

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

ESTUDIO DE MEJORA ENERGÉTICA PARA CONGELADORES DE PLACAS VERTICALES EN UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE AMONIACO CON EL FIN DE AUMENTAR EL NÚMERO DE KILOS CONGELADOS

Julián Lopera Toro

Andrés Esteban Borrero Saldarriaga

Ingeniería Electromecánica

Adrián Felipe Martínez Pérez

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

30 de octubre de 2019

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

La congelación de alimentos es uno de los procesos más utilizado y efectivo para preservar la vida útil de los alimentos durante largos periodos de tiempo. El presente trabajo se centra en la congelación de material cárnico de res y de cerdo utilizando congeladores de placas verticales en una empresa de alimentos, buscando aumentar el número de kilos congelados con los equipos existentes; se presentan los conceptos básicos de refrigeración para lograr entender el diagrama presión entalpia, en cual se ubicaran los cuatro componentes fundamentales para el circuito simple de refrigeración los cuales son: el compresor, el condensador, el sistema de expansión y el evaporador, también se definen y se clasifican las sustancias refrigerantes, además se profundiza en el amoniaco como refrigerante ya que es la sustancia utilizada en la planta objeto del estudio.

Posteriormente se explica el esquema centralizado del sistema de refrigeración industrial con amoniaco de una sola etapa, donde se describe el funcionamiento de los componentes; de igual manera, se explica e ilustra las etapas del proceso de congelación y se define el proceso de descongelación y los diferentes métodos.

En la metodología se proponen las diferentes tablas que se utilizaran en el desarrollo del trabajo y se explica el medio para alcanzar los objetivos.

En los resultados y discusión se encuentra la información recopilada del diagnóstico inicial, del estudio de alternativas de optimización energética, evaluación de las alternativas y el estudio técnico con viabilidad presupuestal.

Finalmente se realizan las conclusiones del trabajo, recomendaciones para la sostenibilidad de la mejora y los trabajos que quedan pendientes para el futuro.

Palabras claves: Congelación, congelador de placas, sistema de refrigeración, descongelación de evaporadores, amoniaco.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

Por el presente trabajo de grado, damos gracias a Dios por la vida y por permitirnos alcanzar nuestros sueños, a nuestras familias que con su apoyo, consejos y palabras de aliento crecimos como personas, a nuestros profesores por su dedicación en la formación y por haber dejado huella en nuestras vidas, especialmente al profesor Adrián Felipe Martínez por la asesoría en el desarrollo del trabajo de grado y gracias a nuestros compañeros por hacer de esta etapa de la vida una experiencia llena de grandes momentos inolvidables.

Agradecimiento especial a mi esposa Dora María Jaramillo y a mi hijo Sebastián Lopera por apoyarme, animarme, por brindarme su amor incondicional que me llenan de fuerza y energía y por ser el motor que me impulsa a ser cada día mejor.

Julián

Primero que todo agradecerle a mi madre por siempre apoyarme en la decisión de estudiar así la situación económica fuera dura. A Catalina Maldonado que me alentó en cada momento difícil y a mis compañeros de trabajo a lo largo de mi vida laboral, que comprendieron que para mí era muy importante superarme.

Andrés

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

<i>ANSI</i>	Instituto Nacional Estadounidense de Estándares
<i>ASHRAE</i>	Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado
<i>COP</i>	Coeficiente de rendimiento
<i>GSHP</i>	Bomba de calor de fuente de tierra
<i>HPR</i>	Receptor de alta presión
<i>LPR</i>	Receptor de baja presión
<i>PCM</i>	Material de cambio de fase
<i>THIC</i>	Control independiente de temperatura y humedad
<i>TR</i>	Tonelada de refrigeración
<i>VCRS</i>	Sistema de refrigeración por compresión de vapor

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	9
1.1	Objetivo general	10
1.2	Objetivos específicos:	10
2.	MARCO TEÓRICO	12
2.1	Conceptos básicos de refrigeración	12
2.2	Componentes básicos del sistema de refrigeración por compresión	19
2.3	Diagrama P-h con circuito frigorífico	27
2.4	Sustancias refrigerantes	28
2.5	Sistemas de refrigeración	31
2.6	Proceso de congelación de los alimentos	33
2.7	Descongelación de evaporadores	35
3.	METODOLOGÍA	37
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
5.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	71
	REFERENCIAS	74

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los refrigerantes.....	29
Tabla 2. Formato de características de los congeladores de placas (Fuente propia)	37
Tabla 3. Formato de variables de proceso de congelación (Fuente propia).....	39
Tabla 4. Formato de características de los compresores (Fuente propia).....	40
Tabla 5. Formato para las características de los condensadores (Fuente propia).....	40
Tabla 6. Formato de información frigorífica de tanques recirculadores (Fuente propia)	40
Tabla 7. Formato para variables del Sistema de refrigeración (Fuente propia)	41
Tabla 8. Formato para presiones de bombas y nivel de líquido de los tanques recirculadores (Fuente Propia).....	41
Tabla 9. Formato de información de las válvulas (Fuente propia).....	42
Tabla 10. Formato de causas por desviación termodinámica (Fuente propia).....	42
Tabla 11. Características de los congeladores de placas (Fuente propia)	44
Tabla 12. Variables del proceso de congelación (Fuente propia)	45
Tabla 13. Características de los compresores (Fuente Propia)	46
Tabla 14. Características de los condensadores (Fuente propia)	47
Tabla 15. Características del tanque receptor de líquido a alta presión (Fuente propia).....	48
Tabla 16. Características de los tanques recirculadores (Fuente propia)	48
Tabla 17. Valores de set point del Sistema de refrigeración (Fuente propia)	49
Tabla 18. Presiones de bombas recirculadoras y niveles de tanques (Fuente propia).....	52
Tabla 19. Válvulas de los congeladores (Fuente propia).....	54
Tabla 20. Causas de desviación termodinámica en el Sistema de frío (Fuente propia)	64
Tabla 21. Variables del proceso de congelación con Nuevo rango de presión.....	68
Tabla 22. Costo de los componentes de instrumentación y válvulas (Fuente propia)	69

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cambios de estado de la materia (EDUCANDO, 2019).....	13
Figura 2. Ebullición en una olla a distintas cotas de altitud y presión (Sanz del Castillo & Sanz del Castillo, 2014).....	14
Figura 3. Proceso de calentamiento del agua. (Sanz del Castillo & Sanz del Castillo, 2014)	15
Figura 4. Temperatura y presión de ebullición. (Sanz del Castillo & Sanz del Castillo, 2014).....	16
Figura 5. Diagrama de presión entalpía. Mapa del refrigerante. (Sanz del Castillo & Sanz del Castillo, 2014).....	16
Figura 6. Diagrama presión entalpía (Sanz del Castillo & Sanz del Castillo, 2014)	17
Figura 7. Instalación con evaporadores inundados (Franco Lijo, 2006).....	21
Figura 8. Evaporador semi inundado (Franco Lijo, 2006)	22
Figura 9. Tipos de compresores (Luszczewski, 1999).....	24
Figura 10.....	26
Figura 11. Lados de baja y alta presión. (Sanz del Castillo & Sanz del Castillo, 2014)	27
Figura 12. Diagrama P-h y circuito frigorífico. (Sanz del Castillo & Sanz del Castillo, 2014)	28
Figura 13. Esquema de Sistema central de una sola etapa (Senthilkumar, 2019).....	32
Figura 14. Proceso de congelamiento (Villatoro, 2016).....	34
Figura 15. Sala de congelación (Fuente propia).....	45
Figura 16. Tanque receptor de líquido a alta presión (Fuente propia)	48
Figura 17. Pantalla del compresor Vilter (Fuente propia).....	50
Figura 18. Temperatura del amoniaco a 27 psi (Danfoss, 2019).....	51
Figura 19. Temperatura del amoniaco a 0 psi (Danfoss, 2019).....	52
Figura 20. Juego de válvulas de los congeladores (Fuente propia).....	53
Figura 21. Estación de válvulas ICF (Danfoss, Folleto técnico Estación de válvulas, 2016)	55
Figura 22. Válvula motorizada ICM 65-A (Danfoss, Folleto técnico Estación de válvulas, 2016)	55
Figura 23. Válvula reguladora de presión A4AK (Parker, 2002)	56
Figura 24. Transmisor de presión (EMERSON, 2019)	56
Figura 25. Manovacúmetro Parker 30 in.Hg – 300 psi (Fuente propia).....	57

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 26. Tablero eléctrico y de control de los congeladores (Fuente propia) 58

Figura 27. Grafica de comportamiento de presiones en compresor Vilter (Fuente propia) 59

Figura 28. Temperatura de evaporación para 12 psi con amoníaco (Danfoss, 2019) 60

Figura 29. Parámetros del actuador ICAD de Danfoss (Danfoss, 2015) 66

Figura 30. Presión de succión entre 0 y 4 psi (Fuente propia) 67

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

Con el fin de aumentar la vida útil de los alimentos durante el transporte de largas distancias o el almacenamiento durante largos periodos, la congelación es la técnica de conservación que se ha mostrado superior sobre muchas otras como el almacenamiento en hielo, la salazón o el secado, las cuales impactan la textura, el sabor o el tiempo (Backi, Bendtsen, Leth, & Tommy, 2014).

La práctica de congelar carne para prolongar su vida útil se ha desarrollado durante miles de años, sin embargo la mayoría de las mejoras en la tecnología de congelación ocurrieron en el siglo pasado; la congelación juega un papel importante en la industria de exportación, para garantizar la seguridad de los productos cárnicos que se suministran a todas las regiones del mundo, no obstante, congelar y descongelar trae consecuencias en la calidad de la carne y sigue siendo un problema importante (Leygonie, Britz, & Hoffman, 2012).

Los métodos más utilizados en la industria para la congelación son: por chorro de aire, por contacto con placas, congelación criogénica, congelación en lecho fluidizado y congelación por inmersión; las nuevas técnicas de congelación pueden mejorar la nucleación empleando irradiación de ultrasonido, alta presión o campo electromagnético (Zhu, Zhou, & Sun, 2019). Dado lo anterior, en una empresa de alimentos se despostan canales de res y de cerdo, es decir, se separan en los diferentes cortes de carne para realizar embutidos o entregar a clientes comerciales o personas naturales en los puntos de venta, de igual manera se procesa material para exportar a diferentes países.

El material cárnico según su destino o según su utilización, se despacha refrigerado a una temperatura entre 0°C y 5°C o congelado a una temperatura máxima de -18°C (según la resolución 240 del 31 de enero de 2013 del ministerio de salud y protección social de la república de Colombia).

El proceso de congelación de la planta cuenta con siete congeladores de placas verticales y un túnel de congelación que hacen parte del sistema de refrigeración con amoniaco que

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

tiene la empresa. Los ciclos en los congeladores de placas son de 4 horas en congelación del material y 4 minutos en descongelación de las placas, más el tiempo que se requiere para cargar y descargar el material, se llega a un promedio de 5,5 ciclos al día en cada congelador. Debido al incremento de la productividad y la demanda del mercado, el número de kilos que se procesan con necesidad de congelar aumentaron y los equipos instalados actualmente no satisfacen esta necesidad, esto obliga a que la empresa tenga que enviar material cárnico para congelar en otra empresa independiente, con los gastos que esto acarrea como el transporte, la logística y tener personal propio en la otra empresa para garantizar la calidad de los productos.

Por lo tanto, se plantean los siguientes objetivos:

1.1 Objetivo general

Desarrollar un estudio de mejora energética de los congeladores de placas verticales para una empresa de alimentos cárnicos, buscando aumentar el número de kilos congelados en un periodo de tiempo determinado.

1.2 Objetivos específicos:

- Diagnosticar el estado actual y describir el comportamiento termodinámico de los congeladores de placas utilizados en una empresa de alimentos.
- Consultar estrategias de optimización energética para los congeladores de placas verticales de una empresa de alimentos.
- Evaluar alternativa para la optimización energética de los congeladores de placas verticales de una empresa de alimentos.
- Entregar estudio técnico con viabilidad presupuestal para la optimización energética de los congeladores de placas verticales de una empresa de alimentos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En el marco teórico se presentan los conceptos básicos para entender el lenguaje de los procesos frigoríficos como temperatura, energía, calor, potencia térmica y presión para llegar a comprender con claridad el diagrama de presión-entalpía y visualizar los lugares donde se producen los cambios de propiedades en el fluido, se describen los componentes básicos del ciclo de refrigeración como son: el compresor, el condensador, el sistema de expansión y el evaporador, también se definen las sustancias refrigerantes y su clasificación, además se profundiza en el amoniaco como refrigerante, se explica el sistema centralizado de refrigeración con una sola etapa al igual que el proceso de congelación y los métodos de descongelación.

En la metodología se propone el desarrollo del trabajo por medio de tablas para registrar la información recopilada y se explica cómo se obtendrán los datos necesarios para el análisis y alcance de los objetivos.

Los resultados alcanzados durante el desarrollo de la metodología se describen en los “resultados y discusión” del trabajo, en el cual se evidencia el cumplimiento y el logro de cada uno de los objetivos los cuales conllevan a la optimización energética de los congeladores de placas verticales y el aumento del número de kilos congelados.

Por lo anterior se definen las conclusiones que se obtienen a lo largo del desarrollo metodológico del presente trabajo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

Con el fin de orientar al lector en entender el lenguaje de los procesos frigoríficos, se presentan los conceptos básicos de refrigeración en el sector alimentario, comenzando por propiedades físicas sencillas se llega a comprender con claridad el diagrama presión-entalpía visualizando los lugares donde se producen los cambios de propiedades en el fluido.

2.1 Conceptos básicos de refrigeración

La **temperatura** describe el nivel de calor, es decir, que tan caliente esta un cuerpo, a medida que una sustancia se calienta hay movimiento molecular y por lo tanto su temperatura se incrementa (a menos de que se produzca en él un cambio de estado físico). (Gonzales Sierra, 2012)

La **energía** es la capacidad que tiene un sistema para producir efectos físicos como trabajo mecánico, generar calor, emitir luz, entre otros. La energía puede existir de varias formas que pueden agruparse en; energía almacenada (energía estática) y energía en transferencia (energía dinámica), los tipos de energía almacenada son (entalpía, energía química, energía potencial, energía cinética, entre otras) y las energías en transferencia son (calor y trabajo). (Gonzales Sierra, 2012)

El **calor** es una forma de energía de transferencia, la dirección siempre es hacia la zona de menor temperatura. Esta transferencia de energía continuará hasta que alcance el equilibrio térmico. (Gonzales Sierra, 2012)

La cantidad de calor contenida por un cuerpo nos da idea de la energía térmica acumulada en su interior. El calor específico nos indica la cantidad de calor que a presión constante se necesita para aumentar la temperatura de una sustancia 1°C, y es una propiedad de cada sustancia. (Sanz del Castillo & Sanz del Castillo, 2014)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La **potencia térmica** es la rapidez con que el calor pasa de cuerpos calientes a fríos y se define como el calor por unidad de tiempo, (Gonzales Sierra, 2012).

