

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

"Diseño de una Cámara de Enfriamiento y de un Túnel de Congelados
Empleando la Cámara Frigorífica de la "Planta Piloto" – Tecnologías –
ESPOL"

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Mario Eduardo Burneo Núñez

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2017

AGRADECIMIENTOS

Especialmente a los profesores de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, de la ESPOL, quienes han contribuido con sus conocimientos en mi formación personal y profesional.

A los directivos de las empresas MAFRICO, Heatcraft y FRISERTEC, quienes me apoyaron e incentivaron en la incursión al área de refrigeración.

DECLARACIÓN EXPRESA


“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Mario Eduardo Burneo Núñez


Juan Manuel Peralta Jaramillo, PhD.

Ernesto Rolando Martínez Lozano, Msc.


y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.



Mario Eduardo Burneo Núñez
autor



PhD. Juan Manuel
Peralta Jaramillo
Tutor 1



Msc. Ernesto Rolando
Martínez Lozano
Tutor 2

RESUMEN

El presente trabajo consiste en rediseñar la cámara frigorífica del sistema de refrigeración de la planta piloto – Tecnologías – ESPOL. Esta cámara fue diseñada para conservación de pulpa de fruta congelada y actualmente se requiere redimensionarla para crear dos sistemas: túnel de congelados y cámara de enfriados. Estos sistemas son necesarios para el desarrollo de las actividades didácticas de los alumnos de ingeniería en alimentos, quienes deben asegurar buenas prácticas de seguridad alimentaria.

El sistema de refrigeración por compresión, compuesto por el compresor, condensador, válvula de expansión y evaporador, se rediseñó priorizando la ubicación del túnel de congelados, esto es, situando la cámara de enfriados delante del túnel para que funcione como precámara, minimizando así, la afectación a la cadena de frío. Posteriormente, se procedió a seleccionar los refrigerantes, diseñar las áreas, calcular las cargas térmicas y seleccionar los equipos. Se utilizaron las normas vigentes de ASHRAE.

Para los nuevos sistemas de refrigeración se seleccionó el refrigerante R404A, y según el estudio las especificaciones técnicas para el túnel de congelados son: carga frigorífica 35,789.45 BTU/hr, diámetro línea de líquido 3/4 pulg, diámetro y espesor de aislamiento de línea de succión 1 1/8 pulg y 2 pulg respectivamente. Para la cámara de enfriados son: carga frigorífica 6,946.16 BTU/hr, diámetro de línea de líquido 3/8 pulg., diámetro de línea de succión 1/2 pulg con 1 pulg de espesor de aislamiento. El análisis económico concluye que la inversión para habilitar el túnel de congelados es \$ 23,276.20, y para la cámara de enfriados \$3,199.37.

Finalmente, cabe indicar que el compresor existente tiene un marco operativo de -40°C a -20°C, no siendo apto para el sistema de túnel de congelados que trabaja entre -25°C a 5°C, por lo que, se seleccionó una unidad condensadora cuyo compresor tiene un marco operativo de -45°C a 8°C, cubriendo los requerimientos mencionados del túnel.

Palabras Clave: Aislamiento, cámara frigorífica, carga frigorífica, marco operativo, refrigeración, refrigerante.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to redesign the refrigeration room of the refrigeration system of the pilot plant - Technologies - ESPOL. This chamber was designed for preservation of frozen fruit pulp and it is currently required to be resized to create two systems: frozen tunnel and cooled chamber. These systems are necessary for the development of didactic activities of Food Industry Engineering students, who must ensure good food safety practices.

The compression refrigeration system, consisting of the compressor, condenser, expansion valve and evaporator, was redesigned prioritizing the location of the frozen tunnel, that is, by placing the cooled chamber in front of tunnel to functions as an antechamber, thus minimizing the involvement on the cold chain. Subsequently, the areas were designed by calculating the thermal loads, and selecting the equipment and refrigerants. Current ASHRAE standards were used.

For the new refrigeration systems, R404A refrigerant was selected, and according to the study, the technical specifications for the frozen tunnel are: refrigerant load 35.840,67 BTU / hr, 3/4-inch liquid line diameter, diameter and insulation thickness in suction line of 1 1/8 inches and 2 inches, respectively. For the cooled chamber, the technical specifications are: refrigerant charge 8.157.60 BTU / hr, 3/8 in. liquid line diameter, 1/2 in. suction line diameter with 1 in. of insulation thickness. The economic analysis concludes that the investment to enable the frozen tunnel is \$ 23,276.20, and for the cooled chamber, \$ 3,199.37.

Finally, it should be indicated that the existing compressor has an operational range of -40°C to -20°C, therefore, it is not suitable for the frozen tunnel, which operates between -25°C to 5°C. Accordingly, a condensing unit was selected whose compressor has an operational range of -45°C to 8°C, covering the requirements of the tunnel.

Keywords: insulation, refrigerating chamber, refrigeration load, operational framework, refrigeration, refrigerant.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE PLANOS.....	XIII
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Objetivos	4
1.2.1 Objetivo general:	4
1.2.2 Objetivos específicos:	4
1.3 Marco teórico.....	4
1.3.1 Conceptos fundamentales de refrigeración	5
1.3.2 Ciclo de refrigeración	7
1.3.3 Componentes de un sistema de refrigeración por compresión	8
1.3.4 Cámaras frigoríficas	12
1.3.5 Refrigerantes.....	13
1.4 Alternativas de diseño	15
1.4.1 Descripción de alternativas de diseño.....	15
1.4.2 Ventajas y desventajas de las alternativas.....	17
1.5 Selección de la mejor alternativa.....	18
1.5.1 Factores de influencia	18
1.5.1 Niveles de cumplimiento	19

1.5.2 Selección de la mejor alternativa.....	19
1.6 Selección del refrigerante.....	20
1.6.1 Selección de refrigerante para el túnel de congelados.....	21
1.6.2 Niveles de cumplimiento	24
1.6.3 Selección de la mejor alternativa.....	24
1.6.4 Selección de refrigerante para la cámara de mantenimiento de enfriados.....	25
1.6.5 Selección de la mejor alternativa.....	26
CAPÍTULO 2.....	28
2. Metodología del Diseño	28
2.1 Estrategia de diseño.....	28
2.2 Diseño detallado.....	28
2.3 Redimensionamiento de los espacios de la cámara actual.....	32
2.4 Carga térmica.....	35
2.4.1 Cálculo de capacidad frigorífica	35
2.5 Diseño del túnel de congelados	39
2.5.1 Carga térmica.....	39
2.6 Diseño de la cámara de enfriados.....	43
2.6.1 Carga térmica.....	43
2.7 Diseño de tubería	48
2.7.1 Línea de succión (l. s.)	50
2.7.2 Línea de líquido (l. l.).....	52
2.8 Selección de aislamiento.....	54
2.9 Selección de equipos	56
2.9.1 Túnel de congelados	56
2.9.2 Cámara de enfriamiento.....	65
CAPÍTULO 3.....	68
3. Resultados.....	68

3.1 Resultados técnicos	68
3.1.1 Túnel de congelados	68
3.1.2 Cámara de enfriados	74
3.2 Resultados económicos	78
3.2.1 Presupuesto para el túnel de congelados	79
3.2.2 Presupuesto para la cámara de enfriados.....	80
3.3 Análisis de resultados.....	82
CAPÍTULO 4.....	85
4. Discusión y Conclusiones.....	85
4.1 Discusión.....	85
4.2 Conclusiones.....	87
4.3 Recomendaciones.....	88
BIBLIOGRAFÍA.....	89
ANEXOS.....	90

ABREVIATURAS

CFCs	CloroFluorCarbonos
COP	Coeficiente de Rendimiento
COMEX	Comité de Comercio Exterior
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCP	Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción
GEI	Gases de Efecto Invernadero
HC	HidroCarburos
HCFCs	HidroCloroFluorCarbonos
HFCs	HidroFluoroCarbono
IVA	Impuesto Valor Agregado
ANSI	Instituto Nacional Estadounidense de Estándares
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
NANDINA	Nomenclatura Arancelaria Andina
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PCA	Potencial de Calentamiento Atmosférico
GWP	Potencial de Calentamiento Global
ODP	Potencial Destructor del Ozono
ASHRAE	Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado
SAO	Sustancias que Agotan la capa de Ozono
UE	Unión Europea
UNET	Universidad Nacional Experimental del Táchira
UPM	Universidad Politécnica de Madrid
POE	Poliol éster

SIMBOLOGÍA

H	Altura interna de la cámara frigorífica
Amp	Amperios
a	Ancho interno de la cámara frigorífica
A	Área
bar	Bar
HP	Caballos de fuerza
C_p	Calor específico
C_{p3}	Calor específico arriba del punto de congelación para misceláneos
C_{p1}	Calor específico arriba del punto de congelación para pulpa de mango
C_{p2}	Calor específico debajo del punto de congelación para pulpa de mango
L	Calor Latente
q_s	Calor sensible
Q	Caudal de aire
COP	Coeficiente de operatividad
k	Conductividad térmica
d_s	Diámetro de succión
ΔT	Diferencial de temperatura
h	Entalpía específica
s	Entropía
FC_p	Factor de corrección por caída de presión
FC_T	Factor de corrección por temperatura de entrada a la válvula de expansión
q	Flujo de calor
g	Gramo
$^{\circ}C$	Grados centígrados
$^{\circ}F$	Grados Fahrenheit
Hz	Hertz
hr	Hora
$kcal$	Kilocaloría
kg	Kilogramo
l	Largo interno de la cámara frigorífica

<i>psi</i>	Libra sobre pulgada ²
<i>l.l.</i>	Línea de líquido
<i>l.s.</i>	Línea de succión
<i>m²</i>	Metros cuadrados
<i>m</i>	Metro
<i>mm</i>	Milímetro
<i>mol</i>	Mol
<i>ppm</i>	Partes por millón
<i>P</i>	Presión
<i>P_{sat}</i>	Presión de saturación
<i>pulg</i>	Pulgada
<i>seg</i>	Segundo
<i>T</i>	Temperatura
<i>T_{sat}</i>	Temperatura de saturación
<i>t</i>	Tiempo
<i>Ton</i>	Tonelada
<i>TR</i>	Tonelada de refrigeración
<i>BTU</i>	Unidad de energía inglesa
<i>V</i>	Voltios
<i>W</i>	Watts

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Diagrama causa – efecto.....	3
Figura 1.2. Ciclo de refrigeración representado en un Diagrama de Mollier.....	8
Figura 1.3. Diagrama de un pistón de compresor alternativo	9
Figura 1.4. Diagrama compresor excéntrico.....	10
Figura 1.5. Vista de corte de un compresor de tornillo	11
Figura 1.6. Vista de corte de una VET y sus elementos principales.....	12
Figura 1.7. Esquema de la alternativa A.....	15
Figura 1.8. Esquema de la alternativa B.....	16
Figura 1.9. Esquema de la alternativa C	17
Figura 1.10. Clasificación de grupos de seguridad de refrigerantes.....	21
Figura 2.1. Metodología de diseño de los sistemas de refrigeración.....	28
Figura 2.2. Interfaz del programa ProBox de Heatcraft	30
Figura 2.3. Cambios de aire recomendados por tipo de aplicación	31
Figura 2.4. Ubicación recomendada de unidades condensadoras.....	31
Figura 2.5. Vista isométrica de la cámara de la planta piloto	34
Figura 2.6. Vista isométrica del redimensionamiento de la cámara de la planta piloto..	35
Figura 2.7. Cálculo de carga por paredes	40
Figura 2.8. Cálculo de carga por producto.....	42
Figura 2.9. Cálculo de la capacidad frigorífica realizado por el ProBox.....	43
Figura 2.10. Cálculo de carga por paredes.....	44
Figura 2.11. Cálculo de carga por producto.....	45
Figura 2.12. Cálculo de carga por infiltración	46
Figura 2.13. Cálculo de cargas adicionales.....	47
Figura 2.14. Cálculo de la capacidad frigorífica realizado por Probox.....	48
Figura 2.15. Esquema de las tuberías de refrigeración	49
Figura 2.16. Cálculo del diámetro de la l. s. para el túnel de congelados.....	51
Figura 2.17. Cálculo del diámetro de la l. s. para la cámara de enfriados	51
Figura 2.18. Cálculo del diámetro de la l. l. para el túnel de congelados.....	53
Figura 2.19. Cálculo del diámetro de la l. l. para la cámara de enfriados	53
Figura 2.20. Interfaz del programa PSS-EMERSON.....	57
Figura 2.21. Características del compresor MRB1-0500-TFC.....	57

Figura 2.22. Marco operativo del compresor MRB1-0500-TFC	58
Figura 2.23. Interfaz del software de Bitzer	59
Figura 2.24. Características operativas del compresor 4TES-12Y-20D	60
Figura 2.25. Marco operativo del compresor 4TES-12Y-20D	61
Figura 3.1. Diseño general del túnel de congelados.....	69
Figura 3.2. Unidad condensadora BST-0800L6	70
Figura 3.3. Esquema del compresor 4TC-8.2Y	71
Figura 3.4. Marco operativo del compresor 4TC-8.2Y-20D	72
Figura 3.5. Esquema del evaporador FME-421	73
Figura 3.6. Diagrama PFD del sistema del túnel de congelados	73
Figura 3.7. Diseño general de la cámara de enfriados	75
Figura 3.8. Esquema de la unidad condensadora	76
Figura 3.9. Esquema del evaporador de la cámara de enfriados	77
Figura 3.10. Diagrama PFD del sistema de la cámara de enfriamiento	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. ODP y GWP para grupos de refrigerantes	15
Tabla 1.2. Ventajas y desventajas de las alternativas planteadas.....	17
Tabla 1.3. Matriz de decisión.....	20
Tabla 1.4. Clasificación de los refrigerantes según grupo de seguridad	22
Tabla 1.5. Peso específico de los refrigerantes.....	23
Tabla 1.6. Calor latente de gases refrigerantes a -25°C.....	23
Tabla 1.7. Volumen específico de gases refrigerantes a -25°C.....	24
Tabla 1.8. Matriz de decisión para el refrigerante del túnel	24
Tabla 1.9. Calor latente de gases refrigerantes a -2°C.....	26
Tabla 1.10. Volumen específico de gases refrigerantes a -2°C.....	26
Tabla 1.11. Matriz de decisión para el refrigerante de la cámara de enfriados	27
Tabla 2.1. Consideraciones para el diseño de las cámaras	32
Tabla 2.2. Condiciones y resultados para q_1	40
Tabla 2.3. Condiciones y resultados para q_2	41
Tabla 2.4. Condiciones y resultados para q_1	44
Tabla 2.5. Condiciones y resultados para q_2	45
Tabla 2.6. Condiciones y resultados para q_3	46
Tabla 2.7. Propiedades de los materiales aislantes	54
Tabla 2.8. Espesor del aislamiento de elastómero para tuberías	55
Tabla 2.9. Espesor del aislamiento de elastómero para tuberías	56
Tabla 2.10. Parámetros para la selección del compresor.....	60
Tabla 2.11. Datos para la selección de unidad condensadora	62
Tabla 2.12. Datos para la selección de unidad condensadora	63
Tabla 2.13. Selección de la unidad condensadora para el túnel de congelados	64
Tabla 2.14. Selección de evaporador.....	65
Tabla 2.15. Datos para la selección de unidad condensadora	65
Tabla 2.16. Datos para la selección de unidad condensadora	66
Tabla 2.17. Datos para la selección de evaporador	67
Tabla 3.1. Información técnica para el sistema del túnel.....	68
Tabla 3.2. Información técnica unidad condensadora	70
Tabla 3.3. Información del compresor 4TC-8.2Y	71

Tabla 3.4. Información del evaporador FME-421	72
Tabla 3.5. Información técnica para el sistema de la cámara de enfriados	74
Tabla 3.6. Información técnica de la unidad condensadora	76
Tabla 3.7. Información técnica del evaporador.....	77
Tabla 3.8. Costo de equipos para túnel de congelados.....	79
Tabla 3.9. Costo de materiales y accesorios para el túnel de congelados	79
Tabla 3.10. Costo de servicios contratados para el túnel.....	80
Tabla 3.11. Presupuesto del túnel	80
Tabla 3.12. Depreciación mensual del sistema del túnel.....	80
Tabla 3.13. Costo de equipos para la cámara de enfriados	81
Tabla 3.14. Costo de materiales para la cámara de enfriados	81
Tabla 3.15. Costo de servicios contratados para la cámara de enfriados	81
Tabla 3.16. Presupuesto para la cámara de enfriados	82
Tabla 3.17. Depreciación mensual del sistema	82
Tabla 3.18. Valores calculados vs valores requeridos.....	82

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 Layout de cámaras frigoríficas

PLANO 2 Partes de los cuartos frigoríficos

PLANO 3 Isométrico del túnel y cámara de enfriados

PLANO 4 Línea de succión 1 1/8"

PLANO 5 Línea de líquido 3/8"

PLANO 6 Línea de succión 1/2"

PLANO 7 Línea de líquido 3/4"

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de refrigeración se han ido desarrollando a través del tiempo como respuesta a las necesidades de la sociedad, de tal modo que, en la actualidad su uso es imprescindible en la mayoría de áreas como: doméstica, didácticas, comercial, industrial, marina y transporte y de acondicionamiento de aire para bienestar humano e industrial.

El presente trabajo consiste en rediseñar una cámara frigorífica que consta de una sola área destinada a la conservación de pulpa de fruta congelada, diseñada para trabajar a la temperatura de -18°C . Según los nuevos requerimientos es necesario redimensionarla creando dos áreas, una para túnel de congelados para trabajar a la temperatura de -18°C y el otro ambiente para mantenimiento a media temperatura a 4°C .

Para iniciar el rediseño de la cámara, se procede a elaborar tres alternativas de solución, para mediante una matriz de decisión elegir la alternativa que mejor cubra los requerimientos técnicos y de costos, lo cual, está detallado en el primer capítulo. Así también, contiene la selección de refrigerante de cada sistema a partir de su matriz de decisión.

Los cálculos de las nuevas cargas térmicas, elaboración de los diseños del túnel de congelados y cámara de enfriados se refieren en el capítulo dos, además, se incluye la selección de equipos, dimensionamiento de tuberías y el espesor de su aislamiento. Las guías utilizadas en esta sección son el Manual Técnico Avanzado de Heatcraft y el Manual Técnico de Emerson.

Las soluciones técnicas y económicas para los dos nuevos sistemas constan en el capítulo tres. El resultado técnico para el sistema de túnel de congelados establece $35,789.45 \text{ BTU/hr}$, de carga térmica; y los equipos seleccionados para satisfacer esta capacidad son: unidad condensadora modelo BST-0800L6 con un compresor de 8 HP y evaporador modelo FME-421 de tres ventiladores. Para la cámara de enfriados determina, $6,946.16 \text{ BTU/hr}$ de carga térmica; y los equipos seleccionados para este

sistema son: unidad condensadora modelo FLEX-125X6 con un compresor de 1.25 HP y evaporador modelo FBA-4080E de dos ventiladores. En cuanto al resultado económico, determina que la inversión necesaria, para la adquisición de los nuevos equipos, evaporador y unidad condensadora para el sistema túnel de congelados, más el costo de instalación, asciende a \$ 23,276.20; en cuanto al sistema de enfriados, para la adquisición de accesorios e instalación, se necesita la suma de \$ 3,199.73.

Cabe mencionar, que el rediseño de la cámara frigorífica de la planta piloto, se inició con la idea de reutilizar todos los equipos existentes, por esta razón no se había considerado un presupuesto para la adquisición de nuevos equipos para la ejecución de este proyecto; sin embargo, después de evaluar los equipos y realizando los cálculos de requerimientos de capacidades se determinó que no todos son aptos para los nuevos sistemas. Lo antes expuesto, demás conclusiones, discusiones y recomendaciones se detallan en el capítulo cuatro.

1.1 Descripción del problema

La Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), dentro de la formación profesional de los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, posee una planta piloto de procesamiento de alimentos que se inauguró en el año 1991, que incluye una cámara frigorífica de dimensiones 5,28 m de largo x 3,53 m de ancho x 2,88 m de alto, con capacidad para siete toneladas de producto congelado, a una temperatura de -18°C. No obstante, debido a los años de operación la cámara dejó de funcionar hace 8 años, por esta razón, algunos de los equipos que conforman el sistema se encuentran en mal estado, entre ellos: el compresor, la válvula de expansión termostática, el evaporador y otros, como los accesorios que han sobrepasado el tiempo de vida útil.

Los equipos de refrigeración existentes empleaban el refrigerante R-502, actualmente en desuso por la afectación que causa al ambiente. En el Tratado de Montreal de 1992 se acordó que a partir del 31 de diciembre de 1995 quede suspendida su producción, como consecuencia de esto, en Ecuador a partir del 8 de abril del 2003 el Comité de Comercio Exterior (COMEX) lo agregó a la “Lista de Productos de Prohibida Importación”. (COMEXI, 2003)

Por otro lado, con la inspección que se realizó al sistema de refrigeración se pudo observar que se encuentra sin carga de refrigerante evidenciando la presencia de fugas. (Emerson, 2013)

Cabe mencionar, que no existe un plan de mantenimiento y sumado al tiempo fuera de operación se determinó que todos los accesorios deben ser cambiados conforme las recomendaciones de los fabricantes y normas establecidas. Entre los principales accesorios se encuentran: los filtros que deben ser cambiados cada dos años, el visor de líquido, válvulas de paso, válvulas rotalock y presostatos se considera que el tiempo de vida útil es aproximadamente 25 años (Emerson, 2013)

La figura 1.1 muestra el análisis de causa-efecto del problema.

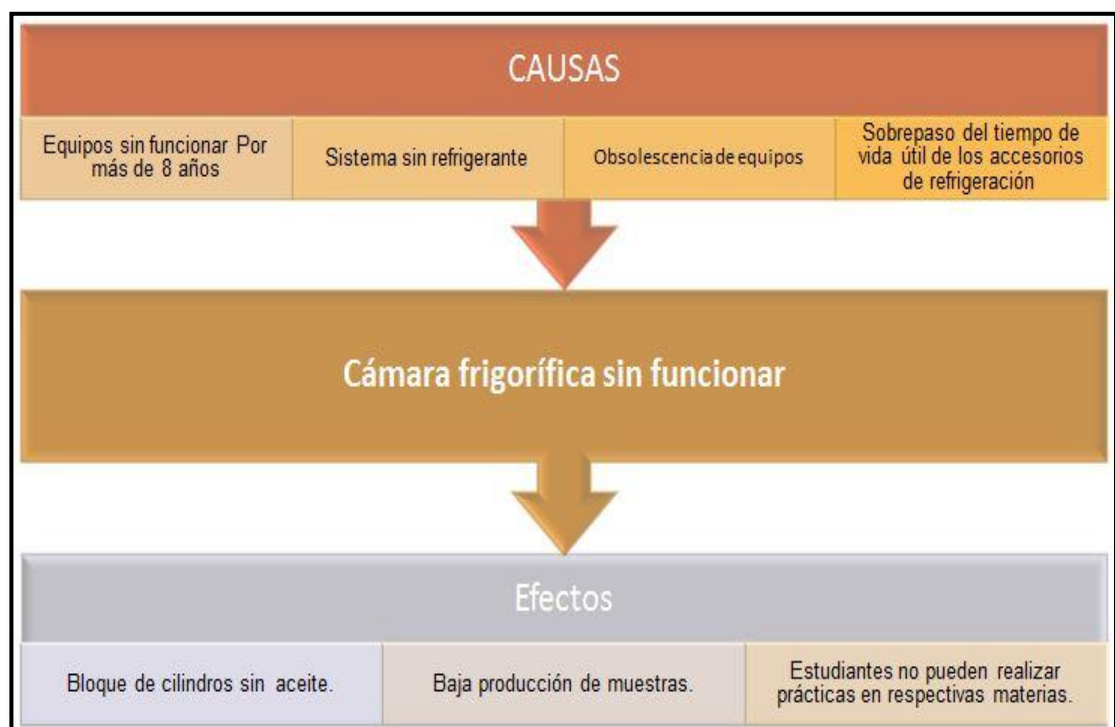


Figura 1.1. Diagrama causa – efecto

Fuente: Elaboración propia

Los años de inactividad de la cámara y la falta de un plan de mantenimiento del sistema han ocasionado diversos problemas, como es, el caso de los bloques de cilindros del compresor que podrían haberse quedado sin aceite, los

accesorios que han sobrepasado su tiempo de vida útil, presencia de humedad en el sistema, entre otros.

Adicionalmente, debe considerarse las dificultades logísticas que tienen los estudiantes de la carrera de ingeniería en alimentos quienes no cuentan con espacio suficiente para el almacenamiento de productos congelados, por lo que, deben producir las muestras en pequeñas cantidades y almacenarlas en tres congeladores horizontales cuya capacidad total representa el 5% del volumen de la cámara frigorífica.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general:

Rediseñar la cámara frigorífica de la “Planta Piloto” – Tecnologías - ESPOL en dos espacios independientes, uno para que funcione como túnel de congelados para 800 kg de pulpa de fruta a -18°C , y, el otro ambiente para mantenimiento de enfriados a 4°C para producto misceláneo.

1.2.2 Objetivos específicos:

- Redimensionar los espacios de la cámara frigorífica para túnel de congelados y mantenimiento a media temperatura.
- Rediseñar sistema de refrigeración actual para los nuevos requerimientos de cargas térmicas.
- Evaluar el compresor instalado para determinar si es apto para el sistema del túnel de congelados.
- Analizar los costos de la adecuación al sistema de túnel de congelados.
- Analizar los costos de la instalación del nuevo sistema de enfriados.
- Esquematizar los planos ilustrativos del sistema.

1.3 Marco teórico

El proyecto se basa en el sistema de refrigeración por compresión y se tomará como referencia principal la norma de la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE, por sus siglas en inglés).

Previamente se hará una breve revisión de los conceptos termodinámicos básicos involucrados.

