo**

En el estado actual en el que se encuentra el equipo de refrigeración se puede contemplar el trabajo del mismo, que consiste en el enfriamiento de agua a una temperatura muy baja, que luego es utilizada como medio de intercambio de calor con agua que servirá para la elaboración de la mezcla de la masa que se usará en la *mixer* Hércules de la L2. También tiene como trabajo del equipo el proceso de refrigeración tradicional, por medio de evaporadores que mantienen a una temperatura muy baja un cuarto de frío denominado *Blast Freezer*, donde se almacena producto terminado de pastelería.

Entre los componentes que se encuentran dentro de este equipo de refrigeración se pueden encontrar:

- Tres compresores de tornillo Bitzel para el sistema principal
- Un condensador para el sistema principal
- Dos evaporadores instalados para el proceso de *blast freezer*
- Un separador de aceites para el sistema principal
- Dos intercambiadores de calor *chiller* para el proceso de la L2

Figura 6. **Plano de equipo de refrigeración**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCad.

El proceso cíclico de operación para el equipo de refrigeración se desarrolla por la transferencia de calor interna en donde el evaporador del *blast freezer* y el *chiller* de L2 realizan el proceso de evaporación a baja presión, mientras que en el condensador se da la condensación a alta presión.

El equipo de refrigeración opera cuando el refrigerante pasa por cada una de las etapas del sistema de refrigeración que conforman el equipo. El proceso comienza con el líquido a alta presión que es llevado a un pequeño tanque de almacenamiento de refrigerante a través de la tubería del líquido, para luego pasar por un filtro desecante al instrumento de control que se encarga de separar los lados de alta y de baja presión del sistema, el cual reduce la presión y la temperatura del refrigerante, provocando que este evapore hasta que el refrigerante alcance la temperatura de saturación.

Conforme el refrigerante de baja temperatura pasa a través de los evaporadores o *chiller*, el calor del producto o agua a enfriar fluye a través de las tuberías del mismo hacia el refrigerante, haciendo que la acción de ebullición se desarrolle hasta que el refrigerante se encuentre totalmente vaporizado. Este ya evaporizado sale del evaporador, viaja a través de la línea de succión hacia la entrada del compresor para que tome el vapor a baja presión y lo comprima aumentando tanto su presión como su temperatura.

Cuando el vapor caliente alcanza una alta presión es bombeado fuera del compresor a través de la válvula de descarga, para ir hacia el condensador que conforme pasa a través de este el gas a alta presión es enfriado por el aire del ambiente, cuando el vapor del refrigerante alcanza la temperatura de saturación. Con respecto a la alta presión del condensador, el vapor se condensa y fluye al tanque de almacenamiento de refrigerante como líquido, luego vuelve a repetirse el ciclo.

En el equipo de refrigeración se han tenido varios problemas a causa de fallas puntuales que afectan el funcionamiento del mismo, tanto mecánico como eléctrico; por ello se han tenido problemas de eficiencia, capacidad y condiciones operativas del equipo de refrigeración y como consecuencia se

tiene la pérdida del rendimiento del equipo para la producción y la disminución de tiempo de vida útil del mismo.

Ciertamente, el equipo de refrigeración fue adquirido en Estados Unidos como un equipo reutilizado, el cual no contaba con un manual del fabricante o algún documento de información de su funcionamiento. Al momento de su instalación solo se dejaron funcionando dos de los tres compresores que conforman el equipo de refrigeración dejando el tercer compresor de reserva, que solo se utilizará cuando se tenga una falla mecánica en alguno de los otros compresores o por la demanda de enfriamiento en el sistema del compresor.

Además de ello está la pantalla Emerson que controla cada uno de los sistemas del equipo, pero solamente se instalaron las partes principales de la misma, dejando ciertas funciones bloqueadas que hoy en día son de los principales problemas que tiene el equipo.

Esto ha llevado a que se tenga como resultado un alto porcentaje de desperdicio de producto por parte del departamento de mantenimiento, por lo que se ha solicitado que se efectúe un cambio en el equipo de refrigeración.

### **2.1.2. Fallas recurrentes del equipo**

Un equipo puede fallar por diversas razones y no todas tienen que ser en el mismo equipo, pero sí afectan al funcionamiento completo de la máquina dando como resultado la frecuencia de fallas repetitivas en él.

Entre las fallas más frecuentes que se han dado en el equipo de refrigeración desde que fue instalado se pueden encontrar:

- Fugas pequeñas de refrigerante que son difíciles de detectar en diferentes sitios que conforman el sistema de tuberías del equipo de refrigeración.
- Falla en la capacidad de funcionamiento de los evaporadores.
- Fuga de aceite para compresores.
- Falla en los variadores de los motores eléctricos de los compresores debido a que el amperaje se encuentra más alto que el máximo establecido por el fabricante del motor.
- Fallas en pantalla Emerson por bloqueo de señales de lectura, por activación de alarma que manda a apagar los compresores del equipo y no los vuelve a encender.
- Fallas en motores de ventilación que se utilizan en los condensadores por falta de mantenimiento.
- Paso de refrigerante líquido en compresores.
- Desgaste en los cojinetes de los motores eléctricos de los compresores.
- Mala lubricación de cojinetes.
- Daños en el eje del motor eléctrico.
- Daños en el empaque del compresor.
- Fallas en el funcionamiento eléctrico de los compresores, debido a un mal diseño eléctrico o cableado.

### **2.1.3. Puntos críticos en el equipo**

Como puntos primordiales para un óptimo funcionamiento del equipo de refrigeración es posible encontrar que la mayoría de ellos se basa en la lectura de los parámetros de medición, entre ellos están:

- La presión de descarga y succión del sistema de refrigeración del equipo son de vital importancia para entender las condiciones en las que se encuentra y si está trabajando de forma eficiente; asimismo, permite

conocer la situación o estado del refrigerante al ser transportado por la tubería que conforma el equipo de refrigeración.

- El nivel de refrigerante es otro punto crucial para el equipo de refrigeración, permite conocer la cantidad que hay dentro del equipo y cuánto le hace falta al sistema para trabajar en óptimas condiciones.
- La temperatura de trabajo del motor eléctrico en el compresor es un punto que ayuda a determinar el estado de trabajo en el que se encuentra el motor, el cual permite ver si el equipo está trabajando en las mejores condiciones y sirve como una alarma de las posibles fallas que puedan presentar los motores.
- La temperatura de agua fría L2, *mixer* Hércules, aunque de cierta forma no es parte del equipo de refrigeración, proporciona información en el momento para saber si el equipo de refrigeración está enfriando el agua a la temperatura que es requerida para la producción y con ello percibir su rendimiento.
- La temperatura del *blast freezer* de igual manera trabaja que el tanque de agua fría, pero aquí debe mantener una temperatura fría para conservar el producto terminado y para percibir si los evaporadores están realizando su trabajo.
- La capacidad del sistema de refrigeración o la eficiencia del equipo es un punto crítico para saber el estado del mismo, que se da debido a la demanda de enfriamiento, por lo cual no se logra abastecer a ambos.

#### **2.1.4. Impacto económico debido a paros inesperados**

El impacto económico es una consecuencia que se obtuvo por parte del equipo de refrigeración, debido a fallas y averías mecánicas provocadas por paros inesperados que afectaron la producción.

A partir de los resultados obtenidos el año pasado el departamento de mantenimiento se dio cuenta del gran número de paros inesperados producidos. El equipo de refrigeración ha alcanzado el mayor porcentaje de desperdicio producido por máquina del total de producto. Con el 38 % el equipo de refrigeración es el que más desperdicio genera para el departamento de mantenimiento.

De igual forma, se ha detectado como impacto económico lo que es el alto consumo de refrigerante a causa de fugas en el equipo de refrigeración, por lo tanto, ha generado un efecto en la compra de refrigerante. Como resultado, durante el año pasado aproximadamente se compró un cilindro de 30 kg por día, lo que ocasionó una fuerte suma de gasto económico para el departamento.

También como el refrigerante se tiene la compra de aceite para compresores, ya que el año pasado, por causa de fugas, se compró un galón de aceite por día para su funcionamiento, siendo esto en conjunto a los cilindros de refrigerante un alto gasto para el departamento.

Otro impacto económico que se genera en el equipo de refrigeración se debe a la realización de ajustes, cambio de cojinetes a los motores eléctricos, tanto de los compresores como de los condensadores y los evaporadores por parte de empresas *outsourcing*.

## **2.2. Análisis de los parámetros de medición en el equipo**

Los parámetros de medición a tomar en cuenta para una buena lectura del óptimo funcionamiento son las siguientes:

### **2.2.1. Presión**

La presión por definición matemática se establece como el cociente de dividir una fuerza por la superficie que recibe esa fuerza. Para el proceso de sistema de refrigeración, la presión se utiliza para la determinación de alta y baja presión del refrigerante que circula dentro de las tuberías que componen el equipo de refrigeración.

Se puede comprender que, en el evaporador, la presión que entra en el equipo es alta y pasa a ser baja presión, para efectuar el enfriamiento hacia el ambiente, absorbiendo el calor dentro del refrigerante. Del mismo modo, en los compresores la presión que entra en el equipo es baja para que en el compresor sea comprimida y así elevar la presión que posteriormente pasa al condensador con el refrigerante.

Dentro del equipo de refrigeración se debe tomar en cuenta que las presiones en el sistema de refrigeración son un punto importante para la evaluación del funcionamiento del equipo, por ello se evalúa:

#### **2.2.1.1. Presión de succión**

Es llamada así la presión del equipo de refrigeración que ingresa a los compresores con el objetivo de detectar el valor de baja presión del sistema, permitiendo también la temperatura de operación del mismo, por el diferencial

de temperatura de la carga térmica y la temperatura del refrigerante y por la caída de presión que existe en la línea de succión.

Dentro del sistema de refrigeración se tiene la lectura de la presión de succión como un parámetro, para observar el funcionamiento de los compresores y de la presión de saturación que proviene del evaporador. Para el sistema de refrigeración debe tenerse el equipo trabajando entre un rango de presión de succión de 7 psi a 14 psi, cuando el equipo está a toda su capacidad, pero cuando solo trabaja un compresor se obtiene un rango de trabajo del sistema entre los 5 psi a 11 psi, por lo cual es una parte vital saber en qué condiciones se encuentra el equipo.

#### **2.2.1.2. Presión de descarga**

Se llamado así a la presión del equipo de refrigeración que sale de los compresores con el objetivo de aumentar la presión del sistema, para que el refrigerante pueda ser enfriado por algún medio externo y así alcanzar la temperatura de saturación, por lo cual el vapor puede ser condensado hacia al tanque de almacenamiento del líquido.

Para el equipo de refrigeración, la presión a la salida del compresor tras ser comprimido debe tener una presión de descarga que está en un rango entre los 210 psi a 230 psi, siempre y cuando estén trabajando en su totalidad los compresores, pero cuando solo se trabaje con un compresor se tendrá un rango de presión de descarga de 180 psi a 205 psi en el sistema del equipo.

#### **2.2.1.3. Presión de aceite**

En cuanto a la presión de aceite es necesario saber que un aceite es un lubricante que actúa como un fluido de enfriamiento y como sellador para los

compresores de doble tornillo y de piezas que necesitan de su lubricación. Este tipo de aceite puede ser mezclado con el refrigerante al pasar por el compresor en cuanto realiza su función, luego de ello las partículas de refrigerante deben ser separadas para que no entren al sistema principal de refrigeración.

Los lubricantes para compresores de tornillo a menudo son una mezcla especializada de aditivos y aceites básicos, con el fin de proporcionar las propiedades de lubricación necesarias y que al mismo tiempo sea compatible con el refrigerante. Cualquier incompatibilidad del aceite básico y el refrigerante podría tener resultados desastrosos para el compresor.

Para los compresores Bitzel se emplea aceite básico tipo poliéster (POE) para lubricar el sistema y que también pueda separarse del refrigerante. Entre los problemas que pueden tenerse en el aceite está la humedad, porque forma ácidos que causan cambios en la viscosidad y perjudica las propiedades lubricantes del aceite.

El sistema del equipo de refrigeración tiene compresores húmedos inundados de aceite, por lo tanto es primordial la compatibilidad del lubricante con el refrigerante, por lo que el equipo debe tener un valor de medición en un rango entre los 80 psi a 100 psi, dependiendo del clima y la capacidad de funcionamiento del equipo este rango puede variar para cada uno de los compresores.

### **2.2.2. Corriente**

La corriente es el flujo de carga eléctrica que recorre un material, el cual se debe al movimiento ordenado de cargas libres, normalmente de electrones, a través de un material conductor en un circuito eléctrico de las cargas en el

interior del mismo; por eso la corriente es un parámetro imprescindible para el equipo de refrigeración, el cual se divide en diferentes mediciones como amperaje, voltaje y frecuencia.

Para los motores eléctricos que se utilizan en los compresores es necesario tener la lectura de los parámetros de corriente, por ello es necesaria la implantación de variadores de frecuencia, que tienen como función mejorar la eficiencia energética que reduce el consumo de energía y las emisiones de dióxido de carbono.

Un variador de frecuencia es un regulador industrial que se instala entre la alimentación energética y el motor eléctrico, que tiene como función regular la velocidad del motor eléctrico para que la electricidad que llega al motor se ajuste a la demanda real de la aplicación y con ello reducir el consumo energético del motor entre 20 y 70 %.

Por consiguiente, en un equipo de refrigeración es indispensable tener lectura de los parámetros de medición que se obtienen de los variadores de frecuencias, de los cuales se hablará a continuación.

#### **2.2.2.1. Amperaje**

Como se estableció con anterioridad, el amperaje es un parámetro de medición fundamental para los motores de compresión, se interpreta como la fuerza o potencia en una corriente eléctrica que circula entre dos puntos, los cuales son negativo y positivo, a través de un conductor eléctrico; asimismo el amperaje es la intensidad de una corriente del movimiento de cargas eléctricas a través del medio conductor.

Actualmente el equipo de refrigeración tiene establecido en el variador de frecuencia un rango variable entre 70 a 90 amperios para los motores eléctricos de los compresores, sin pasar el límite de 115 amperios como está establecido en la placa del motor. No obstante, si los motores están entre 110 amperios a 115 amperios, pueden tener un aumento en el consumo energético y fallas o averías en los componentes del motor, causando que los compresores trabajen a marcha forzada.

#### **2.2.2.2. Voltaje**

En cuanto al voltaje se puede detallar que es una diferencia de potencial que se da entre una fuente de suministro de energía eléctrica que ejerce cargas eléctricas en un circuito cerrado; de hecho, a mayor diferencia de potencial mayor es el voltaje existente entre el circuito.

Con respecto al voltaje que se obtiene del variador de frecuencia para el equipo de refrigeración, se tiene que el voltaje nominal que se debe utilizar para los motores eléctricos de los compresores debe ser de 460 V establecidos por la placa del motor, para que tenga un óptimo funcionamiento y así no tenga una sobrecarga de voltaje que cause algún daño al equipo.

#### **2.2.2.3. Frecuencia**

Ante todo, una frecuencia es el número de ciclos por segundo o la velocidad a la que la corriente cambia de sentido por segundo, por ello para el equipo de refrigeración la frecuencia es un parámetro de medición que describe el funcionamiento del equipo eléctrico que debe mantener con base en lo establecido por la placa del fabricante del motor, en 60 Hz para que realice un buen trabajo.

### **2.2.3. Temperatura**

La temperatura es una variable o parámetro a tomar en consideración por las condiciones de trabajo del equipo de refrigeración. Hay que añadir que la temperatura es la sensación de calor de un cuerpo que depende de su volumen en relación con una determinada cantidad de calor. Por esta razón dentro del equipo de refrigeración se manejan tres mediciones de vital importancia, como parámetros para medir la condición del equipo y si está trabajando eficientemente; es por ello que se tiene:

#### **2.2.3.1. Temperatura de aceite**

Es un parámetro que permite medir la temperatura a la que entra el aceite de lubricación a los compresores de tornillo, pero no debe estar demasiado frío ni excesivamente caliente para que pueda circular dentro de las tuberías del sistema de aceite. El aceite de lubricación es un elemento vital para el funcionamiento y rendimiento del compresor.

Por lo tanto, para los compresores de tornillo Bitzel la temperatura del aceite a la que debe mantenerse lubricado debe estar en un rango entre 57 °C a 80 °C, para un óptimo resultado del funcionamiento de los compresores y saber en qué condiciones de trabajo se encuentra, si se tiene alguna falla o bien cambio en la lubricación.

#### **2.2.3.2. Temperatura de sistema *mixer* Hércules**

Es un parámetro de monitoreo que permite saber a qué temperatura se realiza el intercambio de calor en los *chiller* de L2, para comprender a qué

temperatura se está entregando el agua fría que es utilizada para elaborar la masa del producto.

De igual forma, esta temperatura es el primer parámetro a tomar en consideración por parte de los mecánicos y de los operadores de la línea de producción, para saber el rendimiento operacional óptimo del equipo o en caso contrario saber si el equipo tiene algún problema, falla o avería que necesite ser corregida.

La temperatura del sistema de la *mixer* Hércules a la que debe estar trabajando el equipo de refrigeración debe localizarse entre un rango de -21 °C a -23 °C, para que se desarrolle un buen intercambio de temperatura.

### **2.2.3.3. Temperatura de sistema *blast freezer***

De igual manera que la temperatura de *mixer* Hércules la del *blast freezer* es un parámetro de monitoreo que permite ver la temperatura a la cual debe mantenerse el cuarto frío, con el producto terminado de pastelería y también el estado de rendimiento del equipo de refrigeración.

Adicionalmente, la temperatura de *blast freezer* en conjunto con los tiempos programados del evaporador permite ver el proceso de deshielo por parte de los evaporadores, si se está realizando de la mejor manera o tiene algún problema.

La temperatura del *blast freezer* debe mantener el producto terminado, el cual debe estar a -24 °C y para el proceso de deshielo del evaporador debe desarrollarse en un tiempo de 30 a 45 minutos, donde la temperatura aumenta de -24 °C a -9 °C.

## 2.3. Análisis de rendimiento

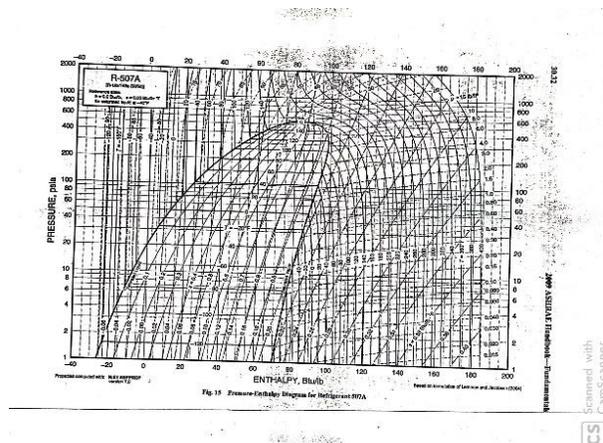
En cuanto al análisis de rendimiento, abarca los siguientes temas sobre el equipo de refrigeración:

### 2.3.1. Eficiencia del equipo

Para el cálculo de la eficiencia del equipo de refrigeración se obtuvieron los siguientes datos:

- Presión alta ( $P_c$ ) = 210 psi
- Presión baja ( $P_e$ ) = 10 psi
- Temperatura del condensador ( $T_c$ ) = 114,8 °F
- Temperatura del evaporador ( $T_e$ ) = -11,2 °F

Figura 7. Diagrama de Mollier

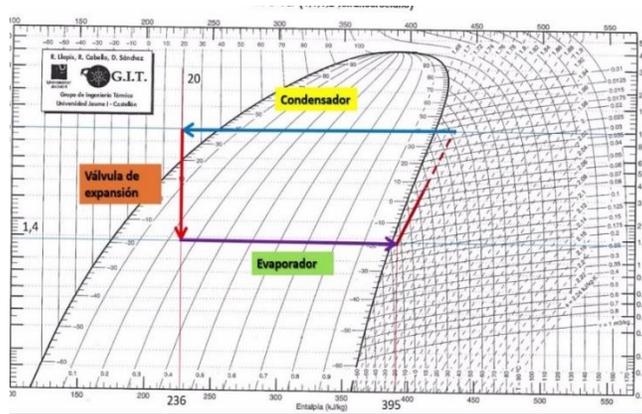


Fuente: 2009ASHRAE Handbook-Fundamentals. Consulta: mayo de 2019.

