



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL EQUIPO DEL ÁREA DE REFRIGERACIÓN EN UN  
CUARTO FRÍO PARA EL ALMACENAMIENTO DE PLÁTANO, EMPLEANDO LA NORMA  
ISO 1217-2009 Y EL MANUAL DE INGENIERÍA BOHN, ISO 900-20000**

**Josué Javier Ovalle Sal**

Asesorado por el Ing. Jorge Iván Cifuentes Castillo

Guatemala, mayo de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL EQUIPO DEL ÁREA DE REFRIGERACIÓN EN UN CUARTO FRIO PARA EL ALMACENAMIENTO DE PLÁTANO EMPLEANDO LA NORMA ISO 1217-2009 Y EL MANUAL DE INGENIERÍA BOHN, ISO 900-20000**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JOSUÉ JAVIER OVALLE SAL**

ASESORADO POR EL ING. JORGE IVÁN CIFUENTES CASTILLO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, MAYO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martinez
VOCAL III	Ing. José Milton De León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Carlos Snell Chicol Morales
EXAMINADOR	Ing. Luis Alfredo Asturias Zuñiga
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## 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:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL EQUIPO DEL ÁREA DE REFRIGERACIÓN EN UN CUARTO FRIO PARA EL AMACENAMIENTO DE PÁTANO EMPLEANDO LA NORMA ISO 1217-2009 Y EL MANUAL DE INGENIERÍA BOHN, ISO 900-20000**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudio de Postgrado de Ingeniería, con fecha junio de 2018



**Josué Javier Ovalle Sal**

Ref. AGS-MIMPP-003-2019

Guatemala, 26 de febrero de 2019.

Director  
Julio César Campos Paiz  
Escuela de **Ingeniería Mecánica**  
Facultad de Ingeniería  
Su despacho.

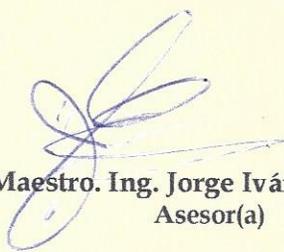
Estimado Director:

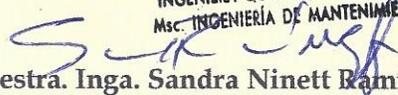
Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **Josué Javier Ovalle Sal** con carné número **201404266**, quien optó la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría de Ingeniería en Mantenimiento.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

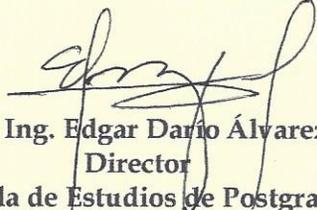
Sin otro particular, atentamente,

*"Id y Enseñad a todos"*

  
Maestro. Ing. Jorge Iván Cifuentes C.  
Asesor(a)

  
Maestra. Inga. Sandra Ninett Ramírez F.  
Coordinadora de Ingeniería de Mantenimiento

*Jorge Ivan Cifuentes Castillo*  
Maestro en Ciencias Ingeniero Mecánico  
Colegiado No. 3413

  
Maestro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería



Cc: archivo/LZ.L.A.

RESOLUCIÓN DE JUNTA DIRECTIVA: Proceso de Graduación aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011.



**USAC**

TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.088.2019

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 y con la aprobación de la Coordinadora del Área de Gestión y Servicios de la Escuela de Estudios de Postgrado, modalidad Pregrado-Postgrado de la Maestría de Ingeniería en Mantenimiento, del trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL EQUIPO DEL ÁREA DE REFRIGERACIÓN DE UN CUARTO FRÍO PARA EL ALMACENAMIENTO DE PLÁTANO, EMPLEANDO LA NORMA ISO 1217-2009 Y EL MANUAL DE INGENIERÍA BOHN, ISO 900-20000** del estudiante **Josué Javier Ovalle Sal**, CUI **2394960000401** y Registro Académico No. **999000515** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

**"Id y Enseñad a Todos"**

Ing. Julio César Campos Paiz  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, mayo 2019

/aej

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

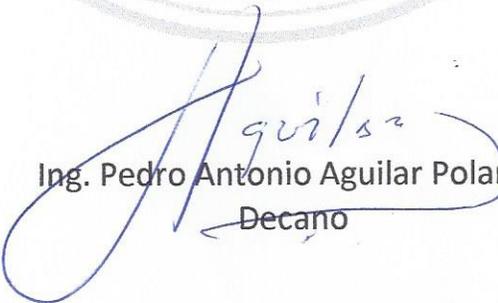


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 249.2019

El Decano 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: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL EQUIPO DEL ÁREA DE REFRIGERACIÓN DE UN CUARTO FRÍO PARA EL ALMACENAMIENTO DE PLÁTANO EMPLEANDO LA NORMA ISO 1217-2009 Y EL MANUAL DE INGENIERÍA BOHN, ISO 900-20000**, presentado por el estudiante universitario: **Josué Javier Ovalle Sal**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, mayo de 2019

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Por haberme dado la oportunidad de alcanzar uno de tantos sueños que ambos hemos planeado.

### **Mis padres**

Miguel Ángel Ovalle y María Elisa Sal, que con sus palabras y actos me enseñaron quizá un poco más que cualquier libro que en algún momento haya leído.

### **Mis hermanos**

Miguel Ángel y Brayan Orlando, que me apoyaron más de lo que cualquier persona podría imaginarse, por estar ahí cuando los necesitaba.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por ser el sitio en donde germinaron tantas anécdotas, tristezas, alegrías, amistades, por tener esa forma tan única de enseñar dentro y fuera de los salones, por haber sido mi segundo hogar.

**Facultad de Ingeniería**

Por brindarme los conocimientos que hicieron posible alcanzar el título de ingeniero.

**Amigos**

Por haberme enseñado que un largo y duro camino siempre es más fácil de recorrerlo con personas que te ayudan, que no te dejan solo, que con una broma o un regaño solo tratan de decirte “no te rindas”.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
GLOSARIO .....	VII
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	7
3.1. Pregunta general .....	8
3.2. Preguntas específicas .....	9
4. JUSTIFICACIÓN .....	11
5. OBJETIVOS .....	13
5.1. General.....	13
5.2. Específicos .....	13
6. NECESIDADES A CUBRIR.....	15
7. MARCO TEÓRICO.....	19
7.1. Conceptos generales de mantenimiento .....	19
7.1.1. Definición del mantenimiento.....	19
7.1.2. Mantenimiento correctivo.....	20
7.1.3. Mantenimiento preventivo.....	21
7.1.4. Mantenimiento predictivo .....	22
7.2. Principios de funcionamiento en el sistema de refrigeración ...	23

7.2.1.	Ciclo de refrigeración .....	23
7.3.	Compresores.....	24
7.4.	Evaporador.....	27
7.5.	Condensador.....	28
7.6.	Dispositivos de expansión.....	30
7.7.	Conceptos generales de termodinámica .....	32
7.7.1.	Densidad .....	32
7.7.2.	Presión .....	32
7.7.3.	Viscosidad .....	33
7.7.4.	Temperatura.....	33
7.7.5.	Escalas de temperatura .....	33
7.7.6.	Líquido comprimido, saturado, sobrecalentado.....	34
7.7.7.	Eficiencia térmica .....	35
7.8.	ISO 1217-2009.....	36
7.8.1.	<i>Test</i> de aceptación para compresores de desplazamiento .....	36
7.8.2.	Alcance.....	36
7.8.3.	Procedimiento del <i>test</i> .....	37
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	39
9.	METODOLOGÍA .....	41
9.1.	Diseño de la investigación.....	41
9.2.	Tipo de estudio.....	41
9.3.	Alcance .....	42
9.4.	Variable e indicadores.....	42
9.4.1.	Variables .....	42
9.4.2.	Indicadores.....	42
9.5.	Fase de investigación.....	43

10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	45
11.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	47
12.	CRONOGRAMA.....	49
13.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	51



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Esquema de solución .....	16
2.	Esquema y diagrama $T-s$ .....	24
3.	Componentes de un compresor hermético .....	25
4.	Partes de un compresor semihermético.....	26
5.	Evaporador.....	28
6.	Condensador.....	29
7.	Tipos de válvula de expansión .....	31
8.	Método para seleccionar una válvula de expansión.....	31
9.	Zonas de líquido.....	35

### TABLAS

I.	Desviaciones máximas de valores especificados .....	38
II.	Gastos del estudio.....	48



## GLOSARIO

<b>Adiabático</b>	Se describe como el proceso termodinámico en donde no existen pérdidas de calor o transferencia de energía.
<b>Amperaje</b>	Medida utilizada en la industria para cuantificar el flujo de electrones a través de un conductor, en el sistema internacional sus dimensionales con amperios.
<b>Análisis de vibraciones</b>	Técnica utilizada en el mantenimiento de clase mundial que se encarga de medir la frecuencia de rotación de un equipo y determinar si se encuentra bajo los límites de operación.
<b>Carga por infiltración</b>	Cantidad de calor que general el aire hacia un sistema de refrigeración.
<b>Ciclo de enfriamiento</b>	Proceso utilizado para remover el calor de los productos refrigerados o acondicionados.
<b>Compresor</b>	Máquina encargada de elevar la presión del refrigerante
<b>Condensador</b>	Elemento responsable de eliminar el calor que posee el refrigerante

<b>Entropía</b>	Medida del desorden de las cosas, utilizada en la termodinámica.
<b>Evaporador</b>	Herramienta delegada para la extracción del calor de los elementos refrigerados o acondicionados.
<b>Flujo refrigerante</b>	Sustancia utilizada en la refrigeración para remover el calor de los productos,
<b>Isentrópico</b>	Proceso termodinámico en el que la entropía permanece constante
<b>Isotérmico</b>	Procedimiento utilizado en la termodinámica en el que la temperatura permanece constante.
<b>Presión de descarga</b>	Medida de la fuerza por unidad de área en la salida del compresor.
<b>Reciprocante</b>	Término utilizado para aclarar que un proceso puede ser repetitivo.
<b>Sistema de refrigeración</b>	Conjunto de elementos utilizados para preservar o acondicionar un entorno, compuesto por un, compresor, evaporador, condensador y válvula de expansión.
<b>Tasa de flujo</b>	Volumen de una sustancia que pasa por un área determinada en un tiempo establecido.