Es importante la distinción entre presión absoluta y presión relativa, ya que entre ellas existe una diferencia de 1 atmosfera es decir 760 mm de Hg. La **presión absoluta** es la ejercida contra una superficie que en el otro lado tiene el vacío absoluto mientras que la **presión relativa** es la ejercida contra una superficie que en el otro lado tiene la presión atmosférica siendo esta ultima la que miden los manómetros (Sanz del Castillo & Sanz del Castillo, 2014).

Cada sustancia puede existir en tres estados diferentes y la temperatura y la presión a la que está expuesta, determina si esta de forma sólida, líquida o gaseosa (Sanz del Castillo & Sanz del Castillo, 2014) como se muestra en Figura 1.

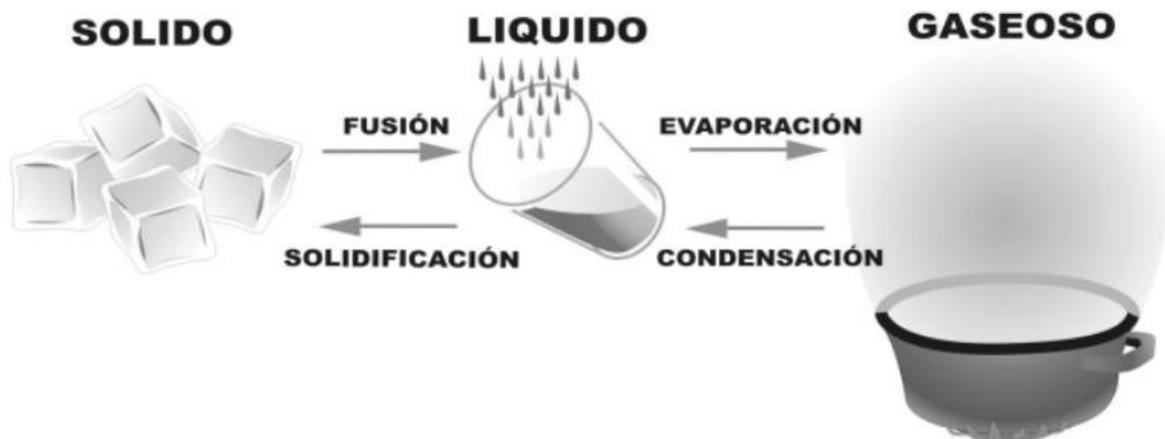


Figura 1. Cambios de estado de la materia (EDUCANDO, 2019)

En refrigeración el cambio de estado se realiza a presión constante e implica un aumento o disminución grande de calor por kg de sustancia. Dado que las características del agua son fáciles de observar y además es un buen refrigerante, vamos a utilizarla como ejemplo para analizar el fenómeno de la evaporación.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Como lo dicen Félix y Dionisia en el libro Control de refrigeración, cuando el agua se calienta, se eleva su temperatura hasta que empieza a hervir, su punto de ebullición depende de la presión que se ejerza sobre el agua. En un recipiente abierto, donde la presión atmosférica normal a nivel del mar es de 760 mm de Hg, el agua hierve a 100°C. Es decir, el agua tiene un punto de ebullición de 100°C. Si la presión desciende por debajo de la presión atmosférica, el punto de ebullición será más bajo, por ejemplo, a una presión de 531 mm de Hg (equivalente a 3.000 m por encima del nivel del mar) el punto de ebullición del agua es de 89°C. Ver Figura 2

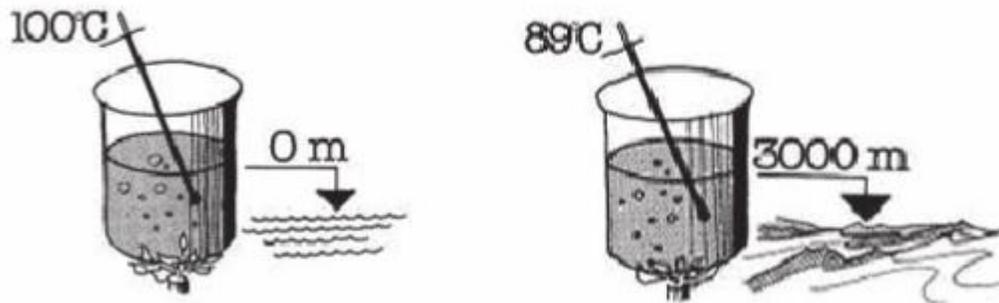


Figura 2. Ebullición en una olla a distintas cotas de altitud y presión (Sanz del Castillo & Sanz del Castillo, 2014)

En un recipiente cerrado, el punto de ebullición es determinado por la presión del vapor. Si la presión es superior a 1 atm el punto de ebullición será mayor a 100°C. Por ejemplo, el punto de ebullición del agua es de 120°C cuando la presión es de 2 atm y 183°C cuando la presión es de 10 atmosferas. El calor latente de evaporación es la cantidad de energía suministrada para evaporar un líquido a su temperatura de ebullición. La condensación es el paso del estado de vapor a líquido de una sustancia. Si para evaporar la sustancia hay que aportar el calor latente de evaporación, para que pueda condensar hay que eliminar este mismo calor de la sustancia. (Sanz del Castillo & Sanz del Castillo, 2014)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Si realizamos un ensayo calentando agua del grifo hasta que hierva y se evapore y realizamos registros de temperaturas y tiempos de calentamiento encontraremos una gráfica como la de la Figura 3

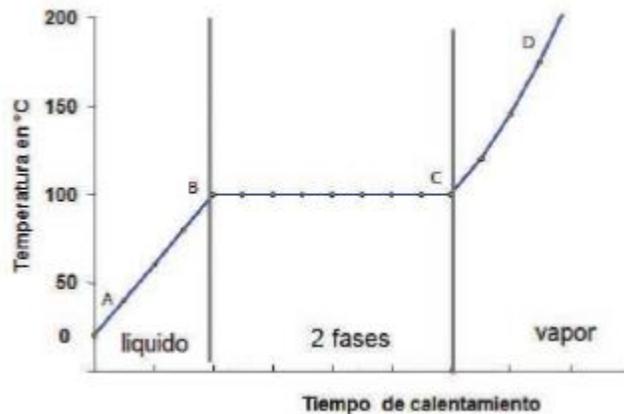


Figura 3. Proceso de calentamiento del agua. (Sanz del Castillo & Sanz del Castillo, 2014)

En la abscisa se representa la entalpía, que expresada como tiempo de calentamiento nos da una idea del contenido energético aportado al agua, y en las ordenadas la temperatura registrada. Se ha tomado como ejemplo agua a la presión atmosférica.

Se toma el origen de entalpía con el agua líquida a 0°C. Al ir aportando calor (sensible), el agua va aumentando su temperatura hasta que llega a B (100°C, temperatura de ebullición del agua, conocido también como punto de burbuja).

La línea B-C corresponde al calor latente o calor de evaporación que es el calor que se necesita para transformar 1 kg de agua (punto B) en vapor saturado seco (punto C). Es importante resaltar que no se produce incremento de temperatura entre los puntos B y C manteniéndose constante igual a 100°C.

Si se aplica más calor a un vapor saturado el resultado será vapor recalentado. El calor aplicado se emplea en aumentar la temperatura del vapor, hablándose en este caso de recalentamiento. La línea C-D muestra el efecto de aplicación de calor sensible al vapor.

Repetir este ensayo a distintas presiones de trabajo, y representar los tiempos de calentamiento de forma análoga en el mismo diagrama obtenemos la Figura 4 donde vemos un desplazamiento de la horizontal del cambio de estado o de ebullición.

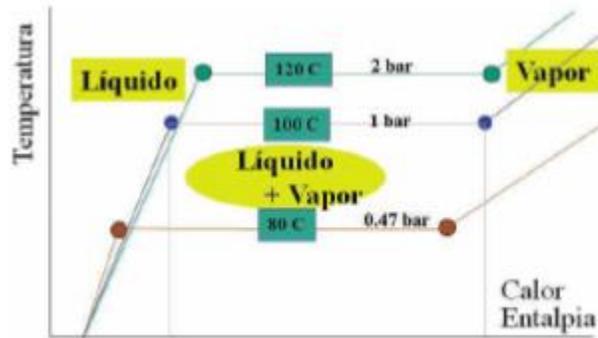


Figura 4. Temperatura y presión de ebullición. (Sanz del Castillo & Sanz del Castillo, 2014)

El diagrama presión / entalpia se obtiene representando la presión en ordenadas en lugar de la temperatura.

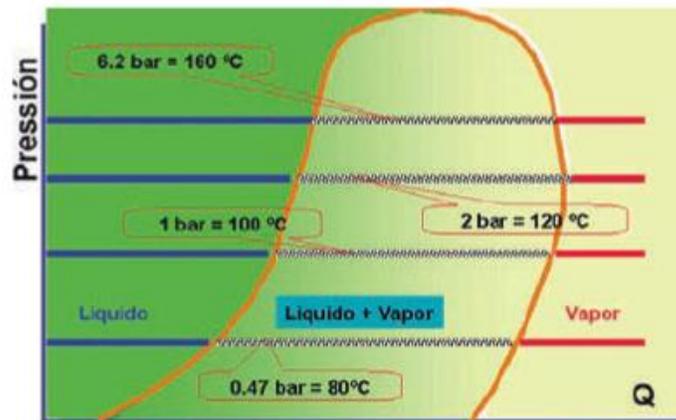


Figura 5. Diagrama de presión entalpía. Mapa del refrigerante. (Sanz del Castillo & Sanz del Castillo, 2014)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En esta representación se observa si el fluido está en forma líquida, cuando comienza a hervir, cuando está evaporándose, cuando desaparece la última gota de líquido y cuando está en forma de vapor. Si ahora unimos los puntos donde comienza el fluido a hervir, tendremos una línea con todos los puntos de burbuja y realizando la misma operación con los puntos de rocío tendremos una línea con los puntos de rocío como se observa en la Figura 5. Este diagrama ofrece un camino práctico de determinar gráficamente los cambios de energía de una planta de refrigeración y representa cualquier condición en la que se pueda encontrar un refrigerante, de forma que nos servirá para dibujar y marcar en él cualquier punto de un circuito frigorífico.

A continuación en la Figura 6 se muestra un diagrama que nos permite realizar un recorrido a través de las líneas en él dibujadas.

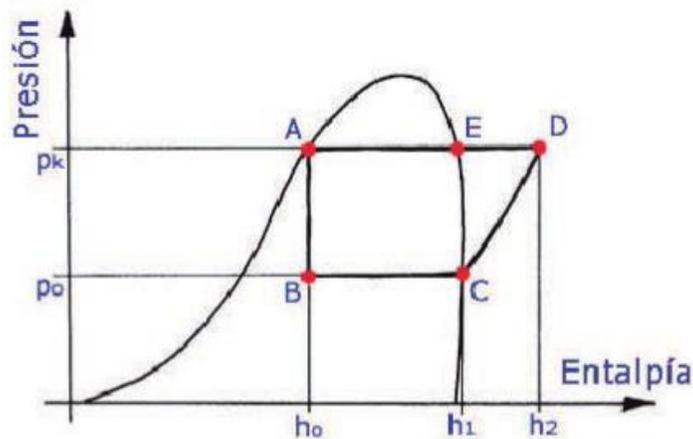


Figura 6. Diagrama presión entalpía (Sanz del Castillo & Sanz del Castillo, 2014)

Cuando el fluido cambia su estado de A - B el líquido pasa a través del sistema de expansión (diafragma, restrictor, capilar o válvula de expansión). Este cambio de estado se efectúa por la ebullición del líquido a causa de la caída de presión hasta p_0 . Al mismo tiempo se produce un punto más bajo de ebullición del líquido. En el proceso de la expansión ni se aplica ni se disipa calor, por eso la entalpía es constante (bajada en vertical) h_0 . Como se ve en el

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

diagrama, partiendo de líquido puro al descender verticalmente se entra dentro de la curva obteniéndose una mezcla de líquido y vapor. Controlando la presión de salida se controlará la temperatura del refrigerante.

A la entrada del evaporador hay una mezcla de vapor y líquido mientras que en la salida del evaporador punto C, el vapor es saturado. La presión y la temperatura son la misma que la del punto B pero como el evaporador ha absorbido el calor de sus alrededores, la entalpía ha aumentado cambiando a h_1 .

Cuando el vapor pasa a través del compresor sus condiciones cambian de C a D. La presión se eleva a la presión de condensación p_k . La temperatura es mayor a la temperatura de condensación, como consecuencia de que el vapor ha sido fuertemente recalentado. Más energía en forma de calor le ha sido también introducida y por consiguiente la entalpía cambia a h_2 .

A la entrada del condensador punto D la condición por tanto es de un vapor recalentado a la presión p_k , el calor es evacuado por el condensador a sus alrededores y por esta razón la entalpía de nuevo cambia a la del punto A. Lo primero que sucede en el condensador es un cambio de un vapor fuertemente recalentado a un vapor saturado (punto E) y luego una condensación de este vapor. Del punto E al punto A, la temperatura no varía (temperatura de condensación), ya que la condensación y la evaporación se efectúan a temperatura constante. (Sanz del Castillo & Sanz del Castillo, 2014)

Los ciclos termodinámicos básicos que rigen el funcionamiento de los sistemas de refrigeración más habituales en actualidad son: sistemas de compresión de vapor refrigerante (ciclos de compresión) y sistemas de absorción de vapor refrigerante (ciclos de absorción), donde el común de estos sistemas es el empleo de la sustancia refrigerante, que es capaz de absorber/liberar calor en el margen de temperatura deseado mediante un cambio de fase: al pasar de la fase líquida a la fase de vapor se aporta energía y, por lo consiguiente, el refrigerante absorbe el calor del medio que lo rodea (generando frío),

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

mientras que al pasar de la fase vapor a la fase líquida se libera energía y, por consiguiente, el refrigerante cede calor al medio que lo rodea. (García Almiñana, 2007)

2.2 Componentes básicos del sistema de refrigeración por compresión

Un circuito simple de refrigeración consta de unos componentes básicos como son el evaporador, el compresor, el condensador y el sistema de expansión (Sanz del Castillo & Sanz del Castillo, 2014).

Evaporador

El evaporador es la parte del sistema donde el calor efectivo se transfiere del medio que se desea enfriar (por ejemplo aire, salmuera o directamente el producto) al refrigerante. (Danfoss, Aplicaciones de refrigeración industrial con amoníaco y CO₂, 2014)

Es el elemento de un sistema de refrigeración en donde se produce y se percibe el efecto refrigerante, se trata de un intercambiador de calor en donde interactúan las temperaturas del medio y las temperaturas del refrigerante, el cual entra al evaporador ya con una expansión, a baja presión y temperatura necesarias para que se produzca el enfriamiento del medio que rodea, para esto es muy importante que el material de construcción del evaporador que sea un muy buen conductor de calor para que facilite este intercambio.

