



**UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**

**DISEÑO DE TÚNEL DE CONGELACIÓN  
A BASE DE  $CO_2$  PARA LA MATERIA PRIMA  
DE ALIMENTOS DE ANIMALES.**

**Autor:**

**Alberto José Rincón Escalona**

**Tutor:**

**Ing. Alicia De Pizzella**

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego  
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394

J-30400858-9



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA**  
**UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO DE TÚNEL DE CONGELACIÓN A BASE DE  $CO_2$  PARA LA MATERIA  
PRIMA DE ALIMENTOS DE ANIMALES.**

Proyecto del Trabajo de Grado para optar al título de  
**INGENIERO MECÁNICO**

**Autor:**

Alberto José Rincón Escalona

**Tutor:**

Ing. Alicia De Pizzella

San Diego, septiembre 2022



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

**ACTA DE APROBACIÓN**

INFORME FINAL DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de Ingeniería para la evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado:

Diseño del Tunal de Congelación a Base de CO<sub>2</sub> para la maduración prima de abueños de animales

Realizado por el (la) Br. Alberto Rincón

C.I. N° 27 242 492 cursante de la carrera de Ingeniería Mecánica

hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral, considera que el Informe Final o Trabajo de Grado ha obtenido la calificación de:

APROBADO

NO APROBADO

**El Jurado**

Alberto Rincón  
Tutor Académico (Coordinador)  
Nombre: Alberto Rincón  
C.I.: 4598880

Jorge Estroza  
Jurado  
Nombre: Jorge Estroza  
C.I.: 12033474

L. ORTEGA  
Jurado  
Nombre: L. ORTEGA  
C.I.: 3476801

Fecha: 11/10/22

[Signature]





REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**CONSTANCIA DE APROBACIÓN PARA LA PRESENTACIÓN  
PÚBLICA DEL TRABAJO DE GRADO**

Quien suscribe, Alicia de Pizzella, portador de la cédula de identidad N° 4.598.880, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por el ciudadano Alberto J. Rincon E., portador de la cédula de identidad N° 27.242.492, titulado **DISEÑO DE TÚNEL DE CONGELACIÓN A BASE DE CO2 PARA LA MATERIA PRIMA DE ALIMENTOS DE ANIMALES.**, presentado como requisito parcial para optar al título de ingeniero mecánico, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 15 días del mes de septiembre del año dos mil veintidós.

Ing. Alicia De Pizzella  
C.V. 4.598.880

UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DECANATO DE INGENIERÍA



FI N 005 2022-2CR TG

Valencia, 08 de junio de 2022

Ciudadano:  
RINCON ESCALONA, ALBERTO JOSE  
27.242.492  
Presente -

Cumplo con informarle que la comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 6-2022 de fecha 12/05/2022 aprobó el proyecto de grado titulado:

**Diseño de túnel de congelación a base de CO2 para la materia prima de alimentos de animales.**

Presentado por usted como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico

Se ratifica la designación del Tutor Académico que lo asesorará en el desarrollo de este proyecto a:  
Ing. Alicia Teresa Yáñez de Pizzella, titular de la cédula de identidad V-4.598.880



Atentamente

Dr. Francisco Gelanzé Sevilla.  
Decano de Ingeniería

c.e. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado

## ÍNDICE

CONTENIDO	Pág.
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	x
<b>LISTA DE CUADROS</b> .....	xi
<b>RESUMEN INFORMATIVO</b> .....	xii
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO</b>	
<b>I EL PROBLEMA</b>	
1.1 Planteamiento del Problema.....	2
1.2 Formulación del Problema.....	3
1.3 Objetivos de la Investigación.....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Justificación.....	4
1.5 Alcance.....	5
<b>II MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 Antecedentes.....	6
2.2 Bases Teóricas.....	7
2.2.1. Túnel de congelación .....	7
2.2.2. Tipos de túnel de congelación .....	8
2.2.3. Ventajas del túnel de congelación .....	8
2.2.4. Importancia del túnel de congelación para carne en la industria alimenticia.....	9
2.2.5. Refrigeración.....	9
2.2.6. Sistema de refrigeración.....	10
2.2.7. Tipos de sistema de refrigeración .....	13
2.2.8. Ciclo básico de la refrigeración .....	15
2.2.9. Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) como refrigerante .....	17
2.2.10. Propiedades fisicoquímicas .....	18
2.2.11. Productos cárnicos .....	19
2.2.12. Carne fresca .....	20
2.2.13. Refrigeración carne fresca.....	20
2.2.14. Alimentación Animal .....	22
2.2.15. Necesidades nutricionales de los animales .....	22
2.3 Bases Legales.....	22
2.4 Definición de términos básicos .....	23

<b>III</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b>	
	3.1 Tipo de Investigación.....	27
	3.2 Diseño de la Investigación.....	27
	3.3 Nivel de la investigación.....	27
	3.4. Población y muestra.....	28
	3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	28
	3.5.1. Técnicas de Recolección de Datos.....	28
	3.5.2. Instrumentos de Recolección de Datos.....	29
	3.6. Fases metodológicas.....	29
<b>IV</b>	<b>RESULTADOS</b>	
	4.1 Diagnóstico el estado actual de almacenaje de la materia prima para elaboración de alimento de animales.....	31
	4.1.1 Resultados de la entrevista.....	35
	4.2 Selección del refrigerante a utilizar .....	36
	4.2.1 Propuesta de alternativa para la selección del tipo de refrigerante a usar.....	36
	4.2.2 Sistema representativos para las alternativas I, II y III ....	37
	4.2.3 Criterios de evaluación y escogencia de la propuesta .....	39
	4.2.3.1 Lista de criterios y restricciones que debe cumplir el dispositivo de conversión de energía.....	39
	4.2.3.2 Aplicación de las restricciones y criterios para la selección de la mejor posible solución .....	40
	4.3 Establecer el proceso adecuado de congelación criogénica para una buena conservación de la materia prima .....	42
	4.4 Determinar las cargas térmicas.....	44
	4.4.1 Cantidad total de calor sensible y latente .....	45
	4.4.2 Calor por conducción .....	52
	4.4.3 Calor por convección .....	55
	4.4.4 Fuentes internas .....	56
	4.5 Diseñar y seleccionar los equipos y materiales a utilizar en el túnel de congelación Selección .....	60
	4.5.1 Sistema de R744 .....	60
	4.5.2 El sistema de doble etapa de compresión .....	62
	4.5.3 Selección de Rack de compresores para $CO_2$ .....	63
	4.5.4 Selección de gas cooler .....	75
	4.5.5 Parámetros de entrada para la selección del evaporador de $CO_2$ .....	77
	4.5.6 Tuberías y accesorios del sistema .....	79
	4.6 Simular las condiciones de funcionamiento del túnel de congelación en AutoCAD y programas que brindan los fabricantes de los equipos de refrigeración .....	80

**CONCLUSION..... 85**  
**RECOMENDACIONES ..... 86**  
**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 87**

**ANEXOS**

**A Paneles..... 91**  
**B Rack de compresores..... 92**  
**C Gas Coole..... 93**  
**D Evaporador Gunter..... 94**

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>	<b>PAG</b>
1 Máquina térmica .....	12
2 Máquina frigorífica .....	12
3 Sistema de refrigeración por compresión .....	14
4 Sistema de refrigeración por absorción .....	15
5 Esquema del ciclo básico de refrigeración .....	15
6 Diagrama del ciclo básico de refrigeración .....	17
7 Significado de las abreviaturas del diagrama de ciclo básico de refrigeración .....	17
8 Propiedades fisicoquímicas .....	18
9 Variación de la carne en refrigeración .....	21
10 Tanque colector de Amoniaco .....	32
11 Sistema de rack de compresores .....	34
12 Refrigerante R134a .....	38
13 Refrigerante R410 .....	38
14 Refrigerante CO <sub>2</sub> .....	39
15 Carne en buen estado .....	43
16 Datos de Productos .....	44
17 Plano Túnel congelación .....	46
18 Vista ISO del túnel .....	47
19 Paleta de madera .....	48
20 Distribución dentro del túnel .....	49
21 Cesta de almacenaje .....	50
22 Características de productos .....	51
23 Panel de aislamiento .....	52
24 Distribución Modo Cava .....	59
25 Sistema transcrito y Subcritico .....	61
26 Variación de presión de descarga .....	61
27 Sistema Doble Etapa .....	62
28 Interfaz Software BITZER .....	63

<b>29</b>	Parámetros para la selección de compresores .....	65
<b>30</b>	Compresores alta temperatura .....	66
<b>31</b>	Compresores media temperatura .....	66
<b>32</b>	Compresor en paralelo .....	67
<b>33</b>	Esquema mecánico .....	67
<b>34</b>	Diagrama Mollier R744 .....	68
<b>35</b>	Vista frontal Compresor BT .....	70
<b>36</b>	Vista lateral Compresor BT .....	70
<b>37</b>	Vista planta Compresor BT .....	71
<b>38</b>	Vista frontal Compresor TP .....	72
<b>39</b>	Vista lateral Compresor TP .....	72
<b>40</b>	Vista planta Compresor TP .....	73
<b>41</b>	Vista frontal Compresor Etapa Paralelo .....	74
<b>42</b>	Vista lateral Compresor Etapa Paralelo .....	74
<b>43</b>	Vista Planta Compresor Etapa Paralelo .....	75
<b>44</b>	Catalogo Gas Cooler .....	76
<b>45</b>	Características Gas Cooler .....	76
<b>46</b>	Parámetros en Software Guntner .....	77
<b>47</b>	Evaporador Guntner .....	78
<b>48</b>	Ubicación de los evaporadores .....	81
<b>49</b>	Vista lateral de los evaporadores .....	82
<b>50</b>	Vista SO 3D del túnel de congelación .....	83
<b>51</b>	Vista SE 3D del túnel de congelación .....	84

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA</b>	<b>PAG</b>
<b>1</b> Comparación de restricciones vs. Posibles Soluciones .....	40
<b>2</b> Ponderación de criterios .....	41
<b>3</b> Parámetros de puntuación .....	41
<b>4</b> Ponderación de soluciones de acuerdo a criterios de selección .....	41
<b>5</b> Evaluación de soluciones .....	42
<b>6</b> Áreas de paredes, piso y techo en $m^2$ .....	53

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CUADRO</b>	<b>PAG</b>
<b>1</b> Matriz FODA .....	35
<b>2</b> Alternativas para la selección .....	37
<b>3</b> Criterios y restricciones .....	40



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

## DISEÑO DE TÚNEL DE CONGELACIÓN A BASE DE $CO_2$ PARA LA MATERIA PRIMA DE ALIMENTOS DE ANIMALES

**Autor:** Rincon E. Alberto J.

**Tutor:** Ing. Alicia de Pizzella

Fecha: Septiembre, 2022

### RESUMEN INFORMATIVO

La conservación de los alimentos es un tema de gran importancia, ya que evita el crecimiento de bacterias. Las temperaturas de refrigeración se deben mantener por debajo de  $4^{\circ}C$  para que se mantengan en buenas condiciones. Es por esto que se plantea el presente trabajo de grado titulado “**diseño de túnel de congelación a base de  $CO_2$  para la materia prima de alimentos de animales**” el cual tiene como principal, objetivo mostrar una alternativa viable para la conservación de frío y así poder satisfacer el consumo de alimentos de animales de una manera más eficiente. Metodológicamente es un proyecto factible, cuyas técnicas de recolección de información está basada en la observación directa, entrevistas y revisión documental. Para su desarrollo se hizo la selección del refrigerante, aplicando el método de Vilches, resultando el  $CO_2$ , por sus características. Luego se llevó a cabo el análisis de la carga térmica, dimensionamientos, para así cumplir con los criterios técnico y variables para el diseño y funcionamiento. De esta forma se procedió a desarrollar una vista digitalizada de lo que será el túnel de congelación.

Descriptores:  $CO_2$ , túnel de congelación ,refrigeración

## INTRODUCCIÓN

La carne y los elaborados cárnicos desempeñan un papel fundamental en la alimentación, es muy recomendable en todas las etapas de la vida. El Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN), recomienda incluirlos en la alimentación de la población, debido a que proveen una fuente de proteína de alto valor biológico fácilmente asimilables por nuestro organismo. El frío en la industria cárnica es clave, la refrigeración de la misma está presente en cada proceso. La exposición de la carne al frío (refrigerando o congelando), es una forma garantizada de ralentizar el crecimiento de las bacterias, evitando que se descomponga y sea una amenaza para la salud.

En definitiva, las bacterias crecen más rápido en un rango de 4°C a 60°C, conocida como zona de peligro. En este rango las bacterias pueden llegar a duplicarse en menos de 20 minutos. La única forma de proteger los alimentos para el apto consumo de la población, es manteniéndolos bajo un ajuste de menos 4°C. Basado en los datos presentados anteriormente, el presente trabajo de grado, asumió como finalidad proponer “diseño de túnel de congelación a base de  $CO_2$  para la materia prima de alimentos de animales” se estructuró el trabajo en cuatro capítulos cuyos contenidos se establecen a continuación:

Capítulo I: Llamado el problema, en este se detalló el planteamiento del problema, se especificaron los objetivos de este trabajo de grado tanto los específicos como los generales, se indicaron las razones que motivaron la realización de este estudio

Capitulo II: El marco teórico el cual tiene como finalidad fundamentar la investigación a través de antecedentes de trabajos de grados realizados anteriormente los cuales están relacionados con la temática, posteriormente se incluyen las bases teóricas, legales y las definiciones de términos

Capitulo III: En el marco metodológico se encuentra la definición metodológica del nivel, tipo y diseño del presente trabajo de grado, como también la población y muestra del estudio acompañado de las técnicas e instrumentos utilizados para llevarse a cabo dicho proyecto

Capitulo IV: En este capítulo presentan los cálculos para los equipos y materiales que serán necesario para llevar a cabo el diseño del proyecto. Por último, las conclusiones y recomendaciones.

## **CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA**

#### **1.1 Planteamiento del problema**

Los alimentos para animales, son productos naturales, procesados o semi procesados, los cuales provienen de subproductos de los procesos agroindustriales, desechos de plantas procesadoras de alimentos para el hombre, pastos y forrajes. Sin embargo, todos estos productos o sub productos deben encontrarse en perfecto estado, no se les debe administrar a los animales, alimentos viejos, dañados, con hongos o crecimiento microbiano. Las empresas encargadas de procesar estos alimentos para animales necesitan protegerlos del deterioro. También las empresas productoras de alimentos (carnes, pollos, pescado) buscan exportar, almacenar y vender productos ya sean preparados o crudos sin que estos se vean afectados por su descomposición natural y perjudicando sus propiedades organolépticas como lo son: coloración, sabor, textura, olor, vitaminas, etc.

En el año 2005 se presentó una situación muy particular en Venezuela, empezaron a morir varios perros por razones desconocidas. Los veterinarios al ver que estaban aumentando más y más los casos, empezaron a estudiar la situación con delicadeza, después de una seria de estudio, se detectó que la comida utilizada era la causa de las muertes, los dueños le estaban dando a sus mascotas Dog Chow. Posterior de varias víctimas, es publicado en prensa un comunicado de Purina de Venezuela donde anunciaba el retiro de los productos CAT CHOW y DOG CHOW del mercado debido a "reportes de veterinarios que aparentemente relacionan problemas de salud al consumo de alimentos procesados".

Meses después la empresa emite otro comunicado anunciando que los análisis realizados han revelado la presencia de toxinas producidas por hongos en los productos bases en el caso de los tipos de perrarina que eran elaborados utilizando carnes como materia prima para los alimentos como Dog Chow en un número limitado de lotes de fabricación y han decidido el retiro del mercado de todos los productos Purina fabricados en Venezuela, recomendando a todos los consumidores suspender inmediatamente la alimentación de sus mascotas con estos productos Purina

En este orden de ideas, la congelación es uno de los métodos utilizados para conservar comestibles ya que en el país se presentan muchas fallas eléctricas. Como consecuencia por los cambios químicos desarrollados en los seres vivos se reducen sensiblemente a temperaturas inferiores a 0°C. Sin embargo, el proceso debe realizarse con rapidez, de tal modo que el producto forme, en muy poco tiempo, cristales que no rompan las membranas celulares y el alimento mantenga su sabor y su valor nutritivo. Las temperaturas deben oscilar entre 20 a 40 grados bajo cero, el campo de la refrigeración comercial ha estado abastecido hasta el día de hoy por hidrofluorocarbonos (HFC), como el R134a, el R404a o el R5071. Sin embargo, debido a su alto potencial de calentamiento atmosférico (PCA)

En la búsqueda por encontrar sustitutos de los HFC que, evidentemente, cumplan con los requisitos de la normativa F-Gas, destaca el R744 (dióxido de carbono). Se trata de una sustancia natural, que es bien conocida por no ser tóxica ni inflamable y cuyo PCA es igual a la unidad, es decir, habría que emitir 3.922 kg de R744 para equiparar el daño que produce en el medio ambiente la emisión de 1 kg de R404a. Sin embargo, una propiedad de este compuesto que marca significativamente su operativa en sistemas de refrigeración es su bajo punto crítico (31,06°C y 73,6 bar). El punto crítico del R744 supone que, al operar en climas fríos donde la temperatura ambiente es inferior a la crítica, el sistema reportará eficiencias tan altas como las obtenidas con los sistemas actuales.

Por ello, es una solución totalmente implementada a la hora de diseñar túneles de congelación para ayudar al medio ambiente y que cumplan satisfactoriamente con los requisitos y características necesarias para las que son diseñados, por tanto, la razón de ser de este proyecto es encontrar configuraciones de sistemas frigoríficos que trabajen con R744 como refrigerante y que, en condiciones transcritas, permitan alcanzar eficiencias tan altas como las de los sistemas suscriticos. De este modo, se justificaría la empleabilidad del dióxido de carbono y se solucionaría la problemática actual en el sector de la refrigeración comercial. El modelo base de sistema transcrito a optimizar será un túnel de congelación básico con  $CO_2$ .

## **1.2 Formulación del proyecto**

¿Cómo se pueden almacenar en perfectas condiciones la materia prima para alimentos de animales y así aprovechar todos sus beneficios de la mejor manera?

## **1.3 Objetivos de la investigación**

### **1.3.1 Objetivo general**

Diseño de túnel de congelación a base de  $CO_2$  para la materia prima de alimentos de animales.

### **1.3.2 Objetivo específico**

- Diagnóstico del estado actual de almacenaje de la materia prima para elaboración de alimento de animales
- Selección del refrigerante a utilizar
- Establecer el proceso adecuado de congelación criogénica para una buena conservación de la materia prima
- Determinación de las cargas térmicas
- Diseño y selección de los equipos y materiales a utilizar en el túnel de congelación
- Simulación de las condiciones de funcionamiento del túnel de congelación en AutoCAD y programas que brindan los fabricantes de los equipos de refrigeración

## **1.4 Justificación de la investigación**

Los túneles de congelación cumplen con un importante rol: congelar rápidamente los alimentos. La conservación de alimentos para animales es de gran importancia ya que deben soportar largos viajes sin degradarse lo más mínimo. Así, estos equipos garantizan una congelación óptima y que no altere el alimento. Desde lo económico, estos túneles de congelación, disminuyen costos al conservar los alimentos por mucho tiempo, ya que impide la creación de grandes cristales de hielo que rasguen los tejidos como también se evitan pérdidas económicas por daños en los productos por fallas eléctricas. Con este proceso, los alimentos duran más tiempo congelados, y cuando se reverte este proceso sueltan menos agua. Los diseños de estas máquinas suelen adaptarse a las necesidades de la industria alimentaria y se utilizan materiales que no afectan a estos delicados productos.

Desde lo ambiental, son fabricados siguiendo las normativas de higiene, respetan el medio ambiente y su seguridad está totalmente garantizada, por lo que no hay que preocuparse de poner en peligro los alimentos que se congelen ni los trabajadores que lo lleven a cabo. Por suerte esta maquinaria es fácil de mantener y su coste también es muy reducido. Limpiarla es tan sencillo

como el de una cámara frigorífica, no es necesario un personal especializado y los tiempos de limpieza son muy cortos, por lo que podrá estar lista para seguir funcionando en muy poco tiempo.

### **1.5 Alcance**

El alcance será el diseño del túnel de congelación que trabaja con  $CO_2$ , aprovechando los beneficios y la buena eficiencia que este tipo de sistema contiene a nivel industrial

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes

Rodríguez y Montaña (2021) en su trabajo de investigación para optar al título de Ingeniero Mecánico en la Universidad José Antonio Páez cuyo título presentado fue **“propuesta de túnel de congelación para el almacenamiento de productos cárnicos en la “Almacenadora Torgus c.a”, valencia estado Carabobo”** Cuyo objetivo principal fue proponer el diseño de un Túnel de congelación para el almacenamiento de productos cárnicos en la “Almacenadora Torgus C.A”, ubicada en Valencia Estado Carabobo, mostrando de esta manera una alternativa de conservación por frío para satisfacer la alta demanda de almacenamiento en esta compañía.

Este proyecto se desarrolló en tres fases, la primera trato sobre el diagnóstico de la situación, en la segunda se efectuó el análisis de alternativas con criterio de mejor solución que se deben considerar para lograr un sistema de congelación eficiente y por último se presentó el diseño más óptimo del túnel de congelación para productos cárnicos en esta empresa productora de alimento, cuyos resultados más relevantes fueron que las dimensiones del túnel son 2,438 m de ancho, 12,192 m. de largo y 2,896 m de alto conformado por una estructura de acero inoxidable y aluminio, cuyo material aislante fue de poliuretano expandido de 6”, de convección forzada, con una carga total de 204,552 KW, con una presión de succión 1,732 y de descarga de 19,30 Bar, cuyas características del Evaporador es del tipo DSMP 480 E-6 , con Unidad Compresora KRACK HTSD-2200LS y Compresor 4DJNF76KE de 32 HP considerando para ello productos cárnicos (Pollo) que es el rubro de mayor demanda en esta compañía

Por otro lado Castillo y Sigüeñas (2020) en su trabajo de investigación para optar el grado académico de bachiller en ingeniería mecánica eléctrica en la universidad Señor De Sipán con su proyecto titulado **“diseño de una cámara frigorífica para la refrigeración de 3 tn de pescado en el mercado zonal de lambayeque”** realizaron los cálculos y el análisis para el diseño óptimo de una cámara frigorífica estacionaria a fin de conservar un total de 3 Toneladas de pescado (distribuidas en 120 jabas) para el Mercado Central de Lambayeque. Esta investigación inicia identificando las pautas para el dimensionamiento de una cámara frigorífica, reconociéndose parámetros, fórmulas y procedimientos. Mediante la aplicación de encuestas se obtiene información del producto a refrigerar, como el tipo de pescado común, el peso promedio de este, el volumen de las jabas para almacenaje, el espacio disponible para la instalación y los días

proyectados para almacenar. Se concluye para la cámara las dimensiones de 4.5m de ancho, 4.88m de largo y 2m de alto.

