

# FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Industrial

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO EN EL ÁREA DE  
ACOPIO DEL CENTRO SAN LORENZO - GLORIA SA PARA  
OPTIMIZAR EL TIEMPO EN EL PROCESO DE ENFRIAMIENTO DE  
LECHE”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Autores:

Wilmer Manuel Hernandez Nuñez

Jose Augusto Roman Flores

Asesor:

Mg. Katherine del Pilar Arana Arana

Cajamarca - Perú

2020

Copyright © 2020

Por Wilmer Manuel Hernández Nuñez & Jose Augusto Roman Flores

Todos los derechos reservados

## **DEDICATORIA**

Esta investigación está dedicada a nuestros familiares quienes con mucho entusiasmo contribuyen siempre al desarrollo personal y profesional de cada uno de nosotros.

## **AGRADECIMIENTO**

Nuestro agradecimiento muy especial a cada uno de los profesores de la UPN en especial nuestra asesora tesis quien de forma incondicional apoyo en el desarrollo de la presente investigación.

## INDICE

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>1</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>2</b>
<b>INDICE.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES.....</b>	<b>7</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>10</b>
1.1. Realidad problemática.....	10
1.2. Formulación del problema.....	19
1.3. Objetivos.....	19
1.4. Hipótesis general.....	20
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>22</b>
2.1. Tipo de investigación.....	22
2.2. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	22
2.3. Procedimiento.....	23
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS.....</b>	<b>25</b>
3.1. Centro de Acopio San Lorenzo - Gloria SA.....	25

3.2.	Análisis del sistema de enfriamiento de leche actual en el centro de acopio San Lorenzo – Gloria SA .....	27
3.3.	Diseño del sistema refrigeración por compresión.....	29
3.4.	Diseño en planta del sistema de refrigeración.....	33
3.5.	Modelación de principios físicos .....	35
3.6.	Simulación del sistema de refrigeración.....	43
3.7.	Costos, Materiales y equipos.....	61
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>		<b>68</b>
4.1.	Discusión .....	68
4.2.	Conclusiones .....	69
<b>REFERENCIAS .....</b>		<b>70</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>73</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Matriz de Operacionalización de variables .....	21
Tabla 2 Software para el desarrollo de la investigación .....	23
Tabla 3 Lt de leche por segundo con sistema de enfriamiento hibrido .....	29
Tabla 4 Medidas del serpentín .....	48
Tabla 5 Características técnicas del compresor .....	62
Tabla 6 Características técnicas del separador de aceite .....	63
Tabla 7 Características técnicas del condensador .....	63
Tabla 8 Características técnicas del filtro deshidratador .....	64
Tabla 9 Características técnicas del evaporador .....	65
Tabla 10 Inversión inicial del sistema de refrigeración .....	66
Tabla 11 Costo operativo de enfriamiento de leche .....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tanque de enfriamiento hibrido.....	28
Figura 2. DAP del centro de enfriamiento San Lorenzo con enfriamiento hibrido .....	28
Figura 3. Ciclo del sistema de refrigeración .....	31
Figura 4. Diseño 3D de instalaciones en planta.....	34
Figura 5. Características del modelo.....	36
Figura 6. Sistema de compresión del vapor .....	37
Figura 7. Zonas de transferencia de frio en el condensador .....	40
Figura 8. Zonas de transferencias de calor en el evaporador .....	42
Figura 9. Resultados del EES de la simulación .....	45
Figura 10. Ciclo termodinámico del R22 planteado .....	47
Figura 11. Ciclo termodinámico del R22 en software Coolselector .....	50
Figura 12. Tubería ciclo termodinámico del R22 en software Coolselector.....	51
Figura 13. Válvula de control del ciclo termodinámico del R22 .....	52
Figura 14. Válvula solenoide para el ciclo termodinámico del R22 .....	53
Figura 15. Filtros para el ciclo termodinámico del R22 .....	54
Figura 16. Filtro deshidratador para el ciclo termodinámico del R22 .....	55
Figura 17. Válvula de expansión para el ciclo termodinámico del R22 .....	56
Figura 18. Intercambiadores de calor para el ciclo termodinámico del R22 .....	57
Figura 19. Eyector para el ciclo termodinámico del R22 en software Coolselector .....	58
Figura 20. Termostato para el ciclo termodinámico del R22 en software Coolselector .....	59
Figura 21. Presostato para el ciclo termodinámico del R22 en software Coolselector .....	60



## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 calor retirado en el evaporador a la leche .....	37
Ecuación 2 trabajo de compresión .....	38
Ecuación 3 potencia del compresor .....	38
Ecuación 4 balance de energía entre ambos flujos (refrigerante y leche) .....	40
Ecuación 5 zona de desrecalentamiento .....	41
Ecuación 6 proceso de condensación.....	41
Ecuación 7 efecto refrigerante .....	43
Ecuación 8 flujo de refrigerante que circula en el evaporador para una carga térmica .....	43
Ecuación 9 Ley de enfriamiento de Newton .....	47

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación es realizar el diseño de un sistema de enfriamiento de leche en el área de acopio del centro San Lorenzo - Gloria SA para optimizar el tiempo en el proceso de enfriamiento de leche. Los resultados de esta investigación arrojan que este sistema de enfriamiento de leche deberá ser un sistema por compresión con uso de gas refrigerante y debe utilizar el refrigerante como el R22, para ello se utilizó el método científico de la modelación caracterizando una investigación de tipo Cuasi experimental aplicada.

Al diseñar el sistema de enfriamiento del circuito termodinámico por compresión de gas R22 mediante el software EES, los  $-93006.2\text{W/s}$  de absorción de calor cuando la leche entra a  $25^{\circ}\text{C}$  al evaporador en flujo másico de  $1000\text{g/s}$  su temperatura varía en  $-23.368^{\circ}\text{C/s}$ ; es decir si la leche entra a  $1000\text{g/s}$  al evaporador un segundo después esta tendrá una temperatura de  $1.632^{\circ}\text{C}$ .

Al analizar la consistencia del modelo termodinámico con el software Coolselector este nos indica que un modelo con un poder de enfriamiento de  $-93006.2\text{W/s}$  funcionaría al 100% es decir las líneas son consistentes para la relación presión y temperatura. Además, este software nos indica también que los componentes para el modelo termodinámico son comerciales y tecnológicamente adaptables.

**Palabras clave:** Ciclo, estrangulamiento, entalpia, entrada de potencial, ley de enfriamiento de Newton, potencia.

## ABSTRACT

The objective of the present investigation is to carry out the design of a milk cooling system in the collection area of the San Lorenzo - Gloria SA center to accelerate the time in the milk cooling process. The results of this research show that this milk modification system must be a compression system with the use of refrigerant gas and the R22 refrigerant must be used, for this the scientific method of modeling should be used, characterizing an investigation of a quasi-experimental application. .

When designing the compression system of the R22 gas compression thermodynamic circuit using the EES software, the  $-93006.2 \text{ W / s}$  of heat absorption when the milk enters  $25 \text{ }^\circ \text{C}$  to the evaporator in  $1000 \text{ g / s}$  mass flow its temperature varies in  $-23,368 \text{ }^\circ \text{C / s}$ ; that is to say, if the milk enters the evaporator at  $1000 \text{ g / s}$  in a second, it will have a temperature of  $1,632 \text{ }^\circ \text{C}$ .

When analyzing the consistency of the thermodynamic model with the Coolselector software, this indicates a model with an analysis power of  $-93006.2 \text{ W/s}$  that will work at 100%, that is, the lines are consistent for the pressure and temperature ratio. In addition, this software also indicates the components for the thermodynamic model are commercial and technologically adaptable.

**Keywords:** cycle, strangulation, enthalpy, potential input, Newton's cooling law, power.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

A continuación, se presentarán varios trabajos de investigación que preceden y sirven como referencia al presente estudio de investigación.

En principio podemos mencionar a (Guggenbühl & Heine, 2014) en su estudio de la Bern University of Applied Sciences mencionan que “es esencial contar con métodos de control confiables para la seguridad Alimenticia Global de los productos derivados de la leche, el control de toda la cadena productiva es esencial para obtener al final productos de elevados estándares” (p.29).

En línea con lo anterior también podemos mencionar a (Begazo Chara, 2014) quien en su investigación para obtener el grado de Ingeniero de Industrias Alimentarias menciona que “es importante para la industria láctea la conservación y enfriamiento de la leche, ya que teniendo una materia prima de baja calidad se tiene que usar tecnología costosa para tratar de revertir y producir productos que cumplan estándares de calidad” (p.1).

Según (Vega Iriarte, 2010) en su estudio “Diseño y construcción de equipo de refrigeración de leche cruda en sitio de producción” realizado en la Universidad Nacional de Colombia menciona que “el método de enfriamiento de leche a pequeña escala o a escala industrial que más se usa es el enfriamiento de leche por movimiento, a escala industrial se usan métodos más sofisticados y costos como el cámaras de refrigeración con intercambio de placas que usan gases de bajas temperaturas” (p.22).

Los beneficios de la utilización del equipo de refrigeración de leche cruda por movimiento son considerables ya que es una tecnología sencilla de instalar desde el inicio de la cadena de frío desde la misma producción láctea en las fincas ganaderas, sin embargo, a escala industrial se necesita un método más sofisticado y rápido.

Para (González Ruiz , 2012) en su estudio de impacto ambiental para el centro de regeneración de refrigerantes menciona que “las grandes empresas usan gases de efecto refrigerante como el amoníaco o el neón si bien a primera vista son más eficientes para la refrigeración industrial son más perjudiciales ambientalmente” (p.22).

En los antecedentes podemos ver que es muy importante el proceso de enfriamiento de leche para la producción de derivados, para ello se usa métodos de refrigeración con tecnología básica y otros más sofisticados, este caso los sistemas de enfriamiento por gases que hacen una gran diferencia en el tiempo de enfriamiento. En el presente trabajo de investigación se analizará algunos factores inherentes al funcionamiento de un proceso de enfriamiento por compresión de gases.

Luego de describir algunos antecedentes de la presente investigación se procede a describir algunas definiciones inherentes del funcionamiento de ciclos termodinámicos. El término “sistemas de refrigeración industrial” se aplica a los sistemas que eliminan el exceso de calor de cualquier medio a través de un intercambio térmico con agua o aire, a fin de reducir la temperatura de dicho medio a niveles próximos al ambiente (Hernández Gorívar, 2009, p. 329).

Los sistemas de refrigeración se basan en principios termodinámicos y están diseñados para promover el intercambio de calor entre un medio y el refrigerante

para facilitar la liberación del calor irrecuperable al medio ambiente. El modelado de los sistemas de compresión de vapor se puede clasificar según:

a) Los fundamentos del modelo, encontrando así, los modelos físicos (basados en fundamentos físicos característicos de cada componente, balances de masa y energía, propiedades termo físicas y modelos empíricos (basados en correlaciones ajustadas por medio del análisis de datos experimentales).

b) La dependencia temporal, encontrándose los modelos dinámicos (modelos que evolucionan con el tiempo) y modelos estacionarios (representando al sistema en un instante determinado).

c) El tratamiento espacial, como son los modelos discretos (tienen en cuenta variaciones detalladas acerca del fenómeno en estudio, centrándose en análisis de pequeños volúmenes de control) y modelos globales (se ignoran las variaciones espaciales y las distintas propiedades en puntos específicos se consideran homogéneas). De tal manera, siendo conscientes de que los modelos pueden plantearse de forma discreta o global, a continuación, se presenta una clasificación y bibliografía revisada en función de los fundamentos básicos y del tratamiento temporal.

Los modelos físicos son aquellos que aplican los principios físicos involucrando balances de masa, energía y cantidad de movimiento. Se definen mediante leyes físicas para la caracterización del sistema bajo estudio, al mismo tiempo involucran características geométricas de los componentes, propiedades de los fluidos y materiales, e inclusive datos o correlaciones proporcionadas por el fabricante o datos empíricos (De la Rosa González, 2015,p.22).

En la estructura de estos modelos es también posible identificar y ajustar parámetros mediante el conocimiento de datos experimentales. Este tipo de modelos físicos son subdivididos por algunos autores en categorías de acuerdo al grado de complejidad y en la cantidad de información empírica requerida. En cuanto a los modelos físicos podemos subdividirlos en función de la consideración espacial y temporal. Así, podemos encontrar modelos estacionarios y dinámicos, globales y discretos (Sánchez, 2012,p.19).

- Modelos estacionarios: Dentro de los modelos físicos encontramos los modelos estacionarios, éstos no consideran la dependencia respecto al tiempo de las variables usadas en los balances de masa, energía y cantidad de movimiento, etc. Este tipo de modelos son generalmente usados en el diseño de sistemas globales o de componentes y para la simulación de puntos de operación. Los modelos estacionarios son útiles en muchos casos, pero bajo condiciones transitorias pueden dar una inexactitud inaceptable. En publicaciones científicas es posible encontrar varios trabajos del modelado físico estacionario de componentes o sistemas globales. Para ello normalmente se usan software como el EES (Engineering Equation Solver), los sistemas computacionales demuestran la gran eficiencia computacional que tienen los algoritmos.

Normalmente el uso de los sistemas de enfriamiento industrial con el uso de gases refrigerantes no estaba siendo aplicable al proceso de enfriamiento de leche, sin embargo, nuevas investigaciones hacen que el uso de sistemas como el mencionado

pueda aplicarse al enfriamiento de leche cruda sin que necesariamente se incrementen los costos.

Actualmente el sistema predominante en el Perú para enfriar leche es el de enfriamiento mecánico o tanques refrigerantes. Las instalaciones de refrigeración tienen un costo elevado para los pequeños productores, por lo general lo usan solo las grandes empresas lecheras y de derivados lácteos.

El enfriamiento de la leche puede hacerse adoptando alguna de las siguientes posibilidades utilizando elemento refrigerante el agua natural ; emplear agua enfriada previamente a temperaturas próximas a los 0° C, también, finalmente, aprovechar directamente el frío que producen ciertas sustancias químicas al pasar del estado líquido al gaseoso en instalaciones construidas con tal fin. Dentro de cada uno de estos procedimientos existen diversas técnicas o métodos (Cañizales & Ruiz, 2015, p.19).

Es relevante mencionar el proceso de enfriamiento por compresión de gases es rápido pues de ello trata la presente investigación, se simulará un sistema de enfriamiento con gas y se usará una modelación física estacionaria de compresión de gases. Entonces para el caso de este estudio de investigación es relevante mencionar que una clasificación de los sistemas de enfriamiento es la de quien menciona a la refrigeración por compresión.

El enfriamiento por compresión, desplaza la energía térmica entre dos focos; creando zonas de alta y baja presión confinadas en intercambiadores de calor, mientras estos procesos de intercambio de energía se suceden cuando el fluido refrigerante se



encuentra en procesos de cambio de estado; de líquido a vapor, y viceversa (Barillas Méndez, 2014, p. 20).

El proceso de refrigeración por compresión se logra evaporando un gas refrigerante en estado líquido a través de un dispositivo de expansión dentro de un intercambiador de calor, denominado evaporador. Para evaporarse este requiere absorber calor latente de vaporización. Al evaporarse el líquido refrigerante cambia su estado a vapor. Durante el cambio de estado el refrigerante en estado de vapor absorbe energía térmica del medio en contacto con el evaporador, bien sea este medio gaseoso o líquido. A esta cantidad de calor contenido en el ambiente se le denomina carga térmica. Luego de este intercambio energético, un compresor mecánico se encarga de aumentar la presión del vapor para poder condensarlo dentro de otro intercambiador de calor conocido como condensador. En este intercambiador se liberan del sistema frigorífico tanto el calor latente como el sensible, ambos componentes de la carga térmica.

Ya que este aumento de presión además produce un aumento en su temperatura, para lograr el cambio de estado del fluido refrigerante y producir el subenfriamiento del mismo es necesario enfriarlo al interior del condensador; esto suele hacerse por medio de aire y/o agua conforme el tipo de condensador, definido muchas veces en función del refrigerante. De esta manera, el refrigerante ya en estado líquido, puede evaporarse nuevamente a través de la válvula de expansión y repetir el ciclo de refrigeración por compresión (Barillas Méndez, 2014, p. 30).

- Sistemas de compresión simple. Eleva la presión del sistema mediante una sola carrera de compresión. Es el más común de los sistemas de refrigeración ampliamente utilizada en refrigeradores y equipos de aire acondicionado. Es el sistema de refrigeración más ampliamente utilizado debido a su simplicidad y versatilidad. Su particularidad, no obstante, consiste en que, por lo general para lograr bajas temperaturas capaces de absorber grandes cargas térmicas, debe alcanzar elevadas relaciones de compresión. Se puede aplicar en refrigeradores domésticos, vitrinas frigoríficas comerciales, equipos de aire acondicionado de todo tipo, y sistemas que no absorban grandes cargas frigoríficas
- Sistemas de compresión múltiple Solución de compresión ideal para bajas temperaturas debido a las altas relaciones de compresión que estos sistemas superan.

La doble etapa permite, mediante un compresor de doble etapa, alcanzar elevadas relaciones de compresión y, por lo tanto, menores temperaturas con capacidad de absorber mayor carga térmica. Sistema propio en cámaras de congelado de alta eficiencia energética (Barillas Méndez, 2014, p. 35).

La compresión múltiple en cascada permite, mediante dos circuitos de refrigeración de una etapa "semi independientes" y con distintos refrigerantes, alcanzar temperaturas cercanas a los  $-80^{\circ}\text{C}$ . Propio en equipos de laboratorio para almacenamiento de muestras biológicas.

Sistema de compresión múltiple con enfriador intermedio de tipo abierto. Esta modalidad de compresión múltiple permite, mediante dos compresores y un estanque

presurizado conectado entre ambos, realizar una expansión y enfriamiento del refrigerante en circulación antes de ingresar a la etapa de alta presión. Propio de sistemas industriales.

Sistema de compresión múltiple con enfriador intermedio de tipo cerrado. A diferencia del sistema anterior, al cual también se le puede denominar “de inyección total”, aquí se produce una “inyección parcial” del refrigerante al interior del estanque a fin de producir un enfriamiento (Angulo De La Sota, 2016, pág. 45).

Es en realidad el sistema por compresión simple el que se va simular en la presente investigación ya que podría cumplir un pleno funcionamiento en la disminución de temperatura de leche de un intervalo de  $25^{\circ}\text{C}$  a  $2^{\circ}\text{C}$  a este sistema por compresión se le agregara un gas el R22 del cual se describe las características a continuación.

Para (Abello Linde SA, 2019) el R22 o clorodifluorometano es un gas incoloro, comúnmente utilizado para los equipos de refrigeración, en principio por su bajo punto de fusión ( $-157^{\circ}\text{C}$ ). Tiene un bajo potencial de agotamiento de la capa de ozono ( $\text{PDO} = 0,05$ ) y un potencial de calentamiento global no muy alto  $\text{PCG} = 1700$ , es decir que las características ecológicas del R22 son mejores que otros gases refrigerantes. Tiene un aspecto claro con un débil olor a cloroformo, no es explosivo ni combustiona en atmósfera de oxígeno. El R22 es poco soluble en aceite, pero fácilmente penetra a través de los poros y es inerte a los metales.

Bajo temperatura más alta que  $330^{\circ}\text{C}$ , el R22 se descompone en presencia de metales, la fracción de humedad en él no debe exceder 10 ppm. El coeficiente de transferencia de calor durante la ebullición y condensación es 25 - 30% más alto que el del que algunos gases como R12 y equiparables a otros como el R422D. Sin

embargo, el R22 tiene más alta presión de condensación y temperatura de descarga (en máquinas refrigerantes) (Abello Linde SA, 2019).

La concentración de tolerancia de este refrigerante en el aire es de 3000 mg/m<sup>3</sup> bajo exposición de una hora. Este refrigerante es ampliamente usado para obtener temperaturas bajas en dispositivos de refrigeración por compresión, en sistemas de aire acondicionado y en bombas de calentamiento. En dispositivos de refrigeración que operen con R22, es necesario usar aceites minerales o aquilbencenos (Abello Linde SA, 2019).

La importancia de la salubridad en la industria de productos lácteos ha llevado a esta a utilizar recursos y procesos sofisticados para asegurar la calidad en la cadena de producción, dando mucha importancia al cuidado de la materia prima. En la región Gloria es una empresa transnacional que precisamente pone en relevancia la calidad de sus productos y siempre ha buscado asegurar la cadena productiva de la leche.