1.3.1 Conceptos fundamentales de refrigeración

Los sistemas de refrigeración se basan en la aplicación de los principios de la termodinámica y de transmisión de calor. Seguidamente se enuncia los principales conceptos involucrados:

Temperatura (T): Variable termodinámica, está relacionada directamente con la energía interna (energía cinética), que es la energía asociada a los movimientos de las partículas del sistema, A medida que sea mayor la energía cinética de un sistema, el cuerpo es más caliente; es decir, mayor es su temperatura. (UPM, 2010)

Presión (P): Variable termodinámica que define la fuerza que actúa por unidad de área sobre un cuerpo en dirección perpendicular a la superficie. En el caso del interior de las tuberías, es la fuerza que el fluido ejerce sobre las paredes del tubo. (UPM, 2010)

Temperatura (T_{sat}) y presión de saturación (P_{sat}): Temperatura de saturación es la temperatura a la que una sustancia cambia de fase, entre el estado líquido y gaseoso, a una presión específica; y, esta presión se llama presión de saturación para la temperatura dada. Por lo cual, para una presión de saturación existe un único valor de temperatura de saturación y viceversa. (UNET, 2005)

Entalpía (h): Es una propiedad que representa la cantidad total de energía térmica que puede absorber en la transición de líquido a vapor. (Emerson, 2013)

Entropía (s): Es la energía desperdiciada por un sistema y que no puede ser reutilizada. Explica por qué ningún equipo es 100% eficiente. (Heatcraft, 2010)

Calor (Q): Es una forma de energía y es una expresión del movimiento de las moléculas que componen un cuerpo, por lo que, es frecuentemente definido como energía en tránsito, dado que siempre está transmitiéndose en forma natural, desde los cuerpos de mayor a los de menor temperatura. (Heatcraft, 2010)

Calor sensible (q_s): Es el calor por unidad de masa y temperatura que es necesario para cambiar la temperatura de una sustancia, sin cambiar su estado o fase. (Heatcraft, 2010)

Calor latente (L): Es el calor por unidad de masa que es necesario para cambiar el estado de una sustancia, sin cambiar su temperatura. (Heatcraft, 2010)

Estados de la materia: se presenta en tres estados: sólido, líquido y gaseoso. En refrigeración resaltan los siguientes términos:

- Líquido saturado: es cuando un líquido está a punto de realizar un proceso de cambio de fase de líquido a vapor. (Heatcraft, 2010)
- Líquido sub-enfriado: Es cuando la temperatura del líquido es menor a la temperatura de saturación a una presión constante. (Heatcraft, 2010)
- Vapor saturado: Es la sustancia que sale de la región de mezcla y se encuentra completamente como vapor. (Heatcraft, 2010)
- Vapor supercalentado: cuando se eleva la temperatura del vapor con respecto a su punto de ebullición. (Heatcraft, 2010)
- Mezcla saturada: se denomina a una sustancia que está en proceso de cambio de fase y coexiste el estado líquido con el gaseoso. (Heatcraft, 2010)

Cambios de fase: Es el proceso de cambio de un estado a otro de una sustancia por acción del calor, sin cambiar su composición, la cantidad de

energía depende del valor del calor latente que tenga la sustancia. Los posibles cambios son: (UPM, 2010)

- De estado sólido a líquido, denominado Fusión.
- De estado líquido a sólido.- Solidificación.
- De estado líquido a gaseoso.- Evaporación o vaporización.
- De estado gaseoso a líquido.- Condensación.
- De estado sólido a gaseoso.- Sublimación progresiva.
- De estado gaseoso a sólido.- Sublimación regresiva o deposición.

1.3.2 Ciclo de refrigeración

Ciclo es un proceso cerrado en el cual no hay pérdida de materia y todas las condiciones se repiten indefinidamente.

Refrigeración es el proceso mediante el cual, se mantiene un producto o espacio a una temperatura menor a la de su entorno. Para lo cual se extrae calor del ambiente que se quiere refrigerar y se lo libera en otro, mediante un fluido denominado refrigerante.

El sistema de refrigeración por compresión, se conforma por cuatro componentes principales siendo estos: compresor, condensador, válvula de expansión y evaporador. En el ciclo de refrigeración el refrigerante fluye por cada uno de ellos, variando su presión y temperatura según el caso. (Heatcraft, 2010)

La figura 1.2 muestra el ciclo de refrigeración por compresión superpuesto en un diagrama de Mollier.

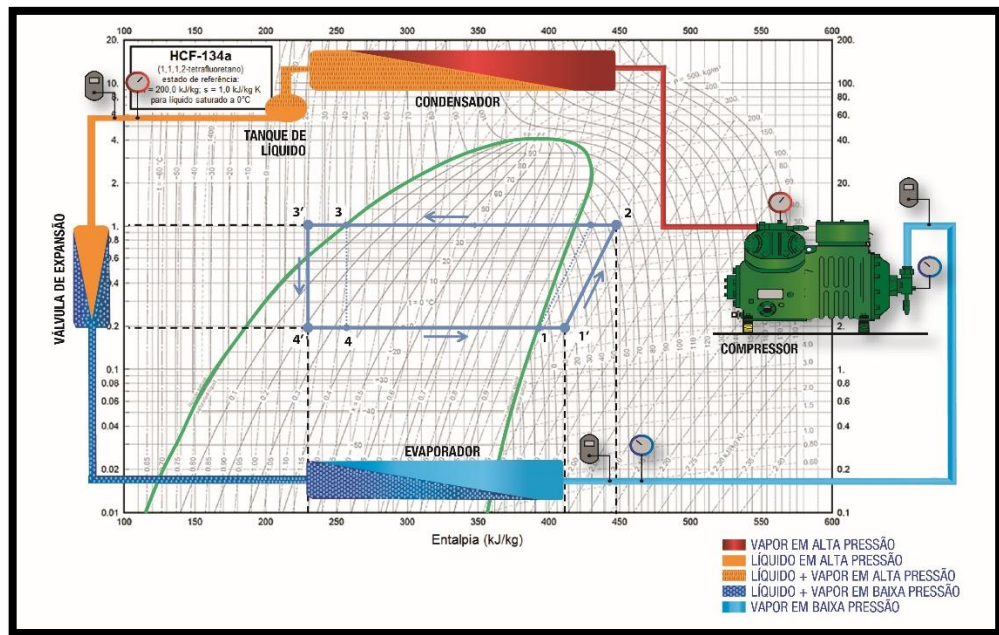


Figura 1.2. Ciclo de refrigeración representado en un Diagrama de Mollier
 Fuente: (Heatcraft, 2010)

Según las presiones existentes en el sistema, se puede visualizar dos sectores:

- Sector de baja presión que va desde la salida del dispositivo de expansión hasta la succión del compresor. En esta sección, el refrigerante se encuentra a baja temperatura y, es donde se lleva a cabo la evaporación del refrigerante, el cual, se convierte en gas, por medio del evaporador. (Principios de refrigeración, Secretaría de Educación Pública de México).
- Sector de alta presión que va desde la descarga del compresor hasta la entrada del dispositivo de expansión. En esta sección, el refrigerante convertido en gas sobrecalentado en el evaporador, es comprimido por medio del compresor y vuelve a su estado líquido por medio del condensador que es el que extrae el calor del refrigerante por medios naturales o artificiales. (Instituto Tecnológico de Minatitlan, 2011)

1.3.3 Componentes de un sistema de refrigeración por compresión

Los elementos principales que componen el sistema de refrigeración por compresión son: compresor, condensador, válvula de expansión y

evaporador, cada uno de ellos cumple una función en el ciclo de refrigeración, a continuación se describe cada uno de los elementos:

- **Compresor:** Máquina cuya función es succionar el refrigerante en estado de vapor del evaporador, comprimirlo para aumentar la presión y la temperatura y descargarlo en forma de vapor supercalentado en el condensador. Los tipos de compresores más empleados en la refrigeración son: alternativo, rotativo o tornillo. (Franco Lijó, 2016)
- **Compresores alternativos:** También denominado de pistón o reciprocante es un compresor de desplazamiento positivo es decir desplaza los gases que se encuentran dentro de una cámara mediante uno o varios émbolo (s) o pistón (es) que a su vez son movidos por un cigüeñal para obtener gases a alta presión.

Los compresores alternativos pueden ser: herméticos o semiherméticos. La diferencia entre estos es la posibilidad de acceso al sistema mecánico. Los herméticos son inaccesibles y los semiherméticos permiten ser abiertos para arreglos, cambios o mantenimiento de sus partes. (Bejarano, 2013)

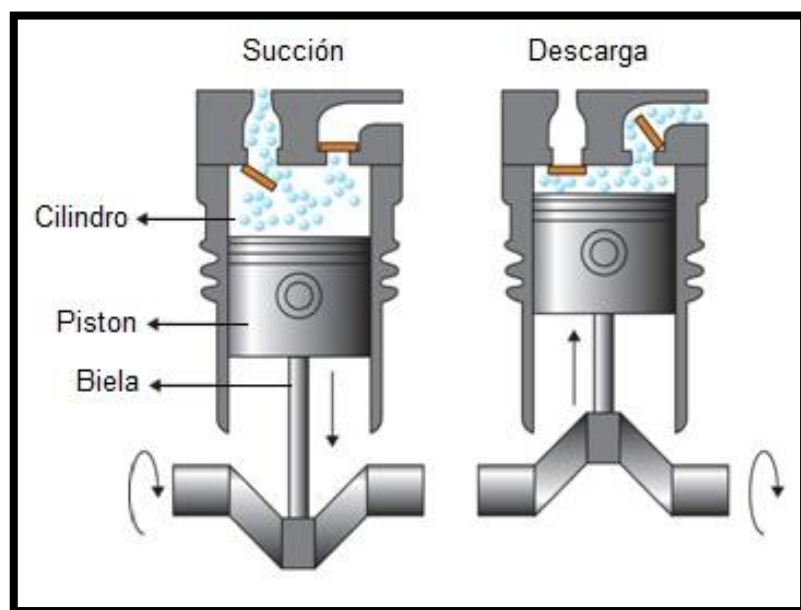


Figura 1.3. Diagrama de un pistón de compresor alternativo

Fuente: Elizandro Bejarano, 2013

- **Compresores rotativos:** Es un tipo de compresor que se caracteriza por sustituir el movimiento alternativo de los pistones por un movimiento circular de un rotor para comprimir el refrigerante. Estos pueden ser excéntricos, de paleta o scroll. (Bejarano, 2013)

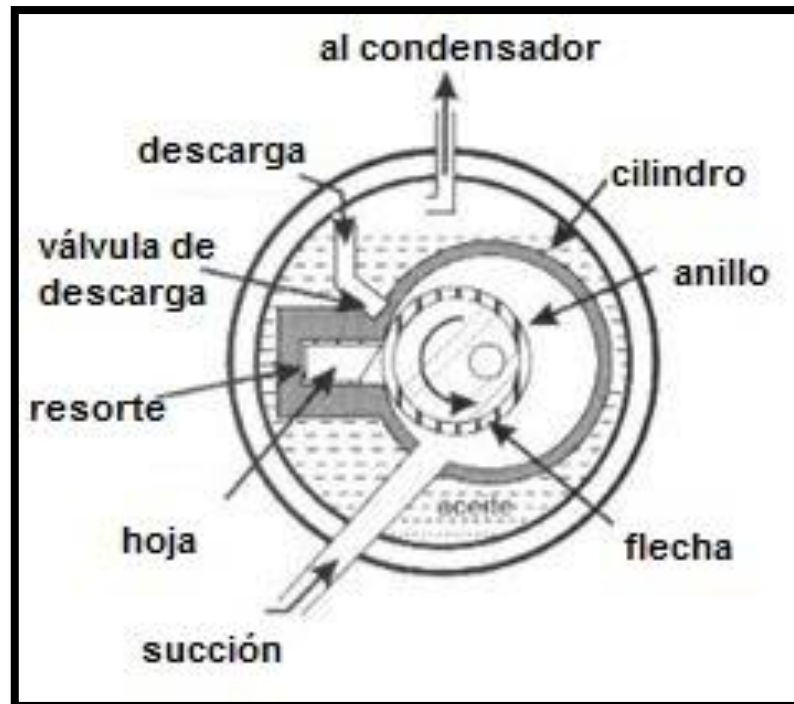


Figura 1.4. Diagrama compresor excéntrico

Fuente: (Bejarano, 2013)

- **Compresores de tornillo:** También conocidos como de husillo o helicoidales, la compresión del fluido es continua, constan de dos rotores llamados primario y secundario que forman una separación muy pequeña. El refrigerante entra por la válvula de admisión, mientras los rotores giran el espacio en donde se encuentra alojado el refrigerante se va reduciendo comprimiéndolo hasta salir por la válvula de escape. (Bejarano, 2013)

En la figura 1.5 se pueden observar las partes principales de un compresor tornillo.

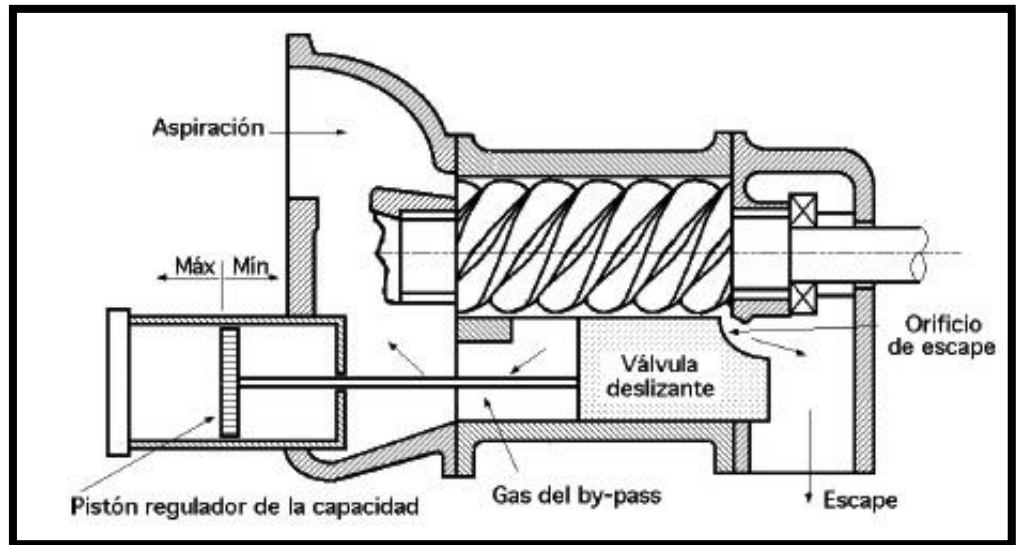


Figura 1.5. Vista de corte de un compresor de tornillo

Fuente: ASHRAE HANDBOOK, 2012

- **Condensador:** El condensador es un intercambiador de calor que rechaza el calor absorbido por el evaporador y el entregado por el compresor hacia el agente condensante que puede ser aire o agua, mediante un refrigerante que circula en el interior del equipo. El refrigerante entra al condensador en estado gaseoso y sale en forma líquida, de ahí su nombre. La capacidad frigorífica de este es la suma de los calores del evaporador y compresor. (Heatcraft, 2010)
- **Dispositivos de expansión:** Dispositivo que se encarga de generar la caída de presión entre el condensador y el evaporador a través de una reducción en el paso del fluido. El refrigerante debe de entrar en forma de líquido y saldrá en forma de mezcla para así ingresar al evaporador. (Heatcraft, 2010)

Los dispositivos de expansión pueden ser: tubos capilares, válvulas de expansión termostáticas (VET), válvulas de expansión eléctricas o boquillas distribuidoras. (Heatcraft, 2010)

La figura 1.6 muestra una vista de corte de una VET señalando sus partes principales.

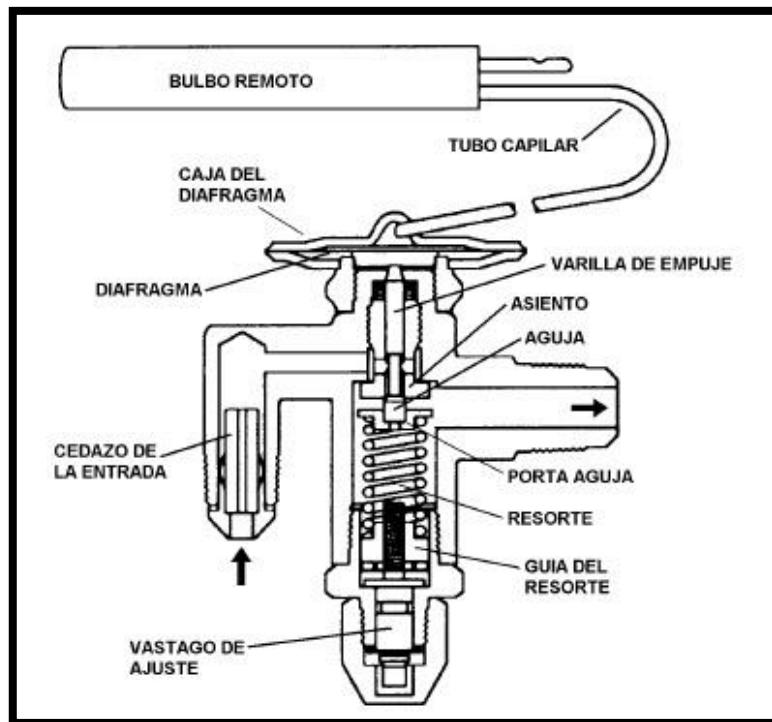


Figura 1.6. Vista de corte de una VET y sus elementos principales
Fuente: (ASHRAE, 2010)

- **Evaporador:** El evaporador es el intercambiador de calor que absorbe el calor calculado como carga térmica por medio de un fluido refrigerante que circula en el interior del equipo. El refrigerante entra al evaporador en estado de mezcla y sale en forma gaseosa, de ahí su nombre. Existen varios tipos de evaporadores como: inundado, semi-inundados, secos, de tubo liso, de tubo con aletas, placas, etc. (Bejarano, 2013)

1.3.4 Cámaras frigoríficas

Las cámaras frigoríficas son áreas que se encuentran por debajo de la temperatura ambiente y se dividen según su aplicación en: Conservación de congelados, conservación de enfriados, Salas de proceso, túnel de congelación, túnel de enfriamiento. (Heatcraft, 2010)

- **Conservación de congelados**

Cámaras que mantienen la temperatura de un cuerpo por debajo de su punto de congelación, los equipos de estas cámaras están dimensionados solo para retirar el calor sensible del producto, por lo tanto, debe de

ingresar congelado. Se utilizan para almacenar productos perecibles con el fin de alargar su vida.

- **Conservación de enfriados**

Cámaras que mantienen la temperatura de un cuerpo entre la temperatura ambiente y por encima de la temperatura de congelación, Los equipos de estas cámaras están dimensionados para retirar el calor sensible del producto. La temperatura de ingreso del producto puede ser hasta 10°C mayor que la temperatura de operación de la cámara.

- **Salas de procesos**

Son ambientes de trabajo, normalmente estas cámaras son utilizadas en plantas de sacrificio de reses y empacadoras de mariscos. El número de recambios de aire (relación entre el caudal del evaporador y el volumen de la cámara) debe de estar entre 20 y 30 para que las personas puedan trabajar cómodamente.

- **Túnel de congelados**

Son cámaras de congelamiento rápido, conservando así las propiedades de los productos. La temperatura de entrada del producto es por encima de la temperatura de congelación. El número de recambios de aire está entre 150 y 300.

- **Túnel de enfriamiento**

La función es enfriar el producto de manera rápida para que este pueda ser llevado al túnel de congelación o cámaras de mantenimiento de enfriados. Generalmente, el producto ingresa al túnel de enfriamiento a temperaturas por encima a las del ambiente.

1.3.5 Refrigerantes

Refrigerante es un fluido utilizado para la transmisión de calor, tiene la capacidad de absorber, y liberar energía calorífica, la absorbe de un cuerpo o espacio mediante su evaporación en condiciones bajas, de presión y

temperatura; y la libera mediante su condensación en condiciones altas, de presión y temperatura.

Es necesario hacer mención que la producción y uso de los refrigerantes, está reglamentada o prohibida en algunos casos, según tratados internacionales suscritos por casi todos los países miembros de la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Estos tratados se iniciaron desde el año 1987 con el protocolo de Montreal donde se prohibió el uso de los refrigerantes Clorofluorocarbonos (CFCs), como el R-11 y R-12, por ser catalogados como sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO) (PNUMA, 2010), por su alto potencial destructor de ozono (ODP), ambas con valor igual a uno, prohibidos desde el 1° enero del 1996. Así también, la Unión Europea (UE), prohibió la producción de los refrigerantes hidroclorofluorocarbonos (HCFCs) más usados R-22, R-123, R-124; desde el 2010. (Chemours, 2017)

En 1997 se realizó el tratado de Kioto, donde se acordó limitar las emisiones de gases de efecto invernadero. Según investigaciones realizadas se determinó que los gases hidrofluorocarbonos (HFCs) (R404A, R507A), presentaban un importante potencial de calentamiento atmosférico (PCA) también denominado GWP (medido con base en el potencial de daño del refrigerante R-744). La Unión Europea empezó a crear leyes para disminuir la contribución al calentamiento global, aprobándose la directiva F-gas, que establece un calendario de reducción de uso de estos gases hidrofluorocarbonos hasta su prohibición definitiva, establecida para el 1° de enero del 2020. Se los trata de sustituir por refrigerantes naturales como: el amoníaco (NH_3), el bióxido de carbono (CO_2), el agua (H_2O) e hidrocarburos (HC) como el propano, metano, entre otros. (Antilhue, 2010)

La tabla 1.1 muestra el rango ODP y el GWP para los distintos grupos de refrigerantes.

Tabla 1.1. ODP y GWP para grupos de refrigerantes

Componente	ODP	GWP
Amoniaco	0	0
Dióxido de carbono	0	1
Hidrocarburos (Propano y Butano)	0	3
Agua	0	0
Clorofluorocarbonos	1	5680 - 10720
Clorofluorocarbonos parcialmente halogenados	0.02 - 0.06	76 - 2270
Perfluorocarbonos	0	5820 - 12010
Perfluorocarbonos parcialmente halogenados	0	122 - 14310

Fuente: Antihue

1.4 Alternativas de diseño

En esta sección se presentan alternativas de solución al problema anteriormente planteado con el fin de escoger mediante una matriz de decisión la mejor opción de acuerdo a la evaluación de los factores de influencia más determinantes.

1.4.1 Descripción de alternativas de diseño

Alternativa A – Instalación nueva

En la figura 1.7 se muestra el diseño de la alternativa A, cuyo planteamiento es reubicar la cámara frigorífica en los exteriores de la planta piloto.

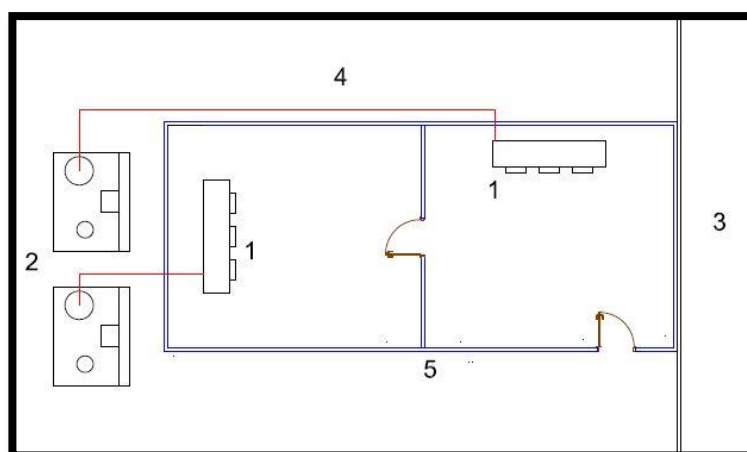


Figura 1.7. Esquema de la alternativa A

Fuente: Elaboración propia

En el esquema se señala con los numerales: 1 y 2 ubicación dentro de las cámaras frigoríficas de las unidades condensadoras y evaporadores respectivamente, 3 sector de la planta piloto, 4 recorrido de tuberías de

conexión entre las unidades condensadoras y evaporadores. Cabe mencionar que las cámaras frigoríficas se encontrarían a la intemperie.

Alternativa B – Reparación del equipo actual

Consiste en reparar la unidad condensadora y el evaporador que se encuentran instalados actualmente, con la finalidad de que la cámara de almacenamiento de congelados reinicie sus operaciones.

En la figura 1.8 se muestra el bosquejo de la alternativa B y se señala con los siguientes numerales: 1 el evaporador, 2 unidad condensadora, 3 interior de la planta piloto y 4 recorrido de tuberías de refrigeración

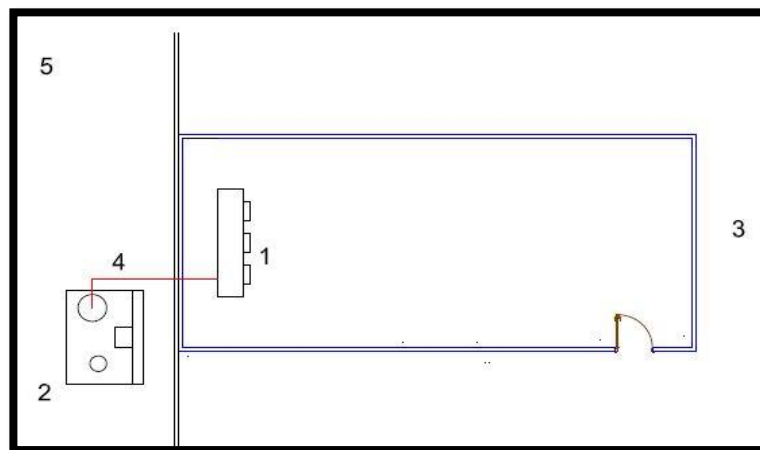


Figura 1.8. Esquema de la alternativa B

Fuente: Elaboración propia

Alternativa C – Rediseño

La alternativa C consiste en redimensionar el espacio de la cámara para dividirla en dos ambientes: Túnel de congelados utilizando los equipos instalados, previamente reparados y Cámara para mantenimiento de enfriados adquiriendo nuevos equipos.

En la figura 1.9 muestra el bosquejo de la alternativa C y se señala con los siguientes numerales: 1 los evaporadores, 2 las unidades condensadoras, 3 interior de la planta piloto, 4 recorrido de tuberías de refrigeración y 5 exteriores de la planta piloto.

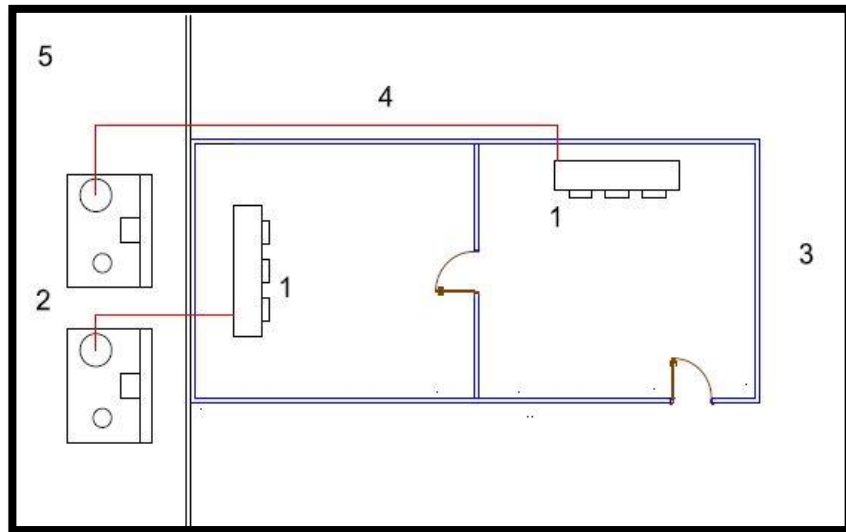


Figura 1.9. Esquema de la alternativa C

Fuente: Elaboración propia

1.4.2 Ventajas y desventajas de las alternativas

A continuación en la tabla 1.2 se señalan las ventajas y desventajas de cada una de las alternativas de diseño.