A esto se calcula el ciclo termodinámico de refrigeración y se corrobora con el software TermoGraf, un simulador de procesos termodinámicos, información con la cual se seleccionan los equipos de refrigeración. Se dan la potencia y condiciones de trabajo para el compresor y condensador. Se selecciona un dispositivo de expansión y se dimensiona el evaporador, además, se dan parámetros para la selección de tuberías y accesorios, para finalmente hacer un cálculo aproximado de costos para la instalación. Se concluye que mediante una inversión moderada es factible la instalación de una cámara de refrigeración que mejore la calidad de producto, disminuya pérdidas por pescado en malas condiciones y permite manejar mayores volúmenes de venta

Por ultimo Novillo, Valdivieso, Cantos y Domínguez (2018) en su artículo “**análisis del funcionamiento de sistemas de refrigeración por compresión y absorción**”, en la revista Observatorio de la Economía Latinoamericana mostraron un trabajo que con el cual pretendían realizar una comparación del funcionamiento de los sistemas de refrigeración por compresión y absorción, además que se evaluarán máquinas frigoríficas que operan con estos sistemas de funcionamiento, es decir con ciclos de refrigeración por compresión de vapor y por ciclos de refrigeración por absorción de amoniaco-agua y bromuro de litio-agua. En el cual hicieron referencia a que en refrigeración por compresión de vapor se puede decir que este sistema realiza una gran cantidad de trabajo mecánico lo cual es recompensado con su rendimiento ya que puede generar bajas temperaturas a un costo relativamente bajo en comparación al sistema de absorción por bromuro de litio-agua, el cual no es capaz de generar temperaturas bajas, lo cual es esencial en un sistema de refrigeración. Estableciendo que para comprender el funcionamiento de estos 2 sistemas de refrigeración se debe tener en cuenta el principio de funcionamiento, los ciclos de refrigeración a los cuales se rige y el tipo de refrigerante a usar ya que dependen del tipo de refrigeración y aplicación.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Túnel de congelación**

Abreu (2015) señala que el túnel de congelación consiste en una cámara térmicamente aislada, en el cual se lleva hasta el congelamiento los productos en ella introducida durante un periodo de tiempo, el cual utiliza gas o nitrógeno, siendo el aire el de mayor empleo, el producto pasa a través de un chorro de aire por convención forzada a una velocidad entre 5 – 15 m/s a

temperaturas comprendidas entre -25 y -45 °C, por esta razón también se llaman congeladores de ráfaga, cuyo objetivo principal es la extracción del calor de los productos para que puedan ser almacenados a la temperatura idónea de -18°C.

El tiempo necesario para que el alimento alcance esta temperatura es variable, ya que depende del tipo de alimento y su composición química y física. Este congelamiento de los alimentos antes de ser almacenados, permite extender la vida útil de estos por un determinado periodo de tiempo, este tiempo también dependerá del resto de condiciones de estos alimentos, como pueden ser condiciones físicas, químicas, por lo tanto, estamos ante un dispositivo de congelación muy versátil, que se puede adaptar a múltiples necesidades dentro del sector agroalimentario.

### **2.2.2 Tipos de túnel de congelación**

En su trabajo de grado los tipos de túneles de congelación (Abreu, 2015) son los siguientes:

**Los estáticos** en ello el producto es congelado por Bach y ordenado en carros o pallets, generalmente, trabajan a temperaturas de entre los -30°C y los -35°C y pueden tener una capacidad de entre 100 y 6.500 kg/ciclo

**Túneles semicontínuos** en los cuales el producto es congelado en carros en forma –como su nombre lo dice– continua, a temperaturas entre los -30°C y los -35°C. Suelen ser modulares, por lo que pueden lograr capacidades de congelado de más de 15.000 kg/Hr.

**Túneles continuos** estos tienen forma de espiral y aquí el producto se dispone individualmente y también de forma continua, pudiendo estar desnudo o empacado y en formatos como porciones, filetes, HG o entero si se quiere. Operan a temperaturas de alrededor de -35°C y sus capacidades pueden ir desde los 400 kg/Hr hasta 5.000 kg/Hr

**Túneles Discontinuo** en ellos los alimentos se disponen de tal manera que ocupen bien el espacio (en armarios o bandejas apiladas) hay que intentar que al congelar estén llenos para evitar que el aire circule por los huecos, se pierda energía y para que las condiciones de congelación sean las mismas en toda la partida que está congelando.

### **2.2.3 Ventajas del túnel de congelación**

- Reduce considerablemente el tiempo de implantación del producto en la cadena de distribución., la mano de obra y manipulaciones por parte del personal.
- Fácil integración en líneas de procesamiento ya existentes.

- Mejora de la productividad debido a la reducción de tiempos de inactividad.
- Reducción de tiempos de limpieza.
- Sencilla instalación de costes bajo.
- No necesita un mantenimiento exhaustivo.
- Permite incorporar otros sistemas de alta productividad.
- Deshidratación del producto de forma más reducida mejorando el resultado
- Se puede adaptar a los sistemas ya existentes en las líneas de fabricación.
- Es un sistema escalable, es decir es fácilmente ampliable.
- Congelación homogénea.
- Alta tasa de transferencia de frío y Usos altamente sencillos.

#### **2.2.4 Importancia del túnel de congelación para carne en la industria alimenticia**

(Abreu, 2018) señala que un túnel de congelación para carne puede tener un rango de operatividad de  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  lo que permite congelar la carne en toda su integridad. Aunque siempre queda un remanente de agua presente que pudiera permanecer líquida en un porcentaje superior a 10%. En este reducido volumen de agua tienden a acumularse las enzimas que pudieran permanecer latentes a un cambio en la temperatura para generar un proceso de fermentación. La congelación genera un proceso cinético, el cual se inicia con una etapa de nucleación y crecimiento de los cristales de hielo. Al aumentar la ratio de enfriamiento, este mecanismo de nucleación se multiplica 10 veces. A partir de entonces, el crecimiento y desarrollo de los mismos estará determinado por la eliminación del calor.

#### **2.2.5 Refrigeración**

Martínez, (2011) en su investigación define la refrigeración como cualquier proceso de eliminación de calor, más específicamente, como la rama de la ciencia que trata con los procesos de reducción y mantenimiento de la temperatura de un espacio o material a temperaturas inferiores con respecto a los alrededores correspondientes. Otra forma de definirlo sería como, el desarrollo en un espacio dado de temperatura menor que la que se tiene en otro espacio o en el espacio adyacente. La refrigeración se basa primordialmente en dos principios básicos conocidos como la primera y la segunda leyes de la termodinámica. La primera de ellas establece que la energía no se crea ni se destruye.

Si desaparece energía en una forma, debe reaparecer en otra, es decir, no puede aparecer energía en una manifestación sin que se registre una reducción correspondiente en otra de sus

formas. La refrigeración está definida como la ciencia o técnica de producir y mantener temperaturas por debajo de la temperatura atmosférica local, aplicando esto a objetos y alimentos.

### **Refrigeración Mecánica**

Este tipo de refrigeración consiste en forzar mecánicamente la circulación de un fluido en un circuito cerrado creando zonas de alta y baja presión con el propósito de que el fluido absorba calor en un lugar y se disipe en otro. El efecto de la refrigeración se puede llevar a cabo por los ciclos de compresión de vapor. Se puede describir este proceso que básicamente opera como lo indica el ciclo de Carnot: un fluido refrigerante en estado líquido, se fuerza a experimentar su evaporación debido a una baja de presión en el sector conocido como evaporador a donde además y fundamentalmente, toma calor del agua con la que indirectamente se pone en contacto.

Es exactamente en ese lugar a donde se produce el enfriamiento propiamente dicho del agua. Ahora el agua sigue camino al proceso por su circuito y el refrigerante en estado de vapor es comprimido por un compresor obligándolo a recorrer el ciclo de refrigeración. Seguidamente el refrigerante, en estado de vapor, ingresa al condensador donde se convierte en estado líquido liberando el calor que sustrajo en el evaporador. El calor sale del refrigerante para pasar al aire ambiente por acción de unos ventiladores que fuerzan al aire a intercambiar con el refrigerante. (Martínez, 2011)

### **Refrigeración industrial**

La refrigeración industrial a menudo es confundida con la refrigeración comercial porque la división entre estas dos áreas no está claramente definida. Como regla general, las aplicaciones industriales son más grandes en tamaño que las aplicaciones comerciales y la característica que las distingue es que se requiere un empleado para su servicio, que por lo general es un ingeniero. Algunas aplicaciones industriales típicas son plantas de hielo, grandes plantas empacadoras de alimentos, cervecerías, lecherías y plantas industriales, tales como refinerías de petróleo, plantas químicas, etc.

#### **2.2.6 Sistema de refrigeración**

Se entiende por sistemas de refrigeración los sistemas destinados a disminuir el calor de un fluido, producto o espacio, por intercambio calorífico con un refrigerante para reducir su temperatura y lograr así su conservación. La finalidad de la refrigeración moderna es muy variable y va desde conservar un producto hasta llegar a un proceso. Debido a la gran variedad de productos que hay hoy en día es de suma importancia su conservación para usos posteriores, es por ello que

existen varios sistemas de refrigeración que son específicos para la conservación ya que obedecen ciertos parámetros aptos para productos específicos.

### **Enfriamiento**

Los sistemas de enfriamiento operan normalmente con temperaturas que van desde 15°C a + 2°C (59°F a 35.6°F). Aun cuando en algunos casos existe una disminución de temperatura hasta los 0°C (32°F), en este proceso nunca se presenta un cambio de estado en la sustancia que se maneja y solamente se elimina calor sensible. Su aplicación es muy amplia y se utiliza en productos que requieren conservación y la temperatura en que se encuentran son solo para efectos de gusto.

### **Refrigeración**

Los niveles de temperatura de este proceso comprenden valores ligeramente superiores de los 0°C a -18°C (32°F a -0.4°F) aproximadamente. En este proceso si existe cambio físico y lógicamente eliminación de calor latente. Este proceso se utiliza para la conservación de productos llevando a cabo los procedimientos adecuados, se pueden mantener estos productos de 2 semanas hasta un mes aproximadamente. Es utilizado ampliamente en instalaciones domésticas, comerciales y de investigación.

### **Congelamiento**

Este proceso opera entre - 18°C y - 40 °C (-0.4°F y - 40°F) y en este proceso también existe cambio de estado en la sustancia y también se elimina calor latente. No obstante, en algunos casos solamente se elimina calor sensible, por ejemplo, cuando se conserva la carne congelada en la transportación. Su principal utilidad está en el área comercial, industrial y de investigación. El periodo de conservación va desde un mes hasta un año dependiendo del producto y que procedimientos se empleen.

### **Proceso criogénico**

Es un proceso que opera desde - 40°C (- 40°F) a valores cercanos al cero absoluto. Esto implica el cambio de estado físico en la sustancia si esta se encuentra en forma líquida o contiene agua. Su aplicación es muy fuerte en el área industrial y de investigación, también desarrollándose en áreas comerciales. Este proceso trata de la preservación de los productos alimenticios en sus características o condición muy crítica. Para entender un poco más se hablará acerca del funcionamiento de las máquinas encargadas de producir estas temperaturas, para lo cual se toma como referencia lo que dice el autor (Bravo Méndez, 2011, pág. 19)

Una máquina térmica es el sistema que cede trabajo al medio intercambiando calor a través de sus fronteras de un modo cíclico. Este intercambio de calor lo hace con dos focos caloríficos, uno caliente y otro frío, en todas las máquinas térmicas el sistema absorbe calor de un foco caliente; parte de él lo transforma en trabajo y el resto lo cede al medio exterior que se encuentra a menor temperatura. Este hecho constituye una regla general de toda máquina térmica y da lugar a la definición de un parámetro característico de cada máquina que se denomina rendimiento entendiéndose que, calor y trabajo, son formas de transferencia de energía más que formas de energía (ver figura 1)



Figura 1: Máquina térmica

Fuente: Bravo Méndez (2011)

La máquina frigorífica es “lo contrario” que la máquina térmica. Al recibir trabajo del ambiente toma calor del foco frío y se lo cede al foco caliente. Por supuesto, tanto la máquina térmica como la frigorífica pueden funcionar entre varios focos (ver figura 2) Bajo esta denominación abarcamos a los sistemas que permiten transformar el calor en trabajo y viceversa



Figura 2: Máquina frigorífica

Fuente: Bravo Méndez (2011)

## **2.2.7 Tipos de sistema de refrigeración**

### **Refrigeración por compresión mecánica**

La refrigeración por compresión es muy utilizada en la actualidad en las refrigeradoras de uso doméstico. El principio de funcionamiento de este tipo de refrigeración en forma simple puede dividirse en cuatro operaciones. Evaporación, compresión, condensación y expansión (ver figura 3) El sistema de refrigeración de compresión de vapor simple consiste principalmente de cuatro partes compresor, condensador, válvula de expansión y evaporador.

Y para reforzar lo antes mencionado se cita al autor Jain, Sachdeva, & Kachhwaha, (2014) “Los sistemas de refrigeración por compresión de vapor son comúnmente utilizados en una variedad de aplicaciones comerciales y de industrialización debido a su alta capacidad de refrigeración a baja temperatura, pero para que se ejecuten estos sistemas, se requiere energía de alto grado.” Una vez sabiendo el enfoque principal de este tipo de refrigeración se procederá a hablar de las partes principales de un sistema de refrigeración por compresión, para ello se hace referencia a Dhakane & Joshi, (2014)

#### **Compresor**

El compresor es parte básica del sistema de refrigeración. El trabajo del compresor es de comprimir el refrigerante desde la temperatura de evaporación a la temperatura de condensación.

#### **Condensador**

Un condensador es un dispositivo o unidad que se utiliza para condensar una sustancia a partir de su estado gaseoso a su estado líquido, típicamente enfriándolo. El condensador es uno de los tipos de intercambiadores de calor utilizado para emitir el calor al medio de refrigeración.

#### **Evaporador**

Este elemento es el encargado de retirar el calor del medio a refrigerar.

#### **Dispositivos de expansión**

Los dispositivos de expansión se utilizan para expandir el refrigerante desde la alta presión de condensación a la presión de evaporación con etapas. Los dispositivos de expansión más utilizados son el tubo capilar y otro es válvula de expansión (ver figura 3)



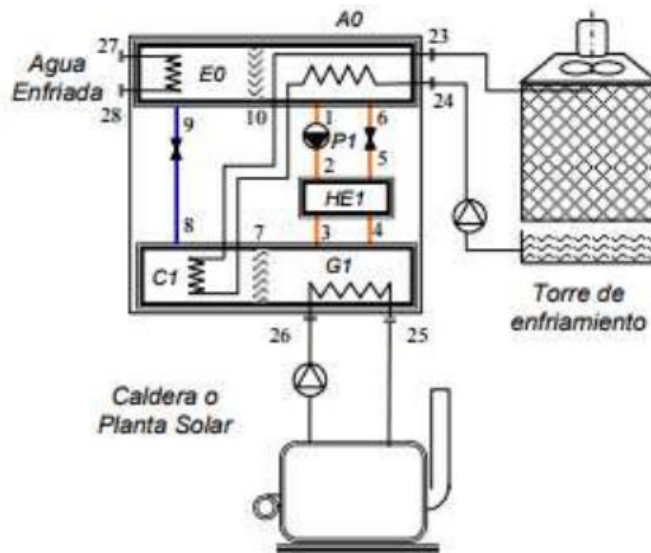


Figura 4: Sistema de refrigeración por absorción

Fuente: Jain, Sachdeva, & Kachhwaha (2014)

### 2.2.8 Ciclo básico de la refrigeración

Por el estudio de las propiedades termodinámicas de las sustancias se facilitó el desarrollo de la refrigeración, pues se descubrió que, en algunas de estas, su punto de ebullición a presión normal es inferior a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $32\text{ }^{\circ}\text{F}$ ). Aprovechando esta propiedad se obtiene el primer sistema de refrigeración por compresión de gas refrigerante. El sistema de refrigeración consiste básicamente en cuatro equipos indispensable para obtener un ciclo cerrado: Compresor, Condensador, Válvulas de expansión, Evaporador (ver figura 5)

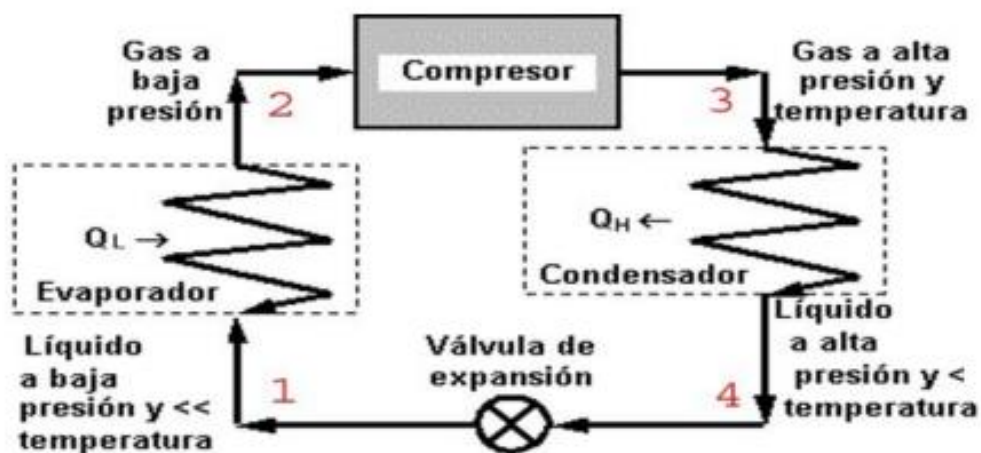


Figura 5: Esquema del ciclo básico de refrigeración

Fuente: Bravo Méndez (2011)

El refrigerante es el medio de transporte para extraer la energía en forma de calor desde el evaporador, y en el condensador donde será desechado el calor hacia el medio de condensación. Un cambio de estado de líquido a vapor y viceversa permite al refrigerante absorber y descargar grandes cantidades de calor en forma repetitiva, respectivamente. Existen dos presiones en el sistema mecánico de refrigeración, que son la presión de evaporación (baja presión de sistema) y la presión de condensación (alta presión del sistema). El refrigerante líquido es alimentado a la válvula de expansión a alta presión, en el cual lleva a cabo un proceso isotérmico (antes pasa por un recibidor de líquido y un filtro deshidratador los cuales no son equipos básicos).

Esta válvula separa los lados de alta y baja presión. La válvula termostática de expansión mediante un proceso isotérmico provoca una caída de presión (reducción de presión) por medio de un pequeño orificio, esto provoca a su vez que el refrigerante, que antes se encontraba en estado líquido reduzca su temperatura (correspondiente a la nueva presión). El refrigerante en estas condiciones entra al evaporador donde debido a su nueva temperatura que es baja, va absorbiendo calor y llega a su estado de vapor saturado, el cual desarrolla un proceso isobárico. El calor fluye a través de las tuberías del evaporador hacia el refrigerante, esta absorción del calor por el refrigerante continúa hasta que al salir del evaporador donde tiene una característica de vapor por cierto grado de sobrecalentamiento.

Una vez que se ha absorbido calor en el evaporador, el vapor refrigerante viaja a través de la línea de succión hacia la entrada del compresor. El compresor mediante un proceso isotrópico toma el vapor a baja presión y lo comprime aumentando tanto su presión como su temperatura hasta superar la del medio de condensación, esto con el fin de que haya transferencia de calor de él vapor comprimido hacia el medio de condensación. El vapor caliente y de alta presión es bombeado fuera del compresor a través de la válvula de descarga hacia el condensador (ver figura 6). El condensador es un intercambiador de calor en el cual se enfría el vapor que viene del compresor (proceso Isotrópico). Conforme la temperatura del vapor refrigerante alcanza la temperatura de saturación correspondiente a la alta presión del condensador, el vapor se condensa (se vuelve líquido) y fluye al recibidor, de donde se alimentará a la válvula de expansión para comenzar nuevamente el ciclo (ver figura 7).

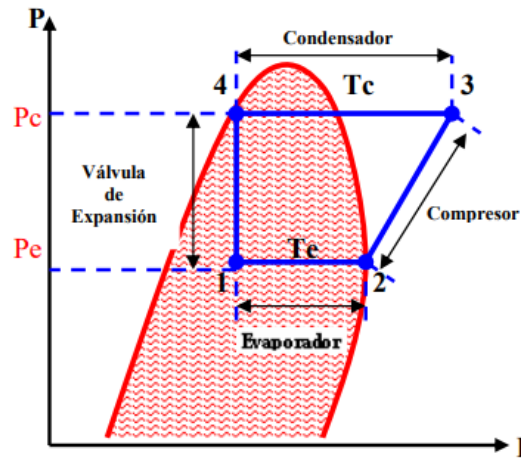


Figura 6: Diagrama del ciclo básico de refrigeración

Fuente: Bravo Méndez (2011)

**$P_c$  = Presión de condensación.**  
 **$P_e$  = Presión de evaporación.**  
 **$T_c$  = Temperatura de condensación.**  
 **$T_e$  = Temperatura de evaporación.**

**1-2 proceso de evaporación isobarico.**  
**2-3 Proceso de compresión isoentropico.**  
**3-4 proceso de condensación isobarico.**  
**4-1 proceso de expansión isotérmico.**

Figura 7: Significado de las abreviaturas del diagrama de ciclo básico de refrigeración

Fuente: Bravo Méndez (2011)

### 2.2.9 Dióxido de carbono ( $CO_2$ ) como refrigerante

Revista bajo cero, (2014) El dióxido de carbono ( $CO_2$ ) se ha considerado como una buena alternativa para sustituir a los hidrofluorocarbonos (HFC) porque no daña la capa de ozono. Es un fluido inodoro, incoloro y más pesado que el aire. Se ha utilizado como refrigerante desde hace más de un siglo. Su potencial de calentamiento Global (PCG) se encuentra en la unidad De esta manera se ubica como la principal referencia para determinar el PCG de otros gases y su valor de

Potencial de Agotamiento de la Capa de Ozono (PAO) es de cero, lo cual favorece el aspecto ambiental.

Aunque el  $CO_2$  es necesario para la vida en la Tierra, es también un gas de Efecto Invernadero (GEI) que puede modificar el medioambiente si su concentración en la atmósfera se incrementa considerablemente. Es clasificado por las normas de refrigeración como R-744 y bajo una clasificación de seguridad de tipo A1 (no inflamable y baja toxicidad) al utilizarse como refrigerante, el  $CO_2$  normalmente operará a una presión mayor que los HFC y otros refrigerantes. Si bien esto presenta algunos problemas de diseño, por lo general pueden ser superados en los sistemas diseñados específicamente para usar  $CO_2$ , que se puede usar con lubricante PGA, con lubricantes poliéster (POE) o polivinil éter (PVE)

### 2.2.10 Propiedades fisicoquímicas

La gran diferencia entre el  $CO_2$  y otros refrigerantes comunes es su relación presión, temperatura y, particularmente, su alta presión a temperaturas normales así como su baja temperatura crítica de aproximadamente 31°C, Asimismo esta diferencia se hace notable debido al valor del punto triple de  $CO_2$ , el cual es superior respecto de otros refrigerantes. La alta presión de saturación a la temperatura ambiente es, a menudo, la primera barrera cuando se propone al  $CO_2$  como refrigerante. A los 20°C la presión saturada equivale a 830.93psia (56.54 atm). El  $CO_2$  se puede emplear en diferentes configuraciones, dependiendo de los requerimientos de aplicación.

Las propiedades termodinámicas del dióxido de carbono le permiten, con ayuda de la tecnología adecuada, ponerse al mismo nivel que los refrigerantes más empleados en la actualidad. En la siguiente (figura 8) se comparan las principales características fisicoquímicas del R744 con otros refrigerantes de importancia en el ámbito de frío comercial.