Uno de los procesos de más cuidado de la industria láctea es el enfriamiento de la leche ya que se asegura de esta forma la calidad del producto final, como se mencionó anteriormente uno de los métodos de enfriamiento de leche más usados a nivel industrial es la refrigeración mediante gases refrigerantes. Actualmente el método predominante en Gloria para el enfriamiento de leche es el uso de sistemas híbridos con gases refrigerantes y enfriamiento mecánico, pero tiene desventajas en lo que a rapidez de enfriamiento se refiere. Según estudios ya mencionados los sistemas de refrigeración por gases son más rápidos en el enfriamiento de leche ya que se pueden adaptar de forma directa a la cadena de recepción de leche, es por eso que se realiza la presente investigación para analizar si en el proceso de enfriamiento

de leche de Gloria SA se puede mejorar el tiempo de enfriamiento con un sistema termodinámico que use gas refrigerante.

## **1.2. Formulación del problema**

El problema de la presente investigación es el siguiente: ¿En qué medida se puede diseñar un sistema de enfriamiento en el área de acopio del centro San Lorenzo - Gloria SA para optimizar el tiempo en el proceso de enfriamiento de leche?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Realizar el diseño de un sistema de enfriamiento en el área de acopio del centro San Lorenzo - Gloria SA para optimizar el tiempo en el proceso de enfriamiento de leche.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Analizar el sistema de enfriamiento en el centro San Lorenzo - Gloria SA del proceso de enfriamiento de leche.
- Diseñar el funcionamiento de un sistema de enfriamiento en el centro San Lorenzo - Gloria SA.
- Simular el funcionamiento de un sistema de enfriamiento en el centro San Lorenzo - Gloria SA para optimizar el tiempo en el proceso de enfriamiento de leche.
- Comparar el tiempo de enfriamiento de leche del sistema actual en el centro de acopio San Lorenzo - Gloria SA. con el tiempo del nuevo sistema de enfriamiento diseñado.

- Comparar los costos operativos del sistema de enfriamiento de leche actual del centro de acopio o San Lorenzo - Gloria SA con el costo operativo del nuevo sistema de enfriamiento diseñado

#### **1.4. Hipótesis general**

El sistema de enfriamiento diseñado en el área de acopio del centro San Lorenzo - Gloria SA optimizaría el tiempo en el proceso de enfriamiento de leche.

Variables:

- Y (Independiente)= Diseño del proceso de enfriamiento en el centro San Lorenzo –Gloria SA.
- X (dependiente)= Tiempo en el proceso de enfriamiento de leche en el centro San Lorenzo - Gloria SA.

*Tabla 1*  
*Matriz de Operacionalización de variables*

<b>Variable</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Unidades de medida</b>
Tiempo en el proceso de enfriamiento de leche en el centro San Lorenzo – Gloria SA.	Tiempo requerido para disminuir la temperatura de la leche usando cualquier mecanismo de enfriamiento.	Tasa de remoción del calor del sistema	KW/s
		Eficiencia del sistema de enfriamiento	COP
		Reducción de horas para enfriar 9 mil litros de leche	Nº horas
Diseño de un sistema de enfriamiento en el centro de acopio San Lorenzo – Gloria SA	Concepción de un conjunto de procedimientos y actividades destinadas a la reducción controlada de la temperatura de la leche.	Viabilidad de implantación en planta del diseño	En escala de Likert
		Costos de instalación y costos operativos	Soles

*Fuente: Elaboración del equipo de investigación*

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

Según el diseño de investigación vendría a ser pre experimental debido a que en el desarrollo de la tesis se podrá identificar una relación causa efecto entre la variable independiente, diseño del proceso de enfriamiento en el centro San Lorenzo - Gloria SA y la dependiente el tiempo en el proceso de enfriamiento de leche en el centro San Lorenzo Gloria –SA, pero no existe la posibilidad de comparación de grupos, solo consiste en dar un tratamiento en la modalidad de pre prueba (Avila Baray, 2006).

Según el objetivo de la investigación esta vendría a ser una investigación de tipo aplicada ya que pretende encontrar una forma alternativa al enfriamiento híbrido de leche para ser aplicado en el centro de acopio San Lorenzo – Gloria SA.

Para el caso de la presente investigación se usará el método científico de la modelación, este método permite mediante abstracciones con vistas a explicar la realidad, realizar modelaciones de las variables en estudio. En el modelo se revela la unidad de lo objetivo y lo subjetivo, en esta investigación se usaran principios físicos ya comprobados como la ley de enfriamiento de Newton y la modelación termodinámica de la compresión de un gas para generar frío, pero no en forma directa, sino utilizando un software computacional denominado EES.

### 2.2. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

La técnica utilizada para el desarrollo del presente trabajo de investigación es la técnica experimental, ya que se realizará pruebas para determinar si el uso del R22



genera una diferencia al uso de sustancias convencionales en el proceso de enfriamiento de leche para derivados lácteos.

Para el análisis de datos del experimento se utilizarán softwares computacionales, los cuales se muestran en el siguiente cuadro.

*Tabla 2*  
*Software para el desarrollo de la investigación*  
**Software para el desarrollo de la investigación.**

Software	Uso
<b>Microsoft Excel</b>	Procesamiento de tablas y datos
<b>MS Project</b>	Diseño de actividades y cronograma procesos
<b>AutoCAD</b>	Diseño de planos y representaciones
<b>EES</b>	Modelación del ciclo termodinámico
<b>Coolselector</b>	Analizar la consistencia del modelo y de sus componentes

*Fuente: Elaboración del grupo de investigación*

Para el procesamiento de Información se utilizará el software Microsoft Excel en donde se almacenará y procesaran los datos obtenidos del experimento registrados en la ficha. Así como también se utilizan software de gestión de proyectos como MS Project. También se utilizará el software Microsoft Word para redactar el trabajo de investigación.

### 2.3. Procedimiento

Dado que la presente investigación según el diseño de investigación el tipo de investigación es Cuasi experimental debido a que en el desarrollo de la tesis se podrá identificar una relación causa efecto entre la variable independiente, diseño del proceso de enfriamiento en el centro San Lorenzo - Gloria SA y la dependiente el tiempo en el proceso de enfriamiento de leche en el centro San Lorenzo Gloria -

SA. Se realizó en primera instancia el recojo de antecedentes para determinar el tipo sistema de enfriamiento a utilizar, luego se realizó la observación y análisis de datos que arrojo el software EES del ciclo termodinámico modelado. El procedimiento para la presente investigación fue la siguiente:

1. Identificar características del actual sistema de enfriamiento de la planta de Gloria en San Lorenzo.
2. Identificar caudal de leche a enfriar en litros por segundo en el centro de acopio San Lorenzo – Gloria SA.
3. Identificar el poder de enfriamiento que requiere el sistema por compresión de gases.
4. Identificar parámetros de entrada y salida del sistema termodinámico.
5. Identificar unidades de medida de calorimetría termodinámica para modelar el ciclo termodinámico.
6. Programar las ecuaciones del ciclo termodinámico en el software EES.
7. Graficar el ciclo termodinámico.
8. Evaluar la consistencia del ciclo termodinámico con el software Coolselector.
9. Identificar los componentes de sistema de enfriamiento con gas refrigerante en el software Coolselector.
10. Realizar los costos operativos del sistema de enfriamiento con gas refrigerante
11. Realizar el diseño de planta del sistema de enfriamiento con gas refrigerante con el software Auto Cad.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Centro de Acopio San Lorenzo - Gloria SA

El Grupo Gloria es un conglomerado industrial de capitales peruanos con negocios presentes en Perú, como también en Bolivia, Colombia, Ecuador, Argentina y Puerto Rico. Desarrolla actividades en los sectores de lácteos y alimentos, en cemento, papeles, agroindustria, transporte y servicios; todos ellos focalizados en la calidad del producto o servicio que se entrega al consumidor (Gloria SA, 2019).

El crecimiento y fortalecimiento estratégico del Grupo Gloria se sustenta a base del liderazgo de sus marcas en los mercados donde operan. La variedad y calidad de los productos que fabrica y comercializa, aunado a la eficiente capacidad de distribución y transporte para llegar a todos los mercados que abastece, le permiten al Grupo Gloria generar sinergias que garantizan una estructura diversificada de negocios, capaz de desempeñarse con éxito en un entorno altamente competitivo (Gloria SA, 2019).

Es así que, Gloria como una marca centrada en la calidad de sus productos alimenticios derivados de la leche se focaliza en la cadena de suministros para asegurar de inicio la calidad de sus productos finales. Para ello Gloria en sus plantas de acopio de leche desarrolla centros de innovación de proyectos pilotos, uno de estos centros de acopio es el centro de Acopio San Lorenzo.

La infraestructura del Centro de Acopio San Lorenzo, se encuentra en la carretera El Empalme – Minera La Zanja, en la jurisdicción del Centro Poblado San Lorenzo, Distrito Calquis, Provincia San Miguel y Departamento de Cajamarca. En estas se desarrollan actividades de acopio de leche de los proveedores de la zona para luego

ser trasladada en cisternas especialmente acondicionadas hacia la planta ubicada en Cajamarca.

La capacidad máxima de diseño de las instalaciones del Centro de Acopio San Lorenzo es de 15 personas en las instalaciones de acopio, y de 04 personas en las instalaciones para el personal (03 en dormitorios y 01 en la cocina), distribuidas en los siguientes ambientes:

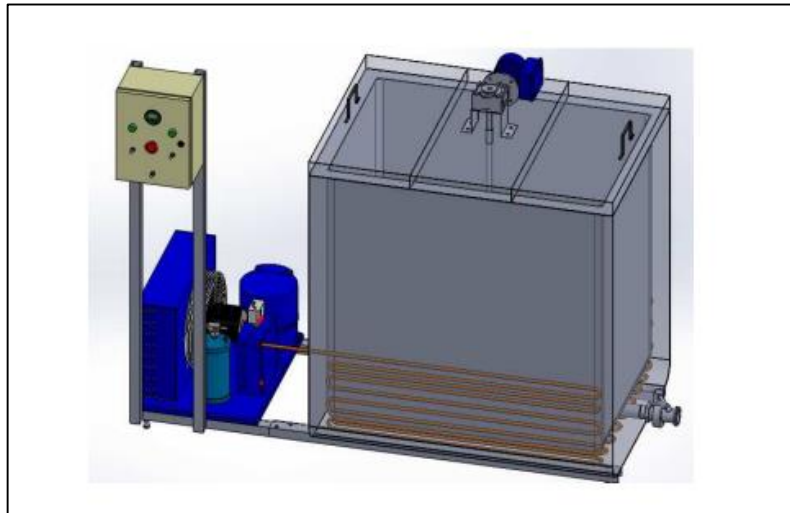
- a) Infraestructura de Acopio:
  - Cuarto de cisternas
  - Administración
  - Laboratorio
  - Oficina
  - Acopio de leche
  - Enfriamiento de leche
  - Grupo electrógeno
  - Estacionamiento para carguío y descarga de leche
- b) Instalaciones para el personal: 04 personas
  - Dormitorio 1
  - Dormitorio 2
  - Dormitorio 3
  - Cocina
  - Servicios higiénicos Mujeres
  - Servicios higiénicos Hombres

El centro de enfriamiento tiene las siguientes dimensiones áreas en metros cuadrados.

-	Área total del terreno	:	2,571.00
-	Área libre	:	1,613.28
-	Área techada total	:	363.13
-	Área techada ocupada	:	300.27
-	Acopio de leche	:	35.95
-	Grupo electrógeno	:	18.33
-	Enfriamiento	:	60.04
-	Administración	:	5.26
-	Laboratorio	:	2.84
-	Oficina	:	12.42
-	Cuarto de cisternas	:	20.01
-	Área de veredas	:	80.81

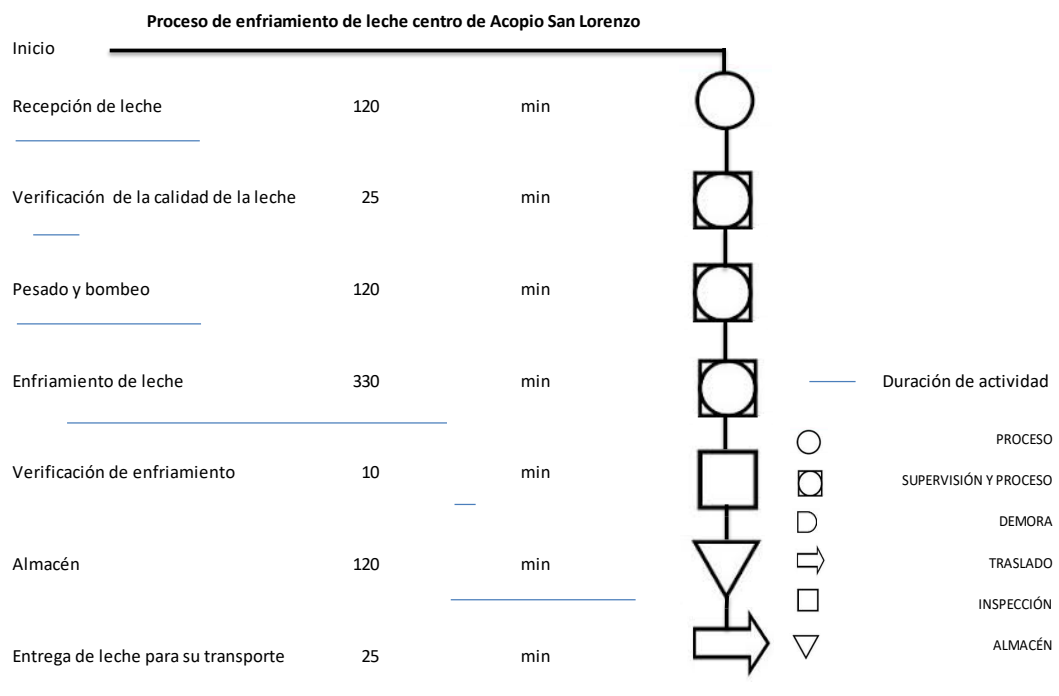
### **3.2. Análisis del sistema de enfriamiento de leche actual en el centro de acopio San Lorenzo – Gloria SA**

Actualmente en la planta San Lorenzo se usa el sistema de enfriamiento híbrido; es decir mecánico y termodinámico, que consiste en la agitación de paletas alas que le transmite movimiento un motor mediante un eje, además está dotado de un serpentín por el cual pasa un gas refrigerante a presión y a bajas temperaturas, en la figura 1 se muestra el diseño básico del sistema mencionado.



**Figura 1. Tanque para enfriamiento híbrido.**  
*Fuente: (Barillas Méndez, 2014)*

La figura muestra el actual sistema de enfriamiento del centro de acopio San Lorenzo, al igual que el anexo 2 (foto real del sistema de enfriamiento híbrido en el centro de acopio San Lorenzo).



**Figura 2. DAP del centro de enfriamiento San Lorenzo con un sistema de enfriamiento híbrido.**  
*Fuente: Elaboración del equipo de investigación.*

El sistema que actualmente usa el centro de acopio San Lorenzo tiene la capacidad de enfriamiento de 9 mil litros de leche diario. Dado que se plantea diseñar un sistema de enfriamiento más rápido, es preciso conocer primero el poder de enfriamiento de este sistema.

*Tabla 3*

*Lt de leche por segundo con sistema de enfriamiento híbrido*

	<b>Litros de leche (Lt) DIARIO</b>
<b>Litros de leche</b>	9000
<b>Tiempo (horas)</b>	5.50
<b>Tiempo (minutos)</b>	330.00
<b>Tiempo (segundos)</b>	19,800.00
<b>Lt/s</b>	0.45
<b>Tipo de gas refrigerante</b>	R422D

*Fuente: Elaboración del equipo de investigación.*

Con el sistema de enfriamiento actual que usa la planta San Lorenzo se enfría la leche a una ratio de 0.45 litros por segundo como se verifica en la tabla 3, este dato ha sido medido en la planta San Lorenzo por el equipo de investigación. Este dato servirá posteriormente ya que una vez simulado el sistema de refrigeración por compresión se verificará cuál de los dos sistemas es más poderoso; es decir cuál de los dos es más rápido.

### **3.3. Diseño del sistema refrigeración por compresión**

La instalación que se ha utilizado como plataforma en el desarrollo y validación del modelo físico estacionario propuesto en este trabajo, se ilustra en la figura 3 que consiste en un circuito simple de compresión de vapor, habiendo sido especialmente

diseñado y construido para el análisis y diagnóstico de su comportamiento en un amplio rango de condiciones de operación.

El sistema a instalarse en el centro de enfriamiento San Lorenzo deberá mínimo constar de los componentes básicos: compresor, condensador, válvula de expansión, filtros y evaporador. Así mismo, la instalación está adaptada para trabajar con distintos refrigerantes, aunque en este trabajo hemos utilizado el fluido R22 para el análisis del sistema termodinámico.

En la presente investigación se realizará la simulación de un circuito frigorífico simple por compresión de vapor, como el que se muestra en la figura 3 donde se puede ver una representación gráfica de los principales componentes unidos mediante sus respectivas líneas de conexión.

- El sistema tendría que llevar montado un compresor alternativo de tipo tornillo, tendrá que contar con una alimentación flexible por medio de un variador de frecuencia, con lo que se permite trabajar a distintas velocidades de giro del compresor. Cuando el vapor se sobrecaliente será comprimido, para luego este se envíe hasta el filtro que comúnmente es llamado botella de separación de aceite y luego pasa al condensador.

El uso de un compresor de tornillo, es el más recomendable para los sistemas de variaciones de presión sin embargo muy bien también se podría usar otro tipo de compresores, siempre teniendo en cuenta las características mínimas que tendría que cumplir. Para el caso de la puesta en marcha del sistema de enfriamiento de leche por ciclo térmico se recomienda el compresor tipo tornillo.



- En el condensador el refrigerante proveniente de la descarga del compresor es desrecalentado hasta una condición de saturación para su posterior condensación y subenfriamiento. Luego este va a través de un filtro deshidratador a la válvula de expansión termostática. Después de la expansión, el refrigerante es introducido al evaporador, en forma de serpentín, circulando el refrigerante por dentro de los tubos y la leche lo hace por fuera, de forma inundada. El refrigerante sale del evaporador con cierto grado de recalentamiento y es enviado finalmente al compresor, para iniciar el circuito termodinámico otra vez.

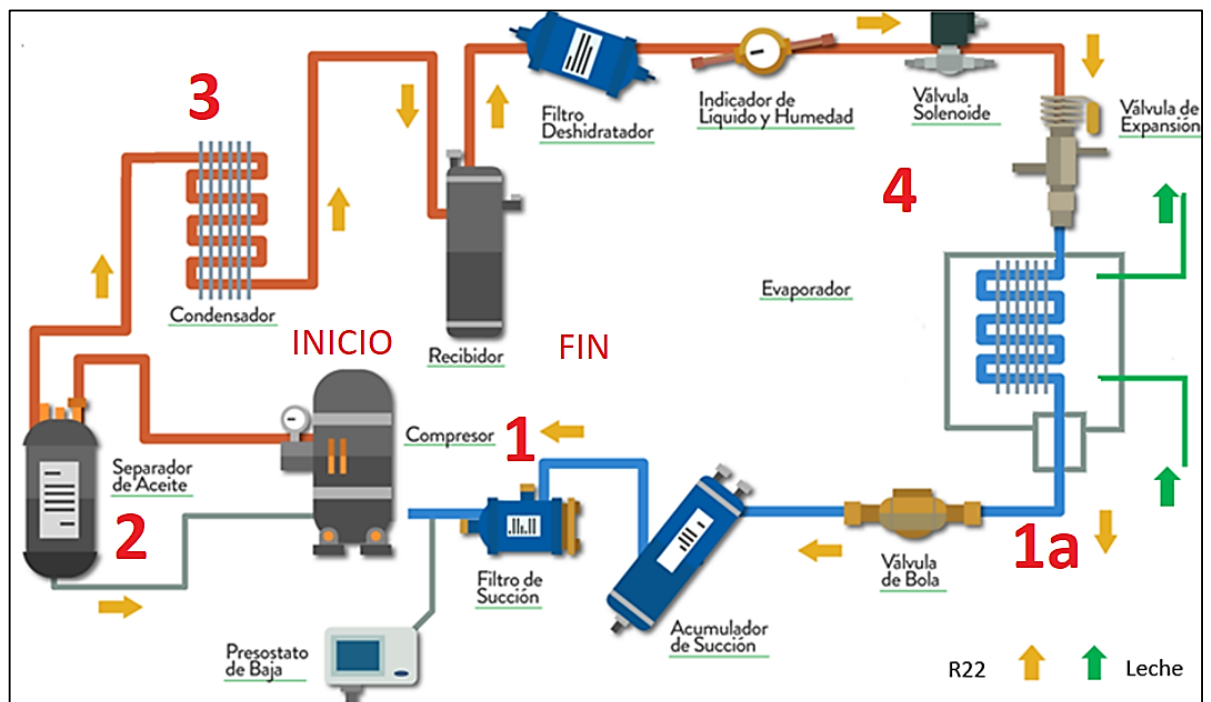


Figura 3. Ciclo del sistema de refrigeración.