Con base en el diagrama de Mollier de R-507<sup>a</sup>, se obtuvieron los siguientes datos:

- Entalpia de válvula de expansión ( $h_1 = h_2$ ) = 47 Btu/lb
- Entalpia de evaporador ( $h_3$ ) = 88 Btu/lb
- Entalpia de compresor ( $h_4$ ) = 105 Btu/lb

Figura 8. Diagrama de Mollier del equipo



Fuente: SÁENZ, Carlos. *Diagrama de Mollier*. Consulta: mayo de 2019.

Enfriamiento ( $E_r$ ) que se desarrolla en evaporador:

$$E_r = h_3 - h_1$$

$$E_r = 88 - 47 = 41 \text{ Btu/lb}$$

Entrada de energía ( $W_{34}$ ) que se desarrolla en el condensador:

$$W_{34} = h_4 - h_3$$

$$W_{34} = 105 - 88 = 17 \text{ Btu/lb}$$

Coefficiente óptimo de rendimiento (real) ( $Cop_r$ ):

$$Cop_r = \frac{E_r}{W_{34}}$$

$$Cop_r = \frac{41}{17} = 2,412$$

Coeficiente óptimo de rendimiento (Carnot) (Cop<sub>i</sub>):

$$\text{Cop}_i = \frac{T_e + 460}{T_c - T_e}$$

$$\text{Cop}_i = \frac{-11,2 + 460}{114,8 - (-11,2)} = 3,562$$

Eff = eficiencia del ciclo ( $\eta_c$ ).

$$\eta_c = \frac{\text{Cop}_r}{\text{Cop}_i} * 100$$

$$\eta_c = \frac{2,412}{3,562} * 100 = 67,71 \%$$

Como resultado de la eficiencia de rendimiento del equipo de refrigeración para el *blast freezer* de pastelería, se tiene que este trabaja con una eficiencia del 68 %.

Para el cálculo de la eficiencia del rendimiento del equipo de refrigeración en los *chiller* L2, se obtuvieron los siguientes datos:

- Presión alta (P<sub>c</sub>) = 210 psi
- Presión baja (P<sub>e</sub>) = 10 psi
- Temperatura del condensador (T<sub>c</sub>) = 114,8 °F
- Temperatura del *chiller* L2 (T<sub>e</sub>) = -9,4°F

Con base en el diagrama de Mollier de R-507<sup>a</sup>, se obtuvieron los siguientes datos:

- Entalpia de válvula de expansión (h<sub>1</sub> = h<sub>2</sub>) = 47 Btu/lb
- Entalpia de evaporador (h<sub>3</sub>) = 90 Btu/lb

- Entalpia de Compresor ( $h_4$ ) = 105 Btu/lb

Enfriamiento ( $E_r$ ) que se desarrolla en evaporador:

$$ER = h_3 - h_1$$

$$ER = 90 - 47 = 43 \text{ Btu/lb}$$

Entrada de energía ( $W_{34}$ ) que se desarrolla en el condensador:

$$W_{34} = h_4 - h_3$$

$$W_{34} = 105 - 90 = 15 \text{ Btu/lb.}$$

Coeficiente óptimo de rendimiento (real) ( $Cop_r$ ):

$$Cop_r = \frac{ER}{W_{34}}$$

$$Cop_r = \frac{43}{15} = 2,867$$

Coeficiente óptimo de rendimiento (Carnot) ( $Cop_i$ ):

$$Cop_i = \frac{T_e + 460}{T_c - T_e}$$

$$Cop_i = \frac{-9,4 + 460}{114,8 - (-9,4)} = 3,628$$

Eff = eficiencia del ciclo ( $\eta_c$ )

$$\eta_c = \frac{Cop_r}{Cop_i} * 100$$

$$\eta_c = \frac{2,867}{3,628} * 100 = 79,02 \%$$

Para el circuito de *chiller* L2 se encuentra que el equipo de refrigeración tiene una eficiencia de rendimiento del 79,02 %.

Como conclusión se puede afirmar que el equipo de refrigeración para el *chiller* L2 presenta una excelente eficiencia de rendimiento, porque está por encima del 75 % establecido para los equipos de refrigeración de la empresa, pero la eficiencia de rendimiento del *blast freezer* está por debajo del rendimiento requerido, por lo tanto es necesario mejorar la eficiencia para el mismo.

### **2.3.2. Factores de influencia en el equipo**

De acuerdo a los acontecimientos que se han presentado para el equipo de refrigeración, se determinaron los principales factores que influyen en dicho equipo, los cuales son:

- El factor con más preocupación para que se tenga un buen funcionamiento del equipo de refrigeración es el clima, esto debido a que el proceso de intercambio de calor que se genera en los *chillers* de L2 y de los tanques de agua fría se realiza al aire libre, provocando que el intercambio de calor no se realice a la temperatura correspondiente. Asimismo, el proceso de intercambio tarda más en llegar a la temperatura de enfriamiento cuando el clima es caluroso, pero cuando el clima es frío el proceso de enfriamiento es más rápido.
- Cuando la demanda de producción en la L2 es muy alta, al equipo de refrigeración no le da tiempo poder realizar el enfriamiento del agua fría a la temperatura requerida, esto se debe a que el proceso de intercambio de calor no se efectúa correctamente, porque la capacidad del equipo de refrigeración no puede enfriar rápidamente el agua. De igual manera, cuando la cantidad de producto de pastelería almacenada en el *blast*

*freezer* es muy alta, el proceso de evaporación del refrigerante se hace más lento y, por lo tanto, cuesta más realizar el proceso de refrigeración.

- La capacidad de los compresores es otro factor, por el requerimiento de refrigerante por parte tanto del *blast freezer* como de los *chiller* L2. Cuando los dos equipos están trabajando al mismo tiempo, los compresores no se dan abasto para realizar el proceso en ambos.
- Los tiempos de deshielo para la eliminación de escarcha dentro de los evaporadores del *blast freezer* son una razón de intervención en el equipo de refrigeración, debido a que el proceso de deshielo es realizado por medio de gas caliente, proveniente del sistema de refrigeración que afecta conforme al tiempo tanto tuberías como al propio evaporador.
- Finalmente, un factor que no interviene directamente al equipo de refrigeración es el agua utilizada en los tanques de agua fría que van directo a la *mixer* Hércules, que se utiliza como intercambio de calor, esto debido a las bajas temperaturas. El agua puede congelarse, por esta razón se le añadió glicol como un aditivo.

### **2.3.3. Certeza de funcionamiento del equipo de refrigeración**

El equipo de refrigeración está conformado por un conjunto de máquinas que en su mayoría fueron utilizadas con anterioridad, en EEUU de donde proceden. Por tal motivo no se cuenta con información suficiente y adecuada, como manuales del fabricante, historial de horas de trabajo, para qué ha sido empleado el equipo, datos de las actividades del mismo, entre otro tipo de información que facilite la comprensión del funcionamiento y el estado actual en el que se encuentran.

Como puede verse el equipo de refrigeración no cuenta con una certeza concreta del funcionamiento de cada uno de los elementos que lo componen, solo se cuenta con cierta información de los rangos a los que pueden trabajar algunos componentes, debido a la placa informativa que traen algunos equipos.

Apoyados de los valores obtenidos en el cálculo de la eficiencia de refrigeración del equipo, se puede deducir que dicho equipo, a pesar de no tener información de en qué estado se encuentra su rendimiento, es adecuado mas no el apropiado porque se tienen algunas deficiencias para el *blast freezer*.

Sin embargo, para el trabajo de los *chiller* de la L2 el equipo funciona convenientemente como intercambiador de calor, dando buen resultado en el funcionamiento del equipo de refrigeración.

#### **2.3.4. Rendimiento de fabricante**

Con el propósito de tener referencias acerca de cómo debe trabajar cada una de las máquinas que complementan el equipo de refrigeración, con la ayuda del manual del fabricante de cada una de las máquinas o del sistema general de refrigeración, se pretendía obtener la información del rendimiento estipulado por el fabricante, con el cual debe trabajar el equipo. Pero en este caso no se encontró ningún manual de fabricante o algún documento que proporcionara esta información.

Al conocer que no se contaba con un manual del fabricante, se pensó en obtener información de los archivos que el departamento de mantenimiento ha realizado al equipo, para poder obtener algún conocimiento que permitiera desarrollar el tema de rendimiento de fabricante; sin embargo, no se encontró información concreta del rendimiento el mismo.

### **2.3.5. Costos por mantenimiento**

Dentro de la realización del plan de mantenimiento se consideró evaluar los costos de mantenimiento que se han generado por fallas o averías del equipo, para obtener una idea de cuánto gasto se está produciendo por cambios de piezas o accesorios en el mismo, para ello se tenía contemplado revisar en el SAP del departamento.

Durante la investigación no se pudo encontrar un listado real de los costos por mantenimiento, debido a que anteriormente la empresa realizaba *outsourcing*, por lo cual no se cuenta con especificaciones de gastos concretos del mantenimiento del equipo de refrigeración.

### **3. FASE TÉCNICO PROFESIONAL PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

#### **3.1. Necesidad de la elaboración de plan de mantenimiento**

Para empezar, lo primero que se debe comprender es que el equipo de refrigeración no cuenta con un manual de mantenimiento que permita llevar la organización, procedimientos de trabajo y control del equipo que ayuden a facilitar acciones de trabajo y la eficiencia de su mantenimiento.

Además, cuando fue traído y montado en la empresa, no se contaba con la información de cada uno de los elementos que constituyen el equipo de refrigeración. Adicional a ello no se cuenta con un registro, control o algún programa de mantenimiento por parte de su departamento, ni manual del fabricante, por tal razón en la empresa se tiene contemplado realizar un registro único del equipo.

Cabe resaltar que al no tener un registro formal del mantenimiento que se le ha realizado a cualquier elemento del equipo de refrigeración, no se ha logrado avanzar en mejorarlo de un mantenimiento preventivo a un mantenimiento predictivo. Como el equipo de refrigeración es esencial en la empresa para el funcionamiento tanto de L2 como para pastelería, debido al trabajo continuo del mismo es necesario mantenerlo funcionando veinticuatro horas diarias, los siete días de la semana.

Por tal razón el mantenimiento predictivo es un cambio al cual hay que llegar para disminuir el tiempo de paro inesperado que se tenga por alguna falla

o avería, dentro de algún elemento del equipo de refrigeración y para aumentar su conservación y servicio.

También es necesario llevar un control, seguimiento y monitoreo del equipo de refrigeración, que mantenga la organización en el mantenimiento de cada elemento del equipo, para mantener o aumentar la vida útil del mismo. Asimismo, tener una buena calendarización del mantenimiento que se le hará sin afectar la producción en las líneas, creando un equipo más eficiente en el mantenimiento con el fin de obtener la disminución de imprevistos y paros exagerados que afecten la producción.

Considerando cada una de las necesidades expresadas anteriormente en el equipo de refrigeración, en hacerlo más eficiente y en obtener una disminución en el desperdicio de producto a causa de las fallas y paros inesperados, es necesario tener un plan basado en el manteniendo predictivo, por medio del control, monitoreo y seguimiento del equipo de refrigeración, con el fin de anticiparse a una posible falla que pueda ocurrir en el equipo.

### **3.2. Qué es un plan de mantenimiento**

Para iniciar se debe comprender que un plan de mantenimiento no es más que una serie de diferentes servicios elaborados para atender las necesidades de un equipo o máquina, con un conjunto de tareas planeadas, programadas y agrupadas que son necesarias para prevenir y evitar determinadas averías y fallas que puedan tener.

El plan de mantenimiento es un elemento importante para la gestión de actividades periódicas, preventivas y predictivas que son programadas para el buen servicio del equipo de refrigeración, con la finalidad de mejorar la

efectividad del mismo, así como las tareas mecánicas, las variables de control y el presupuesto de recursos, además de cada una de las actividades que se realizan para el mantenimiento del equipo de refrigeración. Por consiguiente, influir de manera notable en la confiabilidad del equipo basado en tareas absolutamente necesarias, adecuadas, certeras son requeridas para realizar las tareas programadas y con ello no hacer tareas cuando el equipo está detenido o se presente alguna falla que requiera el funcionamiento del equipo.

### **3.3. Plan de mantenimiento RCM**

Es un modelo de mantenimiento centrado en fiabilidad, basado en técnicas organizativas actuales, aplicadas al mantenimiento, como un proceso utilizado para la determinación de las operaciones que deben hacerse y así el equipo continúe desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional, siempre y cuando sean rentables.

Con este plan se pretende desarrollar las técnicas que más se utilizan, para ayudar a formular estrategias de mantenimiento basado principalmente en el análisis funcional de las fallas presentadas por determinados equipos; asimismo, el propósito principal es aumentar la fiabilidad de los equipos, con la finalidad de disminuir el tiempo de paros que impidan cumplir con los planes de producción. Para el desarrollo de esto es necesario apoyarse de una norma que establezca criterios mínimos en el proceso de análisis de fallas, por lo que la norma SAE JA 1011 especifica los requerimientos que debe cumplir un proceso para poder ser denominado proceso RCM. Según la norma SAE, es necesario empezar estableciendo las 6 preguntas básicas del proceso RCM:

- ¿Cuál es la función?
- ¿Cuál es la falla funcional?
- ¿Cuál es el modo de falla?

- ¿Cuál es el efecto de la falla?
- ¿Qué se puede hacer para evitar o minimizar la consecuencia de la falla?
- ¿Qué se hace si no se encuentra ninguna tarea para evitar o minimizar la consecuencia?

Además de las seis preguntas básicas del proceso RCM se debe tomar en cuenta los factores que influyen sobre el mantenimiento del equipo, tales como:

- Factores climatológicos (cambios excesivos o constantes)
- Normas y reglamentaciones especiales (especificaciones y legales)
- Tipo de proceso (si es continuo 24 horas. / por lotes entre otros.)
- Redundancia (formas alternativas de producción)
- Estándares de calidad (especificas condiciones a la operación)
- Estándares medio ambientales (impacto en el medio ambiente)
- Riesgos a la seguridad (razones de cuidado)
- Límites de uso (elementos tanto mecánicos, eléctricos, entre otros)

Por tanto, es necesario el desarrollo del plan de mantenimiento RCM del equipo de refrigeración en el que se desglose cada uno de los pasos que se deben realizar para llevar a cabo el plan en general:

- Funciones:

Para empezar con el análisis de RCM se debe hacer la redacción de las funciones y los estándares de comportamiento funcional que se asocien a cada elemento de los equipos deseados. Cuando se establece el funcionamiento deseado de cada elemento, el RCM pone énfasis en la necesidad de cuantificar los estándares de funcionamiento siempre que sea posible.

- Fallas funcionales:

En esta parte se identifican todos los estados indeseables en el sistema de cada elemento que compone el equipo de refrigeración, donde se pretende reconocer las pérdidas totales o parciales de una o más funciones.

- Modos de fallas:

Mejor conocido como MCC, son las posibles causas por las cuales el equipo puede llegar a un estado de fallas funcionales; en sí, es la provocación de la pérdida de la función total o parcial en un equipo.

- Efectos de fallas:

Es una breve descripción de toda la información necesaria para apoyar la evaluación de las consecuencias de las fallas, lo cual permite decidir la importancia de cada una y, por lo tanto, qué nivel de mantenimiento es necesario realizarle al equipo.

- Consecuencias de las fallas:

Para esta parte del plan de mantenimiento RCM se pretende explicar los posibles impactos que puedan presentarse ante una falla. El desarrollo de las consecuencias se puede clasificar en cuatro grupos:

- Consecuencias de las fallas no evidentes
- Consecuencias en la seguridad y el medio ambiental
- Consecuencias operacionales
- Consecuencias que no son operacionales

- Análisis de criticidad:

Para finalizar el plan de mantenimiento RCM se pretende realizar una evaluación de criticidad que permita establecer la jerarquía o prioridades de los elementos que componen el equipo de refrigeración, para la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el trabajo de mantenimiento y los repuestos a donde sea más importante y necesario mejorar la fiabilidad del equipo, para ello se toma como base la siguiente tabla:

**Tabla I. Ejemplo de análisis de criticidad**

<b>Análisis de criticidad</b>	
<b>Características</b>	<b>Puntaje</b>
Equipo	
Frecuencia de falla	1- 40 por mes
Tiempo promedio para reparar (MTTR)	Menos de 1 hora a 3 días
Impacto sobre la producción	No afecta - afecta totalmente
Costos de reparación	Menos de 4000 - más de 4000 quetzales
Impacto ambiental	No origina- Alta contaminación
Impacto de salud y seguridad personal	No origina - leve - incapacidad más de 30 días
Impacto en la satisfacción en el cliente	No ocasiona pérdidas - pérdidas mayores a S/. 1000

Fuente: elaboración propia.

Con la tabla I se pretende realizar un análisis de prioridad de cada equipo para su óptimo funcionamiento, de igual manera saber en qué estado se encuentra y si se necesita un mantenimiento simple o completo.





un plan de mantenimiento predictivo en el cual se tenga un control, monitoreo y seguimiento del estado del equipo de refrigeración.

Por lo tanto, es importante fomentar la implementación de un plan de mantenimiento predictivo en el equipo de refrigeración, que tenga como finalidad resolver con anticipación los posibles problemas que puedan pasar y causar paros inesperados, fallas y averías en el equipo; esto para conseguir la mayor eficiencia, rendimiento y confiabilidad del mismo.

#### **3.4.1. Qué es mantenimiento predictivo**

Con respecto al desarrollo de un plan de mantenimiento predictivo primero se debe comprender que es una serie de acciones que se toman con base en técnicas que se aplican con el objetivo de detectar posibles fallas y defectos en las máquinas, con la intención de impedir que estos fallos se conviertan en uno más grande durante su funcionamiento, evitando que ocasionen paros de emergencia inesperados y tiempo muerto de producción que generen un impacto financiero negativo.

El mantenimiento predictivo para el equipo de refrigeración se basará en la medición, requerimiento y monitoreo de parámetros y condiciones operativas con el efecto de gestionar valores de pre-alarma y de intervención de aquellos parámetros que se consideren necesarios para evaluar estado del equipo, con el fin de conservar un nivel de servicios determinados en los equipos programando las revisiones en el momento más oportuno.