	<b>R717</b>	<b>R744</b>	<b>R134a</b>	<b>R404a</b>
<b>Formula</b>				44% R125
<b>Química (%w)</b>	$NH_3$	$CO_2$	$CH_2FCF_3$	4% R134a 52% R143a
<b>Peso molecular (g/mol)</b>	17.03	44.01	102.3	97.60

<b>Punto de ebullición normal (°C)</b>	-33.3	-56.6	-26.1	-46.2
<b>Temperatura crítica (°C)</b>	132.35	31.06	101.1	72.1
<b>Presión crítica (bar)</b>	113.33	73.6	40.59	37.2
<b>PCA</b>	<1	1	1.430	3.922
<b>Grupo de seguridad</b>	B2	A1	A1	A1
<b>Límite inferior de inflamabilidad (%v)</b>	16.7	0	no	no

Figura 8: Propiedades fisicoquímicas

Fuente: Bravo Méndez (2011)

### 2.2.11 Productos cárnicos

La NORMA INEN 1217, define a la carne como el tejido muscular convenientemente madurado comestible, sano y limpio de los animales de abasto: bovino, ovino, porcino, caprino que mediante la inspección veterinaria oficial antes y después de la faena miento, son declarados aptos para el consumo humano. INEN, (2012) La carne es un alimento procedente de la musculatura de los animales, la conversión del musculo en carne es el fundamento del proceso que lleva desde el animal vivo hasta su transformación el alimento; la operación central de este proceso es el sacrificio de los animales, pero esta operación no puede considerarse aislada con el manejo previo al sacrificio y procesado posterior

### **2.2.12 Carne fresca**

La carne fresca es un alimento altamente perecedero y susceptible al deterioro, por lo cual deberá tratarse con especial cuidado para garantizar la protección del consumidor final. La carne fresca se encoge, pierde peso y es rápidamente atacada por bacterias que se encuentran en el aire, en las manos de los operarios y de la ropa de limpieza, así como de los medios de transporte. Como la reproducción de las bacterias aumenta con el incremento de la temperatura y la humedad, cuando no se dispone de refrigeración, tradicionalmente la carne se vende al por menor en un plazo de doce horas desde la matanza, incluso con el peligro de pérdidas debidas al encogimiento, desechos y deterioro. (Restrepo 2001)

### **2.2.13 Refrigeración carne fresca**

Una vez entendido estos conceptos consideraremos refrigerada una canal o pieza cárnica cuando su centro ya ha sido enfriado a un valor igual o inferior a los 7 °C, ya que dentro de este rango de temperatura no se desarrollan los microorganismos patógenos. El frío no destruye los microorganismos, sino que únicamente inhibe o ralentiza su crecimiento, además se debe tener en cuenta a las bacterias psicótrofas, capaces de desarrollarse bajo refrigeración pese a no ser su temperatura óptima de crecimiento, entre estas se destacan microorganismos patógenos como: *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica* y *Clostridium botulinum* tipo E y otros microorganismos. El metabolismo bacteriano disminuye mientras la temperatura va descendiendo, de igual manera disminuyen las reacciones químicas del músculo, así pues, al refrigerar una pieza cárnica demoramos todos los procesos de deterioro de la carne, ya sean bioquímicos o microbiológicos. En la siguiente tabla se muestra como varía la duración de la carne en refrigeración a -1 °C dependiendo del tipo de carne y su humedad relativa (Yuste 2013)

<b>Tipo de carne</b>	<b>Duración prevista en almacén a -1 °C</b>	<b>Humedad relativa [%]</b>
Vaca	Hasta 3 semanas	90
Tenera	1 – 3 semanas	90
Cordero	10 – 15 días	90 – 95
Cerdo	1 – 2 semanas	90 – 95
Despojos comestibles	7 días	85 – 90

Figura 9: Variación de la carne en refrigeración  
Fuente: YUSTE (2013)

Los valores establecidos para mantener diferentes tipos de carnes (ver Figura 9) y cortes a una temperatura adecuada, en la cual el crecimiento bacteriano se ralentice, así también se establece el tiempo máximo de conservación de la carne a esa temperatura. Para conseguir una correcta disminución de temperatura y un correcto mantenimiento, en las cámaras se controlan tres parámetros fundamentales: la temperatura, la humedad relativa y la velocidad del aire. La tasa de enfriado en el punto más profundo de la canal por varios factores, incluyendo la eficiencia del cuarto, carga, tamaño de la canal y adiposidad.

Como una guía general se tiene que la temperatura interna a 6-7 °C se debería lograr en 28-30 horas para ovinos. El no bajar la temperatura interna rápidamente resultara en un crecimiento excesivamente rápido de bacterias dentro de la carne resultando en malos olores y manchando el hueso. Se necesita altas velocidades del aire para enfriado rápido, pero estas incrementaran las pérdidas por evaporación a menos que la humedad relativa (RH) sea también alta. No obstante, si el aire está casi a punto de saturación habrá condensación en la superficie de la canal, favoreciendo así el crecimiento de hongos y bacterias. Un punto medio entre los dos problemas parece ser una RH de cerca del 90 % con una velocidad e aire de 0,5 m/s. También existirá condensación si se pone canales calientes dentro de la cámara de refrigeración.

No se debe cargar el cuarto frio más allá de la capacidad para la que fue diseñada y se debe dejar espacio suficiente entre las canales para que se produzca un adecuado flujo de aire frio de otra el enfriamiento ser ineficiente A nivel industrial, no se deben mezclar carnes en diferentes momentos del proceso puesto que se producirán choques térmicos que serán muy perjudiciales

para la calidad del producto. Es esencial mantener la cadena de frío desde el sacrificio hasta el consumo de la carne, para garantizar la inocuidad del alimento.

#### **2.2.14 Alimentación Animal**

Rodríguez (2015) define la alimentación animal como rama de la zootecnia que se ocupa del estudio de todos los aspectos encaminados a proporcionar la cantidad de sustancias nutritivas (alimentos) adecuadas para procurar un estado óptimo de los animales domésticos.

Para ello se estudia

- Valoración de las necesidades de los animales
- Valoración del contenido de nutrientes de los alimentos
- Racionamiento o forma de aportar la cantidad de alimentos necesarios para cubrir de forma óptima las necesidades de dichos animales.

#### **2.2.15 Necesidades nutricionales de los animales**

Rodríguez (2015) Las necesidades nutritivas requeridas por los animales van a ser cubiertas por los alimentos. Por tanto, debería de utilizarse una nomenclatura común para designar lo que requieren los unos y lo que aportan los otros, además de las mismas unidades de valoración nutritiva. Básicamente conocemos que los animales domésticos van a tener unos requisitos en cuanto a energía para mantener todas sus actividades vitales y productivas, que van a obtener mediante una combustión controlada de aquellas materias orgánicas procedentes del alimento (glúcidos, lípidos y prótidos). También necesitan de proteínas y aminoácidos para la formación y renovación de la mayoría de los componentes plásticos del organismo, así como de aquellas sustancias con estructura proteica que intervienen en el metabolismo (sobre todo las enzimas).

Hablaremos de necesidades de vitaminas, requeridas en cantidades mínimas, pero indispensables. Los minerales, formadores de tejido de sostén y presentes en solución en todos los fluidos corporales y en muchas reacciones bioquímicas, son nutrientes tan necesarios como los anteriores.

### **2.3 Bases legales**

#### **2.3.1 COVENIN 435-2000 Carne De Bovino Vocabulario De Fecha 25/10/2000**

Esta norma venezolana contempla las definiciones generales de los aspectos más importantes involucrados y usados en la comercialización de carne de bovino

### **2.3.2 COVENIN 794-86 Código de prácticas de higiene para mataderos industriales, mataderos frigoríficos industriales, Frigoríficos industriales y salas de matanza Municipales o privadas**

Esta Norma establece los requerimientos y/o condiciones higiénicas deseables para el faenado del ganado almacenamiento, refrigerado, despacho, De las canales y subproductos comestibles cuyas Zonas deben estar equipadas adecuadamente para garantizar las condiciones higiénico-sanitarias de la carne y sub-productos. Local o locales refrigerados para la conservación de la carne y sub-productos. Los locales donde se desposte y corte la carne, deberán ser zonas separadas adecuadamente y climatizadas, para garantizar las condiciones higiénico-sanitarias

### **2.3.3 Providencia administrativa Nro. 259 República Bolivariana De Venezuela Ministerio Del Poder Popular Para La Salud Servicio Autónomo De Contraloría Sanitaria Caracas, 13 De noviembre De 2017 207°, 158° Y 18°**

Artículo 1. La presente Providencia Administrativa tiene por objeto establecer las condiciones sanitarias y requisitos mínimos necesarios para el funcionamiento de las Salas de Faena miento, dedicadas al faenado de ganado bovino, porcino, caprino y ovino a fin de eliminar, prevenir o reducir los riesgos y peligros asociados a la inocuidad y salubridad de las carnes y sus sub productos comestibles, así como la obtención de la perisología sanitaria establecida en las legislaciones vigentes.

### **2.4 Definición de términos básicos**

**Estados de la materia** Para cualquier cuerpo o agregado material considerado, modificando las condiciones de temperatura, presión o volumen se pueden obtener distintos estados de agregación, denominados estados de agregación de la materia, con características peculiares

**Fase sólida** un material en fase sólida tiene una cantidad relativamente pequeña de energía potencial interna. Las moléculas del material están bastante ligadas entre sí por fuerzas de atracción y por la fuerza de gravedad.

Un solidó conserva su tamaño y forma, no es comprensible y ofrece mucha resistencia a cualquier efecto para producirle un cambio en su forma.

**Fase líquida** la molécula de un material en fase líquida tienen más energía que las de un material la fase sólida y no se encuentran tan rígidamente ligadas entre sí. Aun cuando un líquido

prácticamente no es compresible reteniendo su tamaño y debido a que la estructura molecular del fluido no retiene su forma adopta la forma del recipiente que lo contiene.

**Fase de vapor o gaseosa** las moléculas de un material en la fase gaseosa tienen una energía bastante mayor que la que se tiene en la fase líquida. Se tiene la suficiente energía para vencer todas las fuerzas de restricción. No se le encuentra muy ligadas por las fuerzas de atracción ni por la fuerza de gravedad. En consecuencia, las moléculas pueden desplazarse a velocidades altas y estar chocando unas con otras. Por esta razón no retiene su tamaño ni su forma haciéndolo compresible

**Cambios de fase** Se denomina cambio de estado a la evolución de la materia entre varios estados agregación sin que ocurra un cambio en su composición. Los tres estados básicos son el sólido, líquido y el gaseoso.

**Calor** Termodinámicamente se define calor como energía en tránsito de un cuerpo a otro como resultado de una diferencia de temperatura entre los dos cuerpos

**Calor específico** se define como la cantidad de energía Kilocalorías o (BTU) necesarias para aumentar o disminuir la temperatura de un Kilo o (libra) de cualquier sustancia en 1°C o (1°F), indica la mayor o menor dificultad que presenta una sustancia para experimentar cambios de temperatura bajo el suministro de calor. Los materiales que presenten un elevado calor específico serán buenos aislantes. Sus unidades del Sistema Internacional son  $J/(kg \cdot K)$ , o  $kcal/(kg \cdot ^\circ C)$ .

**Calor latente** es el que necesita para cambiar un sólido en líquido, o un líquido en gas, es decir cambiar de estado, sin variar la temperatura de la sustancia. La palabra latente significa “oculto”, o sea que este calor requerido para cambiar el estado de una sustancia y no es percibido por los sentidos

**Calor sensible** se define como el calor que provoca un cambio de temperatura en una sustancia. En otras palabras, es como su nombre lo indica, el calor que puede percibirse por medio de los sentidos. Cuando la temperatura del agua se eleva de 0°C a 100°C, hay también un aumento de calor sensible

**Entropía** La entropía al igual que la entalpia es una propiedad calculable de la materia. La entropía (S) de una determinada masa de material en una condición cualquiera dada, es una expresión de la energía total transferida al material por grado de temperatura absoluta para llevar al material a su condición real, desde un punto de referencia cero seleccionados arbitrariamente.

Para un fluido cualquiera, el punto de referencia para el cálculo de su entropía es el mismo punto considerado para el cálculo de la entalpía

**Entalpía** Es una propiedad calculable de la materia que algunas veces ha sido muy probablemente definida como "calor total". Más específicamente la entalpía (H), de una masa dada de un material a una condición termodinámica conocida, es la suma de todas las energías suministradas a la misma para mantenerla en su condición actual con respecto a una condición inicial conocida arbitrariamente como punto de entalpía cero

**Conductividad térmica (k)** capacidad de un material para transferir calor. La conducción térmica es el fenómeno por el cual el calor se transporta de regiones de alta temperatura a regiones de baja temperatura dentro de un mismo material o entre diferentes cuerpos. Las unidades de conductividad térmica en el Sistema Internacional son  $W/(m \cdot K)$ , o  $kcal/(h \cdot m \cdot ^\circ C)$ .

**Transferencia de calor por conducción** La transferencia de calor por conducción ocurre cuando la energía es transmitida por contacto directo entre las moléculas de un cuerpo simple o entre moléculas de dos o más cuerpos con buen contacto térmico

**Transferencia de calor por convección** La transferencia de calor por convección ocurre cuando el calor se desplaza de un lugar a otro por medio de corrientes establecidas mediante un medio que fluye.

**Transferencia de calor por radiación** La transferencia de calor por radiación ocurre en la forma de movimiento ondulatorio similar a ondas ligeras en donde la energía se transmite de un cuerpo a otro sin la necesidad de la intervención de la materia.

**Ciclo termodinámico** se define como la sucesión de procesos termodinámicos a que se somete un fluido al final de los cuales este vuelve a sus condiciones iniciales.

**Proceso termodinámico** Se sabe que hubo un "proceso" cuando los valores de las propiedades cambiaron. Es un cambio de estado.

**Refrigerante** es cualquier cuerpo o sustancia que actúa como agente de enfriamiento absorbiendo el calor de otro cuerpo o sustancia

**Refrigeración** generalmente se define como cualquier proceso de eliminación de calor. Más específicamente, se define a la refrigeración como la rama de la ciencia que trata con los procesos de reducción y mantenimiento de la temperatura de un espacio o material a temperatura inferior con respecto de los alrededores correspondientes

**Cámara de conservación** recinto dotado de instalaciones de frío artificial y en ocasiones de regulación de la humedad, que se destina a conservar alimentos u otros productos que podrían deteriorarse a la temperatura ambiente

**Cámara frigorífica** Sala o recinto adecuado con instalaciones que permiten mantener la temperatura baja y conservar los distintos tipos de alimentos. Puede ser de refrigeración, de congelación, de oreo, de maduración o de secado.

**Unidad térmica británica (BTU)** La unidad térmica británica está definida como la cantidad de calor necesario para cambiar la temperatura de 1 libra-masa de agua a 1°F. Proporcionándole 1Btu a 1 libra de agua, aumentara su temperatura en 1°F. Por analogía, quitándole a 1 libra de agua BTU, su temperatura descenderá a 1°F

**Tonelada Americana de refrigeración** La tonelada de refrigeración puede definirse como la cantidad de calor absorbida por la fusión de una tonelada de hielo sólido puro en 24 horas.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

Tamayo y Tamayo (2004 p.37) define al marco metodológico como “Un proceso que, mediante el método científico, procura obtener información relevante para entender, verificar, corregir o aplicar el conocimiento”, dicho conocimiento se adquiere para relacionarlo con las hipótesis presentadas ante los problemas planteados. Capitulo

#### **3.1 Tipo de investigación**

Balestrini (2002, p.9), los proyectos factibles son aquellos proyectos o investigaciones que proponen la formulación de modelos, sistemas entre otros, que dan soluciones a una realidad o problemática real planteada, la cual fue sometida con anterioridad o estudios de las necesidades a satisfacer. Un proyecto factible o investigación proyectiva, de acuerdo con Hurtado (2008, p. 47), consiste en la elaboración de una propuesta, un plan, un programa o un modelo, como solución a un problema o necesidad de tipo práctico, ya sea de un grupo social, o de una institución, o de una región geográfica, en un área particular del conocimiento, a partir de un diagnóstico preciso de las necesidades del momento, los procesos explicativos generadores involucrados y de las tendencias futuras, es decir, con base en los resultados de un proceso investigativo.

También se puede decir que es una investigación documental gracias a que (Nava, 2008, p. 10) establece que una investigación documental es conocida como una investigación bibliográfica, es una investigación formal, teórica, abstracta si se quiere, por cuanto se recoge, registra, analiza e interpreta información contenida en documentos, soportes de información registrados, es decir, en libros, periódicos, revistas, materiales iconográficos entre otros. El presente proyecto de investigación se considera documental porque se analizarán sistemas de información utilizados actualmente a través de textos, manuales y fuentes digitales, para obtener o establecer relaciones y diferencias entre estos sistemas y el propuesto.

#### **3.2 Diseño de la investigación**

En esta sección se presentarán los aspectos que han guiado esta investigación, a partir de las sugerencias de autores y estudios previos, para así definir el modelo más adecuado para determinar el diseño de la investigación. Todo esto, a través del estudio de los diversos niveles y unidades de análisis que se han considerado para caracterizar la construcción de la interacción

Según Arias (2006, p. 26), expone el diseño de la investigación, como la estrategia general, que adopta el investigador para responder al problema planteado, definido por el origen de los datos, tanto primarios, en diseños del campo como secundarios en estudios documental y la manipulación o no de las condiciones en las cuales se realiza el estudio.

Vale la pena destacar que este trabajo también se apoyó en una revisión documentada de acuerdo a la clasificación de la investigación establecida por Finol y Nava (2001,p. 26) “La investigación documental, constituye una actividad que se desarrolla en cualquier ámbito donde pueda obtenerse registro de información, observaciones, valoraciones, análisis e interpretaciones y en la cual el aporte personal representa una cuota de participación en el desarrollo de la investigación, la producción de nuevos conocimientos, propuestas, comparaciones y generalizaciones sobre el tema de estudio”

### **3.3 Nivel de la investigación**

“Según su naturaleza o profundidad, el nivel de una investigación se refiere al grado de conocimiento que posee el investigador en relación con el problema, hecho o fenómeno a estudiar. De igual modo cada nivel de investigación emplea estrategias adecuadas para llevar a cabo el desarrollo de la investigación” (Valderrama, 2017, p. 42). Gracias a lo anteriormente mencionado se define este trabajo de grado como descriptiva; ya que describe la necesidad de un buen rendimiento en el túnel de congelación para poder mantener todas las propiedades nutricionales que están presentes en la carne durante su almacenamiento y así poder ser aprovechadas al utilizarse en los alimentos para animales

### **3.4 Población y muestra**

#### **3.4.1 Población**

Según Tamayo (2008, p. 114), la población es la totalidad del fenómeno a estudiar donde las unidades de población poseen unas características comunes, se estudia y dan origen a los datos de investigación. La población constituye el objeto de estudio, es por eso que el investigador debe conocerla, definirla y determinarla, por cuanto esto le permitirá entre otras actividades. planificar la recolección de los datos. En este sentido, la población del presente proyecto será todos los tipos de los túneles de congelación en Venezuela que son óptimos para la conservación de productos cárnicos

### **3.4.2 Muestra**

Tamayo y Tamayo (2004), define la muestra como: "el conjunto de operaciones que se realizan para estudiar la distribución de determinados caracteres en totalidad de una población universo, o colectivo partiendo de la observación de una fracción de la población considerada" (p.176). En el caso de Palella y Martins (2008), definen la muestra como: "...una parte o el subconjunto de la población dentro de la cual deben poseer características reproducen de la manera más exacta posible". Es por esto que la presente investigación tiene como muestra todos los tipos de los túneles de congelación ubicados en Barquisimeto estado Lara que son óptimos para la conservación de productos cárnicos

## **3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **3.5.1 Técnicas**

Según, Arias (2006), "las técnicas de recolección de datos son las distintas formas o maneras de obtener la información". Son ejemplos de técnicas, la observación directa y la entrevista no estructura, el análisis documental, de contenido, entre otros. En cuanto a los instrumentos, el autor citado anteriormente afirma que: "son los medios materiales que se emplean para recoger y almacenar la información" ejemplo de ellos son: para la observación directa , libreta, grabadora, para la entrevista :guías de entrevistas con la intención de obtener toda la información necesaria al conocer las necesidades y así poder aplicarlos a la realidad de la situación a estudiar, y para la revisión documental la computadora

La observación directa, Según Hurtado (2008, p. 459), constituye un proceso de atención, recopilación, selección y registro de información, para el cual el investigador se apoya en sus sentidos. Por otra parte, la revisión documentada para Hurtado (2008, p. 427), es una técnica en la cual se recurre a información escrita, ya sea bajo la toma de datos que pueden haber sido producto de mediciones hechas por otros o como texto que en sí mismo constituyen los eventos de estudio. Por último, se aplicará la entrevista no estructurada que según Bertomeu P. (2016) es "aquella que se realiza sin un guion previo. Sigue un modelo de conversación entre iguales. En esta modalidad, el rol del entrevistador supone no sólo obtener respuestas sino también saber que preguntas hacer o no hacer".

## **3.6 Fases metodológicas**

**Fase I: Diagnóstico el estado actual de almacenaje de la materia prima para elaboración de alimento de animales**

En esta fase se desarrollará la revisión documental sobre las problemáticas durante el almacenamiento de los productos cárnicos, lográndose mediante el método de observación directa y revisión documentada

### **Fase II: Selección del refrigerante a utilizar**

En esta fase se estudiará las características de los refrigerantes usados en los túneles de congelación y se determinará el más apto

### **Fase III: Establecer el proceso adecuado de congelación criogénica para una buena conservación de la materia prima**

Para la realización de esa fase se establecieron los elementos involucrados en este trabajo de grado, analizando las características que debe cumplir un túnel de congelación para brindar un buen almacenaje

### **Fase IV: Determinación de las cargas térmicas**

Para esta fase se procederá a realizar todos los cálculos necesarios para la construcción de un túnel de congelación

### **Fase V: Diseño y selección de los equipos y materiales a utilizar en el túnel de congelación**

En esta fase con los cálculos realizados durante la fase IV se procede a seleccionar los componentes que cumplan con las características necesarias en el túnel de congelación

### **Fase VI: Simulación de las condiciones de funcionamiento del túnel de congelación en AutoCAD y programas que brindan los fabricantes de los equipos de refrigeración**

Para esta fase se utilizó la información obtenida anteriormente tomándose en cuenta las características como medidas, paredes aislantes, maquinaria para así poder realizar un modelado digital del túnel de congelación

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

El análisis e interpretación de los resultados según Hurtado (2010), “Son las técnicas de análisis que se ocupan de relacionar, interpretar y buscar significado a la información expresada en códigos verbales e icónicos”. Es pertinente destacar que, este capítulo se encuentra enmarcado el diagnóstico e interpretación de los resultados que se alcanzaron, presentados de acuerdo al orden de las fases metodológicas, indicando el desarrollo de cada una ellas, dando lugar a la descripción procedimental requerida con base a las técnicas y protocolos instrumentales.

#### **4.1 Diagnóstico del estado actual de almacenaje de la materia prima para elaboración de alimento de animales**

Esta fase del proyecto correspondió a aplicar primeramente la técnica de la observación directa de las características de refrigeración de un túnel y la entrevista no estructurada con el fin de indagar sobre las necesidades que se deben cumplir en base al buen funcionamiento de un túnel de congelación

Al analizar uno de los refrigerantes más comunes en empresas como El Tunal (ver figura 10) el cual es el amoníaco, un compuesto químico cuya molécula consiste en un átomo de nitrógeno (N) y tres átomos de hidrógeno (H) de acuerdo a la fórmula  $NH_3$ . El amoníaco es un gas incoloro de olor muy penetrante. Ocurre naturalmente y es también manufacturado, es un compuesto que se disuelve fácilmente en el agua y se evapora rápidamente. El amoníaco está compuesto por hidrógeno y nitrógeno los cuales se presentan en las siguientes proporciones o más bien la relación en peso se basa en la proporción de 40 partes de nitrógeno por 3 partes de hidrógeno. Esto se puede traducir en 82% de nitrógeno y 18% de hidrógeno.



Figura 10: Tanque colector de Amoniaco

Fuente: Rincon (2022)

La utilización del amoniaco como refrigerante en las diferentes Cedes de El Tunal se da por las características físicas y químicas, entre las cuales se distingue por una buena capacidad de absorber calor, dentro de la gran variedad de productos químicos que son utilizados como refrigerantes, entre los cuales se pueden mencionar: anhídrido sulfuroso, anhídrido carbónico y freones, son estos los más conocidos y cada uno de ellos ha sido retirado durante el transcurso del tiempo por varias razones, que van desde el costo de las instalaciones para estos, como por el daño que producen al medio ambiente, particularmente a la capa de ozono.

A pesar que el amoniaco para su utilización requiere de equipos bastante costosos (costo de construcción y mantenimiento), pero al tener una larga vida operacional sin perder sus características como refrigerante, lo hace una opción válida para este fin, sin ser el más adecuado tal vez, pues tiene una limitación en su utilización en lo que se refiere a su capacidad de refrigeración, razón por la que su uso no está permitido para crear ambientes o áreas de confort en recintos públicos o para uso habitacional, como también su alto nivel de toxicidad al haber una fuga tanto para las personas encargadas de la planta como para los alimentos que se están

almacenando. Su capacidad de absorción de calor es utilizada tanto para la mantención y conservación de productos alimenticios, fabricación de hielo y también es usado en otros procesos industriales.