<b>Termodinámica</b>	Rama de la física encargada del estudio de los fenómenos mecánicos que produce el calor.
<b>Termografía</b>	Técnica utilizada para determinar el nivel de calor que posee un equipo.
<b>Válvula de expansión</b>	Dispositivo utilizado para reducir la presión del refrigerante al igual que su temperatura.
<b>Voltaje</b>	Medida utilizada para cuantificar la diferencia de potencial existente en un dispositivo eléctrico.



# 1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio se realiza a través de una empresa dedicada al mantenimiento de cuartos fríos, congelados, sistemas de refrigeración y aire acondicionado en general, la investigación tiene lugar en el Departamento de Guatemala, Municipio de Guatemala en una empresa destinada al almacenamiento y preservación de plátano.

El proceso de investigación se centra en el análisis del sistema de refrigeración, desde que el refrigerante ingresa en su estado líquido al compresor, incrementando la presión y por ende también su temperatura, luego pasa por un condensador a la misma temperatura, para retirar el calor proveniente desde el compresor, enseguida el refrigerante atraviesa la válvula de expansión que se encarga de cambiar la presión del fluido de un punto muy alto hacia uno muy bajo, provocando con esto un decremento de temperatura que absorbe el calor del producto en el cuarto y lo transfiere hacia el evaporador.

El problema principal en el sistema se genera por el sobrecalentamiento de los dispositivos de refrigeración debido a las variables que rodean el entorno en que el sistema se encuentra trabajando, cualquier variación de estos fenómenos produce un cambio que puede repercutir en un fallo mayor que perjudica el funcionamiento del sistema y con esto afecta las operaciones de la empresa.

En la investigación se plantea una propuesta para la selección de un sistema de refrigeración para la preservación de plátano, ella cual incluye selección de equipo que depende de las variables que lo rodean, temperaturas

de operación internas y externas del cuarto entre otros factores. De igual manera se presentan procedimientos necesarios que se deben seguir para el correcto montaje del equipo.

Así mismo se propone un manual de operación, que permita al operador o mecánico determinar el origen del problema, basándose en el análisis de las variables, como temperatura, presión, humedad específica, que rodean el sistema, haciendo uso de normas, gráficas, y otras herramientas para poder dar un mejor diagnóstico

El capítulo uno es una recopilación de los conceptos teóricos que ayudan a la comprensión de la investigación, en este se detallan conceptos relacionados al mantenimiento y sus diferentes divisiones y aplicaciones en la industria, como también conceptos de termodinámica y refrigeración, vinculados con las escalas de temperatura, presión, densidad entre otros conceptos.

El capítulo dos está comprendido por la metodología a utilizar en el desarrollo de la investigación, desde las estrategias que se deben tomar para la organización y selección de documentos que ahorran tiempo en la búsqueda de información, hasta los métodos que se deben emplear en la recolección, cuantificación, análisis y discusión de las variables que afectan al sistema de refrigeración.

En el capítulo tres se realiza un recuento de los resultados obtenidos en la investigación, como cuál fue el factor más influyente en los fallos inesperados, de igual manera la comparación de gráficas de las variables involucradas en el estudio para analizar el comportamiento del sistema de refrigeración

En el cuarto capítulo se procede a realizar la propuesta para la selección del equipo de refrigeración y los procedimientos a seguir para la construcción de un cuarto frío que supla todas las necesidades que tiene el sistema y las variables que lo afectan, al igual que un manual de mantenimiento que ayudará a conservar la calidad del servicio.



## 2. ANTECEDENTES

En la refrigeración, los equipos son considerados muy confiables cuando se encuentran bajo el seguimiento de un mantenimiento preventivo tal como lo menciona Monterroso (2005), a consecuencia de que a menudo pueden aparecer fallos inesperados dentro de una planta o industria que utilicen esta clase de equipos, afectando las operaciones que en ella se ejecuten, en consecuencia, la ejecución de un sistema de mantenimiento se vuelve muy valioso.

Según Valdéz (2008) existen límites de temperatura rigurosos los cuales se utilizan para obtener la mayor eficiencia del compresor durante su vida útil, sin embargo, existen factores que pueden afectar el rendimiento y reducir el tiempo de vida del compresor, algunos de los factores que afectan son; la elevación de temperatura al comienzo y final del evaporador al igual que en la tubería de succión y descarga del compresor, sin olvidar las variaciones en el sistema eléctrico y de lubricación.

Demma (2010) consideró que el sobrecalentamiento en los equipos es un problema simple que puede resolverse por una inspección básica, sin embargo, el autor indica que con una revisión más precisa por el operador pueden revelarse muchas fallas mecánicas o eléctricas que tienen su origen en este fenómeno, algunos de los elementos más afectados son el compresor y los dispositivos de control eléctrico.

Castellanos (2012) indica que los cuatro primeros factores de importancia para determinar la carga de refrigeración son la carga por transmisión, por

producto, interna y por infiltración, por lo tanto, el incorrecto análisis y cálculo de los elementos mencionados con anterioridad produce una mala selección de equipos provocando que estos no generen la carga de refrigeración requerida y un sobredimensionamiento de estos produce un gasto de energía innecesario.

Los factores mencionados en la norma ISO 1217-2009 en cuanto a la instrumentación utilizada para la medición de variables están directamente relacionados con la posición en la que se encuentren ubicadas dentro del sistema y al mismo tiempo se relacionan con el correcto diseño de este, las normas manuales y fichas técnicas hacen que el ciclo de funcionamiento tanto como la recolección de datos, sean más eficientes.

Sierra (2004) indica que brindarle soporte al plan de mantenimiento preventivo es la mejor manera de tener un sistema organizado, siempre con la ayuda de algún método de control que se encarga de monitorear las actividades e intervenciones hechas a los dispositivos, con el fin de tener un conocimiento más amplio del estado de la máquina, el cual ayudará a reducir tiempo entre reparaciones y fallas.

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En Guatemala existe, en el Departamento de Chimaltenango Municipio de Chimaltenango, una empresa dedicada al mantenimiento de cuartos fríos para el almacenamiento y preservación de frutas, verduras, semillas, carnes y flores, con incremento importante en su reconocimiento a nivel departamental y regional

En la empresa el sistema de refrigeración funciona empleando el ciclo de enfriamiento Carnot inverso, utilizando como fluido de enfriamiento al refrigerante R404A. Este inicia el ciclo de refrigeración en el compresor donde el fluido se eleva a una presión alta, pasando después al condensador para su enfriamiento, en seguida pasa por la válvula de expansión la cual reduce la presión que el fluido posee, reduciendo con esto su temperatura, luego todo el calor encerrado dentro del cuarto frío es transferido hacia el evaporador.

Los elementos de refrigeración en cuartos fríos de almacenamiento de plátano sufren de recalentamiento en partes como: las tuberías, el compresor, condensador entre otras partes. El fenómeno está fuertemente relacionado a la exposición constante de dispositivos en ambientes contaminados de polvo, humedad, erróneo cálculo de la capacidad de enfriamiento, incorrecta selección de equipos con base en la carga térmica, pérdida de flujo refrigerante en las tuberías y accesorios del sistema de refrigeración.

Otro parámetro importante a tomar en cuenta para el cálculo de las cargas de refrigeración son las presiones de trabajo que depende del gas refrigerante y

la correcta selección del mismo para la carga solicitada y sus especificaciones acordes al manual del equipo y las normas 022-ENE/SCFI/ECOL-2000.

Algunos de los problemas de un sistema de refrigeración nacen como consecuencia de un mal diseño como, por ejemplo, mala selección de los equipos, compresor, evaporador, condensador, dispositivo de expansión y tuberías por mencionar algunos, lo que hace que los dispositivos trabajen con mayor esfuerzo, sin lograr proporcionar la carga de refrigeración que el sistema demanda, con ello se genera un sobrecalentamiento en algunos de estos.

Dentro de la empresa se cuenta con un método para solucionar problemas este consiste en que el mecánico diagnostique el problema sin ninguna herramienta, ni manual de procedimientos que le facilite al mecánico la resolución de problemas con una mayor rapidez. Con esta herramienta el mecánico puede realizar un análisis comparativo del estado de la máquina para determinar cómo y dónde se está generando el problema.

A consecuencia de los problemas suscitados surgen las siguientes preguntas:

### **3.1. Pregunta general**

¿Cómo se puede mejorar el funcionamiento del área de refrigeración de un cuarto frío en una empresa para el almacenamiento de plátano?

### **3.2. Preguntas específicas**

1. ¿Qué variables del entorno del área de refrigeración de un cuarto frío para el almacenamiento de plátanos, se deben readecuar para mejorar su funcionamiento?
2. ¿Qué es posible mejorar en el plan de mantenimiento de un sistema de refrigeración de un cuarto frío para el almacenamiento de plátano?
3. ¿Qué plan puede adaptarse a las necesidades de funcionamiento en la industria de refrigeración para el almacenamiento de plátano, basadas en la Norma ISO 1217-2009 y el manual de ingeniería BOHN, con base en ISO 9001-20000?



## 4. JUSTIFICACIÓN

El estudio sigue la línea de investigación correspondiente a la Maestría en Ingeniería de Mantenimiento, centrada en la normalización del mantenimiento debido a que se propondrá una mejora del sistema utilizando métodos basados en guías técnicas utilizadas internacionalmente. La utilización de mantenimiento planificado hacia un compresor en el sistema de refrigeración da como resultado la reducción de paros por fallos y mejora la programación para la compra de repuestos.