### **3.4.2. Importancia del mantenimiento en el equipo**

La principal razón de desarrollar el plan de mantenimiento predictivo es debido a las fallas continuas y paros inesperados que se dan en el equipo de refrigeración a causa del rendimiento y eficiencia, provocando que no realice su trabajo. Aunque el equipo tenga órdenes de trabajo de mantenimiento preventivo estas no se desarrollan en su totalidad, debido a que el mismo es utilizado para el enfriamiento de un cuarto frío, que contiene producto terminado de pasteles, por lo cual se debe mantener todo el tiempo en funcionamiento dando como resultado que no prospere el mantenimiento en dicho equipo.

Por consiguiente, es necesario realizar modificaciones al mantenimiento, pretendiendo el aumento en el porcentaje de capacidad y confiabilidad del equipo donde se tenga un seguimiento, monitoreo y control del mismo en tiempo real. Produciendo un aumento de la rentabilidad, mejora en la fiabilidad y disponibilidad en ciertas máquinas que lo componen; tener menos pérdidas de materia prima incluye masa, por paros no planificados y por rearranques en el equipo que generan un costo de energía y daños a componentes eléctricos.

También se pretende accionar técnicas que ayuden a evaluar el estado del equipo, para observar pequeñas fallas o defectos, antes de que puedan ser más difíciles de resolver.

### **3.4.3. Inspección predictiva**

Para llevar a cabo el plan de mantenimiento predictivo se debe comenzar con una inspección predictiva de cada una de las máquinas que componen el equipo de refrigeración, por lo que se empieza estructurando a dónde se quiere llevar el plan de mantenimiento. Para ello se busca apoyo en lo siguiente.

### **3.4.3.1. Inspección *in situ***

Para el equipo de refrigeración se tiene contemplado desarrollar una inspección *in situ*, que se emplea para la observación del funcionamiento del equipo que se encuentra o que se ejecuta en el propio lugar. Si por cuestiones del funcionamiento y estado en el que se halla el equipo de refrigeración no se puede desarrollar esta inspección, entonces se tiene la opción de la inspección predictiva.

#### **3.4.3.1.1. Análisis predictivo**

Una vez con el listado y el orden de funcionamiento de cada máquina, según el tipo y la importancia que tiene, se procederá a realizar la observación y documentación de cada una de ellas. El análisis se realizará de la siguiente manera:

- Primero se hará un formato para cada máquina que compone el equipo de refrigeración, en donde se pretende obtener información acerca de las horas de operación de las máquinas, ficha técnica y descripción del proceso que realiza cada una en el equipo de refrigeración.
- Después se desarrollará un listado general de fallas o defectos en cada máquina, para esto es necesario apoyarse con personal técnico mecánico de mantenimiento que labora en la empresa.
- Y, por último, se realizará un reporte de fallas y desperfectos que se encuentren en las máquinas del equipo de refrigeración.

### **3.4.3.2. Monitoreo remoto**

El monitoreo remoto consiste en llevar un seguimiento de valores de medición por medio de una serie de sensores, con el propósito de mandar una señal que permita ver la operatividad del proceso del sistema de un equipo, o bien detectar un cambio que esto pueda presentar. De igual manera, poder observar el estado del mismo en tiempo real, sin estar cerca del panel o pantalla de lectura que monitorea el equipo.

Para el monitoreo remoto del equipo de refrigeración se tiene un conjunto de sensores y transductores que permiten tener lectura de los parámetros de medición, que son indispensables para comprender el trabajo operacional del equipo y para estar al tanto de algún cambio en la lectura de los parámetros que posteriormente puedan repercutir en algún fallo, defecto o paro mayor en el equipo. Con base en este monitoreo se obtuvieron los siguientes cambios:

- Proporciona información sobre el rendimiento del equipo de refrigeración.
- Un registro evidente de datos del estado actual y continuo del proceso de operación del equipo.
- Ayuda a detectar ineficiencias del sistema del equipo e identifica los pasos para mejorar la capacidad.
- Se puede aumentar la efectividad general de los equipos.
- Permite detectar las anomalías que se puedan presentar por futuras fallas o averías.

#### **3.4.4. Registro y control de datos periódicos del equipo de refrigeración**

Para el registro de información es necesario chequear toda actividad de mantenimiento preventivo o correctivo que se ha realizado en el equipo, como historial de respaldo de actividades anteriores que se tiene con base en las órdenes de trabajo ejecutadas por el mismo, de igual forma es necesario elaborar un formato de ficha de información, que se pueda implementar para el equipo y que pueda ser utilizado en un futuro para otros.

Ficha de equipo: se registra la historia o vida de una máquina, desde que esta fue adquirida hasta la fecha actual. En esta ficha se señalan sus partes y se registran las inspecciones técnicas que se realizan por parte del técnico y contratistas de la empresa. El registro debe considerar:

- Fabricante: país de procedencia del equipo.
- Equipo: se registra el nombre del mismo.
- Tipo o modelo: se indica el tipo o modelo de máquina.
- Número de registro: se anota el número que corresponde al registro del equipo en el inventario para el SAP.
- Antecedentes: aplicaciones que ha tenido el equipo en el pasado.
- Características técnicas del equipo: se registran las medidas de tamaño, capacidades de potencia, torque, entre otros.
- Número de serie: se obtiene de la placa del equipo.
- Ubicación: se señala la sección donde se encuentra el equipo, en caso de que sea estacionario.
- Adquisición: se registra la fecha de adquisición y el valor de compra.

El control de la información que se va generando desde el equipo de refrigeración basado en el registro se realiza por medio de la implementación de la pantalla delta y del SAP de la empresa, donde se lleva el control total de toda la información del equipo de refrigeración en general, para la confiabilidad y disponibilidad de las máquinas y así hacer más eficiente el proceso, sabiendo que este proyecto está basado en la implementación de la información, para la confiabilidad y disponibilidad de las máquinas para hacer eficiente la funcionabilidad del equipo.

Con este registro y control periódico se podrá tener el consumo de refrigerante del equipo en general, y del aceite para los compresores, lo ayudará a realizar el análisis de los gastos por consumo del equipo. También ayudará al conocimiento cuándo y cuánto refrigerante o aceite de lubricación se ha introducido al equipo, para poder detectar la posibilidad de una fuga no visible dentro del sistema.

#### **3.4.4.1. Orden de trabajo OT**

Para la implementación de un buen plan de mantenimiento predictivo es necesario agregar a las órdenes de trabajo ya establecido en el SAP, un nuevo formato y en este que ayude el cambio de mantenimiento predictivo para que la programación sea fiable y eficaz, valorizando los tiempos de las órdenes de trabajo correctivo y preventivo y así realizar las tareas que constituyan su elaboración de trabajo. Dentro de la ejecución de las órdenes de trabajo se debe tener en cuenta para su realización los siguientes pasos:

- Identificación de trabajo
- Planificación
- Programación

- Asignación
- Ejecución
- Retroalimentación

También para elaborar una orden de trabajo debe organizarse niveles de prioridad, los cuales deben ser indicados en cada solicitud de trabajo e imprescindibles para una adecuada programación, siendo los siguientes:

- Prioridad S: trabajos urgentes de emergencia, para evitar daños a la propiedad o a las personas. No programados. Intervención inmediata.
- Prioridad A: trabajo urgente, para evitar pérdidas de producción o para asegurar la calidad. Intervención en 24 horas.
- Prioridad B: trabajos normales para asegurar la disponibilidad.

Programación para realizarse a la semana, al mes y al año.

- Prioridad C: trabajos de paradas. Se deben realizar en la próxima parada programada.

Pese a que el mantenimiento predictivo es una técnica que se utiliza para prevenir fallas, se toman como base las actividades ya establecidas en la programación del mantenimiento predictivo del equipo, las cuales son:

- Preparación de trabajos
- Estimación de la mano de obra
- Estimación de materiales
- Estimación de medios auxiliares
- Procedimiento de trabajo
- Permisos de trabajo

### **3.4.5. Análisis de vibración**

Para la implementación del mantenimiento predictivo mediante la técnica de análisis de vibraciones, primero se debe saber que esta técnica solo será utilizada para los motores eléctricos de los compresores, evaporadores y condensadores, ya que son los únicos equipos rotativos que se encuentran sometidos a vibraciones y no tienen especificaciones sujetas a las mismas, por lo que se determinó realizar un análisis para ver la situación en que se encuentran operando.

Se realizarán para cada uno de los motores eléctricos, mediciones, diagnósticos y análisis de fallas de vibraciones con ayuda de instrumentos electrónicos de medición, que se tiene contemplado comprar para efectuar estas técnicas de mantenimiento predictivo. De esta manera se podrá detectar si los motores se encuentran sometidos a vibraciones ya sea por sus mismas cargas de trabajo o por resonancias externas.

La metodología para la realización del análisis de vibraciones consiste primero en tener a la mano el tipo de movimiento, tipo de rodamientos, velocidad, entre otras cosas, en concreto tener la ficha técnica del equipo. Luego se procederá a medir los tres tipos de amplitudes, velocidad, aceleración y desplazamiento. Para hacer un buen diagnóstico se podrá apoyar con la gráfica de magnitudes que se instalará en la pantalla delta, la cual facilitará la visualización de los parámetros de vibración para los motores eléctricos de los compresores, para los demás se utilizará un equipo de lectura de vibraciones. En la gráfica además se podrá ver si hay un desplazamiento en el equipo, si tiene las frecuencias bajas y si las aceleraciones de las frecuencias se encuentran altas.

Dentro del método de medición se encontrará:

- Vibración global: es la vibración total de la energía medida dentro de un rango de frecuencia determinada, lo cual indica la condición actual del equipo.
- Medición de fase: es la diferencia angular entre una marca de referencia en un eje rotatorio y la señal de la vibración del eje.
- Detecciones de altas frecuencias: es un índice de problemas tempranos que despliega un valor numérico global de vibraciones que se generan por pequeños defectos.

#### **3.4.6. Análisis de termografía**

La técnica de mantenimiento predictivo de análisis de termografía consiste en la observación con gran precisión de la temperatura del equipo a distancia, sin la posibilidad de contacto en el cual se puede realizar una inspección de las condiciones de los equipos en funcionamiento, ya que permite ver de forma clara las partes de los equipos del sistema de refrigeración. El proceso del análisis de termografía se basa en cámaras termográficas que son sensibles a la radiación y que permiten medir y determinar la temperatura de las superficies que la irradian.

El procedimiento para el desarrollo de esta técnica en el equipo de refrigeración consiste en buscar calentamientos localizados por fallos en el estator, calentamiento de cojinetes y rodamientos por mala lubricación. También daños en las pistas de rodadura, en los elementos rodantes o en la jaula y la verificación de acoplamientos de eje, para identificar desalineaciones o daños en los mismos.

La implementación de la técnica predictiva se utilizará para los motores eléctricos en donde se evaluará la temperatura de superficie con precisión a la que el equipo está trabajando, la realización del análisis se debe efectuar cada tres meses o cuando el equipo presente algún problema en rodamientos y cojinetes.

### **3.4.7. Momento y forma de solución de equipo**

A continuación se muestran los aspectos que son de apoyo para la realización de un buen mantenimiento al equipo.

#### **3.4.7.1. Historial de repuestos**

Dentro del departamento de mantenimiento no se cuenta con un historial de repuestos para el equipo de refrigeración, debido a que había una empresa *outsourcing* encargada de realizar el mantenimiento del mismo, por lo que se decidió implementar una hoja de control e historial de repuestos, que son utilizados en el equipo de refrigeración, la cual se presenta a continuación:

Figura 11. Hoja de control de repuestos

 <b>Departamento de Mantenimiento</b>						
<i>Historial de Repuestos Equipo de Refrigeración</i>						
No.	Fecha	Repuesto	Cantidad	Codigo de Stock	Máquina	Descripción
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						

Fuente: elaboración propia.

Con la implementación de esta hoja de control de repuestos se pretende crear un historial detallado del mantenimiento que se ha realizado al equipo, para que en un futuro se tengan antecedentes de cuántas veces se ha hecho el cambio de piezas en un mismo lugar de la máquina o para ver si el repuesto que se le está instalando al equipo es de buena calidad, entre otros aspectos.

### 3.4.7.2. Listado de repuestos

Con el propósito principal de conocer los accesorios y piezas que se utilizan con mayor frecuencia y en los que repetidamente se realizan cambios por algún fallo o avería en alguna parte de las máquinas que componen el equipo de refrigeración, es necesario apoyarse con los técnicos mecánicos de

la empresa, los cuales conocen el estado del equipo. Se tienen los siguientes repuestos que son empleados:

- Cojinete 6313: es un cojinete de rodamiento rígido de bolas, para altas temperaturas que trabaja para altas revoluciones. Son utilizados para los motores eléctricos de los compresores de tornillo, los cuales, debido a la falla por amperaje en uno de los compresores, desgastan los cojinetes rápidamente hasta que dejan de realizar su función.
- Grasa para altas revoluciones: este tipo de grasa es utilizada para los cojinetes 6313 como lubricante para altas revoluciones y para altas temperaturas de trabajo de los compresores de tornillo
- Sensores tipo J Johnson: este tipo de sensores son utilizados como la lectura de temperatura del agua fría que se emplean para alimentar la *mixer* Hércules y también para el cuarto frío del *blast freezer*. Como cualquier componente eléctrico, puede tener un corto circuito o cualquier falla que deje de tomar lectura, por lo que se tendrán repuestos para cambiar al instante.
- Cilindros AZ 50: cilindros de refrigerante que se utilizan cuando el nivel de refrigerante está muy bajo o cuando el equipo de refrigeración no está enfriando a la temperatura correcta, a causa de fugas en el sistema.
- Aceite de compresor: polyol-ester es el aceite con adictivos para que se pueda combinar y separar del refrigerante, cuando entran a los compresores de tornillo. El aceite se ha utilizado cuando su nivel en los compresores es muy bajo, esto debido a pequeñas fugas que hay en la

tubería, que hacen pasar el aceite en los compresores hacia el sistema de refrigeración.

- Juego de empaques: el *kit* de empaques es utilizado para los compresores de tornillo cuando se tiene algún problema, se puede cambiar con facilidad.
- Glicol: es un aditivo anticongelante que se utiliza para el agua de los tanques de agua fría, que pasa por los *chiller* L2, el cual permite que el agua fluya y no se congele dentro de los *chiller*.
- Motores eléctricos: se tienen motores eléctricos de pequeña potencia, que se utilizan cuando se daña algún motor eléctrico de los condensadores.
- Armaflex: es un tipo de aislamiento que se utiliza para cubrir las tuberías de refrigeración que no permiten la salida ni entrada de calor. Es un accesorio que se emplea cuando el aislamiento viejo tiene imperfecciones y por lo tanto necesita cambiarse.

Aunque no entran en el listado de repuestos, los ajustes del eje, del embobinado y de las tapaderas de los motores eléctricos son realizados por una empresa especializada en dar mantenimiento a motores eléctricos para el buen funcionamiento del equipo de refrigeración, ya que es indispensable para el sistema de refrigeración. Posiblemente no se tenga un listado grande de repuestos empleados para el equipo de refrigeración, ya que es difícil que se tengan fallas o averías visibles dentro de las máquinas y equipos que lo componen.

### **3.4.8. Programa de mantenimiento**

El programa consiste en la documentación de actividades periódicas preventivas y predictivas que deben llevarse a cabo para la toma de decisión de realizar la intervención a las partes determinadas del equipo. Es un sistema de información que permite llevar el mantenimiento de una manera organizada para el control de actividades e intervenciones realizadas a los componentes del equipo.

#### **3.4.8.1. Actividades de mantenimiento**

Son actividades que se realizan frecuentemente para el buen funcionamiento del equipo de refrigeración. A continuación se presenta como base inicial las actividades que se deben realizar, sin embargo, se deben ir agregando otras actividades de mantenimiento hacia otras partes del equipo, a fin de ir cubriendo sus necesidades. Las actividades se irán mejorando a medida que se vaya retroalimentando el programa para ajustarse a la realidad.

Dentro de las actividades de mantenimiento se tienen:

- Actividades mecánicas
- Actividades eléctricas
- Actividades de lubricación
- Actividades de instrumentación

Las actividades de mantenimiento se encuentran clasificadas con base en rutinas de mantenimiento semanal, trimestral y anual.

- Las rutinas semanales son tareas dedicadas a la inspección y revisión periódica, que permiten tener un control general del estado actual del equipo de refrigeración, mientras el mismo se encuentra funcionando.
- Las rutinas trimestrales corresponden a las actividades de mantenimiento predictivo que se realizan a través de las técnicas de mantenimiento como el análisis de vibraciones y termográfico, para ver el comportamiento de los componentes del equipo. Estas técnicas se realizan mientras el equipo se encuentra funcionando.
- Las rutinas anuales son tareas de mantenimiento de cambio de piezas; consisten en una revisión general de los componentes del equipo de refrigeración a las cuales se les realiza un cambio de piezas. Para las tareas se debe realizar cuando se tenga un paro programado de mantenimiento.

Figura 12. Programa de mantenimiento semanal

Departamento de Mantenimiento						
<b>Programa Semanal</b>						
Área:			Equipo:			
Fecha:		Hora:	Turno:		No.	
Día:			Última modificación:			
<b>Personal encargado actividad de mantenimiento</b>						
Nombre:			SAP:			
<b>Tiempo estimado de ejecución: 30 minutos</b>						
<b>Herramientas a utilizar</b>						
Linterna		Manómetros de refrigeración		Metro		
Multímetro		Juego de llaves		Desarmadores		
Pistola de temperatura		Cinta de aislar				
<b>Medidas de seguridad</b>						
Casco de seguridad		Gafas de protección visual		Respiradores de cartucho químico		
Máscara de soldadura		Guantes de soldadura		Máscaras de depósitos		
Mangas de soldadura		Guantes de aislantes		Respiradores y máscaras con suministro de aire		
Protectores faciales		Respiradores de filtro mecánico				
Tapones		Orejeras		Calzado de cuero punta metal		
Cinturones de seguridad		Arnes de goma		Calzado de material aislante		
Ropa protectora para frío		Ropa protectora para químicos		Calzado de botas de goma		
<b>Actividades</b>						
<i>Actividad eléctrica</i>			<i>Parametros de medición</i>			
<b>Parametro de medición</b>		<b>Rango bajo</b>	<b>Rango alto</b>	<b>Rango optimo</b>	<b>Lectura</b>	<b>Observacion</b>
<b>Presión de succión</b>						
Un compresor funcionando		5 psi	11 psi	8 psi		
Dos compresores funcionando		7 psi	14 psi	10 psi		
<b>Presión de descarga</b>						
Un compresor funcionando		180 psi	205 psi	200 psi		
Dos compresores funcionando		210 psi	230 psi	220 psi		
<b>Presión de aceite</b>						
Compresor 1		80 psi	100 psi	90 psi		
Compresor 2		80 psi	100 psi	90 psi		
<b>Variadores</b>						
Variador 1		70 amp	90 amp	85 amp		
Variador 2		70 amp	90 amp	85 amp		
<b>Voltaje</b>						
Variador 1		460 V				
Variador 2		460 V				
<b>Frecuencia</b>						
Variador 1		60 Hz				
Variador 2		60 Hz				
<b>Temperatura de aceite</b>						
Variador 2		57°C	80 °C	70°C		
Variador 2		70 amp	90 amp	85 amp		
<b>Voltaje</b>						
Variador 1		460 V				
Variador 2		460 V				
<b>Frecuencia</b>						
Variador 1		60 Hz				
Variador 2		60 Hz				
<b>Temperatura de aceite</b>						
Variador 2		57°C	80 °C	70°C		
<b>Temperatura de mixer hércules</b>		-21°C	-23°C	-23°C		
<b>Temperatura de blast freezer</b>		-18°C	-24°C	-24°C		

Continuación de la figura 12.