Las características químicas más importantes que se pueden observar de este producto son: el amoníaco es una base fuerte y estable a temperaturas normales. El cual se disocia en  $N_2$  y  $H_3$  entre los  $450\text{ }^\circ\text{C}$  y  $500\text{ }^\circ\text{C}$ , aunque esta descomposición puede comenzar a los  $350\text{ }^\circ\text{C}$  en presencia de metales que actúan como catalizador, tales como el hierro, níquel zinc y otros. El amoníaco se quema en contacto con llamas descomponiéndose en nitrógeno y agua. Reacciona violentamente con los ácidos y con agentes oxidantes fuertes. Con los peróxidos y los que contienen halógeno tienen lugar reacciones violentas y explosivas.

En el caso del refrigerante R404a también es un refrigerante muy común entre las empresas en Venezuela las cuales utilizan sistemas de racks de compresores como lo utiliza la empresa El Tunal en una de sus sedes (ver figura 11), el cual es una mezcla de gases refrigerantes HFC casi azeotrópica, con cero agotamientos de la capa de ozono, utilizada en equipos nuevos de refrigeración de medias y bajas temperaturas, una de sus grandes ventajas es que es de fácil manejo a la hora de cargarlo, tiene un bajo costo en el mercado y no es tóxico a la hora de existir algún tipo de fuga.



Figura 11: Sistema de rack de compresores

Fuente: Rincón (2022)

Un azeótropo (o mezcla azeotrópica) es una mezcla líquida de dos o más compuestos químicos que hierven a temperatura constante y se comportan como si estuviesen formadas por un solo componente. Una vez explicado que es Azeotropía el refrigerante R-404 A tiene un deslizamiento de temperatura de  $0.7^{\circ}\text{C}$  a presión atmosférica (diferencia entre la temperatura inicial y final del cambio de fase). Esto significa que las cargas de este refrigerante serán siempre en fase líquida. En el caso de una fuga, y a efectos prácticos, no se descompone la mezcla y se puede recargarla instalación o equipo sin mayores problemas.

Cabe destacar que EL R-404A debe usarse con aceites poliéster POE. Los aceites de tipo mineral no se mezclan con el R404A, con lo que dichos aceites quedarían "atascados" en las partes frías del circuito frigorífico, dejando al compresor sin aceite, provocando una más que segura avería en dicho elemento

#### 4.1.1 Resultados de la entrevista

Con los datos obtenidos de la entrevista se realizó un análisis FODA especificando las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades, y Amenazas detallando así la situación actual de refrigerantes como el amoniaco o el R404a utilizados en empresas del país empresa (ver cuadro 1)

Cuadro 1: Matriz FODA

Amenazas	Fortalezas
<ul style="list-style-type: none"><li>- Futuros gastos debido al constante mantenimiento de las tuberías por el amoniaco</li><li>- Gastos en grupos de válvulas especiales destinadas a brindar seguridad por posibles accidentes por el amoniaco</li><li>- Muchos permisos para poder adquirir, almacenar y transportar amoniaco</li><li>- La capacidad frigorífica y el coeficiente de rendimiento (COP) de otros refrigerantes</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- El R-404A es muy poco toxico incluso con exposiciones prolongadas de tiempo</li><li>- Los vapores, en caso de fuga tienden a acumularse a nivel del suelo</li><li>- El amoniaco tiene propiedades termodinámicas superiores, por lo que los sistemas de refrigeración con este refrigerante consumen menos energía eléctrica</li></ul>
Debilidades	Oportunidades

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los envases del R-404a deben almacenarse en lugares frescos y ventilados lejos de fuentes de calor</li> <li>- El transporte de amoníaco es muy costoso y requiere permisos de circulación</li> <li>- En concentraciones muy elevadas el amoníaco produce irritación de garganta, inflamación pulmonar, lastimas los ojos</li> <li>- Las tuberías con amoníaco deben ser de materiales especiales distintos a los convencionales como el cobre o aluminio ya que daña estos materiales</li> <li>- Elevado costo de las bombonas de R404a</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El amoníaco a nivel nacional es el refrigerante más económico del mercado</li> <li>- El R404a es muy utilizado en plantas como supermercados</li> <li>- El R404a tiene mejores propiedades termodinámicas que otros refrigerantes sintéticos</li> <li>- Presentan bajos costos comparados con otros refrigerantes</li> <li>- Aun son permitidos por la seguridad de los ambientes por lo cual no es obligatorio su cambio a pesar que causan contaminación</li> </ul>
---	--

Fuente: Rincón (2022)

## 4.2 Selección del refrigerante a utilizar en el túnel de congelación

Después de aplicar la técnica de la revisión documental y bibliográfica, se procedió a seleccionar el refrigerante adecuado para el sistema de refrigeración. Para ello se aplicó el método Vilches.

### 4.2.1 Propuestas de alternativa para la selección del tipo de refrigerante a usar

El cuadro 2 muestra las alternativas y su contenido

**Cuadro 2** Alternativas para la selección

<b>ALTERNATIVA I</b>	<b>ALTERNATIVA II</b>	<b>ALTERNATIVA III</b>
<b>R134a</b> <b>Tetrafluoroetano</b>	<b>R410</b> <b>Diflorometano +</b> <b>Pentafluoretano</b>	<b>CO<sub>2</sub></b> <b>Dióxido de carbono</b>
PRESIÓN CRITICA: 40,138 atm	PRESIÓN CRITICA: 47,96 atm	PRESIÓN CRITICA 72,04 atm
TEMPERATURA CRITICA 101,1 °C	TEMPERATURA CRITICA 72,8 °C	TEMPERATURA CRITICA 31°C
DENSIDAD 1206 Kg/m <sup>3</sup>	DENSIDAD 1062 Kg/m <sup>3</sup>	DENSIDAD 1976 Kg/m <sup>3</sup>
Impacto en el medio ambiente De un 15% en la capa de ozono De un 11% en el efecto capa de ozono Compatible con el aceite sintéticos a base de polialquilenglicol (PAG)	Impacto en el medio ambiente De un 6% en la capa de ozono De un 25% en el efecto invernadero Es inflamable Bajo rendimiento frigorífico Incompatible con los aceites minerales Compatible con los aceites polioléster	Impacto en el medio ambiente De un 2% en la capa de ozono De un 3% sobre el efecto invernadero No es inflamable, inactivo químicamente, no es toxico Muy eficiente y alto rendimiento a bajas temperaturas Alta capacidad de refrigeración volumétrica, seis veces mayor que el R410

Fuente Rincón (2022)

#### **4.2.2 Sistemas representativos para las Alternativas I, II y III**

Las figuras 12 a la 14 muestran un esquema de las tres alternativas para los tres refrigerantes estudiados



Figura 12 Refrigerante R134a

Fuente es.made-in-china.com



Figura 13 Refrigerante R410

Fuente es.made-in-china.com

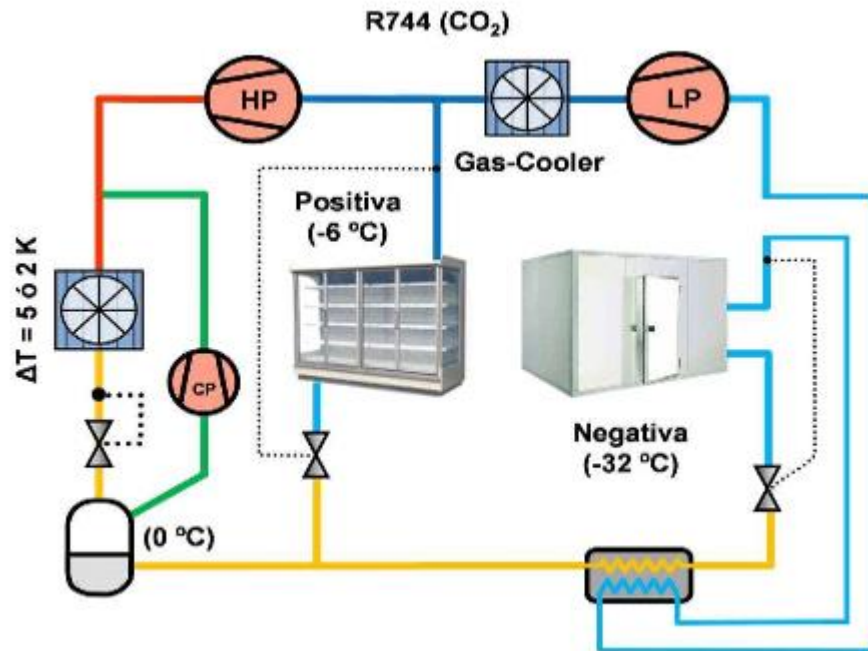


Figura 14 Refrigerante CO<sub>2</sub>  
Fuente es.made-in-china.com

#### 4.2.3 Criterios de evaluación y escogencia de la propuesta

A continuación, se elaboró una lista de criterios (C) y de restricciones (R) para la selección del refrigerante más conveniente, aplicando el Método de Vilches, con el objetivo de:

- Eliminar las formulaciones que se alejen de la definición operativa conveniente para el tipo de energía alternativa
- Seleccionar la propuesta más adecuada para solventar la situación problemática.

##### 4.2.3.1 Lista de criterios y restricciones que debe cumplir el dispositivo de conversión de energía

###### Criterios de selección

- Lista de restricciones y criterios para la selección de la energía adecuada

Los criterios comunes establecidos para la evaluación de todas las alternativas propuestas se muestran en el cuadro 3.

### Cuadro 3 Criterios y restricciones

CRITERIOS $C_i$	RESTRICCIONES $R_i$
C1 Poco contaminante	R1 Acceso a la obtención de los equipos
C2 Costo de instalación	R2 Que los equipos tengan un tamaño para un espacio limitado.
C3Tamaño de tuberías	R3No sea inflamable
C4Facilidad de adaptación.	
C5.capacidad de refrigeración volumétrica	
C6 Diseño estético	

Fuente: Rincón (2022)

#### 4.2.3.2 Aplicación de restricciones y criterios para la selección de la mejor posible solución:

A continuación, se procede a comparar las alternativas de solución con las restricciones planteadas, aquellas que no cumplan con las restricciones serán descartadas (ver Tabla 1). Las posibles soluciones que sí cumplan con las restricciones serán evaluadas con relación a los criterios y así tomar la decisión de cuál es la mejor solución.

**Tabla 1** Comparación de restricciones vs. Posibles Soluciones

	POSIBLE SOLUCIONES			
		A I	A II	A III
RESTRICCIONES	R1	si	si	si
	R2	si	si	si
	R3	si	no	si

Fuente: Rincón (2022)

Debido a que la probable solución AI no cumple con las restricciones planteadas fue eliminada. Las posibles soluciones A II y AIII serán evaluadas mediante el método de ponderación de criterios (ver Tabla 2).

La Tabla 3 muestra los parámetros de puntuación. La tabla 7 muestra la ponderación de soluciones de acuerdo a los criterios empleados para la selección de la mejor solución. Y la tabla 8 la evaluación final de la alternativa seleccionada.

Tabla 2: Ponderación de criterios

<b>CRITERIOR</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>ORDEN DE IMPORTANCIA</b>
<b>C1</b>	Poco contaminante	<b>7</b>
<b>C2</b>	costo de instalación	<b>6</b>
<b>C3</b>	Tamaño de tuberías	<b>5</b>
<b>C4</b>	Facilidad de adaptación.	<b>4</b>
<b>C5</b>	capacidad de refrigeración volumétrica	<b>3</b>
<b>C6</b>	Diseño estético	<b>2</b>

Fuente: Rincón (2022)

Tabla 3 Parámetros de puntuación

<b>1</b>	No cumple con el criterio a evaluar.
<b>2</b>	No cumple totalmente con la expectativa generada por el criterio.
<b>3</b>	Cumple totalmente con el criterio a evaluar.

Fuente: Rincón (2022)

Tabla 4: Ponderación de soluciones de acuerdo a criterios de selección

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>
<b>A II</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
<b>A III</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>

Fuente: Rincón (2022)

Tabla 5: Evaluación de soluciones

EVALUAR SOLUCIONES		TOTAL PUNTOS
A II	$2x7 + 2x6 + 2x5 + 2x4 + 2x3 + 2x2$	54
A III	$3x7 + 3x6 + 2x5 + 3x4 + 3x3 + 2x2$	74

Fuente: Rincón (2022)

De acuerdo a la ponderación de criterios y al estudio efectuado la mejor solución es el refrigerante III, ya que es la que presenta mayor puntuación, es por esto que el resto de las soluciones son descartadas

### 4.3 Establecer el proceso adecuado de congelación criogénica para una buena conservación de la materia prima

En las carnes el agua es el constituyente principal. La mayor parte de esta agua es agua "libre", donde se disuelven los componentes celulares solubles, mientras que otra escasa proporción de agua está ligada mediante enlace químico o físico, a hidratos y complejos macromoleculares coloidales. Además, una gran parte de la solución acuosa está integrada en las estructuras gelificadas o fibrosas de la célula. La transformación de agua en hielo, fenómeno más aparente en el transcurso de la congelación, implica que el agua emigra desde el seno de los tejidos para luego solidificarse; este proceso sólo es parcialmente reversible en el momento de la descongelación; de ahí la formación de exudados y otras modificaciones.

El exudado procedente de la descongelación de los tejidos es en la práctica, difícil de distinguir de cualquier otra humedad superficial o de condensación. La humedad que se forma en la superficie al descongelar, propicia en ocasiones, la posibilidad de invasión de microorganismos. La congelación del agua aumenta la concentración de los componentes celulares solubles (hasta provocar, en ciertos casos, saturación y precipitación), modifica el pH de las soluciones y, por consiguiente, afecta al contenido de agua que retiene los complejos coloidales y en las estructuras gelificadas o fibrosas. La concentración de los componentes celulares conduce a fuertes concentraciones de electrolitos, algunos de los cuales interponen en las cadenas poli peptídicas de las proteínas, provocando su desnaturalización.

En las células vivientes, este proceso implica, comúnmente, una acción letal (congelación y almacenamiento en estado congelado provocan una ligera reducción en la población para la mayoría de los microorganismos), pero en los alimentos, que están

constituidos la mayoría de las veces por tejidos muertos, el proceso puede ocasionar, durante el almacenamiento, cambios irreversibles de textura (dureza y modificaciones bioquímicas desfavorables; por ejemplo. sabores indeseables de origen enzimático). Para comprender la congelación hay que considerar en bloque toda su fenomenología (aspectos físicos, fisicoquímicos y bioquímicos) (ver figura 15).



Figura 15: Carne en buen estado

Fuente: Manuel Domínguez (2009)

La calidad microbiológica original de la carne varía considerablemente en función de factores complejos no siempre fáciles de controlar completamente, principalmente el estado fisiológico del animal y las condiciones de sacrificio. La proliferación de gérmenes contaminantes, gérmenes de alteración y gérmenes patógenos, evolucionan a velocidades estrechamente vinculadas a la temperatura, hasta tal punto que la única forma de garantizar la seguridad del usuario y/o consumidor es "instalar" lo más rápidamente posible el primer eslabón de lo que será la "cadena de frío". Y, aunque la acción del frío pudiera entrañar una pequeña disminución de las características organolépticas del producto, ello es irrelevante frente a la importancia del problema sanitario. Conviene, por lo tanto, considerar que el enfriamiento precoz y rápido sigue siendo siempre la regla de oro del elaborador.

Según Domínguez, García y Arias (2009) las recomendaciones principales para los productos congelados son: que se haga bien la congelación y la descongelación, ya que el tamaño de los cristales de hielo, la rotura de las células y la consiguiente formación de exudados,

dependen de la velocidad de enfriamiento, que es función del coeficiente superficial del fluido enfriador y de la diferencia de su temperatura y la temperatura de cambio de fase del producto.

El inicio de la congelación suele ser entre -2 a -3°C. pero su terminación, puede llegar a ser de -14 a -15°C. por lo que las temperaturas de conservación, deben encontrarse entre -18°C a -20°C. los productos de carnes de cerdo deben estar a una humedad relativa entre 90% y 95 % y a una temperatura entre -18°C y -20°C para congelar (ver figura 16).

PRODUCTO	REFRIGERACIÓN			CONGELADO	
	TEMPERATURA °C	HUMEDAD RELATIVA %	DURACIÓN CONSERV días	TEMPERATURA °C	DURACIÓN CONSERV días
Vaca	0, -1,5	90	10 a 28	-18 a -20	365
Ternera	-1,0	90	7 a 21	-18 a -20	300
Cordero	-1,0	90 a 95	7 a 14	-18 a -20	270
Cerdo	0, -1,5	90 a 95	7 a 14	-18 a -20	160
tocino	-3,-1	80 a 90	30	-18 a -20	90
sebo	-1,0	80 a 95	90 a 150	-18 a -20	
manteca	-1,0	80 a 95	120 a 240	-18 a -20	270
despojo	-1,0	85 a 90	7	-18 a -20	
Aves	0 a 2	85 a 90		-18 a -20	
Huevos	0 a 1	85 a 90	160 a 190		
Leche					
normal	0-4				
yogur	2 a 5		5 a 10		
esterilizada	0-22				
en polvo	0-24	60-70			
evaporada	5				
nata	0 a 2		2 a 3		
mantequilla	4 a 6		14 a 21	-18 a -20	240
quesos					
frescos	0 a 5		2		
blandos	0 a 2				
duros	0 a 5				
fundidos	10 a 12	60			
azules	0 a 5				

Figura 16: Datos de Productos

Fuente: Manuel D, Carmen Gy José A (2009)

#### 4.4 Determinación de las cargas térmicas

Las cámaras frigoríficas son recintos cerrados, aislados diseñados con el fin de prevenir la entrada de calor del exterior. Si la cámara permaneciera sellada indefinidamente, solo entraría en ella el calor que atraviesa sus paredes. Pero de nada serviría una cámara frigorífica si no se pudiera acceder al producto almacenado en su interior, y para acceder a él, hay que abrir las puertas, encender luces y quizás accionar algún motor eléctrico. Es por ello que se hace necesario determinar la carga térmica o el calor que se debe extraer de la cámara para mantenerla a una temperatura constante. Entre sus componentes más significativos se tiene:

- Calor sensible o latente del producto a almacenar.

- Calor conducido a través de las superficies de la cámara.
- Calor por convección desde fuera (infiltración de aire o ventilación), tanto sensible como latente.
- Fuentes internas de calor: luces, motores de ventiladores, maquinaria, personal, etc.

#### 4.4.1 Cantidad total de calor sensible y latente:

para ser eliminado en el enfriamiento de un producto, según el manual **Elsevier, Refrigeration and Air Conditioning** está dada por la siguiente ecuación:

$$H = M[(C_a + \Delta T_a) + h_1 + (C_b + \Delta T_b)]$$

Donde:

**H**= Cantidad total de calor en kj.

**M**= Masa del producto en kg.

**Ca**= Calor específico (antes de congelar) en (kj/kg\*°k), para carne de cerdo

$\Delta T_a$ = Disminución de la temperatura antes de congelar el producto °k.

**h<sub>1</sub>**= Calor latente de congelación (kJ/kg) para carne de cerdo

**Cb**= Calor específico (después de congelar) (kj/kg\*°k), para carne de cerdo

$\Delta T_b$ = Disminución de la temperatura después de congelar °k.

Algunos de estos componentes serán cero si el enfriamiento no se realiza a través de la gama de temperaturas por encima y por debajo del punto de congelación. La tasa de extracción de calor, es decir, la carga de producto a enfriar será de:

$$Q = \frac{H}{t}$$

**Donde:**

**Q**=Carga térmica debido al producto en KW.

**T**= Tiempo disponible para refrigeración en segundos (s).

1. Para determinar la cantidad de producto a congelar, se parte de las dimensiones que posee el túnel (ver figura 17 y 18), de las dimensiones de las paletas (ver figura 19) y cestas (ver figura 21) donde va a ir ubicado el producto, ya que, se establece que el producto se almacenara en paletas y no en racks.

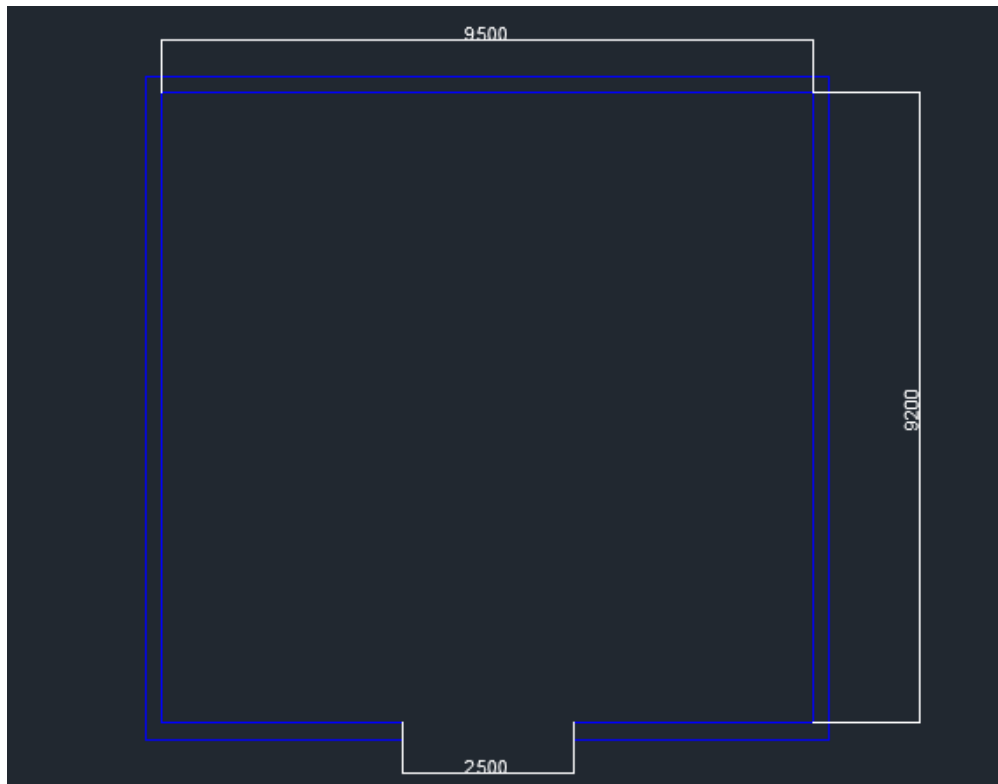


Figura 17: Plano Túnel congelación

Fuente: Rincon (2022)

- Dimensiones Túnel (internas) (ver figura 17):

**Largo**= 9.20 m.

**Ancho**= 9.50 m.

**Alto**= 5.00 m.

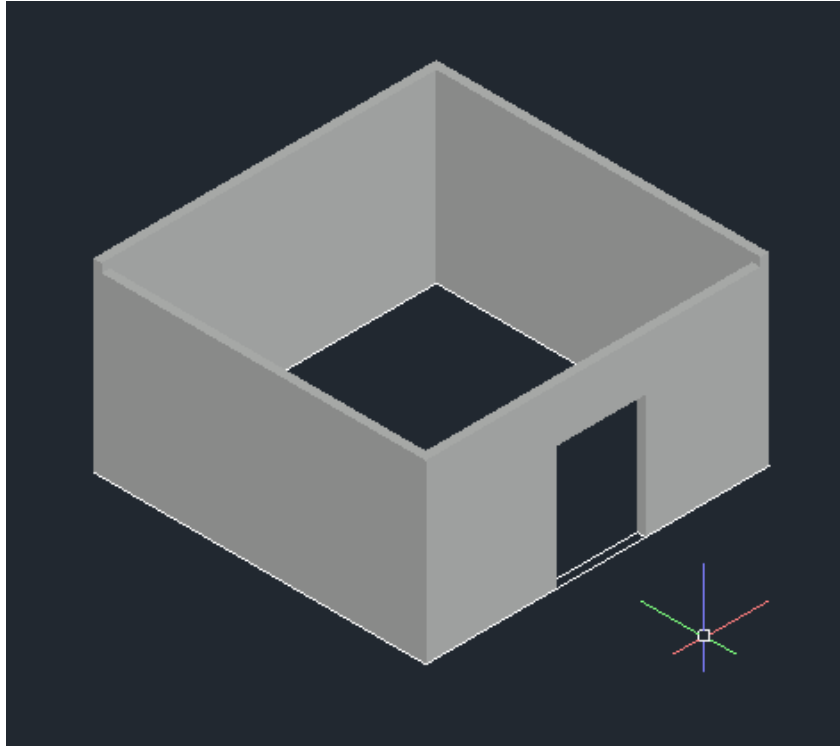


Figura 18: Vista ISO del túnel

Fuente: Rincon (2022)

$$\text{Superficie piso} = 9.20 * 9.50 = 87.4 \text{ m}^2$$

➤ Dimensiones Paleta:

**Largo**= 1.2 m.

**Ancho**= 1.2 m.

**Alto**=12 cm.



Figura 19: Paleta de madera

Fuente: Rondón (2015)

$$\text{Superficie paleta} = 1.2 * 1.2 = 1.44 \text{ m}^2$$

Se debe dejar en el área del túnel al menos un 25 % de área libre para que el personal pueda laborar en el sin inconvenientes, por ello el disponible para ubicar las paletas en el túnel será del

$$\text{Área disponible tunel} = 87.4 \text{ m}^2 * 0.75 = 65.55 \text{ m}^2$$

Al dividir esta cantidad obtendremos la máxima cantidad permisible de paletas en el túnel de congelación (ver figura 20).

$$\text{max cantidad paletas} = \frac{65.55 \text{ m}^2}{1.44} = 45.52 \text{ paletas}$$

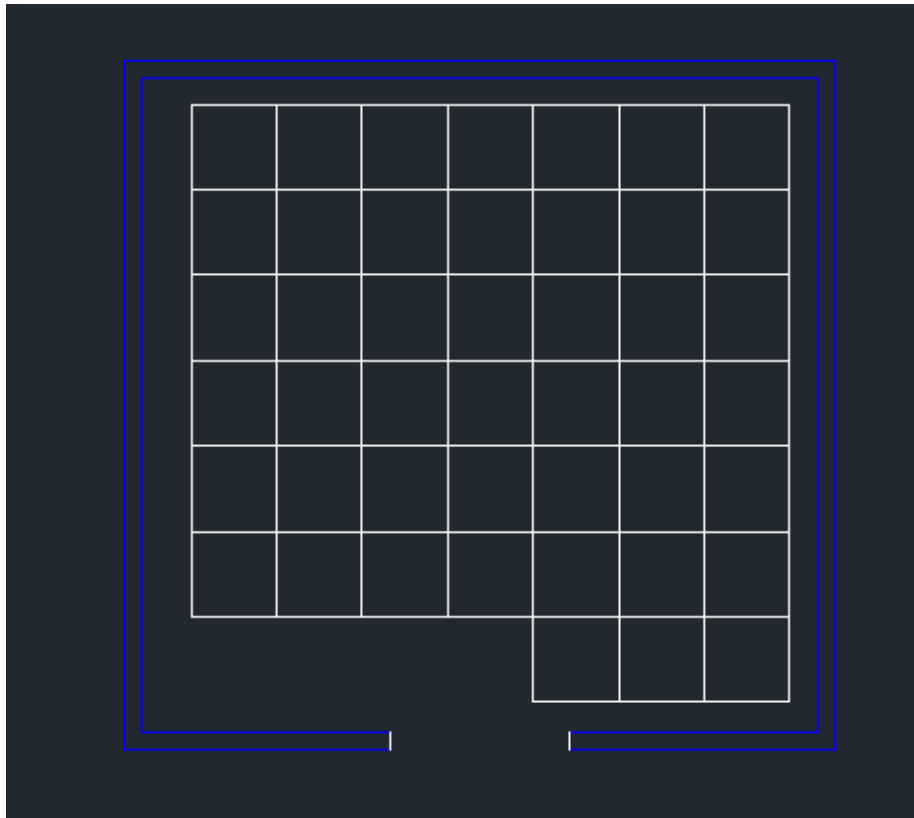


Figura 20: Distribución dentro del túnel

Fuente: Rincon (2022)

➤ Dimensiones Cesta:

**Largo:** 0.6 m.

**Ancho:** 0.4 m.

**Alto:** 0.3 m.



Figura 21: Cesta de almacenaje.

Fuente: Rondón (2015)

$$\text{Superficie de cada cesta} = 0.6 * 0.4 = 0.24 \text{ m}^2$$

En la superficie de cada paleta pueden ubicarse

$$\frac{\text{Area de cada paleta}}{\text{Area de cada cesta}} = \frac{1.44}{0.24} = 6 \text{ cestas}$$

Por medidas de seguridad y estabilidad en el almacenamiento del producto, se ubicarán columnas de hasta 6 cestas en cada paleta, lo que da un total de **36 cestas** por cada paleta. Las 6 columnas de cestas (0.3 m de altura cada una) más la altura de la paleta (0.12 m) da un total de **1.92 m**, lo que no supera los **5 m** de altura del túnel de congelación.

**Cada cesta es capaz de almacenar hasta 19.5 kg de Carne de cerdo para materia prima.**

Entonces, la cantidad total de producto será igual a:

$$\text{max cant paletas} * \text{max cant cestas por paleta} * \text{max cant producto por cesta} =$$

$$= 45.51 * 36 * 19.5 = 31590 \text{ kg}$$

- El tiempo de congelación establecido para este túnel de **18 hr a 20 hr**, que equivale a **64800 seg.**
- La temperatura de entrada de la carne de cerdo es muy variable, pero generalmente está por encima de los 20°C, en este proyecto se estimará la temperatura de entrada del producto de +33°C.
- De acuerdo a lo mencionado anteriormente para este proyecto se designó la humedad relativa en 90 % y -18°C para la temperatura de congelación.
- La temperatura de congelación para los productos de animales, en específico el cerdo es de -2.2°C.

Al sustituir todos los valores anteriores (ver figura 22) en la ecuación de Q, se tiene:

Carnes	Temp. conservación °C	Humedad relativa %	Tiempo conservación recomend.	Punto de congelación °C	Calor esp. antes cong. Kcal/Kg/°C	Calor esp. después cong. Kcal/Kg/°C	Calor latente Kcal/Kg
Aves frescas promedio	-2 a +0	95/100	1/4 semanas	-2,8	0,79	0,42	59,0
Aves pato	-2 a +0	95/100	1 semana	-2,7	0,76	0,41	55,0
Aves pavo todo tipo	-2 a +0	95/100	1/4 semanas	-2,7	0,72	0,40	51,0
Aves pollo todo tipo	-2 a +0	95/100	1/4 semanas	-2,8	0,79	0,42	59,0
Aves de corral	-1 a +0	85/90	1 semana	-2,8	0,79	0,42	59,0
Bacon	+3 a +5	80/85	2/3 semanas	-2	0,36	0,26	16,0
Buey (magro)	+0 a +1	85/90	1/5 semanas	-1,7	0,77	0,42	56,0
Buey (graso)	+0 a +1	85/90	1/5 semanas	-2,2	0,60	0,35	44,0
Cerdo fresco promedio	+0 a +1,1	85/90	3/10 días	-2,2	0,65	0,36	45,0
Conejo fresco promedio	-0,5 a +0,5	90/95	1/5 días	-1	0,74	0,40	55,0
Cordero fresco promedio	-1 a +0,5	90/95	1/2 semanas	-2	0,72	0,39	51,0
Despojos frescos promedio	-0,5 a +0,5	85/90	5/7 días	-1,7	0,76	0,41	55,6
Embutidos	+2 a +4	75/80	1/3 semanas	-1	0,60	0,35	45,0
Jamón y lomo fresco	+0 a +1	80/85	3/5 semanas	-2,5	0,68	0,38	48,0
Jamón poco curado	+3 a +5	80/85	1/2 semanas		0,68	0,38	48,0
Jamón y lomo ahumado	+12 a +14	65	1/2 semanas		0,60		

Figura 22: Características de productos

Fuente: Manuel D, Carmen Gy José A (2009)

$$Q_1 = \frac{32000 [(2.71966 * (33 + 2.2)) + 188.28 + (1.5 * (-2.2 + 18))]}{64800} =$$

$$Q_1 = 151.957 \text{ KW}$$

#### 4.4.2 Calor por conducción

El calor exterior se propaga hacia el interior por conducción a través del material que constituye las paredes del túnel. Estas están formadas por paneles (ver figura 23), que constan de un aislante térmico (**que para este proyecto se ha designado el uso de Poliestireno Expandido con una densidad entre 20 y 25  $\frac{kg}{m^3}$** ) cubierto por dos láminas o chapas de acero prelacada que no son más que acero galvanizado recubierto de una pintura seca al horno.

En este proyecto se estimará calcular el flujo de calor solo a través del aislamiento, haciendo caso omiso de otros materiales de construcción, ya que poseen una elevada conductividad térmica como lo es el acero galvanizado que ronda entre los **47 a 58  $\frac{W}{m \cdot ^\circ K}$**  frente a la del Poliestireno Expandido que es de apenas **0.035  $\frac{W}{m \cdot ^\circ K}$** . Es decir, que prácticamente el aislante térmico es el que impide verdaderamente el paso del calor hacia la cámara.



Figura 23: Panel aislante

Fuente: Rondón (2015)

El calor que atraviesa las paredes de una cámara está determinado por la siguiente expresión:

$$Q_2 = S * \frac{\lambda}{e} * (T_{amb} - T_{interior})$$

Donde:

$S$ = Superficie en  $m^2$ .

$\lambda$ = Coeficiente de conductividad térmica del aislante, para este proyecto es de  $0.035 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}$  por ser **Poliestireno Expandido**.(ver anexo A)

$e$ = Espesor del material en metros (m), en este proyecto es de **0.24 m**.

$T_{amb}$ = Temperatura ambiente en el exterior de la cámara en  $^\circ k$  o  $^\circ C$  resulta indiferente al ser una diferencia en la ecuación de calor por conducción, para este proyecto es de **28  $^\circ C$** , por estar ubicado en valencia.

$T_{interior}$ =Temperatura en el interior de la cámara en  $^\circ k$  o  $^\circ C$  resulta indiferente al ser una diferencia en la ecuación de calor por conducción, para este proyecto es de **-34 $^\circ C$** .

**Nota:** En los casos en que las paredes de la cámara frigorífica o túnel de congelación estén sujetos a la radiación solar, se debe tomar una asignación de 5 K por encima de la temperatura exterior. Entonces la temperatura ambiente queda igual a  $28+5=33^\circ C$ .

Con las dimensiones del túnel se puede determinar las Áreas en  $m^2$  de las paredes, pisos y techos del túnel (ver tabla 6)

Tabla 6: Áreas de paredes, piso y techo en  $m^2$ .

PAREDES MAS LARGAS	95
PAREDES MAS CORTAS	92
AREA PISO y TECHO	174.8

Fuente: Rincón 2022

En una de las paredes largas del túnel se encontrará una puerta que está formada en su mayoría por Poliuretano a una densidad de  $40 \frac{kg}{m^3}$  y con algunas partes de acero inoxidable.

Análogamente a los paneles, la conductividad del **Acero Inoxidable AISI 304** ( $16.3 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}$ ) resulta muy alta frente a la del **poliuretano** ( $0.02 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}$ ), por ello se estimará el cálculo del calor conducido solo a través del aislante térmico, porque el acero inoxidable prácticamente deja pasar casi todo el calor por él.

Para facilitar los cálculos de calor conducido, se estimará que todo el túnel está formado por Poliestireno Expandido ya que la conductividad de este material de los paneles ( $0.035 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}$ ) es un poco mayor a del poliuretano de las puertas ( $0.02 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}$ ), resultando de esta manera en un margen de seguridad al resultar en un valor un poco mayor al incluir el aislante de las puertas.

Al sustituir estos valores en las paredes y techo, se tiene:

$$Q_{\text{paredes mas largas}} = 95 \text{ m}^2 * \frac{0.035 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}}{0.24} * (33^\circ\text{C} + 34^\circ\text{C}) = 928.229 \text{ W}$$

$$Q_{\text{paredes mas cortas}} = 92 \text{ m}^2 * \frac{0.035 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}}{0.24} * (33^\circ\text{C} + 34^\circ\text{C}) = 898.9167 \text{ W}$$

$$Q_{\text{techo}} = 96.60 \text{ m}^2 * \frac{0.035 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}}{0.24} * (33^\circ\text{C} + 34^\circ\text{C}) = 943.8625 \text{ W}$$

$$Q_{\text{piso}} = 87.4 \text{ m}^2 * \frac{0.035 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}}{0.24} * (33^\circ\text{C} + 34^\circ\text{C}) = 853.97 \text{ W}$$

La carga total por conducción será igual a:

$$Q_2 = \frac{Q_{paredes\ mas\ largas} + Q_{paredes\ mas\ cortas} + Q_{techo} + Q_{piso}}{1000}$$

$$Q_2 = 3.6249\ KW$$

#### 4.4.3 Calor por convección

El aire caliente entrará desde el exterior, principalmente durante la apertura de puertas para el paso de mercancías. Esto debe ser estimado sobre la base de la posible utilización de las puertas, y esas cifras se basan en la práctica observada. Esta ganancia de calor es función del tamaño del túnel o cámara de congelación, de la diferencia de entalpía entre el interior y aire exterior, y del uso de las puertas. Este último se ve afectada por la existencia de esclusas de aire y cortinas.

Este calor se puede estimar por la siguiente ecuación:

Para cámaras con menos de  $100\ m^3$ :

$$Q_3 = \frac{(0.7 * V + 2)\Delta T}{1000}$$

Para cámaras con más de  $100\ m^3$ :

$$Q_3 = \frac{(0.125 * V + 27)\Delta T}{1000}$$

Donde:

$Q_3$  = Calor por convección en KW.

$V$  = Volumen del túnel o cámara de congelación, en este proyecto tiene un valor de **437 m<sup>3</sup>**.

$\Delta T = T_{amb} - T_{interior}$ ; Para este proyecto tiene un valor de  $28^\circ\text{C} - (-35^\circ\text{C}) = 63^\circ\text{C}$ .

**Nota:** Para aplicaciones donde hay mucho tráfico por las puertas después de cerrar la cámara o el túnel, se puede incrementar  $Q_3$  entre un 20 a 35%.

Como el túnel de este proyecto posee más de 100 m<sup>3</sup>, al sustituir los valores en la segunda ecuación para el calor por convección, se tiene:

$$Q_3 = \frac{((0.125 * 437) + 27)(63^\circ\text{C})}{1000} = 5.14 \text{ KW}$$

#### 4.4.4 Fuentes internas

Aquí se agrupan las fuentes de calor debidas a Iluminación, montacargas, motores de ventiladores de los evaporadores, personas que van a encontrarse dentro del túnel, etc. Estas cargas están en función del tiempo que van a estar generando calor dentro del espacio a refrigerar, y según el manual **Elsevier, Refrigeration and Air Conditioning** cada una de ellas se puede estimar mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{4 \text{ individual}} = \frac{\text{Carga} * ti}{24}$$

Donde:

**Carga** = Carga térmica del equipo en W.

**Ti** = Tiempo total que está funcionando el equipo dentro del túnel cada día, en horas.

##### ➤ **Montacargas**

La carga debida a este equipo es muy variable ya que depende del modelo, fabricante y rendimientos, además de que el calor que irradian cuando están levantando algún peso no es idéntico a cuando están en movimiento, para solucionar esto el fabricante **Hetacraft** del área de refrigeración en su manual **quick calculations for walk-in coolers and freezers**,

estima que esta carga ronda entre los 4 y 5 Hp. En este proyecto se usará 5 Hp que equivale a 3730 W y que está funcionando dentro del túnel un tiempo igual a 3 horas.

$$Q_{4-\text{montacargas}} = \frac{3730 * 3}{24} = 466.25 \text{ W}$$

➤ **Motor ventilador y descongelador de evaporadores**

Estas fuentes de calor se encuentran en el evaporador, y para poder seleccionarlo es necesario tener la carga térmica del espacio a refrigerar. Para solucionar este problema el fabricante INTARCON recomienda sumar las cargas anteriores, luego sumar a este valor  $Q_1$ ,  $Q_2$  y  $Q_3$ , posteriormente agregarle un 10 % que incluirá los motores ventiladores y un 5% que incluirá el descongelador de los evaporadores.

**Nota:** Para el túnel de congelación se omitirá la carga por iluminación y del personal que descarga los productos dentro del túnel, ya que representan valores muy pequeños o despreciables en comparación a los demás.

$$Q_4 = Q_{4-\text{montacargas}} + Q_{4-\text{iluminacion}} + Q_{4-\text{personas}} =$$

$$Q_4 = 0.4662 \text{ KW}$$

$$Q_{SUB-\text{total}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 161.18815 \text{ KW}$$

Esta potencia es por cada 24 hr, y los compresores debido a ciertos procesos como el descongelamiento no siempre están funcionando las 24hr, es por ello que se debe llevar esta potencia a las horas que aproximadamente deben estar operando, en este caso será de 20 hr.

$$P_{\text{frigorifica Horaria}} = 161.18815 \frac{\text{KW}}{24\text{hr}} * (20) = 134.3235 \text{ KW}$$

Al agregarle un factor de seguridad de 15% para cubrir las disparidades entre el diseño y la realidad del proyecto resulta:

$$Q_{total} = P_{frigorifica\ Horaria} * 1.5 = 134.3235 * 1.5 = 201.485 \approx 207\ KW$$

Al diseñar este túnel se establecerá que al no estar funcionando y en caso de que se necesite un lugar para mantener el producto almacenado, este túnel puede funcionar en modo "cava", es decir, con regulación por temperatura, en caso de que el cliente haga que el producto permanezca durante un tiempo superior al de congelación, variando el flujo normal de carga y descarga del túnel. Es por eso que se establecerá una carga máxima para este modo de funcionamiento de 20000 kg de producto. Es por eso que en este caso se debe dejar en el área del túnel al menos un 55 % de área libre dentro del túnel, por ello el disponible para ubicar las paletas en el túnel será del

$$\text{Área disponible tunel} = 87.4\ m^2 * 0.25 = 21.85\ m^2$$

Al dividir esta cantidad se obtendrá la máxima cantidad permisible de paletas en el túnel de congelación (ver figura 24).

$$\text{máx cantidad paletas} = \frac{39.33\ m^2}{1.44} = 15.17\ paletas$$

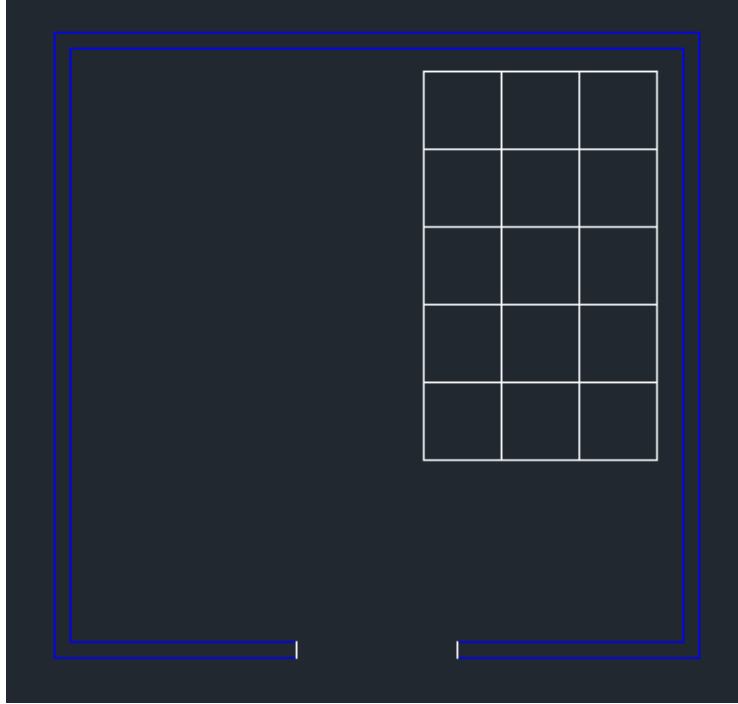


Figura 24: Distribución Modo Cava

Fuente: Rincón (2022)

Entonces, la cantidad total de producto será igual a:

$$\begin{aligned} & \mathbf{max\ cant\ paletas * max\ cant\ cestas\ por\ paleta * max\ cant\ producto\ por\ cesta} \\ & = 27.31 * 36 * 19.5 = 19663.2\ kg \end{aligned}$$

Es por eso que tanto la cantidad total de calor sensible y latente como el calor por convección en el modo cava es de:

$$Q_5 = \frac{10000 [(2.71966 * (33 + 2.2)) + 188.28 + (1.5 * (-2.2 + 18))]}{64800} =$$

$$Q_5 = 47.4864\ KW$$

$$Q_6 = \frac{((0.125 * 437) + 27)(28^\circ\text{C} - (-25^\circ\text{C}))}{1000} = 4.32\ KW$$

Siendo así la potencia frigorífica para el modo Cava de:

$$Q_{SUB-total} = Q_5 + Q_2 + Q_6 + Q_4 = 56.355 \text{ KW}$$

Al agregarle un factor de seguridad de 15% para cubrir las disparidades entre el diseño y la realidad del proyecto resulta:

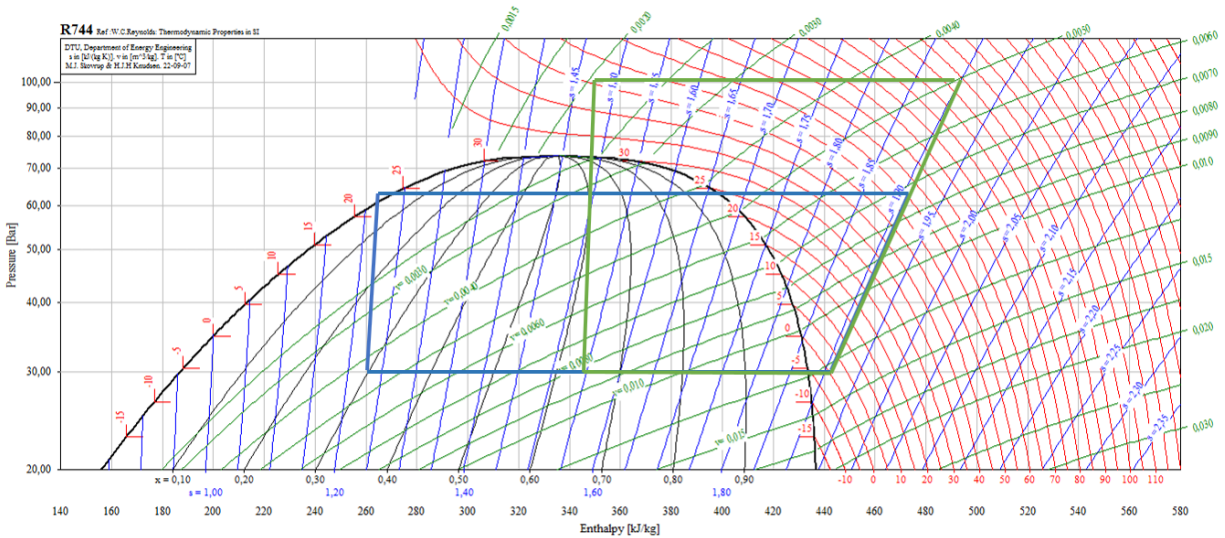
$$Q_{total} = P_{frigorifica \text{ Horaria}} * 1.5 = 56.355 * 1.5 = 84.53 \approx 90 \text{ KW}$$

## **4.5 Diseño y selección de los equipos y materiales a utilizar en el túnel de congelación**

### **4.5.1 Sistema de R744**

Algunas características del  $CO_2$  hacen que se deban usar sistemas de refrigeración más complejos si se quiere usar esta sustancia como refrigerante. A lo largo de este trabajo se estudiará la alternativa del  $CO_2$  en un sistema de doble etapa de compresión

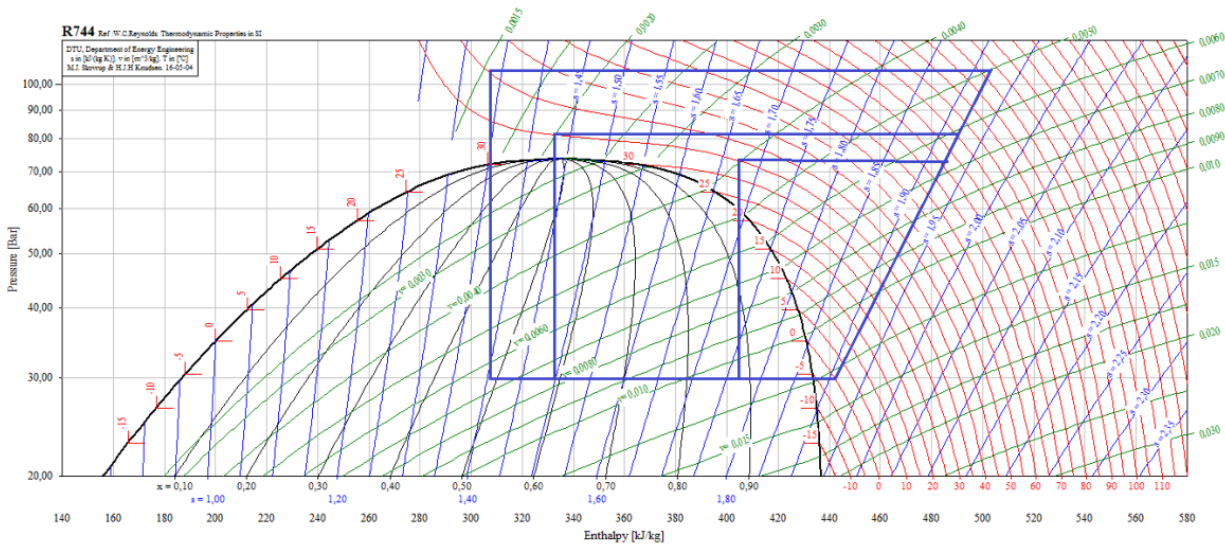
Antes de empezar a explicar el sistema de doble etapa de compresión, sin embargo, es necesario comprender las diferencias entre un sistema que trabaja en subcrítico y uno que trabaja en transcrito. Se recuerda que el punto crítico del  $CO_2$  se encuentra a  $31^\circ C$  y a 72,8 bar. Por lo tanto, los sistemas de R744 trabajaran en la zona subcrítica cuando la temperatura de condensación esté por debajo de  $31^\circ C$ , y en la zona transcrito cuando lo esté por encima (ver figura 25)



**Figura 25:** Sistema transcrito y Subcritico

Fuente: Software COOLPACK

En el siguiente gráfico (ver figura 26) se observan tres ejemplos con idénticas condiciones de evaporación y también con la misma temperatura de salida del gas cooler (40°C). Lo que varía es la presión de descarga de los compresores: a medida que se reduce esta presión, también se reduce la capacidad de enfriamiento.