Fuente: Elaboración del equipo de investigación

Nota: En la figura 3 para describir la secuencia del ciclo termodinámico del diseño modelado, 1 aspiración del compresor, 2 es descarga del compresor, 3 es salida del condensador, 4 después de la válvula de expansión, 1a salida del evaporador.

En un proceso de refrigeración por evaporación el fluido secundario se encuentra a una temperatura más elevada que la del refrigerante, por lo que se efectúa una

transferencia de calor hacia éste, obteniendo como resultado un enfriamiento del fluido exterior.

Un ciclo simple frigorífico comprende cuatro procesos fundamentales:

- La regulación

El ciclo de regulación ocurre entre el condensador y el evaporador, en efecto, el refrigerante líquido entra en el condensador a alta presión y a alta temperatura, y se dirige al evaporador a través del regulador.

La presión del líquido se reduce a la presión de evaporación cuando el líquido cruza el regulador, entonces la temperatura de saturación del refrigerante entra en el evaporador y será en este lugar donde se enfría. Una parte del líquido se evapora cuando cruza el regulador con el objetivo de bajar la temperatura del refrigerante a la temperatura de evaporación.

- La evaporación

En el evaporador, el líquido se vaporiza a presión y temperatura constantes gracias al calor latente suministrado por el refrigerante que cruza el espacio del evaporador. Todo el refrigerante se vaporiza completamente en el evaporador, y se recalienta al final del evaporador.

Aunque la temperatura del vapor aumenta un poco al final del evaporador debido al sobrecalentamiento, la presión se mantiene constante. En el caso de la presente investigación, aunque el vapor absorbe el calor de la leche de alrededor de la línea de aspiración, aumentando su temperatura y disminuyendo ligeramente su presión debido a las pérdidas de cargas a consecuencia de la fricción en la línea de aspiración, esto no se tiene en cuenta cuando uno explica el funcionamiento de un

ciclo de refrigeración normal, ya que no precisa una variación significativa de presión.

- La compresión

Por la acción del compresor, el vapor resultante de la evaporación es aspirado por el evaporador por la línea de aspiración hasta la entrada del compresor. En el compresor, la presión y la temperatura del vapor aumenta considerablemente gracias a la compresión, entonces al vapor a alta temperatura y a alta presión es devuelto por la línea de expulsión.

- La condensación

El vapor atraviesa la línea de expulsión hacia el condensador donde libera el calor hacia el aire exterior. Una vez que el vapor ha prescindido de su calor adicional, su temperatura se reduce a su nueva temperatura de saturación que corresponde a su nueva presión. En la liberación de su calor, el vapor se condensa completamente y entonces es enfriado.

### **3.4. Diseño en planta del sistema de refrigeración**

En la figura 4 se tiene una aproximación de lo que vendría a ser la instalación en planta del centro de enfriamiento de leche las dimensiones se muestran en el anexo 4, la instalación es viable puesto que se necesita equipos y tecnologías que hay en proveedores locales.

El ciclo termodinámico tendrá que ir en la línea de enfriamiento entre lo que actualmente es la balanza de leche y el tanque de enfriamiento el área de instalación se muestra en el anexo 4.

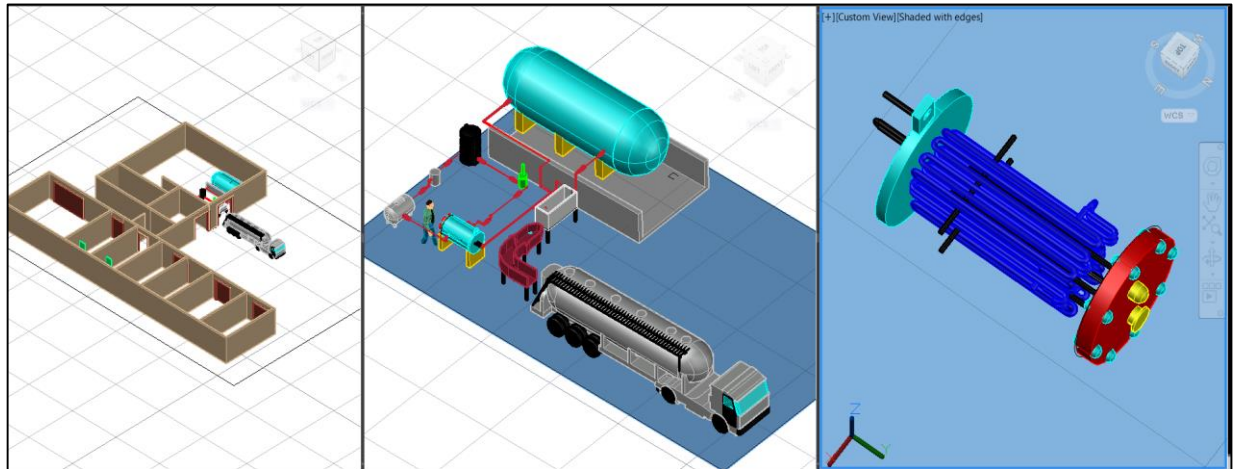


Figura 4. Diseño 3D de instalaciones en planta  
Fuente: Elaboración del equipo de investigación

La leche en porongos que se transporta mediante el carril desde la descarga de camiones pasa a la tina de pesaje, con el sistema actual esta leche una vez pesada y analizada pasa al tanque de enfriamiento mecánico, con el nuevo sistema entrara primero al evaporador para que se enfríe y finalmente se almacenara en el tanque de enfriamiento; es decir se producirá un enfriamiento en línea.

En el caso de descarga de cisternas la leche también entrara al evaporador con el flujo másico adecuado para que la leche este en el rango de  $2\text{ c}^{\circ}$  a  $4\text{ c}^{\circ}$ .

En la figura 4 y anexos 15 y 16 se puede observar que el ciclo de refrigeración es totalmente acoplable al proceso de enfriamiento de leche en el centro San Lorenzo.

En el Anexo 14 se califica también a la viabilidad del nuevo sistema de enfriamiento por compresión de gas y resulta totalmente viable. La tecnología, instrumentos y materiales a usar en una puesta en marcha del sistema de enfriamiento por compresión es totalmente accesible en mercados regionales y el acople de los

componentes requiere de mano de obra especializada ofertada instituciones formativas en la Ciudad de Cajamarca.

### **3.5. Modelación de principios físicos**

Para lograr la simulación del modelo termodinámico, en primera instancia se tiene que hacer la modelación de los principios físicos, para ello vamos a describir los principios físicos inherentes al modelo de propagación de frío. La modelación está basada en las expresiones matemáticas originadas en fundamentos físicos, esto junto a correlaciones empíricas presentadas en los antecedentes de este trabajo, además se usará también conocimiento de datos proporcionados por el fabricante de insumos. El propósito del modelo físico estacionario representado en esta investigación, es la simulación de un sistema de enfriamiento de leche para posteriormente analizar los parámetros y el poder de enfriamiento, con la finalidad de analizar si una puesta en marcha del mencionado sistema mejora el enfriamiento de leche en el centro San Lorenzo – Gloria SA. El objetivo del modelo lo representa la figura 5, donde se consideran los parámetros de entrada:

- Caudales.
- Temperaturas de entrada de los fluidos.
- Régimen de giro del compresor.
- Grado de recalentamiento estático.
- Presiones de funcionamiento.
- Capacidades potencia consumida.
- Eficiencia energética de la instalación.

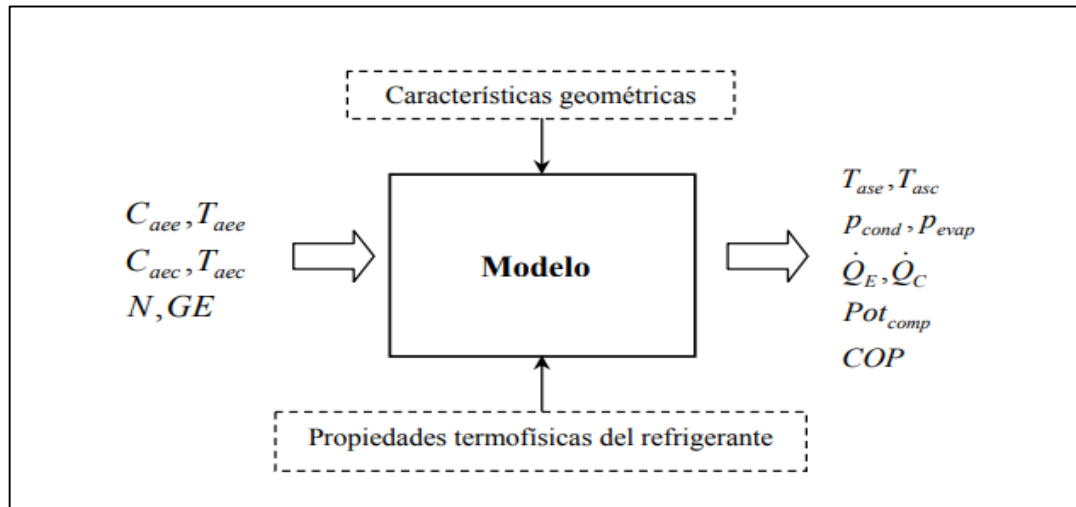


Figura 5. Características del modelo  
Fuente: (Cabanzón Labat, 2018)

Es necesario tener en cuenta las condiciones generales que se involucran en el desarrollo Según (Barillas Méndez, 2014) un modelo físico debe tener en cuenta de inicio los siguientes aspectos:

- La instalación planteada en la presente investigación tendría que ser como la que se simplifica en la Figura 3, donde se representan los estados termodinámicos en análisis de la presente investigación. Cada estado tiene factores de entrada y salida que al final arrojaran indicadores cruciales para la puesta en marcha del sistema de enfriamiento.
- Para simular el sistema de refrigeración las presiones y temperaturas son consideradas de investigaciones experimentales anteriores, así como también de parámetros de fábrica de los componentes del sistema.
- La magnitud del flujo másico de refrigerante R22 que va circular por el circuito de compresión de vapor se considera constante.

- El banco experimental trabaja con fluidos secundarios en los intercambiadores de calor.
- En el circuito experimental se usará el fluido el R22.
- Por simplicidad y para la simulación, se considera que no existen pérdidas de carga en el sistema. El esquema de la figura 3 representa el ciclo simple de compresión de vapor.

La carga térmica en este estudio, es el calor retirado en el evaporador a la leche que circula a través de este y se expresa en la ecuación 1.

$$Q_o = mC_p \nabla T$$

Ecuación 1

En donde  $m$  es el flujo de leche que circula a través del evaporador,  $C_p$  es el calor específico de la leche y  $\nabla T$  es el decremento de temperatura de la leche al retirarle la carga térmica.

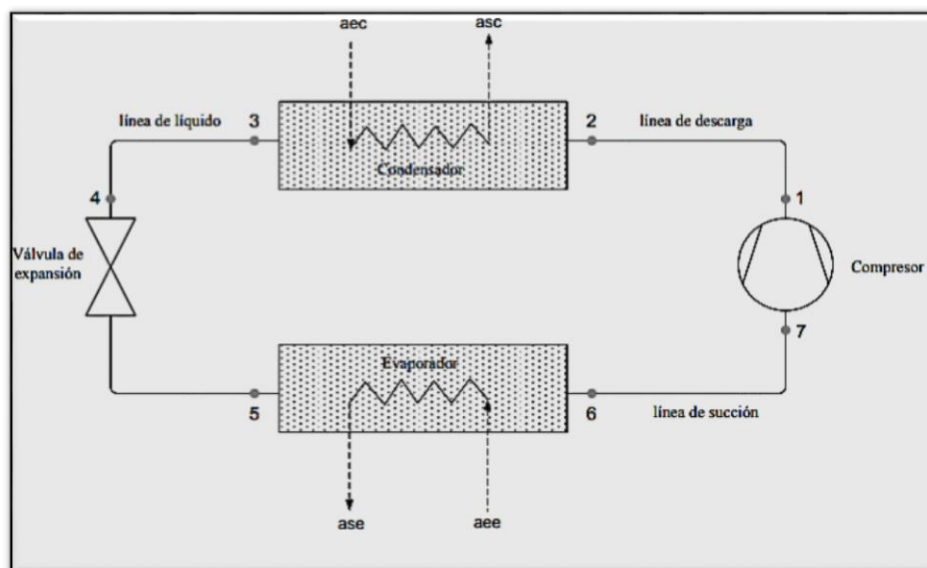


Figura 6. Sistema de compresión del vapor  
Fuente: (Barillas Méndez, 2014)

### 3.5.1. Compresor

Los procesos de expansión y compresión presentes en el funcionamiento del compresor, pueden ser representados como procesos politrópicos, por lo que se hace referencia a la siguiente expresión:

La compresión del refrigerante es desde la presión de evaporación hasta la presión de condensación. El trabajo de compresión se expresa en la ecuación 2.

$$w_c = h_{sc} - h_{ec}$$

Ecuación 2

Donde  $h_{sc}$  es la entalpía en la salida del compresor y  $h_{ec}$  es la entalpía a la entrada del compresor.

La potencia del compresor vendría a expresarse en la ecuación 3.

$$P_c = m_r w_c$$

Ecuación 3

### 3.5.2. Línea de descarga

El interés en particular de modelar la línea de descarga, es debido a que se presenta físicamente un desrecalentamiento externo de magnitud considerable, esto a causa de la longitud que tiene la línea expuesta al ambiente, que es suficientemente larga como para provocar un decremento de la temperatura desde la descarga del compresor hasta la entrada al condensador.



Al comenzar con la simulación se asigna un valor inicial a la temperatura de entrada al condensador,  $T_1$ , que sirve para estimar la temperatura media aritmética del refrigerante a lo largo de la línea,  $T_{m, ldes}$ , con esta es posible evaluar las propiedades termodinámicas necesarias. Una aproximación de la temperatura superficial en la línea,  $T_{s, ldes}$  es requerida para la estimación de los coeficientes externos. Previamente se ha estimado el coeficiente interno,  $h_{iles}$ , que junto con el coeficiente externo es posible realizar una iteración para estimar una temperatura de ajuste de la superficie. Con este último parámetro se realiza un balance de energía por el lado del refrigerante, dando como resultado la estimación de la entalpía a la entrada del condensador,  $h_2$ , consecuentemente es posible actualizar y estimar por medio de un proceso iterativo la temperatura de entrada al condensador,  $T_2$ , y de nuevo ajustar los demás parámetros involucrados en la simulación. Con la estimación de la temperatura se termina la simulación local para la línea de descarga, ya que de esta manera se conoce el desrecalentamiento en la línea.

### 3.5.3. Condensador

El condensador y evaporador se analizan de manera similar desde el punto de vista del modelado. El comportamiento del condensador es caracterizado a través de tres regiones asociadas al estado del refrigerante: zona de desrecalentamiento DRC, condensación COND y zona de subenfriamiento SUB, como se aprecia en la Figura 7.

Los tres distintos procesos de transferencia de calor requieren el uso de corridas en los softwares distintas para la estimación de los coeficientes convectivos, estos, junto con la aplicación de balances de energía y la identificación de las superficies de intercambio de calor, nos ayudan a describir el fenómeno en detalle dentro de cada zona.

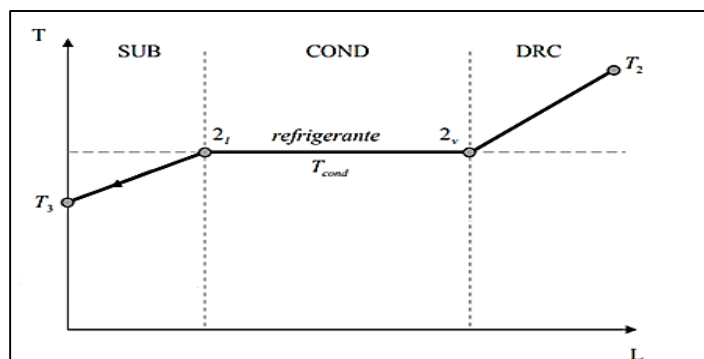


Figura 7. Zonas de transferencia de frío en el condensador

Fuente: (Isaz, Pilatowsky, Romero, & Cortés, 2014)

Este es el planteamiento general para el análisis del condensador. Así pues, se prosigue a continuación a desarrollar la caracterización de cada una de las zonas en que se dividió el componente para su estudio. Zona de desrecalentamiento (DRC) En esta zona se da el enfriamiento del vapor sobrecalentado que entra al condensador procedente de la descarga del compresor a vapor saturado.

$$\dot{m}_{ref} \cdot (h_2 - h_{2v}) = \dot{m}_{aec} \cdot c_{p,drc} \cdot (T_{asc} - T_i)$$

Ecuación 4

La segunda expresión característica en la zona de desrecalentamiento se puede verificar en la ecuación 5.

$$\dot{m}_{ref} \cdot (h_2 - h_{2v}) = \varepsilon_{drc} \cdot C_{min,drc} \cdot (T_2 - T_i)$$

Ecuación 5

Finalmente, el proceso de condensación es el que se muestra en la ecuación 6.

$$Q_{cond} = h_{scd} - h_{ecd}$$

Ecuación 6

Donde  $h_{scd}$  es la entalpía a la salida del condensador,  $h_{ecd}$  es la entalpía a la entrada del condensador.

#### 3.5.4. Válvula de expansión

El refrigerante R22 se expande desde la presión de condensación hasta la presión de evaporación. Este proceso de expansión se realiza a entalpía constante.

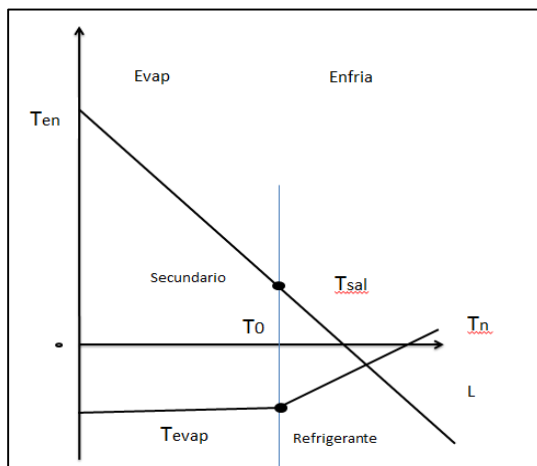
Por lo general, en los catálogos que proporciona el fabricante encontramos parámetros de la válvula relacionados a las capacidades  $Q_{val}$  [kW] o al flujo másico  $m$  [kg/s] que pasa a través del componente. Ambos parámetros están basados en la capacidad máxima de la válvula, correspondiente a la condición de apertura total, por lo que podemos definir la constante característica de la siguiente manera:

El banco experimental dispone de una válvula de expansión termostática específica para R22 y los valores de las capacidades provenientes del catálogo

vienen dados para un grado de subenfriamiento de  $-10^{\circ}\text{C}$  y para un grado de recalentamiento de  $2^{\circ}\text{C}$ .

### 3.5.5.El evaporador

El evaporador se ha decidido modelarlo en dos zonas asociadas al estado del refrigerante: zona de evaporación EVAP y zona de enfriamiento ENFRIA, como se ilustra en la figura 8 Las condiciones de entrada y salida de la leche son  $T_{en}$  y  $T_{sal}$  respectivamente, incluyendo una temperatura intermedia  $T_o$  debido a la división de zonas. Por el lado del refrigerante, es bien conocido que la temperatura de un refrigerante puro durante el proceso de evaporación permanece constante para un fluido puro y en ausencia de pérdidas de carga. La finalidad del recalentamiento es simplemente llevar el refrigerante del estado de saturación,  $T_{evap}$ , a la condición de salida del evaporador,  $T_n$ , asegurando la entrada de vapor sobrecalentado al compresor.



**Figura 8. Zonas de transferencias de calor en el evaporador**  
**Fuente: Elaboración del equipo de investigación.**

El calor que absorbe el refrigerante por unidad de masa, se llama efecto refrigerante y se expresa en la ecuación 7.

$$q_o = h_{se} - h_{ee}$$

Ecuación 7

Donde  $q_o$  es el efecto refrigerante,  $h_{se}$  es la entalpía a la salida del evaporador,  $h_{ee}$  es la entalpía a la entrada del evaporador.