Tabla 1.2. Ventajas y desventajas de las alternativas planteadas

ALTERNATIVA	VENTAJA	DESVENTAJA
Instalación nueva	Equipos eficientes	Mayor costo de equipos.
	Capacidad de los equipos calculada según el requerimiento	Mayor costo de montaje.
	Bajo costo de mantenimiento	Mayor tiempo de ejecución
	Baja probabilidad de falla	
Reparación del sistema actual	Bajo costo de montaje	Equipos menos eficientes.
	Reutilización de sistema montado.	Mayor probabilidad de falla.
	Menor tiempo de instalación	Mayor gasto por mantenimiento.
		Se requiere inspección y pruebas de operación por largo tiempo de inactividad.
Rediseño		Equipos del sistema no cumplen con los requerimientos actuales.
	Menor costo de montaje	Sistema de refrigeración del túnel de congelados se considera equipo crítico.
	Capacidad de equipos calculada según lo requerido.	
	Reutilización de sistema montado.	Se requiere inspección y pruebas de operación por largo tiempo de inactividad.
	Menor consumo energético.	
Menor tiempo de instalación		

Fuente: Elaboración propia

1.5 Selección de la mejor alternativa

Se procede a elaborar una matriz de decisión con el fin de poder comparar las alternativas mencionadas a partir de los distintos factores de influencia para proceder a elegir la alternativa más adecuada a los requerimientos planteados.

1.5.1 Factores de influencia

Los factores de influencia en el diseño son aquellas características que pueden afectar en mayor grado en la evaluación de las alternativas planteadas, por lo que se las detalla y se las califica según criterio personal desde una escala del 1 al 10, siendo 1 poco importante y 10 muy importante.

Dimensiones (FI 1): Las dimensiones de los equipos son muy influyentes en nuestro diseño dado que se trata de una instalación existente, teniendo como restricción las dimensiones de la cámara y de la sala de máquinas. *Calificación: 7/10.*

Carga frigorífica (FI 2): De este factor depende la capacidad frigorífica de los equipos. *Calificación: 6/10*

Disponibilidad de equipos (FI 3): Es un factor de importancia media de este depende la fecha de entrega del proyecto, se sabe que existen muchas opciones de equipos. *Calificación: 5/10*

Facilidad de instalación (FI 4): Este criterio refiere a las consideraciones que se deben de tener para la instalación, este criterio tiene una importancia media considerando que los equipos son similares. *Calificación: 5/10*

Costos de montaje (FI 5): Es uno de los puntos más crítico debido a que existe un límite económico para el desarrollo del proyecto: *Calificación: 9/10*

Costos de equipos (FI 6): Este criterio es primordial para tomar la decisión final puesto que el costo de los equipos es mucho más elevado que el de montaje. *Calificación: 10/10*

Eficiencia energética (FI 7): Para este proyecto es un factor importante teniendo en cuenta que actualmente se cuida la afectación al ambiente, por lo que la tecnología moderna apunta a reducir el consumo de energía.

Calificación: 8/10

Capacidad requerida (FI 8): Este es un factor importante porque es necesario cubrir los nuevos requerimientos para el sistema, por parte de la FIMCP.

Calificación: 8/10

Tiempo de montaje (FI 9): Este factor se relaciona con el costo de montaje.

Calificación: 4/10

Optimización de recursos (FI 10): se relaciona con la reutilización de los equipos, accesorios y paneles que se encuentran instalados.

Calificación: 6/10

Mantenimiento de equipos (FI 11): Este factor es importante, se refiere a las operaciones que se realizan para optimizar el funcionamiento de los equipos o que el sistema pueda funcionar correctamente.

Calificación: 7/10

1.5.1 Niveles de cumplimiento

El nivel de cumplimiento (NC) se refiere al grado de desempeño de cada alternativa de diseño en función de los factores de influencia. Se ponderará en una escala del 1 al 5, siendo 1 muy malo y 5 muy bueno.

1.5.2 Selección de la mejor alternativa

La tabla 1.3 muestra la matriz de decisión donde se detalla la calificación de las alternativas planteadas según sus niveles de cumplimiento con cada uno de los factores de influencia.

Tabla 1.3. Matriz de decisión

		ALTERNATIVAS					
		Instalación nueva		Reparación del sistema actual		Rediseño	
		NC	calificación	NC	calificación	NC	calificación
CONSIDERACIONES	FI 1 (9%)	4	0.37	5	0.47	4	0.37
	FI 2 (8%)	5	0.40	3	0.24	4	0.32
	FI 3 (7%)	4	0.27	5	0.33	4	0.27
	FI 4 (7%)	4	0.27	5	0.33	3	0.20
	FI 5 (12%)	3	0.36	5	0.60	4	0.48
	FI 6 (13%)	1	0.13	5	0.67	4	0.53
	FI 7 (11%)	5	0.53	2	0.21	4	0.43
	FI 8 (11%)	5	0.53	1	0.11	5	0.53
	FI 9 (5%)	5	0.27	3	0.16	3	0.16
	FI 10 (8%)	3	0.24	5	0.40	5	0.40
	FI 11 (9%)	5	0.47	2	0.19	4	0.37
TOTAL		3.84		3.71		4.07	

Fuente: Elaboración propia

Según los resultados en la matriz de decisión se elige a la alternativa C como mejor solución, por lo que se procederá a realizar el diseño de esta opción.

1.6 Selección del refrigerante

Para la selección de los refrigerantes, se considera principalmente los parámetros de operación que este alcanza, es decir, presión - temperatura de evaporación y condensación, tendencia de fugas, calor latente y las normas ANSI/ASHRAE 34-1992 establecidas.

Para la selección de la mejor alternativa se evaluará los refrigerantes más usados en el mercado local, estos son: R-404A, R-134A, R-22 y R-717.

1.6.1 Selección de refrigerante para el túnel de congelados

Para la selección de refrigerante se va a considerar los refrigerantes R-404A, R-22 y R-717, el R-134A no se recomienda usarlo debido a que a temperaturas menores a $-27.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ trabajaría en vacío y en caso de la presencia de fugas el refrigerante no se escaparía, por el contrario, introduciría aire al sistema y con ello humedad.

- **Factores de influencia para la selección del refrigerante**

Los factores de influencia que se han considerado en este proyecto para la selección de refrigerante son: clasificación combinada, tendencia de fugas y calor latente.

Clasificación combinada (C1): Conocida como la norma ANSI/ASHRAE 34-1992. Se denomina así a la agrupación de refrigerantes según el nivel de inflamabilidad y toxicidad de forma conjunta, realizada por las organizaciones ANSI (por sus siglas en inglés, Instituto Nacional Estadounidense de Estándares) y ASHRAE. (ASHRAE, 2010) Calificación 9/10.

La figura 1.10 muestra la clasificación actual de grupos de seguridad de los refrigerantes.

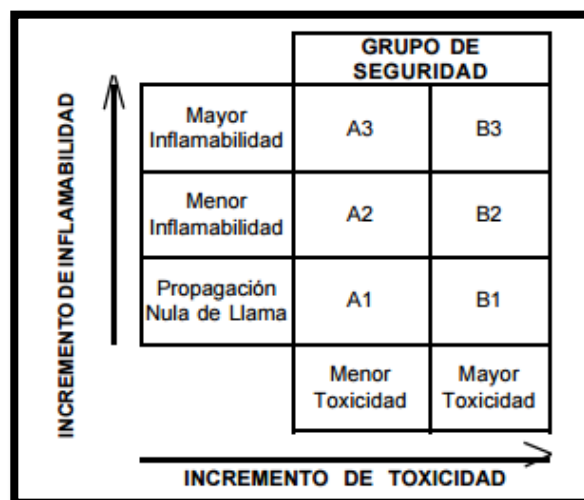


Figura 1.10. Clasificación de grupos de seguridad de refrigerantes

Fuente: Handbook – ASHRAE

La clasificación combinada se representa con dos caracteres alfanuméricos. La letra mayúscula indica la toxicidad siendo: A, para refrigerantes que no se ha identificado su toxicidad en concentraciones por debajo o iguales a 400 ppm y B indica evidencia de toxicidad en concentraciones por debajo a 400 ppm y el número indica el grado inflamabilidad: siendo, 1 para refrigerantes que no muestran propagación de llama, 2 para los que tienen un límite de inflamabilidad bajo y 3 para los que son sumamente inflamables. (ASHRAE, 2010)

La tabla 1.4 muestra la clasificación de los refrigerantes evaluados según el grupo de seguridad.

Tabla 1.4. Clasificación de los refrigerantes según grupo de seguridad

Refrigerante N°	Nombre	Grupo de seguridad
404A	R-125 44%, R134A 4%, R143A 52%	A1
22	Clorodifluorometano	A1
717	Amoniaco	B2

Fuente: Elaboración propia

Tendencia a las fugas (C2): Existen varios factores que afectan este criterio como presión, viscosidad, densidad, entre otros. Cuando estas propiedades son iguales para diferentes refrigerantes, el de mayor peso molecular es el que tiene menos tendencia a fugarse, debido a que a mayor peso molecular las moléculas son más grandes, dificultando la salida por grietas en la tubería. Calificación: 5/10

Las fugas es un problema común en los sistemas de refrigeración, y es muy importante detectarlas a tiempo por las siguientes razones: protección de las personas, conservación de los refrigerantes, protección de los equipos, reducción de emisiones de refrigerantes al ambiente. (Emerson, 2013)

La tabla 1.5 muestra los pesos moleculares para los gases evaluados.

Tabla 1.5. Peso específico de los refrigerantes

Refrigerante N°	Nombre	Peso molecular [g/mol]
404A	R-125 44%, R134A 4%, R143A 52%	97.61
22	Clorodifluorometano	86.48
717	Amoniaco	17.03

Fuente: Elaboración propia

Calor latente (C3): Esta propiedad representa la cantidad total de energía que puede absorber, esto quiere decir, mientras mayor sea el valor, más capacidad de absorber energía tiene. (Emerson, 2013)
Calificación: 2/10.

Cabe añadir que también se lo conoce como entalpía de evaporación. Es la cantidad que necesita un kilogramo de líquido, para cambiar a un kilogramo de vapor a temperatura constante.

La tabla 1.6 muestra los diferentes valores de calor latente de los diferentes gases a la temperatura de -25°C.

Tabla 1.6. Calor latente de gases refrigerantes a -25°C

Refrigerante N°	Nombre	Calor latente [kcal/kg]
404A	R-125 44%, R134A 4%, R143A 52%	44.43
22	Clorodifluorometano	51.78
717	Amoniaco	313.89

Fuente: Elaboración propia

Volumen específico (C4): Esta propiedad muestra la cantidad en m^3 o litros que ocupa un kilogramo de refrigerante y por lo tanto el tamaño de los equipos. Este valor debe de ser bajo en fase de vapor para tener una capacidad frigorífica alta con un mismo equipo. (Emerson, 2013)
Calificación: 8/10

En este caso al refrigerante con mayor volumen específico tendrá menor valor en la calificación.

En la tabla 1.7 se muestra los diferentes valores de volumen específico de los diferentes gases a la temperatura de -25°C.

Tabla 1.7. Volumen específico de gases refrigerantes a -25°C

Refrigerante N°	Nombre	Volumen específico [l/kg]
404A	R-125 44%, R134A 4%, R143A 52%	78.14
22	Clorodifluorometano	111.63
717	Amoniaco	771.17

Fuente: Elaboración propia

1.6.2 Niveles de cumplimiento

El nivel de cumplimiento (NC) se refiere a la medida en que las alternativas de diseño pueden cubrir los requerimientos según cada factor de influencia. Se pondera en una escala del 1 al 5, siendo 1 muy malo y 5 muy bueno.

1.6.3 Selección de la mejor alternativa

La tabla 1.8 muestra la matriz de decisión con la cual, se puede visualizar y seleccionar la alternativa más favorable de acuerdo a los requerimientos.

Tabla 1.8. Matriz de decisión para el refrigerante del túnel

		ALTERNATIVAS					
		R-404A		R-22		R-717	
		NC	calificación	NC	calificación	NC	calificación
CRITERIOS	C1 (38%)	5	1.88	5	1.88	1	0.38
	C2 (21%)	5	1.04	4	0.83	1	0.21
	C3 (8%)	1	0.08	1	0.08	5	0.42
	C4 (33%)	5	1.67	4	1.33	1	0.33
TOTAL		3.00		2.79		1.00	

Fuente: Elaboración propia

A partir de la matriz de decisión se determina al refrigerante R-404A como mejor opción, por lo que se procede a seleccionar los equipos para que operen con este gas.

Debe indicarse que este gas trabaja con el aceite Polioli Ester (POE).

1.6.4 Selección de refrigerante para la cámara de mantenimiento de enfriados

Para esta selección se toma en cuenta los mismos criterios que para el túnel de congelados agregando al R-134A debido a que para temperaturas por encima de -15°C se recomienda el uso de este refrigerante.

- **Factores de influencia para la selección del refrigerante**

Se nombra cada uno de los factores anteriormente mencionados y se califica según criterio personal.

Clasificación combinada (C1): Según la norma ANSI/ASHRAE 34-1992 el R-134A tiene una clasificación A1 al igual que sus compañeros sintéticos. Calificación: 9/10

Tendencia a las fugas (C2): El peso molecular del R-134A es de 102.03 [g/mol], siendo uno de los refrigerantes sintéticos con menor probabilidad de fuga. Calificación: 5/10

Calor latente (C3): Para este criterio se toma el calor latente a una temperatura de -2°C debido a que esta es la temperatura de evaporación del sistema. Calificación: 2/10

La tabla 1.9 muestra el calor latente de los diferentes gases refrigerantes.

Tabla 1.9. Calor latente de gases refrigerantes a -2°C

Refrigerante N°	Nombre	Calor latente [kcal/kg]
404A	R-125 44%, R134A 4%, R143A 52%	40.05
22	Clorodifluorometano	49.39
717	Amoniaco	303.37
134A	Tetrafluoroetano	47.82

Fuente: Elaboración propia

Volumen específico (C4): Para este criterio se toma el valor del volumen específico de todos los refrigerantes a una temperatura de -2°C. Este criterio afecta también al costo del equipo, a menor volumen específico menos robusto es el compresor y más pequeños son los intercambiadores de calor.

En la tabla 1.10 se muestra el valor del volumen específico de los diferentes gases refrigerantes.

Tabla 1.10. Volumen específico de gases refrigerantes a -2°C

Refrigerante N°	Nombre	Volumen específico [l/kg]
404A	R-125 44%, R134A 4%, R143A 52%	35.01
22	Clorodifluorometano	50.19
717	Amoniaco	310.74
134A	Tetrafluoroetano	74.36

Fuente: Elaboración propia

1.6.5 Selección de la mejor alternativa

La tabla 1.11 muestra la matriz de decisión con la cual, se puede visualizar y seleccionar la alternativa más favorable de acuerdo a los requerimientos.

Tabla 1.11. Matriz de decisión para el refrigerante de la cámara de enfriados

		ALTERNATIVAS							
		R-404A		R-22		R-717		R-134A	
		NC	calificación	NC	calificación	NC	calificación	NC	calificación
CRITERIOS	C1 (38%)	5	1.88	5	1.88	1	0.38	5	1.88
	C2 (21%)	4	0.83	4	0.83	1	0.21	5	1.04
	C3 (8%)	1	0.08	1	0.08	5	0.42	1	0.08
	C4 (33%)	5	1.67	3	1.00	1	0.33	2	0.67
TOTAL		4.46		3.79		1.33		3.67	

Fuente: Elaboración propia

Según la matriz de decisión realizada se puede determinar al refrigerante R-404A como la mejor opción para el sistema de refrigeración de la cámara de mantenimiento de enfriados.

La ficha técnica del refrigerante R-404A se muestra en el Anexos B.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO

En el presente apartado se muestra en forma detallada las consideraciones y decisiones que se han considerado para el desarrollo del diseño del túnel de congelados y de la cámara de enfriados, para lograr una solución óptima que cubra los requerimientos planteados.

2.1 Estrategia de diseño

En la figura 2.1 se presenta un diagrama de flujo detallando cada una de las etapas del diseño.

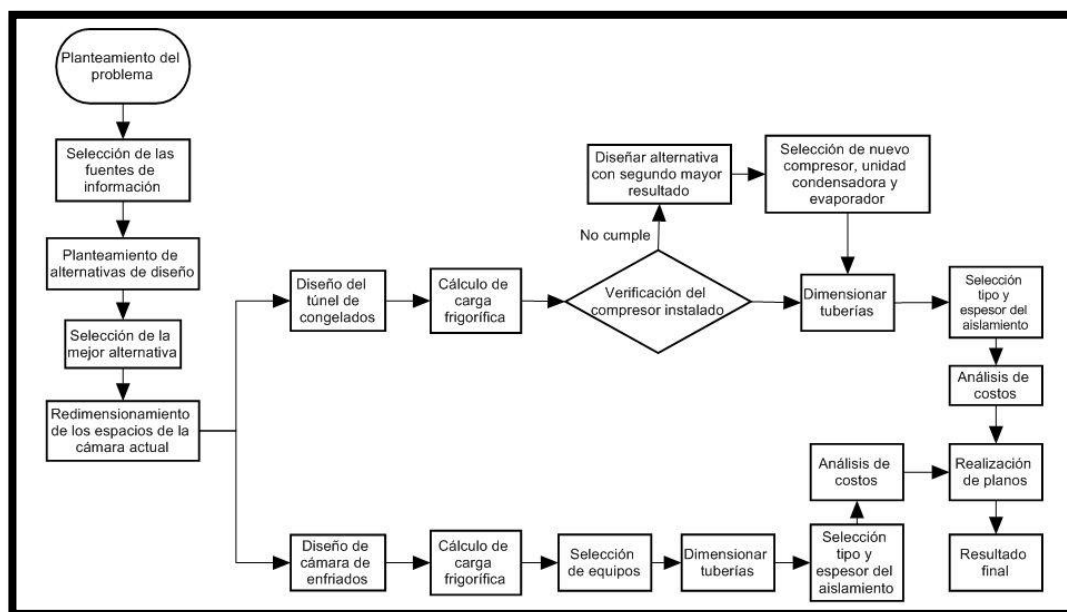


Figura 2.1. Metodología de diseño de los sistemas de refrigeración.

Fuente: Elaboración propia

2.2 Diseño detallado

Para elaborar el diseño de las cámaras frigoríficas se inicia con la selección del refrigerante, el cálculo de carga térmica para seleccionar los equipos, dimensionamiento de tuberías y la selección del tipo y espesor del aislamiento de las paredes y tuberías. (Manual de ASHRAE, 2010)

Las guías principales que se utilizan para el diseño de las cámaras son: el Manual Entrenamiento Técnico Avanzado de Heatcraft y el Manual Técnico de Emerson, compañías líderes en el área de refrigeración.

A continuación se detalla los pasos para el diseño completo del sistema:

Primera etapa, se inicia con el redimensionamiento del espacio de la cámara para dividirla en dos secciones, uno para el túnel de congelados y el otro para la cámara de mantenimiento de enfriados. Se realiza priorizando la ubicación del túnel de congelados, adecuándose a las instalaciones existentes y considerando el espacio necesario para tener como mínimo 150 recambios de aire, recomendado por Heatcraft (Manual de entrenamiento técnico avanzado, 2010). La recomendación respecto a los recambios es con la finalidad de que el producto se congele de forma rápida y no pierda humedad. En la parte delantera del espacio de la cámara existente, se dispuso el espacio para la cámara de enfriados, para que ésta, cumpla también la función de pre-cámara del túnel de congelados que se ubica en la parte posterior; pretendiendo así minimizar la afectación a la cadena de frío. (Emerson, 2013)

En la segunda etapa se realiza el dimensionamiento de los espacios para el túnel de congelados y la cámara de enfriados; una vez determinado el espacio para cada uno, se procede a colocar una pared de material aislante dentro de la cámara para establecer la división de cámaras, con su respectiva puerta. Cabe indicar, que los paneles aislantes divisorios de la cámara actual están en buen estado por lo que pueden ser utilizadas para los nuevos sistemas.

Tercera etapa, se realizan los cálculos de las cargas frigoríficas para los dos diseños, primeramente en forma manual y después los resultados se los comprueba con la utilización del programa ProBox de Heatcraft – USA. El programa en mención, es usado por la mayoría de empresas dedicadas a realizar proyectos en el área de refrigeración.

La interfaz del programa ProBox se presenta en la figura 2.2, en la imagen se puede observar diferentes pestañas y cuadros para ingreso de datos, los cuales

se especifican con los siguientes numerales: 1 información del cliente, 2 información del proyecto, 3 selección del sistema de unidades en que se desea trabajar, 4 el valor de la temperatura ambiente, 5 el valor de la temperatura deseada en la cámara; los numerales 6, 7 y 8 corresponden al largo, ancho y alto de la cámara, respectivamente, 9 tiempo de operación de los equipos previo al ingreso del producto, 10 valor total de la carga frigorífica; la pestaña 11 se refiere al cálculo de carga térmica transferido por las paredes, 12 cálculo de carga por infiltración de aire, 13 carga térmica por producto, 14 carga térmica por adicionales (luces, motores, personas, etc.) y 15 la selección del equipo.

Figura 2.2. Interfaz del programa ProBox de Heatcraft

Fuente: Probox de Heatcraft

Una vez calculadas las cargas frigoríficas se procede a la selección de los equipos y al dimensionamiento de tuberías.

La selección de equipos (evaporador y unidad condensadora) para cada uno de los nuevos sistemas, se realiza en función de las cargas frigoríficas calculadas, y en el caso del evaporador, además, se considera el valor de recambios de aire recomendado por el fabricante. Como se puede observar en la figura 2.3. (Heatcraft, 2010)

TIPO DE APLICACION	NUMERO DE CAMBIOS DE AIRE RECOMENDADO	
	MINIMO	MAXIMO
Conservación en Congelación	40	80
Conservación de enfriados	40	80
Cámaras de corte	20	30
Cámara de enfriamiento de carne	80	120
Maduración de plátano	120	200
Almacenamiento de frutas y vegetales	30	60
Túneles de congelación rápida	150	300
Salas de Proceso	20	30
Almacenamiento de carne sin empacar	30	60

Figura 2.3. Cambios de aire recomendados por tipo de aplicación

Fuente: Manual de ingeniería, Heatcraft

Habiendo seleccionados los equipos, se determina la ubicación de los evaporadores y unidades condensadoras para las dos cámaras. La figura 2.4 muestra un ejemplo de las recomendaciones que se deben tomar en cuenta para la ubicación y correcto funcionamiento de los equipos. (Heatcraft, 2012)

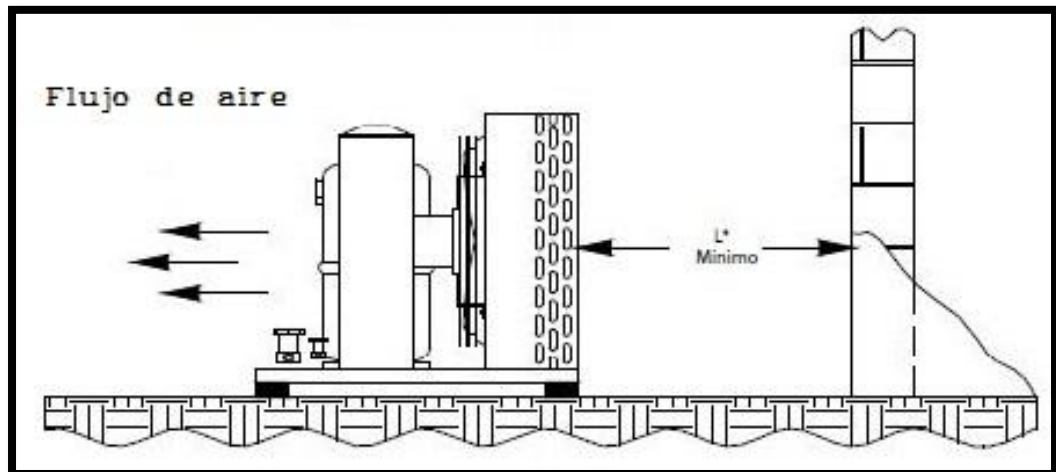


Figura 2.4. Ubicación recomendada de unidades condensadoras

Fuente: Manual técnico avanzado 2010, Heatcraft

Para determinar el diámetro de la tubería se utiliza tablas, considerando los siguientes factores: tipo de refrigerante, temperatura de evaporación, capacidad del sistema y la distancia equivalente entre la unidad condensadora y el evaporador. El objetivo de elegir un diámetro adecuado de la tubería es

garantizar que el refrigerante fluya con la velocidad recomendada según las normas de ASHRAE.

El aislamiento se realiza para evitar que la tubería de succión del compresor no gane calor ya que puede originar un sobrecalentamiento en su descarga. (Heatcraft, 2010). El espesor del aislante, se determina de acuerdo a las normas de ASHRAE.

A continuación en la tabla 2.1 se muestran las consideraciones para el diseño de las cámaras frigoríficas.

Tabla 2.1. Consideraciones para el diseño de las cámaras

	Cámara de enfriados	Túnel de congelados
Tipo de producto	Misceláneos	Pulpa de mango
Cantidad de producto [kg]	6000	800
Rotatividad del producto	15%	100%
Temperatura ambiente [°C]	32	32
Temperatura de entrada del producto [°C]	18	4
Temperatura de operación [°C]	4	-18
Tiempo de operación [hr]	20	12
Tipo de aislamiento de pared	Poliuretano	Poliuretano
espesor del aislamiento [mm]	100	100
Radiación directa	No	No

Fuente: elaboración propia

2.3 Redimensionamiento de los espacios de la cámara actual

Como se mencionó anteriormente, el dimensionamiento del espacio para el sistema se lo realiza en función al túnel de congelados que debe de cumplir con un mínimo de 150 recambios de aire. Para calcular los recambios se emplea la ecuación (1) (Manual de Entrenamiento técnico Avanzado de Heatcraft).

$$TR = Q/V \quad \text{ec. (1)}$$

Dónde:

TR: Recambio de aire, 150 [1/h]

Q: Caudal de aire, 4275 [m³/h]

V: Volumen interno de la cámara [m³]

Reemplazando los valores en la ecuación (1) se obtiene:

$$V = 28.5 \text{ m}^3$$

Este valor representa el máximo volumen interno que puede tomar el túnel de congelados para conservar el valor de 150 recambios de aire.

Dado que la altura y el ancho de la cámara son constantes se calcula por medio de la ecuación (2) (volumen de un prisma rectangular) la distancia máxima desde la parte posterior donde se ubicará la pared divisoria.

$$V = h * a * L \quad \text{ec. (2)}$$

Dónde:

H: altura interna de la cámara, 2.88 [m]

a: ancho interno de la cámara, 3.53 [m]

l: largo interno de la cámara, [m]

Reemplazando los valores y despejando la incógnita L, da por resultado:

$$L = 2.8 \text{ m}$$

Como se puede observar en la figura 2.6 esta posición es ocupada por la puerta, por lo tanto, no puede utilizarse esa medida de L, para colocar la pared divisoria entre las cámaras. Se procede nuevamente a aplicar la ecuación (1) para calcular la distancia mínima, esto es, cuando los recambios de aire son igual a 300. Realizando los cálculos la distancia obtenida es $L = 1.40 \text{ m}$.

La figura 2.5 muestra una vista isométrica de la cámara frigorífica.