<u>Actividad de lubricación</u>	<u>Equipo general</u>			
<b>Actividad de lubricación</b>	<b>Bajo</b>	<b>Medio</b>	<b>Alto</b>	<b>Descripción</b>
Revisión de nivel de aceite de compresor				
Revisión de nivel de refrigeración				
Revisión de engrase y lubricación de motores eléctricos compresores				
Revisión de engrase y lubricación de motores eléctricos de motoventiladores				
Inspección visual de glicol de agua fría				
<u>Actividad de instrumentación</u>	<u>Descripción general</u>			
<b>Actividad de instrumentación</b>	<b>Buena</b>	<b>Mala</b>	<b>Descripción general</b>	
Calibración de manómetros				
Inspección de manómetros				
Inspección de válvulas				
<u>Actividad mecánica</u>	<u>Descripción general</u>			
<b>Actividad mecánica</b>	<b>Mala</b>	<b>Regular</b>	<b>Buena</b>	<b>Descripción del estado</b>
Revisión de compresores				
Revisión de condensador				
Revisión de chillers				
Revisión evaporadores				
Inspección olfativa de fugas de refrigerante				
Inspección visual de fugas de aceite de compresor				
Revisión de tuberías de sistemas				
<b>Observaciones</b>				
Nombre de encargado:			Firma:	
Jefe de Mantenimiento:			Firma:	

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. Programa de mantenimiento trimestral

Departamento de Mantenimiento			
<b>Programa trimestral</b>			
Área:		Equipo:	
Fecha:	Hora:	Turno:	No.
Día:	Ultima modificacion:		
<b>Personal encargado actividad de mantenimiento</b>			
Nombre:		SAP:	
<i>Tiempo estimado de ejecución: 30 minutos</i>			
<b>Herramientas a utilizar</b>			
Equipo de vibraciones		Equipo termografico	Manómetros de refrigeración
		Pistola de tempeeratura	
<b>Medidas de seguridad</b>			
Casco de seguridad	Gafas de protección visual	Respiradores de cartucho químico	
Mascara de soldadura	Guantes de soldadura	Máscaras de depósitos	
Mangas de soldadura	Guantes de aislantes	Respiradores y máscaras con suministro de aire	
Protectores faciales	Respiradores de filtro mecánico	Calzado de cuero punta metal	
Tapones	Orejas	Calzado de material aislante	
Cinturones de seguridad	Arnes de goma	Calzado de botas de goma	
Ropa protectora para frío	Ropa protectora para quimicos		
<b>Actividades</b>			
<u>Análisis de vibraciones</u>		<u>Descripción de proceso</u>	
Motor eléctrico compresor 1			
Motor eléctrico compresor 2			
Motoventiladores de condensador			
<u>Análisis termografico</u>		<u>Descripción de proceso</u>	
Motor eléctrico compresor 1			
Motor eléctrico compresor 2			
Tablero eléctrico sistema de monitoreo			
Tablero eléctrico emerson			
Tablero eléctrico variador 1			
Tablero eléctrico variador 2			
Tablero evaporador			
Tablero condensador			
<b>Observaciones</b>			
Adjuntar al programa de mantenimiento los resultados obtenidos del análisis de vibraciones y termografico, de cada uno de los componentes del programa de mantenimiento.			
Nombre de encargado:		Firma	
Jefe de Mantentimiento:		Firma	

Fuente: elaboración propia.

Figura 14. Programa de mantenimiento anual

Departamento de Mantenimiento					
<b>Programa anual</b>					
Área:		Equipo:			
Fecha:	Hora:	Turno:	No.		
Día:	Ultima modificación:				
<b>Personal encargado actividad de mantenimiento</b>					
Nombre:				SAP:	
<b>Tiempo estimado de ejecución: 30 minutos</b>					
<b>Herramientas a utilizar</b>					
Registrar cada una de las herramientas a utilizar para realizar el mantenimiento.					
<b>Medidas de seguridad</b>					
Casco de seguridad	Gafas de protección visual	Respiradores de cartucho químico			
Mascara de soldadura	Guantes de soldadura	Máscaras de depósitos			
Mangas de soldadura	Guantes de aislantes	Respiradores y máscaras con suministro de aire			
Protectores faciales	Respiradores de filtro mecánico	Calzado de cuero punta metal			
Tapones	Orejas	Calzado de material aislante			
Cinturones de seguridad	Arnes de goma	Calzado de botas de goma			
Ropa protectora para frío	Ropa protectora para quimicos				
<b>Actividades</b>					
<b><u>Actividad motor eléctrico compresores</u></b>			<b><u>Descripción de proceso</u></b>		
Revisión y cambio de cojinetes					
Revisión y cambio de rodamientos					
Limpieza y mantenimiento de embobinado y rotor de motor eléctrico.					
Inspección y cambio de estado de cables					
<b><u>Actividad en general del equipo</u></b>			<b><u>Descripción de proceso</u></b>		
Revisión de fugas en lugares difíciles acceso					
Cambio de armaflex en tuberías					
Revisión y cambio de empaques de compresor					
Revisión / cambio de cojinetes moto ventiladores de condensador					
Embobinado de moto ventiladores de condensador					
Revisión/ inspección de Tranductores					
Revisión/ inspección de Termocuplas tipo J y PT 100					
Revisión/ inspección de variadores					
Revisión/ inspección de sistema de deshielo evaporador					
<b>Observaciones</b>					
Nombre de encargado:			Firma		
Jefe de Mantentamiento:			Firma		

Fuente: elaboración propia.



## **4. INSTALACIÓN DE PLC PARA MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

### **4.1. Concepto básico de PLC**

Un controlador lógico programado (PLC) es un equipo electrónico diseñado para controlar el tiempo real de la ejecución del mismo. Es también un medio utilizado para la automatización industrial de máquinas que pueden desarrollar diferentes funciones lógicas, series, paralelos, temporizaciones, cuentas, cálculo de regulaciones, entre otros. El PLC, a diferencia de una computadora, consiste en la gran cantidad de entradas y salidas que puede gestionar la durabilidad y capacidad de funcionamiento en entornos conflictivos para la electrónica.

Dentro del proceso de programación de un PLC se deben realizar las siguientes tareas, que no son más que las relaciones entre las señales de entrada que se tienen que cumplir para activar cada salida en el desarrollo del proceso de un PLC:

- Campo de aplicación
- Espacio recluso
- Procesos de producción periódicamente cambiantes
- Procesos secuenciales
- Instalaciones de procesos complejos
- Maquinaria de procesos variables
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso

Para el proyecto de plan de mantenimiento se tiene prevista la automatización de un sistema que permita la monitorización del funcionamiento del equipo de refrigeración, por medio de la recepción de señales analógicas y digitales de transductores, que serán implementados como parámetros de lectura para su control, que posteriormente serán trasladados a una pantalla delta para la visualización de la lectura que se tenga del equipo.

Figura 15. **PLC delta y logo v8**



Fuente: Panifresh, S.A. *PLC delta*. Consulta: julio de 2019.

En la imagen se muestra al lado derecho el Logo V8 con dos expansiones de logo, y del lado izquierdo tres módulos PLC delta conectados en conjunto, en los cuales se tienen conectadas las señales de los transductores, que luego por vía cable Internet de color negro son trasladados a una pantalla delta.

## **4.2. Instrumentación**

Dentro de la instalación de un tablero eléctrico para el sistema de automatización se tendrá la implementación del monitoreo, control y seguimiento de parámetros de medición del equipo de refrigeración, para el mantenimiento predictivo del mismo. Primero se debe conocer los diferentes tipos de sensores que fueron utilizados para la lectura de los parámetros de medición que a continuación se presentan.

### **4.2.1. Transductores**

Los transductores son dispositivos eléctricos que transforman un tipo de variable física en otra, son utilizados para medir una variable física de interés. Para la instalación del transductor es necesario conectar la señal que transmita con el PLC, para que pueda ser utilizado como un dispositivo de medida. Para la instalación de los transductores se tienen dos diferentes clasificaciones: analógica y digital.

- Analógica, es la que proporciona una señal continua de corriente eléctrica. La señal también puede ser tomada como el calor de la variable física que se mide.
- Digital, es una señal de salida digital formada de un conjunto de bits de estado en paralelo o formado por una serie de pulsaciones que pueden ser contadas.

Los sensores del tipo transductor serán utilizados para la lectura de medición de las magnitudes de las variables físicas de presión de succión, presión de descarga y presión de aceite.

Figura 16. **Transductor de succión**



Fuente: Panifresh, S.A. *Transductor de succión*. Consulta: julio de 2019.

El transductor de succión del sistema general del equipo de refrigeración se emplea como una lectura de la presión a la que entra el refrigerante al compresor, la cual debe estar en el rango de 5 psi a 15 psi para que así el equipo trabaje óptimamente. Para la conexión eléctrica del transductor este fue conectado directamente al módulo PLC delta para dar paso directo a la pantalla delta.

Figura 17. **Transductor de descarga**



Fuente: Panifresh, S.A. *Transductor de descarga*. Consulta: julio de 2019.

De igual forma que el transductor de descarga, se utiliza para tener la lectura de la presión de descarga de refrigerante, luego de pasar por el compresor, el cual debe mantenerse en un rango de 150 psi a 240 psi para el

mejor rendimiento del equipo. Al igual que el transductor de descarga, se encuentra conectado al módulo PLC delta.

Figura 18. **Transductor de aceite**



Fuente: Panifresh, S.A. *Transductor de aceite*. Consulta: julio de 2019.

El transductor de aceite es diferente a los otros dos, ya que se encuentra conectado a la línea del sistema de aceite de los compresores. De este transductor se obtiene la presión a la que entra el aceite a los compresores, por lo cual debe estar a una presión no mayor de 130 psi, es importante saber que la presión de aceite puede cambiar constantemente. Otra diferencia respecto a los otros es que van conectados los tres traductores al Logo V8.

#### **4.2.2. Termocuplas**

Las termocuplas son sensores eléctricos utilizados para medir valores de temperatura. Este tipo de sensor está conformado por dos alambres de distintos materiales unidos en un extremo generalmente por soldadura. La función de la

termocupla consiste en el contacto de calor que se genera en la unión de los metales, que a la vez generan un voltaje muy pequeño del orden de los milivolts, el cual aumenta con la temperatura. La unión de dos metales distintos produce una diferencia de potencial que es pequeña y que luego comienza a aumentar. La diferencia de temperatura que existe entre los dos ayuda a detectar su punto caliente y su punto frío.

En conclusión, la lectura de temperatura consiste en traducir una señal de temperatura en una señal de voltaje. Asimismo, se debe saber que existen diferentes tipos de termocuplas que fueron utilizadas en el proyecto, las cuales son termocuplas tipo J y termocuplas PT100.

#### **4.2.2.1. Termocupla tipo J**

Es una termocupla fabricada con hierro y conformada de una aleación o combinación de cobre y níquel. Se caracteriza por tener una buena resistencia eléctrica, que tiene alto rango de resistencia, pero que necesita sumo cuidado, debido a que puede oxidarse fácilmente sin la debida protección. Además, este tipo de termocupla es común usarla para rangos de temperatura de aproximadamente 40 a 750 centígrados, con una sensibilidad de 55 %.

En la empresa los sensores o termocuplas tipo J son muy utilizados para la lectura de magnitudes de calor, en maquinarias que trabajan a altas temperaturas que se manejan en las líneas de producción. Es por ello que en el equipo de refrigeración se instalaron termocuplas tipo J, para la medición de temperatura de descarga, a la que sale el refrigerante cuando pasa por el compresor y la temperatura del aceite a la que debe mantenerse el mismo para una buena lubricación en el compresor.

Figura 19. **Termocupla tipo J de descarga**



Fuente: Panifresh, S.A. *Termocupla tipo J*. Consulta: julio de 2019.

Figura 20. **Termocupla tipo J de aceite**



Fuente: Panifresh, S.A. *Termocupla tipo J de aceite*. Consulta: julio de 2019.

La medición que debe tener cada uno de los sensores puede variar debido al factor del ambiente, la demanda de refrigeración y el rendimiento del equipo para las termocuplas tipo J de descarga, deben tener una temperatura de 40 °C a 60 °C, y las tipo J de aceite una temperatura de 30 °C a 45 °C.

Las termocuplas instaladas presentan un problema y es que no se encuentran colocadas superficialmente sobre la tubería, tanto el sensor de descarga como el sensor de aceite, por lo que es necesario hacerle modificaciones a la tubería, introduciendo un termopozo que se colocará dentro de la tubería, para tener una lectura de temperatura.

#### **4.2.2.2. Termocupla PT 100**

La termocupla Pt 100 es un sensor termo-resistivo que genera resistencia eléctrica cuando es sometido a temperatura. Las PT 100 son una combinación de una bobina de hilos muy pequeña, la cual contiene como núcleo vidrio o cerámica y alambre hecho de platino, que al ser sometido a 0 °C emite una resistencia eléctrica de 100 ohms. A medida que aumenta la temperatura, se incrementa también la resistencia eléctrica producida por el alambre de platino.

La termocupla PT 100 es un sensor que goza de una mayor exactitud al momento de reflejar la temperatura a la que es sometido, por lo tanto, tiene un costo mayor que los demás sensores. Este tipo de sensor es utilizado en el equipo de refrigeración, para la lectura de temperatura final del agua fría que es utilizada, para la mezcla de la masa en la *mixer* Hércules y la temperatura final a la que debe enfriarse el *blast freezer*.

Figura 21. **PT 100 *blast freezer***



Fuente: Panifresh S.A. *PT 100 blast freezer*. Consulta: julio de 2019.

Figura 22. **PT 100 *mixer Hércules***



Fuente: Panifresh, S.A. *PT 100 mixer Hércules*. Consulta: julio de 2019.

La *PT 100 blast freezer* se encuentra dentro del cuarto frío, el cual debe dar una lectura exacta de  $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a la cual se deben mantener los pasteles; mientras que la *PT 100 mixer Hércules* se encuentra en un codo de la tubería que traslada el agua fría del intercambiador de calor *chiller* hacia la máquina

*mixer* Hércules, a una temperatura de -23 °C. Cada una de las PT100 se encuentra conectada con el Logo V8.

### 4.3. Logo de Siemens

Para comprender el funcionamiento del Logo V8 se debe comprender qué es un PLC autómatas. Está diseñado para realizar pequeñas aplicaciones industriales y posee grandes características en el uso de las entradas y salidas, además se le pueden implementar módulos de expansión que permitan ampliar sus conexiones. Dentro de las características que presenta el Logo V8 están:

- Posee 8 entradas que van referenciadas a la fuente de alimentación
- Tiene 4 salidas que pueden ser por relevo o transistor
- Puede encontrarse con pantalla LCD o sin ella
- Puede conectarse a través de una red Ethernet

Figura 23. **Logo V8**



Fuente: Panifresh, S.A. Logo V8. Consulta: julio de 2019.

Ahora bien, para la implementación de variables de medición del equipo de refrigeración se utilizó el Logo V8 más dos expansiones de conexión del Logo en la programación de variables físicas, para tener lectura de las mediciones de presión de aceite y de temperatura de las PT 100. La función principal del Logo V8 a la que fue programada consiste en administrar el monitoreo de las señales que entran al PLC, para luego ser trasladados por medio de un cable de red Ethernet hacia un módulo GSM. Dentro de la programación del Logo se tiene:

- La señal de las variables de medición que se obtienen de los sensores que están conectados al logo.
- Un sistema de alarma programado cuando la medición que trae alguno de los sensores pase el rango de medición de óptimo trabajo de cada variable. Cuando la medición sobrepasa el rango de trabajo se activa la alarma y manda una señal al GSM.
- A través de la pantalla que trae el logo, se puede visualizar la lectura de medición que se tiene de los sensores.

#### **4.4. Qué es un GSM**

Para empezar, un GSM por sus siglas en inglés significa Global System for Mobile Communications y en español es Sistema Global para las Comunicaciones Móviles. Se utiliza como sistema de telefonía móvil digital para teléfonos móviles, funciona como un dispositivo digital inalámbrico de red digital de soporte de voz, datos y mensajes de texto.

Figura 24. **GSM, CMR 2020**



Fuente: Panifresh, S.A. *GSM CMR 2020*. Consulta: julio de 2019.

El módulo GSM de la serie CMR 2020 que se instaló para el proyecto tiene las siguientes funciones:

- Ser un receptor de señales de alarma que son enviadas desde el Logo V8 y del módulo PLC delta por medio de la red Ethernet.
- Al recibir la señal del PLC, el GSM se encarga de transformar la señal en un mensaje de texto, que es enviado a cualquier teléfono móvil que esté determinado como receptor del mensaje de texto. El mensaje se encarga de avisar si es una emergencia o de ir a revisar alguna sección del equipo de refrigeración, esto dependiendo del tipo de mensaje que es enviado.

- El GSM puede recibir mensajes de texto enviados desde el teléfono, por medio de palabras claves que permiten que el dispositivo extraiga cierta información solicitada desde los PLC y de la pantalla delta.

Algo muy importante es que el GSM es un dispositivo que utiliza una SIM de telefonía 3G o 4G para que pueda enviar los mensajes, por consiguiente se puede decir que el GSM se encarga de realizar las funciones simples de un teléfono móvil.

#### **4.5. Sistema de visualización**

Para el desarrollo del plan de mantenimiento predictivo se implementó e instaló un sistema automatizado de monitoreo, seguimiento y control de parámetros de medición que se encuentra dentro de un tablero eléctrico y una pantalla delta, las cuales contienen los dispositivos eléctricos y la programación digital del sistema ya antes mencionado, el cual se tratará posteriormente.

##### **4.5.1. Tablero eléctrico**

Un tablero eléctrico es un gabinete de distribución donde se alojan todos los componentes eléctricos que se requieren para la implementación del sistema de automatización de mantenimiento predictivo. Dentro del tablero eléctrico es posible encontrar los siguientes componentes eléctricos:

Figura 25. **Tablero eléctrico**



Fuente: Panifresh, S.A. *Tablero eléctrico*. Consulta: julio de 2019.

- Interruptor de corriente eléctrica: es el encargado de permitir el paso de corriente hacia los componentes eléctricos dentro del tablero eléctrico.
- Un transformador de corriente delta que ajusta o transforma la corriente eléctrica de entrada a la corriente que deben consumir los demás dispositivos delta.
- Después están los módulos PLC delta, los cuales realizan las siguientes funciones:
  - El primero es el módulo que transmite la señal de los demás módulos hacia la pantalla delta por medio de un cable de red Ethernet.
  - El segundo módulo PLC se encarga de obtener la señal de las variables de medición de los transductores de presión de descarga y

de succión y de las variables de medición de corriente de los variadores.

- El tercero contiene la señal de las termocuplas tipo J de temperatura de aceite y de descarga.
- Luego se tiene el Logo V8 con dos expansiones de logo, el cual funciona de la siguiente manera:
  - La pantalla del logo funciona como un monitor del PLC, donde se visualizan las señales y se configura el programa del logo de una forma manual y además se encarga de enviar la señal hacia el GSM.
  - La expansión 1 contiene los transductores de presión de aceite de los tres compresores.
  - La expansión 2 contiene la señal de las PT100 de temperatura del *blast freezer* y de la *mixer* Hércules.

Luego se tiene el GSM de Siemens, encargado de recibir y enviar la señal de los sensores hacia el teléfono móvil como un mensaje de texto. Por último están los borneros de cada una de las señales de los sensores de trabajo.