Capacidad de los evaporadores

“Estos equipos se expresan en kcal/h, es decir una cantidad de calor que se extrae por unidad de tiempo, y depende de los siguientes factores” (Franco Lijo, 2006)

$$Q = S * k * \Delta t$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Dónde:

Q = Capacidad del evaporador en kcal/h

S = Superficie de trasmisión m^2

k = Coeficiente de trasmisión del material

Δt = Diferencia de temperaturas entre el fluido refrigerante y el medio a enfriar en °C

También hay que tener en cuenta ciertas condiciones tales como:

1. Que la superficie quede limitada por el espacio donde tenga que instalarse.
2. El coeficiente k del material esté relacionado con la compatibilidad con el refrigerante.
3. El delta de temperaturas, que evidentemente cuando mayor sea, implicara más extracción de calor; pero ello repercute en la humedad de la cámara. Cuando mayor sea la diferencia, menor será la humedad. (Franco Lijo, 2006)

Tipos de evaporadores

Estos se clasifican según el estado del refrigerante en su interior, tienen distintas formas y también podrían clasificarse según el sistema al cual trabaje.

Según el estado del refrigerante en su interior:

Evaporadores inundados

En estos evaporadores el fluido refrigerante se encuentra en estado líquido desde la entrada hasta la salida, aunque a la salida está en mezcla de líquido y gas; pero una gran mayoría en estado líquido, ósea que el refrigerante se encuentra en gran mayoría en dicho estado en toda la superficie de transferencia de calor. (Franco Lijo, 2006)

Estos son de gran rendimiento, debido a que, en la salida del evaporador, el refrigerante va en mayor porcentaje en estado líquido, la diferencia de temperaturas entre el refrigerante

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

y la masa de calor a extraer siempre va a ser constante, debido a que tienen el contacto a través de toda la superficie del evaporador. En las fábricas donde emplean estos equipos están configurados de la siguiente manera como muestra la Figura 7.

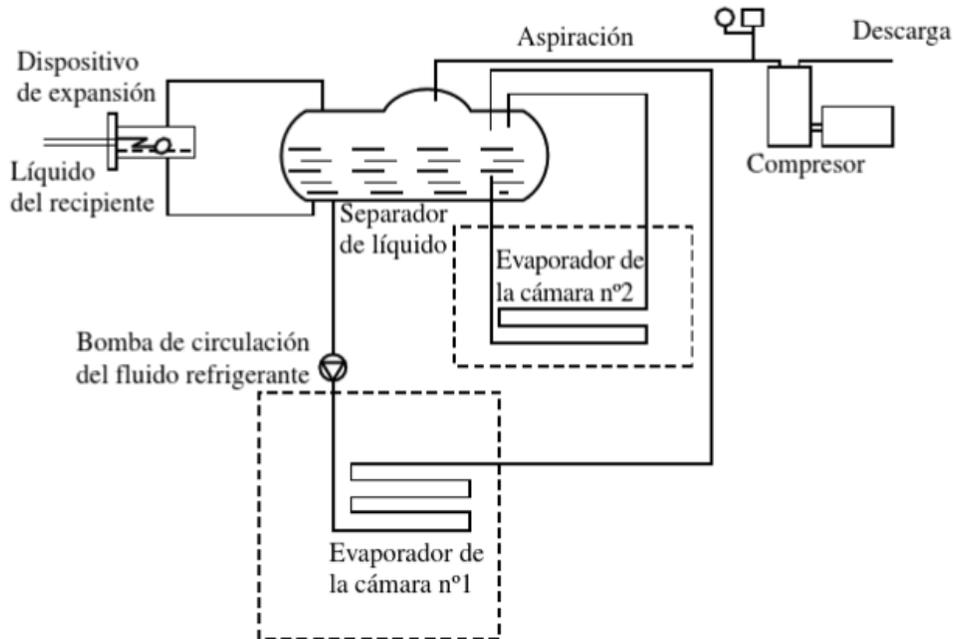


Figura 7. Instalación con evaporadores inundados (Franco Lijo, 2006)

Evaporadores semi inundados

Estos están formados por dos colectores, el primero de un diámetro más pequeño donde ingresa el refrigerante líquido, y el otro colector de mayor diámetro que es la salida del fluido refrigerante, cada colector se une al otro mediante los tubos en paralelo como muestra la Figura 8. (Franco Lijo, 2006)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

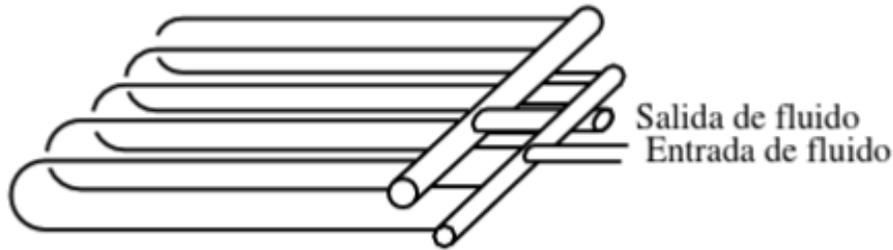


Figura 8. Evaporador semi inundado (Franco Lijo, 2006)

Estos tubos que conectan las dos flautas en paralelo hacen que, la velocidad del refrigerante sea muy baja entre ellos, depositando el fluido en la parte inferior de los tubos y así los inunda, el vapor que circula por la parte superior es el que remueve fácilmente el calor, hasta llevarlo a la salida del evaporador con el refrigerante gaseoso.

Evaporador seco

Este se caracteriza por que cuando entra el fluido a su interior va en estado líquido y a medida que se realiza la transferencia de calor con el producto a refrigerar, este hace que todo el refrigerante se evapore y regrese al sistema gaseoso para facilitar la sección del compresor.

Evaporadores según su construcción:

Evaporador de tubo con aletas

Se construyen de tubos cubiertos con aletas que mejoran la transferencia de calor, estas aletas pueden ser rectangulares o circulares, y no necesariamente lisas para facilitar la turbulencia del aire a través de él.

Estos evaporadores son muy utilizados para una transferencia de calor por convección y la circulación de aire, a través puede ser forzada por la acción de ventiladores y natural por

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

diferencial de densidad en distintos puntos formando corrientes de convección. (Franco Lijo, 2006)

Evaporador de tubos lisos

Son de los más empleados desde el principio de la refrigeración, son fabricados en tubos de cobre recocido, como en nuestro caso estudio placas de aluminio, y pueden presentar distintas formas, se caracterizan en que la mayoría trabajan con transferencia de calor por conducción ósea que tiene contacto directo con la masa a refrigerar o congelar. (Franco Lijo, 2006)

Compresor

El compresor es el “corazón” del sistema de refrigeración. Tiene dos funciones básicas:

1. Mantener la presión en el evaporador, de modo que el refrigerante líquido pueda evaporarse a la temperatura requerida.
2. Comprimir el refrigerante para poder condensarlo a una temperatura normal (temperatura ambiente) (Danfoss, Aplicaciones de refrigeración industrial con amoníaco y CO₂, 2014)

Para mantener una presión menor y con esto una temperatura más baja, es necesario sacar el vapor del evaporador, esto lo realiza el compresor. El refrigerante sale del evaporador como vapor saturado o ligeramente recalentado y entra en el compresor donde es comprimido, por el movimiento de un pistón, de un espiral, de un tornillo, etc.

Tipos de compresores

Los compresores se dividen en dos tipos volumétricos y los de flujo, en los **compresores volumétricos**, el aumento de presión se logra por la disminución de volumen del gas confinado en una cámara y el proceso de compresión es continuo. En los **compresores de flujo**, la elevación de la presión del gas se logra por la transformación de energía cinética que se proporciona por medio de un rodete de forma adecuada, en energía de presión,

cuando se hace que disminuya la velocidad del gas. De manera que el proceso es continuo (Luszczewski, 1999). Estos dos conjuntos los podemos apreciar en la Figura 9.

Los compresores volumétricos o desplazamiento positivo son:

- Compresor de tornillo
- Compresor de pistón
- Compresor de paletas
- Compresores Scroll
- Compresor de lóbulos o émbolos rotativos.

Los compresores de flujo son:

- Compresor centrífugo o radial
- Compresor axial

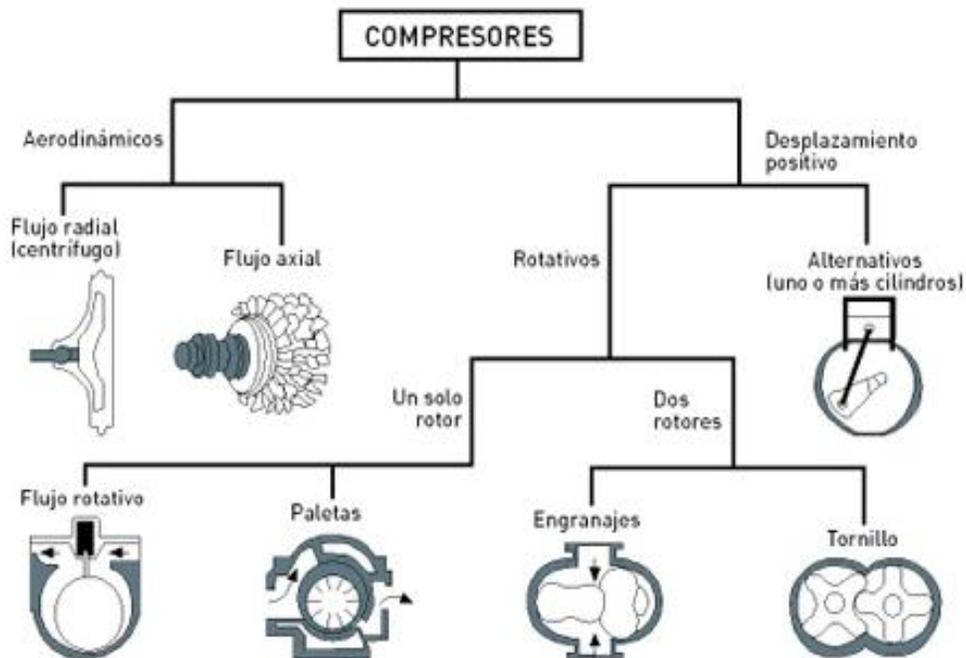


Figura 9. Tipos de compresores (Luszczewski, 1999)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Condensador

El condensador es un intercambiador de calor en el que cede a un fluido exterior el calor absorbido por el refrigerante en el evaporador y en el compresor, pasando el refrigerante del estado de vapor sobrecalentado al líquido. (Romero Gomez, 2012)

El refrigerante cede su calor en el condensador. El calor que cede el refrigerante es el absorbido en el evaporador más el calor aportado por el compresor. El calor se transfiere a un medio más frío aire o agua. En el condensador se produce el cambio de vapor a líquido. (Sanz del Castillo & Sanz del Castillo, 2014)

Los condensadores se clasifican según el medio condensante:

- Enfriados por aire
- Enfriados por agua
- Evaporativos

Condensadores enfriados por aire

El medio por el cual se produce la condensación es el aire y la circulación de este a través del condensador puede tener lugar por convección natural o forzada; en **convección natural**, el aire es bajo y requiere una gran superficie de intercambio de calor con el refrigerante, mientras que en **convección forzada** existe uno o varios ventiladores que garantizan el caudal del aire. (Romero Gomez, 2012)

Para que estos condensadores tengan un buen funcionamiento se requiere que estén ubicados en lugares aislados y que permitan la buena circulación de aire para evitar sobrecalentamientos.

Condensadores enfriados por agua

El refrigerante circula por un serpentín sumergido o bañado en agua, y el intercambio se realiza a través de la superficie de los tubos, estos condensadores son muy utilizados en sistemas industriales y el agua utilizada podría ser en circuito abierto con agua a pérdida o enfriamiento en una torre de refrigeración con agua recirculada. (Romero Gomez, 2012)

Condensadores evaporativos

Es una combinación de condensador enfriado por aire, condensador enfriado por agua y torre de enfriamiento. Los condensadores evaporativos pueden usarse en donde el agua sea escasa o costosa, o en donde su eliminación sea problema, ya que utiliza aire y agua como medio de enfriamiento, este tiene una bomba que recoge agua del tanque en la base del condensador. La bomba alimenta las toberas que riegan los tubos expuestos del condensador mientras que un ventilador arroja aire a través de los tubos. (Havrella, 1983) Su funcionamiento lo vemos en la Figura 10.

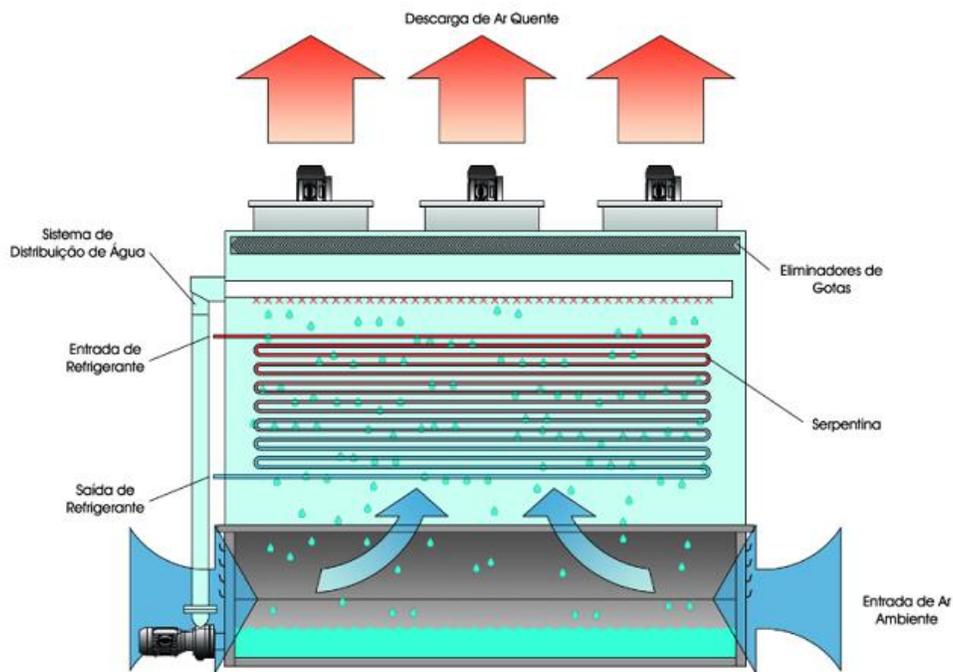


Figura 10

Proceso de expansión

La presión del líquido procedente del condensador es más alta que la presión en el evaporador a causa de la compresión. Para disminuir la presión normalmente se utiliza la

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

denominada válvula de expansión. Al reducirle rápidamente la presión al fluido se producirá un cambio de estado, el líquido empezara a hervir y a evaporarse. La operación se lleva a cabo en el evaporador y así se completa el circuito. (Sanz del Castillo & Sanz del Castillo, 2014)

Hay muchas temperaturas diferentes implicadas en el funcionamiento de una planta de refrigeración. De aquí que haya diferentes conceptos como liquido sub enfriado, liquido saturado, vapor saturado y vapor recalentado. Sin embargo solo hay dos presiones: presión de evaporación y presión de condensación. Las plantas entonces se pueden dividir en lado de alta presión y lado de baja presión como se observa en la Figura 11.