El flujo de refrigerante que circula en el evaporador para una carga térmica dada, se expresa en la ecuación 8.

$$m_r = \frac{Q_o}{q_o}$$

Ecuación 8

### 3.6. Simulación del sistema de refrigeración

Para el análisis de eficiencia del circuito se realizará la simulación del sistema de refrigeración mediante el software EES “Engineering Equation Solver” teniendo en cuenta lo siguiente.

- La temperatura de  $-10^{\circ}\text{C}$  es una variable que se considera en el modelo partiendo de estudios anteriores, en el estudio de (Castillo Cabrera, 2014) “Sistema de refrigeración termodinámico no frost con el R600a” en donde menciona que para lograr reducciones de temperatura en evaporador por convección de un intervalo diferencias significativo se debe diseñar un sistema que de entrada tenga una temperatura del gas refrigerante de por lo

menos de  $-9.44\text{ }^{\circ}\text{C}$  en el caso de este estudio utilizaremos un proceso termodinámico con una temperatura  $-10^{\circ}\text{C}$  como temperatura de entrada del evaporador, para asegurar así una eficiente remoción de calor. La temperatura de salida del gas en el evaporador tendría que ser  $2^{\circ}\text{C}$  ya que se pretende que la leche baje a una temperatura equivalente a esta, a partir de estas temperaturas el software calculará las presiones y entalpías para luego calcular la tasa de remoción de calor.

- El poder de enfriamiento del sistema termodinámico está basado en la premisa de enfriar un litro de leche por segundo ya que así se mejoraría significativamente el tiempo de enfriamiento actual; es decir de  $0.45\text{ lt/s}$  a  $1.00\text{ lt/s}$ .
- La consistencia de las relaciones temperaturas y presiones serán verificadas por el software Coolselector.

```

"CICLO IDEAL DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR DE GAS R22"
x[1]=1
T[1]=2                                "T1 en grados Celsius"
P[1]=pressure(R22,T=T[1],x=x[1])
h[1]=enthalpy(R22,T=T[1],x=x[1])
s[1]=entropy(R22,T=T[1],x=x[1])

"PROCESO 2-3 RECHAZO DE CALOR A PRESION CONSTANTE DEL  CONDENSADOR"
s[2]=s[1]
T[2]=50
P[2]=pressure(R22,T=T[2],s=s[2])
h[2]=enthalpy(R22,T=T[2],s=s[2])

"PROCESO 3-4 ESTRANGULAMIENTO EN EL TUBO CAPILAR"
x[3]=0
T[3]=35
P[3]=P[2]
h[3]=enthalpy(R22,T=T[3],x=x[3])
s[3]=entropy(R22,T=T[3],x=x[3])

"PROCESO 4-1 ABSORCION DE CALOR A PRESION CONSTANTE"
h[4]=h[3]
P[4]=P[1]
T[4]=-10
s[4]=entropy(R22, T=T[4],h=h[4])

"ENTRADA DE POTENCIAL AL COMPRESOR"
C=1100.50                             "tasa de calor en KJ/h Catalogo de compresor"
m=((C/(h[2]-h[1])))/3600                "flujo másico en kg /s"
W_comp=m*(h[2]-h[1])                  "trabajo en compresor" "tasa de calor en KW"

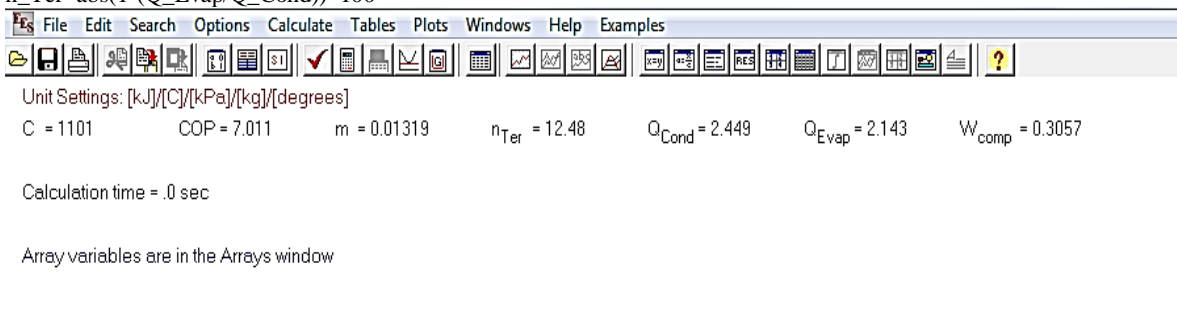
"Tasa de remoción de calor del espacio refrigerado"
Q_Evap=m*(h[1]-h[4])                  "tasa de calor en KW"

"Tasa de rechazo de calor del refrigerante"
Q_Cond=m*(h[2]-h[3])                  "tasa de calor en KW"

"Coeficiente de desempeño"
COP=abs(Q_Evap/W_Comp)

"EFICIENCIA TERMICA DE LA MAQUINA TERMICA"
n_Ter=abs(1-(Q_Evap/Q_Cond))*100

```



Unit Settings: [kJ]/[C]/[kPa]/[kg]/[degrees]  
C = 1101      COP = 7.011      m = 0.01319      n<sub>Ter</sub> = 12.48      Q<sub>Cond</sub> = 2.449      Q<sub>Evap</sub> = 2.143      W<sub>comp</sub> = 0.3057  
Calculation time = .0 sec  
Array variables are in the Arrays window

Figura 9. Resultados del EES de la simulación  
Fuente: (Belman Flores, 2008)

Para el análisis de la eficiencia del sistema de enfriamiento analizaremos los datos de la simulación del programa EES, cabe resaltar que la temperatura inicial del sistema normalmente es encontrada en experimentación o en sistemas probados empíricamente, como se mencionó anteriormente para el caso de esta investigación

Dada la temperatura inicial entonces se usa el software EES que nos permite realizar los cálculos de la entalpía y entropía, flujo másico, tasa de remoción de calor, trabajos, temperaturas y presiones.

Se tiene entonces un sistema de enfriamiento con una tasa de remoción de calor de 2.143 KW, la entalpía antes de entrar al evaporador es de 243.2 KJ/Kg y luego de la salida del evaporador es de 405.7 KJ/Kg haciendo una diferencia de -162.5 KJ/Kg el signo negativo significa pérdida de calor.

En la figura 10 se muestra el cambio de presiones y temperatura den el sistema termodinámico con gas R22 se puede observar además que el software EES calcula una capacidad de refrigeración de 2.143 Kw



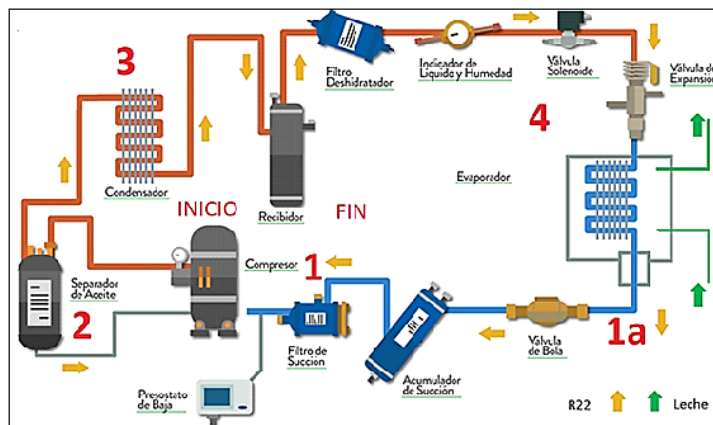
m = 0.01319  
 $\eta_{Ter} = 12.48$   
 $Q_{Cond} = 2.449$   
 $Q_{Evap} = 2.143$   
 $W_{comp} = 0.3057$

Calculate

$T_3 = 35$   
 $P_3 = 1359$  [kPa]  
 $h_3 = 243.2$  [kJ/kg]  
 $s_3 = 1.146$  [kJ/kg]

$h_4 = 243.2$  [kJ/kg]  
 $P_4 = 531.4$  [kPa]  
 $s_4 = 1.165$  [kJ/kg]  
 $T_4 = -10$

$T_2 = 50$   
 $P_2 = 1359$  [kPa]  
 $h_2 = 428.9$  [kJ/kg]  
 $s_2 = 1.748$  [kJ/kg]



$T_1 = 2$   
 $P_1 = 531.4$  [kPa]  
 $h_1 = 405.7$  [kJ/kg]  
 $s_1 = 1.748$  [kJ/kg]

Figura 10. Ciclo termodinámico del R22 planteado

Fuente: Elaboración del equipo de investigación.

Nota: En la figura 3 para describir la secuencia del ciclo termodinámico del diseño modelado, 1 aspiración del compresor, 2 es descarga del compresor, 3 es salida del condensador, 4 después de la válvula de expansión, 1a salida del evaporador.

Para encontrar el ratio de enfriamiento en el evaporado en donde se va inundar la leche y el serpentín infundirá frío se utilizará la ley de enfriamiento de Newton expresada en la ecuación 9.

$$dQ = h \cdot A_s \cdot (T_s - T_{inf})$$

Ecuación 9

Donde h es el coeficiente de película  $A_s$  es el área del cuerpo en contacto con el fluido y  $T_s$  es la temperatura de la superficie del cuerpo y  $T_{inf}$  es la temperatura del fluido a enfriar.

El serpentín en el evaporador tiene las siguientes dimensiones

Tabla 4  
Medidas del serpentín

Tubería	Inox	
Longitud	3100	cm
Diámetro	1.27	cm
Área contacto	1240	Cm cuadrados

Fuente: Elaboración del equipo de investigación.

$Q=?$

$$h=2.143(KW)$$

$$A_s=1.24 \text{ m}^2$$

$$T_s=-10C^\circ$$

$$T_{inf}=25 C^\circ$$

$$Q=-93.0062KW$$

Dado que  $-93.0062KW$  equivale a  $-93006.2W$  calcularemos a partir de este dato cuanto disminuye en  $^\circ C$  un flujo másico de leche que entra al evaporador de  $1000g/s$ . Para hallar el ratio de cambio de temperatura tendremos que encontrar la ganancia de energía, ganancia de energía=  $W \times t$

Para un tiempo de 1 segundo la energía ganada es  $-93006.2W/s$ . Luego a la ganancia de energía lo dividimos entre la masa de la sustancia,  $-93006.2W/s / 1000g = -93.0062 \text{ Ws/g}$

A este resultado lo dividimos entre calor específico de la leche tendremos la variación de la temperatura por cada segundo. El calor específico de la leche se encuentra en el anexo 8 de calor específico de la leche teórico es igual a  $3.98 \text{ J/g} \cdot ^\circ C$ .

$$\text{Variación de } T = -93.0062 \text{ Ws/g} / 3.98 \text{ J/g} \cdot ^\circ C = -23.368^\circ C/s$$

Los  $-93006.2\text{W/s}$  de absorción de calor cuando la leche entra a  $25^{\circ}\text{C}$  al evaporador en flujo másico de  $1000\text{g/s}$  su temperatura varia en  $-23.368^{\circ}\text{C/s}$ ; es decir si la leche entra a  $1000\text{g/s}$  al evaporador un segundo después esta tendrá una temperatura de  $1.632^{\circ}\text{C}$ .

Los 9 mil litros de leche con el ciclo de refrigeración planteado serán enfriados en 150 minutos o en 2.5 horas.

Una vez determinado el poder de enfriamiento y la velocidad de enfriamiento se utilizó el software Coolselector para analizar si el modelo termodinámico es funcional, es decir que no presente cambios de presión y temperatura bruscos que pudieran vencer las líneas del flujo del refrigerante.

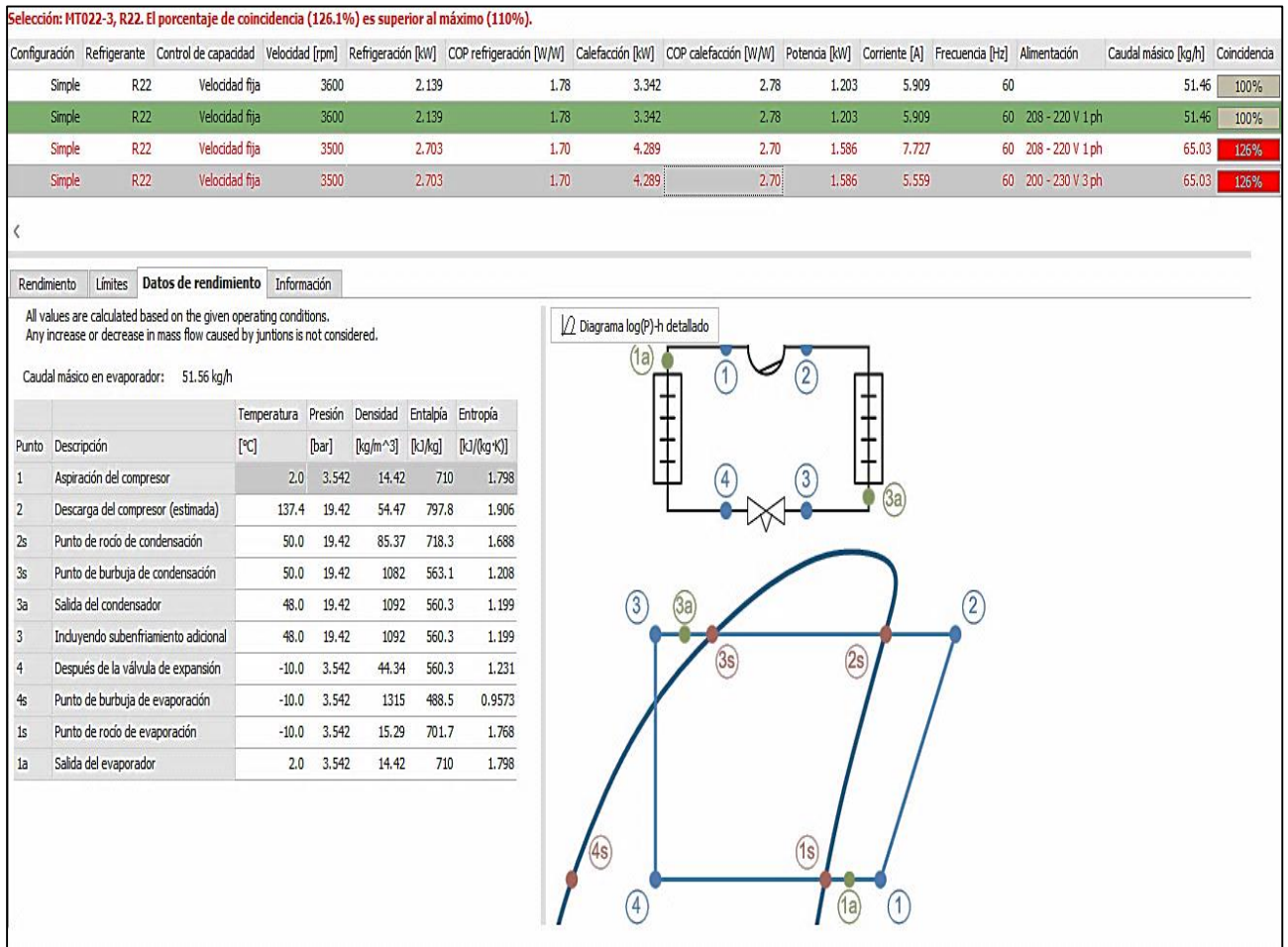
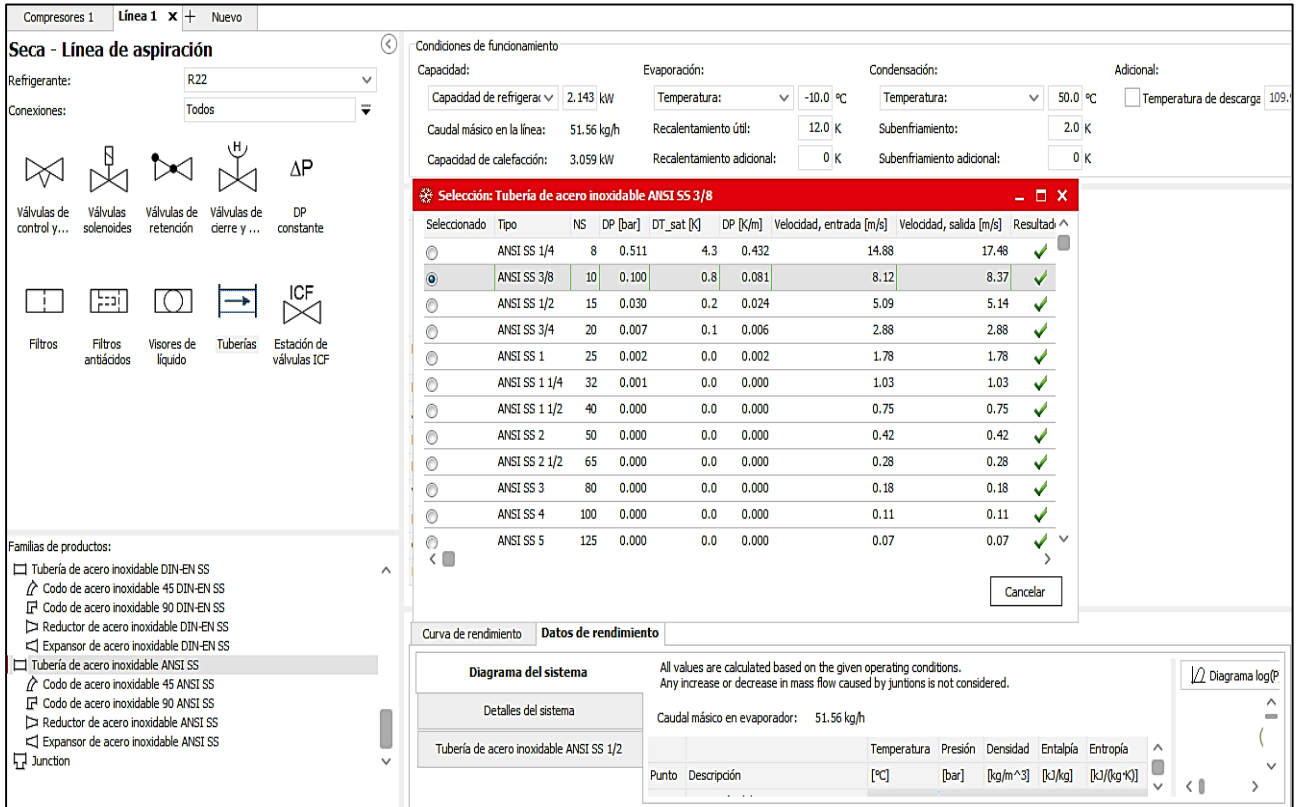


Figura 11. Ciclo termodinámico del R22 en software Coolselector

Fuente: Elaboración del equipo de investigación.

En la figura 11 se muestra que el modelo planteado es funcional al 100% dado que se necesita un poder de enfriamiento de 2.143 kW, alcanzar un temperatura de -10 grados en el evaporador, un subenfriamiento de 35 °C y una salida del evaporador de 2°C. Este modelo usa el R22 y predetermina un compresor S26TN como el más adecuado del modelo. El diagrama de Log(P)- h muestra que en todos los puntos en donde se realiza trabajo el modelo posee suficiente robustez en las líneas de funcionamiento.



**Seca - Línea de aspiración**

Refrigerante: R22

Conexiones: Todos

Condiciones de funcionamiento:

Capacidad: Capacidad de refrigeración: 2.143 kW, Evaporación: Temperatura: -10.0 °C, Condensación: Temperatura: 50.0 °C, Adicional: Temperatura de descarga: 109.0 °C

Caudal másico en la línea: 51.56 kg/h, Recalentamiento útil: 12.0 K, Subenfriamiento: 2.0 K

Capacidad de calefacción: 3.059 kW, Recalentamiento adicional: 0 K, Subenfriamiento adicional: 0 K

**Selección: Tubería de acero inoxidable ANSI SS 3/8**

Seleccionado	Tipo	NS	DP [bar]	DT_sat [K]	DP [K/m]	Velocidad, entrada [m/s]	Velocidad, salida [m/s]	Resultado
<input type="radio"/>	ANSI SS 1/4	8	0.511	4.3	0.432	14.88	17.48	✓
<input checked="" type="radio"/>	ANSI SS 3/8	10	0.100	0.8	0.081	8.12	8.37	✓
<input type="radio"/>	ANSI SS 1/2	15	0.030	0.2	0.024	5.09	5.14	✓
<input type="radio"/>	ANSI SS 3/4	20	0.007	0.1	0.006	2.88	2.88	✓
<input type="radio"/>	ANSI SS 1	25	0.002	0.0	0.002	1.78	1.78	✓
<input type="radio"/>	ANSI SS 1 1/4	32	0.001	0.0	0.000	1.03	1.03	✓
<input type="radio"/>	ANSI SS 1 1/2	40	0.000	0.0	0.000	0.75	0.75	✓
<input type="radio"/>	ANSI SS 2	50	0.000	0.0	0.000	0.42	0.42	✓
<input type="radio"/>	ANSI SS 2 1/2	65	0.000	0.0	0.000	0.28	0.28	✓
<input type="radio"/>	ANSI SS 3	80	0.000	0.0	0.000	0.18	0.18	✓
<input type="radio"/>	ANSI SS 4	100	0.000	0.0	0.000	0.11	0.11	✓
<input type="radio"/>	ANSI SS 5	125	0.000	0.0	0.000	0.07	0.07	✓

Diagrama del sistema

All values are calculated based on the given operating conditions. Any increase or decrease in mass flow caused by junctions is not considered.