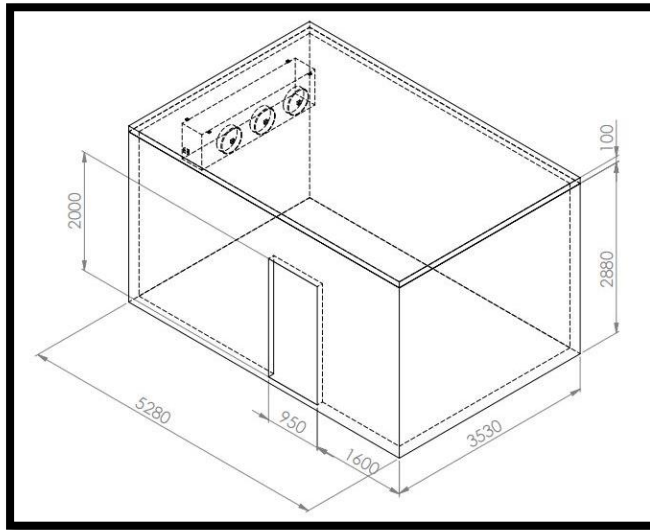


Figura 2.5. Vista isométrica de la cámara de la planta piloto

Fuente: Elaboración propia

Los valores encontrados para L determinan el rango de ubicación de la pared divisoria, tomando en cuenta que el marco de la puerta tiene un ancho de 20 cm ubicamos la pared divisoria a 2.5 m desde la pared posterior.

Utilizando la ecuación (2) se calcula el volumen total interno del túnel de congelados.

$$V = 25.42 \text{ m}^3$$

El volumen restante de 28.11 m^3 será utilizado por la cámara de mantenimiento de enfriados.

La figura 2.6 muestra la ubicación de la pared divisoria entre ambas cámaras, el espesor será de 100 mm.

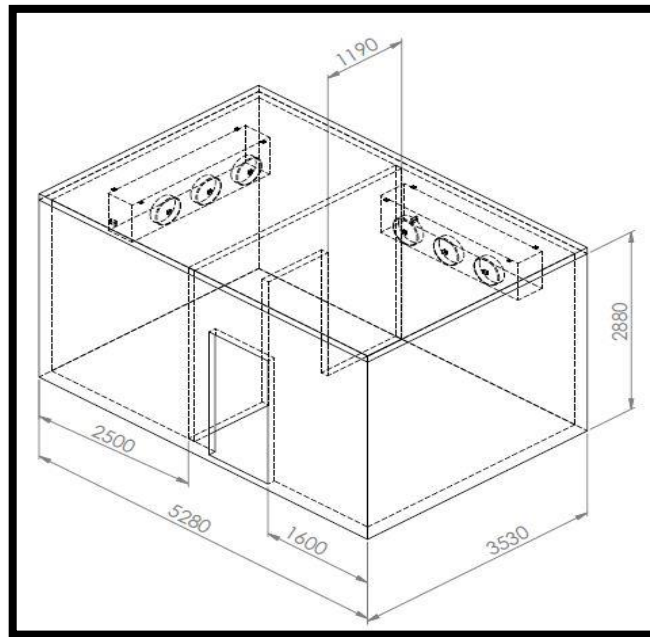


Figura 2.6. Vista isométrica del redimensionamiento de la cámara de la planta piloto.

Fuente: Elaboración propia

2.4 Carga térmica

La carga térmica es la cantidad de calor que se tiene que retirar del cuerpo o espacio al que se va a enfriar, representa la potencia frigorífica que requiere el sistema de refrigeración.

Para cámaras de mantenimiento existe una representación gráfica (figura A.7) para cálculo rápido de carga frigorífica según el área mostrada en la sección de Anexos.

2.4.1 Cálculo de capacidad frigorífica

Para el cálculo de la capacidad frigorífica se debe de considerar las siguientes cargas:

- Carga térmica por transmisión (q_1): Es el calor que ingresa a la cámara por las paredes, techo y piso. El valor depende del tipo y espesor del aislamiento y su valor puede ser hallado mediante la Ley de Fourier representada por la ecuación (3).

$$q_1 = kA \frac{\Delta T}{e} \quad \text{ec. (3)}$$

Dónde:

k: Conductividad térmica, $0.02 [kcal/hr m K]$

A: Área de la pared, $[m^2]$

ΔT : Diferencial de temperatura externo e interno, $[^\circ C]$

e: Espesor de la pared, $[m]$

En la sección Anexos se muestra la tabla A.2 con las propiedades térmicas de algunas sustancias y materiales.

- Carga térmica de productos (q_2): Es la energía necesaria para enfriar el producto almacenado en la cámara.

Para cámaras que su función es bajar la temperatura del producto almacenado se debe de considerar únicamente el calor sensible (q_s), su valor es calculado por medio de la ecuación 3. En el caso de que se necesite que el producto sea congelado se utiliza la suma de la ecuación (4) y la ecuación (5), esta última representa el calor latente (q_L).

$$q_s = mc_p \Delta T \quad \text{ec. (4)}$$

Dónde:

m: Masa del producto que necesita bajar su temperatura, $[kg]$

c_p : Calor específico, $[kcal/kg^\circ C]$

ΔT : Diferencia de temperatura de ingreso y salida, $[^\circ C]$

$$q_L = mL \quad \text{ec. (5)}$$

Dónde:

m: Masa del producto que necesita congelarse, $[kg]$

L: Calor latente de congelación, $[kcal/kg]$

Para una cámara de enfriamiento o mantenimiento la carga por producto está dada por la ecuación (4). Por el contrario para una cámara de congelación la carga térmica del producto es representada por la ecuación (6), que es una suma del calor sensible por encima del punto de congelación, el calor latente de congelación y el calor sensible por debajo del punto de congelación.

$$q_2 = \frac{q_{1s} + q_L + q_{2s}}{24} \quad \text{ec. (6)}$$

Dónde:

q_{1s} : Calor sensible por encima del punto de congelación, [kcal/h]

q_{2s} : Calor sensible por debajo del punto de congelación, [kcal/h]

Los valores de C_p y L de varios alimentos se pueden observar en la tabla A.1 en la sección de Anexos.

- Carga térmica de infiltración (q_3): Es la energía que se debe absorber debido al ingreso de aire externo, esto se puede deber a las aperturas de puerta, el valor se lo puede calcular por medio de la ecuación (7) según el manual de Entrenamiento Técnico Avanzado de Heatcraft.

$$q_3 = \frac{V * F_1 * F_2}{3.96} \quad \text{ec. (7)}$$

Dónde:

V : Volumen interno de la cámara, [ft^3]

F_1 : Cambios de aire por 24 horas

F_2 : Calor removido de aire por volumen; [BTU/ft^3]

En la sección de Anexos se muestran los valores de F_1 y F_2 .

- Carga térmica por personas (q_4): Calor generado por las personas que ingresan o trabajan en el interior de la cámara. Según el Manual de

Entrenamiento Técnico Avanzado de Heatcraft la ecuación (8) permite calcular su valor

$$q_4 = NtG \quad \text{ec. (8)}$$

Dónde:

N: Cantidad de personas.

t: Tiempo de permanencia por persona, [hr].

G: Factor equivalente de calor por persona, [kcal/hr²]

La tabla A.5 de la sección de Anexos muestras los diferentes valores del factor de equivalencia por persona dependiendo de la temperatura de operación de la cámara frigorífica según Heatcraft.

- Carga térmica de iluminación (q_5): Es el calor generado por los focos dentro de la cámara frigorífica, este calor es influyente si es un área de procesos, para cámaras de almacenamiento o túneles el valor es despreciable, Basados en el Manual de Entrenamiento Técnico Avanzado de Heatcraft la ecuación (9) permite calcular su valor.

$$q_5 = 0.86P \quad \text{ec. (9)}$$

Dónde:

P: Potencia total de las bombillas instaladas, [W]

- Carga térmica de motores (q_6): es el calor que generan cualquier tipo de motor funcionando dentro de cámara frigorífica. El valor puede ser calculado según la ecuación (10). Manual de entrenamiento Técnico Avanzado de Heatcraft.

$$q_7 = \frac{641.32P_m t}{24} \quad \text{ec. (10)}$$

Dónde:

P_m : Potencia del motor, [HP]

t : Tiempo de funcionamiento, [hr]

- Carga térmica total (q_T): es la suma total de los valores de las cargas anteriormente mencionadas, este valor determina la capacidad frigorífica de los equipos de refrigeración. La ecuación (11) representa la carga térmica total requerida.

$$q_T = \sum_{i=1}^7 q_i \quad \text{ec. (11)}$$

El software Probox muestra en su interfaz 6 pestañas, “General Information” donde se ingresan los datos básicos de la cámara como: nombre, cliente, Temperatura deseada, dimensiones y el tiempo de funcionamiento del equipo, las demás pestañas son para realizar el cálculo de capacidad frigorífica dividida según el tipo carga.

2.5 Diseño del túnel de congelados

En esta sección se calcula la carga frigorífica para el túnel de congelados, al tener el resultado de la carga total, se puede determinar si la capacidad de la unidad condensadora de la cámara existente, es la adecuada para el nuevo sistema del túnel de congelados.

2.5.1 Carga térmica

La tabla 2.2 muestra las condiciones y los resultados para la carga por transmisión de cada una de las paredes del túnel de congelados, el valor de $k = 0.02 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ para el poliuretano se seleccionó según la tabla A.2 (ver Anexos).

La capacidad frigorífica se calcula mediante la ecuación (3), que se aplica para cada una de las paredes del túnel de congelados.

Tabla 2.2. Condiciones y resultados para q_1

	Dimensión			Temperatura externa [°C]	Espesor Panel [mm]	q_1 [$\frac{kcal}{hr}$]
	Ancho [m]	Largo [m]	Área [m^2]			
Techo	3.53	2.5	8.825	32	100	91.78
Piso	3.53	2.5	8.825	27	100	82.96
Pared derecha	2.5	2.88	7.2	32	100	74.88
Pared izquierda	2.5	2.88	7.2	32	100	74.88
Pared frontal	3.53	2.88	10.17	4	100	48.80
Pared posterior	3.53	2.88	10.17	32	100	105.73
Total						479.02

Fuente: Elaboración propia

Para realizar el cálculo en el ProBox se debe de ingresar el valor de la temperatura externa a la que está expuesta cada una de las paredes, incluyendo techo y piso, se debe de ingresar el tipo de aislamiento (lista de base de datos ProBox) y el valor del espesor del panel. La figura 2.7 muestra el cálculo realizado por el programa ProBox.

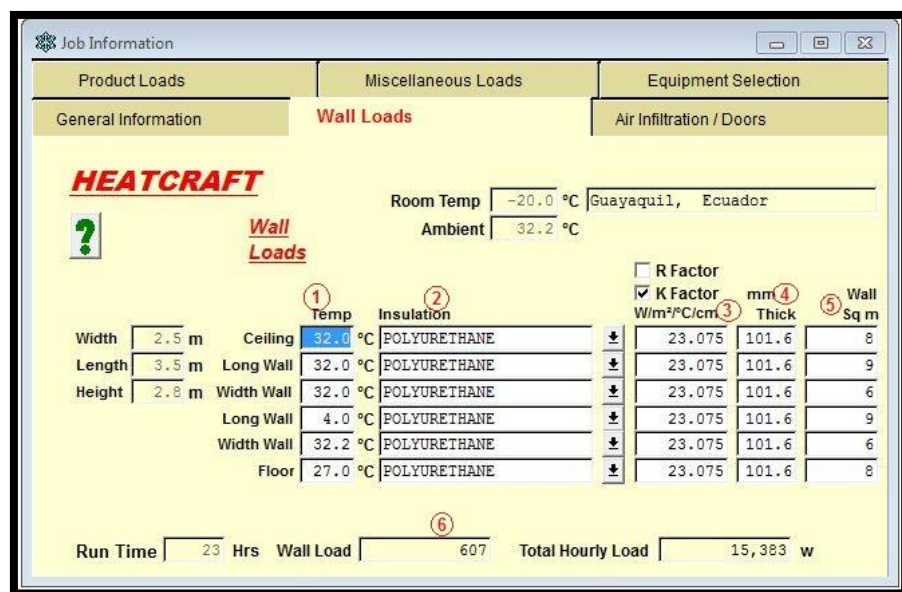


Figura 2.7. Cálculo de carga por paredes

Fuente: ProBox – Heatcraft

En la pestaña de carga por paredes del programa ProBox se presentan varias opciones para ingresar datos, estos son: 1. Temperatura a la que está expuesta cada una de las paredes, 2. El tipo de aislamiento, 3. La conductividad térmica del aislante, 4. El espesor del aislante, 5. El área de la pared afectada por la temperatura externa y 6. La potencia calorífica generada.

Las condiciones y resultados para el cálculo de carga por producto se muestran en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Condiciones y resultados para q_2

Producto		Mango
cantidad	kg	800
Tiempo de congelación	hr	12
T ingreso	°C	4
T final	°C	-18
C_{p1}	kcal/kgK	0.85
L	kcal/K	117
C_{p2}	kcal/kgK	0.44
q	kcal/hr	8514.86

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la figura 2.8 para el cálculo de la carga térmica por producto se deben de ingresar los siguientes datos: categoría y tipo de producto a almacenar (base de datos ProBox), su cantidad total, temperatura de entrada, tiempo en el que es ingresado a la cámara, tiempo necesario para el proceso de congelación, temperatura ideal para la finalización del proceso y la cantidad que permanece en inventario.

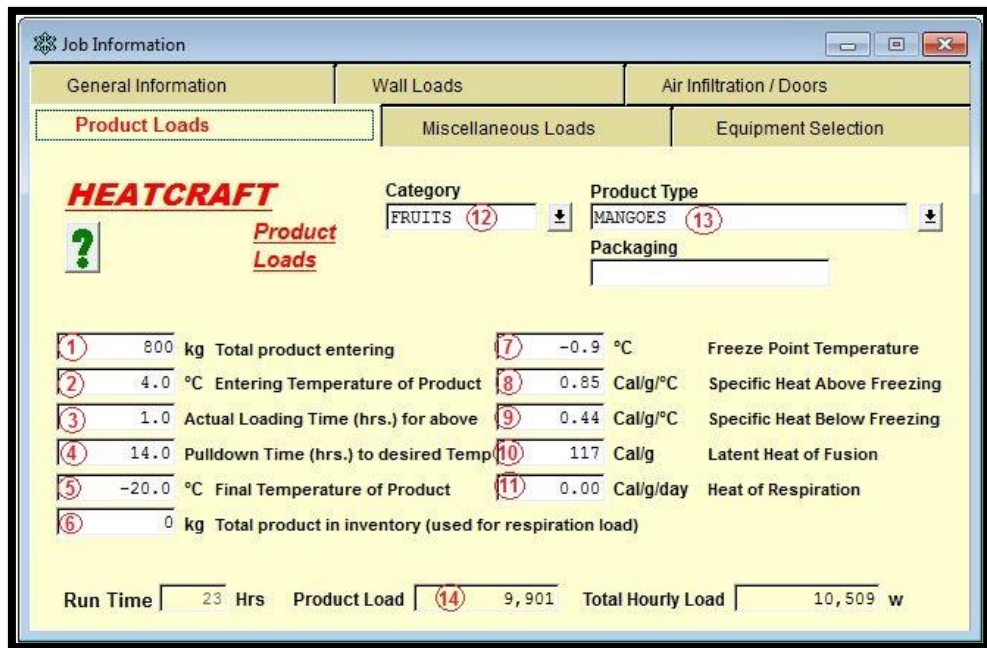


Figura 2.8. Cálculo de carga por producto

Fuente: ProBox – Heatcraft

Para el cálculo de la capacidad por producto se presentan enumerado las siguientes opciones: 1. Cantidad del producto para la operación (congelamiento), 2. Temperatura de entrada del producto, 3. Tiempo en el que se llenará la cámara con el producto, 4. Tiempo en el que se necesita realizar la operación de la cámara, 5. Temperatura final del producto, 6. Cantidad del producto que se queda dentro de la cámara después de haber terminado la operación.

El valor por infiltración de aire, por personas, iluminación y motores externos se desprecia para el cálculo de carga frigorífica, debido a que una vez que se cargue con el producto la puerta del túnel no debe de ser abierta.

Usando la ecuación (11) podemos obtener la carga total requerida del túnel de congelados.

$$q_T = 9037.74 \left[\frac{kcal}{hr} \right] = 10.51 [kW]$$

La figura 2.9 muestra el cálculo realizado en el programa ProBox.

The screenshot shows the 'Job Information' window in the ProBox software. It is divided into several sections:

- Product Loads**, **Miscellaneous Loads**, and **Equipment Selection** (top tabs).
- General Information** (left sidebar).
- Wall Loads** and **Air Infiltration / Doors** (right sidebar).
- Bohn** (main title).
- Your Information**: Heatcraft Refrigeration, 2175 West Park Place Blvd., Stone Mountain, GA 30087, Phone: 770-465-5600, Fax: 770-465-5990.
- Customer Information**: ESPOL, Tesis, Congelados, Ecuador, Guayaquil, Ecuador.
- Job Information**: 2 I.D.#, Clear button.
- HEATCRAFT Refrigeration Products, LLC** logo and settings: Inch/Lbs (unchecked), Metric (checked).
- Ambient**: 32.2 °C, **Room Temp**: -20.0 °C.
- Dimensions**: Width 2.5 m, Length 3.5 m, Height 2.8 m.
- Run Time**: 23 Hrs.
- Update Before**: 30/06/2010, **Today**: 16/01/2017, **Total Hourly Load**: 10,509 w.

Figura 2.9. Cálculo de la capacidad frigorífica realizado por el ProBox

Fuente: ProBox, Heatcraft

2.6 Diseño de la cámara de enfriados

En esta sección se seleccionarán los equipos que se necesitan para que el túnel de congelados opere.

2.6.1 Carga térmica

Los procedimientos de cálculos de la carga térmica para la cámara de enfriados son similares al del túnel de congelados.

La tabla 2.4 muestra las condiciones y los resultados para la carga por transmisión, el valor de $k = 0.02 \left[\frac{kcal}{mhr^{\circ}C} \right]$ para el poliuretano se seleccionó de la tabla A1. (Ver Anexos)

Tabla 2.4. Condiciones y resultados para q_1

	Dimensión			Temperatura externa [°C]	Espesor Panel poliuretano [mm]	q_1 [$\frac{kcal}{hr}$]
	Ancho [m]	Largo [m]	Área [m^2]			
Techo	3.53	2.78	9.8134	32	100	54.96
Piso	3.53	2.78	9.8134	27	100	45.14
Pared derecha	2.78	2.88	8.0064	32	100	44.84
Pared izquierda	2.78	2.88	8.0064	32	100	44.84
Pared frontal	3.53	2.88	10.17	32	100	56.93
Pared posterior	3.53	2.88	10.17	-20	100	-48.8
Total						197.90

Fuente: Elaboración propia

En la figura 2.10 se muestra el cálculo realizado por el programa ProBox. Como se puede observar la temperatura en una de las paredes es -20°C dado que la cámara de mantenimiento de enfriados esta junto al túnel de congelados.

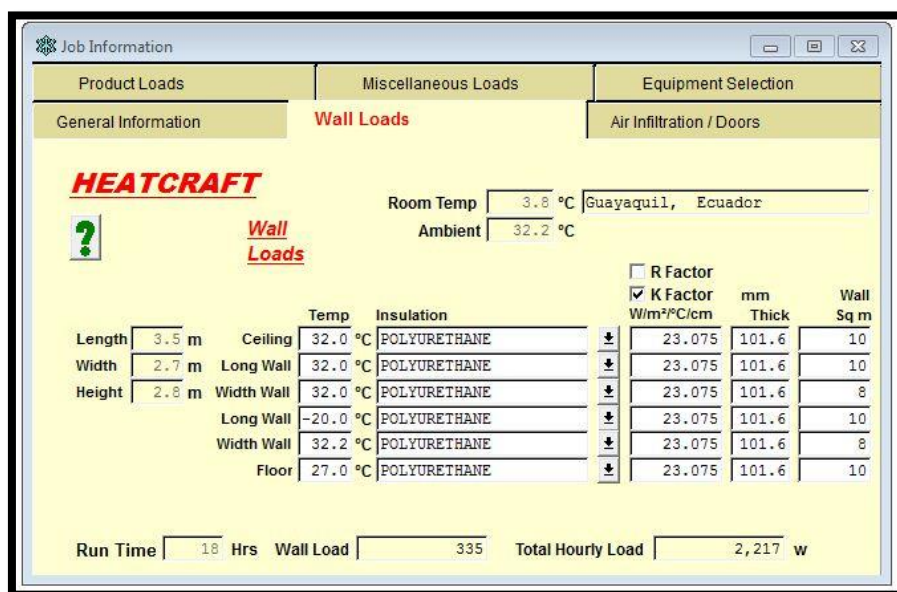


Figura 2.10. Cálculo de carga por paredes

Fuente: ProBox – Heatcraft

Las condiciones y resultados para el cálculo de carga por producto se muestran en la tabla 2.5, este valor fue calculado mediante la ecuación (4) dado que para la cámara de mantenimiento sólo se necesita bajar la temperatura del producto.

Tabla 2.5. Condiciones y resultados para q_2

Producto	cantidad	tiempo de enfriamiento	T ingreso	T final	C_{p3}	q
	[kg]	[hr]	[°C]	[°C]	$\frac{kcal}{kgK}$	$\frac{kcal}{hr}$
Misceláneos	900	18	25	4	1	1050

Fuente: Elaboración propia

La figura 2.11 muestra el cálculo realizado por el programa ProBox.

En este caso se escoge la opción de misceláneos dando el valor más crítico de calor específico del listado de producto mostrado en la tabla de ASHRAE (ver Anexo A), estos valores no son recomendables para el diseño de un túnel de congelados debido a que el calor latente es muy diferente de cada uno de los productos.

Figura 2.11. Cálculo de carga por producto

Fuente: ProBox – Heatcraft

El cálculo de carga por infiltración se lo realiza utilizando la ecuación (7), la tabla 2.6 muestra las condiciones y el resultado del cálculo.

Tabla 2.6. Condiciones y resultados para q_3

	V	F_1	F_2	q_3
	ft^3		BTU/ft^3	Kcal/hr
Cámara de enfriados	970	17.5	2.26	403.66

Fuente: Elaboración propia

En la figura 2.12 se muestra el cálculo realizado en el programa ProBox. Para este cálculo se estimó una apertura de puerta por hora y 2 minutos por evento dado que es una cámara de poca rotación y poco producto almacenado.

The screenshot shows the HEATCRAFT software interface for calculating air infiltration loads. The window title is "Job Information". The main area is titled "Air Infiltration / Doors".

Room Conditions:

- Room Temp: 3.8 °C
- Room RH: 0.9
- Ambient: 32.2 °C
- Ambient Wet Bulb: 0.6

Door Specifications:

- Door: 2/0 m
- Number of doors this size: 1
- Infiltrating Air Temperature: 27.0 DB
- Infiltrating Air RH or Wet Bulb: 0.60 RH
- Height of Door: 2.0 m
- Width of Door: 0.9 m
- Entries / Exits per Hour: 1
- Strip Curtain Factor: 0.30
- Door Opening Time per Event: 1.00 min

Results:

- Run Time: 18 Hrs
- Air Load: 348
- Total Hourly Load: 2,042 w

There are also checkboxes for "Auxiliary or Additional Load Sources", "Glass Doors", and "Dock Doors", all of which are currently unchecked.

Figura 2.12. Cálculo de carga por infiltración

Fuente: ProBox – Heatcraft

Por ser cámara de mantenimiento la carga de persona si debe de ser considerada, debido a que el producto puede ser ingresado en cualquier momento del proceso. El valor se lo obtiene usando la ecuación (8).

Se estima que la cantidad de personas que van a ingresar es de uno y el tiempo de permanencia de 1 minuto por hora. Reemplazando los datos, se obtiene por resultado:

$$q_4 = 4 \text{ [kcal/hr]}$$

Para el valor de carga térmica de iluminación se tomará en cuenta 2 focos de 100 W cada uno, usando la ecuación (9) se obtiene lo siguiente resultado:

$$q_5 = 172 \text{ [kcal/hr]}$$

En la figura 2.13 se muestra el cálculo de capacidad por cargas adicional realizada con el programa ProBox.

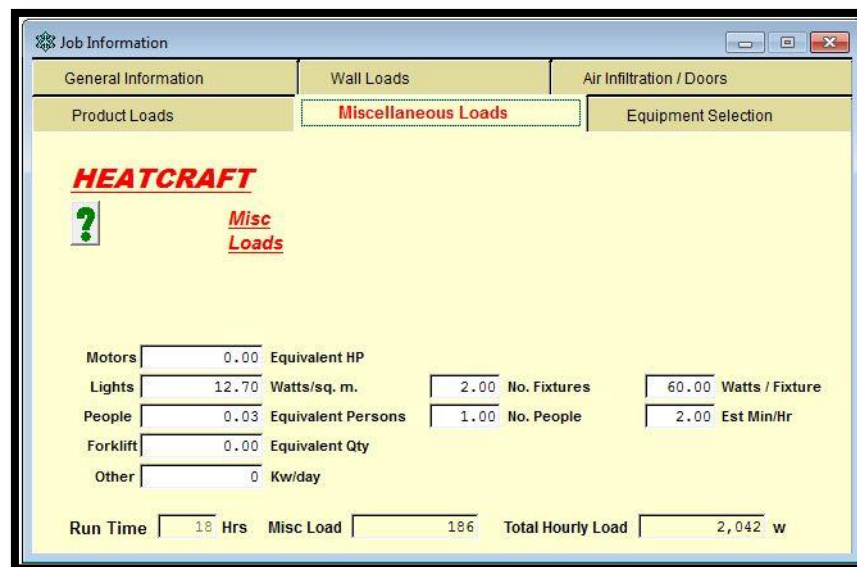


Figura 2.13. Cálculo de cargas adicionales

Fuente: ProBox – Heatcraft

Usando la ecuación (10) podemos obtener la carga total requerida de la cámara de mantenimiento de enfriados.

$$q_T = 2.53 \text{ [kW]}$$

En la figura 2.14 se muestra el cálculo realizado en el programa ProBox.

Figura 2.14. Cálculo de la capacidad frigorífica realizado por Probox

Fuente: ProBox, Heatcraft

Siendo la capacidad total calculada por el ProBox igual a:

$$q_T = 2.04 [kW] = 1754.08 [kcal/h]$$

2.7 Diseño de tubería

Para el correcto diseño del recorrido de tuberías se debe de tener en cuenta los siguientes principios básicos:

- Las líneas deben de ser lo más cortas y directas posibles, evitando así que se eleven los costos de la instalación y evitar la caídas de presión del sistema. (IES Universidad Laboral)
- Reducir el número de juntas y accesorios, para tener menos probabilidad de fugas. (IES Universidad Laboral)
- Evitar exponer la tubería a temperaturas extremas o transferencias de calor no deseadas. (IES Universidad Laboral)
- Selección del correcto diámetro de tubería. (Heatcraft)

La selección del diámetro de tubería es importante para el buen funcionamiento de los equipos y deben de ser dimensionadas respetando la norma vigente de ASHRAE:

- Velocidad recomendada en la línea de líquido (0.5 a 1.25 m/seg) y línea de succión (8 a 15 m/seg). (ASHRAE, 2010)
- Máximas pérdidas de presión en la línea de líquido (0.35 bar) y en línea de succión dependiendo de su temperatura. (ASHRAE, 2010)
- Garantizar el retorno de aceite al compresor. (Universidad Laboral, 2013)

Todo con el fin de garantizar el correcto funcionamiento de los equipos de refrigeración. El exceso de caída de presión en la línea de líquido puede ocasionar pérdidas de rendimiento en el sistema. La pérdida de presión aumenta con la longitud de la línea y es mayor cuanto más pequeño sea su diámetro. (Universidad Laboral, 2013)

En la figura 2.15 se muestra la línea de líquido (celeste), succión (azul) y descarga (roja) en un diagrama de refrigeración básico.