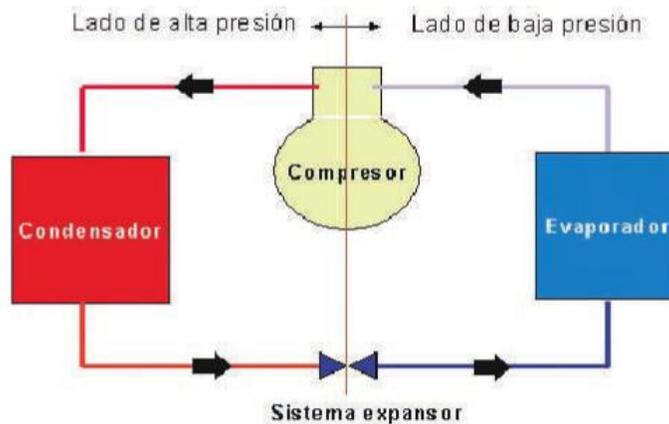


Figura 11. Lados de baja y alta presión. (Sanz del Castillo & Sanz del Castillo, 2014)

2.3 Diagrama P-h con circuito frigorífico

Ahora vamos a integrar en la Figura 12 el diagrama P-h y un circuito frigorífico

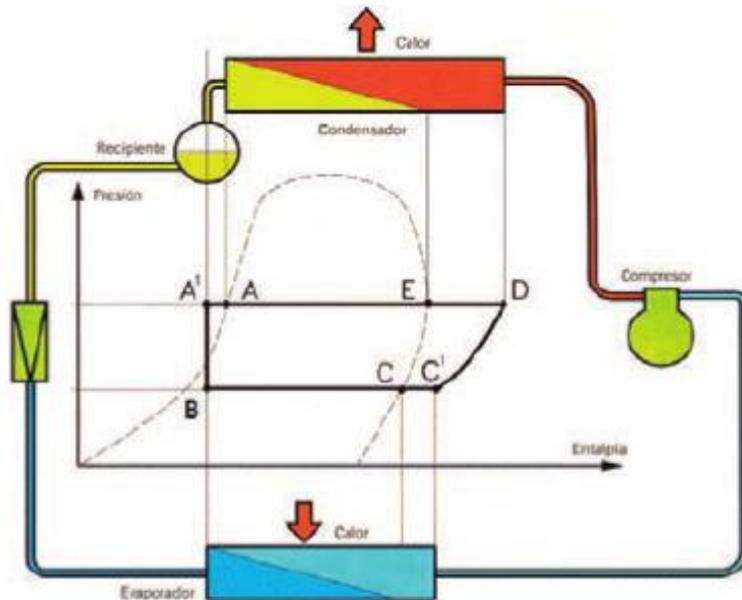


Figura 12. Diagrama P-h y circuito frigorífico. (Sanz del Castillo & Sanz del Castillo, 2014)

El punto D muestra las propiedades del gas de descarga, el cual está a alta presión con una temperatura elevada y recalentado. La distancia D-E representa el calor que hay que robar al vapor para que comience a condensar. El tramo E-A es el calor cedido durante la condensación. El tramo A-A' indica el valor del sub enfriamiento del líquido, es necesario para evitar la formación de burbujas de vapor o flash-gas en la línea de líquido. El tramo A'-B representa la expansión del líquido producida en el sistema de expansión, realiza la gestión del caudal del líquido en circulación a través del circuito de refrigeración. El tramo B-C es el calor cedido por el fluido a enfriar al refrigerante que lo toma para evaporarse. El tramo C-C' es el recalentamiento del vapor que sale del evaporador y que va al compresor. El tramo C'-D sigue una línea inclinada (isoentrópica) que representa el trabajo convertido en energía de presión y térmica por el compresor. (Sanz del Castillo & Sanz del Castillo, 2014)

2.4 Sustancias refrigerantes

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Según la cartilla didáctica El mantenimiento de sistemas de refrigeración y aire acondicionado y la certificación por competencias laborales del ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial de la Republica de Colombia, define refrigerante como cualquier cuerpo o sustancia que actúa como agente de enfriamiento absorbiendo calor de otro cuerpo o sustancia y se pueden agrupar en refrigerantes primarios y refrigerantes secundarios; los primarios son aquellos que absorben calor al evaporarse a ciertos niveles de temperatura y presión para transferirlo a temperatura y presión más elevadas. Los secundarios son los fluidos enfriados mediante un refrigerante primario y que circula como fluido de transferencia de calor para retirar la carga térmica del sistema.

Los refrigerantes se conocen por su fórmula, nombre químico o por su denominación simbólica numérica adoptada internacionalmente. El American Standard ANSI / ASHRAE 34, como denominación simbólica numérica, asigno un código que identifica a cada refrigerante

En la Tabla 1 se muestra la clasificación del estándar 34 de la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado – ASHRAE.

Tabla 1. Clasificación de los refrigerantes

Serie	Nombre	Refrigerante
000	Metanos	R12, R23
100	Etanos	R134a, R141b
200	Propanos	R290
400	Zeotropos	R407C, R410A
500	Azeotropos	R502, R507
600	Orgánicos	R600, R600a
700	Inorgánicos	R717, R744

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Los refrigerantes inorgánicos son compuestos químicos o combinaciones de la tabla periódica que no contienen carbono, excepto el CO₂; los refrigerantes inorgánicos más comunes son el agua, amoníaco y el dióxido de carbono.

Los refrigerantes orgánicos son compuestos químicos o combinaciones de la tabla periódica que contienen carbono, excepto el CO₂; los refrigerantes orgánicos más comunes son los hidrocarburos, los halocarbonados y combinaciones entre ellos.

Los halocarbonados, consisten de una estructura de carbono a la que se unen átomos del grupo VII de la tabla periódica conocidos como Halógenos (Flúor, Cloro y/o Bromo). Los refrigerantes pertenecientes a este grupo se dividen en tres grupos básicos así: CFC, HCFC, HFC y mezclas entre ellos.

CFC: clorofluorocarbono

HCFC: hidrocliclorofluorocarbono

HFC: hidrofliorocarbono

El amoníaco se usa ampliamente como refrigerante en sistemas industriales para la refrigeración, distribución y almacenaje de alimentos (Pearson, 2008), los sistemas de amoníaco son muy eficientes, fiables y seguros, esto los hace más atractivo como alternativa en reemplazo de los fluorocarbono (Pearson, 2008). El amoníaco es un refrigerante natural que no causa el agotamiento del ozono o el calentamiento global y se descompone fácilmente en el medio ambiente, el amoníaco es toxico e inflamable en grandes concentraciones, es higroscópico, lo que significa que tiene una gran afinidad por el agua y migra a zonas húmedas como los ojos, la nariz, la boca, garganta y piel húmeda. La exposición al amoníaco puede provocar quemaduras de tipo químico en la piel, los ojos y los pulmones. También puede provocar congelación, ya que su punto de ebullición es de -28°F (-33°C). Las concentraciones superiores a 300 ppm son inmediatamente peligroso para la vida. (Senthilkumar, 2019)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.5 Sistemas de refrigeración

En refrigeración y aire acondicionado se habla de sistemas 1:1 cuando en la instalación solo existe un evaporador, un compresor, un condensador y un solo sistema de expansión. De alguna forma es el circuito frigorífico más fácil de configurar, ya que solo existe una posibilidad de circulación del fluido, y tienen un gran número de aplicaciones por ejemplo fuentes de agua fresca, enfriadores de refrescos, botelleros, máquinas de conservación de helados, neveras domésticas, entre otros. Los sistemas con múltiples evaporadores y compresores se hablan de plantas o instalaciones y pueden estar todos en funcionamiento o solo una parte de ellos. Este tipo se suele dar en grandes instalaciones industriales de procesamiento de alimentos, mataderos, cerveceras, tratamiento del café, entre otros. (Sanz del Castillo & Sanz del Castillo, 2014)

En la Figura 13 se representa un esquema simplificado que muestra los componentes principales y el flujo de refrigerante en sistema central de una sola etapa

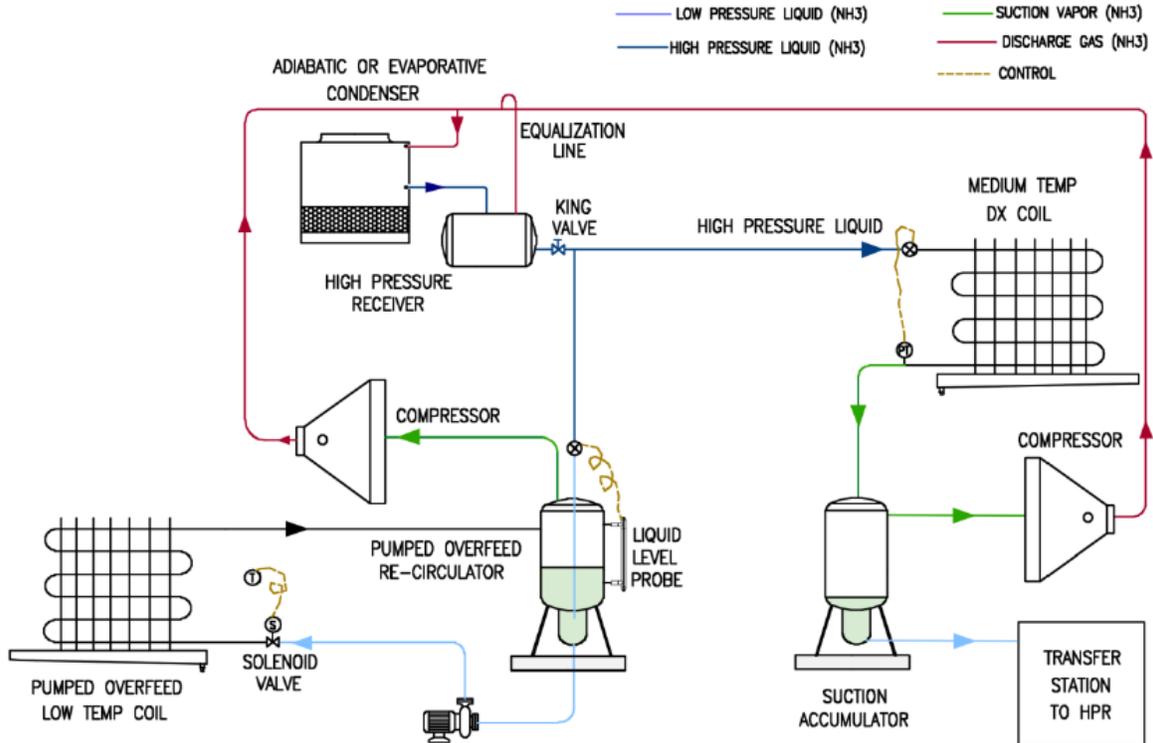


Figura 13. Esquema de Sistema central de una sola etapa (Senthilkumar, 2019)

En el sistema centralizado, el amoníaco a alta temperatura y presión rechaza el calor al ambiente en un condensador evaporativo, cambiando de vapor a fase líquida (típico 180 – 200 psig). El líquido se recoge en un receptor de alta presión (HPR). La línea de ecualización permite que el vapor de HPR pueda escapar a la entrada del condensador, igualando las presiones en ambas ubicaciones. De lo contrario si por alguna razón la presión de HPR se vuelve mayor que la presión en la salida del condensador, el amoníaco líquido inundaría de nuevo el condensador. La válvula King en la salida de HPR permite que el sistema bombee, atrapando la carga de refrigerante en el receptor durante las reparaciones.

El HPR alimenta las bobinas del evaporador de expansión directa de temperatura media (DX) (típico de 30 a 40 psig) a través de una válvula de expansión electrónica o termostática. La válvula de expansión se abre o se cierra según sea necesario, regulando el flujo de amoníaco en respuesta a los cambios en la demanda de refrigeración de la habitación. La

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

demanda de refrigeración normalmente se determina mediante el controlador de refrigeración al monitorear el sobrecalentamiento a la salida del evaporador y sondas de temperatura de aire en el retorno del evaporador. La válvula de expansión puede no ser capaz de modular rápidamente, por ende una trampa de succión o acumulador se utiliza en la salida del evaporador para atrapar y recoger cualquier líquido que sale del evaporador. El acumulador separa el líquido y el vapor, permitiendo que solo le llegue vapor a los compresores de tornillo. El líquido acumulado se hierve o se usa una bomba para transferirlo nuevamente al HPR.

El HPR también alimenta los evaporadores de baja temperatura (típicamente 0 a 5 psig). La configuración típica es que el HPR alimenta a un recipiente receptor de recirculación de baja presión (LPR). El LPR usa una bomba para alimentar líquido en los evaporadores. A diferencia de los evaporadores de expansión directa (DX), el refrigerante no es sobrecalentado a la salida y sale como una mezcla de dos fases. La mezcla ingresa al LPR, donde se separa el líquido y el vapor. El vapor es succionado por los compresores, mientras que el líquido restante se recircula por el evaporador. Una sonda de nivel en el recipiente LPR mantiene un nivel mínimo y máximo de líquido modulando la presión reduciendo la válvula de expansión. Esta configuración es más común que la configuración DX debido a la mala distribución del refrigerante en DX donde hasta el 30 por ciento del área de la superficie puede estar expuesta al vapor sobrecalentado resultando en una pobre absorción de calor. (Senthilkumar, 2019)

2.6 Proceso de congelación de los alimentos

El proceso de congelación transcurre en una serie de etapas que se esquematizan en la Figura 14. En ella se puede observar cómo, durante la etapa de preenfriamiento (A-B), la temperatura del alimento se reduce paulatinamente desde su valor inicial (T_0) hasta alcanzar el punto de congelación (T_c) para seguir disminuyendo sin que se produzca cambio de estado en el producto. Tenemos, entonces, un alimento subenfriado; esto es, un

alimento que llevado por debajo de su punto de congelación no se ha congelado. Sin embargo, en un momento dado, de forma espontánea y no predecible, se produce la nucleación; es decir, se forma una cierta cantidad de núcleos de hielo que provocan que la temperatura se eleve hasta alcanzar su punto de congelación (B-C) debido al calor latente desprendido. Tras la nucleación, la temperatura del alimento se mantiene constante, formando lo que se llama plato de congelación o etapa de cambio de fase (C-D), hasta que toda el agua disponible se ha convertido en hielo. Una vez que se ha congelado toda la masa de agua, la temperatura comienza a descender durante la etapa de atemperamiento (D-E) hasta que la temperatura alcanza la temperatura final programada (Otero, Guignon, & Sanz, Ultimos avances en tecnologías de congelación de alimentos, 2013).