#### **4.5.2. Pantalla delta**

Para la instalación del programa de mantenimiento predictivo está la pantalla delta, en la cual se visualiza el programa de monitoreo, seguimiento y control de parámetros de medición del equipo de mantenimiento.

Figura 26. **Pantalla delta**



Fuente: Panifresh, S.A. *Pantalla delta*. Consulta: julio de 2019.

Dentro de la pantalla es posible encontrar desplegados diferentes botones que contienen las funciones del sistema de mantenimiento predictivo, con todas las programaciones básicas que se pidieron para el control, monitoreo y seguimiento del equipo.

#### **4.5.3. Teléfono móvil**

Como resultado de la implementación del programa de plan de mantenimiento predictivo se tiene el sistema de mensajería, el cual por medio del GSM envía un mensaje de texto a cualquier teléfono móvil. Finalmente están los mensajes de texto, que son enviados a los teléfonos de los técnicos mecánicos, que sirven de alerta cuando se activa una de las alarmas de los parámetros de medición, que avisa a los técnicos si el equipo tiene alguna falla o si se ha presentado algún paro inesperado en el equipo, entre otros.

Figura 27. Mensajería de teléfono



Fuente: Panifresh, S.A. *Mensajería de teléfono*. Consulta: julio de 2019.



## **5. FASE DOCENTE: CAPACITACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO**

### **5.1. Efectos directos e indirectos del mantenimiento**

Entre los efectos directos e indirectos alcanzados se obtuvieron impactos importantes que mejoraron el rendimiento del equipo de refrigeración, con base en la implantación del mantenimiento RCM y de la instalación de un sistema de monitoreo y control, como un mantenimiento predictivo del equipo.

Dentro de los efectos directos obtenidos en el equipo de refrigeración se tienen:

- Reducción del tiempo de respuesta por parte de los técnicos mecánicos, para reconocer cuando el equipo presenta alguna falla o avería, con la ayuda del sistema de alarmas del plan de mantenimiento predictivo.
- Sistema de mensajería que permite conocer el estado en el que se encuentra el equipo de refrigeración, desde cualquier lugar, dentro o fuera de la empresa, sin la necesidad de estar cerca del equipo.
- Reducción del consumo de cilindros de refrigeración utilizados en el sistema de refrigeración y del aceite en los compresores de tornillos, debido al control de fugas que se han generado dentro de la distribución de tuberías del equipo.

- Reducción de paros inesperados y tiempo perdido por cada uno de los mismos; como fruto de ello, hubo menos desperdicio de producto mensual en comparación al año anterior.

Dentro de los efectos indirectos obtenidos en el equipo de refrigeración se tienen:

- Un nuevo tablero eléctrico en donde se puede visualizar y revisar cada uno de los parámetros de medición del equipo de refrigeración, sin movilizarse de un lugar a otro y con ello evaluar el estado actual del equipo.
- Un sistema de automatización, el cual se puede seguir modificando según las necesidades del equipo.
- Nuevas modalidades o planes de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo, para el incremento de vida útil del equipo.
- Progresos en la confiabilidad y rendimiento en el equipo de refrigeración con la ayuda del plan de mantenimiento RCM.

## **5.2. Indicadores**

Se mostrarán los cambios y progresos que se han obtenido en el equipo de refrigeración, por medio del plan de mantenimiento y la instalación del sistema de monitoreo y control de los parámetros de medición.

### 5.2.1. Tiempo de operación

Para empezar, primero se debe comprender los problemas que el equipo de refrigeración ha tenido a lo largo del año pasado, que han repercutido en el desperdicio de producto por pérdida de tiempo de operación.

Figura 28. Gráfica de pérdida de tiempo de operación



Fuente: Panifresh, S.A. Gráfica de tiempo de operación. Consulta: julio de 2019.

La gráfica representa la descripción de los paros o fallas inesperadas que se presentaron durante el 2018 en el equipo de refrigeración, en donde se puede visualizar en el lado de las abscisas el tiempo perdido por producción y en el lado de las ordenadas el tiempo que llevó realizar la reparación. Con la ayuda de la gráfica se pudo determinar que el equipo de refrigeración presenta diferentes tipos de fallas, que radican en diferentes tiempos de reparación; esto debido a que no se monitoreaba constantemente el equipo de refrigeración.

Para determinar bien por qué se perdía tanto tiempo de operación al realizar el análisis de rendimiento del equipo, se determinó que el equipo de refrigeración contaba con 4 a 8 paros inesperados semanales en los compresores, debido a una falla que se generaba por un problema en el sistema electrónico de pantalla Emerson, el cual mandaba a apagar los compresores, lo que causaba desperdicio de producto en las líneas y pérdida de tiempo de operación, debido a los cambios climáticos en el ambiente. Además, hubo fallas irregulares, como las fugas impredecibles que tal vez no se generaban con frecuencia, pero sí provocaban tiempo perdido en reparación.

Como resultado de la implantación del sistema de monitoreo, control y seguimiento del equipo como plan de mantenimiento predictivo, se logró controlar los paros o fallas inesperadas no pasando de 2 a 1 por semana, sin pérdida de tiempo de operación, aunque por fugas inesperadas no se ha podido determinar en qué momento se produce. Además, se ha logrado reducir el tiempo de reparación y tiempo perdido en producción al sistema de alarma que avisa cuando se presenta alguna falla dentro del equipo.

Debido a la instalación de plan de mantenimiento predictivo el equipo no ha presentado pérdidas de producto, por lo tanto se tiene una gráfica que compara los cambios obtenidos en relación al año pasado, ya que se ha logrado tener un tiempo de reparación para no generar desperdicios de producto.

### **5.2.2. Cantidad de desperdicio controlado**

El departamento de mantenimiento lleva a cabo el control de desperdicios de producto en una variable de medición de peso, que es lb; es por ello que la comparación de cantidad de desperdicio de producto entre el año

pasado y lo que ha transcurrido de este año se realiza en lb. En la siguiente tabla se da a conocer el desperdicio de producto en el equipo de refrigeración durante el 2018:

**Tabla II. Desperdicio de refrigeración**

<b>Fecha</b>	<b>Producto perdido por desperdicio (libras)</b>
<b>23/03/2018</b>	0
<b>16/04/2018</b>	170
<b>24/04/2018</b>	0
<b>09/05/2018</b>	0
<b>15/05/2018</b>	688
<b>16/05/2018</b>	3024
<b>07/06/2018</b>	950
<b>01/08/2018</b>	450
<b>01/08/2018</b>	600
<b>09/09/2018</b>	0
<b>25/11/2018</b>	190
<b>19/12/2018</b>	510
<b>Total</b>	<b>6582</b>

Fuente: elaboración propia.

En la tabla se presenta un listado con la fecha y cantidad de desperdicio de producto producido por el equipo de refrigeración a lo largo del 2018, que en total genera el 38 % de todo el desperdicio de producto, obtenido por el departamento de mantenimiento que también está incluido dentro de este porcentaje. Para el control de desperdicio de producto durante y después de la

instalación de monitoreo para el plan de mantenimiento predictivo y conforme a lo que se pretende reducir durante el año actual, se calcula que se obtendrá al final del año la reducción de desperdicio de producto en un 5 % en comparación a los datos conseguidos del año anterior.

**Tabla III. Comparación de desperdicio de refrigeración**

<b>Mes</b>	<b>Producto perdido por desperdicio (Lb) 2018</b>	<b>Producto perdido por desperdicio(Lb)2019</b>
<b>Mayo</b>	3712	0
<b>Junio</b>	950	0
<b>Julio</b>	0	0
<b>Agosto</b>	1050	0
<b>Total</b>	5712	0

Fuente: elaboración propia.

Después de poner en marcha el plan de mantenimiento predictivo se comenzó a tener resultados debido a la disminución de la cantidad de paros inesperados y del tiempo perdido por reparación. En la tabla anterior se puede observar una comparación de los primeros cuatro meses, en los cuales el equipo de refrigeración no presentó producto de desperdicio que fuera designado por causa del mismo.

Esto confirma que la implementación del sistema de monitoreo del plan de mantenimiento predictivo ha impactado de forma relevante pues se ha anticipado a la detección de fallas o averías en el equipo, que solían afectar la producción; por lo tanto, no se presenta desperdicio de producto como tal por parte del equipo de refrigeración. Ahora bien, además del porcentaje de desperdicio de producto producido por el equipo de refrigeración, se tiene lo

que es el consumo de refrigerante AZ 50 y del aceite lubricante para compresores, que durante el año 2018 tuvo un alto consumo de estos artículos que generaron elevados gastos financieros.

Tabla IV. **Consumo de lubricante y refrigerante**

<b>Consumo anual</b>			
<b>Cilindros de:</b>	2018	2019 aprox.	Ahorro
<b>Refrigerante</b>	310	244	66
<b>Lubricante</b>	257	94	163

Fuente: elaboración propia.

Durante el 2018 se obtuvo un alto consumo de refrigerante y aceite, a causa de fugas en el sistema de tuberías del sistema de refrigeración y del sistema de aceite de los compresores. Con la incorporación del plan de mantenimiento se redujo la cantidad de fugas en las tuberías; como resultado para este 2019 se estima que habrá una reducción del 11 % del consumo de refrigerante y para el lubricante de aceite de compresor se reducirá un 32 %. Esto quiere decir que para los gastos financieros se tendrá un ahorro del 17 % por consumo de refrigerante y aceite de compresor.

### **5.3. Evaluación de eficiencia del equipo**

Dentro del tema de eficiencia de equipo se obtuvo del mismo tanto para el *blast freezer* y como para la *mixer* Hércules un porcentaje del 68 % y 79 % respectivamente.

Durante el transcurso de la realización del proyecto de EPS se hicieron diversos cálculos para obtención de un método de crecimiento en el porcentaje de la eficiencia del equipo hacia el *blast freezer*, debido a que tenía una baja eficiencia en comparación con el de la mixer Hércules. Mientras el porcentaje de eficiencia de la *mixer* Hércules se incrementaba en un 2 % o se mantenía igual por la implementación del plan de mantenimiento, como resultado la eficiencia del equipo se mantuvo entre un 79 % a un 81 %; no obstante, el porcentaje del *blast freezer* no cambió, sino se obtuvo una disminución de un 65 %, esto a causa de la demanda de refrigeración que se pedía al equipo de refrigeración.

Se concluye que el cambio de porcentaje se debe a un inconveniente en el cuarto frío, por los dos evaporadores instalados en el cuarto; estos son muy grandes para un cuarto frío pequeño, lo cual genera un problema en el enfriamiento del producto de pastelería, en donde el frío que proviene de los evaporadores no circula bien dentro del cuarto frío generando menos eficiencia del equipo de refrigeración. En conclusión, se tiene un aumento del 2 % de eficiencia del equipo de refrigeración para la *mixer* Hércules, por lo que ahora hay un 81 % de eficiencia y para el *blast freezer* se está manteniendo el porcentaje en un 67 %.

#### **5.4. Presentación de programa de mantenimiento predictivo**

A continuación se detallará cada uno de los accesos o ventanas que contiene pantalla delta, explicando el contenido de cada uno de ellos que presenta la pantalla principal del programa.

- Variador # 2
- Variador # 3

- Parámetros de alarmas de variadores
- Alarmas activas y su historial
- Temperaturas
- Transductores
- *On /of* de alarmas

Dentro de la ventanilla del variador # 2 y variador # 3 es posible encontrar la lectura de los parámetros de medición de los variadores de los motores eléctricos de los compresores de:

- Frecuencia
- Amperaje
- Voltaje
- Velocidad
- Temperatura
- Tiempo de operación
- Potencia de entrada
- Error de variador

Figura 29. Pantalla de variadores



Fuente: Panifresh, S.A. *Pantalla de variadores*. Consulta: julio de 2019.

Del lado derecho de la pantalla se tiene una gráfica de líneas que muestra valores cuantitativos en un lapso de tiempo, que ayuda a mostrar la tendencia del amperaje que presentan los variadores, donde se puede visualizar los cambios o altibajos de amperaje que tienen los motores eléctricos.

También se cuenta con un historial de los parámetros de medición que son esenciales para evaluar el estado de los motores eléctricos de los compresores, lo cual consiste en conservar la lectura cada hora y así tener antecedentes de cómo estaban funcionando los compresores, antes y después de alguna falla o avería de los motores eléctricos.

Figura 30. **Parámetros de variador**



Fuente: Panifresh, S.A. *Parámetros de variador*. Consulta: julio de 2019.

En la ventana de los parámetros de armas de variadores se tiene el sistema de parámetros de alarma que se encuentra en el variador # 2 y variador # 3, donde se establecen los valores de las prioridades de los variadores, que activan la alarma cuando se pasa alguno de estos valores.

Figura 31. **Alarmas activas / historial**

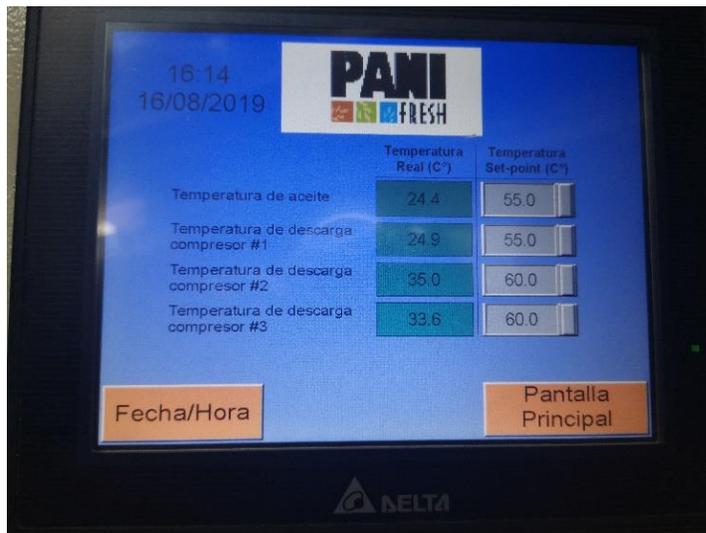


Fuente: Panifresh, S.A. *Alarmas activas*. Consulta: julio de 2019.

En esta ventana se tiene el registro de alarmas que son activadas en el equipo de refrigeración que ha sido enviado hacia el teléfono móvil, el cual se divide de la siguiente manera:

- Del lado izquierdo se tiene el listado de alarmas que han sido activadas por algún problema en el equipo, y que no se ha solucionado; con ello se puede saber en cuál sección del equipo se activó la alarma y qué tipo de falla pudo haber sido.
- Del lado derecho se tiene el historial de alarmas, en donde es posible ver el día, la hora y qué alarma fue activada, lo cual ayuda a determinar las fallas recurrentes o dónde el sistema del equipo está trabajando deficientemente.

Figura 32. **Ventana de temperaturas**



Fuente: Panifresh, S.A. *Ventana de temperaturas*. Consulta: julio de 2019.

En esta ventana se presenta la lectura de los sensores de temperatura que se instalaron en el equipo de refrigeración, la cual sirve como monitoreo, asimismo se tiene la prioridad de cada una de las temperaturas para que se active la alarma de temperatura.

Figura 33. Ventana de transductores

The screenshot shows a digital display with the PANI FRESH logo at the top. The date and time are 16/08/2019 and 16:14. Below the logo is a table with the following data:

	Presión Real (psi)	Prioridad 1 (Baja) (psi)	Prioridad 1 (Alta) (psi)	Prioridad (psi)
Presión de succión #1	-19.3	4.0	25.0	No Hay
Presión de descarga	171.7	No Hay	240.0	250.0

At the bottom of the screen, there are two orange boxes: 'Fecha/Hora' on the left and 'Pantalla Princip...' on the right.

Fuente: Panifresh, S.A. *Ventana de transductores*. Consulta: julio de 2019.

Para esta ventana se tiene el monitoreo de las presiones de succión y de descarga del sistema general del equipo de refrigeración, es por ello que además se tienen tres tipos de prioridades cuando están a baja presión, alta presión y alerta si sobrepasa el límite de presión permitida para el sistema general.

Figura 34. **On / off de alarma**



Fuente: Panifresh, S.A. *On / off de alarma*. Consulta: julio de 2019.

Esta ventana especial permite tener el control de encender o apagar cada una de las alarmas que se tienen dentro de los módulos PLC delta. Dicha ventanilla especial fue diseñada para mantener desactivada una alarma cuando esta se repite constantemente a causa de alguna falla que no se pueda lograr eliminar o por si se tiene algún problema de lectura de alguno de los sensores que radica en la activación de la alarma.

## 5.5. Plan de capacitación

Un plan de capacitación debe constar de la planificación de entrenamientos específicos al personal del equipo de trabajo. Para realizar correctamente la capacitación es necesario desarrollar los siguientes seis pasos descritos a continuación:

- Primer paso: detección de necesidad
- Segundo paso: clasificación de las necesidades de capacitación
- Tercer paso: definición de objetivo
- Cuarto paso: elaboración del programa

- Quinto paso: ejecución
- Sexto paso: evaluación de resultados

A continuación se detalla el plan de capacitación del plan de mantenimiento predictivo. Actualmente el equipo de refrigeración es una de las maquinarias que más desperdicio de producto ha generado en el 2018, debido a que el equipo se encuentra en un lugar apartado, por lo tanto, a los técnicos mecánicos se les hace difícil detectar si el equipo presenta algún tipo de falla o avería, por tal motivo se generan paros que causan pérdidas en el producto.

Figura 35. **Plan de capacitación, plan de mantenimiento**

<b>PLAN DE CAPACITACIÓN. PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO</b>	
<b>Empresa:</b> Panifresh, S.A.	<b>Fecha:</b> agosto 2019
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Objetivo general:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Exponer el plan de mantenimiento predictivo implementado para el equipo de refrigeración.</li> </ul> </li> <li>• <b>Objetivos específicos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Explicación de programa de control, monitoreo y seguimiento del equipo</li> <li>○ Uso correcto del plan de mantenimiento</li> <li>○ Progresos en el equipo</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Recursos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Cañonera</li> <li>○ <i>Laptop</i></li> <li>○ Presentaciones</li> </ul> </li> </ul>	

Continuación de la figura 35.

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Contenido</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ¿Qué es mantenimiento predictivo?</li> <li>- Plan de mantenimiento predictivo.</li> <li>- Estado actual del equipo.</li> <li>- Parámetros a controlar y monitorear del equipo.</li> <li>- Programa de mantenimiento predictivo.</li> </ul> </li> </ul>																																																								
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Metodología</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se utilizaron presentaciones en Power Point (ver anexo), con un tiempo máximo de 10 minutos por cada diapositiva, en el cual se mostró la implementación.</li> <li>- Al terminar el tema se procedió a una sesión de preguntas hacia los técnicos mecánicos, para evaluar la comprensión del mismo.</li> </ul> </li> </ul>																																																								
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Programa de capacitación</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- A continuación, se muestra la programación de la capacitación de la implementación del plan de mantenimiento.</li> </ul> <table border="1"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>Tema</th> <th>minuto 10</th> <th>minuto 20</th> <th>minuto 30</th> <th>minuto 40</th> <th>minuto 50</th> <th>minuto 60</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Que es mantenimiento predictivo</td> <td style="background-color: #c8e6c9;"></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Plan de mantenimiento predictivo</td> <td></td> <td style="background-color: #c8e6c9;"></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Estado actual del equipo.</td> <td></td> <td></td> <td style="background-color: #c8e6c9;"></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Parámetros a controlar y monitorear del equipo</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="background-color: #c8e6c9;"></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Programa de mantenimiento predictivo</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="background-color: #c8e6c9;"></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Preguntas</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="background-color: #c8e6c9;"></td> </tr> </tbody> </table> </li> </ul>	No.	Tema	minuto 10	minuto 20	minuto 30	minuto 40	minuto 50	minuto 60	1	Que es mantenimiento predictivo							2	Plan de mantenimiento predictivo							3	Estado actual del equipo.							4	Parámetros a controlar y monitorear del equipo							5	Programa de mantenimiento predictivo							6	Preguntas						
No.	Tema	minuto 10	minuto 20	minuto 30	minuto 40	minuto 50	minuto 60																																																	
1	Que es mantenimiento predictivo																																																							
2	Plan de mantenimiento predictivo																																																							
3	Estado actual del equipo.																																																							
4	Parámetros a controlar y monitorear del equipo																																																							
5	Programa de mantenimiento predictivo																																																							
6	Preguntas																																																							
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Lugar de capacitación</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Salón de capacitación de Panifresh,S.A.; 60 minutos</li> </ul> </li> </ul>																																																								

Fuente: elaboración propia.