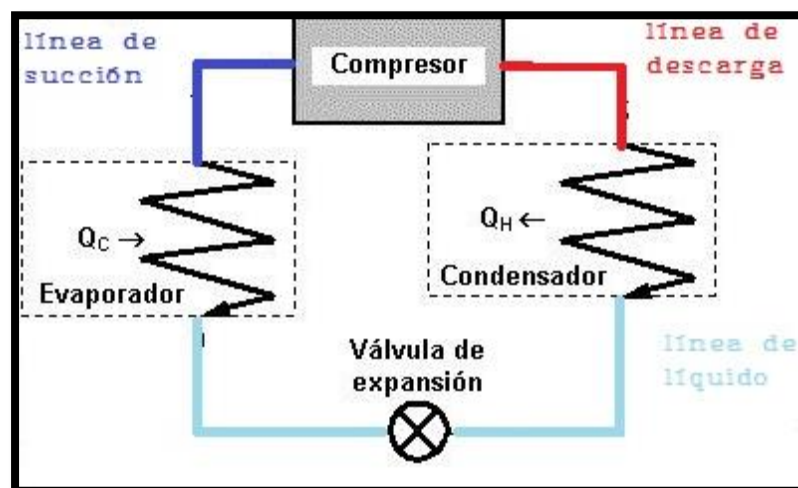


Figura 2.15. Esquema de las tuberías de refrigeración

Fuente: Elaboración propia

En el campo laboral, las personas encargadas de los diseños de tuberías se ayudan con diferentes softwares para su dimensionamiento. En este caso,

se usará para la selección de tubería el software SVD de Sporlan, comúnmente empleado para la selección de accesorios de refrigeración.

2.7.1 Línea de succión (l. s.)

La línea de succión debe de ser diseñada considerando dos aspectos importantes: pérdida de presión del refrigerante y el retorno del aceite al compresor.

- La pérdida de presión se produce por el rozamiento del gas con las paredes internas del tubo pudiendo ocasionar disminución en la densidad del refrigerante, dando por resultado, reducción de la capacidad del sistema. Para no afectar el rendimiento se debe seleccionar un diámetro de tubería que, a cierta longitud, origine una caída de presión máxima de 3 psi. (ASHRAE, 2010)
- El aceite viaja junto con el refrigerante por todo el sistema, pero en determinadas condiciones de presión y temperatura pueden dejar de ser miscibles. Si el aceite no retorna al compresor, este se quedará sin lubricación, causando daños severos en su mecanismo. Por lo que el diámetro de la tubería se lo calcular para que no descienda de los 8 m/seg. (ASHRAE, 2010)

Para la selección de tubería se considera una distancia entre el evaporador y unidad condensadora de 6 metros que incluye un desnivel de 2 metros. La figura 2.16 y 2.17 muestra cálculo realizado por el software SVD de las línea del túnel y de la cámara de enfriados respectivamente.

El software muestra el cálculo para diferentes diámetros de tubería, la persona encargada del diseño debe de realizar la elección de la mejor opción para la aplicación tomando en cuenta los puntos anteriormente nombrados como velocidad y caída de presión.

SUCTION LINE PRESSURE DROP DATA (Using NIST RefProp DLL)					
Refrigerant R- 404A(HP62)					
Evaporator Temperature (°C): -24			Equivalent Length (m): 6.0		
Liquid Temperature (°C): 38			Line Capacity (kcal/h): 12940		
Vapor Volume (m ³ /kg): 0.07525			Vapor Flow Rate (kg/h): 564		
Abs Viscosity (lbf-s/ft ²): 2.096e-007					
Tube OD (in)	Tube ID (in)	Reynolds Number	Velocity (m/s)	ΔP (psi)	ΔT (°C)
7/8	0.7850	9.971e+005	37.8	<H>	4.0
1-1/8	1.0250	7.636e+005	22.1	<H>	1.0
1-3/8	1.2650	6.187e+005	14.5	0.51	0.35
1-5/8	1.5050	5.201e+005	10.3	0.22	0.15
2-1/8	1.9850	3.943e+005	5.91	0.056	0.039

Figura 2.16. Cálculo del diámetro de la l. s. para el túnel de congelados
Fuente: SVD – Sporlan

Como se puede observar los diámetros de 1 3/8 y 1 5/8 de pulgada cumplen con las condiciones escritas anteriormente, pero se ha elegido la de 1 3/8 debido a que es más económica y se obtiene una mejor velocidad.

SUCTION LINE PRESSURE DROP DATA (Using NIST RefProp DLL)					
Refrigerant R- 404A(HP62)					
Evaporator Temperature (°C): -2			Equivalent Length (m): 6.0		
Liquid Temperature (°C): 38			Line Capacity (kcal/h): 2215		
Vapor Volume (m ³ /kg): 0.03501			Vapor Flow Rate (kg/h): 85.9		
Abs Viscosity (lbf-s/ft ²): 2.283e-007					
Tube OD (in)	Tube ID (in)	Reynolds Number	Velocity (m/s)	ΔP (psi)	ΔT (°C)
3/8	0.3110	3.519e+005	17.0	<H>	2.9
1/2	0.4300	2.545e+005	8.92	1.5	0.56
5/8	0.5450	2.008e+005	5.55	0.46	0.17
3/4	0.6600	1.658e+005	3.78	0.18	0.068
7/8	0.7850	1.394e+005	2.68	0.077	0.029
1-1/8	1.0250	1.068e+005	1.57	0.021	0.008

Figura 2.17. Cálculo del diámetro de la l. s. para la cámara de enfriados
Fuente: SVD – Sporlan

En este caso se puede observar que el único diámetro que cumple con las condiciones óptimas de funcionamiento es el de 1/2 pulgada.

Diámetro de tubería para la línea de succión del túnel de congelados:

$$d_s = 1 \frac{3}{8} [\text{pulg}]$$

Diámetro de tubería para la línea de succión de la cámara de enfriados:

$$d_s = \frac{1}{2} [\text{pulg}]$$

Las especificaciones y dimensiones de las tuberías se pueden observar en la tabla D.1 en la sección Anexos.

2.7.2 Línea de líquido (l. l.)

En el diseño de la línea de líquido no es tan influyente la velocidad debido a que el aceite siempre se encuentra junto al refrigerante, pero hay que tener en cuenta otros factores como el subenfriamiento de líquido y el peso de la columna de refrigerante. IES Universidad Laboral

- El subenfriamiento es importante para el correcto funcionamiento del dispositivo de expansión, ya que, a este no debe de llegar el refrigerante con burbujas de gas, para esto el subenfriamiento debe de ser mínimo de 1 °C. Según el Manual de Entrenamiento Técnico Avanzado de Heatcraft el subenfriamiento debe de ser al menos de 5°C para evitar formación de líquido por caída de presión. (Heatcraft, 2012)
- El peso de la columna de líquido influye cuando la línea de líquido es descendente debido a que existiría una sobrepresión en la entrada del sistema de expansión cuando la altura es superior a los 10 metros, para esto hay que colocar un ecualizador de presión. (Universidad Laboral, 2013)

Las figuras 2.18 y 2.19 muestran los cálculos realizados por el software SVD para la línea de líquido del túnel y la cámara de enfriados respectivamente.

LIQUID LINE PRESSURE DROP DATA (Using NIST RefProp DLL)					
Refrigerant R- 404A(HP62)			Vertical Height (m): 2.0		
Evaporator Temperature (°C): -24			Equivalent Length (m): 6.0		
Liquid Temperature (°C): 38			Line Capacity (kcal/h): 12940		
Liquid Density (kg/m³): 976.3			Liquid Flow Rate (kg/h): 564		
Abs Viscosity (lbf-s/ft²): 2.212e-006					
Tube OD (in)	Tube ID (in)	Reynolds Number	Velocity (m/s)	ΔP (psi)	ΔT (°C)
3/8	0.3110	2.385e+005	3.27	<H>	2.1
1/2	0.4300	1.725e+005	1.71	4.7	0.77
5/8	0.5450	1.361e+005	1.07	3.4	0.55
3/4	0.6600	1.124e+005	0.727	3.0	0.49
7/8	0.7850	9.448e+004	0.514	2.9	0.47

Figura 2.18. Cálculo del diámetro de la l. l. para el túnel de congelados

Fuente: SVD – Sporlan

Como se puede observar se pueden escoger entre dos diámetros de tubería, 3/4 y 7/8 de pulgada ya que cumplen con las recomendaciones dadas anteriormente, se selecciona a 3/4 de pulgada entre las dos debido a que su costo es más bajo.

LIQUID LINE PRESSURE DROP DATA (Using NIST RefProp DLL)					
Refrigerant R- 404A(HP62)			Vertical Height (m): 2.0		
Evaporator Temperature (°C): -2			Equivalent Length (m): 6.0		
Liquid Temperature (°C): 38			Line Capacity (kcal/h): 2215		
Liquid Density (kg/m³): 976.3			Liquid Flow Rate (kg/h): 85.9		
Abs Viscosity (lbf-s/ft²): 2.212e-006					
Tube OD (in)	Tube ID (in)	Reynolds Number	Velocity (m/s)	ΔP (psi)	ΔT (°C)
1/4	0.1900	5.944e+004	1.34	6.1	1.0
5/16	0.2485	4.545e+004	0.781	3.7	0.60
3/8	0.3110	3.632e+004	0.499	3.1	0.50
1/2	0.4300	2.627e+004	0.261	2.8	0.46
5/8	0.5450	2.072e+004	0.162	2.8	0.46
3/4	0.6600	1.711e+004	0.111	2.8	0.46
7/8	0.7850	1.439e+004	0.0783	2.8	0.45

Figura 2.19. Cálculo del diámetro de la l. l. para la cámara de enfriados

Fuente: SVD – Sporlan

Como se puede observar la única opción que cumple las recomendaciones es la tubería de diámetro 3/8 de pulgada.

Diámetro de tubería para la línea de líquido del túnel de congelados:

$$d_i = 3/4 \text{ [pulg]}$$

Diámetro de tubería para la línea de líquido de la cámara de enfriados:

$$d_i = 3/8 \text{ [pulg]}$$

Las especificaciones y dimensiones de las tuberías se pueden observar en la tabla D.1 en la sección Anexos.

2.8 Selección de aislamiento

El aislamiento de las tuberías para ambos sistemas es escogido según las recomendaciones de la norma ASHRAE y sólo se realiza en la línea de succión, en la línea de líquido solo se efectúa el aislamiento, cuando el ambiente por donde pase la línea de líquido, se encuentre a mayor temperatura. Las funciones del aislamiento son: control de temperatura del refrigerante, control de la condensación y de la acumulación de humedad. (Armaflex, 2015)

La tabla 2.7 tomada del Handbook de ASHRAE muestra los rangos de temperatura para la utilización de los distintos tipos de aislamiento.

Tabla 2.7. Propiedades de los materiales aislantes

	Vidrio Celular	Elastómero Flexible	Fenólico de células cerradas	Polisocianurato	Poliestireno Extruido (XPS)
Estándar que especifica requisitos para el material y la temperatura	ASTM C552	ASTM C534	ASTM C1126	ASTM C591	ASTM C578
Gama de temp. adecuada, °F	-450 a 800	-70 a 220	-297 a 257	-297 a 300	-297 a 165
Índice de propagación de llama ^a	5	25	25	25	5
Índice de producción de humo ^a	0	50	50	50	165
Permeabilidad al vapor de agua, ^b perm-inches	0.005	0.1	2.0	4.5	1.5
Conductividad térmica, ^c Btu·in/h·ft ² ·°F					
A 0°F de temperatura media	0.27	0.26	0.15	0.19	0.22
A +75°F de temperatura media	0.31	0.28	0.15	0.19	0.24
A +120°F de temperatura media	0.33	0.30	0.17	0.21	0.26

^a Ensayado de acuerdo con el Estándar E84 de ASTM para un espesor de aislamiento de 1 in.
^b Ensayado de acuerdo con el Estándar E96 de ASTM, Procedimiento A. Vidrio Celular ensayado con el Estándar E96 de ASTM, Procedimiento B.
^c Ensayado de acuerdo con el Estándar C177 o C518 de ASTM, a 180 días.

Fuente: (ASHRAE, 2010)

Por el túnel de congelados recorrerá refrigerante a temperaturas entre -22 y -12 °C y para la cámara de mantenimiento de enfriados entre -2 y 8 °C,

temperaturas que se encuentran dentro del rango de operación para el aislante elastómero, en este caso se ha elegido trabajar con este tipo de aislante por la facilidad de obtención y por el costo.

La tabla 2.8 muestra la selección del espesor del aislamiento para la tubería de succión del túnel de congelados, que se realiza tomando el valor de la temperatura interna de la tubería (temperatura del refrigerante) y el diámetro de ésta. La temperatura de evaporación del túnel es $-7^{\circ}F$ ($-22^{\circ}C$), pero, este valor no existe en la tabla, por lo cual, se toma la medida inmediata inferior; es decir, la temperatura $-20^{\circ}F$. Del mismo modo se realiza con el diámetro, cuyo valor es 1.375 pulgadas ($11/8$ *pulg.*), pero, al no existir este valor en la tabla, se elige el diámetro inmediato superior de 1.5 pulgadas para la selección. No se recomienda realizar una interpolación porque no existe una medida intermedia de espesor entre 1.5 y 2 pulgadas.

Tabla 2.8. Espesor del aislamiento de elastómero para tuberías

Diámetro Nominal de la Tubería, in.	Temperatura de Funcionamiento de la Tubería, °F							
	40	20	0	-20	-40	-60	-80	-100
0.50	1.0	1.0	1.5	1.5	2.0	2.0	2.0	2.0
0.75	1.0	1.0	1.5	2.0	2.0	2.0	2.5	2.5
1.00	1.0	1.0	1.5	2.0	2.0	2.0	2.5	2.5
1.50	1.0	1.0	1.5	2.0	2.0	2.5	2.5	3.0
2.00	1.0	1.0	2.0	2.0	2.0	2.5	3.0	3.0
2.50	1.0	1.5	2.0	2.0	2.5	2.5	3.0	3.0
3.00	1.0	1.5	2.0	2.0	2.5	2.5	3.0	3.0
4.00	1.0	1.5	2.0	2.5	2.5	3.0	3.0	3.0
5.00	1.5	1.5	2.0	2.5	2.5	3.0	3.5	3.5
6.00	1.5	2.0	2.0	2.5	3.0	3.0	3.5	3.5
8.00	1.5	2.0	2.0	2.5	3.0	3.0	3.5	3.5
10.00	1.5	2.0	2.0	2.5	3.0	3.5	3.5	3.5

Fuente: (ASHRAE, 2010)

Así mismo, para la cámara de mantenimiento de enfriados, la temperatura de la tubería es $28^{\circ}F$ ($-2^{\circ}C$), al no existir en la tabla, se realiza la selección a $20^{\circ}F$, y con un diámetro de tubería de 0.5 pulgadas ($1/2''$). La tabla 2.8 muestra la selección.

Tabla 2.9. Espesor del aislamiento de elastómero para tuberías

Diámetro Nominal de la Tubería, in.	Temperatura de Funcionamiento de la Tubería, °F							
	40	20	0	-20	-40	-60	-80	-100
0.50	1.0	1.0	1.5	1.5	2.0	2.0	2.0	2.0
0.75	1.0	1.0	1.5	2.0	2.0	2.0	2.5	2.5
1.00	1.0	1.0	1.5	2.0	2.0	2.0	2.5	2.5
1.50	1.0	1.0	1.5	2.0	2.0	2.5	2.5	3.0
2.00	1.0	1.0	2.0	2.0	2.0	2.5	3.0	3.0
2.50	1.0	1.5	2.0	2.0	2.5	2.5	3.0	3.0
3.00	1.0	1.5	2.0	2.0	2.5	2.5	3.0	3.0
4.00	1.0	1.5	2.0	2.5	2.5	3.0	3.0	3.0
5.00	1.5	1.5	2.0	2.5	2.5	3.0	3.5	3.5
6.00	1.5	2.0	2.0	2.5	3.0	3.0	3.5	3.5
8.00	1.5	2.0	2.0	2.5	3.0	3.0	3.5	3.5
10.00	1.5	2.0	2.0	2.5	3.0	3.5	3.5	3.5

Fuente: Handbook - ASHRAE

Para la línea de succión del túnel de congelados se elige un espesor igual a 2 pulgadas y para la cámara de mantenimiento de enfriados, 1 pulgada.

2.9 Selección de equipos

En esta sección se analiza la selección de los equipos para los dos sistemas: para el caso del túnel de congelados se revisa si el equipo instalado de la cámara existente es apto para este sistema, y para la cámara de enfriados se analiza los equipos que cubren sus requerimientos.

2.9.1 Túnel de congelados

Para el túnel de congelados es necesario conocer si el compresor de los equipos instalados sirve para esta función, por lo tanto, se verifica su capacidad y marco operativo.

Se utiliza la capacidad calculada en el ProBox

$$q_T = 9037 \left[\frac{kcal}{h} \right] = 10.51 [kW]$$

Para conocer si el compresor sirve para la función de túnel de congelados, se ingresa los datos del equipo: modelo MRB1-0500-TFC en el programa PSS-EMERSON.

La figura 2.20 muestra la interfaz del programa PSS-EMERSON.

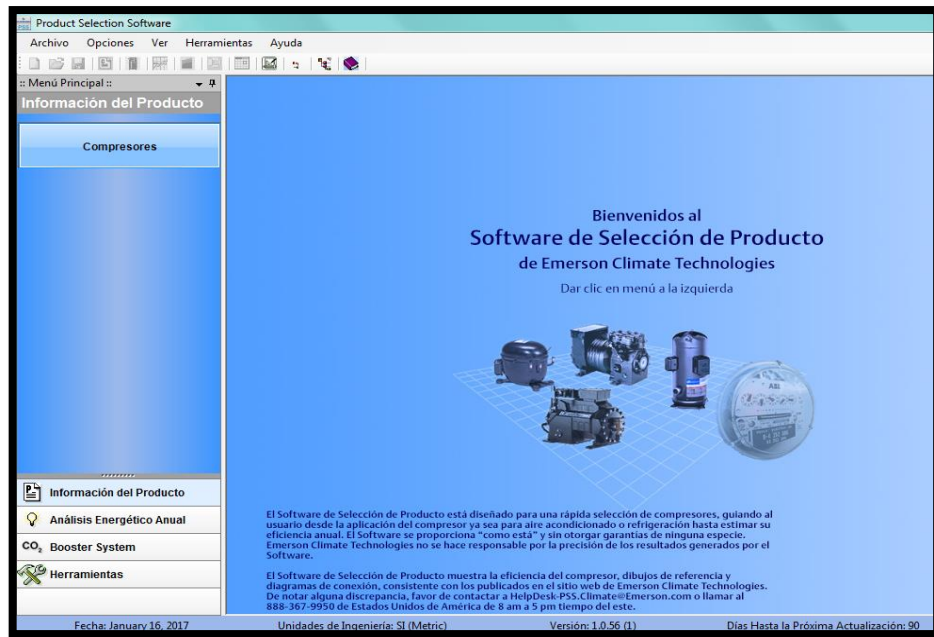


Figura 2.20. Interfaz del programa PSS-EMERSON

Fuente: PSS – EMERSON

En el ícono “compresores” se realiza la búsqueda del modelo antes mencionado. La figura 2.21 muestra los resultados obtenidos del programa PSS.

Modelo: MRB1-0500-TFC (1) Refrigerante: R-502 (2) Frecuencia: 60 (3) Rango de Temp.: Low Temperature (LT) (4)

Excluir Modelos Obsoletos Tipo de Producto: Semi-Hermetic Modulación: - Código de voltaje: TFC (208/230-3-60) HP: NA

RLA (MCC/1.4) (Amps): 21.2 RLA (MCC/1.56) (Amps): 19.0 MCC (Amps): 29.7 LRA (Amps): 115.0 Estado: Service Replacement

Ajustes: Configuración predeterminada Temp. Gas de Retorno Const. (°C) Const. Sobrecal. Comp. (K) Guarde as configurações do usuário

Temperature Pressure Dew Point Mid Point Preferred Replacement: MRB1-050A-TFC

Entradas	Resultados	Informes
Temp. del Evap. (°C): (9) -20.0	Capacidad del Compresor (W): 10,650	Rendimiento: Matriz Completa
Temp. Cond. (°C): (10) 42.0	Capacidad del Evap. (W): (5) 10,650	Marco Operativo
Temp. Gas de Retorno (°C): 18.3	Energía (W): (6) 6,100	Plano de Referencia
Sobrecal. del Evap. (K): 38.3	COP del Comp.: (7) 1.75	Diagrama de Cableado
Sobrecal. del Comp. (K): 38.3	COP del Evap.: 1.75	Informe del Sistema
Subenfriado de Cond. (K): 0.0	Tasa de Flujo del Refrigerante (kg/hr): 334.0	resumen
	Corriente (amps): 19.6	Estimar Corriente Eléctrica
	Eficiencia Isentrópica (%): 60.2	Rechazo de calor condensador
	Temp. del Líquido (°C): 42.0	Aire de Ventilación de la Sala de
	Aprobación de la gestión Temp. (°C): 113.0	
	Rechazo de Calor del Cond. (W): (8) 16,750	

Figura 2.21. Características del compresor MRB1-0500-TFC

Fuente: PSS – EMERSON

Los datos obtenidos por el programa, se los detalla con los siguientes numerales: 1. Muestra el listado de todos los compresores de marca Copeland, 2. El tipo de refrigerante, 3. La frecuencia del país donde se va a instalar el equipo (50 / 60 Hz), 4. Rango de temperatura en la que va a operar el compresor. 5. Capacidad de evaporación del compresor. 6. Energía entregada por el compresor, 7. COP del compresor, 8. Calor rechazado por el condensador (es la suma de la capacidad de evaporación y la energía entregada por el compresor), 9. Temperatura de evaporación y 10. Temperatura de condensación.

Como se puede observar en la figura 2.21 el numeral 5, que proporciona el dato de la capacidad de evaporación del compresor, es 10.65 kw; por lo que, se determina que el compresor si cumple con la carga frigorífica requerida.

Se procede a comprobar si el marco operativo del compresor es apto para los requerimientos del túnel de congelados que debe operar entre temperaturas de -30 °C a 5 °C. (Emerson, 2013)

En la figura 2.22 se muestra la curva de operación del compresor.

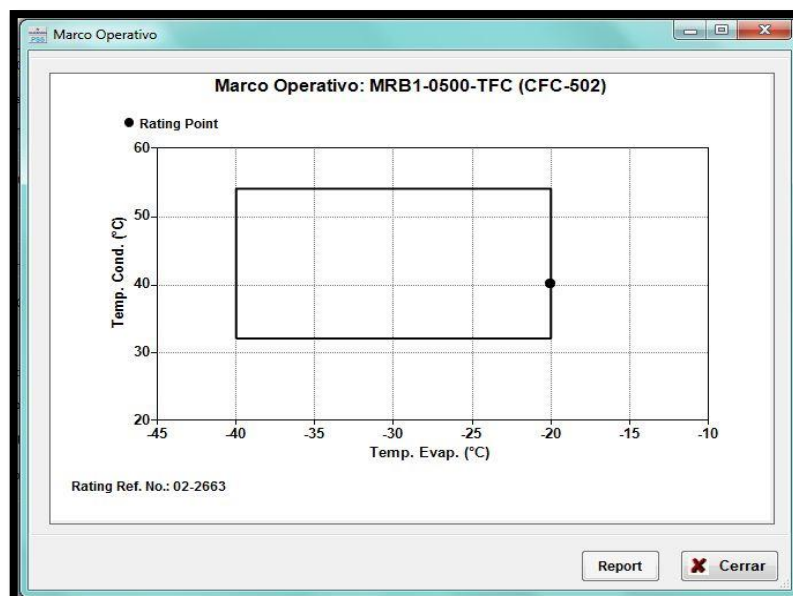


Figura 2.22. Marco operativo del compresor MRB1-0500-TFC

Fuente: PSS – EMERSON

En la figura 2.25, se muestra que el rango de operación del compresor es de -40°C a -20°C , esto significa que el compresor no puede trabajar a temperaturas de evaporación mayores a -20°C , por lo tanto no puede ser usado como componente del túnel de congelados.

Como se indica en el párrafo anterior, el compresor de la cámara existente, no trabaja en el rango de temperaturas requerido, por lo tanto, se procede a presentar dos opciones que puedan cubrir las necesidades requeridas: reemplazar el compresor o seleccionar unidad condensadora.

Reemplazo del compresor

Para seleccionar un equipo cuyo marco operativo cubra los requerimientos del sistema de túnel, se utiliza el software de selección de Bitzer, la figura 2.23 muestra la interfaz del programa.

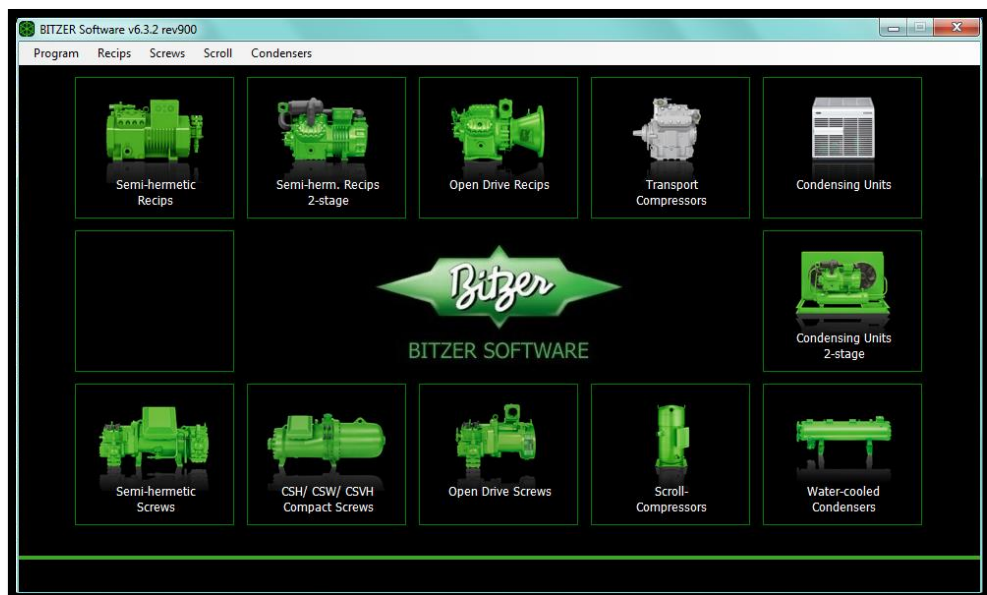


Figura 2.23. Interfaz del software de Bitzer

Fuente: BITZER SOFTWARE – BITZER

Se selecciona la opción de compresor semihérmico, y la tabla 2.10 muestra los parámetros con los que se realiza la selección del compresor.