Caudal másico en evaporador: 51.56 kg/h

Punto	Descripción	Temperatura [°C]	Presión [bar]	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	Entalpía [kJ/kg]	Entropía [kJ/(kg·K)]

Figura 12. Tubería ciclo termodinámico del R22 en software Coolselector  
Fuente: Elaboración del equipo de investigación.

En la figura 12 se muestra que las líneas del sistema termodinámico tendrían que ser de tubería de acero inoxidable ANSI SS.



**Selección: KVS 15**

Seleccionado	Tipo	NS	Kv [m <sup>3</sup> /h]	Kv_calc [m <sup>3</sup> /h]	Grado de apertura [%]	DP [bar]	DT_sat [K]	Capacidad mínima [kW]	Capacidad máxima [kW]	Carga [%]	Velocidad, entrada [m/s]	Estado de la válvula	Resultado
<input checked="" type="radio"/>	KVS 15	15	2.1	0.9077	11	0.244	2.0	1.173	4.958	43	7.04	Abierta	✓
<input type="radio"/>	KVS 42	42	16	0.9077	7	0.244	2.0	1.415	37.78	6	0.89	Abierta	✓

**Curva de rendimiento**

Línea 1  
Línea de aspiración (Sistema de expansión seca. R22)

Grado de apertura [%] vs Capacidad de refrigeración [kW]

Capacidad de refrigeración: 2.1430 kW    Capacidad de calefacción: 3.0591 kW    Caudal máxico en la línea: 51.559 kg/h    Grado de apertura: 11.2 %    Estado: Parcialmente

Figura 13. Válvula de control del ciclo termodinámico del R22 en software Coolselector  
Fuente: Elaboración del equipo de investigación.

En la figura 13 se muestra que la Válvula de control y regulación para el sistema termodinámico tendría que ser kv5.

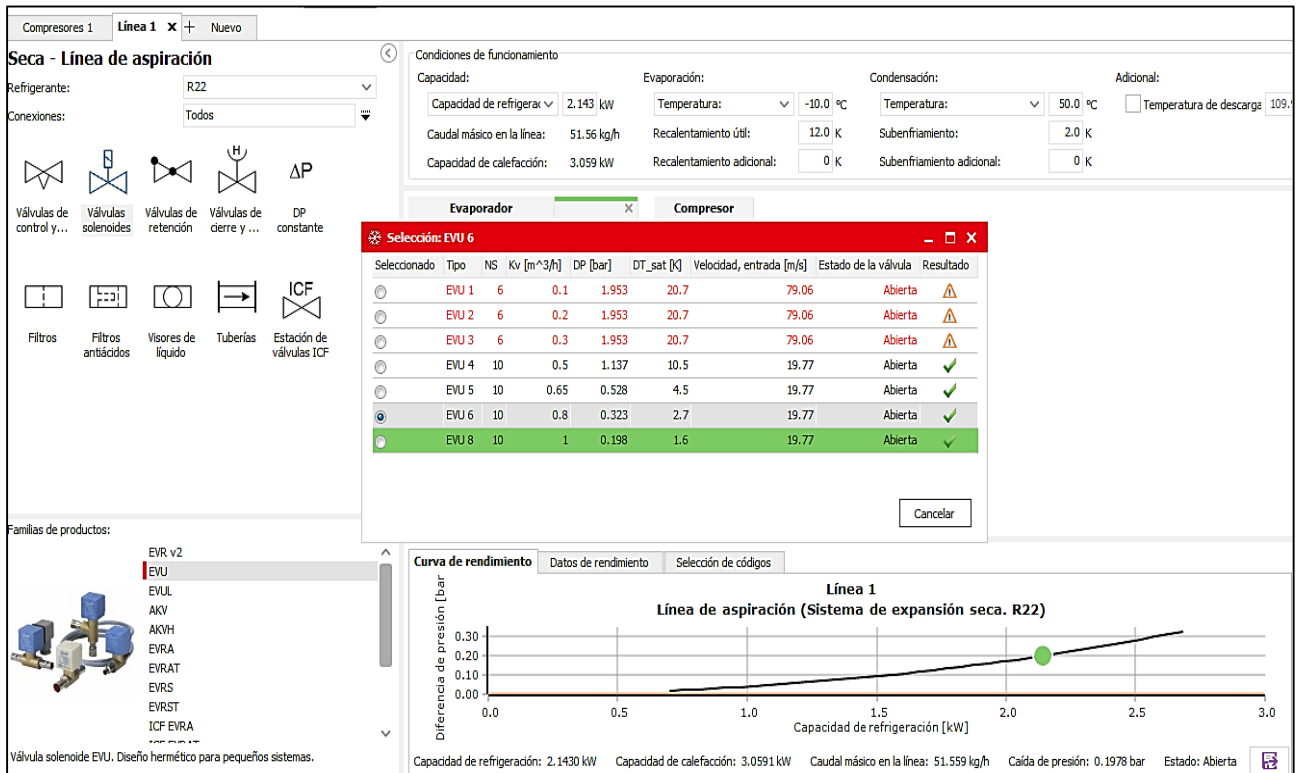


Figura 14. Válvula solenoide para el ciclo termodinámico del R22 en software Coolselector  
Fuente: Elaboración del equipo de investigación.

En la figura 14 se puede verificar que la válvula solenoide para el sistema tendría que ser una válvula solenoide EVU8 ya que es la válvula que sería más consistente según el software Coolselector.

Diseño de un sistema de enfriamiento en el área de acopio del centro San Lorenzo - Gloria SA para optimizar el tiempo en el proceso de enfriamiento de leche.

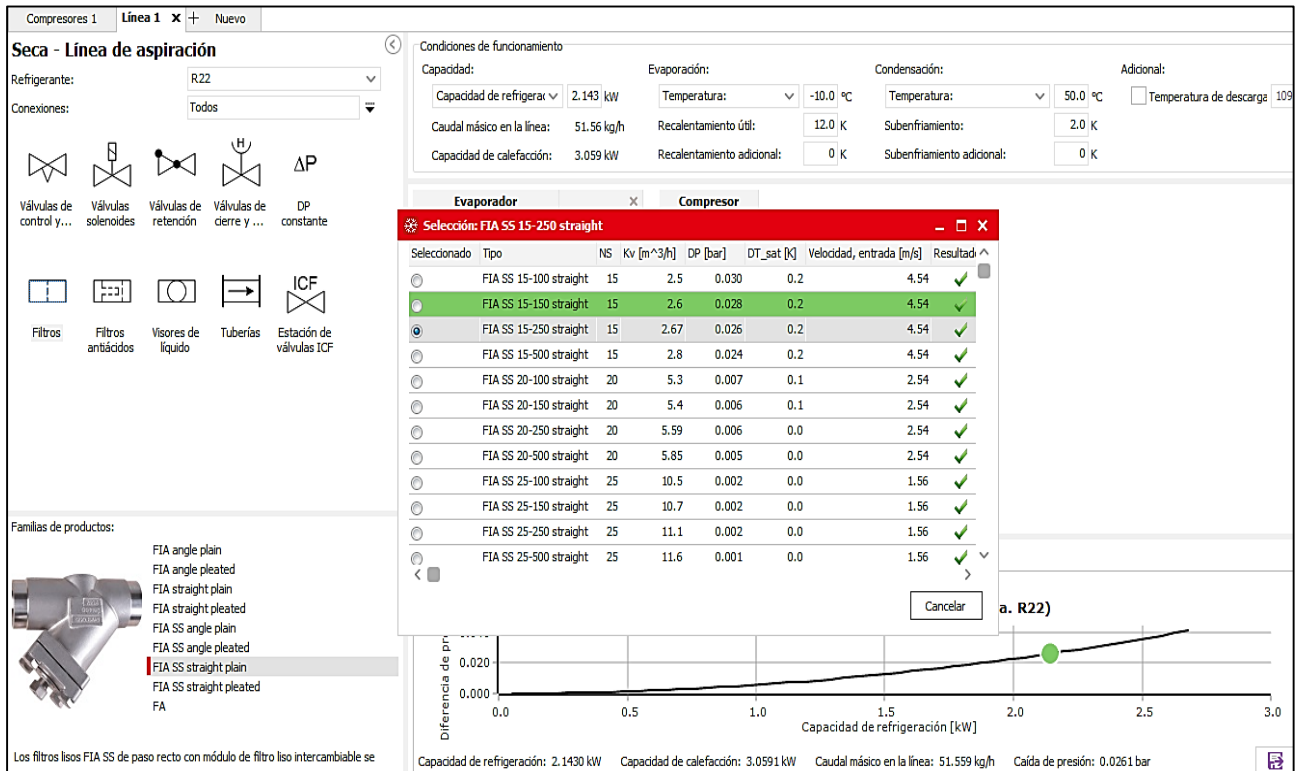


Figura 15. Filtros para el ciclo termodinámico del R22 en software Coolselector  
Fuente: Elaboración del equipo de investigación.

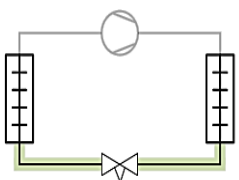
En la figura 15 se puede verificar que los filtros de refrigerante más adecuados según el software Coolselector son los filtros FIA SS straight plain FIA SS15-150.



Compresores 1 | Línea 1 | Filtro deshidratador 1 x + Nuevo

Sistema: Secca

Haga clic en el diagrama para seleccionar la línea:  
Línea seleccionada: Línea de líquido



Refrigerante: R22  
Conexiones: Todos  
Familias de productos: DCL, DML, DCR-DC, DCR-DM, DCC, DMC

Las carcasas DCR con módulo de filtro deshidratador DC intercambiable son aptas para refrigerantes HCFC y HFC. 80 % tamiz molecular, 20 % alúmina activada.

Condiciones de funcionamiento

Capacidad: Capacidad de refrigeración: 2.143 kW  
Evaporación: Temperatura: -10.0 °C  
Condensación: Temperatura: 50.0 °C  
Adicional:  Temperatura de descarga: 109.9 °C

Caudal másico en la línea: 51.56 kg/h  
Recalentamiento útil: 12.0 K  
Subenfriamiento: 2.0 K

Capacidad de calefacción: 3.059 kW  
Recalentamiento adicional: 0 K  
Subenfriamiento adicional: 0 K

Criterios de selección:

Caída de presión: 0.050 bar  
 Caída de temperatura de saturación: 0.1 K

Velocidad: 1.00 m/s

Línea de líquido (Sistema de expansión seca. R22. Filtro deshidratador).

Selección: DCR 0967-DC. La capacidad es demasiado alta o baja como para mostrar el gráfico de rendimiento Códigos seleccionados: (023U7066,023U4380)


Seleccionado	Tipo	NS	Kv [m <sup>3</sup> /h]	DP [bar]	DT_sat [K]	Velocidad, entrada [m/s]	Capacidad de secado a 24.0 °C [kg]	Capacidad de secado a 52.0 °C [kg]	Resultado
<input checked="" type="radio"/>	DCR 0485-DC	15	16.42	0.000	0.0	0.06	62.66	57.92	✓
<input type="radio"/>	DCR 0487-DC	20	0	0	0	0.03	62.66	57.92	✓
<input checked="" type="radio"/>	DCR 0967-DC	20	0	0	0	0.03	125.3	115.8	✓
<input type="radio"/>	DCR 0489-DC	25	12.21	0.000	0.0	0.02	62.66	57.92	✓
<input type="radio"/>	DCR 0969-DC	25	4.162	0.000	0.0	0.02	125.3	115.8	✓

Curva de rendimiento | Datos de rendimiento | Selección de códigos

La capacidad es demasiado alta o baja como para mostrar el gráfico de rendimiento

Figura 16. Filtro deshidratador para el ciclo termodinámico del R22 en software Coolselector  
Fuente: Elaboración del equipo de investigación.

En la figura 16 se puede verificar que el filtro deshidratador más adecuado para el sistema termodinámico según el software Coolselector es el DCR 0485-DC.



Compresores 1 | Línea 1 | Filtro deshidratador 1 | **Válvula de expansión electrónica 1** x + Nuevo

Sistema: Seca

Línea seleccionada: Línea de líquido

Refrigerante: R22

Conexiones: Todos

Familias de productos:

- ETS Colibri
- ETS 6
- ETS
- AKV
- AKVH
- AKV 10P
- AKV 10PS
- ICM**
- AKVA

Las válvulas motorizadas de accionamiento directo ICM son aptas para funciones ON/OFF, de control y de expansión con amoníaco, refrigerantes fluorados y CO<sub>2</sub>. Se controlan mediante un actuador ICAD. Las válvulas motorizadas ICM están disponibles completas y por partes, y cuentan con conexiones de acoplamiento directo.

Condiciones de funcionamiento

Capacidad: Capacidad de refrigeración: 2.143 kW | Evaporación: Temperatura: -10.0 °C | Condensación: Temperatura: 50.0 °C | Adicional: Temperatura de descarga: 109.9 °C

Caudal másico en la línea: 51.56 kg/h | Recalentamiento útil: 12.0 K | Subenfriamiento: 2.0 K

Capacidad de calefacción: 3.059 kW | Recalentamiento adicional: 0 K | Subenfriamiento adicional: 0 K

Criterios de selección:

Carga: 80 %

Caída de presión en el distribuidor: 0 bar

Línea de líquido (Sistema de expansión seca. R22. Válvula de expansión electrónica).

Selección: **ICM 20-A** Ningún código seleccionado

Seleccionado	Tipo	NS	Capacidad máxima [kW]	Capacidad mínima [kW]	Carga [%]	DP [bar]	Velocidad, entrada [m/s]	Resultado
<input checked="" type="radio"/>	ICM 20-A33	20	24.89	0.139	9	15.88	0.03	✓
<input type="radio"/>	ICM 20-A	20	74.34	0.416	3	15.88	0.03	✓
<input type="radio"/>	ICM 20-B66	20	194.5	1.060	1	15.88	0.03	✓
<input type="radio"/>	ICM 25-A33	25	245.4	10.01	1	15.88	0.02	⚠
<input type="radio"/>	ICM 20-B	20	287.1	1.590	1	15.88	0.03	✓

Curva de rendimiento

Datos de rendimiento | Selección de códigos

ICM 20-A

Línea de líquido (Sistema de expansión seca. R22. Válvula de expansión electrónica).

Grado de apertura [%]

Capacidad de refrigeración [kW]

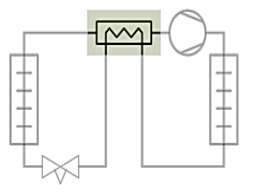
Capacidad de refrigeración: 2.1430 kW | Capacidad de calefacción: 3.0591 kW | Caudal másico en la línea: 51.559 kg/h | Grado de apertura: 19.5 % | Estado: Parcialmente ab

Figura 17. Válvula de expansión para el ciclo termodinámico del R22 en software Coolselector  
Fuente: Elaboración del equipo de investigación.

En la figura 17 se puede verificar que la Válvula de expansión más adecuada para el sistema termodinámico según el software Coolselector es la ICM 20-A33.


Compresores 1 | Línea 1 | Filtro deshidratador 1 | Válvula de expansión electrónica 1 | **Intercambiador de calor interno 1** x + Nuevo

Intercambiador de calor interno:



Refrigerante: R22

Familias de productos: HE



Intercambiador de calor interno HE.  
Diseño compacto y baja caída de presión. Para intercambiar el calor entre las líneas de aspiración y de líquido.  
Para refrigerantes HFC y HCFC.

Condiciones de funcionamiento

Capacidad: Capacidad de refrigeración: 2.143 kW  
Evaporación: Temperatura: -10.0 °C  
Condensación: Temperatura: 50.0 °C  
Adicional:  Temperatura de descarga: 109.9 °C

Caudal másico en la línea: 51.56 kg/h  
Recalentamiento útil: 12.0 K  
Subenfriamiento: 2.0 K

Capacidad de calefacción: 3.059 kW  
Recalentamiento adicional: 0 K  
Subenfriamiento adicional: 0 K

Selección: HE 0.5 Código seleccionado: 015D0002

Seleccionado	Tipo	DT gas [K]	DT liq [K]	DP gas [bar]	DP liq [bar]	Q [kW]	NS gas	NS liq	Resultado
<input checked="" type="radio"/>	HE 0.5	9.1	4.5	0.067	0.100	0.090	12	6	✓
<input type="radio"/>	HE 1.0	11.7	5.8	0.026	0.012	0.115	16	10	✓
<input type="radio"/>	HE 1.5	16.6	8.2	0.014	0.003	0.164	18	12	✓
<input type="radio"/>	HE 4.0	27.6	13.6	0.002	0.003	0.272	28	12	✓
<input type="radio"/>	HE 8.0	37.6	18.5	0.000	0.001	0.371	42	16	✓

Selección de códigos

Documentación e Imágenes... Código seleccionado: 015D0002 Limpiar filtros

Code Number	Type	Temperature range [°C]	Max. Working Pressure [bar]	Max. test pressure [bar]	Approval	Cantidad	Product name	Comentarios
✓ 015D0002	HE 0.5	-60.0 - 120.0	28.0	40.0	EAC	1	Tube-in-tube heat exchanger	Puede que no esté disponible e
015D0001	HE 0.5	-60.0 - 120.0	28.0	40.0	EAC	1	Tube-in-tube heat exchanger	Puede que no esté disponible e

Figura 18. Intercambiadores de calor para el ciclo termodinámico del R22 en software Coolselector  
Fuente: Elaboración del equipo de investigación.

En la figura 18 se puede verificar que los intercambiadores de calor más adecuado para el sistema termodinámico según el software Coolselector sería HE 0.5

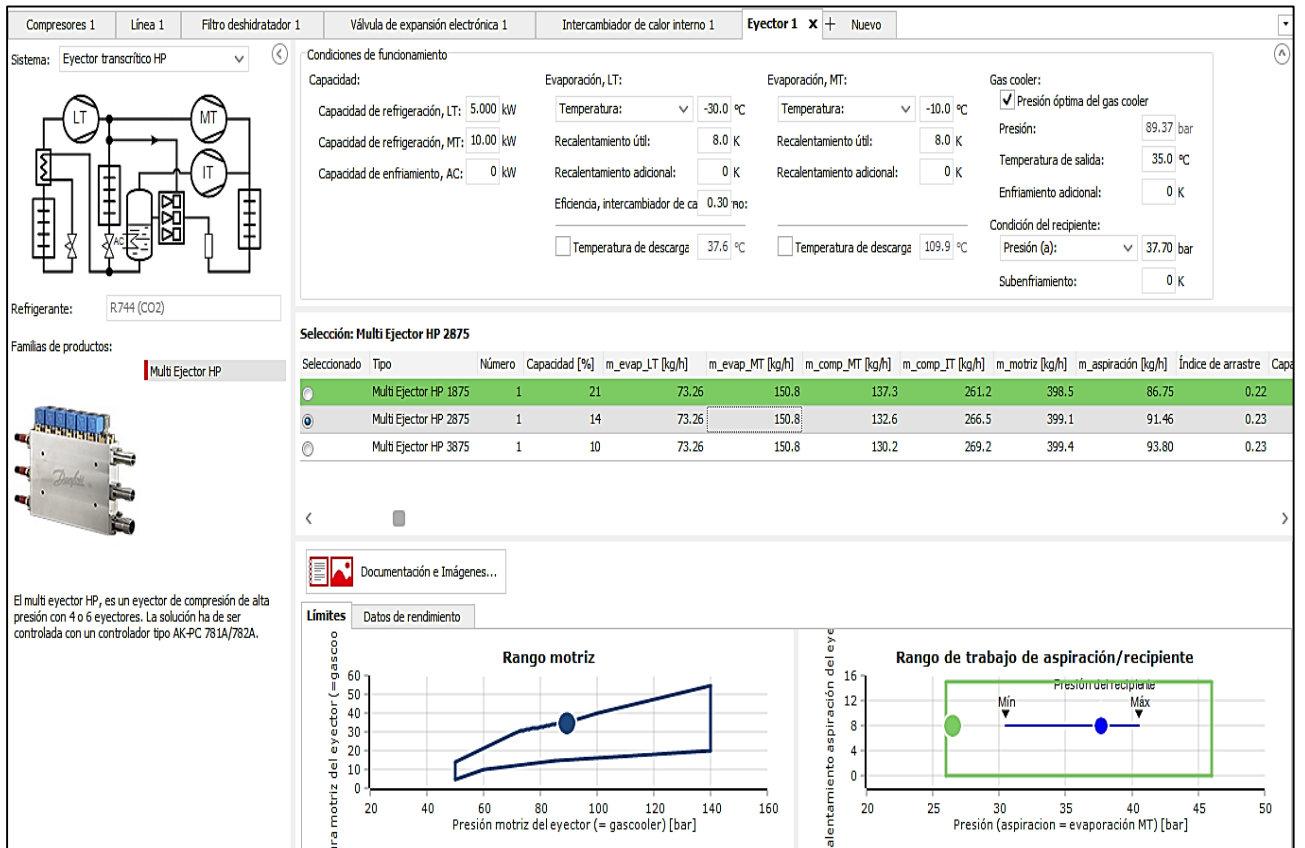


Figura 19. Eyector para el ciclo termodinámico del R22 en software Coolselector  
Fuente: Elaboración del equipo de investigación.