## CONCLUSIONES

1. Por medio de la realización del análisis y diagnóstico de rendimiento se determinó la condición actual en la que se encuentra el equipo, además de las variables de medición que son de vital importancia para tomar en cuenta el óptimo funcionamiento del equipo de refrigeración, que influyen en la eficiencia y rendimiento del mismo.
2. Mediante el desarrollo de un análisis de parámetros de medición, que son utilizados para evaluar el rendimiento del equipo de refrigeración, se pudo determinar las diferentes variables que son esenciales e importantes para mantener lectura de ellas, para poder observar el rendimiento, eficiencia y confiabilidad del equipo cuando está trabajando.
3. El análisis de parámetros de medición servirá de base para el sistema de monitoreo y control, el cual se implementa en el programa de alarmas para detectar una falla o paro en el equipo.
4. Mediante el estudio realizado al equipo de refrigeración se determinaron e identificaron las diversas fallas que se originan frecuentemente en las diferentes máquinas que componen el equipo, con ello se identificaron los diversos puntos críticos en donde se generan más fallas y donde más gastos por mantenimiento se realizaron.
5. A partir de la realización del plan de mantenimiento predictivo se logró aumentar la eficiencia de rendimiento del equipo de refrigeración en un 2 % y con el monitoreo y control constante del mismo se ha mantenido la

disponibilidad, debido a la reducción de paros y fallas inesperados del equipo, disminuyendo el desperdicio de producto en 5 %.

6. A través de la elaboración del sistema de monitoreo y control del equipo de refrigeración se lleva un programa con registro continuo del estado y funcionamiento del mismo, en el cual se puede documentar toda la información del rendimiento. Con esto se ha desarrollado un sistema de alarmas que permite determinar posibles fallas en el equipo, que pueden ser resueltas con anticipación antes de que generen una falla o paro inesperado que ocasionen gasto en el equipo debido al desperdicio de producto o mantenimiento correctivo.
  
7. Mediante el plan de capacitación al personal técnico de mantenimiento industrial se presentó el plan de mantenimiento realizado en el equipo de refrigeración, para que se tenga el conocimiento del funcionamiento del mismo, y así cuando no se encuentre el técnico responsable otro técnico esté comprometido a realizar el trabajo.

## RECOMENDACIONES

1. Al gerente de mantenimiento: realizar la implementación de un sistema de monitoreo y control del equipo que es de vital importancia en la producción de la empresa, ya que continuamente se presentan fallas o averías, para evitar tener un técnico fijo durante el turno, el cual pueda atender emergencias en otra línea de producción.

Asimismo, se sugiere que en cada uno de los factores que influyen el funcionamiento del equipo considere:

- Elaborar un cuarto que contenga dentro de su interior los *chillers* de L2 y los tanques de agua fría, para que el proceso de intercambio de calor se desarrolle a la temperatura correspondiente, para con ello agilizar y reducir el tiempo de espera del proceso térmico.
- Realizar modificaciones al sistema del equipo de refrigeración, para incorporar un compresor auxiliar que ayude a mejorar el proceso de enfriamiento del equipo cuando la capacidad del rendimiento del equipo sea baja, así como cuando se tenga alta demanda de producción
- Modificar el sistema de deshielo de los evaporadores que utilizan gas caliente, por un método de agua fría que esté separado del sistema general del equipo de refrigeración, para eliminar los daños generados por picadura del gas caliente que entra en las tuberías de

los evaporadores, y complementario a eso es disminuir el tiempo del proceso de deshielo.

- Mantener un mínimo rango de variación de la temperatura en el agua fría de los tanques de agua fría con respecto a los *chiller* L2, y con ello evitar la pérdida de aditivos del glicol que generan la congelación del agua y el elevado consumo del mismo
2. Al jefe de mantenimiento: elaborar un análisis y evaluación de todos los equipos de refrigeración o de aire acondicionado industrial que son utilizados en la empresa, para determinar posteriormente la factibilidad de los equipos individuales por un sistema general de refrigeración industrial que sustente a toda la empresa.
  3. Al técnico de refrigeración: realizar evaluaciones de mantenimiento periódico para el equipo de refrigeración como prevención de posibles fallas que no fueron detectadas durante la elaboración del proyecto, generando un historial de su funcionamiento y así a futuro poder realizar un manual del equipo, que ayudará a resolver de forma más rápida un problema.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Aldakin. *Tipos de mantenimiento industrial. Ventajas e inconvenientes de cada uno*. [en línea]. <<https://www.aldakin.com/tipo-de-mantenimiento-industrial-ventajasinconvenientes.de.cada.uno.>>. [Consulta: mayo de 2019].
2. BARREDA, Salvador. *Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en la Edad de Nules- Vila Vella*. [en línea] <<https://www.repositor.vji.es/xmlvi/bitstream/handle/10234/128/27/TFG>>. [Consulta: abril de 2019].
3. CAMPOS, José. *Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)*. [en línea].<<https://www.z.clip.org.pe/indexphp/eventos/conferencias>>. [Consulta: abril de 2019].
4. EcoChillers. *¿Qué es un chiller?* [en línea] <<https://ecochillers.net/que-es-un-chiller.html>> [Consulta: abril de 2019].
5. *Energineering the world from Paraguay. Concepto PLC (controlador lógico programable)*. [en línea]. <<https://ramaucsa.wordpress.com/2011/01/31/concepto-plc-controlador-logico-programable/>>. [Consulta: mayo 2019]
6. Engerman. *Mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM (Reliability Centreal Maintenance)*. [en línea].

<<https://www.blog.engerman.com/e/rcm/>> [Consulta: agosto de 2019].

7. GARCÍA, Santiago. *Los objetivos de la implementación de RCM como base del mantenimiento.* [en línea]. <<http://www.mantenimiento.renovetec.com/plan-de-mantenimiento/121-rcm-y-sus-objetivos>>. [Consulta: agosto de 2019]
8. GARCÍA, Santiago. *¿Qué es RCM?* [en línea]. <<https://www.santiagogarcia.com/index.php/89.qu-es-RCM>>. [Consulta: agosto de 2019].
9. Mantenimiento Petroquímico. *¿Qué es el mantenimiento predictivo?* [en línea]<<https://www.mantenimientopetroquimico.com/mantenimientopredictivo.html>> [Consulta: abril de 2019].
10. *Manual de refrigeración. Energía y ahorro energético en plantas frigoríficas.* [en línea]. <<https://www.radiadoresgallardo.cl/pdf/eficienciaenrefrigeracion:pdf&ved>>. [Consulta: junio de 2019].
11. Masadelante. *¿Qué es GSM? Definición de GSM* [en línea]. <<https://www.masadelante.com/faqs/gsm>>. [Consulta: agosto de 2019].
12. MORA, Mario. *Consideraciones de eficiencia energética en refrigeración con amoníaco.* [en línea].

<<https://www.cimicr.org/backend/files/catalogo/8751=vers%2520F.-eficiencia>>. [Consulta: junio de 2019].

13. NIETO, Antonio. *El compresor: parte fundamental en los sistemas de refrigeración*. [en línea]. <<https://www.mundo hvacr.com.mx/2007/11/el-compresor--parte>>. [Consulta: mayo de 2019].
14. Preditec. *Mantenimiento predictivo*. [en línea]. <<https://www.preditec.com/mantenimientopredictivo/>>. [Consulta: abril de 2019].
15. *Refrigeración, aire acondicionado y electricidad. Condensador*. [en línea]. <<https://refrielectriclasose.wordpress.com/informacion/condensado/>>. [Consulta: abril de 2019].
16. Renovetec. *Mantenimiento predictivo*. [en línea] <<https://renovetec.com/640-libro-mantenimiento-predictivo>> [Consulta: marzo de 2019].
17. RODRÍGUEZ, César. *Evaporadores: qué son, diferencias y tipos* [en línea] <<https://www.refrigeracionzelsio.es/blog/evaporadores/>>. [Consulta: abril de 2019].
18. Siemens. *¿Qué es un Siemens logo?* [en línea]. <<https://www.siemenslogo.com/que-es-siemes-logo/>> [Consulta: mayo 2019].

19. Siemens Simaticnet. *Logo-industrial Ethernet. Logo CMR 2020. Logo CMR2040.* [en línea]. <<https://media.automation24.com/manuales/103657268-BA-logo-cmr2020>>. [Consulta: mayo de 2019]
  
20. Siemens. *Tecnología. Siemens PLC Logo.* [en línea] <<https://www.areatecnologia.com/electricidad/plc-logo.html>> [Consulta: abril de 2019].
  
21. Todo Mantenimiento. *Mantenimiento predictivo.* [en línea], <<https://www.mantenimiento.win/mantenimiento-predictivo/>>. [Consulta: mayo de 2019].

# ANEXOS

## Anexos 1. Gráficas Mollier de refrigerante 407C

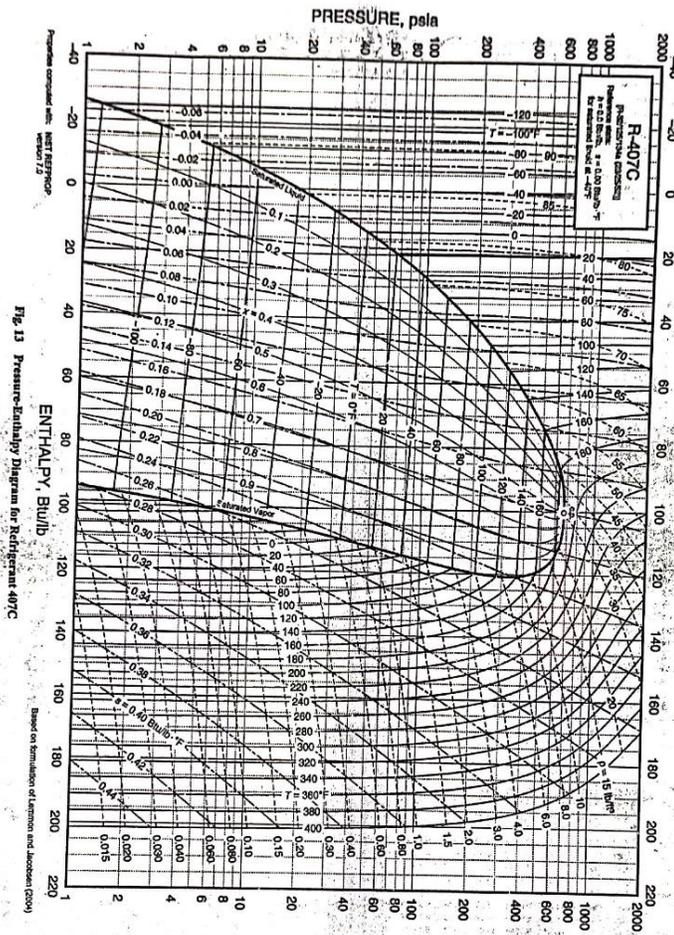


Fig. 13 Pressure-Enthalpy Diagram for Refrigerant 407C

2009 ASHRAE Handbook—Fundamentals



Scanned with CamScanner

Fuente: 2009ASHRAE Handbook-Fundamentals

Anexos 2. Tabla de termodinámica de refrigerante 407C

Thermophysical Properties of Refrigerants

30.29

Refrigerant 407C [R-32/125/134a (23/25/53)] Properties of Liquid on Bubble Line and Vapor on Dew Line

Pres- sure, psia	Temp., °F	Dens- ity, lb/ft <sup>3</sup>	Volume ft <sup>3</sup> /lb	Enthalpy, Btu/lb		Entropy, Btu/lb-°F		Specific Heat <i>c<sub>p</sub></i> , Btu/lb-°F		<i>c<sub>p</sub>/c<sub>v</sub></i>	Vol. of Liquid, ft <sup>3</sup>		Viscosity, lb <sub>m</sub> /ft-h		Thermal Cond., Btu-h-ft <sup>-2</sup> -°F		Surface Pres- sure, surr., dyn/cm <sup>2</sup>	psia	
				Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor			
1	-125.19	-111.30	94.24	43.0887	-26.34	93.96	-0.07002	0.18234	-0.3063	0.1568	1.183	3404	484.3	2.112	0.0199	0.0894	0.00385	25.65	1
1.5	-115.58	-101.85	93.28	29.4430	-23.40	93.34	-0.06135	0.17714	-0.3063	0.1600	1.182	3300	489.5	1.867	0.0204	0.0874	0.00403	24.66	1.5
2	-108.36	-94.75	92.53	22.4776	-21.18	96.37	-0.05499	0.17246	-0.3063	0.1624	1.181	3225	493.3	1.712	0.0208	0.0860	0.00416	23.93	2
2.5	-103.52	-88.99	91.97	18.2315	-19.39	97.21	-0.04994	0.17066	-0.3065	0.1644	1.181	3166	496.2	1.601	0.0212	0.0848	0.00427	23.34	2.5
3	-97.57	-84.12	91.47	15.3685	-17.87	97.92	-0.04572	0.16811	-0.3068	0.1662	1.181	3117	498.6	1.515	0.0214	0.0839	0.00436	22.84	3
4	-89.43	-76.11	90.64	11.7361	-15.37	99.09	-0.03889	0.16493	-0.3074	0.1693	1.181	3037	502.4	1.389	0.0219	0.0823	0.00452	22.02	4
5	-82.81	-69.61	89.97	9.5211	-13.34	100.03	-0.03435	0.16234	-0.3081	0.1719	1.182	2974	503.3	1.299	0.0222	0.0810	0.00465	21.36	5
6	-77.20	-64.09	89.40	8.0252	-11.60	100.83	-0.02889	0.16003	-0.3087	0.1742	1.182	2921	507.6	1.229	0.0225	0.0799	0.00476	20.81	6
7	-72.30	-59.27	88.89	6.9450	-10.09	101.52	-0.02496	0.15832	-0.3094	0.1762	1.183	2873	509.5	1.172	0.0228	0.0789	0.00485	20.32	7
8	-67.94	-54.97	88.44	6.1272	-8.74	102.13	-0.02149	0.15703	-0.3100	0.1781	1.184	2835	511.1	1.125	0.0230	0.0781	0.00494	19.90	8
10	-60.38	-47.53	87.66	4.9690	-6.39	103.19	-0.01556	0.15464	-0.3112	0.1814	1.186	2765	513.8	1.050	0.0234	0.0766	0.00509	19.16	10
12	-53.96	-41.23	86.98	4.1864	-4.38	104.08	-0.01059	0.15272	-0.3123	0.1844	1.188	2707	515.8	0.992	0.0238	0.0754	0.00522	18.54	12
14	-48.34	-35.71	86.39	3.6210	-2.62	104.85	-0.00629	0.15114	-0.3133	0.1871	1.189	2656	517.4	0.945	0.0241	0.0743	0.00537	17.82	14
14.7	-48.33	-35.70	86.39	3.6210	-2.62	105.10	-0.00492	0.15063	-0.3137	0.1880	1.190	2639	517.9	0.930	0.0241	0.0739	0.00537	17.82	14.7
16	-43.33	-30.78	85.83	3.1928	-1.03	105.54	-0.00249	0.14979	-0.3143	0.1896	1.191	2610	518.7	0.906	0.0243	0.0733	0.00544	17.32	16
18	-38.77	-26.31	85.36	2.8370	0.39	106.15	0.00092	0.14903	-0.3153	0.1919	1.193	2570	519.8	0.872	0.0246	0.0725	0.00553	17.08	18
20	-34.61	-22.23	84.91	2.5862	1.70	106.71	0.00402	0.14870	-0.3162	0.1941	1.195	2532	520.7	0.843	0.0248	0.0717	0.00562	16.69	20
22	-30.76	-18.45	84.50	2.3632	2.92	107.22	0.00687	0.14868	-0.3172	0.1961	1.197	2498	521.4	0.817	0.0250	0.0710	0.00570	16.33	22
24	-27.18	-14.93	84.10	2.1761	4.06	107.70	0.00950	0.14866	-0.3180	0.1981	1.199	2466	522.0	0.794	0.0252	0.0703	0.00578	15.99	24
26	-23.83	-11.64	83.73	2.0169	5.13	108.14	0.01196	0.14850	-0.3189	0.1999	1.201	2436	522.6	0.773	0.0253	0.0697	0.00585	15.68	26
28	-20.66	-8.54	83.38	1.8798	6.15	108.55	0.01426	0.14842	-0.3197	0.2017	1.203	2408	523.0	0.754	0.0255	0.0691	0.00592	15.38	28
30	-17.67	-5.60	83.05	1.7603	7.10	108.93	0.01643	0.14838	-0.3205	0.2034	1.205	2382	523.4	0.737	0.0257	0.0685	0.00598	15.11	30
32	-14.84	-2.82	82.73	1.6533	8.02	109.30	0.01848	0.14839	-0.3213	0.2051	1.207	2356	523.6	0.721	0.0258	0.0680	0.00605	14.84	32
34	-12.15	-0.17	82.43	1.5622	8.89	109.64	0.02042	0.14846	-0.3221	0.2067	1.209	2332	523.9	0.706	0.0259	0.0675	0.00610	14.59	34
36	-9.55	2.37	82.14	1.4791	9.72	109.97	0.02227	0.14853	-0.3229	0.2083	1.211	2309	524.1	0.692	0.0261	0.0670	0.00616	14.36	36
38	-7.07	4.79	81.85	1.4045	10.53	110.28	0.02404	0.14865	-0.3236	0.2098	1.213	2288	524.2	0.679	0.0262	0.0666	0.00622	14.13	38
40	-4.70	7.12	81.58	1.3371	11.30	110.58	0.02573	0.14880	-0.3244	0.2113	1.215	2267	524.3	0.667	0.0263	0.0661	0.00627	13.91	40
42	-2.41	9.37	81.32	1.2759	12.04	110.86	0.02735	0.14907	-0.3251	0.2127	1.217	2246	524.3	0.656	0.0265	0.0657	0.00632	13.71	42
44	-0.20	11.53	81.06	1.2201	12.76	111.13	0.02891	0.14946	-0.3258	0.2141	1.219	2227	524.4	0.645	0.0266	0.0653	0.00637	13.51	44
46	1.93	13.61	80.82	1.1690	13.46	111.39	0.03041	0.14998	-0.3265	0.2155	1.221	2208	524.4	0.635	0.0267	0.0649	0.00642	13.31	46
48	3.98	15.63	80.58	1.1220	14.13	111.64	0.03185	0.15061	-0.3272	0.2169	1.223	2190	524.3	0.626	0.0268	0.0646	0.00646	13.13	48
50	5.98	17.58	80.34	1.0786	14.79	111.88	0.03326	0.15136	-0.3279	0.2182	1.225	2172	524.3	0.617	0.0269	0.0642	0.00651	12.95	50
55	10.71	22.21	79.78	0.9835	16.34	112.44	0.03656	0.15284	-0.3296	0.2214	1.230	2130	524.0	0.596	0.0272	0.0633	0.00663	12.53	55
60	15.13	26.53	79.25	0.9037	17.81	112.96	0.03963	0.15411	-0.3313	0.2246	1.235	2093	523.6	0.577	0.0274	0.0626	0.00673	12.13	60
65	19.23	30.58	78.75	0.8359	19.18	113.44	0.04250	0.15519	-0.3330	0.2276	1.240	2061	523.2	0.560	0.0276	0.0618	0.00684	11.77	65
70	23.18	34.40	78.27	0.7774	20.49	113.88	0.04519	0.15611	-0.3346	0.2305	1.245	2031	522.6	0.544	0.0278	0.0611	0.00694	11.43	70
75	26.88	38.02	77.82	0.7264	21.74	114.29	0.04773	0.15688	-0.3362	0.2333	1.250	1996	522.0	0.530	0.0280	0.0605	0.00703	11.10	75
80	30.39	41.46	77.38	0.6816	22.92	114.67	0.05014	0.15750	-0.3378	0.2361	1.255	1955	521.3	0.517	0.0282	0.0598	0.00712	10.80	80
85	33.75	44.73	76.95	0.6419	24.06	115.03	0.05243	0.15800	-0.3393	0.2389	1.260	1925	520.6	0.505	0.0284	0.0593	0.00721	10.51	85
90	36.96	47.87	76.54	0.6064	25.16	115.37	0.05462	0.15842	-0.3409	0.2416	1.266	1896	519.3	0.493	0.0286	0.0587	0.00730	10.23	90
95	40.04	50.87	76.15	0.5746	26.21	115.68	0.05671	0.15877	-0.3424	0.2442	1.271	1869	519.0	0.483	0.0288	0.0582	0.00739	9.97	95
100	43.00	53.75	75.76	0.5458	27.23	115.98	0.05871	0.15904	-0.3440	0.2468	1.276	1842	518.1	0.475	0.0289	0.0575	0.00747	9.72	100
110	48.60	59.21	75.02	0.4959	29.16	116.53	0.06250	0.16025	-0.3471	0.2520	1.287	1792	516.3	0.464	0.0293	0.0567	0.00763	9.25	110
120	53.83	64.30	74.32	0.4540	30.99	117.03	0.06602	0.16131	-0.3502	0.2570	1.298	1745	514.3	0.458	0.0296	0.0558	0.00780	8.81	120
130	58.75	69.08	73.64	0.4183	32.72	117.47	0.06932	0.16222	-0.3533	0.2621	1.310	1700	512.3	0.423	0.0299	0.0549	0.00796	8.41	130
140	63.39	73.59	72.99	0.3875	34.36	117.88	0.07244	0.16308	-0.3564	0.2671	1.321	1658	510.2	0.409	0.0302	0.0541	0.00812	8.03	140
150	67.79	77.86	72.37	0.3607	35.94	118.24	0.07538	0.16391	-0.3595	0.2721	1.334	1618	508.0	0.396	0.0304	0.0534	0.00828	7.67	150
160	71.98	81.92	71.76	0.3372	37.45	118.57	0.07818	0.16472	-0.3628	0.2772	1.346	1580	505.7	0.385	0.0307	0.0527	0.00844	7.33	160
170	75.97	85.79	71.17	0.3163	38.90	118.87	0.08086	0.16550	-0.3660	0.2824	1.359	1543	503.4	0.374	0.0310	0.0520	0.00860	7.01	170
180	79.80	89.49	70.59	0.2976	40.30	119.15	0.08341	0.16628	-0.3693	0.2876	1.373	1508	501.1	0.364	0.0312	0.0514	0.00876	6.71	180
190	83.47	93.04	70.02	0.2808	41.66	119.39	0.08587	0.16706	-0.3727	0.2929	1.387	1474	498.7	0.354	0.0315	0.0507	0.00893	6.42	190
200	87.00	96.45	69.47	0.2656	42.97	119.61	0.08823	0.16783	-0.3761	0.2983	1.401	1441	496.3	0.345	0.0317	0.0501	0.00909	6.15	200
220	93.69	102.90	68.40	0.2393	45.49	119.99	0.09271	0.16925	-0.3832	0.3095	1.432	1379	491.4	0.328	0.0323	0.0490	0.00942	5.64	220
240	99.94	108.92	67.35	0.2171	47.88	120.29	0.09691	0.17029	-0.3907	0.3213	1.466	1320	486.3	0.313	0.0328	0.0480	0.00976	5.17	240
260	105.82	114.56	66.33	0.1982	50.17	120.52	0.10088	0.17104	-0.3986	0.3338	1.502	1265	481.2	0.299	0.0333	0.0470	0.01011	4.73	260
280	111.37	119.88	65.33	0.1819	52.36	120.68	0.10464	0.17150	-0.4068	0.3470	1.542	1211	475.9	0.287	0.0339	0.0461	0.		