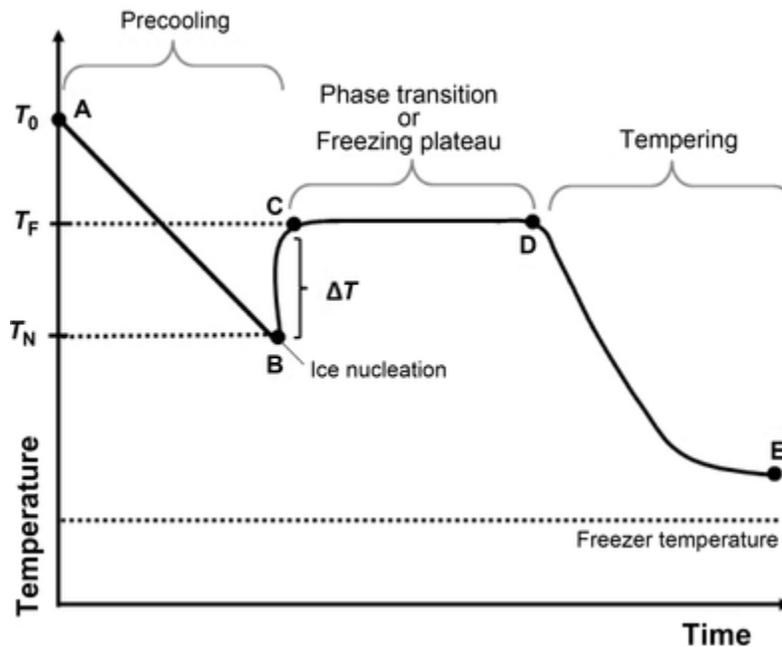


Figura 14. Proceso de congelamiento (Villatoro, 2016)

Los equipos de congelación se clasifican en tres grandes tipos: de ráfaga de aire, de contacto directo y de contacto indirecto (Orrego Alzate, 1996). El congelador de placas es un tipo de congelador de contacto directo muy utilizado. Costa de una serie de placas huecas, dispuestas horizontal o verticalmente, entre las que se deposita el producto a congelar. En

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

el interior de las placas se produce la evaporación del refrigerante (Jara Morales, 2015). El tiempo de congelación está determinado por el tiempo que toma llevar el punto más difícil hasta una temperatura segura que por lo general es de -18°C esto también depende de la geometría y el método usado (Backi, Bendtsen, Leth, & Tommy, 2014).

Los congeladores de placas se aplican generalmente para la congelación de grandes cantidades de pescado o carne. En general los refrigerantes utilizados en estos equipos son refrigerantes naturales tales como NH_3 y CO_2 (MAREFSUP, s.f.).

2.7 Descongelación de evaporadores

La formación de escarcha es el problema más significativo y perjudicial que sucede en el evaporador de tubos con aletas en el sistema de refrigeración. La escarcha comienza a formarse cuando el contacto entre la superficie fría del intercambiador de calor y el vapor de agua cercano debido a la diferencia de temperatura; esto afectara a todo el sistema debido al bloqueo parcial o total del flujo de aire y la acumulación de capas de escarcha, comprometen el rendimiento de la transferencia de calor y aumenta el consumo de energía.

Por lo tanto, los métodos de descongelación son empleados para abordar estos problemas; hay dos métodos principales para descongelar, es decir, pasivo y activo. El primero utiliza la morfología de la superficie para retrasar o reducir la formación de escarcha sin un consumo de energía adicional, mientras que el último requiere una entrada de potencia adicional para descongelar. (Amer & Wang, 2017).

Para descongelar en la operación hay tres métodos principales, el primero es a través de la descongelación de encendido-apagado, en el cual el sistema se apagara cuando la escarcha se acumule en el evaporador hasta que se derrita, luego el sistema vuelve a su funcionamiento normal, su principal ventaja es su simplicidad y economía; el segundo tipo, es la descongelación mediante un calentador resistivo eléctrico integrado, aunque también

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

puede ser fácil su instalación, pueden consumir demasiada electricidad; el tercer método es a través de gas caliente proveniente del compresor, es complejo y relativamente costoso de instalar, pero la eficiencia y el COP de la descongelación son mejores que los otros métodos, ya que el gas caliente entra por todo el circuito de tubos, en este sistema, la dirección del flujo del gas caliente es opuesta a la operación normal, es el método más utilizado actualmente (Amer & Wang, 2017).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

Con el objetivo de realizar un diagnóstico del estado actual de los congeladores de placas verticales y describir el comportamiento termodinámico, se propuso la Tabla 2 como formato en el cual se consigna, por cada uno de los congeladores de placas, el tipo, la marca, el modelo, la capacidad frigorífica en toneladas de refrigeración (TR), la capacidad másica en kilogramos (kg) para productos cárnicos de res y de cerdo y el país de origen; los datos son obtenidos de las placas y los manuales de cada uno de los equipos. Además se realizó visita al área de producción y se tomó registro fotográfico.

Tabla 2. Formato de características de los congeladores de placas (Fuente propia)

CONGELADOR	TIPO	MARCA	MODELO	CAPACIDAD FRIGORIFICA (TR)	CAPACIDAD MASICA (kg)	PAIS DE ORIGEN

También, en el diagnóstico del estado actual, se presentó formato de las variables del proceso de congelación en la Tabla 3, que se obtuvieron del analista de capacidades de la planta.

- El día se toma de 23 horas, ya que se saca 1 hora para el lavado de los equipos.
- Las horas por ciclo incluyen el tiempo de congelación y el tiempo de descongelación.
- El número de ciclos ideal al día es la división de las horas día (23) entre las horas por ciclo como en la Ecuación 1

$$\text{Número de ciclos ideal al día} = \frac{\text{Horas día}}{\text{Horas por ciclo}} \quad \text{(Ecuación 1.)}$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- La eficiencia de los equipos resulta de dividir la capacidad demandada sobre la capacidad instalada multiplicada por cien, ver Ecuación 2.

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Capacidad demandada}}{\text{Capacidad instalada}} \times 100\% \quad \text{(Ecuación 2.)}$$

- Los ciclos reales al día es multiplicar el número de ciclos ideales tomado de la Ecuación 1 por la eficiencia obtenida en la Ecuación 2.

$$\text{Ciclos reales al día} = \text{Número de ciclos ideales} \times \text{Eficiencia} \quad \text{(Ecuación 3.)}$$

- Los kilogramos estándar por ciclo se obtienen de hacer un promedio entre los diferentes tipos de cortes de la res y el cerdo debido a que entre ellos varía el porcentaje de grasa y el peso.
- La capacidad ofertada al día, ver Ecuación 4, se obtiene por la multiplicación entre los ciclos reales al día (Ecuación 3.) y los kilogramos estándar por ciclo.

$$\text{Capacidad ofertada al día} = \text{Ciclos reales al día} \times \text{kg estándar por ciclo} \quad \text{(Ecuación 4.)}$$

- La capacidad instalada al día es la multiplicación entre el número de ciclos ideal al día (de la Ecuación 1.) y los kilogramos estándar por ciclo, ver Ecuación 5.

$$\text{Capacidad instalada al día} = \# \text{ ciclos ideal al día} \times \text{kg estándar por ciclo} \quad \text{(Ecuación 5.)}$$

- El déficit, ver Ecuación 6, es restarle la capacidad ofertada al día a la capacidad instalada al día; es decir Ecuación 4 menos Ecuación 5.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$\text{Déficit} = \text{Capacidad instalada al día} - \text{Capacidad ofertada al día}$$

(Ecuación 6.)

- La capacidad instalada día total kilos es multiplicar la capacidad instalada al día por el número de equipos, en el caso de los congeladores 1, 2, 3 y 4 es multiplicarla por cuatro en el caso de los congeladores 6 y 7 es multiplicarlo por dos.
- La capacidad demandada día total kilos es multiplicar la capacidad oferta día por el número de equipos, en el caso de los congeladores 1, 2, 3 y 4 es multiplicarla por cuatro en el caso de los congeladores 6 y 7 es multiplicarlo por dos.
- El total instalado y demandado es la suma de todos los congeladores y el túnel.

Tabla 3. Formato de variables de proceso de congelación (Fuente propia)

Equipos	1, 2, 3 y 4	5	6 y 7	Túnel	Total
Horas día					
Horas por ciclo					
Numero de ciclos ideal al día					
Eficiencia					
Ciclos reales al día					
Kg estándar por ciclo					
Capacidad oferta al día					
Capacidad instalada al día					
Déficit al día					
Capacidad instalada día total kilos					
Capacidad demandada día total kilos					

Con apoyo del personal técnico encargado del área de servicios industriales de la compañía, se revisó el sistema de frío al que pertenecen los congeladores de placas, para determinar el tipo de sistema que se tiene instalado (simple etapa, doble etapa, expansión seca u otra), además, se propuso el formato de la Tabla 4 para consignar las características de los compresores instalados como el tipo (tornillo, scroll, pistón, entre otros), la marca, el modelo, la capacidad en toneladas de refrigeración (TR), potencia del motor en caballos de

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

fuerza (en HP) y el sistema al que pertenecen, es decir, si operan para refrigeración o congelación, en otras palabras si operan para un nivel de alta o baja temperatura.

Tabla 4. Formato de características de los compresores (Fuente propia)

COMPRESOR	TIPO	MARCA	MODELO	CAPACIDAD (TR)	POTENCIA DEL MOTOR (HP)	SISTEMA

De igual manera, se creó la Tabla 5 como formato para registrar las características de los condensadores de la red de frío.

Tabla 5. Formato para las características de los condensadores (Fuente propia)

CONDENSADOR	TIPO	MARCA	MODELO	CAPACIDAD (TR)	POTENCIA DEL MOTOR (HP)

El formato de la Tabla 6 se diseñó con el fin de obtener la información frigorífica de los tanques recirculadores, además, se tomó registro fotográfico del tanque receptor de líquido a alta presión que sale de los condensadores la cual se puede visualizar en los resultados.

Tabla 6. Formato de información frigorífica de tanques recirculadores (Fuente propia)

RECIRCULADORA	TIPO	MARCA	CAPACIDAD (TR)	SISTEMA

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Con el apoyo de los frigoristas de la planta se obtuvieron las variables del sistema de refrigeración, tales como: Presiones y temperaturas de succión y descarga, presiones y temperaturas de aceite de los compresores; esta información se propone registrar en el formato de la Tabla 7.

Tabla 7. Formato para variables del Sistema de refrigeración (Fuente propia)

SISTEMA (ALTA / BAJA)	PRESION DE SUCCION (psi)	TEMPERATURA DE SUCCION (°C)	PRESION DE DESCARGA (psi)	TEMPERATURA DE DESCARGA (°C)	PRESION DE ACEITE (psi)	TEMPERATURA DE ACEITE (°C)

Las presiones de descarga de las bombas recirculadoras y porcentaje de nivel de líquido de los tanques recirculadores se consignaron en el formato de la Tabla 8.

Tabla 8. Formato para presiones de bombas y nivel de líquido de los tanques recirculadores (Fuente Propia)

TANQUE RECIRCULADOR	PRESION DE DESCARGA DE LA BOMBA	NIVEL (%)

Para identificar las válvulas que controlan el flujo de entrada y salida de refrigerante de cada uno de los congeladores, se realizó visita a la sala de máquinas en la cual se encuentran los diferentes juegos de válvulas, se tomó registro fotográfico y se levantó la información de marca y modelo de las válvulas instaladas. La Tabla 9 se propuso como formato para consignar la información de las válvulas; donde por línea (Líquido, succión, gas caliente y retorno de gas caliente), se identificó la marca y el modelo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 9. Formato de información de las válvulas (Fuente propia)

LINEA	MARCA	MODELO

Para el procedimiento de control de activación de las válvulas en el proceso de congelación, se identificaron los componentes eléctricos con apoyo de los técnicos de refrigeración de la planta y se toma registro fotográfico.

Con el objetivo de estudiar alternativas de optimización energética para los congeladores de placas verticales de la empresa de alimentos, se identificaron las desviaciones termodinámicas del proceso de congelación, se validaron los rangos de operación de la presión en los compresores de baja (congelación) y se utilizó la tabla de presión temperatura correspondiente para el amoniaco, además se revisó el ciclo de congelación y descongelación de los equipos, observando el comportamiento de las variables termodinámicas.

Luego, se realizó consulta en bases de datos de artículos y trabajos recientes que pudieran brindar alternativas en la corrección de las desviaciones y se analizaron las posibles causas de estas.

Con la información recolectada se verificó cual o cuales de las posibles causas no se estaba controlando y la factibilidad de hacerlo, para esto se propuso el formato de la Tabla 10 en el cual se listaran las posibles causas y si se encontraba controlada o no.

Tabla 10. Formato de causas por desviación termodinámica (Fuente propia)

DESVIACION:		
CAUSAS	CONTROLADA	
	SI	NO

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Se realizó prueba de desempeño controlando las causas que faltaban obtenidas del formato de la Tabla 10 y se realizó seguimiento, para la posterior evaluación comparando los resultados con las desviaciones que se tenían inicialmente, usando graficas de comportamiento de variables.

Finalmente se realizó resumen con los resultados obtenidos de las pruebas de desempeño y el cambio en los valores de las variables del proceso de congelación y del sistema de refrigeración de la planta; se revisaron los costos que se requieren para implementar la mejora y el retorno de la inversión.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se utilizó el formato que se había propuesto en la metodología para registrar la información de las características de los equipos como se observa en la Tabla 11, en esta se diferencia el tipo de congelador, ya que en el mercado existen congeladores de placas tanto verticales como horizontales, se registra la marca, el modelo, la capacidad frigorífica en toneladas de refrigeración (TR), la capacidad másica para material de res y de cerdo en kilogramos (kg) y se incluye el país de origen para tener una idea de donde provienen estos equipos.