En la figura 19 se puede verificar que el eyector más adecuado para el sistema termodinámico el Multieyector Hp1815

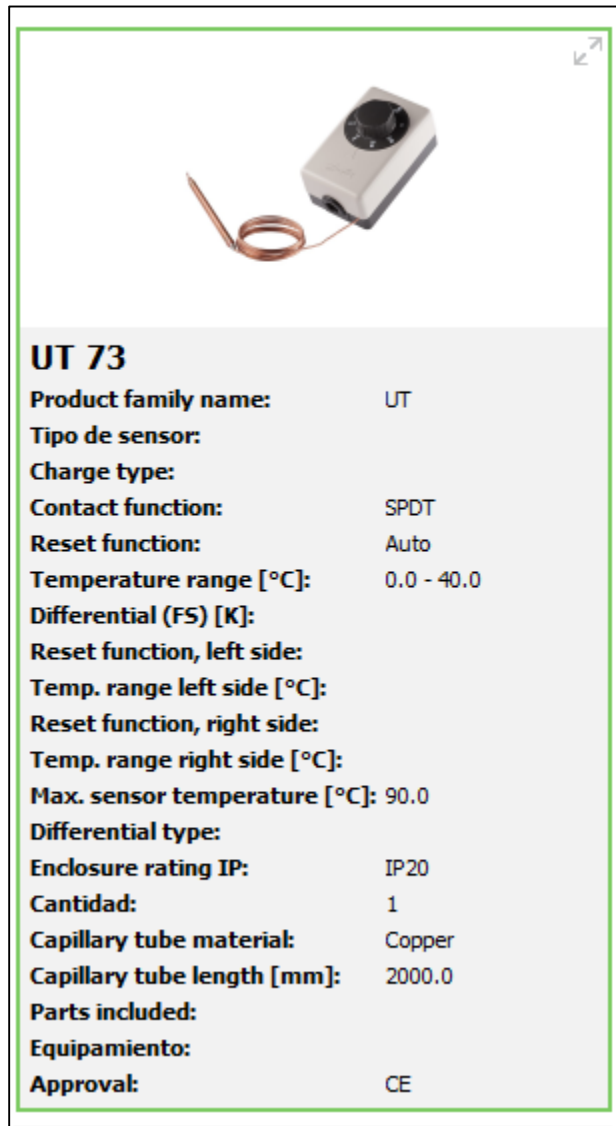


Figura 20. Termostato para el ciclo termodinámico del R22 en software Coolselector  
Fuente: Elaboración del equipo de investigación.

En la figura 20 se puede verificar que el Termostato más adecuado para el sistema termodinámico es el UT 73.

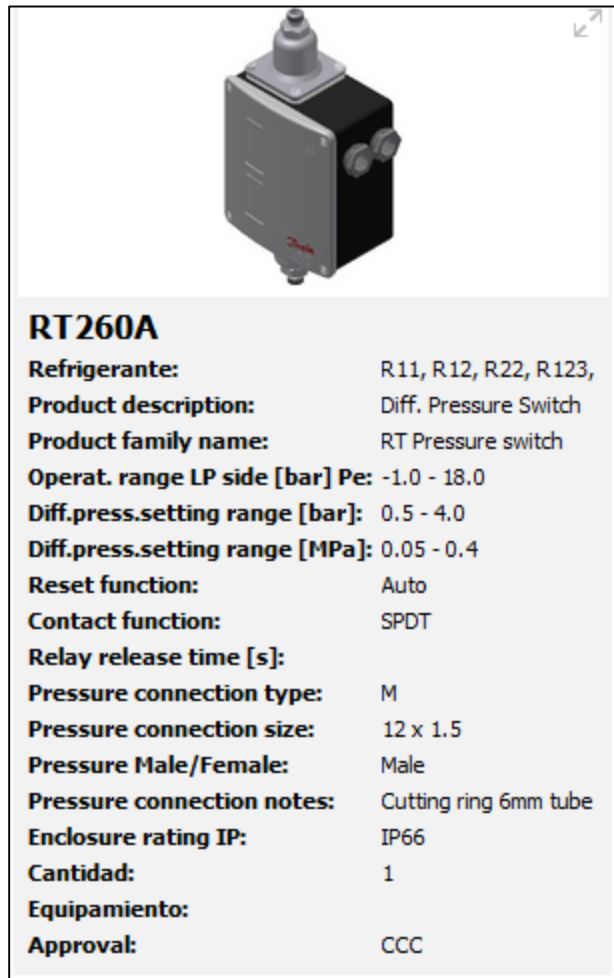


Figura 21. Presostato para el ciclo termodinámico del R22 en software Coolselector  
Fuente: Elaboración del equipo de investigación.

En la figura 21 se puede verificar que el Presostato más adecuado para el sistema termodinámico es el RT260A.

### 3.7. Costos, Materiales y equipos

En esta sección comentaremos las características geométricas y técnicas de elementos principales de la instalación de mayor interés del circuito frigorífico. La descripción presentada de los equipos lleva una secuencia acorde a la dirección del flujo refrigerante por el circuito. Los componentes descritos en este apartado son los que según estudios previos son los más adaptables, sin embargo finalmente será el software Coolselector que el determine la marca y modelo. Los componentes genéricos de un sistema de compresión son los siguientes:

- Compresor: El compresor montado en la instalación es un compresor alternativo de tipo abierto. Estos compresores se caracterizan por conseguir la reducción de volumen asociado al aumento de presión mediante movimiento longitudinal de un pistón en el interior del cilindro. El compresor deberá cubrir un rango de presiones extenso se propone un compresor con una compresión hasta de 30 bares o 3000 Kp, para que el ciclo térmico planteado funcione de manera adecuada. En la tabla 5 podemos ver la información de un compresor industrial que cumple con las características requeridas para la puesta en marcha del sistema de enfriamiento de San Lorenzo –Gloria SA.

Tabla 5  
Características técnicas del compresor

Equipo diseñado para uso intensivo, enfriado por aceite. Transmisión mediante correas.	
Panel electrónico de control para visualización, edición y control de parámetros del equipo.	
De fácil mantenimiento, permite que los servicios técnicos se realicen sin necesidad de un profesional especializado.	
Diseño compacto. Tanque incorporado para ocupar menos espacio físico.	
Nivel de ruido no supera los 80 db.	
Número de Modelo: CWM-1.2/30-YQH	Dimensión (L*W*H): 2000*1100*1600mm
Aplicación: Soplado de botellas PET	Nombre del produc... Compresor de aire HS código
Potencia del motor: 20HP/15KW	Presión: 3.0mpa/30 bares/435psi
Capacidad: 1.2m <sup>3</sup> /min	Silencio: No
Fuente de alimenta... Corriente alterna	Configuración: Papelería
Garantía: 1 año	Estilo de lubricación: Lubricado
Servicio postventa ... Ingenieros disponibles para la puesta en marcha en el extranj...	Condición: Nuevo
Voltaje: El requisito de cliente)	Certificación: Certificación CE
Tipo: PISTON	Peso: 640 kg

Fuente: (Belman Flores, 2008)

- Botella separadora de aceite: El refrigerante al salir del compresor va una botella de separación de aceite, la funcionalidad de este componente básicamente es la separación y recuperación del aceite transportado por el gas refrigerante en la fase de vapor a la salida del compresor. Este filtro limita la cantidad de aceite en el circuito frigorífico, permitiendo así aumentar el rendimiento de los intercambiadores de calor y evitar la obstrucción de la válvula de expansión y el desgaste anormal de los compresores por falta de aceite.



*Tabla 6*  
*Características técnicas del separador de aceite*

Modelo	OS-22
Volumen (L)	3.5
Temperatura máx. (°C)	100
Presión máx. (MPa)	2.8

*Fuente: (Belman Flores, 2008)*

- Línea de descarga: El refrigerante desde la descarga del compresor hasta que entra al condensador, pasa a través de la línea de descarga, ésta debido al espacio y posicionamiento de los distintos componentes de la instalación, está sobredimensionada en su longitud, ocasionando un desrecalentamiento.
- Condensador: El condensador tiene un diseño del tipo multitubular con tiro forzado. El diseño posibilita su inspección para la limpieza por ambos extremos. El intercambiador está expuesto a la intemperie, ocasionando un porcentaje de pérdida de energía al ambiente.

*Tabla 7*  
*Características técnicas del condensador*

Capacidad (kW)	25.8
Caudal lado carcasa (m <sup>3</sup> /h)	3.7
Pérdida de presión lado carcasa (MPa)	0.043
Volumen lado carcasa (m <sup>3</sup> )	0.0175
Volumen lado de los tubos (m <sup>3</sup> )	0.0024
Número de tubos (2 pasos)	10
Superficie lado refrigerante (m <sup>2</sup> )	2.87
Diámetro interno de los tubos (m)	0.013
Diámetro externo de los tubos (m)	0.016
Diámetro externo de la carcasa (m)	0.195
Diámetro interno de la carcasa (m)	0.183
Longitud de la carcasa (m)	0.87
Longitud del tubo (m)	0.8
Distancia entre centros en los tubos (m)	0.0195
Distancia entre tubos (m)	0.0035
Número de baffles	4
Número de filas de tubos verticales	4
Material de construcción acero al carbono	

*Fuente: (Belman Flores, 2008)*

- Filtro deshidratador: A la salida del condensador se encuentra un filtro deshidratador que sirve para mantener un nivel mínimo de humedad dentro del circuito, siendo ésta uno de los enemigos principales en un circuito frigorífico, debido a que puede acarrear problemas a corto y largo plazo dependiendo del tipo de refrigerante e instalación.

Tabla 8  
Características técnicas del filtro deshidratador

Modelo	4016/5
Tipo de bolas molecular	
Volumen (m <sup>3</sup> )	0.00025
Presión máx. (MPa)	2.8

Fuente: (Belman Flores, 2008)

- Válvula de expansión termostática: Después que el fluido refrigerante sale del condensador, y pasando a través del filtro deshidratador, se dirige a la válvula de expansión, la cual consta de un elemento termostático (1) separado del cuerpo de la válvula por una membrana. El elemento termostático está en contacto con un bulbo (2) a través de un tubo capilar, un cuerpo de válvula (3) y un resorte (4). Cuando la válvula regula, existe un balance entre la presión del bulbo por un lado de la membrana, la presión de evaporación, y del resorte por el lado opuesto de la membrana.
- Evaporador: El evaporador que dispone la instalación tendrá que ser fabricado, ya que tiene especificaciones especiales en tamaño y forma. Las dimensiones del evaporador son especificaciones del modelo termodinámico ya que el programa EES determinara los flujos máscicos y de volumen de los

dos fluidos (tanto del R22 y de la leche) para que exista una constante de remoción de calor eficiente para atender los aproximados 9 mil litros de leche diario que se enfría en el centro de enfriamiento San Lorenzo.

Adicionalmente el evaporador al entrar en contacto con leche debe cumplir estándares muy altos de calidad y salubridad.

*Tabla 9*  
*Características técnicas del evaporador*

<b>Características del evaporador</b>	
Material	Acero inoxidable
Forma del evaporador	Cilíndrico horizontal
dimensiones del tanque	A=100cm/ D=25cm
Dimensiones del serpentín	Tubo/ D= 0.5"/longitud 3100 cm/área= 1.24 m <sup>2</sup> /
Material de tubos de serpentín	Acero inoxidable
Entradas	3
Salidas	2
Distancia entre tubos	4 cm
Espesor de carcasa del tanque	0.6mm
Volumen lado de tubos	1.24 m cuadrados
Flujo másico de leche	1000ml/s
Resistencia a la presión	2800.0 Psi gas bajo presión de aire para garantizar la estanqueidad

*Fuente: Elaboración del equipo de trabajo.*

Hasta el momento hemos comentado las características técnicas generales acerca de los componentes del circuito frigorífico, recordando que los datos técnicos forman parte de la base del entendimiento y desarrollo del modelo presentado en esta tesis. Ahora, la otra parte importante de la instalación experimental para el desarrollo del modelo físico, es tener la instrumentación adecuada y oportuna para cada una de las

variables de interés. Adicionalmente a la hora de poner en marcha en este sistema en estudios se tiene que analizar también los costos inherentes.

Tabla 10  
Inversión inicial del sistema de refrigeración

ACTIVO FIJO	Descripción	Costo unitario	Cantidad	Total
<b>EDIFICACIONES</b>				<b>S/. 6,300.00</b>
<b>Edificación de edificio</b>	Plataformas y pisos	S/. 900	1	S/. 900.00
<b>Modificación e instalaciones</b>	conexiones de energía y flujos	S/. 1,000.00	1	S/. 1,000.00
<b>Laboratorio termodinámico</b>	Implementación	S/. 2,400.00	1	S/. 2,400.00
<b>Colocación del sistema termodinámico</b>	Construcción y acoplado	S/. 2,000.00	1	S/. 2,000.00
<b>MAQUINARIA Y Equipos</b>				<b>S/. 11,450.00</b>
<b>Tanque de evaporador</b>	Fabricación Tanque y serpentín	S/. 1,800.00	1	S/. 1,800.00
<b>Compresor</b>	Compresor industrial	S/. 3,500.00	1	S/. 3,500.00
<b>Condensador</b>	Fabricación	S/. 1,200.00	1	S/. 1,200.00
<b>Válvula de expansión</b>	Termostática	S/. 450.00	1	S/. 450.00
<b>Termostatos</b>	Digitales	S/. 2,100.00	1	S/. 2,100.00
<b>Equipos de mantenimiento</b>	Diversos	S/. 1,200.00	1	S/. 1,200.00
<b>Equipos de limpieza</b>	Diversos	S/. 1,200.00	1	S/. 1,200.00
<b>INTANGIBLES</b>				<b>S/. 5,000.00</b>
<b>Estudios de factibilidad</b>	Estudios de pre factibilidad	S/. 10,000.00	1	S/. 5,000.00
			<b>TOTAL</b>	<b>S/. 22,750.00</b>

Fuente: Elaboración del equipo de investigación.

La inversión inicial estimada del sistema de enfriamiento por compresión de gas refrigerante haciendo a 22 750 soles, el ítem más importante es el costo de la maquinaria y equipos. Este costo es un costo de implantación en una planta que tiene un sistema de enfriamiento, es decir que ya cuenta con otros componentes necesarios para echar a funcionar el sistema en investigación.

Tabla 11  
Costo operativo de enfriamiento de leche

Ítem	Unidad	Costo Unitario	Total Mensual
Lubricantes de maquinaria		4	80 S/. 320.00
Combustible		13	100 S/. 1,300.00
Energía Eléctrica		1	1200 S/. 1,200.00
Agua		1	250 S/. 250.00
R22		1	350 S/. 350.00
Mano de obra			S/. 4,000.00
		Total	S/. 7,420.00
Litros mes		243000	
Costo mensual	S/.	7,420.00	
Costo por Lt	S/.	0.031	

Fuente: Elaboración del equipo de investigación.

El costo de enfriar un Lt de leche con el sistema híbrido es de 0.048 soles y con el uso de gas refrigerante es de 0.031 soles, lo que significa una reducción de costos significativa, ya que el sistema de enfriamiento por ciclo termodinámico asegura el uso de horas máquinas y horas hombre de hasta un 30% menor al enfriamiento híbrido, lo que aseguraría una reducción de costos significativa.

La tabla 11 evidencia que la puesta en marcha de un sistema por compresión de gas para el proceso de enfriamiento, reduce al costo operativo de hasta 30% y su acople al sistema de enfriamiento en el centro de enfriamiento San Lorenzo es viable. En el anexo 14 se califica la viabilidad de costos iniciales y costos operativos de la puesta en marcha del sistema en mención y se termina que es viable.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusión

La presente investigación ha llegado a resultados que son congruentes con los resultados encontrados con la investigación de (Vega Iriarte, 2010) quien en su estudio “Diseño y construcción de equipo de refrigeración de leche cruda en sitio de producción” realizado en la Universidad Nacional de Colombia donde menciona que a escala industrial se usan métodos más sofisticados que usan gases de bajas temperaturas. En la presente investigación comprobamos con el uso de softwares termodinámicos que el uso de gases refrigerantes tienen un poder de enfriamiento suficiente para enfriar caudales de leche a nivel industrial.

En la presente investigación se han simulado parámetros de entrada y salida en el ciclo termodinámico simulado en los softwares computacionales como refiere (De la Rosa González, 2015) los modelos físicos son aquellos que aplican los principios físicos involucrando balances de masa, energía y cantidad de movimiento. Se basan en la incorporación de leyes físicas para la caracterización del sistema bajo estudio, al mismo tiempo involucran características geométricas de los componentes, propiedades de los fluidos y materiales, e inclusive datos o correlaciones proporcionadas por el fabricante. En la estructura de estos modelos es también posible identificar y ajustar parámetros mediante el conocimiento de datos experimentales. Los datos de temperatura y presiones usados en la presente investigación están acorde a la necesidad del poder de enfriamiento; es decir la relación caudal másico a enfriar de leche por segundo y el poder de enfriamiento del

sistema termodinámico. Es preciso señalar que para la validez de dichos parámetros el software calcula la consistencia de los mismos.

#### **4.2. Conclusiones**

Al analizar el sistema de enfriamiento en el centro San Lorenzo - Gloria SA del proceso de enfriamiento de leche se ha encontrado que este es un sistema de enfriamiento híbrido, tiene una velocidad de enfriamiento de 0.45 litros por segundo, y el costo operativo de es de 0.048 soles por litro.

El diseño del sistema de enfriamiento de leche en el centro San Lorenzo - Gloria sería un sistema de refrigeración por compresión de gases, ya que se ha demostrado en investigaciones anteriores que es el sistema más rápido y con más poder de enfriamiento.

Al simular el funcionamiento de un sistema de enfriamiento en el centro San Lorenzo Gloria SA para optimizar el tiempo en el proceso de enfriamiento de leche. Este proceso resulto tener una tasa de remoción de  $-93006.2W$  por segundo, con un coeficiente de rendimiento (COP) de 7.011 KW, y una velocidad de enfriamiento de 1 litro por segundo.

Al comparar el tiempo de enfriamiento de leche del sistema actual en el centro de acopio San Lorenzo Gloria SA. con el tiempo del nuevo sistema de enfriamiento diseñado, este resulta ser 2.22 veces más veloz ya que el antiguo sistema enfría a 0.45 litros por segundo y el nuevo sistema diseñado enfría en 1 litro por segundo.

Al comparar los costos operativos del sistema de enfriamiento de leche actual del centro de acopio o San Lorenzo Gloria SA con el costo operativo del nuevo sistema de enfriamiento diseñado, este asegura un ahorro del 30%.

## REFERENCIAS

- UPIBI - IPN. (2018). *Determinacion de la Capacidad Calorifica*. Recuperado el 22 de Noviembre de 23, de <https://es.slideshare.net/valida51/practica-1-determinacion-de-la-capacidad-calorifica>
- Abello Linde SA. (12 de Noviembre de 2019). *R134A*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2019, de [https://www.abellolinde.es/es/images/R-134a\\_tcm316-85645.pdf](https://www.abellolinde.es/es/images/R-134a_tcm316-85645.pdf)
- Angulo De La Sota, A. (2016). *Evaluación de sistemas de refrigeración para sistemas comerciales centralizados*. Castellón de la Plana: Universitat Jaume.
- Barillas Méndez, R. A. (2014). *Refrirregación Industrial: Evaporadores*. Merida: Instituto Universitario de la Frontera.
- Begazo Chara, D. A. (2014). *Tratamientos para la conservacion de la leche cloruro de sodio y estandarizacion de sales separacion por sedimentacion*. Arequipa: Universidad de San Agustin.
- Belman Flores, J. M. (2008). *Desarrollo de un modelo físico para una instalación de producción de frío por compresión de vapor utilizando el refrigerante R134a. Validación experimental y aplicación para la simulación energética*. . Castellon: Universitat Jaume.
- Cabanzón Labat, J. (2018). *Diseño y cálculo de un intercambiador de calor*. Cantabria: Universidad de Cantabria.