Anexos 3. Gráficas Mollier de refrigerante 404A

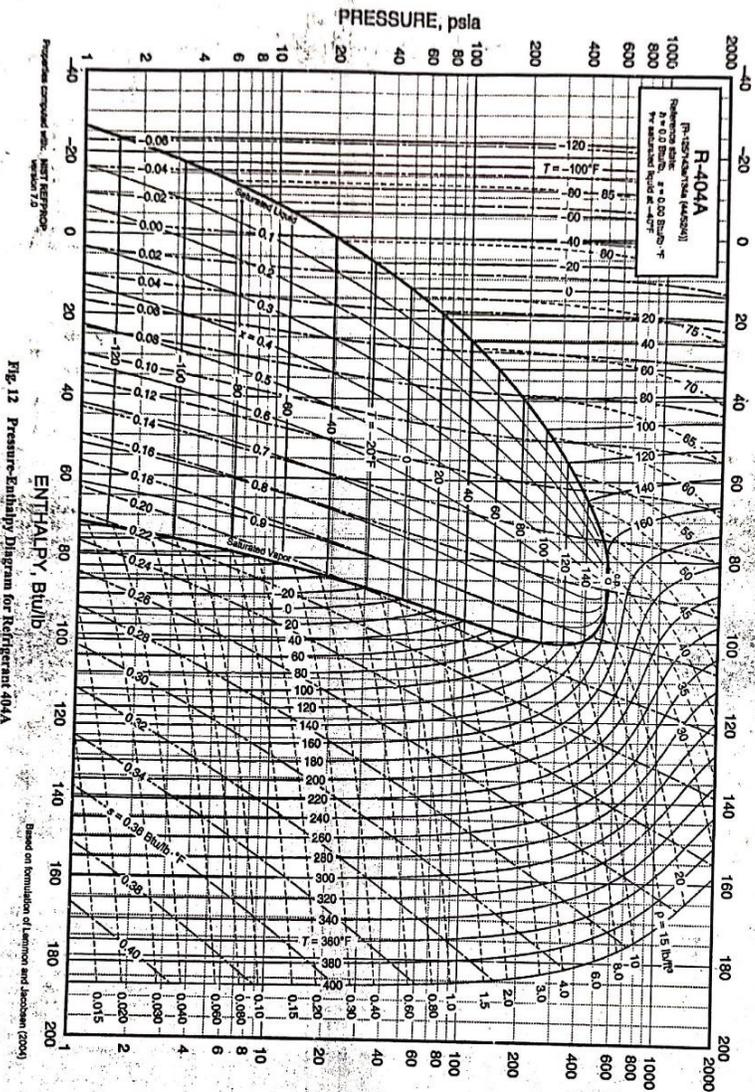


Fig. 12 Pressure-Enthalpy Diagram for Refrigerant 404A

2009 ASHRAE Handbook—Fundamentals



Fuente: 2009ASHRAE Handbook-Fundamentals.

Anexos 4. Tabla de termodinámica de refrigerante 404A

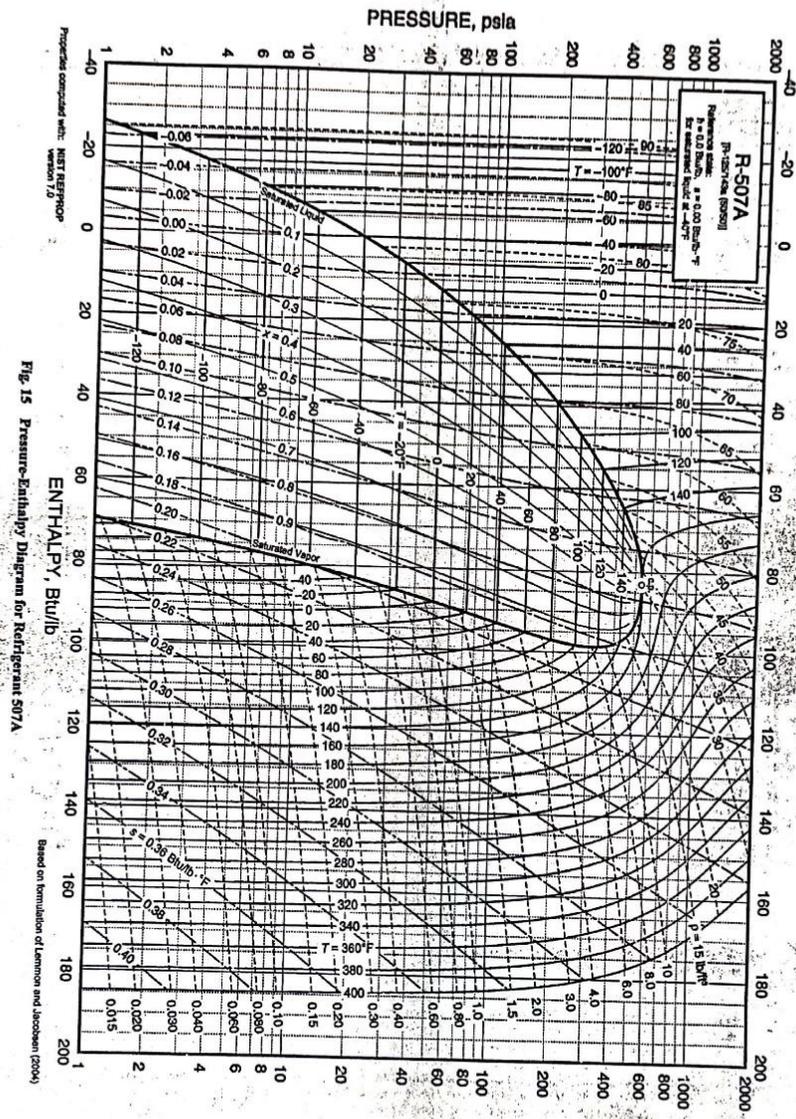
Thermophysical Properties of Refrigerants

30.27

Refrigerant 404A [R-125/143a/134a (44/52/4)] Properties of Liquid and Vapor on Dew Line

Press., psia	Temp., °F		Density, lb/ft <sup>3</sup>		Enthalpy, Btu/lb		Entropy, Btu/lb-°F		Specific Heat, Btu/lb-°F		Vol. of liquid, ft <sup>3</sup> /lb	Viscosity, lb/ft-h		Thermal Cond., Btu/h-ft-°F		Surface Tension, dynes/cm	Pres., psia		
	Bubble	Dew	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor				
1	-129.56	-127.50	89.61	36.2311	-26.33	71.76	-0.07039	0.22616	0.2907	0.1554	1.161	3173	439.8	1.695	0.0181	0.0695	0.00369	17.42	1
1.5	-120.05	-118.11	88.64	24.7754	-23.56	73.11	-0.06215	0.22201	0.2901	0.1589	1.160	3050	444.6	1.518	0.0186	0.0678	0.00388	16.92	1.5
2	-112.90	-111.03	87.92	18.9245	-21.49	74.14	-0.05611	0.21920	0.2900	0.1615	1.159	2964	448.1	1.403	0.0190	0.0666	0.00403	16.53	2
2.5	-107.10	-105.29	87.33	15.3578	-19.81	74.98	-0.05129	0.21710	0.2902	0.1637	1.159	2898	450.7	1.320	0.0193	0.0657	0.00414	16.22	2.5
3	-102.18	-100.42	86.83	12.9493	-18.38	75.69	-0.04727	0.21544	0.2905	0.1656	1.159	2845	452.9	1.255	0.0195	0.0647	0.00425	15.94	3
4	-94.08	-92.40	86.01	9.8941	-16.02	76.86	-0.04076	0.21292	0.2912	0.1688	1.159	2760	456.3	1.159	0.0199	0.0634	0.00442	15.49	4
5	-87.49	-85.87	85.33	8.0300	-14.10	77.82	-0.03555	0.21106	0.2920	0.1715	1.159	2694	458.9	1.088	0.0203	0.0623	0.00456	15.11	5
6	-81.89	-80.32	84.76	6.7705	-12.46	78.64	-0.03119	0.20960	0.2929	0.1738	1.159	2639	461.0	1.033	0.0205	0.0614	0.00468	14.79	6
7	-77.00	-75.46	84.25	5.8607	-11.02	79.35	-0.02742	0.20841	0.2937	0.1758	1.160	2592	462.7	0.989	0.0208	0.0606	0.00478	14.50	7
8	-72.64	-71.14	83.80	5.1716	-9.74	79.98	-0.02409	0.20741	0.2944	0.1777	1.161	2551	464.1	0.952	0.0210	0.0599	0.00488	14.25	8
10	-65.08	-63.64	83.01	4.1954	-7.51	81.07	-0.01839	0.20581	0.2959	0.1811	1.162	2481	466.4	0.892	0.0214	0.0587	0.00505	13.79	10
12	-58.65	-57.25	82.34	3.5353	-5.40	82.00	-0.0136	0.20457	0.2974	0.1840	1.164	2422	468.1	0.845	0.0217	0.0577	0.00519	13.41	12
14	-53.01	-51.65	81.74	3.0582	-3.91	82.81	-0.00944	0.20357	0.2987	0.1866	1.166	2372	469.4	0.806	0.0220	0.0568	0.00532	13.06	14
14.7	-51.20	-49.85	81.55	2.9217	-3.37	83.07	-0.00812	0.20326	0.2991	0.1875	1.166	2355	469.8	0.795	0.0221	0.0566	0.00536	12.95	14.7
16	-47.98	-46.65	81.20	2.6968	-2.41	83.53	-0.00577	0.20273	0.3000	0.1891	1.167	2327	470.4	0.774	0.0222	0.0561	0.00544	12.75	16
18	-43.42	-42.11	80.71	2.4132	-1.03	84.18	-0.00246	0.20203	0.3012	0.1913	1.169	2286	471.2	0.747	0.0225	0.0554	0.00554	12.47	18
20	-39.24	-37.96	80.26	2.1845	0.23	84.78	0.00058	0.20141	0.3024	0.1935	1.171	2249	471.9	0.723	0.0227	0.0548	0.00564	12.20	20
22	-35.37	-34.11	79.83	1.9960	1.40	85.32	0.00332	0.20088	0.3035	0.1955	1.173	2215	472.4	0.701	0.0229	0.0542	0.00573	11.96	22
24	-31.77	-30.53	79.44	1.8379	2.50	85.83	0.00598	0.20041	0.3046	0.1974	1.175	2184	472.8	0.682	0.0230	0.0537	0.00582	11.73	24
26	-28.39	-27.17	79.06	1.7033	3.53	86.30	0.00827	0.19998	0.3056	0.1992	1.176	2154	473.1	0.665	0.0232	0.0532	0.00590	11.52	26
28	-25.21	-24.01	78.71	1.5873	4.51	86.75	0.01051	0.19960	0.3067	0.2010	1.178	2127	473.3	0.649	0.0234	0.0527	0.00598	11.31	28
30	-22.20	-21.02	78.37	1.4863	5.44	87.16	0.01263	0.19925	0.3077	0.2027	1.180	2101	473.5	0.634	0.0235	0.0523	0.00605	11.12	30
32	-19.34	-18.17	78.05	1.3974	6.32	87.56	0.01463	0.19894	0.3086	0.2043	1.182	2076	473.6	0.621	0.0237	0.0519	0.00612	10.94	32
34	-16.62	-15.46	77.74	1.3187	7.16	87.93	0.01653	0.19864	0.3096	0.2059	1.184	2052	473.6	0.608	0.0238	0.0515	0.00619	10.76	34
36	-14.01	-12.87	77.44	1.2484	7.97	88.29	0.01834	0.19838	0.3105	0.2074	1.186	2030	473.6	0.597	0.0239	0.0511	0.00625	10.59	36
38	-11.52	-10.39	77.15	1.1852	8.75	88.52	0.02007	0.19815	0.3115	0.2089	1.188	2008	473.5	0.586	0.0241	0.0507	0.00632	10.43	38
40	-9.12	-8.01	76.87	1.1281	9.50	88.95	0.02172	0.19790	0.3124	0.2104	1.190	1987	473.4	0.576	0.0242	0.0504	0.00638	10.27	40
42	-6.81	-5.71	76.60	1.0763	10.22	89.26	0.02331	0.19768	0.3133	0.2119	1.192	1967	473.3	0.566	0.0243	0.0501	0.00644	10.12	42
44	-4.59	-3.50	76.34	1.0290	10.92	89.56	0.02484	0.19748	0.3141	0.2133	1.194	1948	473.1	0.557	0.0244	0.0497	0.00649	9.97	44
46	-2.44	-1.36	76.09	0.9857	11.60	89.84	0.02632	0.19729	0.3150	0.2146	1.196	1930	472.9	0.548	0.0245	0.0494	0.00655	9.83	46
48	-0.36	0.71	75.84	0.9459	12.25	90.12	0.02774	0.19711	0.3158	0.2159	1.198	1912	472.7	0.540	0.0246	0.0492	0.00660	9.70	48
50	1.65	2.71	75.60	0.9091	12.89	90.38	0.02911	0.19694	0.3167	0.2171	1.200	1894	472.5	0.532	0.0247	0.0489	0.00665	9.56	50
55	6.43	7.47	75.03	0.8285	14.41	91.01	0.03237	0.19655	0.3188	0.2206	1.205	1853	471.8	0.514	0.0250	0.0482	0.00678	9.25	55
60	10.89	11.90	74.48	0.7609	15.84	91.58	0.03539	0.19621	0.3208	0.2237	1.210	1814	471.0	0.498	0.0252	0.0476	0.00690	8.95	60
65	15.07	16.07	73.97	0.7033	17.19	92.11	0.03822	0.19590	0.3228	0.2267	1.215	1778	470.1	0.483	0.0254	0.0470	0.00701	8.67	65
70	19.02	20.00	73.47	0.6537	18.47	92.61	0.04088	0.19562	0.3247	0.2297	1.220	1744	469.2	0.470	0.0257	0.0465	0.00712	8.41	70
75	22.76	23.72	72.99	0.6104	19.69	93.07	0.04339	0.19537	0.3267	0.2325	1.226	1712	468.1	0.457	0.0259	0.0460	0.00723	8.16	75
80	26.32	27.27	72.54	0.5724	20.86	93.50	0.04578	0.19514	0.3286	0.2354	1.231	1681	467.0	0.446	0.0261	0.0455	0.00733	7.92	80
85	29.71	30.64	72.09	0.5387	21.98	93.91	0.04804	0.19492	0.3305	0.2382	1.236	1651	465.9	0.435	0.0263	0.0450	0.00742	7.70	85
90	32.96	33.88	71.67	0.5085	23.05	94.30	0.05021	0.19471	0.3324	0.2409	1.242	1623	464.7	0.425	0.0264	0.0446	0.00753	7.48	90
95	36.07	36.98	71.25	0.4815	24.09	94.66	0.05229	0.19452	0.3342	0.2436	1.248	1596	463.5	0.416	0.0266	0.0442	0.00763	7.27	95
100	39.07	39.96	70.84	0.4570	25.10	95.00	0.05428	0.19434	0.3361	0.2464	1.254	1569	462.2	0.407	0.0268	0.0438	0.00772	7.07	100
110	44.73	45.60	70.06	0.4145	27.01	95.61	0.05804	0.19400	0.3399	0.2518	1.266	1520	459.6	0.391	0.0271	0.0430	0.00792	6.69	110
120	50.02	50.86	69.32	0.3789	28.82	96.21	0.06155	0.19368	0.3437	0.2572	1.279	1473	456.8	0.376	0.0275	0.0423	0.00810	6.34	120
130	54.99	55.81	68.60	0.3485	30.53	96.73	0.06485	0.19338	0.3475	0.2626	1.292	1429	454.0	0.363	0.0278	0.0416	0.00829	6.01	130
140	59.68	60.48	67.90	0.3222	32.16	97.20	0.06795	0.19309	0.3514	0.2682	1.306	1387	451.1	0.351	0.0281	0.0410	0.00848	5.69	140
150	64.13	64.91	67.23	0.2994	33.73	97.62	0.07090	0.19281	0.3553	0.2739	1.321	1347	448.2	0.339	0.0284	0.0404	0.00866	5.4	150
160	68.36	69.13	66.57	0.2793	35.23	98.01	0.07371	0.19253	0.3594	0.2797	1.336	1309	445.2	0.329	0.0288	0.0399	0.00885	5.12	160
170	72.40	73.15	65.93	0.2614	36.68	98.37	0.07639	0.19226	0.3635	0.2857	1.353	1273	442.1	0.319	0.0291	0.0394	0.00904	4.85	170
180	76.26	76.99	65.30	0.2454	38.08	98.69	0.07896	0.19198	0.3678	0.2919	1.370	1238	439.0	0.310	0.0294	0.0388	0.00922	4.60	180
190	79.97	80.68	64.68	0.2311	39.44	98.98	0.08143	0.19177	0.3722	0.2984	1.388	1204	435.8	0.301	0.0297	0.0384	0.00941	4.36	190
200	83.53	84.23	64.07	0.2181	40.76	99.25	0.08381	0.19143	0.3767	0.3051	1.408	1171	432.6	0.293	0.0300	0.0379	0.00961	4.13	200
220	90.27	90.94	62.87	0.1955	43.29	99.70	0.08833	0.19085	0.3864	0.3194	1.450	1108	426.1	0.277	0.0307	0.0370	0.01000	3.70	220
240	96.57	97.21	61.70	0.1764	45.70	100.05	0.09259	0.19026	0.3969	0.3353	1.498	1048	419.4	0.263	0.0313	0.0362	0.01041	3.30	240
260	102.48	103.09	60.53	0.1601	48.02	100.32	0.09663	0.18962	0.4086	0.3530	1.553	991	412.6	0.250	0.0320	0.0354	0.01084	2.93	260
280	108.06	108.64	59.37	0.1460	50.25	100.51	0.10047	0.18895	0.4216	0.3730	1.616	936	405.7	0.238	0.0328	0.0347	0.01131	2.59	280
300	113.34	113.90	58.20	0.1336	52.42	100.61	0.10417	0.18823	0.4364	0.3959									