El tipo de mantenimiento incluye herramientas que se pueden utilizar para realizar un mejor análisis y un plan de monitoreo que se encargue de estudiar las variables que afectan el entorno al cual está sometido el sistema, variables como presión, temperatura de succión, presión de descarga, temperatura de descarga, niveles de aceite, características eléctricas como amperaje y voltaje de operación.

En la industria guatemalteca se presenta un fenómeno con respecto al mantenimiento en los equipos de refrigeración donde las unidades están expuestas a entornos hostiles provocándoles una innumerable cantidad de fallas que provocan daños colaterales en la producción, ventas, etc.

Todo lo mencionado con anterioridad puede ser erradicado con un método de control y seguimiento de los elementos que conforman el sistema de refrigeración, contrarrestando los efectos que pueda producir el entorno sobre los equipos, asegurando a la empresa un tiempo alargado de vida útil de su maquinaria.

Los sistemas modernos utilizados en el campo de la refrigeración han sido mejorados para trabajar con altas temperaturas, utilizando compresores que trabajen a una mayor velocidad y contruidos con diseños más eficientes, capaces de sobreponerse a condiciones que generen pérdidas en el proceso como fugas, incremento del calor, cargas térmicas del producto, humedad, temperatura de trabajo e impurezas en el ambiente.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

Rediseñar el equipo, del área de refrigeración de un cuarto frío para el almacenamiento de plátano, empleando Norma ISO 1217-2009 y el manual de ingeniería BOHN, basado en, ISO 9001-20000.

### **5.2. Específicos**

1. Analizar las variables del entorno del área de cuartos fríos para el rediseño del equipo de un sistema de refrigeración para almacenamiento de plátano.
2. Plantear el diseño de un cuarto frío y sus dispositivos de refrigeración que se adapte a las variables y entornos a los que se encuentra expuesto el sistema de almacenamiento de plátano
3. Diseñar un plan de control y seguimiento del mantenimiento de un sistema de refrigeración para un cuarto frío que almacena y preserva plátanos, basado en Norma ISO 1217-2009 y en el manual de ingeniería BOHN, basado en ISO 9001-20000.



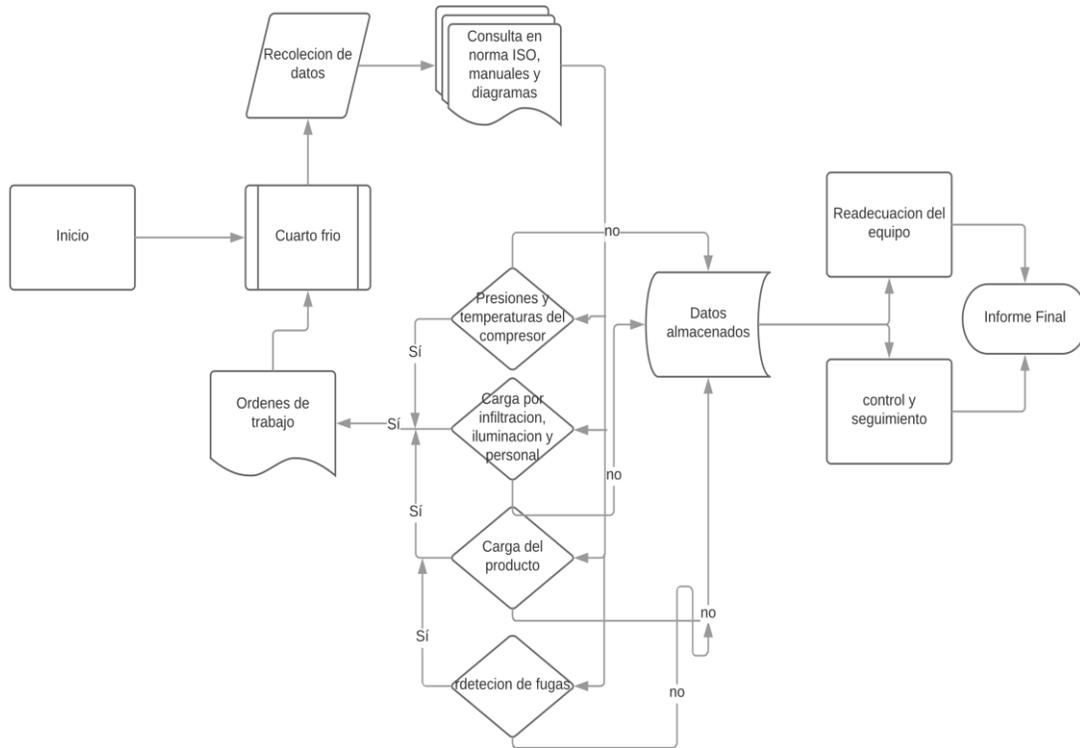
## **6. NECESIDADES A CUBRIR**

El siguiente estudio se basa en el análisis de las propiedades del producto y las del entorno que rodean al sistema de refrigeración, a través de la norma ISO 1217-2009 y en el manual de ingeniería BOHN, basado en ISO 9001-20000, así como en el manual para la construcción de cuartos fríos de Cruz (2008) y el manual de refrigeración y aire acondicionado de Wang (2001), con el apoyo del diagrama de Mollier y un software de análisis estadístico como Excel y Project.

En la selección de equipos es necesario conocer el tipo de producto que se desea preservar, para ello se utilizan tablas preestablecidas de presión y temperatura las cuales contienen el calor interno del producto, al igual que el calor generado por equipo eléctrico, lámparas, interruptores, infiltración o por el ingreso de personal al área acondicionada.

Luego de analizar todas las variables que puedan afectar al sistema de refrigeración, se debe tener un plan para preservar la calidad del trabajo realizado esto se logra mejorando el plan de mantenimiento hacia los equipos de refrigeración involucrando las variables que los rodean.

Figura 1. Esquema de solución



Fuente: elaboración propia.

El proceso inicia recolectando datos del cuarto frio, como presión en la entrada de baja del compresor, presión en la salida de alta de este mismo, humedad relativa, temperatura en la salida del condensador y temperatura en la entrada del evaporador. Teniendo estos datos se procede a realizar el análisis correspondiente con la ayuda del diagrama de Mollier, la norma ISO 1217-2009, el manual para la construcción de cuartos fríos de Cruz (2008) y el manual de refrigeración y aire acondicionado Wang de (2001).

Luego de extraer la información necesaria de las herramientas antes mencionadas se procede al análisis y comparación de los parámetros descritos en el diagrama de flujos, como los parámetros de operación del compresor dados por su guía técnica y la comparación del calor que emana de las

diferentes cargas con los cálculos teóricos. Si en alguno de estos valores se encuentra alguna discontinuidad se deberá repetir el proceso, en caso contrario, es decir al estar todas las variables de acuerdo a lo establecido, se procede a realizar un informe que detalle la operación realizada para ser almacenada en una base de datos que servirá de apoyo a la readecuación, control y seguimiento del área de refrigeración de un cuarto frío para almacenamiento y preservación de plátano.



## **7. MARCO TEÓRICO**

### **7.1. Conceptos generales de mantenimiento**

En seguida se presentan conceptos básicos sobre el mantenimiento, los cuales son importantes para la comprensión de este documento.

#### **7.1.1. Definición del mantenimiento**

Rendón, A. (2014) indica que el mantenimiento puede definirse como la inspección de las instalaciones donde se encuentra ubicado el equipo, al mismo tiempo indica que se trata de una verificación constante del correcto funcionamiento de un sistema. Junto con esto expone que el objetivo principal del mantenimiento es alargar la vida útil de los elementos dentro de una industria con herramientas como gráficas comparativas de desempeño, ensayos no destructivos, análisis de indicadores entre otros.

Córdova (2018) describe al mantenimiento como un conjunto de actividades aplicados a la maquinaria que pueda presentarse en una industria, como vehículos, instrumentación y demás dispositivos relacionados a este para alargar su vida útil, concordando con García (2007) quien afirma que el objetivo principal del mantenimiento es estudiar la razón del envejecimiento de los dispositivos para identificar las mejoras que puedan aplicarse.

El deterioro de las herramientas, maquinaria y demás dispositivos es un proceso difícil de interrumpir, sin embargo, se trata de controlar por medio del mantenimiento debido a que este se encarga de analizar las razones que

aceleran el desarrollo del envejecimiento, extendiendo con esto la disponibilidad de los equipos.

### **7.1.2. Mantenimiento correctivo**

El más básico de todos los mantenimientos es el correctivo, ya que consiste en la simple sustitución y reparación de elementos desgastados los cuales se presentan al ocurrir un fallo tal como lo menciona García (2009), quien al mismo tiempo expone que la existencia de este mantenimiento en equipos críticos dentro de la planta revela una carencia de control sobre los dispositivos, sin embargo, al existir muchos equipos puede considerarse este para elementos no críticos dentro de la planta.

Torres (2010) presenta al mantenimiento correctivo como un conjunto que puede componerse de tres actividades iniciando por la inspección visual, que consiste en el uso de la visión para la detección de fallas, el segundo aspecto mencionado es la lubricación y las características que hacen de esta actividad una de las más importantes dentro del mantenimiento, por último, se refiere a la reparación de las fallas ocurrentes.

Monterroso (2005) centra su concepto del mantenimiento correctivo en el modo en que sucede la falla, siendo inesperada o imprevista, provocando que las acciones que se deben tomar sean inmediatas y dependiendo del grado del defecto, así será el tiempo que la reparación dure lo que representa una pérdida para la empresa involucrada.

El mantenimiento correctivo es un estado en el que se tiene una máquina por distintas razones como situaciones financieras, en circunstancias en que se está dispuesto a permitir ciertos niveles de fallas sabiendo que la atención a las

mismas debe ser inmediata y debe durar el menor tiempo posible para no repercutir en los procesos que la industria esté realizando.

### **7.1.3. Mantenimiento preventivo**

Morales (2008) manifiesta que el mantenimiento preventivo es caracterizado por poseer programas que ayudan a la reducción de fallos, reduciendo su frecuencia, pero aumentando el tiempo entre los fallos que tenga el dispositivo. Lo que busca esta técnica es establecer la vida útil de un elemento, determinar qué tipo de trabajos u operaciones hay que efectuarle y agrupar estos trabajos como parte de una planificación, sin embargo, al inicio de su implementación genera algunos inconvenientes con la operación, costes en inventarios.