Tabla 2.10. Parámetros para la selección del compresor

Parámetros	Valor
Capacidad frigorífica [kw]	10.5
T evaporación [°C]	-20
T condensación [°C]	42
Subenfriamiento [°C]	10
Sobrecalentamiento [°C]	10

Fuente: Elaboración propia

Los valores de subenfriamiento y sobrecalentamiento son tomados como sugerencia de Heatcraft para obtener mayor eficiencia en el sistema.

La figura 2.24 muestra el resultado de búsqueda del Bitzer Software.

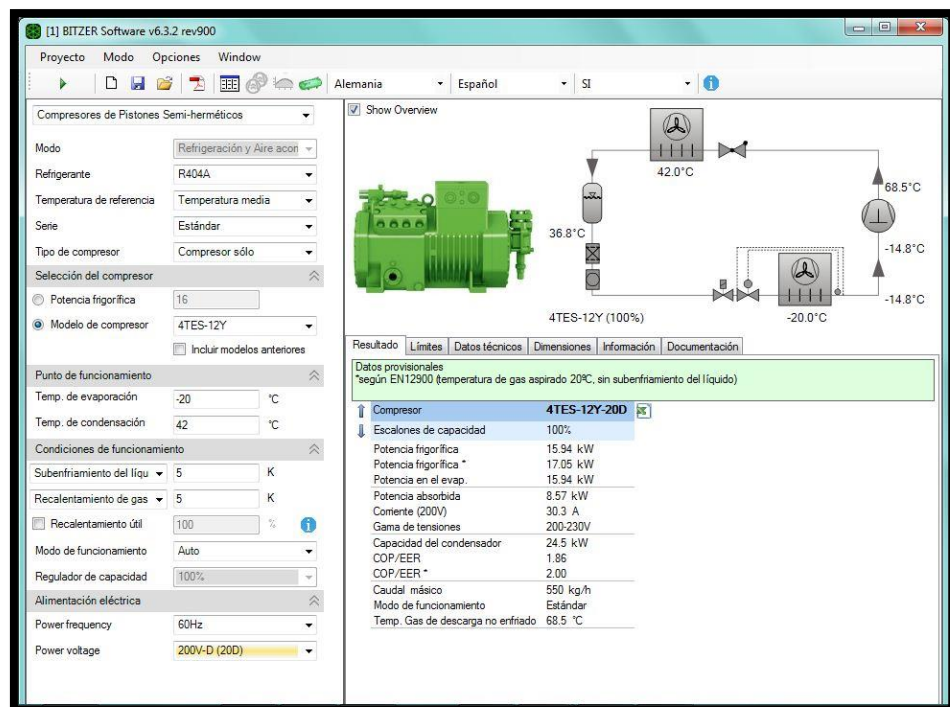


Figura 2.24. Características operativas del compresor 4TES-12Y-20D

Fuente: BITZER SOFTWARE – BITZER

La figura 2.24 muestra la capacidad frigorífica del compresor seleccionado, la que, es mayor a la requerida. Para verificar que el compresor Bitzer es apto para el túnel, se procede a realizar el mismo procedimiento que se hizo con el

compresor Copeland. Se ingresa los datos del equipo al software de Bitzer. Se muestra su rango operativo en la figura 2.25.

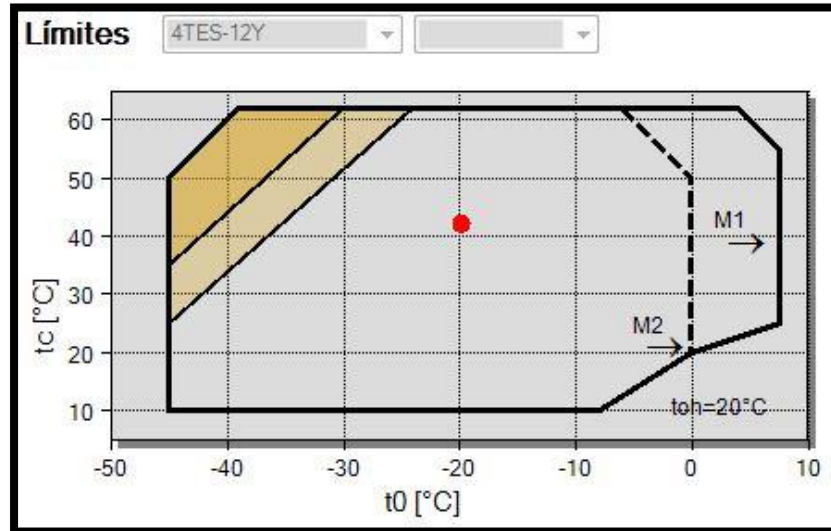


Figura 2.25. Marco operativo del compresor 4TES-12Y-20D

Fuente: Bitzer software – BITZER

En la figura 2.25 se muestra el rango de operación del compresor Bitzer seleccionado, es de -45°C a 10°C , siendo el compresor óptimo para la aplicación del túnel de marco operativo -30°C - 5°C . Según los resultados obtenidos la mejor selección de compresor para la aplicación de túnel de congelados es Bitzer modelo: 4TES-12Y-20D.

Selección de unidad condensadora

Esta opción se presenta por ser la más conveniente para el diseño del túnel, debido a que como se tiene que cambiar el compresor, necesariamente se le tendría que adquirir un condensador que trabaje con sus mismas características. Por lo cual, dado que solo el compresor representa el 60% del costo de la unidad condensadora; resulta más conveniente adquirir este último equipo, considerando que incluye: compresor, condensador y todos los accesorios correspondientes.

La tabla 2.11 muestra los parámetros para la selección de la unidad condensadora.

Tabla 2.11. Datos para la selección de unidad condensadora

Descripción	Valor
Carga frigorífica [kcal/hr]	9037
Altura (m.s.n.m.)	97
Temperatura ambiente	32
Temperatura de evaporación [°C]	-24
Refrigerante	R-404A
Frecuencia [Hz]	60

Fuente: Elaboración propia

Según el Manual de Ingeniería de Heatcraft existen ciertos criterios o condiciones que afectan en las capacidades de los equipos de refrigeración estos son:

- Ambiente.
- Altitud.
- Temperatura de saturación en la succión.
- Frecuencia.

Para la selección del equipo adecuado se debe multiplicar la capacidad frigorífica requerida por factores que van a depender de las condiciones anteriormente nombradas.

- Factor ambiente (f_{am}): La unidad condensadora disminuye o incrementa su capacidad en un 6% por cada 10°F de incremento o disminución en la temperatura ambiente respectivamente. En este caso por ser Guayaquil que se encuentra a una temperatura máxima de 32 °C, f_{am} es igual a uno, valor obtenido del catálogo para esa temperatura. (Heatcraft, 2010)
- Factor Altitud (f_a): A medida que aumenta la altura disminuye la densidad del aire, por lo tanto baja la capacidad de los equipos. La tabla 2.12 muestra los valores para la unidad condensadora para realizar una interpolación. (Heatcraft, 2010)

Tabla 2.12. Datos para la selección de unidad condensadora

Altitud Sobre el Nivel de Mar (pies)	Presión Absoluta		Densidad de Aire Estándar a 70 °F lbs/pie ³	Densidad de Aire Promedio	Multiplicadores de Capacidad	
	Pulg.-Hg	PSIA			Ventiladores de Accionamiento Directo	
					Evaporador para Refrigeración	Unid. Conden. Enfriadas por Aire
1,000	31.02	15.27	.0778	1.04	1.03	1.005
500	30.47	14.97	.0763	1.02	1.02	1.002
0	29.92	14.70	.0749	1.00	1.00	1.00
500	29.38	14.43	.0735	0.98	0.98	0.995
1,000	28.86	14.28	.0719	0.96	0.97	0.998
2,000	27.82	13.67	.0697	0.93	0.94	0.985
3,000	26.81	13.27	.0671	0.90	0.91	0.98
4,000	25.84	12.70	.0647	0.86	0.875	0.975
5,000	24.89	12.23	.0623	0.83	0.85	0.969
6,000	23.98	11.78	.0600	0.80	0.82	0.960
7,000	23.09	11.34	.0578	0.77	0.79	0.955
8,000	22.22	10.92	.0556	0.74	0.76	0.946
9,000	21.38	10.50	.0535	0.71	0.73	0.939
10,000	20.58	10.11	.0515	0.69	0.71	0.93
12,000	19.03	9.35	.0477	0.64	0.66	0.91
14,000	17.57	8.63	.0439	0.59	0.61	0.88

Fuente: Manual de Ingeniería – Heatcraft

Interpolando para un valor de 97 m (320 ft) nos da por resultado:

$$f_a = 0.997$$

- Factor temperatura de saturación de succión (f_T): No aplica para la selección de la unidad condensadora. (Heatcraft, 2010)
- Factor por potencia (f_p): Este factor va a depender de la frecuencia del país en donde serán instalados los equipos, en el caso del Ecuador que su frecuencia es de 60 [Hz] el f_p es igual a 1. (Heatcraft, 2010)

Por lo tanto la capacidad frigorífica que debe de tener la unidad condensadora es la siguiente:

$$q = 9064 \frac{kcal}{h}$$

La tabla 2.13 muestra la selección de la unidad condensadora más apropiada para reemplazar la existente.

Tabla 2.13. Selección de la unidad condensadora para el túnel de congelados

Modelo	Compr.	HP	Temperatura Externa	Temperaturas de Evaporación/ Temperaturas de Evaporación							
				-10	-15	-20°C	-25°C	-30°C	-35°C	-40°C	
BST0800L6	4CC-6.2Y	6	32°C	Q	14444	12474	10660	8970	7120	5590	4210
				P	9,9	8,8	6,0	5,5	4,9	4,4	3,7
			35°C	Q	-	11717	10070	8300	6700	5240	3920
				P	-	9,0	6,1	5,5	4,9	4,4	3,8
			38°C	Q	-	-	-	7810	6280	4880	3620
				P	-	-	-	5,6	4,9	4,4	3,8
			43°C	Q	-	-	-	-	-	-	3130
				P	-	-	-	-	-	-	3,9
BST0800L6	4TC-8.2Y	8	32°C	Q	16535	15677	13446	11064	9057	7234	5549
				P	10,0	8,9	8,5	7,4	6,9	5,9	5,1
			35°C	Q	17307	14618	12656	10409	8109	6358	4876
				P	10,2	9,1	8,5	7,4	6,2	5,2	4,6
			38°C	Q	-	13665	11862	9857	7267	5488	4206
				P	-	9,2	8,8	7,5	5,5	4,6	4,0
			43°C	Q	-	-	-	8638	6421	4737	3549
				P	-	-	-	7,5	4,3	3,5	3,1

Fuente: Catálogos de productos - Heatcraft

Según los catálogos de Heatcraft, el equipo para el túnel de congelados es la unidad condensadora modelo: BST-0800L6

Selección de evaporador nuevo

Debido a que se considera cambiar la unidad condensadora por una nueva, se da la opción de realizar el cambio del evaporador.

Para la selección del evaporador se utilizará la información de la tabla 2.9. A diferencia de las unidades condensadoras a los evaporadores hay ciertos factores que afectan el rendimiento de los equipos, estos son: altitud y frecuencia.

El factor por altitud es calculado por la interpolación de los valores de la tabla 2.12.

Por lo tanto el valor del factor de altitud es $f_a = 0.99$

El factor por frecuencia es 1 debido a que los equipos son diseñados para 60 Hz. La capacidad para la selección del evaporador es:

$$q = 9128 \left[\frac{kcal}{h} \right]$$

El equipo es seleccionado usando los catálogos para evaporadores de Heatcraft. La tabla 2.15 muestra la selección del equipo.

Tabla 2.14. Selección de evaporador

DT	Capacidades Kcal/h-DT = 6°C											
	Temperatura de Evaporación/ Temperatura de Evaporación											
	10°C	5°C	0°C	-5°C	-10°C	-15°C	-20°C	-25°C	-30°C	-35°C	-40°C	
FMA109	4.115	3.910	3.704	3.211	3.092	2.984	2.875	2.789	2.703	2.475	2.205	
FME109												
FMA151	5.032	4.885	4.644	4.443	4.292	4.140	3.978	3.870	3.751	3.438	3.048	
FME151												
FMA205	7.754	7.366	6.977	6.032	5.827	5.610	5.405	5.243	5.092	4.659	4.140	
FME205												
FMA280	9.493	9.018	8.543	8.259	7.978	7.686	7.394	7.178	6.962	6.378	5.664	
FME280												
FMA335	11.545	10.973	10.400	9.848	9.502	9.167	8.821	8.562	8.302	7.599	6.756	
FME335												
FMA421	14.245	13.532	12.820	12.388	11.956	11.523	11.091	10.767	10.453	9.567	8.497	
FME421												
FMA464	16.146	15.336	14.526	13.664	13.188	12.713	12.237	11.869	11.523	10.540	9.372	
FME464												

Fuente: Catálogo de evaporadores – Heatcraft

Como se puede observar en la tabla 2.15 de selección de evaporador el equipo FME-421 cumple con la capacidad de carga que necesita el túnel.

2.9.2 Cámara de enfriamiento

La selección de equipos para la cámara de enfriamiento se limita a la elección de la unidad condensadora y el evaporador, para ello se utiliza los catálogos de los equipos de Heatcraft.

• Unidad condensadora

Para selección de la unidad condensadora se utiliza la información que se muestra en la tabla 2.15.

Tabla 2.15. Datos para la selección de unidad condensadora

Descripción	Valor
Carga frigorífica [kcal/hr]	2214.5
Altura (m.s.n.m.)	97
Temperatura ambiente	32
Temperatura de evaporación [°C]	-4
Refrigerante	R-404A
Frecuencia [Hz]	60

Fuente: Elaboración propia

Al igual que en la selección de la unidad condensadora para el túnel de congelados el factor de corrección por altura es:

$$f_a = 0.997$$

- Factor temperatura de saturación de succión (f_T): No aplica para la selección de la unidad condensadora.
- Factor por potencia (f_p): Este factor depende de la frecuencia del país en donde se instalen los equipos, en el caso del Ecuador que su frecuencia es de 60 [Hz] el f_p es igual a 1.

Por lo tanto, la capacidad frigorífica corregida que debe de tener la unidad condensadora es la siguiente:

$$q = 1759.28 \left[kcal/h \right]$$

Este valor es el que se usa para la selección de la unidad condensadora en los catálogos Flexcold de Heatcraft, la tabla 2.17 muestra la selección del equipo.

Tabla 2.16. Datos para la selección de unidad condensadora

Modelo	Temp. Externa	Temp. de Evaporación / Temp de Evaporación							
		-1°C	-5°C	-10°C	-15°C	-20°C	-25°C	-30°C	
FLEX125X6*	32°C	Q	2256	2060	1750	1370	930	570	400
		P	1.04	0.99	0.91	0.78	0.60	0.43	0.38
	35°C	Q	2120	1940	1650	1290	870	540	380
		P	1.06	1.00	0.91	0.78	0.60	0.43	0.37
	38°C	Q	1990	1830	1550	1220	820	510	350
		P	1.07	1.01	0.91	0.79	0.60	0.42	0.36
43°C	Q	1630	1510	1260	940	650	510	320	
	P	1.09	1.01	0.89	0.73	0.59	0.45	0.37	
FLEX150X6*	32°C	Q	2610	2360	2000	1630	1270	960	640
		P	1.21	1.14	1.04	0.93	0.82	0.72	0.60
	35°C	Q	2460	2220	1890	1540	1200	900	600
		P	1.23	1.15	1.04	0.94	0.82	0.71	0.58
	38°C	Q	2310	2090	1780	1450	1130	850	560
		P	1.24	1.16	1.05	0.94	0.83	0.70	0.58
43°C	Q	1920	1740	1480	1200	890	640	480	
	P	1.25	1.16	1.05	0.93	0.81	0.68	0.56	

Fuente: Catálogo unidades condensadoras - Heatcraft

- En este caso la unidad condensadora seleccionada es la FLEX-125, En el Anexo C se muestra el catálogo del equipo.

• **Selección de evaporador**

Para la selección del evaporador se utiliza la información de la tabla 2.13. Como los parámetros de selección de evaporador para la cámara de mantenimiento de enfriados son los mismos que los del túnel de congelados, los factores de capacidad también son los mismos. Por lo tanto, la capacidad para la selección del evaporador es:

$$q = 1771.71 \left[\frac{kcal}{h} \right]$$

El equipo se selecciona usando los catálogos para evaporadores de Heatcraft. La tabla 2.16 muestra la selección del equipo.

Tabla 2.17. Datos para la selección de evaporador

Modelo	Capacidade em kcal/h - Dt = 6°C/Capacidad en kcal/h - Dt = 6°C										
	Temperatura de Evaporação/Temperatura de Evaporación										
	10°C	5°C	0°C	-5°C	-10°C	-15°C	-20°C	-25°C	-30°C	-35°C	-40°C
	Modelos FBA's - 4 aletas por polegada / 4 aletas por pulgada										
FBA4050E	1360	1300	1240	1180	1110	1090	1060	1020	990	960	920
FBA4080E	2110	2020	1920	1800	1720	1690	1640	1590	1540	1470	1410
FBA4090E	2400	2280	2170	2040	1940	1900	1860	1790	1730	1660	1600
FBA4110E	3000	2850	2700	2540	2420	2380	2290	2230	2160	2080	2010
FBA4140E	3960	3760	3550	3340	3180	3110	3030	2930	2840	2740	2650
FBA4160E	4550	4320	4100	3850	3680	3590	3490	3380	3270	3160	3030
FBA4180E	5140	4890	4640	4350	4150	4060	3950	3830	3710	3570	3430
FBA4210E	5880	5580	5280	4970	4740	4630	4510	4370	4230	4080	3920

Fuente: Catálogo de evaporadores - Heatcraft

Por lo tanto el equipo seleccionado es: FBA-4080E

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

En los capítulos anteriores se realizó el análisis, desarrollo y solución del problema planteado de acuerdo a los requerimientos establecidos. En este capítulo se presentan los resultados técnicos y de costos, tanto para el túnel de congelados como para la cámara de mantenimiento de enfriados.

3.1 Resultados técnicos

El resultado técnico muestra los fundamentos ingenieriles que sustentan el diseño y la selección de equipos, considerando que tratándose de un rediseño se tuvo que adecuar a las instalaciones del sistema existente y cumplir con los nuevos requerimientos establecidos por las autoridades de la carrera de ingeniería en alimentos.

3.1.1 Túnel de congelados

Al concluir con los cálculos para la verificación del sistema instalado se consolida la información de los resultados en la tabla 3.1 que muestra la información general acerca del túnel de congelados.

Tabla 3.1. Información técnica para el sistema del túnel

Descripción	Unidad	Valor
Dimensiones (largo * ancho * altura)	m	2.5 * 3.53 * 2.88
Tipo de producto	-	Pulpa de mango
Cantidad de producto para congelar	kg	800
Temperatura de ingreso del producto	°C	4
Temperatura de operación	°C	-18
Carga frigorífica necesaria	BTU/hr	35840.67
Modelo de unidad condensadora	-	BST-0800L6
Modelo de evaporador	-	FME-421
Refrigerante	-	R-404A
Diámetro línea de líquido	pulg	3/4
Diámetro línea de succión	pulg	1 1/8
Tipo de sistema	-	Compresión de gases
Tipo de aislamiento	-	elastómero
Espesor de aislamiento	pulg	2

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.1 se muestra que el diámetro recomendado por el software Sporlan para la línea de succión es 1 3/8 pulg, donde el refrigerante recorre a una velocidad de 14.5 m/seg y presenta una pérdida de presión de 0.51 psi. Y para la línea de líquido es 3/4 pulg, presenta una velocidad de 0.727 m/seg y caída de presión de 3 psi. (ASHRAE, 2010)

La figura 3.1 muestra el diseño final del túnel de congelados. Para mayor detalle revisar el plano #2.

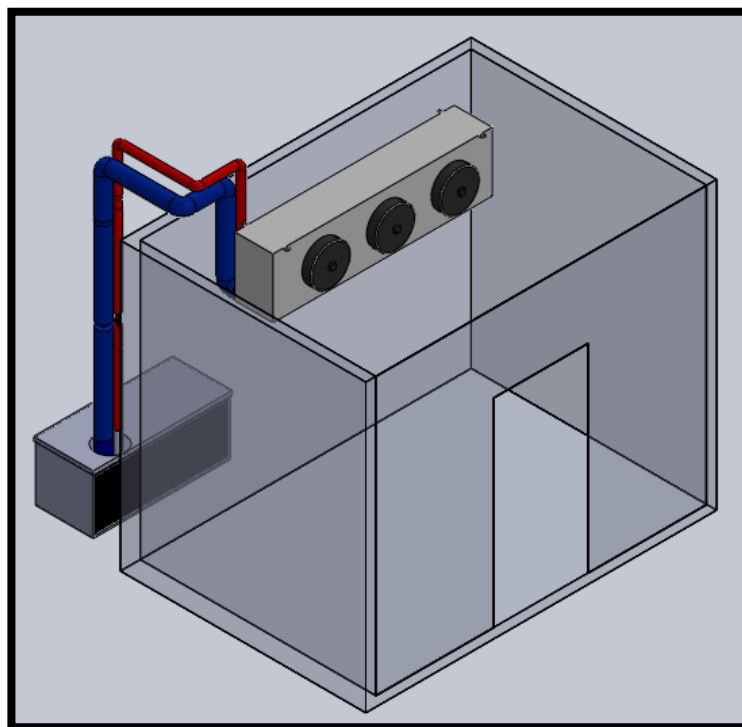


Figura 3.1. Diseño general del túnel de congelados

Fuente: Elaboración propia

En el diseño general del túnel de congelados se puede observar de color rojo y azul las líneas de líquido y succión respectivamente que conectan la unidad condensadora con el evaporador. Las características físicas, mecánicas y eléctricas de cada uno de los equipos se presentan en las siguientes tablas:

En la tabla 3.2 se detalla las características de la unidad condensadora.

Tabla 3.2. Información técnica unidad condensadora

Descripción	Unidad	Valor
Marca	-	Bohn
Modelo	-	BST-0800L6
Capacidad frigorífica	BTU/hr	43813.44
Voltaje/frecuencia ¹ /fases	Hz	220/60/3
Cantidad de compresores	und	1
Marca de compresor	-	Bitzer
Modelo de compresor	-	4TC-8.2Y
Refrigerante	-	R-404A
Dimensiones (G*C*D)	mm	1311 x 899 x 995
Peso	kg	289
Cantidad de ventiladores	und	1
Diámetro del ventilador	mm	450
Nivel de ruido a 5m	db	69

Fuente: Elaboración propia

La tabla 3.2 muestra las características mecánicas y físicas de la unidad condensadora, también se puede observar que la capacidad frigorífica es de 43,813 BTU/hr aproximadamente un 20% más de la carga frigorífica requerida por el túnel, lo que significa que la unidad condensadora si cumple con las necesidades de capacidad.

En la figura 3.2 se puede observar un esquema del equipo obtenido desde los catálogos del fabricante.

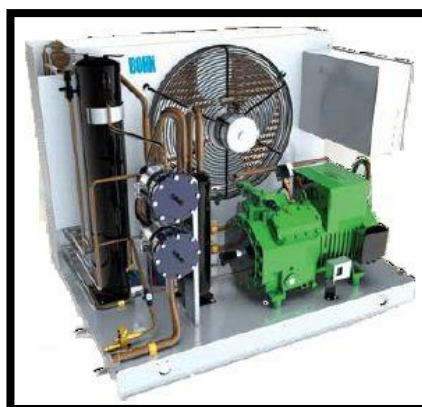


Figura 3.2. Unidad condensadora BST-0800L6

Fuente: Catálogo – Heatcraft

¹ Al hacer trabajar a la unidad condensadora a 50 Hz la capacidad frigorífica se debe de multiplicar por 0.833.

En la tabla 3.3 se detalla las características del compresor de la unidad condensadora:

Tabla 3.3. Información del compresor 4TC-8.2Y

Descripción	Unidad	Valor
Marca	-	Bitzer
Modelo	-	4TC-8.2Y-20D
Tipo	-	Alternativo pistón
Capacidad frigorífica	BTU/hr	49789.87
Potencia absorbida	BTU/hr	30480.12
Capacidad de condensación	BTU/hr	80269.99
COP	-	1.91
Presión de alta	psi	275 - 305
Presión de baja	psi	31 - 44
Refrigerante	-	R-404A
tensión del motor	-	220 V - 3 - 60Hz
Potencia compresor	HP	8
Intensidad máx. en funcionamiento	Amp	39
Intensidad en arranque	Amp	186
Temperatura de condensación	°C	42
Caudal másico de refrigerante	kg/hr	546
Temperatura de gas de descarga	°C	70.6
Peso	kg	137
N° de cilindros x diámetro (mm) x carrera (mm)	-	4 x 60 x 42
Dimensiones (largo x ancho x alto)	mm	649 x 306 x 385

Fuente: Bitzer Software – Bitzer

En la figura 3.3 se muestra un esquema del compresor.



Figura 3.3. Esquema del compresor 4TC-8.2Y

Fuente: Bitzer Software – Bitzer

En la figura 3.4, muestra el marco operativo del compresor Bitzer 4TC – 8.2Y – 20D.

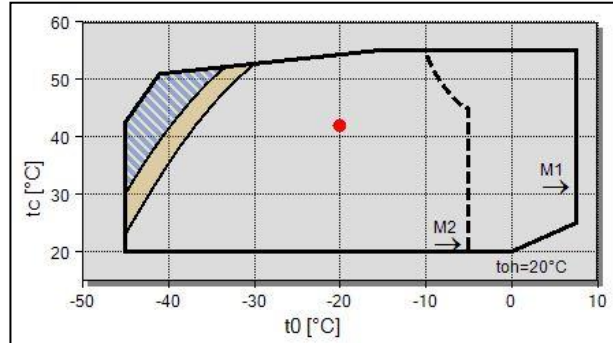


Figura 3.4. Marco operativo del compresor 4TC-8.2Y-20D
Fuente: Bitzer Software – Bitzer

En la figura 3.4 se muestra el compresor Bitzer 4TC-8.2Y-20D, tiene un rango de operación entre 10 °C a -45 °C y una capacidad de evaporación de 49789 BTU/hr siendo este equipo óptimo para el túnel de congelados.

Cabe destacar que la temperatura de descarga es 70.6 °C, lo que indica que se encuentra 30 °C por debajo de la temperatura crítica de los aceites.

En la tabla 3.4, se detalla las características del evaporador.

Tabla 3.4. Información del evaporador FME-421

Descripción	Unidad	Valor
Marca	-	FLEXCOLD
Modelo	-	FME-421
Tipo	-	Aire forzado
Capacidad frigorífica	BTU/hr	42637.32
Refrigerante	-	R-404A
Caudal de aire	m3/hr	11707
Cantidad de ventiladores - Diámetro	Und - mm	3 - 400
Tensión del motor	-	220 V-3-60Hz
Corriente de los ventiladores	Amp	3.3
Potencia resistencia eléctrica	W	9895
Tensión de la resistencia	-	220-3-60Hz
corriente de la resistencia	Amp	26
Peso del evaporador	kg	98
Dimensiones (largo x ancho x alto)	mm	2208 x 585 x 635

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.4 de información del evaporador se muestra que la capacidad frigorífica se encuentra aproximadamente 20% por encima de la capacidad necesaria, cumpliendo así los requerimientos de capacidad del sistema.