Anexos 5. Gráficas Mollier de refrigerante R-507A



CS Scanned with CamScanner

Fuente: 2009ASHRAE Handbook-Fundamentals.

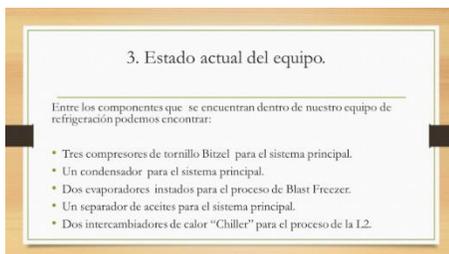
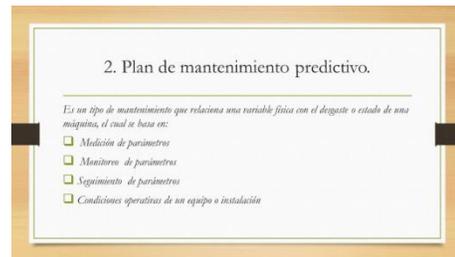
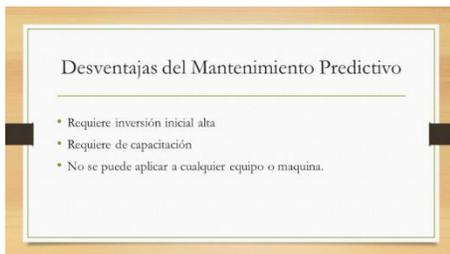
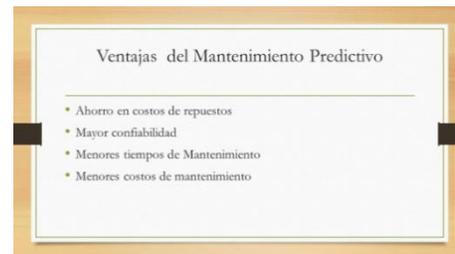
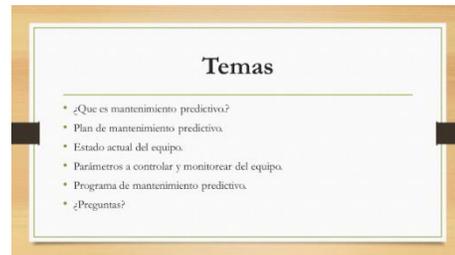
Thermophysical Properties of Refrigerants

30.33

Refrigerant 507A (R-125/143a (50/50)) Properties of Saturated Liquid and Saturated Vapor

Temp., °F	Pres. pure, psia	Density, lb/ft³	Enthalpy, Btu/lb		Entropy, Btu/lb-°F		Specific Heat, Btu/lb-°F		c <sub>p</sub> /c <sub>v</sub>	Vol. of liquid, ft³/lb		Viscosity, lb <sub>m</sub> /ft-h		Thermal Cond., Btu/h-ft-°F		Surface Tension, dyne/cm	Temp., °F		
			Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor				
-150	0.386	92.41	86.952	-32.027	67.009	-0.08831	0.23154	0.2019	0.1470	1.1650	3468	424.1	—	—	0.0724	0.00330	18.45	-150	
-145	0.497	91.88	88.322	-30.571	67.711	-0.08363	0.22872	0.2004	0.1487	1.1637	3379	427.0	2.053	—	—	0.0715	0.00337	18.20	-145
-140	0.634	91.36	84.501	-29.121	68.416	-0.07908	0.22607	0.2000	0.1504	1.1626	3294	428.8	1.922	0.0176	0.0705	0.00349	17.94	-140	
-135	0.801	90.84	43.729	-27.677	69.126	-0.07460	0.22358	0.2000	0.1522	1.1616	3222	432.5	1.804	0.0179	0.0696	0.00358	17.67	-135	
-130	1.004	90.32	35.377	-26.235	69.838	-0.07019	0.22125	0.2000	0.1540	1.1607	3151	435.2	1.697	0.0181	0.0687	0.00368	17.41	-130	
-125	1.249	89.80	28.844	-24.796	70.554	-0.06586	0.21906	0.2000	0.1558	1.1599	3084	437.8	1.600	0.0184	0.0678	0.00378	17.14	-125	
-120	1.541	89.29	23.692	-23.359	71.272	-0.06160	0.21701	0.2000	0.1576	1.1593	3021	440.3	1.512	0.0186	0.0670	0.00388	16.87	-120	
-115	1.887	88.77	19.396	-21.921	71.993	-0.05740	0.21509	0.2000	0.1595	1.1588	2961	442.7	1.431	0.0189	0.0661	0.00398	16.59	-115	
-110	2.295	88.26	16.315	-20.484	72.716	-0.05326	0.21328	0.2000	0.1614	1.1584	2904	445.1	1.356	0.0192	0.0652	0.00408	16.31	-110	
-105	2.773	87.75	13.669	-19.045	73.440	-0.04918	0.21159	0.2000	0.1633	1.1581	2848	447.4	1.288	0.0194	0.0644	0.00418	16.03	-105	
-100	3.329	87.23	11.321	-17.604	74.166	-0.04515	0.21001	0.2000	0.1652	1.1580	2795	449.6	1.225	0.0197	0.0636	0.00429	15.75	-100	
-95	3.974	86.72	9.7644	-16.161	74.892	-0.04117	0.20852	0.2000	0.1672	1.1581	2743	451.7	1.166	0.0199	0.0627	0.00439	15.46	-95	
-90	4.715	86.20	8.3001	-14.716	75.619	-0.03723	0.20713	0.2000	0.1693	1.1583	2692	453.7	1.112	0.0202	0.0619	0.00450	15.17	-90	
-85	5.566	85.68	7.1254	-13.266	76.346	-0.03335	0.20583	0.2000	0.1712	1.1586	2643	455.6	1.061	0.0205	0.0611	0.00461	14.88	-85	
-80	6.533	85.16	6.1316	-11.813	77.073	-0.02950	0.20462	0.2000	0.1733	1.1592	2595	457.4	1.014	0.0207	0.0603	0.00471	14.58	-80	
-75	7.636	84.64	5.3004	-10.356	77.800	-0.02569	0.20348	0.2000	0.1754	1.1599	2547	459.0	0.969	0.0210	0.0595	0.00482	14.28	-75	
-70	8.879	84.11	4.6018	-8.894	78.525	-0.02192	0.20242	0.2000	0.1776	1.1607	2501	460.6	0.928	0.0212	0.0587	0.00493	13.98	-70	
-65	10.280	83.58	4.0116	-7.427	79.248	-0.01819	0.20143	0.2000	0.1798	1.1618	2454	462.1	0.889	0.0215	0.0579	0.00504	13.68	-65	
-60	11.849	83.05	3.5108	-5.954	79.970	-0.01449	0.20050	0.2000	0.1821	1.1631	2409	463.4	0.852	0.0217	0.0572	0.00516	13.37	-60	
-55	13.603	82.51	3.0839	-4.475	80.690	-0.01082	0.19963	0.2000	0.1844	1.1644	2364	464.6	0.818	0.0220	0.0564	0.00527	13.06	-55	
-52.13	14.696	82.20	2.8766	-3.625	81.101	-0.00873	0.19916	0.2000	0.1858	1.1655	2338	465.2	0.799	0.0221	0.0560	0.00534	12.88	-52.13	
-50	15.554	81.97	2.7184	-2.990	81.406	-0.00719	0.19882	0.2000	0.1866	1.1663	2319	465.6	0.785	0.0222	0.0557	0.00538	12.75	-50	
-45	17.719	81.43	2.4043	-1.499	82.119	-0.00538	0.19807	0.2000	0.1883	1.1682	2275	466.6	0.754	0.0225	0.0549	0.00550	12.43	-45	
-40	20.112	80.88	2.1331	0.000	82.829	-0.00400	0.19737	0.2000	0.1918	1.1704	2231	467.4	0.725	0.0227	0.0542	0.00562	12.12	-40	
-35	22.750	80.33	1.8933	1.506	83.534	-0.00355	0.19671	0.2000	0.1944	1.1728	2187	468.0	0.697	0.0230	0.0534	0.00574	11.80	-35	
-30	25.649	79.77	1.6941	3.020	84.235	-0.00307	0.19610	0.2000	0.1971	1.1755	2143	468.5	0.671	0.0232	0.0527	0.00585	11.48	-30	
-25	28.827	79.20	1.5160	4.541	84.931	-0.00259	0.19553	0.2000	0.1998	1.1785	2100	468.8	0.646	0.0235	0.0520	0.00598	11.15	-25	
-20	32.300	78.63	1.3601	6.071	85.621	-0.00210	0.19500	0.2000	0.2026	1.1818	2056	469.0	0.622	0.0238	0.0512	0.00610	10.83	-20	
-15	36.066	78.05	1.2231	7.510	86.304	-0.00173	0.19450	0.2000	0.2056	1.1854	2013	469.0	0.599	0.0240	0.0505	0.00622	10.50	-15	
-10	40.203	77.46	1.1025	8.958	86.981	-0.00140	0.19404	0.2000	0.2086	1.1894	1970	468.9	0.578	0.0243	0.0498	0.00635	10.17	-10	
-5	44.671	76.87	0.9960	10.416	87.651	-0.00110	0.19360	0.2000	0.2117	1.1938	1926	468.5	0.557	0.0245	0.0491	0.00647	9.84	-5	
0	49.508	76.27	0.9016	11.884	88.313	-0.00079	0.19319	0.2000	0.2149	1.1986	1883	468.0	0.537	0.0248	0.0484	0.00660	9.51	0	
5	54.733	75.66	0.8177	13.362	88.966	-0.00051	0.19281	0.2000	0.2183	1.2038	1840	467.3	0.518	0.0250	0.0477	0.00673	9.18	5	
10	60.367	75.04	0.7430	14.842	89.610	-0.00025	0.19245	0.2000	0.2218	1.2095	1797	466.4	0.499	0.0253	0.0470	0.00687	8.85	10	
15	66.429	74.41	0.6763	16.325	90.245	-0.00011	0.19211	0.2000	0.2254	1.2157	1753	465.3	0.482	0.0256	0.0463	0.00700	8.51	15	
20	72.941	73.77	0.6165	17.812	90.868	0.00012	0.19179	0.2000	0.2291	1.2226	1710	464.0	0.464	0.0258	0.0457	0.00714	8.18	20	
25	79.936	73.12	0.5629	19.300	91.480	0.00049	0.19148	0.2000	0.2330	1.2301	1666	462.5	0.448	0.0261	0.0450	0.00728	7.84	25	
30	87.396	72.45	0.5146	20.792	92.079	0.00079	0.19118	0.2000	0.2371	1.2384	1623	460.8	0.432	0.0264	0.0443	0.00743	7.51	30	
35	95.384	71.78	0.4711	22.281	92.664	0.00123	0.19089	0.2000	0.2414	1.2476	1579	458.8	0.417	0.0267	0.0436	0.00759	7.17	35	
40	103.91	71.09	0.4318	23.769	93.234	0.00181	0.19061	0.2000	0.2460	1.2577	1535	456.6	0.402	0.0270	0.0430	0.00775	6.84	40	
45	112.99	70.38	0.3962	25.253	93.788	0.00249	0.19032	0.2000	0.2508	1.2690	1491	454.2	0.388	0.0273	0.0423	0.00792	6.50	45	
50	122.65	69.66	0.3638	26.734	94.324	0.00321	0.19004	0.2000	0.2560	1.2816	1447	451.6	0.374	0.0276	0.0416	0.00810	6.17	50	
55	132.92	68.92	0.3344	28.210	94.840	0.00400	0.18976	0.2000	0.2616	1.2956	1403	448.7	0.360	0.0280	0.0410	0.00829	5.83	55	
60	143.82	68.16	0.3076	29.683	95.336	0.00487	0.18946	0.2000	0.2676	1.3113	1358	445.5	0.347	0.0283	0.0403	0.00849	5.50	60	
65	155.38	67.39	0.2832	31.154	95.808	0.00581	0.18916	0.2000	0.2742	1.3289	1313	442.0	0.334	0.0287	0.0397	0.00871	5.17	65	
70	167.62	66.58	0.2608	32.625	96.255	0.00684	0.18884	0.2000	0.2814	1.3488	1268	438.3	0.322	0.0291	0.0390	0.00893	4.84	70	
75	180.56	65.76	0.2403	34.096	96.675	0.00796	0.18850	0.2000	0.2894	1.3713	1222	434.3	0.310	0.0295	0.0384	0.00918	4.52	75	
80	194.24	64.90	0.2214	35.567	97.065	0.00926	0.18814	0.2000	0.2983	1.3970	1176	430.0	0.298	0.0300	0.0377	0.00943	4.19	80	
85	208.68	64.02	0.2041	37.038	97.421	0.01073	0.18775	0.2000	0.3083	1.4265	1130	425.3	0.286	0.0304	0.0371	0.00971	3.87	85	
90	223.92	63.10	0.1880	38.502	97.740	0.01236	0.18732	0.2000	0.3196	1.4606	1083	420.3	0.275	0.0309	0.0364	0.01002	3.55	90	
95	239.97	62.14	0.1732	40.000	98.019	0.01416	0.18686	0.2000	0.3325	1.5003	1035	414.9	0.264	0.0315	0.0358	0.01035	3.24	95	
100	256.88	61.14	0.1595	41.525	98.251	0.01611	0.18634	0.2000	0.3475	1.5471	987	409.2	0.253	0.0321	0.0351	0.01071	2.93	100	
105	274.68	60.09	0.1468	43.078	98.431	0.01824	0.18576	0.2000	0.3650	1.6029	938	403.1	0.242	0.0327	0.0344	0.01112	2.62	105	
110	293.40	58.99	0.1349	44.659	98.551	0.02056	0.18511	0.2000	0.3858	1.6706	888	396.5	0.231	0.0334	0.0338	0.01158	2.32	110	
115	313.08	57.82	0.1238	46.268	98.600	0.02309	0.18433	0.2000	0.4112	1.7541	838	389.5	0.220	0.0343	0.0331	0.01210	2.03	115	
120	333.77	56.57	0.1134	47.905	98.568	0.02584	0.18354	0.2000	0.4427	1.8597	786	382.0	0.209	0.0352	0.0325	0.01270	1.74	120	
125	355.50	55.22	0.1036	49.571	98.435	0.02886	0.18266	0.2000	0.4804	1.9972	732	373.9	0.198	0.0362	0.0318	0.01341	1.47	125	
130	378.33	53.76	0.0943	51.265	98.177	0.03216	0.18141	0.2000	0.5237	2.1831	677	365.3	0.187	0.0375	0.0311	0.01425	1.20	130	
135	402.31	52.15	0.08																

## Anexos 7. Presentación de capacitación de plan de mantenimiento predictivo



## Continuación anexa 7.

### Puntos Críticos

- Presión de descarga y succión del sistema de refrigeración.
- Nivel de Refrigerante.
- Temperatura del tanque de agua fría de la línea 2.
- Temperatura del Blast Freezer.
- Compresores

### 4. Parámetros a controlar y monitorear del equipo.

Dentro de los parámetros de medición que se tomaron en cuenta para la elaboración del sistema de monitoreo y control se tiene:

- Presión de succión
- Presión de aceite
- Presión de descarga
- Temperatura de aceite
- Temperatura de Blast Freezer
- Frecuencia de Variador
- Amperaje de Variador
- Voltaje de Variador
- Temperatura de Maza Hercules

### 5. Programa de mantenimiento predictivo

Equipo eléctrico del sistema de monitoreo y control de mantenimiento predictivo.



### Pantalla del sistema de monitoreo y control



Fuente: Panifresh, S.A. *Presentación de plan de capacitación.* Consulta: julio de 2019