Sierra (2004) presenta al mantenimiento preventivo como un conjunto de inspecciones programadas que se deben realizar a ciertos activos existentes dentro de una empresa siendo el propósito de esta la localización de desperfectos discontinuidades o cualquier desajuste que no se encuentre dentro de los parámetros iniciales del sistema.

Veras (2009) sostiene que uno de los pilares importantes en el mantenimiento preventivo es la programación de actividades que detecten las fallas antes de que estas sucedan, entre las actividades se menciona la inspección visual, lubricación y la comprometida colaboración de todo el personal dentro de la planta para seguir las instrucciones y con la ayuda de manuales y fichas técnicas anticiparse a cualquier problema.

El mantenimiento preventivo toma como herramientas actividades simples y cotidianas dentro de la industria, por ejemplo, inspección del nivel de aceite en

cualquier equipo, voltaje, amperaje y otros aspectos eléctricos como la potencia en los equipos, a fin de adelantarse a cualquier fallo que se pueda presentar.

#### **7.1.4. Mantenimiento predictivo**

La esencia de este método es anticiparse a los fallos, mediante la implementación de técnicas de predicción tal como lo revela Sánchez (2017). En el campo industrial existen ciertos ensayos no destructivos que se utilizan como herramienta para este mantenimiento, estos proporcionan información del estado actual de la máquina y si esta presenta alguna desviación de lo establecido.

Marín (2014) remarca que la velocidad de fallo en un equipo se desarrolla muy lentamente, presentándose ciertas irregularidades en su funcionamiento, detectables con equipo especializado como ultrasonido, termografía, radiografía industrial y análisis de vibraciones, con el objetivo de establecer la fecha de su reparación

Huertas (2007) basa su concepto del mantenimiento predictivo en los elementos que componen a la técnica VOSO la cual se apoya de los cinco sentidos para la detección de fallas. El método consiste en detectar discontinuidades con la vista y tacto, ruidos distintos al de operación y olores fuera de lo normal con el fin de anticiparse a cualquier desastre.

Siguiendo el fin del mantenimiento, el predictivo pretende extender la vida útil de los equipos con herramientas que le ayudan a predecir el momento del fallo antes que este suceda, sin embargo, alcanzar ese objetivo requiere de una gran coordinación y capacitación al momento de efectuar algún ensayo, la

inversión en este método es mayor a la de las otras técnicas mencionadas, pero su beneficio es igual de alto.

## **7.2. Principios de funcionamiento en el sistema de refrigeración**

Seguidamente se presentan conceptos básicos sobre la refrigeración al igual que los elementos que hacen posible el ciclo de esta.

### **7.2.1. Ciclo de refrigeración**

Cengel & Boles (2011) mencionan que el ciclo de refrigeración opera bajo el ciclo de Carnot invertido, que hace referencia a dos procesos isotérmicos reversibles los cuales están localizados en el condensador y el evaporador, y a dos procesos isentrópicos, los cuales se pueden representar con dispositivos como el compresor y la válvula de expansión o tubo capilar. El ciclo de refrigeración puede describirse de la siguiente manera:

1-2 Compresión isentrópica en un compresor.

2-3 Expulsión de calor al ambiente a temperatura constante por medio de un condensador

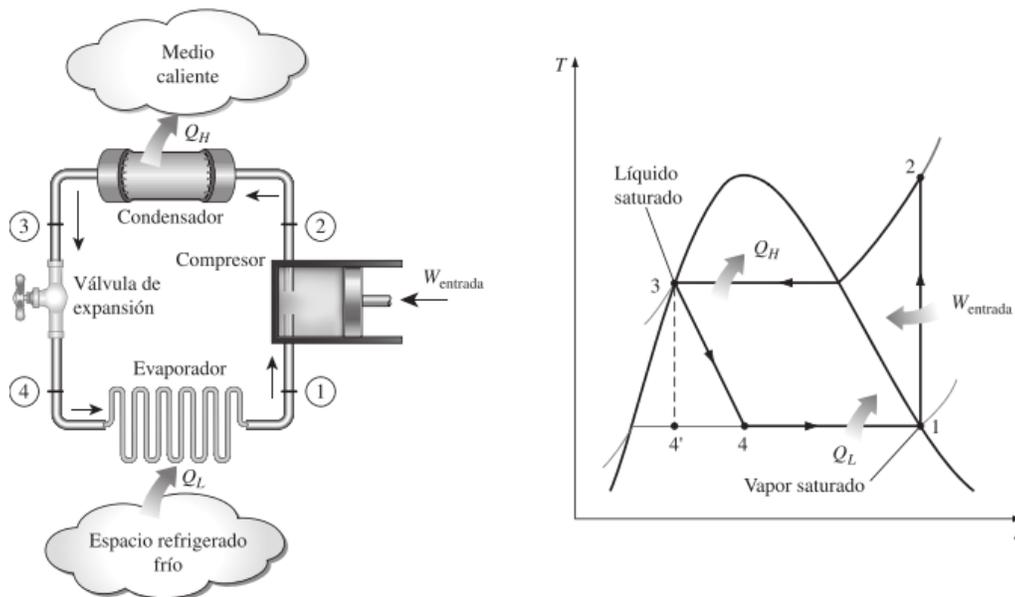
3-4 Generar un cambio radical de presión y temperatura a través de un dispositivo de expansión.

4-1 Transferencia de calor a temperatura constante por medio de un condensador.

Valdéz (2008) indica que la elevación en la temperatura al inicio y fin del evaporador: generalmente similar o muy parecida, determinando así que se está empleando el dispositivo a su plena capacidad y depende de la temperatura de evaporación del gas empleado.

También dice que el incremento en la temperatura de la tubería de succión del compresor depende de que se haya concluido con el ciclo de condensación en el interior del evaporador al igual que su trayectoria en la línea de succión. Con el propósito de alcanzar una temperatura aceptable se suele hacer uso de un dispositivo que transfiera el calor que está situado entre el tubo capilar y el tubo de retorno desde el evaporador a la succión del compresor.

Figura 2. **Esquema y diagrama  $T-s$  para el ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor**



Fuente: Cengel ; Boles (2010). *Termodinámica: un aprovechamiento de la energía*.

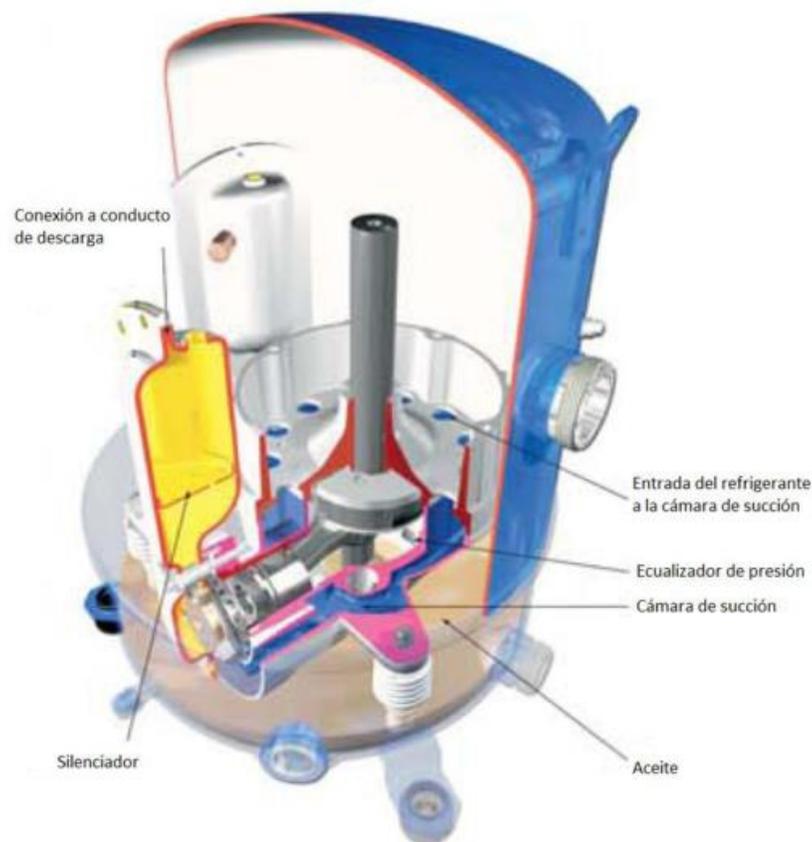
### 7.3. Compresores

Alonso (2012) señala que en el campo de la refrigeración existen dos tipos de compresores los cuales pueden clasificarse como herméticos y semihermético, clasificados desde el punto de vista del encapsulado en el que

se encuentra el sistema interno pues estos poseen una clasificación general, por ejemplo: recíprocantes, rotativos, *scroll*.

El compresor hermético puede considerarse como recíprocante debido a que la presión que este genera se obtiene gracias a la acción lineal y repetitiva que ejecuta un pistón dentro de un cilindro creando con esto una reducción de volumen en el cilindro donde se deposita el gas.