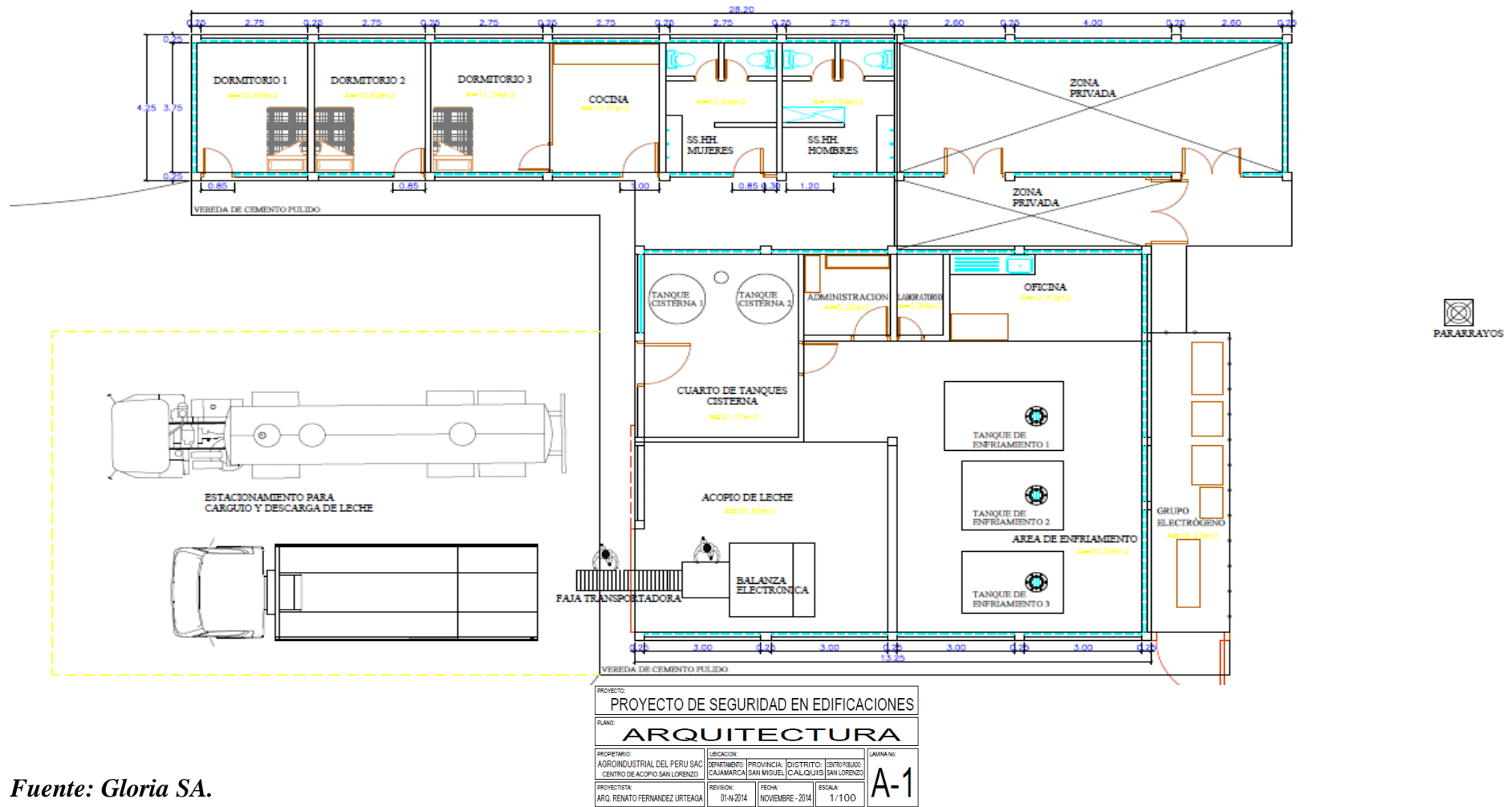


- Cañizales, M., & Ruiz, M. (2015). *Evaluación y diseño de un sistema para lograr el subenfriamiento en circuitos de refrigeración de mediana y baja capacidad*. Bárbula: Universidad de Carabobo.
- Castillo Cabrera, B. F. (2014). *Estudio Termodinámico de un sistema de refrigeración No frost con R600a*. Cuenca: Universidad Politecnica Salesiana.
- Cosme Pecho, R. (2015). *Ciclos de refrigeración*. Recuperado el 24 de Noviembre de 2019, de Inslide: <https://es.slideshare.net/irisyaninacamposjime/ciclos-de-refrigeracintermodinamica>
- De la Rosa González, G. A. (2015). *Los sistemas de refrigeración industrial pueden clasificarse en función de su diseño y de su principio básico de funcionamiento: agua o aire, o una combinación de ambos. el intercambio calorífico entre el medio de proceso y el refrigerante se intensifica*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Gloria SA. (2014). *Manuel de enfriamiento*. Cajamarca: Gloria SA.
- Gloria SA. (11 de 02 de 2019). *Gloria*. Recuperado el 11 de febrero de 2019, de <http://www.grupogloria.com/quienes.html>
- González Ruiz , J. D. (2012). *Estudio de impacto ambiental para el centro de regeneración de refrigerantes de la Universidad Pontificia Bolivariana*. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Guggenbühl , B., & Heine, D. (2014). *Development and Optimisation of a sensory method for training*. Berna Suiza: Bern University of Applied Sciences.

- Hernández Benedi, J. (2008). *La refrigeración de la leche*. Madrid: Ministerio de agricultura de España.
- Hernández Goríbar, E. (2009). *Fundamentos de Aire acondicionado y refrigeración*. Limusa: Rústica.
- Isaz, C. A., Pilatowsky, I., Romero, R. j., & Cortés, F. B. (2014). *Análisis termodinámico de un sistema de refrigeración solar por absorción usando soluciones de monometilamina -agua para la conservación de alimentos*. Colombia: Revisa Bio Agro.
- Moran, J. M., & Howard, N. S. (2004). *Fundamentos de la termodinamica termica*. Barcelona: Reverte.
- Padero Martin, M. (2014). *Montaje y mantenimiento de instalaciones frigorificas*. España: Paraninfo SA.
- TECSUP. (20 de Enero de 2014). *Ciclo básico de refrigeración*. Obtenido de [http://www.academia.edu/20269916/CICLO\\_BASICO\\_DE\\_REFRIGERACION](http://www.academia.edu/20269916/CICLO_BASICO_DE_REFRIGERACION)
- Vega Iriarte, L. A. (2010). *Diseño y construcción de equipo de refrigeración de leche*. Caqueta: Universidad Nacional de Colombia.

## ANEXOS

### Anexo N° 1. Plano de planta del centro de enfriamiento San Lorenzo.



Fuente: Gloria SA.

***Anexo N° 2. Tanque de enfriamiento de leche.***



***Fuente: (Gloria SA, 2014)***

### *Anexo N°3. Equipos del sistema de enfriamiento.*

#### **Equipos**

##### Compresor



Fuente: (Barillas Méndez, 2014)

##### Filtro separador de aceite



Fuente: (Barillas Méndez, 2014)

##### Condensador



Fuente: (Barillas Méndez, 2014)

Filtro deshidratador



Fuente: (Barillas Méndez, 2014)

Válvula de expansión térmica



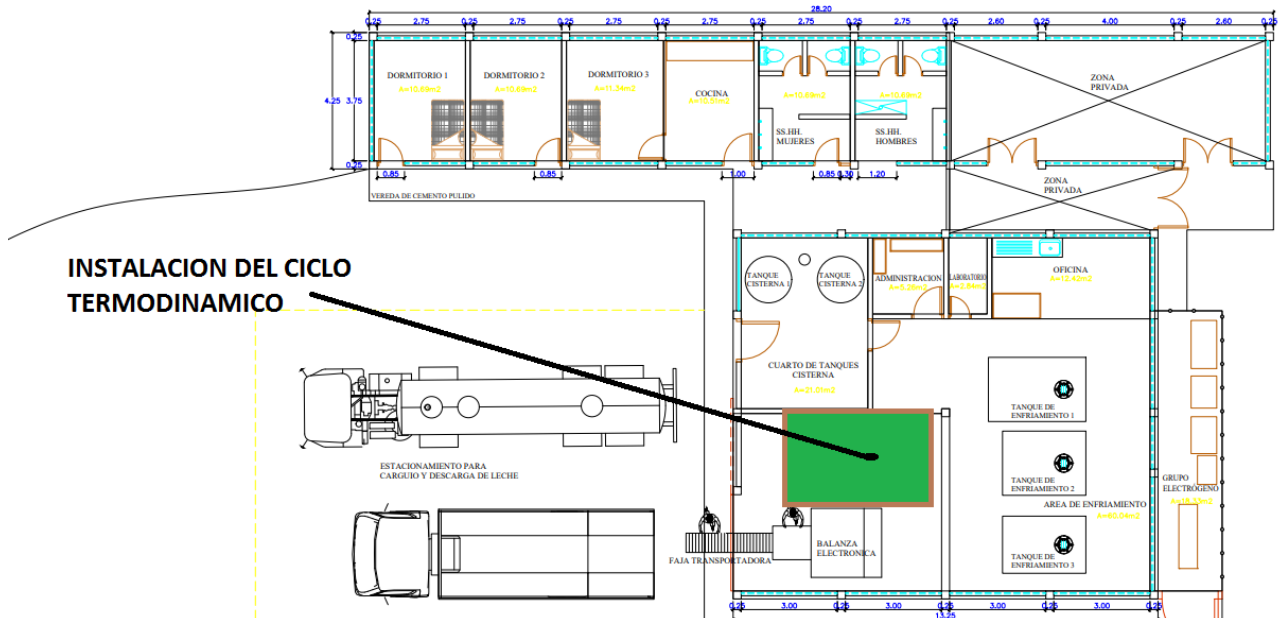
Fuente: (Barillas Méndez, 2014)

### Evaporador



Fuente: Elaboración del equipo de investigación

**Anexo N° 4. Ubicación del sistema de enfriamiento por ciclo termodinámico en la planta.**



**Fuente: Elaboración del equipo de investigación.**



### Anexo N°5. Costo de enfriamiento de Lt de leche con sistema

*Costo de enfriamiento de Lt de leche con sistema híbrido.*

Insumos para producción	Descripción	Unidad	Costo Unitario	Total Mensual
<b>Lubricantes de maquinaria</b>		2	80	S/. 160.00
<b>Combustible</b>		13	180	S/. 2,340.00
<b>Energía Eléctrica</b>		1	2400	S/. 2,400.00
<b>Agua</b>		1	250	S/. 250.00
<b>Mano de obra</b>				S/. 6,500.00
			<b>Total</b>	<b>S/. 11,650.00</b>
<b>Litros mes</b>		243000		
<b>Costo mensual</b>	S/.	11,650.00		
<b>Costo por Lt</b>	S/.	0.048		

*Fuente: Elaboración del equipo de investigación.*

**Anexo N° 6. Tabla de temperatura presión de gas saturado del R22.**

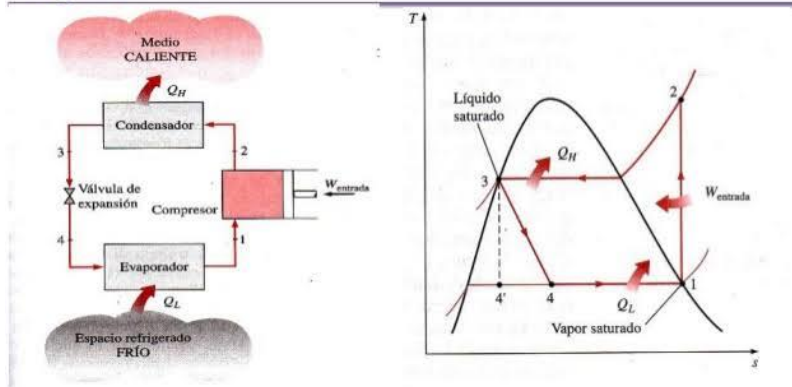
Temp. °F	(psig) VAPORES SATURADO														Temp. °C
	DuPont® Freon®		DuPont® Suva®						DuPont® ISCEON®						
	12 R-12	22 R-22	134a R-134a	MP39 R-401A	404A R-404A	407C R-407C	410A R-410A	507 R-507	MO29 R-422D	MO49Plus R-437A	MO59 R-417A	MO79 R-422A	MO99 R-438A		
-40	11.0"	0.6	14.8"	13.8"	4.3	4.6"	10.7	5.4	2.3"	12.5"	7.6"	3.1	5.2	-40	
-38	10.0"	1.4	13.9"	12.9"	5.3	3.2"	12.0	6.4	0.8"	11.5"	6.3"	4.1	3.8	-39	
-36	8.9"	2.2	13.0"	11.9"	6.3	1.6"	13.3	7.5	0.4	10.4"	4.9"	5.1	2.3	-38	
-34	7.8"	3.1	12.0"	10.9"	7.4	0.1"	14.7	8.6	1.2	9.3"	3.5"	6.1	0.8	-37	
-32	6.7"	4.0	10.9"	9.8"	8.5	0.8	16.2	9.8	2.1	8.1"	2.1"	7.2	0.4	-36	
-30	5.5"	4.9	9.8"	8.7"	9.6	1.6	17.7	11.0	3.0	6.9"	0.5"	8.3	1.2	-34	
-28	4.3"	5.9	8.7"	7.5"	10.8	2.5	19.3	12.2	3.9	5.6"	0.5	9.5	2.1	-33	
-26	3.0"	6.9	7.5"	6.2"	12.0	3.5	20.9	13.5	4.9	4.2"	1.3	10.7	3.0	-32	
-24	1.7"	8.0	6.3"	5.0"	13.3	4.4	22.6	14.8	5.9	2.8"	2.2	11.9	3.9	-31	
-22	0.3"	9.1	5.0"	3.6"	14.6	5.4	24.4	16.2	7.0	1.4"	3.1	13.2	4.9	-30	
-20	0.5	10.2	3.7"	2.2"	16.0	6.5	26.2	17.6	8.1	0.1	4.0	14.6	5.9	-29	
-18	1.3	11.4	2.3"	0.8"	17.4	7.6	28.1	19.1	9.2	0.8	5.0	16.0	7.0	-28	
-16	2.0	12.6	0.8"	0.3	18.9	8.7	30.0	20.6	10.4	1.6	6.0	17.4	8.1	-27	
-14	2.8	13.9	0.4	1.1	20.4	9.9	32.0	22.2	11.7	2.5	7.0	18.9	9.2	-26	
-12	3.6	15.2	1.1	1.9	22.0	11.1	34.1	23.8	12.9	3.4	8.1	20.5	10.4	-24	
-10	4.5	16.5	1.9	2.8	23.6	12.3	36.3	25.5	14.3	4.3	9.2	22.1	11.6	-23	
-8	5.3	17.9	2.8	3.6	25.3	13.7	38.5	27.2	15.6	5.2	10.4	23.7	12.9	-22	
-6	6.2	19.4	3.6	4.5	27.0	15.0	40.8	29.0	17.1	6.2	11.6	25.4	14.2	-21	
-4	7.2	20.9	4.6	5.4	28.8	16.4	43.2	30.9	18.5	7.2	12.8	27.2	15.6	-20	
-2	8.1	22.4	5.5	6.4	30.7	17.9	45.7	32.8	20.1	8.3	14.1	29.1	17.0	-19	
0	9.1	24.0	6.5	7.4	32.6	19.4	48.2	34.8	21.7	9.4	15.5	30.9	18.5	-18	
2	10.1	25.7	7.5	8.5	34.6	21.0	50.8	36.8	23.3	10.5	16.9	32.9	20.0	-17	
4	11.2	27.4	8.5	9.5	36.6	22.6	53.5	38.9	25.0	11.7	18.3	34.9	21.6	-16	
6	12.3	29.2	9.6	10.7	38.7	24.3	56.3	41.1	26.7	12.9	19.8	37.0	23.2	-14	
8	13.4	31.0	10.8	11.8	40.9	26.1	59.2	43.4	28.5	14.2	21.3	39.1	24.9	-13	
10	14.6	32.8	11.9	13	43.1	27.9	62.2	45.7	30.4	15.5	22.9	41.4	26.6	-12	
12	15.8	34.8	13.1	14.2	45.4	29.8	65.2	48.0	32.3	16.9	24.6	43.6	28.4	-11	
14	17.0	36.8	14.4	15.5	47.8	31.7	68.4	50.5	34.3	18.3	26.3	46.0	30.3	-10	
16	18.3	38.8	15.7	16.9	50.2	33.7	71.6	53.0	36.4	19.7	28.1	48.4	32.2	-9	
18	19.6	40.9	17.0	18.2	52.7	35.7	74.9	55.6	38.5	21.2	29.9	50.9	34.2	-8	
20	21.0	43.1	18.4	19.6	55.3	37.9	78.4	58.2	40.7	22.8	31.7	53.5	36.2	-7	
22	22.4	45.3	19.9	21.1	58.0	40.1	81.9	61.0	42.9	24.4	33.7	56.1	38.3	-6	
24	23.8	47.6	21.3	22.6	60.7	42.3	85.5	63.8	45.2	26.0	35.7	58.8	40.5	-4	
26	25.3	50.0	22.9	24.2	63.5	44.7	89.2	66.7	47.6	27.8	37.7	61.6	42.8	-3	
28	26.8	52.4	24.5	25.8	66.4	47.1	93.1	69.6	50.1	29.5	39.9	64.5	45.1	-2	
30	28.4	55.0	26.1	27.4	69.3	49.6	97.0	72.7	52.6	31.3	42.0	67.5	47.5	-1	
32	30.0	57.5	27.8	29.1	72.4	52.1	101.1	75.8	55.2	33.2	44.3	70.5	49.9	0	
34	31.7	60.2	29.5	30.9	75.5	54.8	105.2	79.0	57.9	35.1	46.6	73.6	52.5	1	
36	33.4	62.9	31.3	32.7	78.7	57.5	109.5	82.3	60.6	37.1	49.0	76.8	55.1	2	
38	35.1	65.7	33.1	34.6	82.0	60.3	113.9	85.7	63.5	39.2	51.5	80.1	57.7	3	
40	36.9	68.6	35.0	36.5	85.4	63.2	118.4	89.2	66.4	41.3	54.0	83.5	60.5	4	
42	38.7	71.5	37.0	38.5	88.8	66.1	123.0	92.7	69.4	43.5	56.6	87.0	63.3	6	
44	40.6	74.5	39.0	40.5	92.4	69.2	127.7	96.4	72.5	45.7	59.3	90.5	66.3	7	
46	42.6	77.6	41.1	42.6	96.0	72.3	132.6	100.1	75.6	48.0	62.0	94.2	69.3	8	
48	44.6	80.8	43.2	44.8	99.8	75.5	137.5	104.0	78.9	50.4	64.8	97.9	72.3	9	
50	46.6	84.1	45.4	47.0	103.6	78.8	142.6	107.9	82.2	52.9	67.8	101.8	75.5	10	
52	48.7	87.4	47.7	60.4	109.2	101.7	148.4	112.0	96.1	61.6	81.1	111.3	94.6	11	
54	50.9	90.8	50.0	63.0	113.3	105.6	153.8	116.2	99.8	64.4	84.4	115.4	98.3	12	
56	53.1	94.4	52.4	65.7	117.4	109.6	159.3	120.4	103.6	67.1	87.7	119.7	102.1	13	
58	55.3	98.0	54.9	68.4	121.7	113.7	164.9	124.7	107.4	70.0	91.1	124.0	105.9	14	
60	57.6	101.6	57.4	71.2	126.0	117.9	170.7	129.2	111.4	72.9	94.6	128.4	109.8	16	
62	60.0	105.4	60.0	74.1	130.5	122.3	176.6	133.7	115.4	75.9	98.2	132.9	113.9	17	
64	62.4	109.3	62.7	77.0	135.0	126.7	182.7	138.4	119.6	79.0	101.9	137.5	118.0	18	
66	64.9	113.2	65.4	80.0	139.7	131.2	188.9	143.1	123.8	82.1	105.6	142.3	122.2	19	
68	67.5	117.3	68.2	83.1	144.4	135.8	195.3	148.0	128.1	85.4	109.5	147.1	126.6	20	
70	70.1	121.4	71.1	86.3	149.3	140.5	201.8	153.0	132.6	88.7	113.4	152.1	131.0	21	
72	72.7	125.7	74.1	89.5	154.3	145.4	208.4	158.1	137.1	92.1	117.5	157.2	135.5	22	
74	75.5	130.0	77.1	92.8	159.4	150.3	215.2	163.3	141.7	95.5	121.6	162.3	140.2	23	
76	78.2	134.5	80.2	96.2	164.6	155.3	222.2	168.6	146.5	99.1	125.8	167.6	144.9	24	
78	81.1	139.0	83.4	99.7	169.9	160.5	229.3	174.1	151.3	102.8	130.1	173.0	149.8	26	
80	84.0	143.6	86.7	103.2	175.4	165.8	236.5	179.6	156.3	106.5	134.5	178.6	154.7	27	
82	87.0	148.4	90.0	106.8	181.0	171.2	244.0	185.3	161.4	110.3	139.1	184.2	159.8	28	
84	90.0	153.2	93.5	110.6	186.7	176.8	251.6	191.1	166.5	114.2	143.7	190.0	165.0	29	
86	93.2	158.2	97.0	114.4	192.5	182.4	259.3	197.1	171.8	118.2	148.4	195.9	170.3	30	
88	96.3	163.2	100.6	118.2	198.4	188.2	267.3	203.1	177.2	122.3	153.2	201.9	175.7	31	

\*: Mediciones en pulgadas de Hg.