Tabla 11. Características de los congeladores de placas (Fuente propia)

CONGELADOR	TIPO	MARCA	MODELO	CAPACIDAD FRIGORIFICA (TR)	CAPACIDAD MASICA (kg)	PAIS DE ORIGEN
Congelador #1	Vertical	Gram	KVB24	8	900	Dinamarca
Congelador #2	Vertical	Gram	KVB24	8	900	Dinamarca
Congelador #3	Vertical	Gram	KVB24	8	900	Dinamarca
Congelador #4	Vertical	Gram	KVB24	8	900	Dinamarca
Congelador #5	Vertical	Tucal	09P04081	17	1730	España
Congelador #6	Vertical	Tucal	AV	14	1800	España
Congelador #7	Vertical	Tucal	AV	14	1800	España

En la Figura 15 se observa la distribución de los siete congeladores de placas verticales, registro fotográfico que se realizó en la visita al área de congelación en la planta, donde en el lado derecho de la imagen se pueden observar los congeladores 5, 1, 2 y 6 de abajo hacia arriba y en el lado izquierdo de forma ascendente se encuentran los equipos 4, 3 y 7.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 15. Sala de congelación (Fuente propia)

Del analista de capacidades de la planta se obtuvieron las variables del proceso de congelación y se registraron en el formato presentado en la metodología. La Tabla 12 muestra los valores correspondientes al 25 de septiembre de 2019. Los equipos están separados por su capacidad, se observa como los congeladores 1, 2, 3 y 4 se encuentran juntos por tener las mismas características, de igual manera los congeladores 6 y 7, el congelador 5 y el túnel se encuentran separados por tener características diferentes a los demás equipos, además se incluye el túnel, explicó el analista, debido a que la congelación de la planta no la discriminan por si es en congelador o en túnel, se mide como un total de material congelado.

Tabla 12. Variables del proceso de congelación (Fuente propia)

Equipos	1, 2, 3 y 4	5	6 y 7	Túnel	Total
Horas día	23	23	23	23	
Horas por ciclo	4,92	5,42	5,17	12,58	
Numero de ciclos ideal al día	4,68	4,25	4,45	1,83	
Eficiencia	88,19%	98,04%	83,69%	93,62%	
Ciclos reales al día	4,13	4,16	3,73	1,71	
Kg estándar por ciclo	848,3	1664,9	1689,4	5510,5	
Capacidad oferta al día	3500,1	6931,7	6294,8	9429,8	

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Capacidad instalada al día	3968,9	7070,3	7521,5	10072,4	
Déficit al día	468,7	138,6	1226,8	642,6	
Capacidad instalada día total kilos	15875	7070	15043	10072	48061
Capacidad demandada día total kilos	14001	6932	12590	9429,8	42952

Los congeladores de placas verticales hacen parte del sistema centralizado de la red de frío con amoníaco de la empresa.

El sistema centralizado es de tipo recirculado simple etapa y está compuesto por 7 compresores de tornillo de los cuales 3 compresores son para refrigeración, 3 compresores para congelación y 1 opera como “switch machine” se utilizó la Tabla 13 para consignar las características de los compresores, formato que se propuso en la metodología y en el cual se registra el tipo, la marca, el modelo, la capacidad en toneladas de refrigeración (TR), la potencia del motor en caballos de fuerza (HP) y el sistema para el cual operan, es decir si son del lado de alta o de baja o en otras palabras si son para refrigeración o para congelación.

La numeración de los compresores corresponde al orden en que se han instalado en la compañía, por tal motivo no presentan un orden coherente o consecutivo, como se observa en la misma tabla, los compresores #7 y #8 son de tipo monotornillo, es una tecnología patentada por la marca Vilter, sin embargo se catalogan dentro de los compresores de tornillo, la diferencia es que estos no tienen dos tornillos (conductor y conducido) en cambio tienen un solo tornillo y dos estrellas.

Tabla 13. Características de los compresores (Fuente Propia)

COMPRESOR	TIPO	MARCA	MODELO	CAPACIDAD (TR)	POTENCIA DEL MOTOR (HP)	SISTEMA
Compresor #4	Tornillo	Mycom	160 VSD	99,5	125	Alta
Compresor #5	Tornillo	Mycom	160 VSD-H	99,5	125	Alta

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Compresor #11	Tornillo	Frick	RWBII134B	200	300	Alta
Compresor #9	Tornillo	Mycom	160 LUD-MX	92	125	Alta / Baja
Compresor #7	Monotornillo	Vilter	VSM 501	62	200	Baja
Compresor #8	Monotornillo	Vilter	VSM 601	72	200	Baja
Compresor #10	Tornillo	Mycom	N220JS-V	80	250	Baja

La descarga de los compresores es común y se unen para dirigirse hacia 3 condensadores evaporativos de 200 TR cada uno como se registró en la Tabla 14 junto con las demás características que pide el formato que se creó en la metodología como el tipo, la marca, el modelo y la potencia eléctrica de los motores (en HP).

Tabla 14. Características de los condensadores (Fuente propia)

CONDENSADOR	TIPO	MARCA	MODELO	CAPACIDAD (TR)	POTENCIA DEL MOTOR (HP)
Condensador #5	Evaporativo	Baltimore	BAC ECH2-0812-172	200	7,5
Condensador #6	Evaporativo	Baltimore	BAC ECH2-0812-172-7.5	200	7,5
Condensador #7	Evaporativo	Guntner	ECOSS G3 GCHE 0608-12.11/02B.E	200	3,7 cada uno (2 motores)

La salida de los condensadores se une y llega al tanque receptor de líquido de alta presión; se había propuesto tomar registro fotográfico, pero en el recorrido por la red se vio la necesidad de crear la Tabla 15 para registrar las características de este como la marca, la capacidad y las dimensiones; en la Figura 16 se observa una imagen real del tanque.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 15. Características del tanque receptor de líquido a alta presión (Fuente propia)

TANQUE RECIPIENTE DE LIQUIDO	MARCA	CAPACIDAD (LITROS)	DIMENSIONES
Tanque receptor de líquido	York	5266	Diámetro = 1097mm Largo = 4902mm



Figura 16. Tanque receptor de líquido a alta presión (Fuente propia)

De este tanque sale el líquido para enfriar el aceite de los compresores y para los 4 tanques recirculadores del sistema, de los cuales 3 tanques operan en refrigeración y 1 tanque para congelación, se utilizó Tabla 6 diseñada en la metodología para obtener la información de los tanques recirculadores tales como el tipo, la marca, la capacidad en toneladas de refrigeración (TR) y el sistema para el cual operan (Alta o Baja).

Tabla 16. Características de los tanques recirculadores (Fuente propia)

RECIRCULADORA	TIPO	MARCA	CAPACIDAD (TR)	SISTEMA
Recirculadora #1	Vertical	Alfrio	115	Alta
Recirculadora #3	Horizontal	Alfrio	85	Alta
Recirculadora #5	Horizontal	York	98	Alta
Recirculadora #4	Vertical	Alfrio	280	Baja

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Cada tanque tiene en la parte inferior 2 bombas (una stand by de la otra), en el caso del tanque recirculador de congelación, la bomba envía el amoníaco líquido hacia los 7 congeladores de placas, el túnel de congelación y 2 evaporadores de la cava de despachos, la salida de los evaporadores retorna nuevamente al tanque recirculador.

Con el apoyo de los frigoristas de la planta, se obtuvo los valores de set point del sistema de refrigeración y se consignaron en la Tabla 17 del formato que se había propuesto en la metodología. Los valores de temperatura se obtienen de la tabla presión temperatura, en este caso se toman de la regla de refrigerantes de la marca Danfoss, en la Figura 17 se observan los valores de presión, temperatura y porcentajes de capacidad y volumen de uno de los compresores Vilter.

Tabla 17. Valores de set point del Sistema de refrigeración (Fuente propia)

SISTEMA (ALTA / BAJA)	PRESION DE SUCCION (psi)	TEMPERATURA DE SUCCION (°C)	PRESION DE DESCARGA (psi)	TEMPERATURA DE DESCARGA (°C)	PRESION DE ACEITE (psi)	TEMPERATURA DE ACEITE (°C)
Alta	27	-10.3	160	31.1	152	62
Baja	0	-33.3	160	31.1	152	62

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 17. Pantalla del compresor Vilter (Fuente propia)

En las figuras 18 y 19 se observa la temperatura para las presiones de 27 y 0 psi, las cuales son -10.3 y -33.3 °C respectivamente.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 18. Temperatura del amoniaco a 27 psi (Danfoss, 2019)



Figura 19. Temperatura del amoniaco a 0 psi (Danfoss, 2019)

Las presiones de descarga de las bombas recirculadoras y porcentaje de nivel de líquido de los tanques recirculadores se consignaron en la Tabla 18, el formato que se propuso en la metodología fue necesario modificarlo teniendo en cuenta que el nivel de los tanques tiene tres referencias, nivel bajo, medio y alto, además

Tabla 18. Presiones de bombas recirculadoras y niveles de tanques (Fuente propia)

TANQUE RECIRCULADOR	PRESION DE DESCARGA DE LA BOMBA (psi)	NIVEL (%)		
		Bajo	Medio	Alto
#1	60	25	45	70
#3	65	20	40	70
#4	45	25	45	70
#5	55	25	45	70

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En la visita a la sala de máquinas en compañía de los frigoristas, se evidencio como se observa en la Figura 20 que cada uno de los congeladores de placas tiene un válvulado (juego de válvulas) para el control de flujo del refrigerante durante la congelación y la descongelación.



Figura 20. Juego de válvulas de los congeladores (Fuente propia)

La tubería se denomina según la función que cumpla o el estado en el que se encuentre el refrigerante en su interior; para los congeladores se tiene:

- Tubería o línea de líquido que viene desde la descarga de las bombas del tanque recirculador y el amoniaco se encuentra cien por ciento líquidos.
- Tubería de retorno o succión húmeda que es la salida del congelador y se dirige hacia el tanque recirculador y en su interior el refrigerante tiene una mezcla de 3:1 es decir tres partes liquidas por una de vapor.
- Tubería de gas caliente que se requiere para realizar las descongelaciones, en esta se encuentra cien por ciento gaseosa y viene de la descarga de los compresores.
- Tubería de retorno de gas caliente, es la salida del gas caliente del evaporador y es un tramo de tubería que une la línea de líquido con la línea de succión.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Se utilizó la Tabla 19 para registrar por cada una de las líneas (tubería), la marca y el modelo de las válvulas que componen los válvulados, además, se modificó el formato que se había propuesto en la metodología, se incluyó la instrumentación que se encuentra instalada en el juego de válvulas.

Tabla 19. Válvulas de los congeladores (Fuente propia)

LINEA	VALVULAS		INSTRUMENTACION		
	MARCA	MODELO	INSTRUMENTO	MARCA	MODELO
Líquido	Danfoss	ICF20	Manovacuómetro	Parker	30 in.Hg – 300 psi
Succión	Danfoss	ICM65-A	Transmisor de presión	Emerson	Rosemount 3051
			Manovacuómetro	Parker	30 in.Hg – 300 psi
Gas caliente	Danfoss	ICF25	Manovacuómetro	Parker	30 in.Hg – 300 psi
Salida gas caliente	Parker	A4AK	Transmisor de presión	Emerson	Rosemount 3051
			Manovacuómetro	Parker	30 in.Hg – 300 psi

En la tubería de líquido se encuentra instalada una válvula ICF20 y en la tubería de gas caliente una válvula ICF25, ambas marcas Danfoss con 6 módulos como se ilustra en la Figura 21; dos módulos de válvula de corte, un módulo de filtro, un módulo de válvula solenoide, un módulo de apertura manual para la válvula solenoide y un módulo de válvula motorizada.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 21. Estación de válvulas ICF (Danfoss, Folleto técnico Estación de válvulas, 2016)

En la tubería de succión se encuentra instalada una válvula motorizada ICM 65-A marca Danfoss como la de la Figura 22.



Figura 22. Válvula motorizada ICM 65-A (Danfoss, Folleto técnico Estación de válvulas, 2016)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En la tubería de salida de gas caliente que comunica las tuberías de líquido y de succión se encuentra instalada una válvula reguladora de presión A4Ak marca Parker como se observa en la Figura 23.



Figura 23. Válvula reguladora de presión A4AK (Parker, 2002)

En las tuberías de líquido y de salida de gas caliente se encuentran ubicados 2 transmisores de presión Rosemount 3051 de Emerson como el de la Figura 24.



Figura 24. Transmisor de presión (EMERSON, 2019)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Cada transmisor de presión también tiene un manovacuómetro con rango de 30 in Hg hasta 300 psi con caratula de 4 in marca Parker, ver Figura 25.



Figura 25. Manovacuómetro Parker 30 in.Hg – 300 psi (Fuente propia)

Para el procedimiento de control de activación de las válvulas en el proceso de congelación, se tomó registro fotográfico del tablero eléctrico y se identificaron los componentes eléctricos con apoyo de los técnicos de refrigeración de la planta.

En la Figura 26 se observa el tablero de control de los congeladores de placas, en cual se encuentran los PLC marca National Instrument, los relés para la activación de las salidas digitales como los solenoides o los pilotos y se encuentran las fuentes de alimentación DC.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 26. Tablero eléctrico y de control de los congeladores (Fuente propia)

Se utilizó la tabla de presión temperatura (Danfoss, 2019) para amoníaco y se identificaron los rangos de presión con los que operan los compresores de baja.

Los compresores tienen un set point de 0 psi y la presión de succión oscila entre 0 y 12 psi, la presión de descarga entre 160 y 170 psi como se muestra en la Figura 27 de un pantallazo de la gráfica de presión que arroja uno de los compresores Vilter. En la imagen se observa

el comportamiento de la presión de succión (azul), la presión de descarga (rojo), el consumo amperaje (verde) y el porcentaje de capacidad (morado), en un intervalo de una hora.