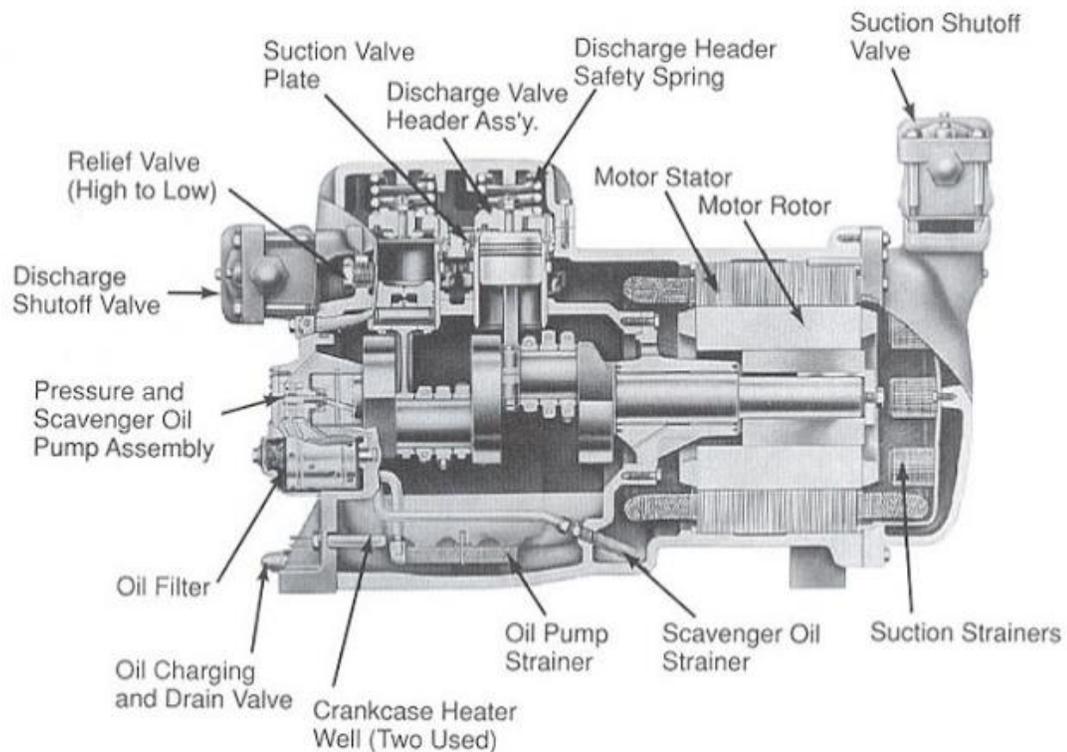
Figura 3. **Componentes de un compresor hermético**



Fuente: Alonso (2012). *Estudio experimental del efecto de las condiciones de funcionamiento de un compresor de pistón hermético en su rendimiento, trabajando con propano y R407. Análisis teórico de los resultados mediante un modelo matemático avanzado.*

Pineda (2013) hace notar que los compresores herméticos y semihermético funcionan de manera similar, ya que utilizan el movimiento recíprocante de un pistón creando una diferencia de presiones la cual es aprovechada para el uso que requiera el cliente, sin embargo, la principal diferencia es el encapsulado pues este último no se encuentra sellado, facilitando con esto su reparación y mantenimiento.

Figura 4. **Partes de un compresor semihermético**



Fuente: Pineda (2013). *Dispositivos de flujo estable - estado estable.*

Wang (2001) se enfoca en los compresores recíprocantes refiriéndose a ellos como máquina que utiliza un ciclo repetitivo para brindarle energía a un

fluido a fin de elevar su presión. Estos pueden utilizar distintas configuraciones de cilindros dependiendo de cuánta potencia se requiera,

#### **7.4. Evaporador**

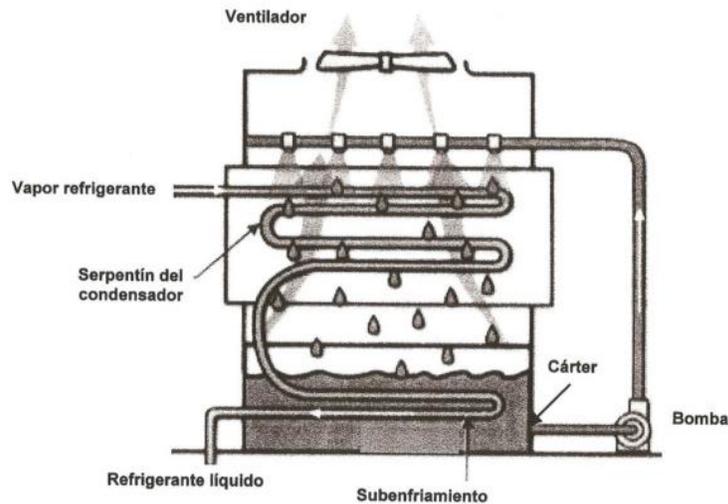
Salas (2012) resalta la importancia de los evaporadores dentro de la industria en la actualidad, así como las ventajas que proporcionan como el ahorro energético, la buena relación con el medio ambiente y la seguridad al momento de operar, al igual que el desarrollo llevado a cabo en estos dispositivos y la tecnología implementada para mejorar su eficiencia.

Padilla (2013) indica que un evaporador consta de un intercambiador de calor que se encarga de proporcionar una combinación de calor latente y sensible hacia otro dispositivo. Como un recurso para el enfriamiento del fluido y el separador que se encarga del desacoplamiento de calor del fluido en su estado líquido hacia otro sistema normalmente se utiliza el medio ambiente.

El principio de funcionamiento del evaporador es sencillo, pues consiste en transmitir al medio ambiente el calor excedente de los distintos procesos que puedan existir en la industria como las máquinas térmicas, utilizando la evaporación de una pequeña cantidad de líquido, dando como resultado un ahorro de energía y con las temperaturas bajas a las que el refrigerante trabaja se asegura el correcto funcionamiento del proceso.

La metodología se vuelve eficaz debido al sistema de transferencia de calor latente, lo que permite un removimiento ampliamente considerable de calor, en comparación con los métodos antiguos de transmisión de calor hacia el medio ambiente

Figura 5. **Evaporador: ciclo del fluido de trabajo para un condensador evaporativo**



Fuente: Hernández (2009). *Análisis de cálculo, diseño y mantenimiento de una cámara de refrigeración utilizado en productos perecederos a 4°C.*

## 7.5. Condensador

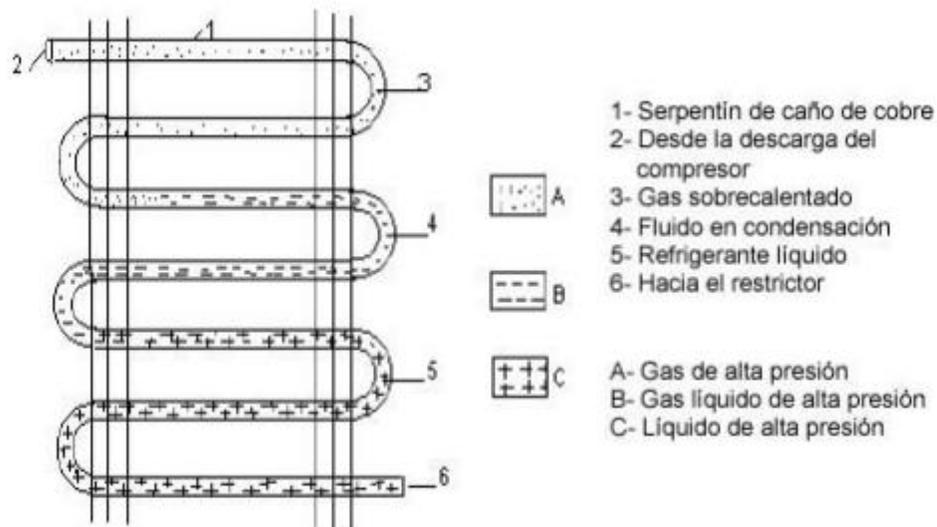
Isidro (2011) expone su opinión sobre los condensadores diciendo que estos son dispositivos empleados para la separación de vapores restantes a través de la saturación, incluyendo con esto un cambio de fase, para obtener este cambio de fase pueden utilizarse dos métodos: el primero señala un aumento de presión a una temperatura constante, mientras que el segundo aconseja disminuir la temperatura manteniendo la presión constante. Este método es comúnmente aplicable al campo de la refrigeración para obtener bajas temperatura debido a las eficiencias de remoción que se requiere.

También indica que un condensador es una herramienta importante en el ciclo de refrigeración, debido a que la concentración de entrada, en

comparación con la de saturación, es distinta, permitiendo que la estructura del refrigerante pueda lograr eficiencias de remoción del 90% con refrigerantes simples y comúnmente usados, como el agua, amoníaco entre otros.

Coronel (2015) presenta al evaporador como una máquina que se encarga de transferir el calor del producto hacia si mismo, en los sistemas de refrigeración esto sucede gracias a que el líquido refrigerante entra en el evaporador a una temperatura muy baja absorbiendo así el calor del producto.

Figura 6. **Condensador: descripción del comportamiento del refrigerante en distintas partes del condensador**



Fuente: Coronel (2015). *Mejoramiento del sistema de enfriamiento, del condensador del minichiller del laboratorio de fluidos del AEIRNNR.*

En el mercado de condensadores se puede encontrar usualmente dos tipos, los de superficie y los de contacto, en el primero el calor del medio ambiente no se encuentra en contacto con la corriente del gas refrigerante presente en el sistema, mientras que en los de contacto existe un condensador

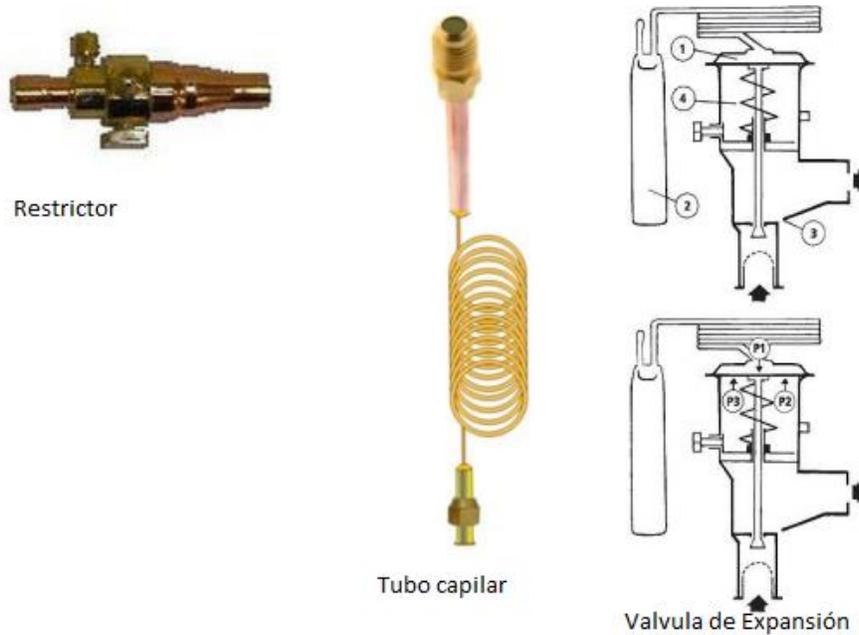
denominado de tubos y envoltura, en este el refrigerante circula alrededor de los tubos creando un recubrimiento en la superficie de menor temperatura provocando un cambio de fase a la entrada y luego drenándose hacia un tanque de almacenamiento.