**Fuente: (Moran & Howard, 2004)**

*Anexo N°7. Ciclo ideal de refrigeración por compresión.*

**El Ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor:** Se compone de 4 procesos:



- Proceso 1-2:** Compresión isentrópica en un compresor.
- Proceso 2-3:** Rechazo de calor a presión constante en el condensador.
- Proceso 3-4:** Estrangulamiento en un dispositivo de expansión.
- Proceso 4-1:** Absorción de calor a presión constante en el evaporador

*Fuente: (Cosme Pecho, 2015)*

**Anexo N°8. Temperatura Máxima y mínima en experimentos con el R22 en sistemas de compresión.**

**Tabla 2-4** Temperatura máxima y mínima en varios puntos del sistema.

TEMPERATURA °C						
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	Ingreso al Evaporador	Congelador	Refrigerador	Descarga del Compresor	Retorno al Compresor	Salida del condensador
<b>Máximo</b>	6.25	-7.52	5.51	62.23	31.35	33.24
<b>Mínimo</b>	-27.17	-17.16	3.14	25.35	-9.44	9.83

*Fuente: (Belman Flores, 2008)*

*Anexo N°9. Capacidad Calorífica de la leche.*

# experimento	Capacidad calorífica calorímetro J/g°C	Capacidad calorífica líquido problema experimental J/g°C	Capacidad calorífica líquido problema teórica J/g°C	% error
1	52.2875	418.3000	3.98	23.90
2	89.6357	627.4500	3.98	15.93
3	52.2875	418.3000	3.98	23.90

- La capacidad calorífica del calorímetro fue de 52.28 J/g°C, mientras que la capacidad calorífica experimental del líquido problema (leche entera de vaca) fue de 418.30 J/g°C, esta última se comparó con el valor teórico que es de 3.98 J/g°C, y arrojándonos un error de 23.90%.

*Fuente: (UPIBI - IPN, 2018)*

Anexo N°10. Características del R22

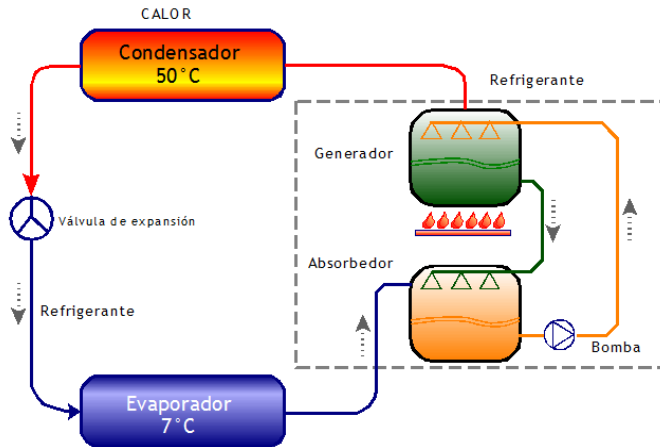
# R 22

FORMULA QUIMICA		CHClF <sub>2</sub>
NUMERO ASHRAE		R22
Peso Molecular		86.47
Temperatura de ebullición	°C	-40.8
Temperatura de congelación	°C	-160
Temperatura crítica	°C	96.15
Presión crítica	bar	49.88
Densidad crítica	Kg/l	0.513
Densidad del líquido (25°C)	Kg/l	1.19
Presión de vapor (25°C)	bar	10.44
Conductividad térmica del líquido (25°C)	W/m.K	0.0868
Conductividad térmica del vapor (25°C, 1.013 bar)	W/m.K	0.0113
Solubilidad en agua (25°C, 1.013 bar)	%	0.30
Viscosidad del líquido (25°C)	mPas	0.178
Viscosidad del vapor (25°C)	mPas	0.0127
Límite de Inflamabilidad en el Aire	% vol	ninguno

TEMP. (°C)	PRESION ABSOLUTA (bar)		DENSIDAD (dm <sup>3</sup> /kg)		ENTALPIA (kJ/Kg)		ENTROPIA (kJ/Kg.K)	
	BURBUJA	ROCIO	BURBUJA	ROCIO	BURBUJA	ROCIO	BURBUJA	ROCIO
-40	1.054	1.054	0.709	206.469	155.53	389.31	0.8254	1.8281
-35	1.321	1.321	0.716	167.364	160.95	391.78	0.8483	1.8175
-30	1.638	1.638	0.724	136.947	166.39	394.21	0.8708	1.8078
-25	2.012	2.012	0.732	113.026	171.87	396.61	0.8930	1.7987
-20	2.448	2.448	0.740	94.020	177.38	398.97	0.9148	1.7902
-15	2.953	2.953	0.749	78.775	182.94	401.28	0.9364	1.7822
-10	3.535	3.535	0.758	66.437	188.56	403.53	0.9578	1.7747
-5	4.201	4.201	0.767	56.376	194.24	405.71	0.9790	1.7676
0	4.958	4.958	0.777	48.085	200.00	407.82	1.0000	1.7608
5	5.815	5.815	0.788	41.223	205.84	409.84	1.0209	1.7543
10	6.779	6.779	0.799	35.498	211.78	411.77	1.0418	1.7481
15	7.859	7.859	0.811	30.691	217.82	413.60	1.0626	1.7420
20	9.063	9.063	0.824	26.628	223.99	415.31	1.0834	1.7361
25	10.401	10.401	0.838	23.176	230.29	416.89	1.1043	1.7302
30	11.882	11.882	0.852	20.225	236.74	418.32	1.1253	1.7243
35	13.514	13.514	0.868	17.690	243.37	419.58	1.1464	1.7183
40	15.309	15.309	0.885	15.500	250.19	420.65	1.1678	1.7122
45	17.275	17.275	0.903	13.598	257.23	421.50	1.1895	1.7058
50	19.424	19.424	0.923	11.939	264.53	422.11	1.2116	1.6992

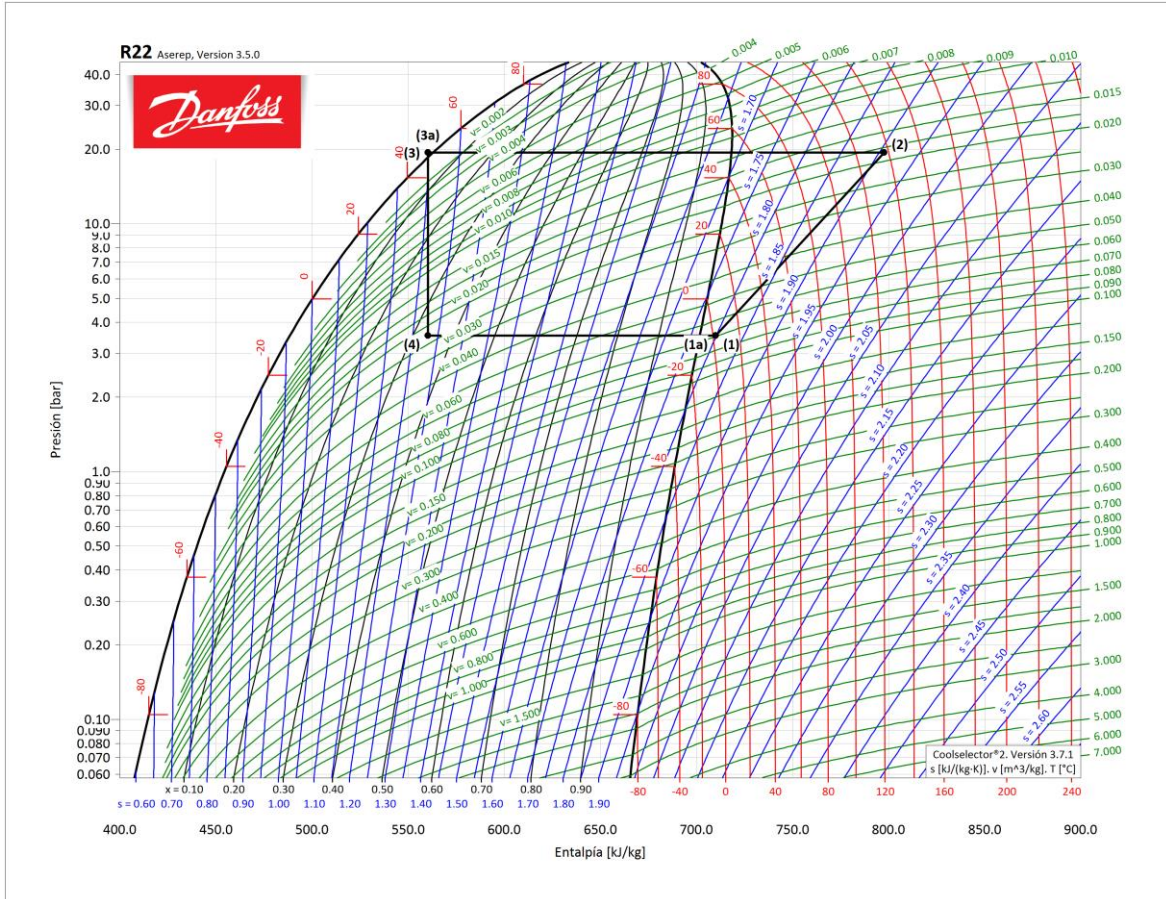
Fuente: (Cañizales & Ruiz, 2015)

**Anexo N°11. Ciclo termodinámico.**



**Fuente:** (Padero Martin, 2014)

**Anexo N°12: Diagram Log (p)- (h)**



**Fuente: Software coolselector.**



### ***Anexo N°13. Términos básicos y simbología***

GWP: Potencial de calentamiento atmosférico referido a la emisión a la atmósfera de 1 kg de CO<sub>2</sub>.

Mezcla isotrópica: Es una mezcla líquida de dos o más compuestos químicos que hierven a temperatura constante y que se comportan como si estuviesen formadas por un solo componente.

Retrofit: El Retrofit o Retrofitting es una técnica de renovación de instalaciones, equipos, maquinaria e incluso vehículos, basada en la actualización de componentes o accesorios más modernos o eficaces que los disponibles, o donde estos no existían.

Glide: Se define como la diferencia de temperaturas entre la salida y entrada del evaporador.

ODP: "Ozono Depletion Potential" Potencial de destrucción de ozono, cuantifica la capacidad de un gas para destruir o degradar la capa de ozono. Se trata de un valor relativo la referencia que se utiliza es el R-11 o CFC-11 que tiene un ODP de 1.

R22: es una mezcla de gases refrigerantes HFC y HC no azeotrópica, con cero agotamiento a la capa de ozono, utilizada como sustituto directo (drop-in) del R22 en equipos que dispongan de sistema de expansión regulable (TXV) de temperaturas de evaporación positivas y medias hasta -15°C.

R22: El R22 o clorodifluorometano es un gas incoloro comúnmente utilizado para los equipos de refrigeración, en principio por su bajo punto de fusión, (-157°C).

ALR = Pérdidas anuales (Annual Leakage Rate) .

COP = Coeficiente de rendimiento .

C<sub>p</sub> =Calor específico.

$C_{aee}$  = caudal volumétrico del gas en la entrada al evaporador.

EOL = Porcentaje de recuperación al final de la vida (End of Life Emissions).

EV = Válvula de Expansión .

GE = grado de recalentamiento estático, °C.

GWP = Global Warming Potential .

h = Entalpia .

H.R = Humedad Relativa.

L.T. = Baja Temperatura.

M.T. = Media Temperatura

N = régimen de giro del compresor, rpm.

P = Presión.

$p_{cond}$  = presión en el condensador.

$p_{evap}$  = presión del evaporador.

q = Energía Especifica.

Q = Potencia Frigorífica.

$Q_E$  = transferencia de calor, Kw, evaporador.

$Q_c$  = transferencia de calor, kW, condensador.

r = Ratio de compresión.

T = Temperatura.

$T_{ase}$  = Temperatura del gas a la salida al evaporado.

$T_{asc}$  = Temperatura del gas en la salida del condensador.

$T_{aec}$  = Temperatura del gas en la entrada al condensador.

$T_{aee}$  = Temperatura del gas a la entrada al evaporador.

$T_{ase}$  = Temperatura del gas en la salida del evaporador.

$V$  = Volumen.

$W_c$  = Trabajo de compresión.

$X_v$  = Título de vapor.

$\Delta T$  = Incremento de temperatura.

$\epsilon$  = Eficiencia térmica.

$\eta$  = Rendimiento.

$\lambda$  = Calor latente.

$v$  = Volumen específico.

$\rho$  = Densidad.

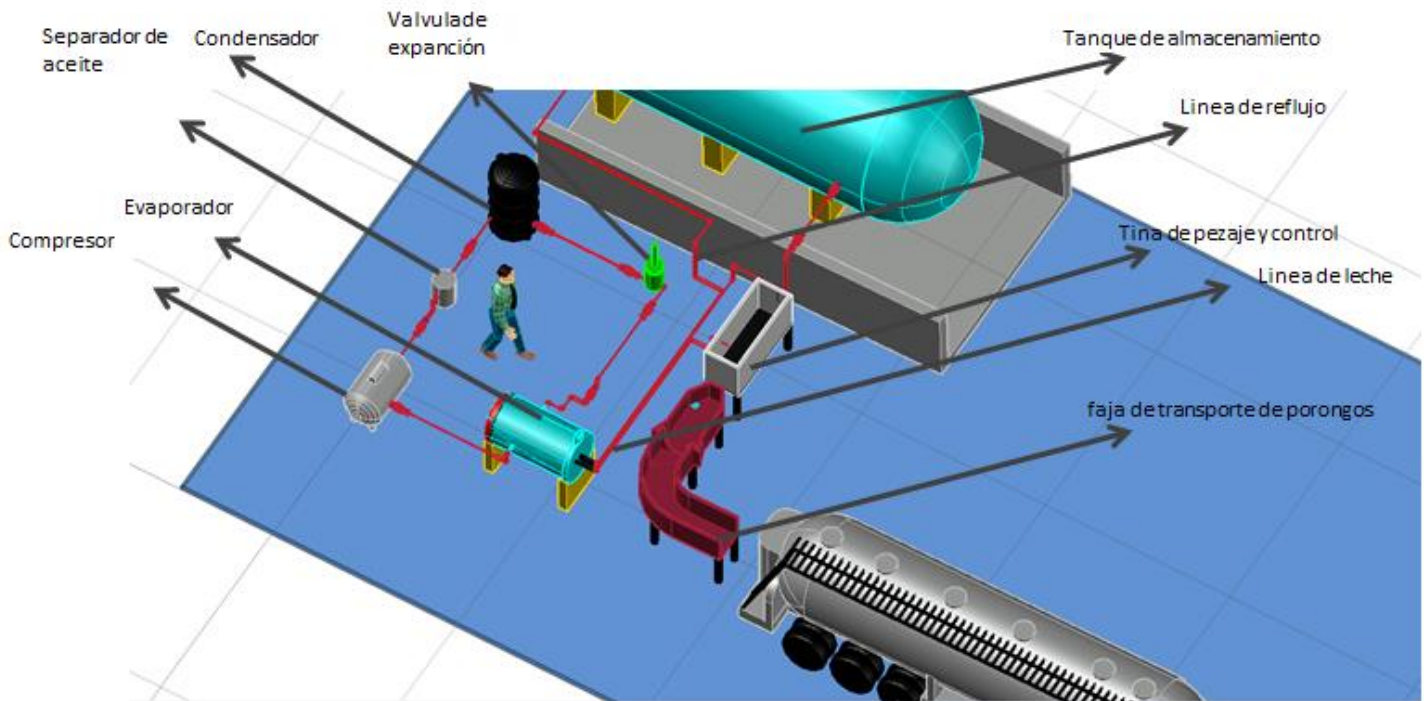
$\dot{m}$  = Caudal Másico.

**Anexo N°14. Viabilidad del modelo por compresión de gas**

Viabilidad del modelo por compresión de gas					Calificación
Calificación en escala de Likert					
Viabilidad			Escala de Likert		
Viabilidad del modelo en funcionamiento en planta			Escala de Likert		5
Viabilidad de costos de instalación y operativos					4
1=				5=	
Totalmente in viable	2=In viable	3=Neutro	4= Viable	Totalmente Viable	

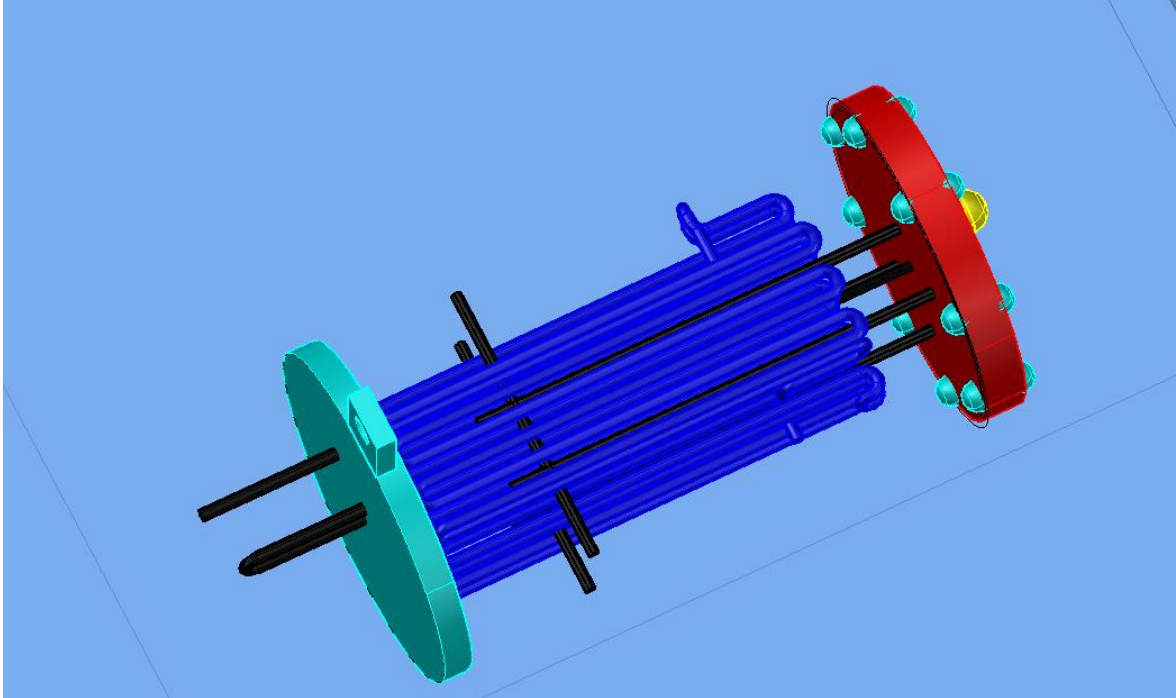
**Fuente: Elaboración del equipo de investigación.**

*Anexo N°15. Diseño en planta del ciclo termodinámico.*



*Fuente: Elaboración del equipo de investigación.*

*Anexo N°16. Diseño del evaporador.*



*Fuente: Elaboración del equipo de investigación.*