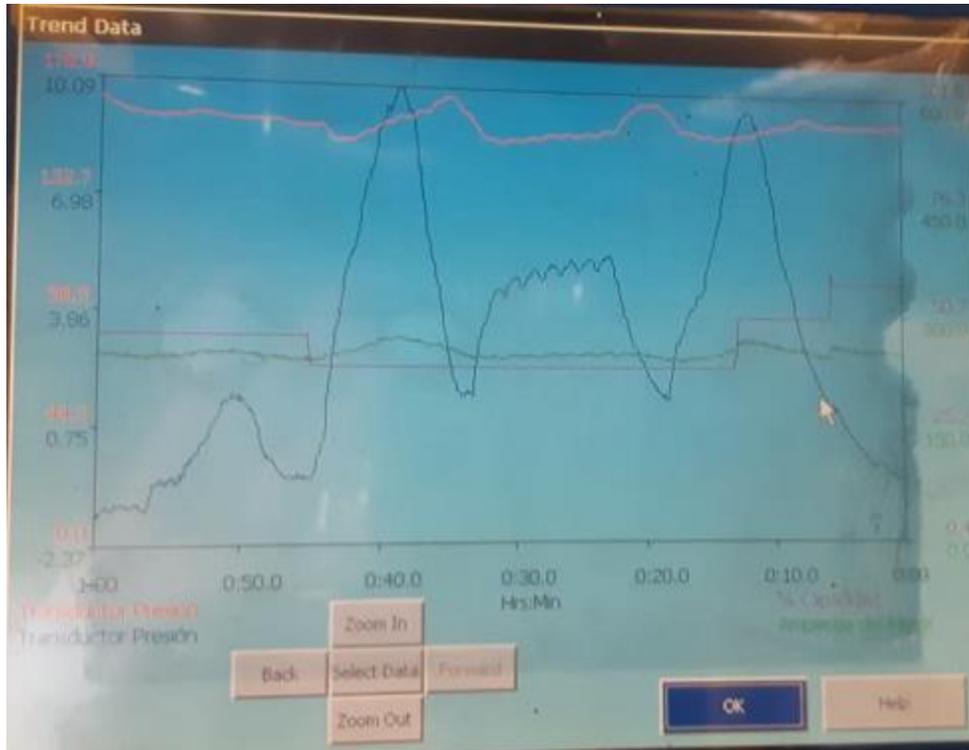


Figura 27. Grafica de comportamiento de presiones en compresor Vilter (Fuente propia)

Con esto se obtiene temperatura de evaporación entre $-33,3^{\circ}\text{C}$ y $-20,7^{\circ}\text{C}$ como se puede observar en la Figura 28.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 28. Temperatura de evaporación para 12 psi con amoníaco (Danfoss, 2019)

El principio de funcionamiento de los congeladores de placas verticales inicia cuando se pulsa desde el tablero de control el pulsador de “congelar”, en ese momento en el válvulodo ubicado en la parte superior del área de congelación, la válvula motorizada de succión abre hasta el 100 %, después de esto se energiza la válvula solenoide en la línea de líquido y comienza a abrir la válvula motorizada de líquido hasta el 60% y así se queda durante 4 horas que es el tiempo en congelación.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Luego de que el tiempo transcurre, se apaga la congelación desde el tablero de control con el pulsador “apagar”, esto hace que la válvula motorizada de líquido cierre hasta 0% y se apague la válvula solenoide en la línea de líquido, solo queda abierta la válvula motorizada de succión.

Finalmente, con el pulsador “descongelar”, hace cerrar la válvula motorizada de succión hasta 0% y luego de esto se energiza la válvula solenoide en la línea de gas caliente y comienza a abrir la válvula motorizada de gas caliente, esto durante 3 minutos.

Luego de que se realice el descargue de los bloques, el congelador queda listo para volverse a cargar e iniciar todo el ciclo.

Después de comprender la rutina de programación, de la forma en que operan las válvulas en ambos ciclos (congelación y descongelación) y de saber que todos los equipos de congelación (7 congeladores, 1 túnel y 2 evaporadores de la cava de almacenamiento), retorna la succión húmeda al mismo tanque recirculador, esto hace que la presión de succión en los compresores tenga un rango muy amplio (entre 0 y 12 psi) lo que disminuye la temperatura de evaporación y por ende castiga los tiempos de congelación.

Conociendo esto, se realizó consulta en bases de datos, buscando alternativas que indiquen como estabilizar la presión de succión en sistemas similares a los del presente trabajo y se encontró lo siguiente:

Para mejorar energéticamente los congeladores de placas verticales, considerando que se encuentran dentro de un sistema de refrigeración por compresión de vapor (VCRS, por sus siglas en inglés), se tienen alternativas como:

1. Tecnología de enfriamiento radiativo (enfriamiento por radiación durante la noche o durante el día). Es el proceso por el cual un cuerpo pierde calor por radiación térmica. El enfriamiento radiativo es una tecnología de enfriamiento gratuito que aprovecha la ventana transparente de la tierra, el consumo de electricidad del VCRS podría disminuir en ~21%. El enfriamiento radiativo nocturno solo puede

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

proporcionar enfriamiento en la noche debido a la limitación de materiales generales. El enfriamiento radiativo diurno surgió recientemente con la invención de materiales nanofotónicos y metamateriales.

2. Tecnología de almacenamiento de energía fría (almacenamiento de agua fría, de hielo o de materiales de cambio de fase PCM). Generar energía fría en horas de poca actividad, guardarla con medios de almacenamiento de energía y luego liberarla en las horas pico, también reduce el costo de operación debido a la electricidad barata fuera de pico. Con almacenamiento de energía fría, el consumo de electricidad y el costo de operación del VCRS podría reducirse en ~12% y ~32%, respectivamente. Los materiales de cambio de fase (PCM) son el más prometedor entre los medios de almacenamiento de energía, debido a sus ventajas tales como gran densidad de almacenamiento de energía y temperaturas de funcionamiento estable, sin embargo, los PCM tienen una baja conductividad térmica, lo que conduce a un lento proceso de cambio de fase.

3. Tecnologías de descongelación y sin escarcha (tecnología de descongelación y tecnología libre de heladas). Tratamiento de superficies y anticongelantes. Con las tecnologías de descongelación y sin heladas, el consumo de electricidad para descongelar en el VCRS se podría ahorrar más del 60%.

4. Control independiente de temperatura y humedad (THIC) (Sistemas de aire acondicionado de secante sólido o líquido). Se encarga de la carga sensible y latente. La tecnología THIC deshumidifica el aire del proceso con líquido / sólido desecantes y luego se enfría por el VCRS, lo que hace que el VCRS funcione a una temperatura de evaporación mucho más alta y, por lo tanto, mejora significativamente el COP del VCRS en un ~ 35%.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. Tecnología de bomba de calor de fuente de tierra (GSHP) (intercambiador de calor de suelo horizontal, de suelo vertical y de cimentación). Se basa en el hecho de que el suelo tiene una temperatura más baja que el aire en verano y disminuye la temperatura de condensación del refrigerante y, por lo tanto, aumenta el COP del VCRS en aproximadamente un 14%.

6. Tecnología de subenfriamiento de refrigerante (succión de líquidos / intercambiador de calor interno, subenfriamiento mecánico). Subenfriar el refrigerante en la entrada al dispositivo de expansión, no solo puede aumentar la capacidad de refrigeración sino también reducir pérdidas por estrangulamiento en el dispositivo de expansión.

7. Tecnología de recuperación de calor de condensación (Agua caliente sanitaria, regeneración de desecante líquido). El sistema genera mucho calor de condensación, descargado directamente en el medio ambiente, no solo desperdicia energía sino también daña el medio ambiente. Por lo tanto, se recomienda recuperarlo para usos potenciales como agua caliente lo que podría mejorar el COP del sistema por ~38.6%.

Estas alternativas dan una idea general de las tecnologías avanzadas que podrían aplicarse en el VCRS para lograr un uso eficiente de la energía y enfriamiento económico. (She, y otros, 2018)

De las alternativas encontradas, se analiza que todas apuntan a obtener mayor eficiencia energética, pero ninguna brinda opciones de ajustar las desviaciones encontradas en el proceso que es el rango amplio de la presión de succión.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Se identificaron las posibles causas que ocasionan los picos de presión y se listaron en la Tabla 20 del formato que se propuso en la metodología y se analizó si la causa se encuentra controlada o no.

Tabla 20. Causas de desviación termodinámica en el Sistema de frío (Fuente propia)

DESVIACION: Rango de presión entre 0 y 12 psi			
CAUSAS		CONTROLADA	
		SI	NO
1	Tiempo de descongelación mayor al requerido	X	
2	Válvula reguladora de la salida de gas caliente en mal estado o des calibrada	X	
3	Se están apagando los compresores de baja	X	
4	Temperatura del material muy alto en el momento del cargue	X	
5	Entra gas caliente a la línea de succión	X	
6	Modulación de la capacidad de los compresores muy lenta	X	
7	Modulación de las válvulas motorizadas des calibrado		X

1. Se revisó el tiempo de descongelación en cada uno de los evaporadores y en el caso de los congeladores de placas se debe realizar al finalizar cada ciclo de congelación para continuar con el descargue del material y se validó y con el tiempo de 3 minutos es suficiente para efectuarse correctamente. La descongelación en el túnel se hace también al finalizar el ciclo de congelación es decir cada 12 horas y lo hace por 20 minutos, tiempo que se toma para retirar la escarcha del serpentín y en los evaporadores de la cava de almacenamiento se realiza la descongelación cada 6 horas por 15 minutos. Esto indica que el tiempo y la frecuencia de descongelación en los equipos, están bien parametrizados, por lo tanto, se tiene controlada esta causa.
2. Se revisaron las válvulas reguladoras de la salida de gas caliente de los 10 evaporadores y se encontraron en buen estado, realizando la función correctamente, contener la presión hasta el valor de 75 psi el cual es la presión tarada, que para el amoniaco tiene una temperatura de 5°C, suficientes y necesarios para la descongelación, lo que indica que esta causa se tiene controlada.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. La posible causa que expone que los compresores se están apagando, está controlada, ya que los compresores si se apagan ocasionalmente por nivel alto en los tanques recirculadores o por alguna alarma, pero no es recurrente y menos que ocurra tantas veces en una hora como mostraba la gráfica del comportamiento de la presión que se obtuvo de uno de los compresores Vilter, Figura 27.
4. La temperatura del material ingresa refrigerado a los congeladores de placas con una temperatura entre 0 y 4°C, por tal motivo se cuenta como si esta causa está controlada.
5. Se revisó en las tuberías donde existiera la posibilidad en que el gas caliente se estuviera desviando hacia la tubería de succión y se encontraron las válvulas cerradas, por lo que se concluye que esta causa se encuentra controlada.
6. La modulación de la válvula de capacidad del compresor la hace es cuando la presión de succión se encuentra por debajo de la presión de control, quiere decir que en este caso permanece constante en 100% y esta causa es controlada.
7. Las válvulas motorizadas, tienen parametrizado el valor del porcentaje al cual deben abrir, sin embargo no se tiene parametrizado la velocidad con la cual deben abrir y cerrar, por esta razón se considera que esta causa no se tiene controlada.

Se consultó en la guía de instalación del actuador ICAD de Danfoss y se encontró en la lista de parámetros, que el 04 es el de velocidad de apertura y cierre y que para válvulas ICM menores a 32 viene con ajuste de fábrica de 100 como se observa en la Figura 29.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Descripción	Parámetro del actuador ICAD	Min.	Máx.	Ajuste de fábrica	Guardado	Unidad	Contra-seña	Observaciones
Grado de apertura (OD)	-	0	100			%	-	El grado de apertura de la válvula ICM/ICMTS se muestra durante el funcionamiento normal. Valor en pantalla (consulte los parámetros ¡01 a ¡05).
Interruptor principal	¡01	1	2	1	✓	-	No	Interruptor principal interno 1: Funcionamiento normal. 2: Funcionamiento manual. El grado de apertura de la válvula parpadeará. Es posible introducir el grado de apertura (OD) manualmente empleando los botones de dirección hacia abajo y hacia arriba.
Modo	¡02	1	2	1	✓	-	No	Modo de control 1: Modulante: la posición de la válvula ICM se determina en función de la entrada analógica (consulte el parámetro ¡03). 2: ON/OFF: la válvula ICM funciona como una válvula solenoide ON/OFF controlada mediante la entrada digital. Consulte también el parámetro ¡09. 3: Zona neutra/control de 3 puntos. Aumento/reducción del grado de apertura mediante la entrada digital. Consulte la fig. 9.
Señal AI	¡03	1	4	2	✓	-	No	Tipo de señal AI transmitida por el controlador externo 1: 0-20 mA. 2: 4-20 mA. 3: 0-10 V. 4: 2-10 V.
Velocidad En modo modulante: velocidad de apertura/cierre En modo ON/OFF: velocidad de apertura	¡04	1	100	50/100	✓	-	No	La velocidad se puede reducir. La velocidad máx. es del 100 %; este parámetro no está activo en el modo manual (¡01 = 2). Si ¡26 = 1-3, ajuste de fábrica = 100. Si ¡26 = 4-9, ajuste de fábrica = 50. Si la válvula ICM se está abriendo y (¡04 <= 33) o la válvula ICM se está cerrando y (¡14 <= 33): => se mostrará "Low". Si la válvula ICM se está abriendo y (33 < ¡04 <= 66) o la válvula ICM se está cerrando y (33 < ¡14 <= 66): => se mostrará "Med". Si la válvula ICM se está abriendo y (¡04 >= 67) o la válvula ICM se está cerrando y (¡14 >= 67): => se mostrará "High".
Calibración automática	¡05	0	2	0		-	No	Inactivo hasta usar el parámetro ¡26. Siempre se restablece automáticamente a 0. Si se mantiene pulsado el botón de entrada durante dos segundos, parpadeará el mensaje "CA" en la pantalla durante la calibración. 0: Sin calibración. 1: Calibración normal forzada (el mensaje "CA" parpadeará lentamente). 2: Calibración ampliada (el mensaje "CA" parpadeará rápidamente).

Figura 29. Parámetros del actuador ICAD de Danfoss (Danfoss, 2015)

Se procedió a modificar el valor de ajuste y se realizó cambio a 10 de velocidad.

Se realizó prueba de desempeño con seguimiento constante al comportamiento de las variables del sistema de refrigeración y con el pasar de los minutos se evidenciaba como la presión de succión en los compresores permanecía más estable con un rango menos amplio y valores entre 0 y 4 psi como se observa en la Figura 30.

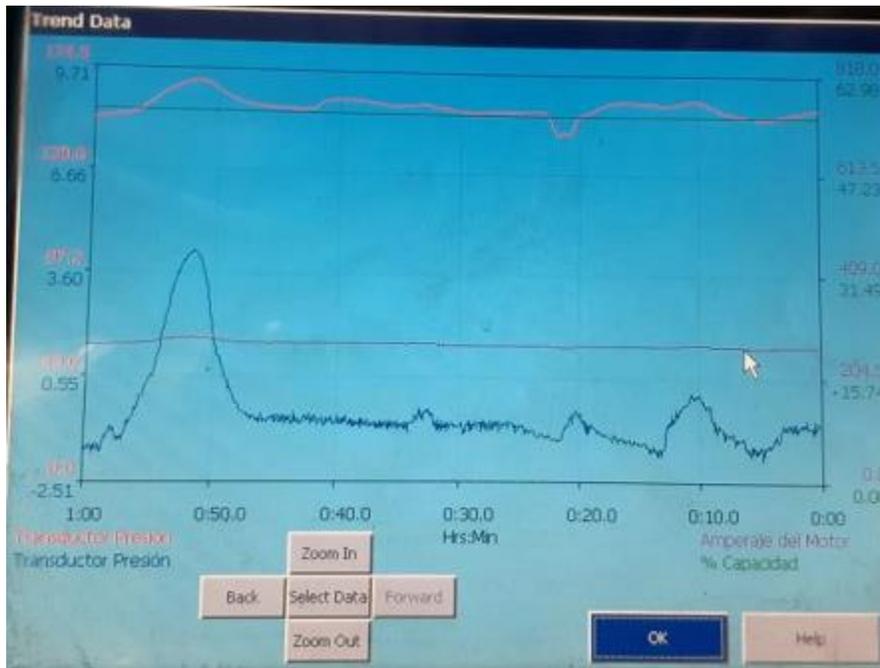


Figura 30. Presión de succión entre 0 y 4 psi (Fuente propia)

Se analizó que, cuando inicia el ciclo de congelación, la primera válvula que abre es la motorizada de la línea de succión y el gas caliente que se encontraba contenido en el interior del congelador sale del equipo y se dirige hacia el tanque recirculador, este volumen de gas y por la válvula motorizada abrir tan rápidamente hace que se suba la presión en el tanque recirculador y por ende se sube la presión en los compresores.