## **7.6. Dispositivos de expansión**

Cengel (2012) describe un dispositivo de expansión como el instrumento encargado de restringir el paso de algún fluido o gas, ocasionando con esto una caída abrupta de temperatura, lo cual concuerda con lo que Mayo (2018) dice al indicar que una expansión en un ambiente con una temperatura menor evapora parcialmente el fluido disminuyendo su temperatura y absorbiendo calor latente del ambiente.

Estos dispositivos se caracterizan por ser pequeños y puede suponerse que el flujo en su interior es adiabático debido a que en el mecanismo no existe la suficiente área para producirse una transferencia de calor hacia el ambiente y tampoco se genera ningún tipo de trabajo por las dimensiones del instrumento. Los principales tipos de herramientas de estrangulación son válvulas de expansión, tubos capilares y el dispositivo que restringe.

Figura 7. Tipos de válvula de expansión: dispositivos de estrangulación utilizados en refrigeración



Fuente: Hernández (2009). *Análisis de cálculo, diseño y mantenimiento de una cámara de refrigeración utilizado en productos perecederos a 4°C.*

Figura 8. Método para seleccionar una válvula de expansión

<b>S</b>	<b>V</b>		<b>E</b>	<b>5</b>	<b>GA</b>	<b>1/2" ODF Soldar</b>	<b>7/8" ODF Soldar</b>	<b>1/4" ODF Soldar</b>	<b>5'</b>
Tipo de Cuerpo	Código Sporlan - Refrigerante - Código de Color en Etiqueta de Elemento		"E" especifica ecualizador externo. Omisión de la letra "E" indica una válvula con ecualizador interno. Por Ejemplo: SV-5-C	Capacidad Nominal en tons	Carga Termostática	Tamaño y Estilo de Conexión de Entrada	Tamaño y Estilo de Conexión de Salida	Tamaño y Estilo de Conexión de Ecualizador Externo	Longitud del Tubo Capilar (pies o pulgadas)
	F para 12 - Amarillo E para 13 - Azul V para 22 - Verde G para 23 - Azul M para 124 - Azul J para 134a - Azul X para 401A - Rosa L para 402A - Arena S para 404A - Naranja	V para 407A - Verde N para 407C - Café S para 408A - Morado F para 409A - Amarillo Z para 410A - Rosa R para 502 - Morado W para 503 - Azul P para 507 - Azul Claro W para 508B - Azul A para 717 - Blanco							

Fuente: Hernández (2009). *Análisis de cálculo, diseño y mantenimiento de una cámara de refrigeración utilizado en productos perecederos a 4°C.*

## 7.7. Conceptos generales de termodinámica

El estudio se fundamenta en el análisis termodinámico de la transferencia de calor del producto refrigerado hacia el equipo de refrigeración tal como describe Zemansky (2013) de igual forma se describen los siguientes conceptos:

### 7.7.1. Densidad

El autor describe ciertas características acerca de los fluidos como por ejemplo la densidad, la cual se describe como la relación que existe entre la masa y el volumen de un material tal como se describe a continuación:

$$\rho = \frac{m}{v} \left( \frac{kg}{m^3} \right) \quad ecu(1)$$

### 7.7.2. Presión

Si un fluido se encuentra en reposo por naturaleza este tiende a ejercer una fuerza perpendicular contra cualquier superficie que permanezca en contacto con este, a dicho fenómeno se le denomina presión y está dado por la fuerza, por unidad de área que realiza un fluido, objeto, etc. Puede definirse de la siguiente manera:

$$P = \frac{F}{A} \left( \frac{N}{m^2} \right) \quad ecu(2)$$

### **7.7.3. Viscosidad**

La viscosidad específica es la capacidad de un fluido de aferrarse a la superficie por donde fluye, los fluidos que tienen una mayor facilidad de transportarse por el conducto que los contiene poseen una menor viscosidad y esta depende de la temperatura, si aumenta la temperatura en un líquido este reduce su viscosidad y la aumenta al disminuir la temperatura.

### **7.7.4. Temperatura**

El concepto de temperatura habitualmente se compara con la percepción del sentido del tacto hacia lo caliente o lo frío, sin embargo este es un concepto muy simple para este fenómeno, estando presente en muchos materiales, mostrando propiedades diferentes y manifestándose como causa de la variación de otros fenómenos como la presión, entalpía, o relacionada también con la energía cinética que presentan las moléculas.

### **7.7.5. Escalas de temperatura**

Para su estudio, análisis y uso es necesario cuantificar esta propiedad para ello se hace uso de una escala de temperaturas. El mecanismo funciona de la siguiente manera, se coloca un líquido usualmente mercurio en un recipiente y se observa que al incrementar la temperatura el líquido se expande subiendo por el recipiente, en caso contrario al disminuir la temperatura el líquido se contrae. A señalizar el recipiente se genera una proporción de temperatura y cambio de distancia, esto puede repetirse con otro líquido generando así otra escala de temperaturas.

En la actualidad existen ciertos parámetros ya establecidos internacionalmente para medir la temperatura, siendo los más comunes Celsius y Kelvin para el Sistema Internacional, y Fahrenheit y Rankin para el Sistema Inglés.

$$T_c = \frac{5}{9}(T_F - 32^\circ) \quad ecu(3)$$

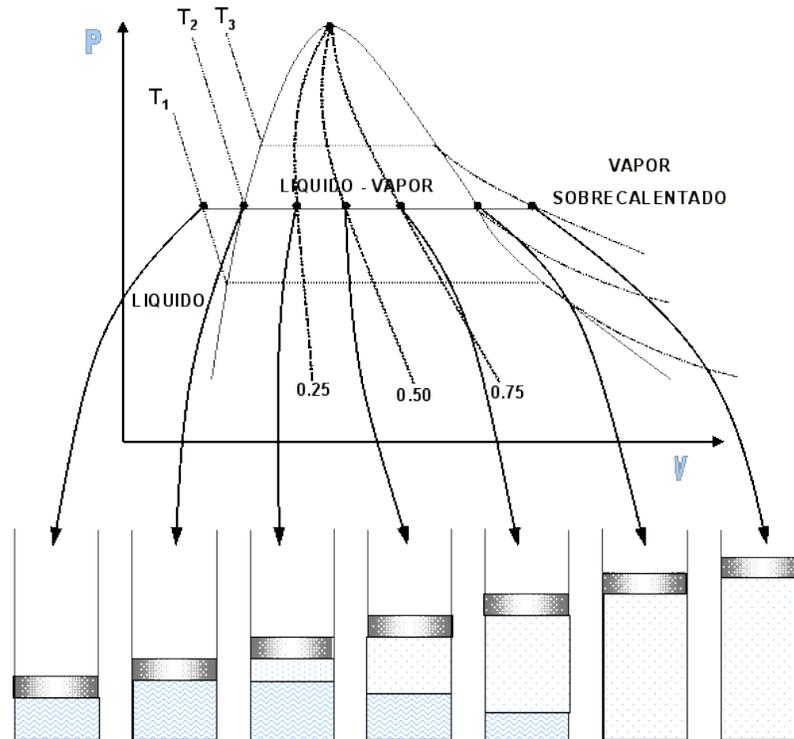
$$T_F = \frac{9}{5}T_c + 32^\circ \quad ecu(4)$$

$$T_K = T_c + 273.15 \quad ecu(5)$$

#### **7.7.6. Líquido comprimido, saturado, sobrecalentado**

Müller (2002) explica que al tener un recipiente con agua y al no transmitirle ningún tipo de energía como calor, este se encuentra como líquido comprimido o subenfriado, a medida que se le va inyectando más calor al sistema este llega a su punto de evaporación, si se mantiene a una presión constante o temperatura puede observarse una zona llamada líquido saturado, al pasar esta zona todo el líquido se transforma directamente en vapor a una temperatura y presión especificadas, siendo esta la zona de líquido sobrecalentado. En la figura 10 se observa Líquido subenfriado o comprimido.

Figura 9. **Zonas de líquido: representación gráfica de las zonas de líquido comprimido, saturado y sobrecalentado**



Fuente: Coromoto (2005). *Fenómenos de transporte*.

### 7.7.7. Eficiencia térmica

La eficiencia es una característica que define qué tan bueno es el sistema que se está utilizando en termodinámica. Para obtener el cálculo de la eficiencia térmica se debe hallar la relación entre el trabajo o la energía que se está utilizando para hacerlo funcionar y el trabajo que nos está entregando al final del proceso.

$$\eta = \frac{\text{Salida de trabajo neto}}{\text{Entrada de calor total}} \quad \text{ecu(6)}$$

## **7.8. ISO 1217-2009**

A continuación se presenta la síntesis de la norma para la aceptación de pruebas a realizarse en compresores de desplazamiento.

### **7.8.1. Test de aceptación para compresores de desplazamiento**

La ISO es la Organización Internacional de Estandarización, su trabajo es normalizar todas las técnicas o ensayos que se realicen a nivel mundial, su principal objetivo es difundir esta información a los asociados de la organización y demás interesados en conocer algún método que les sea de gran ayuda.