**Figura 26:** Variación de presión de descarga

Fuente: Software COOLPACK

Con este gráfico también se puede entender más sobre la potencia de entrada del compresor. Evidentemente, cuanto más alta sea la presión de descarga más alta tendrá que ser la potencia de entrada al compresor, pero se observa que la variación en la potencia de entrada no es proporcional a la variación de la capacidad de enfriamiento.

#### 4.5.2 El sistema de doble etapa de compresión

La compresión en dos etapas con enfriamiento intermedio (abreviada aquí como “compresión de dos etapas”) es usada para aplicaciones del sistema transcrito de  $CO_2$  con servicios de temperaturas positivas y negativas (es decir, con gran diferencia en temperaturas de evaporación). El siguiente esquema (ver figura 27) muestra la configuración de un sistema de doble etapa de compresión (también llamado booster de R744) con enfriamiento intermedio, que es el que se analizará a lo largo de este proyecto.

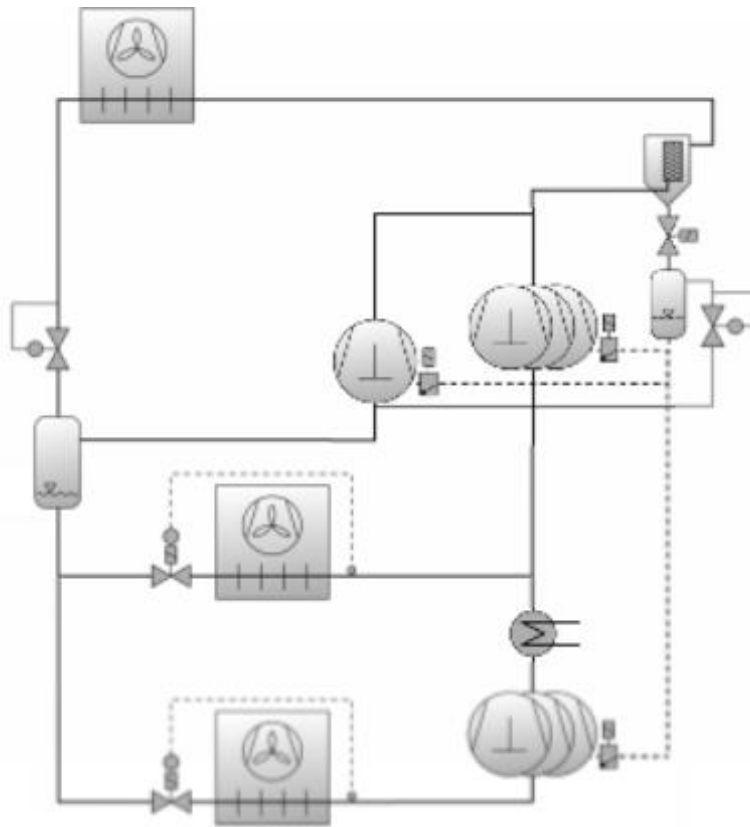


Figura 27: Sistema Doble Etapa

Fuente: Software BITZER

### 4.5.3 Selección de Rack de compresores para CO<sub>2</sub>

Los compresores son los dispositivos encargados de hacer circular el refrigerante por la instalación con el caudal adecuado a la potencia frigorífica que se debe desarrollar y por lo tanto hay que determinarlo de forma correcta. (ver anexo B) Son los elementos más laboriosos de determinar y los que más cálculos requieren, aunque hay muchos catálogos y softwares, de los que las casas comerciales editan hoy en día, reúnen los datos suficientes como para poder seleccionar el compresor sin necesidad de cálculos. Para este proyecto se utilizará el software de selección de productos de la empresa BITZER en la versión 6.17.8 (ver figura 28).



Figura 28: Interfaz Software BITZER

Fuente: Software BITZER

#### ➤ **Parámetros de entrada para la selección del rack de CO<sub>2</sub>.**

Para la correcta selección del sistema de compresores, o más conocido como rack, se necesita (ver figura 29):

- Temperatura ambiente: 34°C A esta temperatura el refrigerante R744 se encuentra en fase transcrítica, lo que hace necesario adicionar una etapa de compresores en paralelo, los cuales ayudaran a liberar la presión de vapor en el tanque de líquido
- Compresores de baja: deberán ser de alta presión de parada (ME)
- Potencia frigorífica de baja temperatura: 207 kW.
- Potencia frigorífica de media temperatura: 90 kW.
- Temperatura de evaporación de baja: -40°C

- Temperatura de evaporación de media:  $-8^{\circ}\text{C}$ .
- Temperatura de salida de gas:  $25^{\circ}\text{C}$  (se considera un delta de 2K).
- Intercambiador de calor: Sí.
- Frecuencia de la red eléctrica: 50 Hz.
- Estimar el número de compresores en cada etapa: 3 en baja, 2 en media y 1 en paralelo

BITZER Software v6.17.8 rev2725

Sistemas de CO2

Sistema: Flashgas

Potencia frigorífica  
 Modelo de compresor

**Etapa BT**    **Etapa TP**     **Etapa paralela**

Serie: Estándar    Estándar    Estándar  
 Modo de funcionamiento: Subcrítico    Transcrítico    Transcrítico  
 Variador de frecuencia: Externo    Externo    Externo

**Selección del compresor**

	Etapa BT	Etapa TP	Etapa paralela
Potencia frigorífica	207 kW	90 kW	
Numero de compresores	3	2	1
# 1	33 %	50 %	100 %
Frecuencia del compresor	Auto	Auto	Auto
# 2	33 %	50 %	
# 3	33 %		

**Punto de funcionamiento**

	Etapa BT	Etapa TP	Etapa paralela
Temp. de evaporación	-40 °C	-8 °C	
Recalentamiento evaporador	5 K	5 K	
Recalentamiento de la línea de aspiración	5 K	5 K	5 K
Alta presión		Auto	
salida enfriador de gas		25 °C	
Presión intermedia		40 bar(a)	5,30 °C

**Configuración adicional**

<input type="checkbox"/> Aire acondicionado		-- kW
<input type="checkbox"/> IHX Flashg. - Gas c.		-- K
<input checked="" type="checkbox"/> Desrecalentador	28 °C	
<input type="checkbox"/> Intercambiador de calor interno para la etapa de baja temp.	-- K	

**Alimentación eléctrica**

Frecuencia de la red: 50Hz

Figura 29: Parámetros para la selección de compresores

Fuente: Software BITZER

El programa arroja la siguiente configuración de compresores para baja (ver figura 30), media temperatura (ver figura 31) y la etapa paralela (ver figura 32):

Compresor	Etapa BT	4NSL-30K	4NSL-30K	4NSL-30K
Frecuencia del compresor	--	70,0 Hz	--	--
Potencia en el evap.	205 kW	84,7 kW	59,9 kW	59,9 kW
Ratio	--	41,4 %	29,3 %	29,3 %
Potencia absorbida	63,9 kW	27,0 kW	18,43 kW	18,43 kW
Corriente	111,7 A	44,6 A	33,6 A	33,6 A
Gama de tensiones	--	380-420V	380-420V	380-420V
Caudal másico	3241 kg/h	1342 kg/h	949 kg/h	949 kg/h
Recalentamiento total	9,90 K	9,90 K	9,90 K	9,90 K
Temp. Gas de descarga no enfriado	61,5 °C	62,9 °C	60,5 °C	60,5 °C

Figura 30: Compresores alta temperatura

Fuente: Software BITZER

Compresor	Etapa TP	6CTE-50K	6CTE-50K
Frecuencia del compresor	--	60,0 Hz	--
Potencia en el evap.	66,9 kW	36,8 kW	30,0 kW
Ratio	--	55,1 %	44,9 %
Capacidad enfriador de gas	415 kW	184,9 kW	150,9 kW
Potencia absorbida	88,9 kW	48,8 kW	40,1 kW
Corriente	170,7 A	92,3 A	78,4 A
Gama de tensiones	--	380-400V	380-400V
Caudal másico	4293 kg/h	2364 kg/h	1929 kg/h
Recalentamiento total	29,2 K	29,2 K	29,2 K
Temp. Gas de descarga no enfriado	118,7 °C	118,4 °C	119,0 °C
Alta presión óptima	75,0 bar(a)	--	--

Figura 31: Compresores media temperatura

Fuente: Software BITZER

Compresor	Etapa paralela	4HTE-20K
Frecuencia del compresor	--	58,0 Hz
Ratio	--	100,0 %
Potencia absorbida	13,13 kW	13,13 kW
Corriente	22,3 A	22,3 A
Gama de tensiones	--	380-420V
Caudal másico	1385 kg/h	1385 kg/h
Recalentamiento total	5,00 K	5,00 K
Temp. Gas de descarga no enfriado	63,7 °C	63,7 °C

Figura 32: Compresor en paralelo

Fuente: Software BITZER

➤ **Funcionamiento del Rack de compresores**

A continuación se presenta el esquema de funcionamiento del rack de compresores (ver figura 33) y el diagrama de Mollier del refrigerante R774 ( $CO_2$ ) junto al ciclo de refrigeración (ver figura 34)

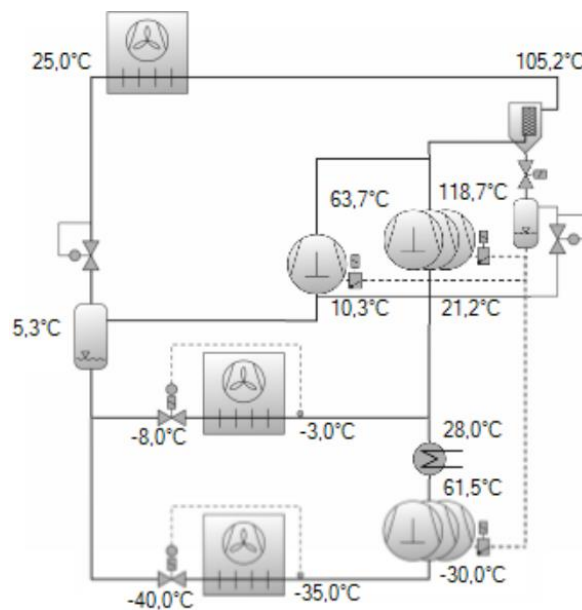


Figura 33: Esquema mecánico

Fuente: Software BITZER

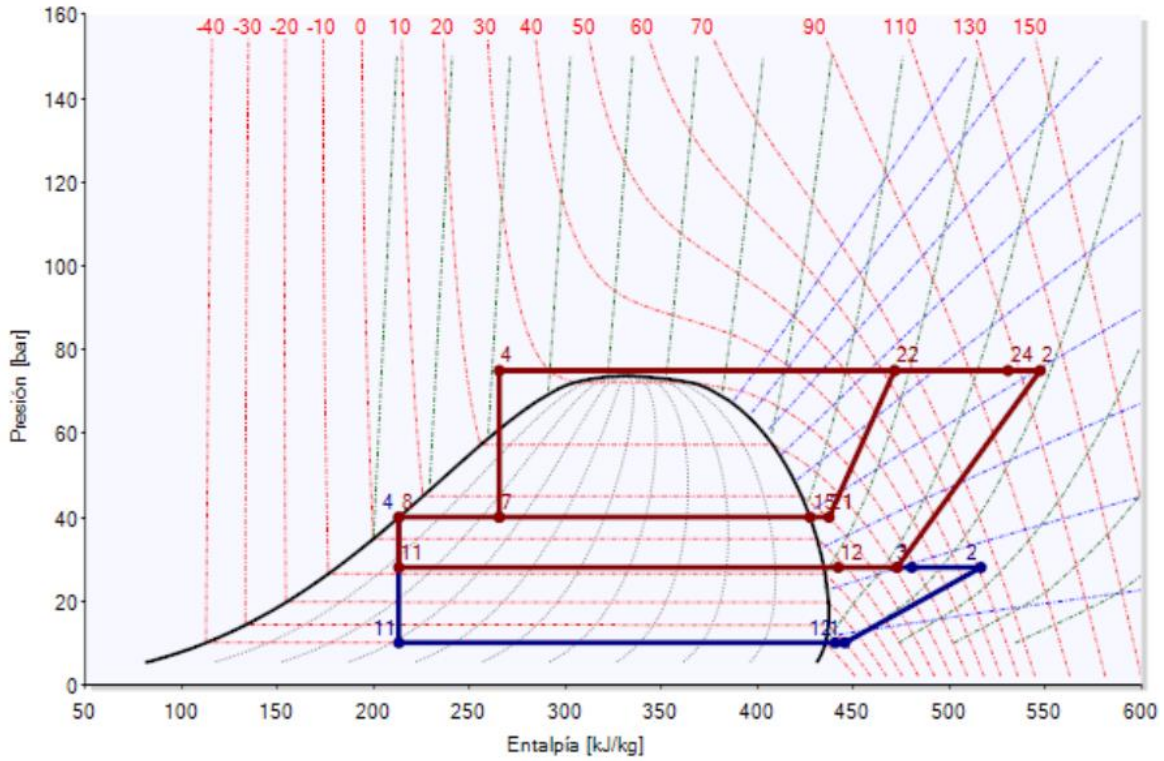


Figura 34: Diagrama Mollier R744

Fuente: Software BITZER

### **Etapas BT (Baja Temperatura)**

- 1 - 2 Compresión
- 2 - 3 Des recalentamiento
- 4 - 11 Expansión
- 11 - 12 Evaporación
- 12 - 1 Recalentamiento línea de evaporación

### **Etapas TP (Temperatura Media)**

- 1 - 2 Compresión

- 2 - 4 Enfriamiento de gas / condensación
- 4 - 7 Expansión a presión intermedia
- 7 - 8 Depósito intermedio: salida de líquido
- 8 - 11 Expansión hasta la presión de evaporación
- 11 - 12 Evaporación
- 12 - 1 Recalentamiento total
- 7 - 15 Depósito intermedio: salida de gas

### **Etapas paralelas**

- 21 - 22 Compresión

- **Datos y Diseño técnicos de los compresores**

- **Compresor Baja Temperatura 4NSL-30K**

Volumen desplazado (1450 rpm a 50 Hz): 46,9 m<sup>3</sup>/h

Volumen desplazado (1750 rpm a 60Hz): 56,6 m<sup>3</sup>/h

Peso: 171 kg

Presión máxima (BP/AP): 30 / 53 bar

Vistas del diseño con medidas del compresor (ver figura 35, 36, 37)

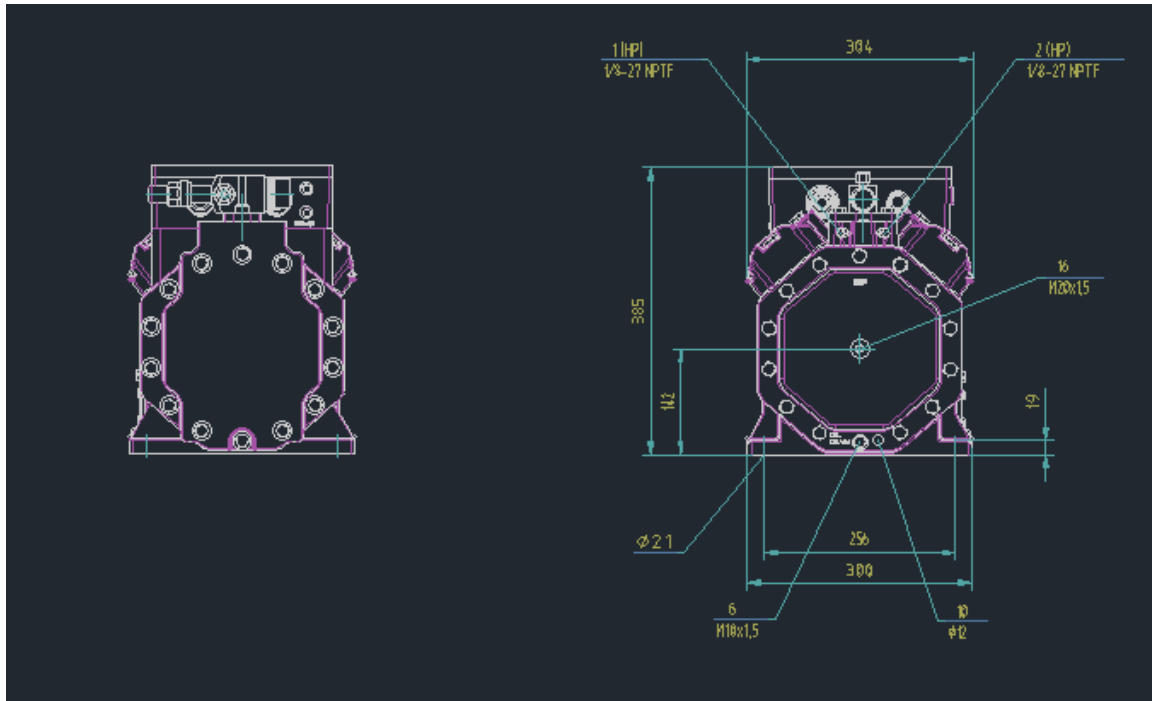


Figura 35: Vista frontal Compresor BT

Fuente: Rincon (2022)

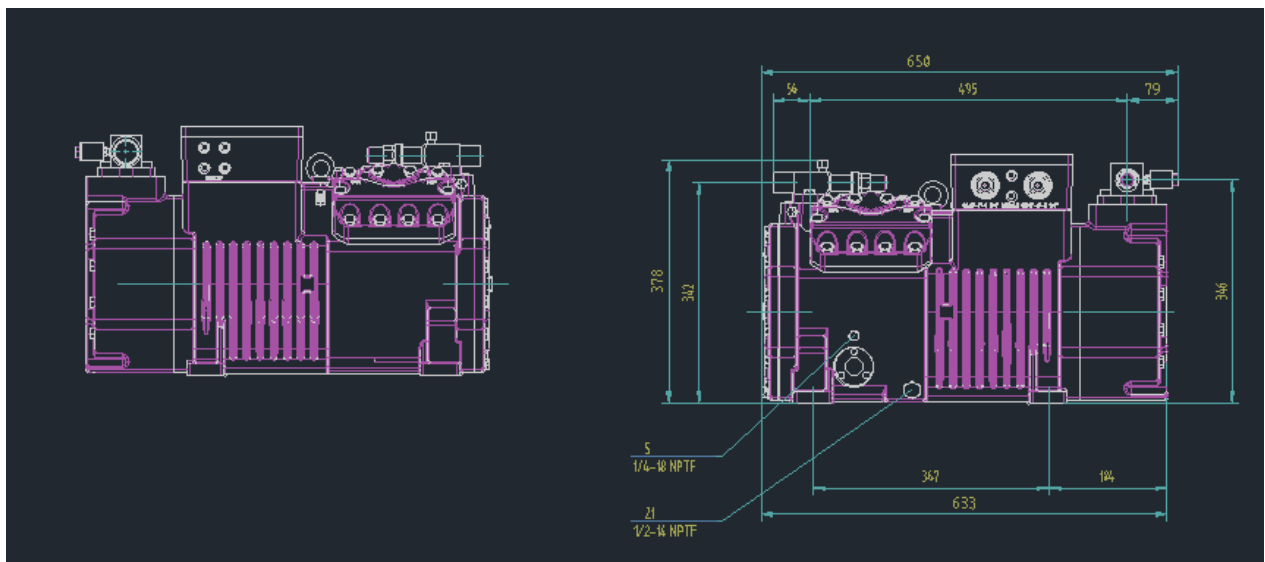


Figura 36: Vista lateral Compresor BT

Fuente: Rincon (2022)

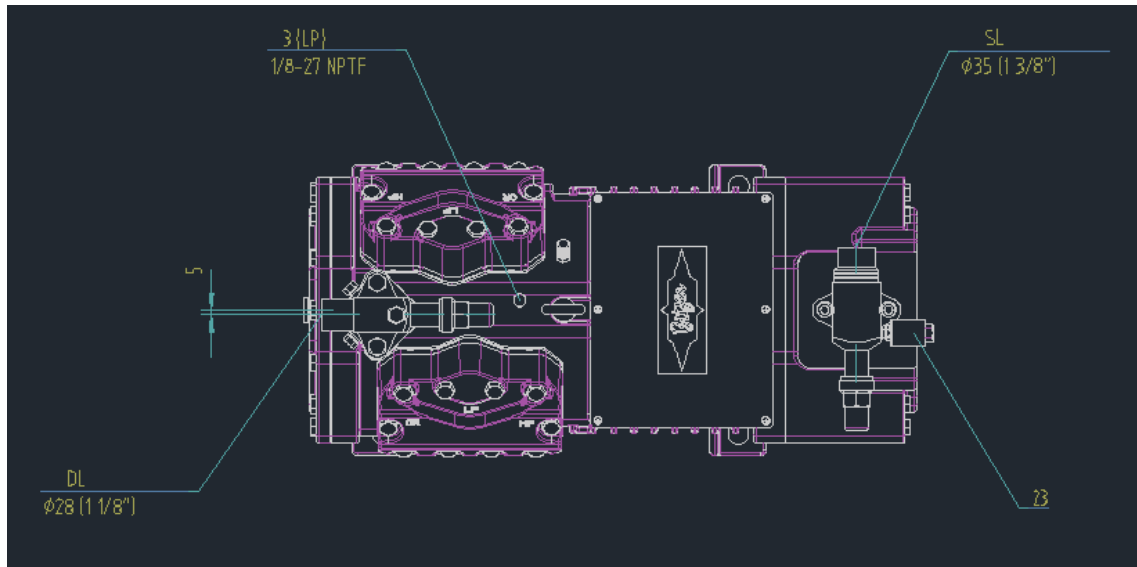


Figura 37: Vista planta Compresor BT

Fuente: Rincon (2022)