La figura 3.5 muestra una imagen representativa del evaporador seleccionado para el túnel de congelados.



Figura 3.5. Esquema del evaporador FME-421

Fuente: Catálogo - Heatcraft

Con los datos de cada uno de los elementos del sistema se realiza un diagrama PFD mostrado en la figura 3.6

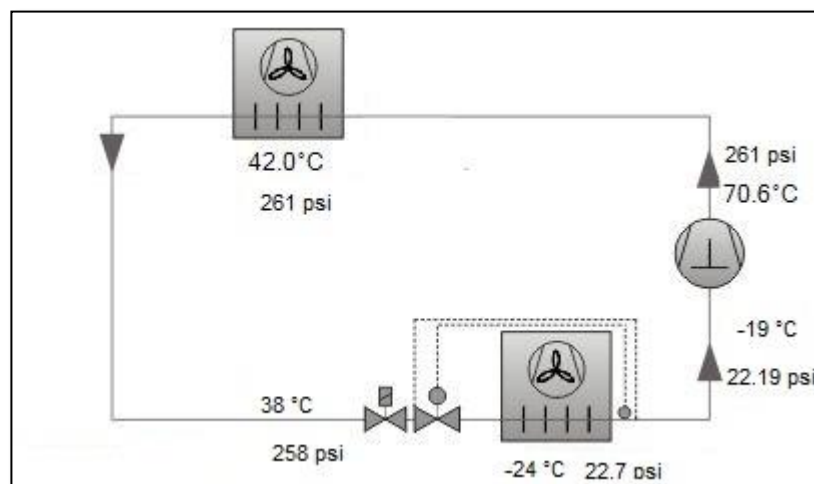


Figura 3.6. Diagrama PFD del sistema del túnel de congelados

Fuente: Elaboración propia

El diagrama PFD muestra las diferentes etapas del sistema del túnel de congelados y los datos de presión y temperatura que se manejan en cada uno de los elementos. Como se puede observar el compresor descarga refrigerante a 70.6 °C y a 260 psi hacia el condensador para que pueda

rechazar el calor ganado del ciclo. Desde el condensador hasta antes del dispositivo de expansión varía la temperatura como la presión sin haber ningún dispositivo, esto se debe a que el refrigerante va perdiendo temperatura por la tubería que no está aislada, la presión cae 3 psi según lo dimensionado anteriormente. El dispositivo de expansión² (ya instalado en el evaporador) se encarga de realizar la caída de presión desde los 257 psi hasta los 30 psi.

Además, se puede observar que en el recorrido desde la salida del evaporador hasta la succión del compresor el refrigerante gana 5 °C, esto se realiza para garantizar la entrada de refrigerante en forma gaseosa y evitar golpes de líquido en el compresor.

3.1.2 Cámara de enfriados

Después de haber realizado la selección de los equipos se muestra en la tabla 3.5 los resultados consolidados de la cámara de enfriados.

Tabla 3.5. Información técnica para el sistema de la cámara de enfriados

Descripción	Unidad	Valor
Dimensiones (largo x ancho x altura)	m	2.78 x 3.53 x 2.88
Tipo de producto	-	Misceláneos de frutas
Cantidad de producto para almacenar	kg	6000
Temperatura de ingreso del producto	°C	25
Temperatura de operación	°C	4
Carga frigorífica necesaria	BTU/hr	6947.42
Modelo de unidad condensadora	-	FLEX-125X6
Modelo de evaporador	-	FBA-4080E
Refrigerante	-	R-404A
Diámetro línea de líquido	pulg	3/8
Diámetro línea de succión	pulg	1/2
Tipo de sistema	-	Compresión de gases
Tipo de aislamiento	-	elastómero
Espesor de aislamiento	pulg	1

Fuente: Elaboración propia

² La selección de la VET para el túnel de congelados se la muestra en la sección de Anexos.

La figura 3.7 muestra el diseño final de la cámara de enfriados. Para mayor detalle revisar el plano #2.

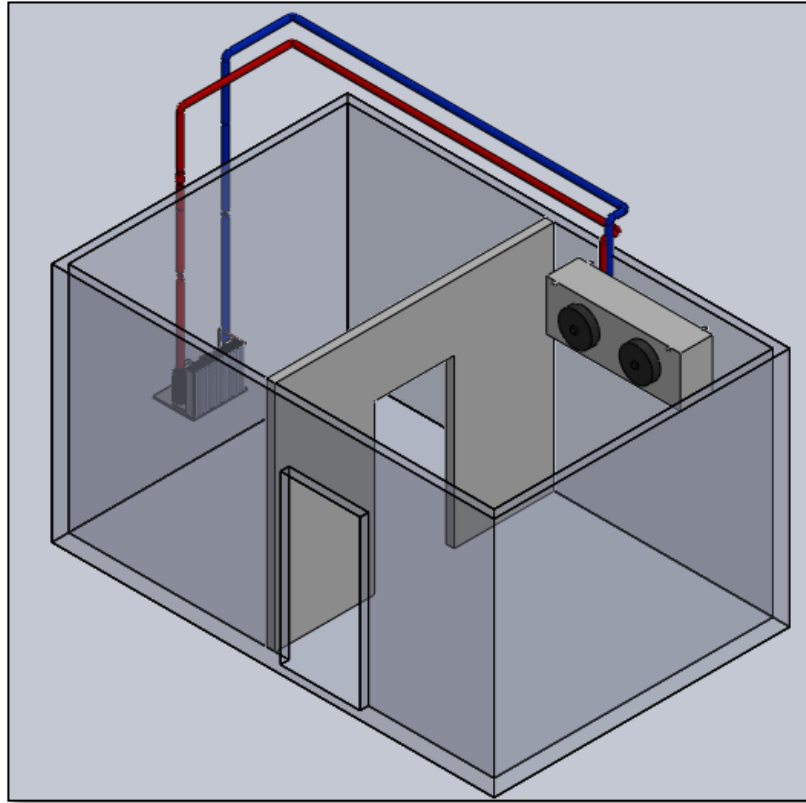


Figura 3.7. Diseño general de la cámara de enfriados

Fuente: Elaboración propia

A partir del cálculo realizado por el software Sporlan para la línea de succión de la cámara de enfriamiento el diámetro recomendado de tubería es de 1/2 pulg, donde el refrigerante fluye desde el evaporador a la entrada del compresor a una velocidad de 8.2 m/seg y presenta una pérdida de presión de 1.5 psi. La línea de líquido de 3/8 pulg presenta una velocidad de 0.499 m/seg y caída de presión de 3.1 psi desde la descarga del compresor hasta la entrada del dispositivo de expansión del evaporador. (Valores dentro de lo sugerido por ASHRAE)

En la tabla 3.6 se especifica las características de la unidad condensadora.

Tabla 3.6. Información técnica de la unidad condensadora

Descripción	Unidad	Valor
Marca	-	Flexcold
Modelo	-	FLEX-125
Capacidad frigorífica	BTU/hr	8157.6
Voltaje	V	220
Frecuencia ³	Hz	60
Fases	-	3
Cantidad de compresores	und	1
Marca de compresor	-	Copeland
Modelo de compresor	-	RST70C1E-TA5
Tipo de compresor	-	Pistón - hermético
Refrigerante	-	R-404A
Dimensiones (A x B x C)	mm	643 x 480 x 483
Peso	kg	55
Cantidad de ventiladores	und	1
Diámetro del ventilador	mm	300
Nivel de ruido a 5m	db	64

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.6 la unidad condensadora seleccionada tiene una capacidad de aproximadamente 17% por encima de la capacidad requerida por el sistema, cumpliendo con los requerimientos.

La figura 3.8 muestra un esquema de la unidad condensadora.

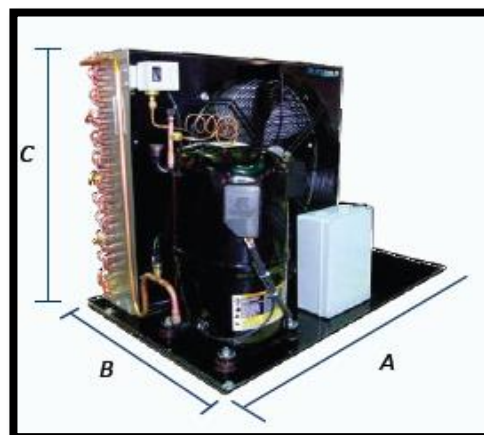


Figura 3.8. Esquema de la unidad condensadora

Fuente: Catálogo Heatcraft

³ Para que la unidad condensadora trabaje a 50 Hz se debe de multiplicar la capacidad por 0.833

La tabla 3.7 muestra las especificaciones del evaporador.

Tabla 3.7. Información técnica del evaporador

Descripción	Unidad	Valor
Marca	-	BOHN
Modelo	-	FBA-4080E
Tipo	-	Aire forzado
Capacidad frigorífica	BTU/hr	7128
Refrigerante	-	R-404A
Caudal de aire	m ³ /hr	1800
Cantidad de ventiladores	und	2
Diámetro de ventiladores	mm	254
Tensión del motor	-	220 V-3-60Hz
Peso del evaporador	kg	98
Dimensiones (A x B x C)	mm	844 x349 x 279

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.9 se observa un esquema del evaporador.

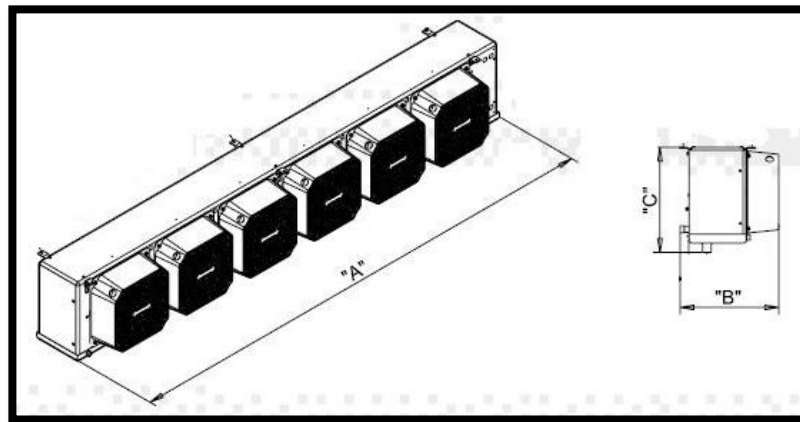


Figura 3.9. Esquema del evaporador de la cámara de enfriados

Fuente: Catálogo Heatcraft

La unidad condensadora tiene una capacidad de enfriamiento de aproximadamente 3% mayor que la requerida, cumpliendo así la necesidad frigorífica del sistema.

Con los datos obtenidos de cada uno de los elementos del sistema de enfriados se muestra en la figura 3.10 un diagrama PFD del sistema de la cámara de enfriados.

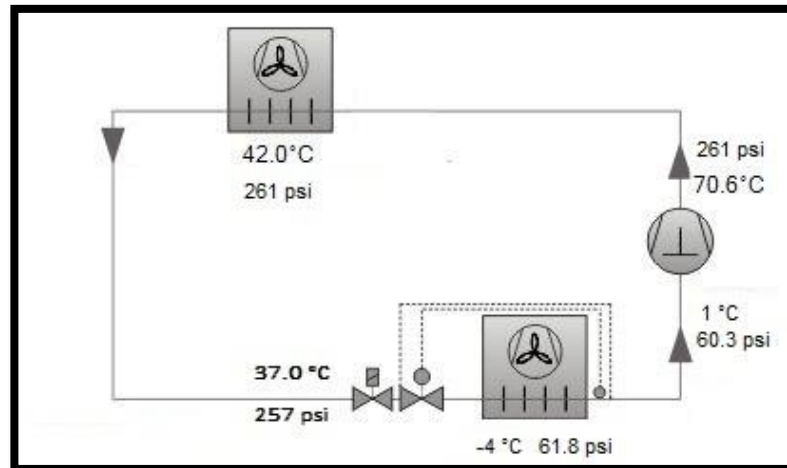


Figura 3.10. Diagrama PFD del sistema de la cámara de enfriamiento

Fuente: Elaboración propia

El diagrama PFD muestra las diferentes etapas del sistema de la cámara de enfriados y los datos de presión y temperatura que se manejan en cada etapa. Como se puede observar el compresor al igual que el del túnel descarga refrigerante a 70.6 °C y a 260 psi hacia el condensador para que pueda rechazar el calor ganado en el evaporador y el compresor. Desde el condensador hasta antes del dispositivo de expansión varía la temperatura como la presión, esto se debe a que el refrigerante va perdiendo temperatura por la tubería que no está aislada, la presión cae 3 psi según lo dimensionado anteriormente. El dispositivo de expansión⁴ (ya instalado en el evaporador) se encarga de realizar la caída de presión desde los 257 psi hasta los 30 psi.

Además se observa un supercalentamiento de 5 °C para asegurar la entrada de vapor al compresor y evitar daños por golpes de líquido.

3.2 Resultados económicos

Finalizada la fase de diseño y selección de equipos, se procede a cotizar los equipos y accesorios que conforman el sistema de túnel de congelados y el de mantenimiento de enfriados. Se debe tener en cuenta para estos cálculos que todos los equipos y accesorios se adquieren en el comercio nacional, por lo

⁴ La selección de la VET para la cámara de enfriados se lo muestra en la sección de Anexos.

tanto, el único impuesto que se toma en cuenta es el IVA (Impuesto al Valor Agregado) que actualmente es el 14%, valor temporal, dispuesto en la Ley Solidaria y de Corresponsabilidad Ciudadana (Diario El Universo, 16 de mayo del 2016).

3.2.1 Presupuesto para el túnel de congelados

La tabla 3.8 muestra el listado y el valor de los equipos necesarios para la habilitación del túnel de congelados.

Tabla 3.8. Costo de equipos para túnel de congelados

Descripción	Marca	Modelo	Valor
Evaporador de aire forzado	Flexcold	FME-421	\$ 4,150.00
Unidad condensadora enfriada por aire	Bohn	BST-0800L6	\$ 12,559.00
SUBTOTAL			\$ 16,709.00
IVA (14%)			\$ 2,339.26
TOTAL			\$ 19,048.26

Fuente: Elaboración propia

La tabla 3.9 muestra el listado y el valor de los accesorios y materiales necesarios para el montaje e interconexión entre equipos del túnel de congelados.

Tabla 3.9. Costo de materiales y accesorios para el túnel de congelados

Cantidad	Unidad	Detalle	Valor unitario	Total
1	und	Puerta corrediza congelación 1.00 m x 2.00m	\$ 1,335.00	\$ 1,335.00
10.41	m2	Paneles poliuretano 100mm espesor	\$ 58.00	\$ 603.78
1	und	Válvula de paso 1 3/8 plg	\$ 90.00	\$ 90.00
1	und	Válvula de paso 3/8 plg	\$ 34.08	\$ 34.08
6	m	Tubería de cobre 1 3/8 plg	\$ 16.60	\$ 99.60
6	m	Tubería de cobre 3/8 plg	\$ 3.30	\$ 19.80
1	und	Válvula solenoide 3/8 plg	\$ 50.61	\$ 50.61
1	und	Bobina solenoide 220V	\$ 36.00	\$ 36.00
1	und	Filtro deshidratador 3/8 plg	\$ 18.16	\$ 18.16
1	und	Visor de líquido de rosca	\$ 20.14	\$ 20.14
1	und	Caja de control para media temperatura	\$ 219.00	\$ 219.00
1	und	Válvula de expansión con orificio	\$ 65.00	\$ 65.00
6	m	Aislante de tubería de 1 plg	\$ 11.00	\$ 66.00
25	und	Soldadura de plata al 15%	\$ 2.73	\$ 68.25
1	cil	Refrigerante R-404A	\$ 139.00	\$ 139.00
4	und	Codos de cobre 1 3/8 plg	\$ 2.50	\$ 10.00
1	und	Aliviador de presión	\$ 100.00	\$ 100.00
1	und	trampa sifón 1 3/8 plg	\$ 15.00	\$ 15.00
SUBTOTAL				\$ 2,989.42
IVA (14%)				\$ 418.52
TOTAL				\$ 3,407.94

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.10, se detalla los costos de servicios contratados que incluye: instalación, equipo de soldar y puesta en marcha de los equipos.

Tabla 3.10. Costo de servicios contratados para el túnel

Servicio	valor
Instalación	\$ 450.00
Equipo de soldar	\$ 220.00
Puesta en marcha del sistema	\$ 150.00
TOTAL	\$ 820.00

Fuente: Elaboración propia

Seguidamente, se muestra en la tabla 3.11 el presupuesto que se necesita para habilitar el túnel de congelados.

Tabla 3.11. Presupuesto del túnel

Rubro	valor
Equipos	\$ 19,048.26
Materiales y accesorios	\$ 3,407.94
Servicios contratados	\$ 820.00
TOTAL	\$ 23,276.20

Fuente: Elaboración propia

Una vez calculado el valor de la inversión del túnel de congelados, se realiza una estimación de la depreciación mensual, esto se muestra en la tabla 3.12.

Tabla 3.12. Depreciación mensual del sistema del túnel

Descripción	Valor	Valor
Inversión total	\$	23276.20
Tiempo de vida útil	año	13
Tiempo de vida útil	mes	156
DEPRECIACIÓN MENSUAL	\$/mes	149.21

Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Presupuesto para la cámara de enfriados

La tabla 3.13, muestra el listado y el valor de los equipos necesarios para la habilitación de la cámara de mantenimiento de enfriados.

Tabla 3.13. Costo de equipos para la cámara de enfriados

Descripción	marca	modelo	valor
Evaporador de aire forzado	Bohn	FBA-4080E	\$ 725.00
Unidad condensadora enfriada por aire	Flexcold	FLEX-125X6B	\$ 780.00
TOTAL			\$ 1,505.00

Fuente: Elaboración propia

Además, en la tabla 3.14 se muestran los materiales y accesorios necesarios para el montaje e interconexión entre los equipos.

Tabla 3.14. Costo de materiales para la cámara de enfriados

Cantidad	Unidad	Detalle	Valor unitario	Total
1	und	Válvula de paso 5/8 plg	\$ 35.48	\$ 35.48
1	und	Válvula de paso 3/8 plg	\$ 34.08	\$ 34.08
6	m	Tubería de cobre 5/8 plg	\$ 6.40	\$ 38.40
6	m	Tubería de cobre 3/8 plg	\$ 3.30	\$ 19.80
1	und	Válvula solenoide 3/8 plg	\$ 50.61	\$ 50.61
1	und	Bobina solenoide 220V	\$ 36.00	\$ 36.00
1	und	Filtro deshidratador 3/8 plg	\$ 18.16	\$ 18.16
1	und	Visor de líquido de rosca	\$ 20.14	\$ 20.14
1	und	Caja de control para media temperatura	\$ 159.00	\$ 159.00
1	und	Válvula de expansión con orificio	\$ 65.00	\$ 65.00
6	m	aislante de tubería de 1 plg	\$ 2.35	\$ 14.10
25	und	Soldadura de plata al 15%	\$ 2.73	\$ 68.25
1	cil	Refrigerante R-404A	\$ 139.00	\$ 139.00
4	und	codos de cobre 5/8 plg	\$ 1.80	\$ 7.20
1	und	trampa sifón 3/8 plg	\$ 0.55	\$ 0.55
SUBTOTAL				\$ 705.77
IVA (14%)				\$ 418.60
TOTAL				\$ 1,124.37

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.15 se detalla los costos de servicios contratados que incluye: instalación, reparación de equipos, equipo de soldar y puesta en marcha de los equipos.

Tabla 3.15. Costo de servicios contratados para la cámara de enfriados

Servicio	valor
Instalación	\$ 250.00
Equipo de soldar	\$ 220.00
Puesta en marcha del sistema	\$ 100.00
TOTAL	\$ 570.00

Fuente: Elaboración propia

La tabla 3.16 muestra el presupuesto que se necesita para habilitar la cámara de enfriados.

Tabla 3.16. Presupuesto para la cámara de enfriados

Rubro	valor
Equipos	\$ 1,505.00
Materiales y accesorios	\$ 1,124.37
Servicios contratados	\$ 570.00
TOTAL	\$ 3,199.37

Fuente: Elaboración propia

El cálculo de depreciación mensual se lo muestra en la tabla 3.17. Para este caso el tiempo de vida útil será 10 años debido a que los equipos no han sido reparados ni utilizados.

Tabla 3.17. Depreciación mensual del sistema

Descripción	Valor	valor
Inversión total	\$	3199.37
Tiempo de vida útil	años	10
Tiempo de vida útil	mes	120
DEPRECIACIÓN MENSUAL	\$/mes	26.66

Fuente: Elaboración propia

3.3 Análisis de resultados

En la tabla 3.18 se muestra la consolidación de los resultados obtenidos comparándolos con los valores requeridos.

Tabla 3.18. Valores calculados vs valores requeridos

Detalle	unidad	Valor calculado	Valor requerido	Cumple
Túnel de congelados				
Capacidad frigorífica	BTU/h	43 813.44	35 849.67	si
Recambios	1/hr	460	150 - 300	no
Velocidad en l.l.	m/s	0.73	0.50 - 1.30	si
Pérdida de presión en l.l.	psi	3.00	0.00 - 6.00	si
Velocidad en l.s.	m/s	14.5	8.00 - 15.00	si
Pérdida de presión en l.s.	psi	0.51	0.00 - 2.00	si
Mantenimiento de enfriados				
Capacidad frigorífica	BTU/h	8 157.6	6 947.42	si
Recambios	1/hr	64	40 - 80	si
Velocidad en l.l.	m/s	0.50	0.50 - 1.30	si
Pérdida de presión en l.l.	psi	3.10	0.00 - 6.00	si
Velocidad en l.s.	m/s	8.20	8.00 - 15.00	si
Pérdida de presión en l.s.	psi	1.50	0.00 - 2.00	si

Fuente: Elaboración propia

- La capacidad frigorífica de los equipos seleccionados fue determinada en 43.813,44 BTU/hr siendo mayor que el valor requerido de 35.849,67 BTU/hr, por lo tanto, cubre las necesidades de carga frigorífica dando la posibilidad de crecimientos en un futuro.
- La Capacidad frigorífica de los equipos seleccionados para la cámara de enfriamiento fue determinada en 8.157,6 BTU/hr siendo mayor que el valor calculado de carga frigorífica de 6.947,42 BTU/hr, siendo un equipo apto para la cámara.
- El valor recomendado de recambio de aire del sistema de congelados es entre 150 y 300, según el evaporador seleccionado, los recambios se elevan a 460, sin embargo por ser pulpa de fruta envasada el producto a congelar, no se vería afectado.
- La velocidad calculada de la línea de líquido en el sistema del túnel de congelados es de 0.73 m/seg y la de la cámara de enfriados es de 0.5 m/seg ; valores que se encuentran dentro del rango recomendado por ASHRAE ($0,5 \text{ a } 1,3 \text{ m/seg}$), lo que asegura un buen intercambio de calor en el condensador. Cabe de indicar que de tener una velocidad menor a la recomendada, se afectaría el rendimiento del sistema, y en caso contrario, si la velocidad excede lo recomendado podría producirse un golpe de ariete dañando principalmente la válvula solenoide, como consecuencia. podría producirse fugas en el sistema.
- Pérdida de presión en línea de líquido del túnel es de 3.0 psi y la de la cámara de enfriados es de 3.1 psi valores comprendidos en el rango de $0 \text{ a } 6 \text{ psi}$, en este caso si se produjera un valor más de lo recomendado podría producirse gas instantáneo en la entrada de la válvula de expansión obstruyendo el flujo de refrigerante líquido, y por lo tanto, el evaporador no recibiría la cantidad necesaria de refrigerante, afectando la eficiencia del sistema.

- Velocidad en línea de succión del túnel de congelados es de $14,5 \text{ m/seg}$ y para la cámara de enfriados es de $8,2 \text{ m/seg}$. valores que se encuentran dentro del rango de $8,0$ a $15,0 \text{ m/seg}$ recomendado. Este valor es de suma importancia debido a que, si la velocidad está por debajo de lo recomendado no se garantizaría un retorno de aceite al compresor, en caso de exceder el límite produciría una mayor pérdida de presión.
- Pérdida de presión en la línea de succión para el túnel de congelados es de $0,51 \text{ psi}$ y para la cámara de enfriados 1.50 psi , cumpliendo con el rango establecido de $0 - 2,0 \text{ psi}$. Debe de tenerse en cuenta que esta línea es el punto más crítico, debido a que, si la presión excede del rango recomendado generará una mayor relación de compresión, afectando directamente a la eficiencia del sistema.

CAPÍTULO 4

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Este proyecto tuvo como objetivo rediseñar la cámara frigorífica de la planta piloto de Tecnologías ESPOL, dividiéndola en dos espacios uno para túnel de congelados y el otro para cámara de enfriados, empleando los equipos existentes de la cámara.

4.1 Discusión

A continuación, se presentan los comentarios más resaltantes de este proyecto:

- **Evaluación de los equipos de la cámara frigorífica de la planta piloto.**

Al iniciar el proyecto se procedió a evaluar los equipos de la cámara frigorífica de la planta piloto, constatando que todos los equipos necesitan inspección técnica:

- En el caso del compresor necesita que se le realice un overhaul.
- El evaporador y condensador necesitan pruebas de presión.
- Los motores eléctricos requieren ser revisados.
- Los accesorios deben ser cambiados.

Para realizar el overhaul al compresor, debe hacerse en un taller mecánico, siendo el costo estimado de \$500.00.

Para realizar las pruebas de presión a los equipos, evaporador y condensador, se necesita cargar a los equipos con nitrógeno a 240 psi por aproximadamente dos días.

- **Selección del refrigerante**

Para la selección del refrigerante se pudo constatar que en algunos casos es necesario considerar el volumen específico, esta afirmación se puede explicar comparando las características de los refrigerantes $R - 134A$ y el $R - 404A$.

Al iniciar el proceso de selección de refrigerante, se consideraron 3 factores de influencia: clasificación combinada, tendencia de fugas y calor latente; resultando que en los dos primeros factores ambos refrigerantes son similares, la diferencia está en el valor del calor latente, el del R-134A es más alto que el de R-404A, por lo que, en la evaluación para la selección, resultaba como mejor opción el primero. Sin embargo, al evaluar el rendimiento de los equipos con este refrigerante seleccionado, la capacidad frigorífica de los mismos disminuyó; por ese motivo se investigó y se incluyó un nuevo factor de influencia: el volumen específico. Al adicionar este factor a la matriz, el resultado cambió, quedando el R-404 A como mejor opción, por lo que se pudo demostrar que la cantidad del refrigerante dentro del compresor influye directamente en la capacidad térmica del equipo.

Por otro lado, cabe indicar que el Amoníaco (NH_3), tiene una capacidad frigorífica muy alta y es amigable con el ambiente, pero es muy tóxico para los seres vivos, por lo cual no se lo seleccionó como mejor opción en este proyecto.