### **7.8.2. Alcance**

ISO especifica métodos de aceptación para volumen, tasa de flujo, potencia requerida y desplazamiento del compresor de la misma manera que el tipo de refrigerante que debe utilizarse. También toma lugar el cumplimiento de las especificaciones de operación y pruebas de condiciones, así como la tolerancia requerida en la medición de cada una de las variables mencionadas con anterioridad.

En la investigación a desarrollar se analizan parámetros establecidos por la Norma ISO1217, como presiones y temperaturas a las cuales se encuentra operando el equipo, humedad, tasa de flujo, potencia, energía y algunos otros parámetros que, aunque no se encuentren mencionados en la norma son esenciales para poseer una visión más amplia del estado del sistema, como la lubricación de dimensiones de la estructura que se desea refrigerar y la temperatura del ambiente.

### **7.8.3. Procedimiento del test**

Antes de que comiencen las pruebas de aceptación, se debe examinar el compresor para determinar si se encuentra o no en condiciones de aceptación, mientras que las fugas deben eliminarse en la medida de lo posible, para ello deben revisarse las tuberías, acoples y válvulas. Al mismo tiempo todos los elementos que puedan acumular líquido refrigerante deberán limpiarse.

Los arreglos de prueba son los siguientes.

- Las pruebas preliminares se pueden ejecutar para instrumentos de verificación, y personal de formación.
- No es factible probar una máquina con el gas que se pretende usar con el compresor bajo prueba
- El mecanismo de gobierno deberá mantenerse en su condición normal de operación.
- Durante la prueba, el lubricante y la velocidad de alimentación deben cumplir con las instrucciones de operación.
- Durante la prueba, no se requieren ajustes distintos a los requeridos para mantener las condiciones de prueba.
- Antes de tomar las lecturas, el compresor debe funcionar durante el tiempo suficiente para garantizar el estado estable
- Las lecturas están sujetas a grandes variaciones, luego se aumentará el número de lecturas.
- Para cada carga, se debe tomar un número suficiente de lecturas para indicar que las condiciones del estado son estables.
- Después de la prueba, el compresor y el equipo de medición deben ser inspeccionados.

Tabla I. **Desviaciones máximas de valores especificados**

<b>Variable a medir</b>	<b>Desviación máxima permisible</b>	<b>Tolerancia</b>
<b>Entrada de presión</b>	$\pm 10$	$\pm 1$
<b>Presion de descarga</b>	Sin especificar	$\pm 1$
<b>Temperatura de entrada</b>	No especificado	$\pm 2K$
<b>Humedad absoluta de entrada</b>	No especificada	$\pm 5\%$

Fuente: ISO 1217-2009.

## **8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS**

INDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SIMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN

DE PREGUNTAS ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

### **1. MARCO TEÓRICO**

1.1. Almacenadora de plátano

1.2. Conocimientos generales del mantenimiento

1.2.1. Conceptos del mantenimiento

1.2.2. Clasificación del mantenimiento en la industria

1.2.2.1. Mantenimiento correctivo

1.2.2.2. Mantenimiento preventivo

1.2.2.3. Mantenimiento predictivo

1.3. Generalidades de refrigeración

1.3.1. Refrigeración en la industria

1.3.2. Refrigerantes en la industria

1.3.3. Sistema de refrigeración

1.3.3.1. Etapas del sistema de refrigeración

1.3.3.2. Dispositivos del sistema de refrigeración

1.3.3.2.1. Compresores

1.3.3.2.2. Condensadores

1.3.3.2.3. Evaporadores

1.3.3.3. Equipos auxiliares

## 2. REGISTRO TÉCNICO DE LOS ELEMENTOS DE REFRIGERACIÓN

2.1. Ubicación de los elementos

2.2. Descripción de los equipos

2.2.1. Características técnicas

2.3. Instrucciones del mantenimiento realizado

2.3.1. Detección de fallas

## 3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

## 4. DISCUSIÓN RESULTADOS

## 5. PROPUESTA DEL DISEÑO DE UN CUARTO FRÍO

## 6. PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

## **9. METODOLOGÍA**

### **9.1. Diseño de la investigación**

En el trabajo de investigación se prevé realizar un estudio de tipo experimental cuantitativo, debido a que se hace uso de variables como las presiones y temperaturas de operación, cargas por infiltración y luminaria que afectan al sistema de refrigeración, estas variables se analizan con el diagrama de Mollier, el manual de cuartos fríos, el manual de ingeniería BOHN, basado en ISO 9001-20000 y la norma ISO 1217-2009, generando un mejor diagnóstico para las reparaciones o mantenimientos.

### **9.2. Tipo de estudio**

El estudio es de tipo descriptivo comparativo debido a que toma variables como temperatura, presión, humedad, para el análisis y para obtener un antecedente detallado del estado del sistema de refrigeración, comparándolo con valores descritos en la norma ISO 1217-2009 y el manual de ingeniería, generando así un informe que detalle las acciones que se deben realizar.

Las variables obtenidas son almacenadas en una base de datos que modelará el comportamiento del cuarto frío bajo cambios de humedad, temperatura y demás variables descritas con anterioridad, con el fin de crear límites de operación para un sistema de refrigeración para almacenamiento de plátanos.

### **9.3. Alcance**

La investigación procura cubrir el 80% de las variables que puedan afectar la forma en que funciona el sistema de refrigeración en un cuarto frío para almacenamiento y conservación de plátano, de la misma manera dispone de procedimientos para la selección de equipo de refrigeración, construcción del cajón principal del cuarto frío, aislantes que se deben utilizar y medidas de seguridad empleadas en la instalación. Por lo tanto, puede ser considerada en estudios de preservación de alimentos o para ser empleada en la industria de refrigeración.

### **9.4. Variable e indicadores**

A continuación se presentarán las variables involucradas en el estudio al igual que los indicadores que servirán para medirlas.

#### **9.4.1. Variables**

Las variables a considerar en el estudio son la temperatura y presión del sistema al igual que la del ambiente, las cargas de refrigeración por producto, por infiltración, por equipo e iluminación, así como variables que no tienen mayor impacto en el estudio pero que pueden dar más opciones para analizar el sistema.

#### **9.4.2. Indicadores**

Para el desarrollo de la investigación se utilizarán indicadores de clase mundial, tomando prácticas como apoyo y visión de alta gerencia, planificación y programación proactiva, tiempo medio entre fallas, tiempo medio entre reparaciones, disponibilidad.

## **9.5. Fase de investigación**

- Fase uno. Investigación y documentación

En esta fase se reúne la información teórica del tipo de análisis que se realiza para obtener parámetros de referencia con los que se puede comparar el rendimiento del equipo de refrigeración, las principales son el diagrama de Mollier que permite visualizar el estado en que se encuentra operando el sistema arrojando resultados como humedad específica, cuánta energía está disipando al exterior, cuál es la potencia que la carga le solicita al compresor, entre otros.

El manual de cuartos fríos proporciona ecuaciones que cuantifican el tipo de carga calorífica que se utiliza, ya sea del producto, iluminación o misceláneas, infiltración o personal operando dentro del cuarto frío, y la Norma 1217-2009, que indica los parámetros de operación del compresor y de qué forma se debe realizar las mediciones para asegurar un error despreciable.

- Fase dos. Fase de análisis de condiciones

Se debe realizar en primera instancia la medición de las variables necesarias para el estudio, por ejemplo presiones de operación tanto en la tubería de alta presión como en la de baja presión, así como las temperaturas en los puntos de succión y descarga del compresor, se debe medir la humedad específica del ambiente al igual que su temperatura, luego se cuantifica el volumen de carga por producto con la que se está operando, además de realizar un chequeo de qué tipo de luminaria o dispositivos se encuentran funcionando dentro del cuarto frío y el número de personal presente.

- Fase tres. Se detallan los datos obtenidos

Se procede a verificar el estado de los mismos con los instrumentos antes mencionados, si alguno de estos parámetros se encuentra fuera de lo establecido se deben de restablecer los equipos a la referencia de operación, comparando que las presiones de baja y alta presión se encuentren en los rangos establecidos por la hoja técnica del compresor, manual de operación de cuartos fríos o las gráficas realizadas en Excel del comportamiento del sistema.

- Fase cuatro. Informe final

Al finalizar el proceso se debe documentar todos los procedimientos realizados durante la inspección, rectificación o reparación, con el objetivo de evidenciar y mantener un control sobre las instrucciones que se deben seguir. Al tener los datos recopilados se tendrán herramientas suficientes para realizar un mantenimiento al equipo de refrigeración o crear una guía que establezca los procedimientos a seguir cuando el equipo presente algún tipo de falla o simplemente se necesite prolongar la vida del mismo.

## 10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Se ha seleccionado a las órdenes de trabajo como la herramienta que ayudará a la recolección de datos involucrados en el estudio, para ello se cuenta con un programa de mantenimiento que las genere. El software de mantenimiento MP 9 utiliza catálogos de equipos anteriormente cargados por el responsable de área conteniendo así la información necesaria para realizar revisiones rutinarias, las cuales serán aprovechadas para reunir la información de las variables como las presiones y temperaturas de operación, la temperatura ambiente del área de refrigeración, cargas de infiltración, por producto y por luminaria que afectan al sistema de refrigeración.

Disponiendo de la información recolectada, se procederá a realizar el análisis de los datos, con la ayuda del software de estadística Excel se ejecutará el tratamiento de la información, que consiste en aplicar la estadística descriptiva para obtener valores como la media, desviación estándar y la varianza los cuales otorgarán una visión más específica del comportamiento de las variables antes mencionadas dentro del sistema de refrigeración, para con esto poder realizar una estimación de parámetros para la elaboración de un nuevo modelo.

Con el tratamiento estadístico se generará un prototipo al cual el sistema tendrá que acoplarse, sin embargo el equipo a seleccionar debe cubrir todas las variaciones que se presenten a lo largo del tiempo al igual que la carga de trabajo que se alterna según la temporada, para ello se hará uso de los multiplicadores de *Lagrange*, los cuales se basan en conseguir los máximos y mínimos de funciones que cuenten con diversas variables que a su vez se

encuentran sujetas a restricciones, así se podrán suplir las exigencias presentes en condiciones de operación junto con el costo de los equipos que realizarán el trabajo, maximizando los beneficios e incrementando la utilidad.