- **Compresor Media Temperatura 6CTE-50K**

Volumen desplazado (1450 rpm a 50 Hz): 38,2 m<sup>3</sup>/h

Volumen desplazado (1750 rpm a 60Hz):46,1 m<sup>3</sup>/h

Peso:241 kg

Presión máxima (BP/AP): 100/160 bar

Vistas del diseño con medidas del compresor (ver figura 38, 39, 40)

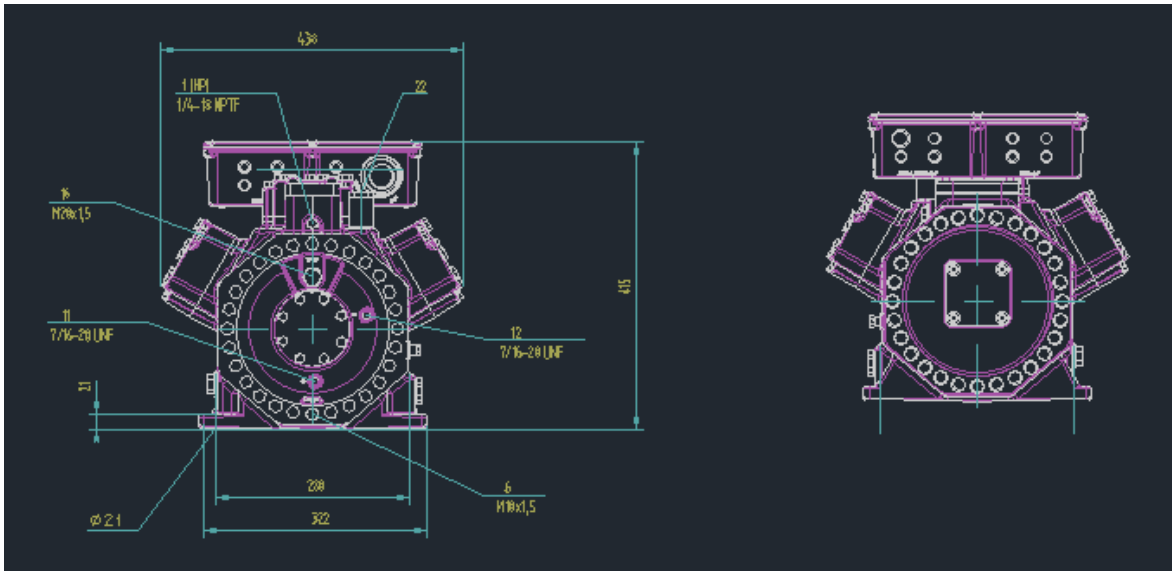


Figura 38: Vista frontal Compresor TP

Fuente: Rincon (2022)

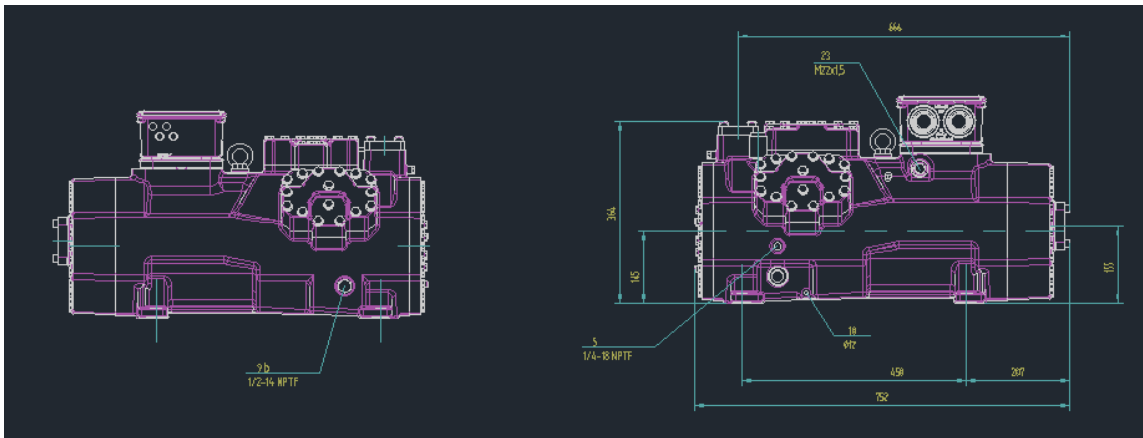


Figura 39: Vista lateral Compresor TP

Fuente: Rincón (2022)

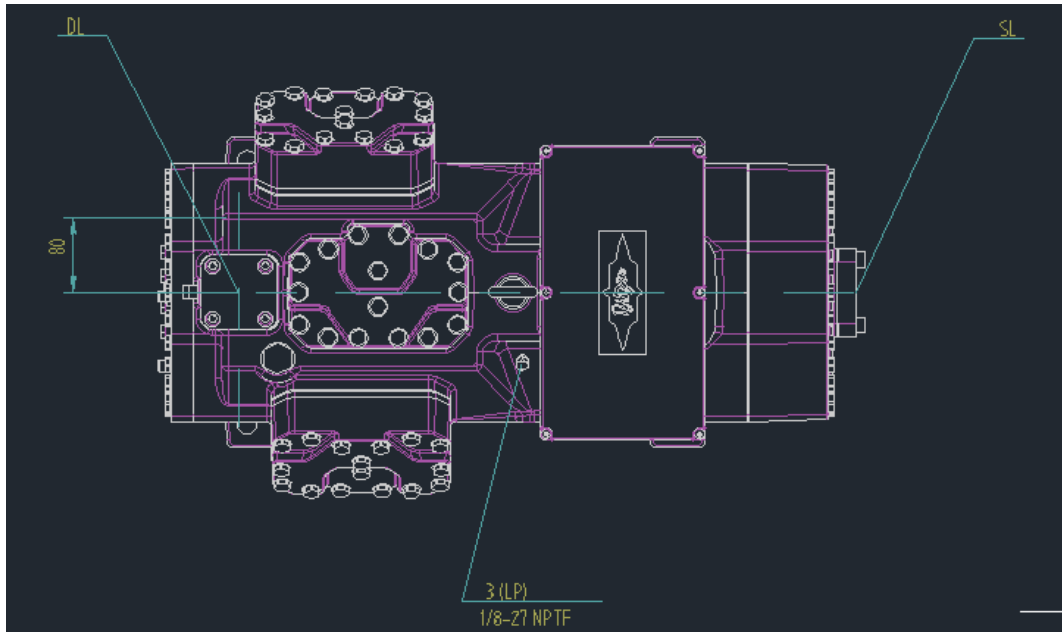


Figura 40: Vista planta Compresor TP

Fuente: Rincon (2022)

- **Compresor Etapa Paralelo 4HTE-20K**

Volumen desplazado (1450 rpm a 50 Hz): 12,0 m<sup>3</sup>/h

Volumen desplazado (1750 rpm a 60Hz): 14,5 m<sup>3</sup>/h

Peso: 187 kg

Presión máxima (BP/AP): 100/160 bar

Vistas del diseño con medidas del compresor (ver figura 41, 42, 43)



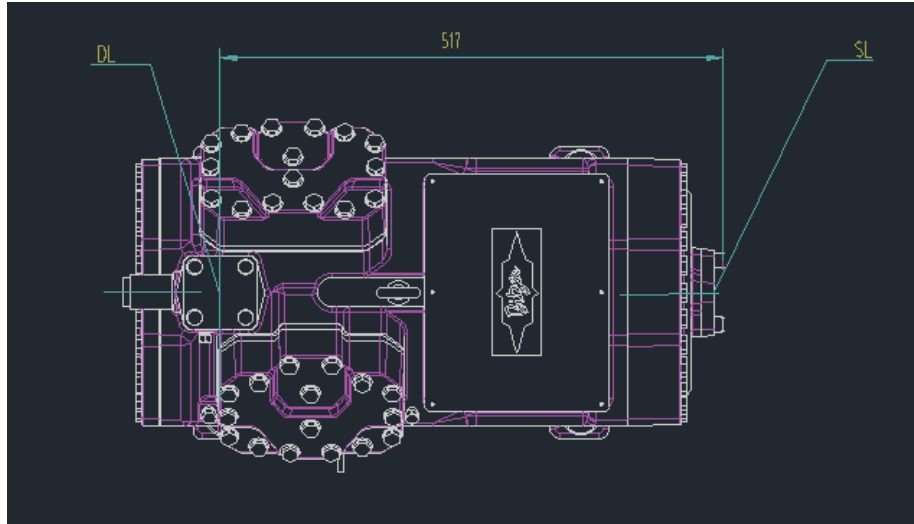


Figura 43: Vista Planta Compresor Etapa Paralelo

Fuente: Rincon (2022)

#### 4.5.4 Selección del gas cooler

El gas cooler, como su nombre lo indica es un enfriador de gas y cumple una función similar a la de un condensador, que es rechazar calor del fluido y liberarlo a un pozo de alta temperatura; solo que como el  $CO_2$  a las condiciones ambientales estaría en estado transcrito y no se condensaría.( ver anexo C)

Entre los datos arrojados por el software para la selección de compresores, arroja dos que son la base para hacer la selección del gas cooler:

- Capacidad del enfriador de gas: 415 kW
- Caudales máxicos de media temperatura y paralela: 1385 kg/h – 4293 kg/h

Se selecciona un gascooler de la marca Profroid: GASCO.TE90-CO2-EINREIHIGES Modul-5MSB-ECM1, cuyas características, en estas condiciones de trabajo, se muestran a continuación (ver figura 44):

**GASCO.TE90 CO<sub>2</sub> - MODULE SIMPLE**

**GASCO.TE90 CO<sub>2</sub> - SINGLE ROW**

**GASCO.TE90 CO<sub>2</sub> - EINREIHIGES MODUL**

MODELE MODEL / MODELL		4MSB					5MSB					
Ventilateur Fan / Lüfter		4 x Ø910					5 x Ø910					
EC MI	Vitesse de rotation Rotation speed Drehzahl	1000	910	750	690	560	1000	910	750	690	560	
	Puissance - Conditions 1 Capacity - Conditions 1 Leistung - Konditionen 1	kW	391	375	336	323	279	479	459	412	395	341
	Puissance - Conditions 2 Capacity - Conditions 2 Leistung - Konditionen 2	kW	412	396	355	341	296	505	485	436	417	361
	Puissance - Conditions 3 Capacity - Conditions 3 Leistung - Konditionen 3	kW	372	357	321	308	267	456	439	393	378	327
	Débit d'air Airflow Luftvolumenstrom	m <sup>3</sup> /h	114604	106508	88812	82984	65788	143255	133135	111015	103730	82235
	Niveau pression sonore Sound pressure level Schalldruckpegel	10m dB(A)	64	61	55	53	47	65	62	56	54	48
	Classe énergétique * Energy Efficiency Class * Energieeffizienzklasse *		D	D	C	B	A	D	D	C	B	A
	Connexion entrée Inlet connection Anschluss Eintritt		4 x 1"1/8					4 x 1"3/8				
	Connexion sortie Outlet connection Anschluss Austritt		2 x 1"1/8					2 x 1"3/8				

Figura 44: Catálogo Gas Cooler  
Fuente: Catalogo Profroid

El diseño de este Gas Cooler se aprecia a continuación (ver figura 45)

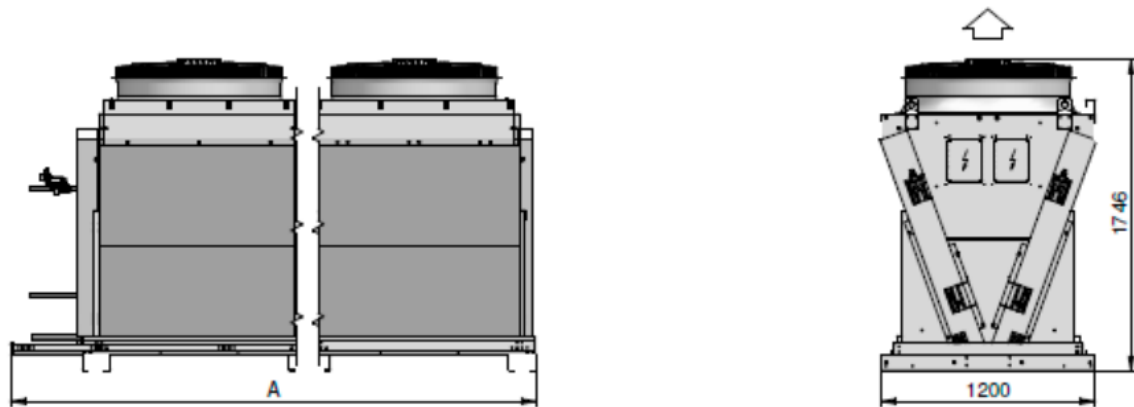


Figura 45: Características Gas Cooler

Fuente: Catalogo Profroid

Superficie ( $m^2$ ): 1098

Volumen del circuito ( $dm^3$ ): 143

Peso del equipo (kg): 1194

Dimensión A (mm): 6212

#### 4.5.5 Parámetros de entrada para la selección del evaporador de $CO_2$

Para la correcta selección del sistema de evaporación (ver anexo D) se debe tener en cuenta los siguientes parámetros para ser colocados según lo requerido en el software Guntner, (ver figura 46):

Potencia: 166kW

Medio (Fluido):  $CO_2$  (R744)

Temperatura y humedad relativa ingreso:  $-30^\circ C$  /90%

Temperatura y humedad relativa salida:  $-35^\circ C$  /95%

Temperatura de aire:  $-32^\circ C$

Potencia volumétrica: 100.000 m<sup>3</sup>/h

Presión estática útil: 100 Pa

Nivel de presión sonora a 3m: 66 dBA

Nivel de potencia sonora: 89 dBA

Parámetros evaporador (expansión directa)

Termodinámica | Selección del aparato | Extras

Modo de cálculo: Indicar la capacidad (buscar la superf. de reserva)

Capacidad: 166 kW  Solamente el calor sensible  Batería escarchada

Medio

Medio: CO2 (R744) (GWP 1)

Temp. de evaporación: -37 °C

Temp. del p. de rocío/salida

Valor medio

Sobrecalentamiento: 0 °C

Inlet state by temp. and pressure

Temp. de condensación: -8 °C

Subenfriamiento: 5 °C

Aire

Temp. de aire: -32 °C

Humedad rel.: 95 %  AUTO

Presión atmosf.: 406.68 in H2O

Figura 46: Parámetros en Software Guntner

Fuente: Software Guntner

El cual da como resultado un evaporador modelo **S-CGHN 090.3H/410** (ver figura 47) con las siguientes especificaciones:

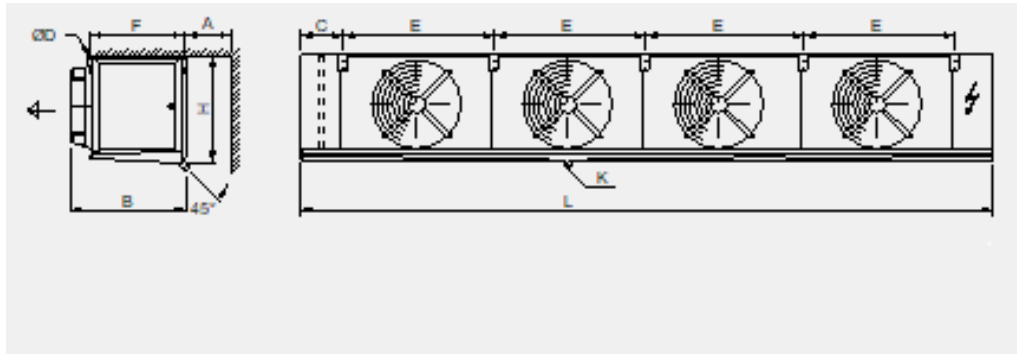


Figura 47: Evaporador Guntner

Fuente: Software Guntner

- Dimensiones

L:  $252 + C$

B:  $38 \frac{3}{8}$  in

H:  $49 \frac{5}{8}$  in

E: 63 in

F:  $34 \frac{1}{16}$  in

C:  $14 \frac{15}{16}$  in

A:  $27 \frac{9}{16}$  in

ØD:  $11 \frac{1}{16}$  in

- Batería aletada:

Tubos lisos  $\varnothing$  15 mm de acero inoxidable AISI 304, con un espesor mínimo de 0,5 mm

Geometría alineada 50x50

Nº8 rangos, nº30 tubos, longitud aletada 7.200 mm

PS 32 bar, TS  $-50/+60^{\circ}\text{C}$

Aletas de aluminio AlMg2,5 espesor mínimo 0,35 mm

Paso 10 mm

Soldadura de tubos TIG de cabeza de fundición completa

Unidad de batería flotante, de modo que no haya contacto entre los tubos y el marco

Fijaciones de soldadura

- Bastidor:

Marco de acero inoxidable AISI 304

- Carenado:

Acero galvanizado

Pintura epoxi en polvo

- cubeta de recogida de agua:

Aluminio AlMg

Aislamiento con material elastomérico ( $\lambda < 0,038$  W/mK) de 20 mm de espesor

Conexiones roscadas de diámetro adecuado para drenaje de agua

- Electro ventiladores industriales (4 cad.):

Axiales aspirantes con eje casi horizontal (ligera inclinación hacia arriba)

Diámetro 900 mm

Presión estática residual de 100 Pa

Alimentación 400 V - 3 - 50 Hz

Grado de protección IP54

Potencia 3,6 kW (cad.)

Tecnología de motores de CA de alta eficiencia

Cumple con la ERP 2015

Adecuado para el funcionamiento a temperaturas del aire -40/+50°C

Rejilla de protección según EN ISO 13857

Resistencias eléctricas en los transportadores

#### **4.5.6 Tuberías y accesorios del sistema**

Gracias al software de la empresa BITZER utilizado anteriormente en el caso de la selección del rack de compresores, indica el tamaño de las tuberías y sus características con respecto a cada uno de los compresores y sus funciones, como también otro tipo de accesorios necesarios para una buena instalación de la planta frigorífica

- **Compresor Baja Temperatura 4NSL-30K**

Conexión línea aspiración: 35 mm - 1 3/8"

Conexión línea descarga: 28 mm - 1 1/8"

Aceite para R744 (CO<sub>2</sub>): BSE60K (Standard) BSE85K, BSG68K (Opción)

Antivibradores: Estándar

- **Compresor Media Temperatura 6CTE-50K (ver figura 33)**

Conexión línea aspiración: 35 mm - 1 3/8"

Conexión línea descarga: 28 mm - 1 1/8"

Aceite para R744 (CO<sub>2</sub>): BSE85K (Standard), BSG68K (Opción)

Antivibradores: Estándar

- **Compresor Etapa Paralelo 4HTE-20K**

Conexión línea aspiración: 28 mm - 1 1/8"

Conexión línea descarga: 18 mm - 3/4"

Aceite para R744 (CO<sub>2</sub>): BSE85K (Standard), BSG68K (Opción)

Antivibradores: Estándar

#### **4.6 Simulación de las condiciones de funcionamiento del túnel de congelación en AutoCAD y programas que brindan los fabricantes de los equipos de refrigeración**

Con la ayuda del software de AutoCAD y la información obtenida en las fases anteriores y datos que brindan las aplicaciones de los fabricantes se diseña la vista preliminar del túnel de congelación (ver de la figura 48 a la 51)