Al reducir la velocidad de apertura de la válvula motorizada de la línea de succión, el gas caliente se libera paulatinamente y la presión de succión no se ve afectada y se consigue obtener una presión más estable en el tiempo con temperaturas de evaporación entre -33.3 y -28.4 °C correspondientes a presiones entre 0 y 4 psi.

Con el nuevo comportamiento de la presión de succión se volvió a revisar las variables del proceso de congelación, se pueden observar en la Tabla 21

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 21. Variables del proceso de congelación con Nuevo rango de presión (Fuente propia)

Equipos	1, 2, 3 y 4	5	6 y 7	Túnel	Total
Horas día	23	23	23	23	
Horas por ciclo	3,98	4,75	4,2	9,58	
Numero de ciclos ideal al día	5,77	4,84	5,47	2,4	
Eficiencia	88,19%	98,04%	83,69%	93,62%	
Ciclos reales al día	5,09	4,75	4,58	2,25	
Kg estándar por ciclo	848,3	1664,9	1689,4	5510,5	
Capacidad oferta al día	4319,7	7903,6	7742,6	12381,4	
Capacidad instalada al día	4898,1	8061,6	9251,5	13225,2	
Déficit al día	578,5	158,0	1508,9	843,8	
Capacidad instalada día total kilos	19593	8062	18503	13225	59382
Capacidad demandada día total kilos	17279	7904	15485	12381,4	53049

Se puede observar con los nuevos datos registrados que las **horas por ciclo** se redujo en los congeladores de placas 1, 2, 3 y 4 en un 20%, pasando de hacer un ciclo en 4,92 horas a tener un tiempo de 3,98 horas; en el congelador 5 se redujo el tiempo en 13%, debido a que la duración del ciclo era de 5,42 y ahora es de 4,75 horas; en los congeladores 6 y 7 se redujo en 19%, el tiempo anterior era de 5,17 horas y el tiempo actual es 4,2 horas y el ciclo del túnel se redujo en 24% ya que el tiempo se redujo de 12,58 horas a 9,58 horas.

Con esta disminución de los tiempos por ciclo, aumenta el **número de ciclos ideal al día**, en los congeladores de placas 1, 2, 3 y 4 se realizan 1,09 ciclos más al día por pasar de 4,68 a 5,77; el congelador 5 realiza 0,59 ciclos de mas ya que realizaba 4,25 y ahora 4,84; los congeladores 6 y 7 realizan 1,02 ciclos más al día, por pasar de 4,45 a 5,47 y el túnel realiza 0,57 ciclos más al día por pasar de 1,83 a 2,4 ciclos al día.

Los **ciclos reales** aumentaron el día en que se llevó a cabo la prueba de desempeño y se realizaron 5,09 ciclos en los congeladores 1, 2, 3 y 4; en el congelador 5 se realizaron 4,75 ciclos; en los congeladores 6 y 7 fueron 4,58 ciclos y en el túnel se realizó 2,25 ciclos; con estos ciclos reales al día se aumentó en los mismos porcentajes en que se redujo los tiempos de horas por ciclo en los equipos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Teniendo en cuenta que los kilogramos estándar por ciclo no varían, es decir la capacidad másica permanece igual; con la disminución en los tiempos de los ciclos, el aumento del número de ciclos al día, la **capacidad ofertada** y la **capacidad instalada** al día aumentaron en los mismos porcentajes.

La capacidad instalada día total kilos aumento en 19,06% debido a que la sumatoria inicial era de 48061 kilos y la sumatoria después de la mejora es de 59382 kilos.

La capacidad demandada día total kilos aumento en 19,03%, ya que la sumatoria de la demanda día inicial fue de 42952 kilos y la sumatoria después de la mejora es de 53049 kilos.

Fue necesario realizar la tabla 22 con los costos de las válvulas y la instrumentación que se requieren para replicar esta aplicación en otros procesos de la industria, las cantidades descritas son las necesarias para un congelador. Los valores se obtuvieron del catálogo de refrigeración 2019 de Pecomark (Pecomark, 2019).

Tabla 22. Costo de los componentes de instrumentación y válvulas (Fuente propia)

COMPONENTE	CANTIDAD	VALOR UNITARIO \$ (COP)	VALOR TOTAL \$ (COP)
Válvula ICF20 Danfoss	1	8.650.000	8.650.000
Válvula ICF25 Danfoss	1	11.240.000	11.240.000
Válvula ICM65-A Danfoss	1	10.200.000	10.200.000
Actuador ICAD 600	2	6.000.000	12.000.000
Actuador ICAD 900	1	7.000.000	7.000.000
Válvula A4AK Parker	1	3.450.000	3.450.000
Manovacuómetro Parker 30 in.Hg – 300 psi	4	150.000	600.000
Transmisor de presión Emerson Rosemount 3051	2	600.000	1.200.000
TOTAL			46.340.000

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Para realizar la inversión en los 7 congeladores de placas y el túnel, se requiere:
COP\$ 370.720.000
- A cada kilogramo de carne congelada se obtiene un promedio de ganancia de
COP\$ 6.245
- Debido a que la diferencia total en kilos congelados después de la mejora es de
10.097 ya que se obtuvo 53.049 kilos y antes se congelaba una sumatoria de
42.952 kilos. Si se multiplica la diferencia en kilos por el valor promedio que se
obtiene de ganancia arroja un resultado de COP\$ 63.055.765.
- Congelar cada kilogramo de carne le cuesta a la empresa COP\$ 230
- Congelar los 53.049 kilogramos de carne le cuesta a la empresa COP\$ 12.201.270
cada día aproximadamente.
- Congelar los 10.097 kilos de más, cuesta COP\$ 3.231.040, este valor se resta a los
COP\$ 63.055.765 y se obtiene COP\$ 59.824.725
- Quiere decir que el retorno de la inversión de COP\$ 370.720.000 dividido en COP\$
59.824.725 se obtendría en 6,2 días.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Conclusiones

- El desarrollo del presente estudio de mejora energética en congeladores de placas verticales de una empresa de alimentos, arroja el aumento en 20% del número de kilos congelados, al disminuir el tiempo de la duración de los ciclos se obtiene mayor número de ciclos al día, esto se consigue controlando que la presión de succión en los compresores de congelación, opere con un rango entre 0 y 4 psi lo que equivale a una temperatura de evaporación entre -33.3 y -28.4 °C para el amoniaco.
- Realizar el diagnóstico del estado actual de los congeladores de placas, permite identificar las características de los equipos como las toneladas de refrigeración de cada uno y saber que entre los siete congeladores suman 77 TR o la capacidad másica para congelar material cárnico de res y de cerdo y entre los siete equipos hacen 8.930 kilos por ciclo, describir el comportamiento termodinámico del sistema de refrigeración y conocer las variables con que se mide el proceso de congelación; de igual manera, permite identificar el sistema de refrigeración de la empresa el cual es recirculado de una sola etapa y sus componentes, describir las válvulas de los congeladores y conocer el proceso de control y activación de las mismas.
- Antes de consultar estrategias de optimización energética en los congeladores de placas, se identifican las desviaciones termodinámicas del proceso de congelación y sus posibles causas, para de esta manera poder seleccionar la mejor alternativa; se evidencia que el rango de presión en el cual operan los compresores del sistema de congelación oscila entre 0 y 12 psi, lo que afecta la temperatura de evaporación del amoniaco.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Modificar la velocidad de apertura de las válvulas motorizadas, para controlar el rango de presión de succión y evitar que supere los 4 psi en los compresores de congelación es la alternativa a la cual se le realiza la prueba de desempeño, la evaluación de esta permite comprender que cuando inicia el ciclo de congelación se abre la válvula motorizada de la línea de succión y el gas caliente que estaba contenido dentro del congelador de placas se dirige rápidamente hacia el tanque recirculador lo que provoca que la presión de succión tenga los picos altos; regular la velocidad con que esta válvula abre, hace que en el momento de iniciar el ciclo de congelación se libere lentamente el gas y el compresor no sienta esa carga, por lo tanto la presión de succión permanece más estable en el tiempo, obteniendo una temperatura de evaporación más baja constantemente lo que reduce el tiempo de los ciclos y aumenta la cantidad de ciclos al día.
- Para replicar la solución de la mejora que se desarrolla en este trabajo, se requiere invertir cerca de COP\$ 370.720.000 en válvulas e instrumentación para siete congeladores de placas verticales, necesarias para controlar la presión de succión y obtener la rutina de control de válvulas; el retorno de la inversión se obtendría en 6,2 días.

Recomendación

- Para mejorar el presente trabajo de grado, se podría usar tabla comparativa entre las alternativas existentes que brindan la posibilidad de mejorar la eficiencia energética y ponderar el resultado.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Trabajos futuros

- Como trabajo futuro, queda desarrollar estudio del ahorro energético, que se obtiene por estabilizar la presión de succión en el sistema de refrigeración lado de baja temperatura.
- Desarrollar estudios que muestren el control de los rangos de presión en el sistema de refrigeración, ya que los estudios que se encuentran en la actualidad se enfocan básicamente es en la eficiencia energética de la red de frío.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

- Amer, M., & Wang, C.-C. (2017). Revisión de métodos de descongelación. *ELSEVIER*.
- Backi, C., Bendtsen, J., Leth, J., & Tommy, J. (2014). Estimación de las temperaturas del dominio interno para un proceso de congelación. *Conferencia sobre aplicaciones de control*, 1.
- Danfoss. (2014). *Aplicaciones de refrigeración industrial con amoníaco y CO2*.
- Danfoss. (Enero de 2015). *Guía de instalación Actuador ICAD*. Obtenido de http://files.danfoss.com/TechnicalInfo/Dila/01/DKRCI.PI.HV0.K3.ML_ICAD.pdf
- Danfoss. (2016). *Folleto técnico Estación de válvulas*.
- Danfoss. (01 de 06 de 2019). *Regla de refrigerantes*. Obtenido de com.danfoss.koolapp
- EDUCANDO. (2019). Obtenido de <http://www.educando.edu.do/portal/cambios-la-materia/>
- EMERSON. (2019). *EMERSON*. Obtenido de <https://www.emerson.com/en-us/catalog/automation-solutions/measurement-instrumentation/pressure/rosemount-sku-3051-in-line-pressure-transmitter?fetchFacets=true#facet:&facetLimit:&productBeginIndex:0&orderBy:&pageView:list&minPrice:&maxPrice:&pageSize:&>
- Franco Lijo, J. M. (2006). *Manual de refrigeración*. Barcelona: Reverte ediciones.
- García Almiñana, D. (2007). *Instalaciones de refrigeración y aire acondicionado*. Barcelona: Editorial UOC.
- Gonzales Sierra, C. (2012). *Refrigeración Industrial, Montaje y mantenimiento de instalaciones frigoríficas*. México D.F: Cano Pina, Ediciones Ceysa.
- Havrella, R. A. (1983). *Fundamentos de calefacción, ventilación*. Ciudad De México: McGraw-hill Interamericana.
- Jara Morales, C. (30 de Junio de 2015). *Prezi*. Obtenido de https://prezi.com/-ihu-igg19t_/congelador-de-placas/
- Leygonie, C., Britz, T. J., & Hoffman, L. C. (2012). Impacto de la congelación y descongelación de la carne. *ELSEVIER*.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Luszczewski, A. (1999). *Redes industriales de tuberías: bombas para agua, ventiladores y compresores*. Barcelona: Reverte ediciones.
- MAREFSUP. (s.f.). Obtenido de https://www.marefsup.nl/es/Congeladores_de_Placas/82
- Orrego Alzate, C. E. (1996). *Congelador de placas: diseño y modelo*. Manizales.
- Otero, L., Guignon, B., & Sanz, P. (2013). Ultimos avances en tecnologías de congelación de alimentos. *Procesos Innovadores y Calidad en Alimentos*.
- Otero, L., Guignon, B., & Sanz, P. (2013). Ultimos avances en tecnologías de congelación de alimentos. *Procesos Innovadores y Calidad en Alimentos*.
- Parker. (2002). *Válvulas de control de refrigeración industrial*. USA.
- Pearson, A. (2008). Refrigeracion con Amoniaco. *ELSEVIER*, 1.
- Pecomark. (Septiembre de 2019). *Refrigeracion 2019*. Obtenido de https://www.pecomark.com/cataleg/2019_ES/637/#zoom=z
- Rivas, N. (19 de Noviembre de 2004). *Historia Que Evolucion*. Obtenido de <https://search-proquest-com.itm.elogim.com:2443/docview/373832577/abstract/939DF72C81DA4A41PQ/6?accoun tid=30687>
- Romero Gomez, S. (2012). *Mantenimiento preventivo de instalaciones frigorificas*. Malaga: IC Editorial.
- Sanz del Castillo, F., & Sanz del Castillo, D. (2014). *Control de refrigeracion*. Madrid: UNED.
- Senthilkumar, K. (2019). Ultra baja carga de amoniaco en un sistema de refrigeracion industrial. *ELSEVER*, 2.
- She, X., Cong, L., Nie, B., Leng, G., Peng, H., Chen, Y., . . . Luo, Y. (2018). Tecnologías energéticamente eficientes y economicas para aire acondicionado con refrigeracion por compresion de vapor: una revision exhaustiva. *ELSEVIER*.
- Villatoro, F. (26 de Abril de 2016). *LA CIENCIA DE LA MULA FRANCIS*. Obtenido de <https://francis.naukas.com/2016/04/26/35881/>
- Wu, X.-F., Zhang, M., Adhikari, B., & Sun, J. (2017). Desarrollos recientes en nuevas tecnologias de congelacion y descongelacion aplicadas a los alimentos. *Taylor y Francis*, 2.
- Zhu, Z., Zhou, Q., & Sun, D.-W. (2019). Medición y control de la cristalización del hielo en alimentos congelados: una revision de desarrollos recientes. *ELSEVIER*.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES _____

Juan Carlos *Quiana G. BS.*

FIRMA ASESOR

Primera entrega informe final
Adrián F. N. E.
30/oct/2019

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO___ ACEPTADO___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES___

ACTA NO. _____

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____