## 11. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Técnica: para el análisis e interpretación de los parámetros y variables obtenidas en el estudio el investigador cuenta con conocimientos de refrigeración, termodinámica, diseño, mantenimiento análisis estadístico, inglés y electricidad, por otra parte, el asesor brinda conocimientos basados en su experiencia en las áreas de construcción, refrigeración y energías renovables. La toma de mediciones de las variables como presión, temperatura, voltaje, amperaje, son datos que pueden obtenerse fácilmente y la instrumentación a utilizar como manómetros, termómetros, voltímetros y amperímetros no son complejos para manejar, por lo que no se debería invertir en capacitación del personal para el uso de estas herramientas

El soporte teórico de la investigación se basa en la Norma ISO 12127-2009 el cual consiste en las pruebas de aceptación para compresores de desplazamiento positivo, de la misma manera se cuenta con el manual para la construcción de cuartos fríos que presenta los aspectos teóricos a considerar en la selección de equipos y variables que afectan al mismo, junto con estos se presenta el manual de refrigeración y aire acondicionado que contiene los conceptos sobre el ciclo de Carnot invertido, psicometría, y factores externos que afectan al sistema de refrigeración.

En cuanto al aspecto económico, en la siguiente tabla se describen los gastos que conllevó el estudio.

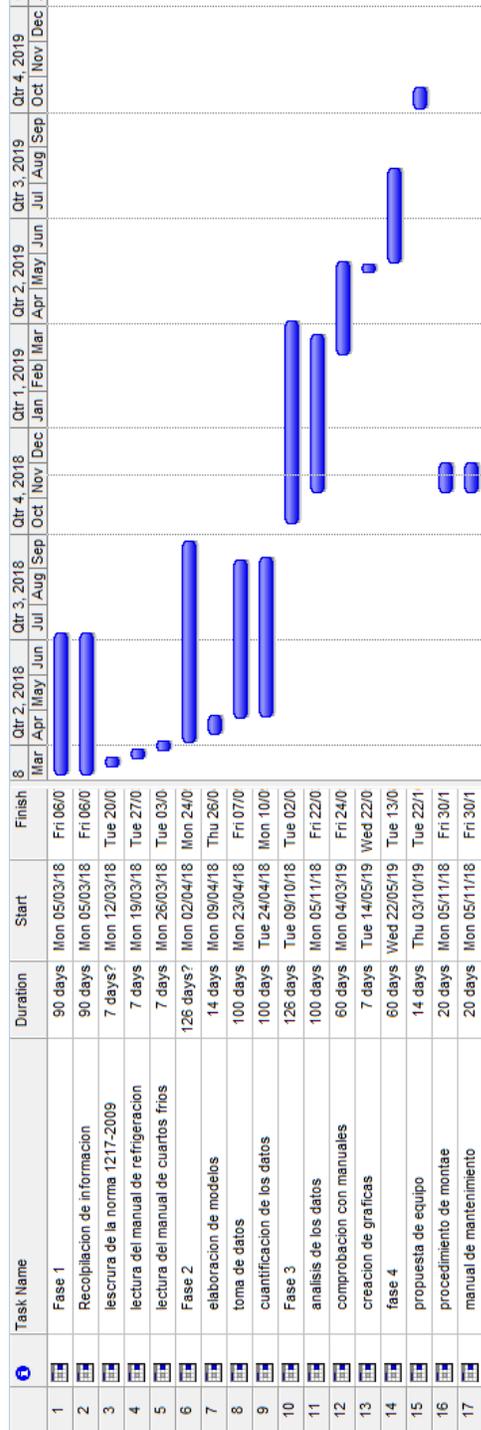
Tabla II. **Gastos del estudio**

N o.	Descripción	Q. costo
1	Termómetro digital infrarrojo	58 0.00
2	Hidrómetro	35 0.00
3	Termostato digital	12 00.0
4	Termostato analógico	15 00.0
5	Manómetros	10 00.0
6	Amperímetros	10 00.0
7	Nitrógeno	80 00.0
8	Asesoría	20 00.0
9	Investigador	20 00.0
8	Total	17 630

Fuente: elaboración propia.

Los gastos generados en el estudio serán absorbidos por la empresa.

## 12. CRONOGRAMA



Fuente: elaboración propia.



### 13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alonso, J .(2012). *Estudio experimental del efecto de las condiciones de funcionamiento de un compresor de pistón hermético en su rendimiento, trabajando con propano y R407. Análisis teórico de los resultados mediante un modelo matemático avanzado.* Tesis Doctoral, Ingeniería y producción industrial, Universidad Politécnica de Valencia, España.
2. Arrieta, R. (2000). *Maquila de compresores herméticos para sistema de refrigeración en una industria metal mecánica y su impacto en calidad, producción y costo.* Tesis de Maestría. Producción y calidad, Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
3. Castellanos, E. (2012). *Guía técnica para la construcción de cuarto frío.* Tesis de Grado, Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
4. Cengel, A : Boles, A. (2011). *Termodinámica un aprovechamiento de la energía.* México: McGraw-Hill.
5. Córdova, W. (2018), *Sistematización del modelo de mantenimiento de una planta de corte y doble, con enfoque a indicadores de disponibilidad con base a la herramienta mantenimiento centrado en la confiabilidad.* Tesis de Maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

6. Coromoto, R. (2005). *Fenómenos de transporte*. Recuperado de [http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F\\_DE\\_T-65.htm](http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F_DE_T-65.htm).
7. Coronel, H. (2015). *Mejoramiento del sistema de enfriamiento, del condensador del minichiller del laboratorio de fluidos del AEIRNNR*. Tesis de Grado, Ingeniería Electrónica, Universidad Nacional de Loja, Ecuador.
8. Demma, D. (2006). *Compresores recalentados*. (Folleto 10-207 S1). Sporlan Division Parker Hannifin Corporation.
9. Figueredo, G. (2012). *Caracterización experimental y modelización de un enfriador de absorción de simple/doble efecto de H<sub>2</sub>O/LiBr con accionamiento a dos temperaturas para climatización de edificios*. Tesis Doctoral, Ingeniería Química, Universitat Rovira Virgili. España.
10. García, J. (2007). *Modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad para las vibrocompactadoras de ánodos verdes*. Tesis de Grado, Ingeniería Mecánica, Universidad Simón Bolívar, Venezuela.
11. García, S. (2009). *Mantenimiento correctivo organización y gestión de la reparación de averías*. España: Renovetec.
12. Hernández, G. (2009). *Análisis de cálculo, diseño y mantenimiento de una cámara de refrigeración utilizado en productos perecederos a 4°C*. Tesis de Grado, Ingeniería

Mecánica, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, México.

13. Huertas, A. (2007). *Elaboración de un plan de mantenimiento predictivo y preventivo en función de criticidad de los equipos del proceso productivo de una empresa empacadora de camarón*. Tesis de Grado. Ingeniería Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Litoral, Ecuador.
14. Isidro, D. (2011). *Proyecto de una cámara de congelación para camarón en el Municipio de Angostura, Sinaloa*. Tesis de Grado, Ingeniería Mecánica, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, México.
15. Marín, A. (2014). *Procedimiento para sistemas de refrigeración en cuartos fríos*. Tesis de Grado, Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
16. Monterroso, M. (2005). *Propuesta para un plan de mantenimiento para equipos de refrigeración comercial en la empresa Nueva Era*. Tesis de Grado, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
17. Morales, A. (2008). *Mantenimiento preventivo*. Área Sanitaria del Norte de Córdoba.
18. Müller, E. (2002). *Termodinámica básica*. Venezuela: Consultora Kemiteknik C.A.

19. Padilla, B. (2013). *Diseño de un evaporador tipo marmita con agitador y serpentín interno para la elaboración de diversos alimentos en planta piloto*, Tesis de Grado, Ingeniería Química, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
20. Pineda, C. (2013). *Dispositivos de flujo estale - estado estable*. Recuperado de <http://termodinamica-1aa131.blogspot.com/2013/06/compresor.html>.
21. Ramos, R. (2016). *Análisis comparativo de compresores transcritos para CO2*. Tesis de Grado, Ingeniería de Tecnologías Industriales, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, España.
22. Rendón, A. (2014). *Procedimientos de mantenimiento para sistemas de refrigeración en cuatros fríos*. Trabajo de Grado, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
23. Salas, E. (2012). *Evaporación a simple y doble efecto, en el equipo para el estudio de un evaporador de doble efecto del laboratorio de ingeniería química de la Facultad de Química de la UNAM*. Tesis de Grado, Universidad Autónoma de México. México.
24. Sánchez, A. (2017). *Técnicas de mantenimiento predictivo, metodología de aplicación en las organizaciones*. Tesis de Grado, Universidad Católica de Colombia, Colombia.

25. Sierra, G. (2004). *Programa de mantenimiento preventivo para la empresa metalmecánica Industrias AVM S.A.* Trabajo de Grado. Ingeniería Mecánica. Universidad Industrial de Santander, Colombia.
26. Torres, M. (2006). *Criterios básicos para el diseño y construcción de pisos de concreto, para cuartos de refrigeración.* Trabajo de Grado, Ingeniería Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
27. Valdez, R. (2008). *Evaluación óptima en el mantenimiento de un compresor tipo tornillo en el sistema de refrigeración por amoníaco, en la industria alimenticia.* Tesis de Grado, Ingeniería Mecánica, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
28. Veras, H. (2009). *Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para la Industria Quetzal.* Trabajo de Grado, Ingeniería Mecánica, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
29. Wang, K. (2001). *Hand book of air condition and refrigeration.* Mexico: McGraw-Hill.
30. Zemansky, S. (2013). *Física universitaria.* México: Pearson Education.