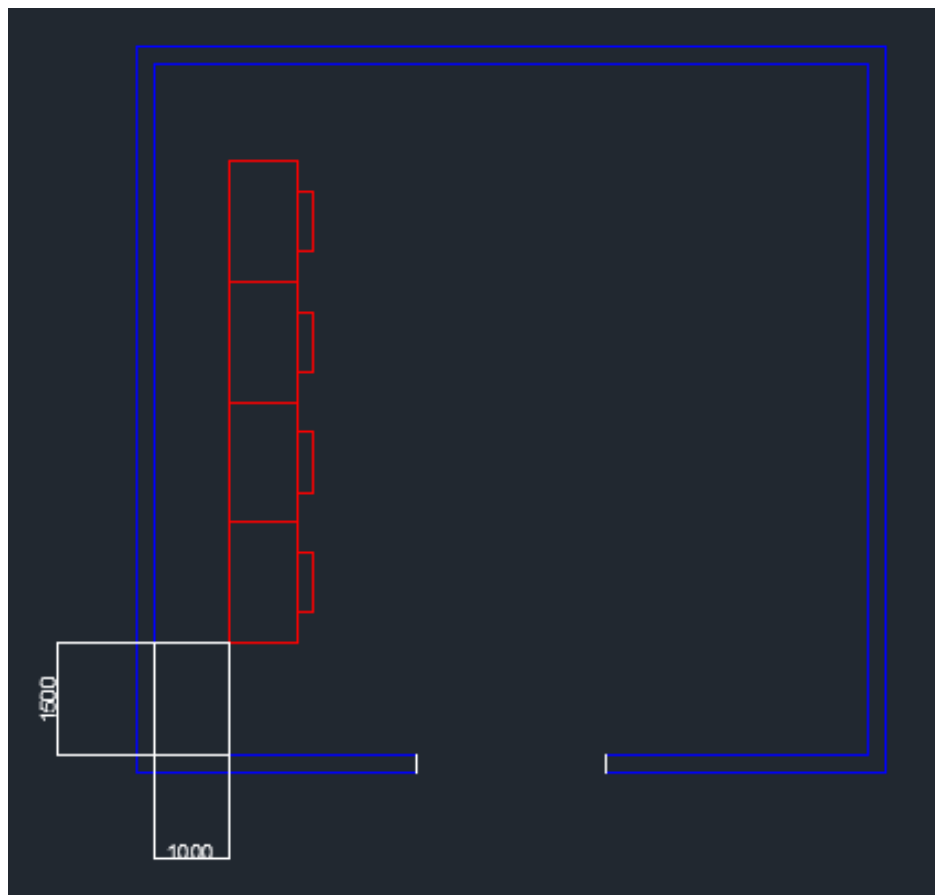


Figura 48: Ubicación de los evaporadores

Fuente: Rincon 2022

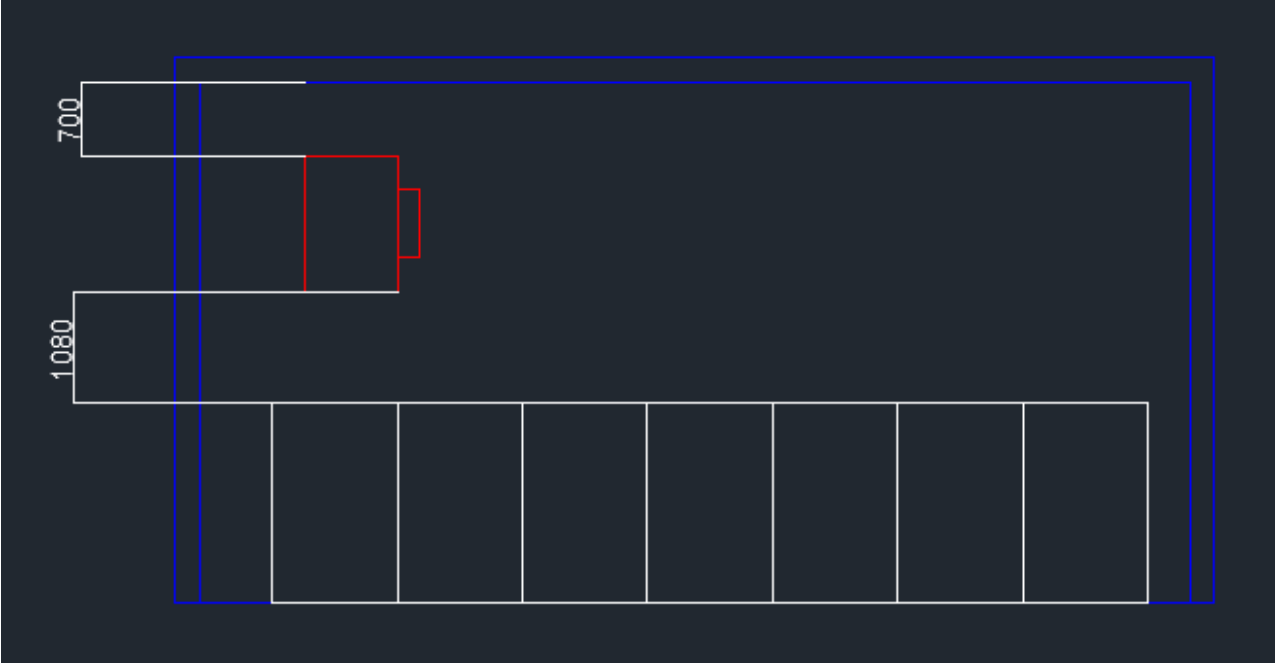


Figura 49: Vista lateral de los evaporadores

Fuente: Rincon 2022

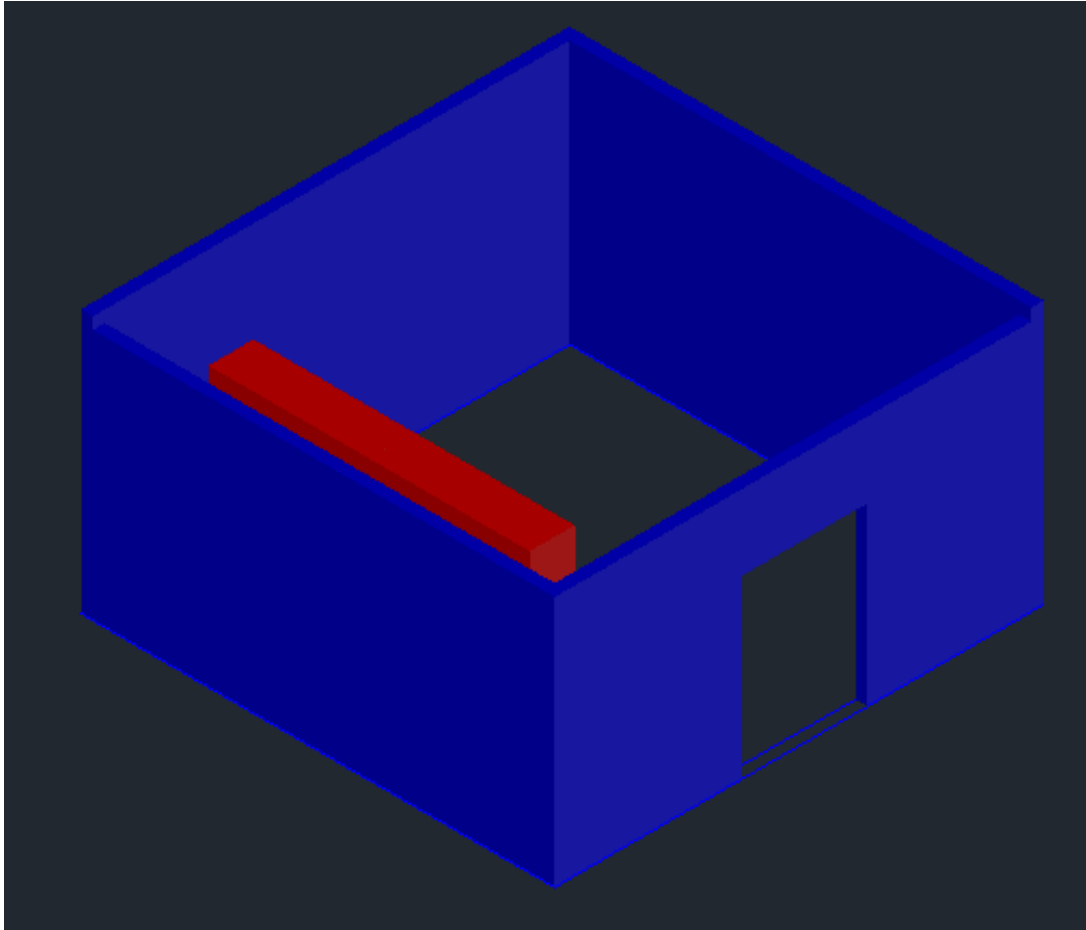


Figura 50: Vista SO 3D del túnel de congelación

Fuente: Rincon 2022

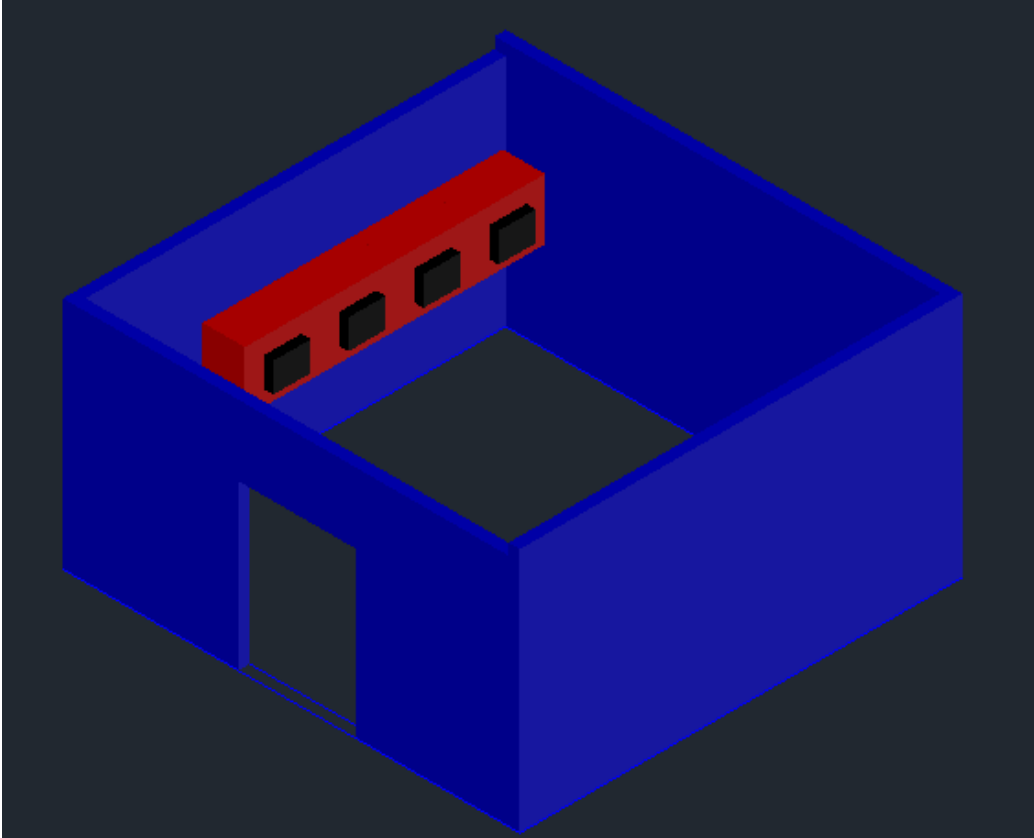


Figura 51: Vista SE 3D del túnel de congelación

Fuente: Rincon 2022

## CONCLUSIÓN

Del diagnóstico del estado actual de almacenaje de la materia prima para alimentos de animales, aunque los refrigerantes como el amoníaco como también el R404a cumplen con buenos rendimientos como para ser implementados en plantas de refrigeración industrial no son considerados como las primeras opciones ya que con el  $CO_2$  se pueden alcanzar esas potencias frigoríficas requeridas por una planta industriales para el funcionamiento de túneles con exigencias de frío muy altos

En la selección del refrigerante a usar, al realizar el análisis de Vilches en las que se establecieron los refrigerantes: R134a, R410a y el dióxido de carbono en el que al establecer los criterios y restricciones nos dio para eliminar el primero de ellos el cual es el R134a, al evaluar y ponderar los criterios nos dio como resultado que la mejor opción es el dióxido de carbono como refrigerante para el túnel de congelación

En cuanto a las cargas térmicas, tomando en cuenta el tamaño del túnel, los factores tanto internos como externos que generan cargas en él se tuvo como resultado que cuando el túnel está trabajando en su máxima capacidad nos da un total de 32000 kg de productos distribuidos en 45 cestas generando una potencia de 207 kW, para cuando el túnel trabaja como almacenadora sin necesidad de mucha potencia se puede llegar a generar 90kW distribuidos en 27 cestas

A la hora de diseñar y seleccionar los materiales que en el iban a funcionar, se estableció que sería un sistema de rack de compresores que trabajaran de manera transcrita con doble etapa de compresión (BT y TN) con un compresor extra de forma paralela para mejorar el rendimiento, un gas cooler para la condensación cuando se trabaja con  $CO_2$  a los niveles requeridos para el túnel los compresores y un evaporador Guntner el cual trabajara sin problemas con las temperaturas necesarias en el túnel de congelación cuando este a su máxima capacidad y en forma de almacenadora

## **RECOMENDACIONES**

Al momento de plantear el diseño de un Túnel de congelación se debe contar con las características principales que este debe cumplir de tal forma que se garanticen el buen funcionamiento del sistema, siguiendo las recomendaciones de los fabricantes de los equipos seleccionados.

Evaluar la operación y la eficiencia de cada uno de los equipos seleccionados y sobre todo el del o los refrigerantes que se vayan a usar en la planta, previamente realizar el estudio de la comparativa de cada una de las características con recomendaciones para reducir el consumo de energía que incluya cálculo de componentes, cálculo de la eficiencia de los componentes.

Llevar a cabo estudios que involucren las características del o de los alimentos que serán almacenados y estudiar la mejor forma de almacenamiento alimentos de alta demanda comercial que ameriten su refrigeración o congelación.

En la parte de mantenimiento de los equipos de refrigeración y del túnel de congelación se debe seguir las instrucciones del fabricante considerando el ambiente exterior en que se encuentre, así mismo los equipos como el montacargas se debe hacer anualmente el cambio de los fluidos de aceite, cabe destacar que a las cestas y paletas se le recomienda hacer una limpieza constante y rigurosa

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu (2015) “**Diseño De un túnel de enfriamiento y congelación para líneas de procesamiento de tubérculos como la papa y otros alimentos**”. Trabajo de grado Universidad Central de Venezuela
- Arias, F. (2004). *El Proyecto de Investigación, Introducción a la metodología científica (6ta edición)*. Caracas, Venezuela: Episteme.
- Arias, F. G. (2006) *El Proyecto de Investigacion*. Caracas, Venezuela: ORIAL EDICIONES
- Arteaga (2016) “**Calculo Y Dimensionamiento De Una Cámara De Refrigeración Para Productos Orgánicos Perecederos**”, trabajo de grado Escuela de Ingeniería de Antioquia (EIA)
- Bravo Méndez, J. (2011). Estudio Analítico de la Transferencia de Calor en un Absorbedor de Burbujas (Tesis Maestría). México: Instituto Politécnico Nacional
- Castillo y Sigueñas (2020) trabajo de investigación “**diseño de una cámara frigorífica para la refrigeración de 3 tn de pescado en el mercado zonal de lambayeque**”
- Catalogo Profroid  
file:///C:/Users/usuario/Documents/Estudios/Tesis/Dise%C3%B1o/profroidtenorCO2brochure.pdf
- Dhakane, P., & Joshi, M. (2014). Design Of Two Stage Vapour Compression Refrigeration System With Water Intercooler. Maharashtra: Journal of Emerging Technologies and Innovative Research.
- Francisco Caravaca Rodríguez “**INTRODUCCIÓN A LA ALIMENTACIÓN RACIONAMIENTO ANIMAL**”
- Tipos de paneles aislantes <https://italpannelli.es/wp-content/uploads/2021/06/FRIGO.pdf>
- Jain, V., Sachdeva, G., & Kachhwaha, S. (2014). Performance Analysis Of A Vapour Compression-Absorption Cascaded Refrigeration System With Undersized Evaporator And Condenser. Delhi: Journal of Energy in Southern Africa.

Limusa. Técnicas de investigación fichas de registro. Instrumentos para la investigación. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/herreramarina4/tcnicasde-investigacin-fichas-de-registro>.

Martínez, O. (2011). Desarrollo de la Ingeniería Conceptual para el enfriamiento de una corriente de gas a través de un tren de refrigeración mecánica existente. (Tesis para la obtención del título de Ingeniero Químico). España, Barcelona. Universidad de Oriente

Manuel Domínguez, Carmen García y José M Arias (2009) **“RECOMENDACIONES PARA LA CONSERVACIÓN Y TRANSPORTE DE ALIMENTOS PERECEDEROS”**

Novillo, Valdivieso, Cantos y Domínguez (2018) en su artículo **“análisis del funcionamiento de sistemas de refrigeración por compresión y absorción”**

Pacheco **“Refrigeracion con CO2 en aplicaciones comerciales”** trabajo de grado en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales Junio (2018) disponible: file:///G:/Alberto/Tesis/TFG\_ALEJANDRO\_SANCHEZ\_PACHECO.pdf

Rodríguez y Montaña (2021) **“propuesta de túnel de congelación para el almacenamiento de productos cárnicos en la “almacenadora torgus c.a”**

Reuters (2007) <https://www.portalveterinaria.com/actualidad-veterinaria/actualidad/16435/venezuela-multa-a-nestle-por-alimento-contaminado-para-mascotas.html>

Ruiz (1999). **“Metodología de la investigación cualitativa”** Bilbao:Universidad de Deust

Sayuri Monserrath Bonilla Novillo, Juan Carlos Castelo Valdivieso, Lenin Santiago Orozco Cantos y Edwin Ángel Jácome Domínguez (2018): **“Análisis del funcionamiento de sistemas de refrigeración por compresión y absorción.”**, Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana, (marzo 2018). En línea: <https://www.eumed.net/rev/oel/2018/03/sistemas-refrigeracion.html>

Sabino (1992) **“El proceso de investigación”** Ed. Panapo, Caracas. Publicado también por Ed. Panamericana, Bogotá, y Ed. Lumen, Buenos Aires

Santa Paella Stracuzzi y Feliberto Martins (2008) **“Metodología de la investigación cualitativa”**

Santiago Valderrama Mendoza (2017) **“METODOLOGÍA DEL TRABAJO UNIVERSITARIO”**

Surcos y Hans (2017) **“Diseño de dos Túneles De Congelación y una Cámara Congelados”**  
Trabajo de grado Universidad Nacional Tecnológica De Lima Sur

Tamayo y Tamayo, M. (2004), El Proceso de Investigación Científica. México.

Tamayo y Tamayo, (2008) **“El proceso de la investigación científica”** Limusa. Noriega Editores. Cuarta edición.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos. **Técnicas e instrumentos para recolección de datos según autor.** Recuperado de:  
<https://www.postgradoune.edu.pe/pdf/documentos-academicos/ciencias-de-laeducacion/22.pdf>.

Tesis de investigadores. **Antecedentes de la investigación.** Recuperado de:  
<http://tesisdeinvestig.blogspot.com/2013/06/antecedentes-de-lainvestigacion-ejemplo.html>.

Universidad Pedagógica Experimental Libertador UPEL (2006) **Manual de trabajos de grado, de especialización, maestría y tesis doctorales.** 4° edición. Caracas. Fedeupel.

Yi, C., Wei, H., Luili, S., & Hongguang, J. (2015). A New Absorption–compression Refrigeration System Using a Mid-temperature Heat Source for Freezing Application. Beijing: ScienceDirect.

<file:///C:/Users/usuario/Documents/Estudios/Tesis/Dise%C3%B1o/profroidtenorCO2brochure.pdf>

# ANEXOS

# ANEXO A

## PANELES



Paneles de fachada en poliuretano con junta especial para almacenes frigoríficos  
Wall panels with polyurethane insulation with special joint for refrigerated warehouse

Parti Esterno/Interno  
Outside/Inside

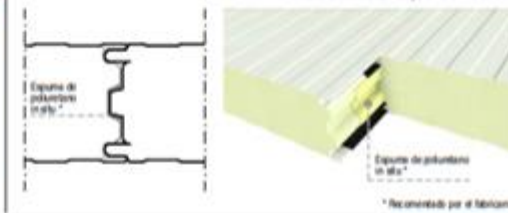


Vista frontal - Front view

Datos técnicos - Technical data

Referencia Reference	Valor Value	Tolerancia Tolerance
Ancho útil Useful width	1.145 mm	± 2 mm
Espesor nominal Nominal thickness	± 150 mm	± 2 mm
[R]	> 100 mm	± 2 %
Longitud Length	m - 2m	± 10 mm
	Máx. - 12 m	± 10 %
Densidad núcleo Core density	40 Kg/m <sup>3</sup>	± 15 %
Reacción Fuego Fire reaction	* A consultar	

Detalle de Encaje - Joint Detail



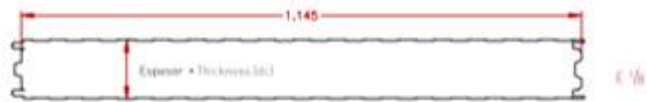
\* Recomendado por el fabricante

Espesores - Thickness



Espesor nominal del panel Panel nominal thickness		Transmitancia térmica Thermal transmittance		** Fabricado en Manufactured in	
d <sub>n</sub> [mm]	EN 14500	U <sub>g</sub> [W/m <sup>2</sup> ·K]	EN 14509	U <sub>g</sub> [Kcal/hm <sup>2</sup> ·°C]	EN 14500
100		0,23		0,19	
120		0,19		0,16	
150		0,15		0,12	
180		0,13		0,11	
200		0,11		0,09	
220 **		0,10		0,08	
240 **		0,09		0,07	

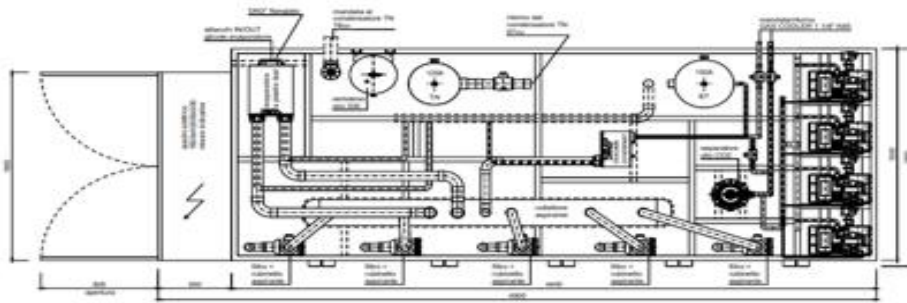
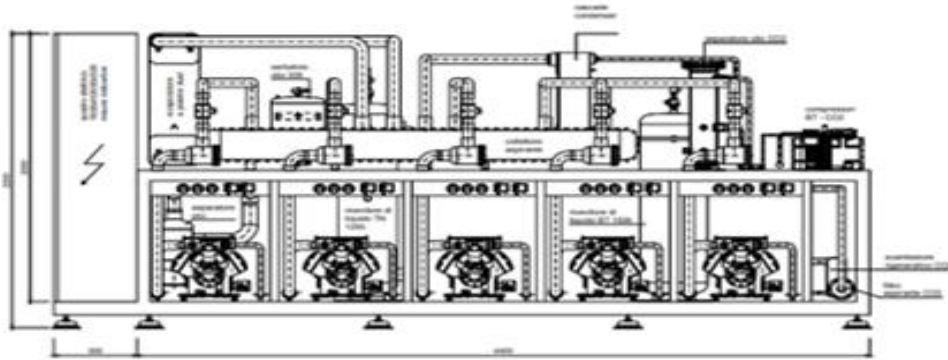
Sección transversal - Cross section



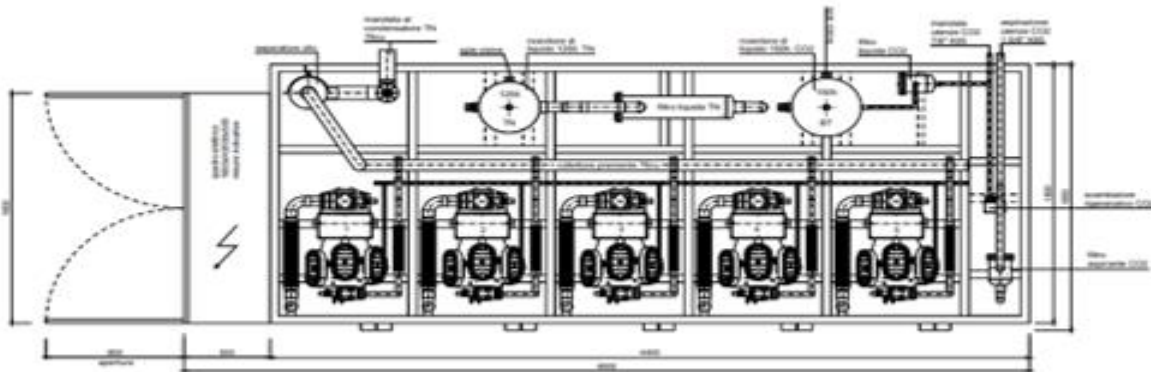
# ANEXO B

## COMPRESORES

VISTA FRONTALE



VISTA PIANO INFERIORE



# ANEXO C

## GAS COOLER



### data sheet

Capacity	53800	W
Sensible Capacity	37157	W
Latent Capacity	16673	W
Sensible/Total Capacity Ratio	0.6903	
Quantity of Produced Water	24.10	kg/h
Exchange Surface	185.62	m <sup>2</sup>
Global Exchange Coefficient	32	W/(m <sup>2</sup> K)
DHML	8.93	kJ/kg
Fin Material / Tubes Material	Stainless steel / Stainless St	
Fin Thickness	0.1800	mm
Coil Internal Volume	66.2	l
Tubes External Diameter	16.5	mm
Tubes Internal Diameter	15.3	mm
Number of skipped tube	0	
<b>AIR SIDE</b>		
Atmospheric Pressure / Altitude	1.01 / 0.00	bar A / m
Volumetric Air Flow	24000.0	m <sup>3</sup> /h
Mass Air Flow	30371	kg/h
Face Velocity on the Coil	2.43	m/s
Inlet Air Density	1.27	kg/m <sup>3</sup>
Inlet Air Temperature	5.0	°C
Inlet Air Relative Humidity	85.00	%
Inlet Air Specific Humidity	4.60	g/kg DA
Inlet Air Enthalpy	18.54	kJ/kg
Outlet Air Temperature	0.7	°C
Outlet Air Relative Humidity	95.78	%
Outlet Air Specific Humidity	3.80	g/kg DA
Outlet Air Enthalpy	10.16	kJ/kg
Pressure Drop	101	Pa
Partial Exchange Coefficient	70	W/(m <sup>2</sup> K)
Fouling Factor	0.000000	(m <sup>2</sup> K)/W
Frost thickness	0.00	mm
<b>FLUID SIDE</b>		
Fluid	ETHYLENE GLYCOL / WATER 25% (1 bar A)	
Volumetric Fluid Flow	12.3	m <sup>3</sup> /h
Mass Fluid Flow	12819	kg/h
Fluid Velocity	1.04	m/s
Inlet Fluid Temperature	-5.0	°C
Outlet Fluid Temperature	-1.0	°C
Total Pressure Drop Fluid Side	43.17	kPa
Partial Exchange Coefficient	1536	W/(m <sup>2</sup> K)
Fouling Factor	0.000000	(m <sup>2</sup> K)/W

## **ANEXO D**

### EVAPORADOR