- **Dimensionamiento de las áreas para el túnel de congelados y cámara de enfriados.**

Las dimensiones de la cámara existente son: 5,28 m de largo x 3,53 m de ancho x 2,88 m de alto. Para la división de esta cámara, se tenía que trabajar en función del largo, las otras dimensiones permanecen inalterables. Según las recomendaciones de Heatcraft se requieren de 150 a 300 recambios de aire en el túnel de congelados, lo que para este sistema se cumpliría con una medida de largo mínimo de 3,84m, sin embargo a esa distancia se encuentra la puerta. Al existir este limitante, se tuvo que considerar como medida de largo el máximo valor permitido por la ubicación de la puerta, el que es 2,50m. Con este valor, que es menor al largo óptimo, el volumen del túnel disminuye y los recambios se elevan a 460. El exceso en el valor de los recambios de aire, significa mucha velocidad de aire para ese espacio, lo cual afectaría a los productos que se van a congelar, lo que podría producir deshidratación, quemaduras, pérdida de sus propiedades. Pero, en este

caso particular, en que el producto a congelar es pulpa de fruta envasada, el aumento en recambios no afectaría al producto.

4.2 Conclusiones

- Se realizó el rediseño de la cámara frigorífica de la Planta Piloto en los dos espacios requeridos, uno para túnel de a -18°C , y, el otro ambiente para mantenimiento de enfriados a 4°C . Para la implementación del sistema rediseñado túnel de congelados es necesario adquirir los equipos: evaporador y unidad condensadora. La adecuación al sistema túnel de congelados necesita de una inversión \$ 23,276.20, en cuanto a los costos de accesorios e instalación del nuevo sistema de enfriados es de \$ 3,199.73.
- El compresor marca Copeland modelo MRB1-0500-TFC del sistema de refrigeración existente, fue evaluado en el programa PSS-EMERSON, y por las características resultantes se conoce que posee un rango de temperatura de operación de -40°C a -20°C , por lo tanto no cubre los requerimientos del sistema de túnel de congelados que tiene su marco operativo de -25°C a 5°C , debido a esto, se seleccionó la unidad condensadora modelo BST-0800L6 que tiene un compresor Bitzer modelo 4TC-8.2Y-20D que cumple con estos requerimientos, siendo su rango de temperatura de operación de -45°C a 8°C .
- El refrigerante seleccionado para la instalación es el R-404A, tiene mayor eficiencia para las condiciones de trabajo requeridas funcionando. Además, se determinó que este refrigerante es versátil, dado que se puede utilizar tanto en baja como en media temperatura, debido a sus propiedades frigoríficas.
- No se pudo recabar las características del evaporador existente debido a que no existe información técnica del fabricante, por lo tanto no se conoce las características operativas que tiene, considerándolo no apto para el túnel de congelados.

- Los paneles aislantes de la cámara actual están en buen estado por lo tanto pueden ser utilizadas para la implementación de los nuevos sistemas.
- En el desarrollo del proyecto para la cámara de enfriados se determinaron medidas interiores de la cámara de 2.58 m de largo x 3,43m de ancho x 2,78 de altura; en este volumen puede almacenarse de 6,600 kg. entre mango, uva, manzana, pera y durazno.

4.3 Recomendaciones

- Según los resultados económicos del proyecto, la implementación de los dos sistemas: túnel de congelados y mantenimientos de enfriados, necesita de una inversión de \$ 26.475,93, por lo que debe analizarse la posibilidad de ejecutar el proyecto o de reparar el compresor existente (Copeland modelo MRB1-0500-TFC) para ser utilizado en un sistema de mantenimiento de congelados, a una temperatura de evaporación máxima de -20°C.
- Los sistemas de refrigeración planteados para el rediseño de la cámara existente de la planta piloto, son necesarios para el fortalecimiento de conocimientos y experiencias en el manejo de la industria del frío de los alumnos de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción. Por lo que, se recomienda su implementación, tomando en cuenta que los equipos con el transcurrir del tiempo se deprecian por efectos del medio ambiente, o porque quedan obsoletos con el cambio de tecnología, entre otros.
- Sería conveniente realizar el análisis de costos del cambio de ubicación de la puerta de la cámara de enfriados para redistribuir el espacio en las dos cámaras según lo recomendado y optimizar el funcionamiento de los sistemas.

BIBLIOGRAFÍA

- Antilhue. (26 de junio de 2010). *Antilhue*. Obtenido de Amoniaco, refrigerante natural: wp.antilhue.com
- Armaflex. (enero de 2015). *Armaflex*. Obtenido de www.armacell.es
- ASHRAE. (2010). *HANDBOOK, REFRIGERATION*. USA.
- Bejarano, E. (2013). *Aula Virtual de Tecno II*. Obtenido de Compresores: tecno2aulavirtual.blogspot.com
- Chemours. (2017). *Chemours*. Obtenido de Refrigerantes: www.chemours.com
- COMEXI. (8 de abril de 2003). *Registro Oficial*. Obtenido de Nomenclatura Arancelaria Andina - NANDINA: registrooficial.gob.ec
- Emerson. (2013). Manual técnico. En Emerson, *Manual Técnico de Refrigeración y Aire Acondicionado*.
- Franco Lijó, J. M. (2016). *Manual de Refrigeración*. Barcelona: Reverté.
- Heatcraft. (2010). *Manual de Entrenamiento Técnico Avanzado*. San José Dos Campos, Brasil.
- Heatcraft. (2010). *Manual de Instalación*. San José Dos Campos, Brasil.
- Heatcraft. (2012). *Manual de Ingeniería*. San José Dos Campos, Brasil.
- Instituto Tecnológico de Minatitlán. (09 de 10 de 2011). *Temarios Formativos Profesionales*. Obtenido de PRINCIPIOS DE REFRIGERACIÓN: temariosformativosprofesionales.wordpress.com
- PNUMA. (2010). *Control aduanero de sustancias que agotan la capa de ozono*. Obtenido de www.pnuma.org
- UNET. (2005). *Universidad Nacional Experimental del Táchira*. Obtenido de Decanato de Investigación: www.unet.edu.ve
- Universidad Laboral. (12 de noviembre de 2013). Cálculo y diseño de líneas de refrigerante. *Resumen apuntes para el cálculo de líneas*. Toledo, España.
- UPM. (2010). *Universidad Politécnica de Madrid - UPM - España*. Obtenido de Variables termodinámicas: acer.forestales.upm.es

ANEXOS

ANEXO A
PROPIEDADES Y CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO

Tabla A. 1. Datos térmicos de varios alimentos

Alimento	Ref	% agua	Temp. Inicio Cong. T. (°C)	Calor Latente fusión (KJ/Kg)	Calor específico (KJ/Kg °C)	
					Debajo del Punto de Congelación	Encima del Punto de Congelación
Atún	[2]	70			1.72	3.18
Bacalao	[2]	70	-2.2	277	1.72	3.18
Tocino fresco	[2]	57				2.01
Carne de cerdo fresca	[2]	60-75	-2.0	201	1.60	2.85
Carne de res fresca, grasa	[2]		-2.2	184	1.47	2.51
Salchicha frankfurt	[2]	60	-1.7	200	2.35	3.73
Pollo fresco	[2]	74	-2.8	247	1.55	3.31
Aguacate	[2]	94	-2.7	316	2.05	3.81
Limón	[2]	89.3	-2.2	295	1.93	3.85
Manzana	[2]	84	-2.0	281	1.85	3.60
Salsa de Manzana	[3]	82.8	-1.67			
Mango	[2]	93	0.0	312	1.93	3.77
Naranja	[2]	87.2	-2.2	288	1.93	3.77
Pera	[2]	83.5	-1.9	275	1.99	3.60
Jugo de pera	[3]	87.2	-1.44			
Plátano	[2]	74.8	-2.2	253	1.76	3.35
Apio	[2]	93.7	-1.3	314	2.01	3.98
Lechuga	[2]	94.0	-0.4	316	2.01	4.02
Repollo	[2]	92.4	-0.5	306	1.97	3.94
Tomate	[2]	94	-1.0	312	2.01	3.98
Zanahoria	[2]	88.2	-1.3	293	1.90	3.70
Arroz	[2]	12				1.80
Fríjol seco	[2]	12.5	-18	42	1.01	1.35
Fríjol verde	[2]	90		297	2.39	3.94
Leche	[2]	87.5			2.05	3.89
Nata (40% grasa)	[2]	73			1.68	3.56
Cuajada	[2]	60-70				3.27
Huevo	[2]		-3.0	233	1.67	3.20
Pan blanco	[2]	44-45	-2.0	109-121	1.42	2.80
Margarina	[2]	9-15			1.80	2.10
Jugo de uva	[2]		-1.95			
Jugo de pera	[2]		-1.6			
Jugo de manzana	[2]	87.2	-1.3			3.85
Jugo de naranja	[2]	89	-1.2			3.89

Fuente: Congelación y Liofilización de Alimentos, Ing. Carlos Orrego

Tabla A. 2. Conductividad térmica, calor específico y difusividad térmica para diferentes materiales

Producto	K	C	D
	<i>kcal/mhr°C</i>	<i>kcal/kg°C</i>	<i>mm²/s</i>
Acero	32.8	0.12	-
Acero inoxidable	13.8	0.12	4
Aluminio	180.3	0.22	-
Agua líquida	0.52	1	-
Vapor	0.02	0.24	-
Hielo (-25°C)	2.09	0.48	-
Aire	0.02	0.24	-
Cobre	332.3	0.09	-
Hormigón	0.81	0.16	-
Corcho granulado	0.04	0.49	-
Dióxido de carbono (vapor)	0.01	0.18	-
Estaño	52.2	0.06	-
Madera	0.13	0.45	-
Nitrógeno (vapor)	0.02	0.25	-
Nylon	0.21	0.41	0.13
Cartón	0.12	0.3	-
Poliuretano	0.02	0.38	-
Polietileno alta densidad	0.41	0.55	0.22
Polietileno baja densidad	0.28	0.55	0.15
Polipropileno	0.1	0.46	0.07

Fuente: ASHRAE Fundamentos, 1989

Tabla A. 3. Cambio de aire promedio en 24 horas para cuartos de almacenamiento arriba de 0°C. Valor F1

Volumen pies ³	Cambios de Aire en 24 Hrs.	Volumen pies ³	Cambios de Aire en 24 Hrs.	Volumen pies ³	Cambios de Aire en 24 Hrs.
200	44.0	2,000	12.0	25,000	3.0
250	38.0	3,000	9.5	30,000	2.7
300	34.5	4,000	8.2	40,000	2.3
400	29.5	5,000	7.2	50,000	2.0
500	26.0	6,000	6.5	75,000	1.6
600	23.0	8,000	5.5	100,000	1.4
800	20.0	10,000	4.9	150,000	1.2
1,000	17.5	15,000	3.9	200,000	1.1
1,500	14.0	20,000	3.5	300,000	1.0

Fuente: Manual de Ingeniería de Heatcraft

Tabla A. 4. Cambio de aire promedio en 24 horas para cuartos de almacenamiento debajo de 0°C. Valor F2

Volumen pies ³	Cambios de Aire en 24 Hrs.	Volumen pies ³	Cambios de Aire en 24 Hrs.	Volumen pies ³	Cambios de Aire en 24 Hrs.
200	33.5	2,000	9.3	25,000	2.3
250	29.0	3,000	7.4	30,000	2.1
300	26.2	4,000	6.3	40,000	1.8
400	22.5	5,000	5.6	50,000	1.6
500	20.0	6,000	5.0	75,000	1.3
600	18.0	8,000	4.3	100,000	1.1
800	15.3	10,000	3.8	150,000	1.0
1,000	13.5	15,000	3.0	200,000	0.9
1,500	11.0	20,000	2.6	300,000	0.85

Fuente: Manual de Ingeniería de Heatcraft

Tabla A. 5. Factor equivalente de calor por persona

Temperatura	G
°C	kcal/hr ²
10	181
5	209
0	234
-5	257
-10	287
-15	315
-20	338
-25	360

Fuente: Manual de entrenamiento Técnico Avanzado – Heatcraft

Tabla A. 6. Calor removido del aire de enfriamiento para cuartos de almacenamiento $\left[\frac{BTU}{ft^3} \right]$

Temperatura del cuarto de almacenamiento		Temperatura del aire exterior											
		40°F (4.4°C)		50°F (10°C)		85°F (29.4°C)		90°F (32.2°C)		95°F (35°C)		100°F (37.8°C)	
		Humedad Relativa del Aire Exterior, %											
°F	°C	70	80	70	80	50	60	50	60	50	60	50	60
55	12.8	—	—	—	—	1.12	1.34	1.41	1.66	1.72	2.01	2.06	2.44
50	10.0	—	—	—	—	1.32	1.54	1.62	1.87	1.93	2.22	2.28	2.65
45	7.2	—	—	—	—	1.50	1.73	1.80	2.06	2.12	2.42	2.47	2.85
40	4.4	—	—	—	—	1.69	1.92	2.00	2.26	2.31	2.62	2.67	3.05
35	1.7	—	—	0.36	0.41	1.86	2.09	2.17	2.43	2.49	2.79	2.85	3.24
30	-1.1	0.24	0.29	0.58	0.66	2.00	2.24	2.26	2.53	2.64	2.94	2.95	3.35
25	-3.9	0.41	0.45	0.75	0.83	2.09	2.42	2.44	2.71	2.79	3.16	3.14	3.54
20	-6.7	0.56	0.61	0.91	0.99	2.27	2.61	2.62	2.90	2.97	3.35	3.33	3.73
15	-9.4	0.71	0.75	1.06	1.14	2.45	2.74	2.80	3.07	3.16	3.54	3.51	3.92
10	-12.2	0.85	0.89	1.19	1.27	2.57	2.87	2.93	3.20	3.29	3.66	3.64	4.04
5	-15.0	0.98	1.03	1.34	1.42	2.76	3.07	3.12	3.40	3.48	3.87	3.84	4.27
0	-17.8	1.12	1.17	1.48	1.56	2.92	3.23	3.28	3.56	3.64	4.03	4.01	4.43
-5	-20.6	1.23	1.28	1.59	1.67	3.04	3.36	3.41	3.69	3.78	4.18	4.15	4.57
-10	-23.3	1.35	1.41	1.73	1.81	3.19	3.49	3.56	3.85	3.93	4.33	4.31	4.74
-15	-26.1	1.50	1.53	1.85	1.92	3.29	3.60	3.67	3.96	4.05	4.46	4.42	4.86
-20	-28.9	1.63	1.68	2.01	2.00	3.49	3.72	3.88	4.18	4.27	4.69	4.66	5.10
-25	-31.7	1.77	1.80	2.12	2.21	3.61	3.84	4.00	4.30	4.39	4.80	4.78	5.21
-30	-34.4	1.90	1.95	2.29	2.38	3.86	4.05	4.21	4.51	4.56	5.00	4.90	5.44

Fuente: Manual de entrenamiento Técnico Avanzado – Heatcraft

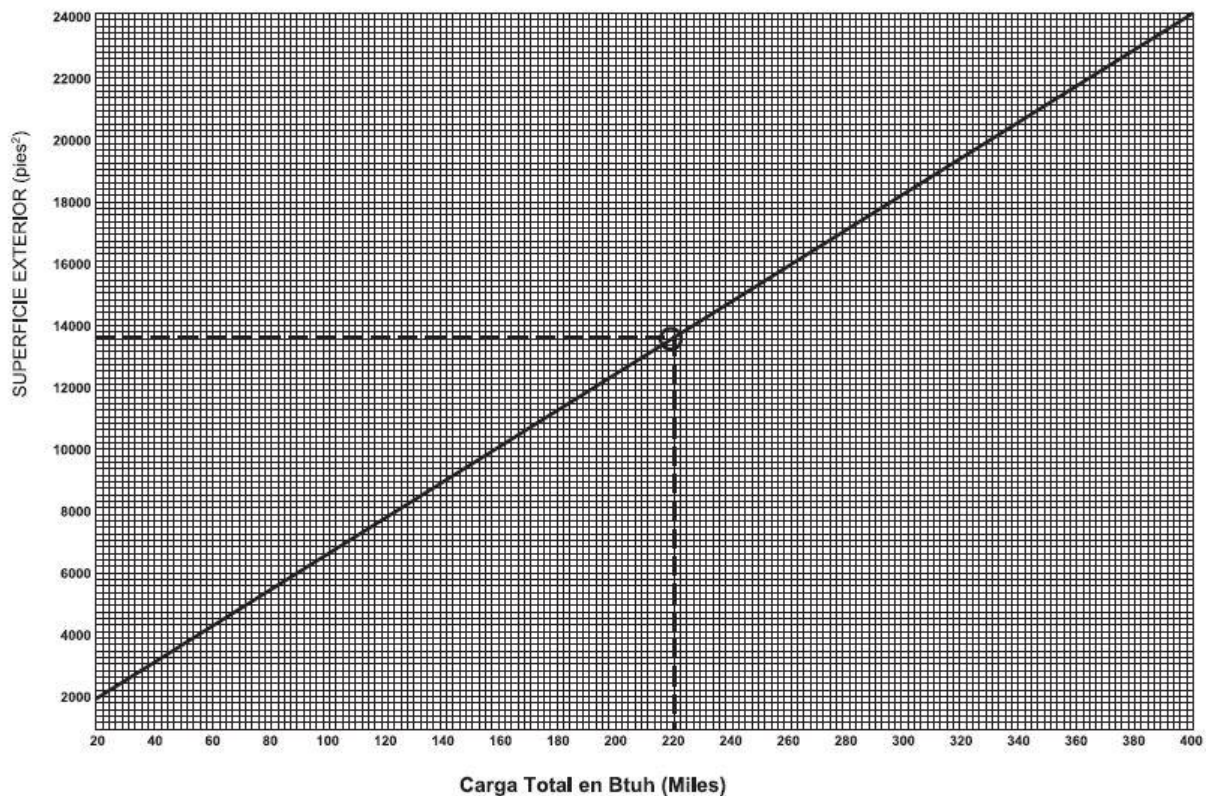


Figura A. 1. Calculador rápido de la carga frigorífica para cámaras de mantenimientos

ANEXO B
FICHA TÉCNICA DEL REFRIGERANTE R-404A

FICHA TÉCNICA R-404A

ESP
Y P

Propiedades físicas

F)

PROPIEDADES FÍSICAS		R-404 A
Peso molecular	(g/mol)	97.61
Temperatura ebullición a (1,013 bar)	(°C)	-46.45
Deslizamiento temperatura de ebullición (a 1,013 bar)	(K)	0.7
Temperatura crítica	(°C)	72.07
Presión crítica	(bar abs)	37.31
Densidad crítica	(Kg/m ³)	484
Densidad del líquido (25°C)	(Kg/m ³)	1048
Densidad del líquido (-25°C)	(Kg/m ³)	1236
Densidad del vapor saturado (a 1,013 bar)	(Kg/m ³)	5.41
Presión del vapor (25°C)	(bar abs)	12.42
Presión del vapor (-25°C)	(bar abs)	2.49
Calor latente de vaporización (a 1,013 bar)	(KJ/Kg)	200
Calor específico del líquido (25°C) (1,013 bar)	(KJ/Kg.K)	1.64
Calor específico del vapor (25°C) (1,013 bar)	(KJ/Kg.K)	0.88
Conductibilidad térmica del líquido (25°C)	(W/mk)	0.064
Conductibilidad térmica del vapor (1,013 bar)	(W/mk)	0.0143
Solubilidad con el agua (25°C)	(ppm)	Despreciable
Límite de inflamabilidad (25°C)	(% vol)	Ninguno
Toxicidad (AEL)	(ppm)	1000
ODP	-	0
PCA (GWP)	-	3922

Comparativa de rendimientos entre el R-404A y el R-502:

Las propiedades termodinámicas del R-404A son muy similares a las del R-502, esto queda evidenciado en el siguiente ejemplo:

Las condiciones operativas simulan un ciclo real a media temperatura, típico de la refrigeración comercial.

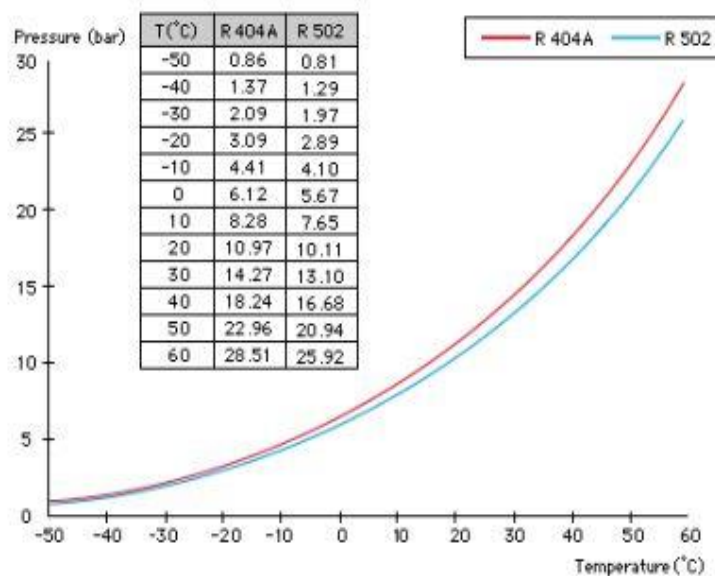
1. Temperatura a la entrada del Evaporador: -25 °C
2. Temperatura a la entrada del Condensador: 45 °C
3. Subenfriamiento: 5 °C
4. Sobrecalentamiento: 45 °C
5. Coeficiente de Compresión Isoentrópica

FICHA TÉCNICA
R-404A



Ejemplo de un ciclo de refrigeración comercial	R-404A	R-502
Presión de evaporación (bar)	2.54	2.4
Presión de condensación (bar)	20.36	18.72
Trabajo de compresión	8	7.8
Temperatura de descarga (°C)	95	102
COP	1.8	1.9
Capacidad neta de refrigeración (KJ/Kg)	97	95
Capacidad volumétrica de refrig. (KJ/Kg)	1027	1039
Temperatura deslizamiento (evap.) (°C)	0.5	0
Temperatura deslizamiento (cond.) (°C)	0.3	0

Gráfica comparativa temperatura/presión del R-502- R-404A:



FICHA TÉCNICA
R-404A



TEMP. (°C)	PRESION ABSOLUTA (bar)		DENSIDAD (Kg/m ³)		ENTALPIA (kJ/Kg)		ENTROPIA (kJ/Kg.K)	
	BURBUJA	ROCIO	BURBUJA	ROCIO	BURBUJA	ROCIO	BURBUJA	ROCIO
-50	0.85	0.82	1319.99	4.49	135.68	337.63	0.8120	1.7191
-45	1.09	1.05	1304.99	5.64	141.64	340.80	0.8384	1.7131
-40	1.36	1.32	1289.70	7.01	147.68	343.95	0.8644	1.7079
-35	1.70	1.65	1274.09	8.62	153.79	347.07	0.8902	1.7034
-30	2.09	2.04	1258.12	10.52	159.97	350.15	0.9158	1.6993
-25	2.55	2.49	1241.76	12.73	166.24	353.18	0.9412	1.6958
-20	3.08	3.01	1224.97	15.30	172.60	356.16	0.9664	1.6926
-15	3.70	3.62	1207.70	18.25	179.04	359.07	0.9914	1.6898
-10	4.40	4.32	1189.90	21.66	185.57	361.90	1.0162	1.6873
-5	5.20	5.11	1171.52	25.55	192.20	364.65	1.0409	1.6849
0	6.11	6.01	1152.51	30.00	198.92	367.31	1.0655	1.6827
5	7.13	7.03	1132.78	35.07	205.76	369.86	1.0899	1.6806
10	8.28	8.16	1112.27	40.38	212.70	372.28	1.1143	1.6765
15	9.55	9.43	1090.89	47.38	219.77	374.57	1.1387	1.6743
20	10.97	10.84	1068.53	54.82	226.97	376.71	1.1630	1.6720
25	12.54	12.40	1045.08	63.28	234.32	378.68	1.1873	1.6695
30	14.25	14.12	1020.38	72.89	241.82	380.47	1.2117	1.6667
35	16.16	16.01	994.26	83.86	249.50	382.03	1.2362	1.6636
40	18.23	18.08	966.50	96.39	257.39	383.35	1.2609	1.6611
45	20.49	20.34	936.81	110.80	265.51	384.38	1.2859	1.6595
50	22.95	22.80	904.81	127.46	273.91	385.08	1.3113	1.6556

ANEXO C
SELECCIÓN DE LA VET PARA LOS SISTEMAS DE
REFRIGERACIÓN

PARA LA SELECCIÓN DE LA VÁLVULA DE EXPANSIÓN SE UTILIZARON LOS CATÁLOGOS DE LA EMPRESA SPORLAN

Para realizar la selección de VET se presenta la figura C.1 que muestra la nomenclatura del dispositivo, la tabla C. 1 que muestra el factor de corrección por temperatura (FC_T), la tabla C.2 referente al factor de corrección por caída de presión (FC_P) y la tabla C.3 que es una sección del catálogo de los dispositivos. Para la selección se debe de utilizar la carga térmica en Toneladas de Refrigeración (TR)

S	V		E	1	C	1/2" ODF Soldar	x	5/8" ODF Soldar	x	1/4" ODF Soldar	x	5'
Tipo de Cuerpo	Código Sporlan – Refrigerante Código de Color de la Etiqueta del Elemento		"E" específica equilibrador externo. Omisión de la letra "E" indica válvula con equilibrador interno. Ejemplo: SV-1-C	Capacidad Nominal en Toneladas	Carga Termostática	Conexión de Entrada Tamaño y Estilo	x	Conexión de Salida Tamaño y Estilo	x	Conexión del Equilibrador Externo Tamaño y Estilo	x	Longitud del Tubo Capilar Pulgadas o Pies
	F = R-12 Amarillo E = R-13 Azul V = R-22 Verde G = R-23 Azul M = R-124 Azul J = R-134a Azul X = R-401A Rosado L = R-402A Arena S = R-404A Naranja V = R-407A Verde	N = R-407C Café S = R-408A Morado F = R-409A Amarillo Z = R-410A Rosa V = R-422D Verde R = R-502 Morado W = R-503 Azul P = R-507 Verde Azuloso W = R-508B Azul										

Figura C. 1. Nomenclatura de las VET de Sporlan
Fuente: Catálogo 201 (S1) - Sporlan

Tabla C. 1. Factor de corrección de capacidad por temperatura de líquido

REFRIGERANTE	TEMPERATURA DE LÍQUIDO ENTRANDO A LA VET °C								
	-20°	-10°	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°
404A	2.19	2.00	1.81	1.62	1.42	1.21	1.00	0.78	0.55
408A	1.74	1.62	1.50	1.38	1.26	1.13	1.00	0.87	0.73

Fuente: Catálogo 201 (S1) – Sporlan

Tabla C. 2. Caída de presión a través de la VET

TEMPERATURA DE EVAPORADOR °C	CAÍDA DE PRESIÓN A TRAVÉS DE LA VET (psi)							
	75	100	125	150	175	200	225	250
5° y 0°	0.87	1.00	1.12	1.22	1.32	1.41	1.50	1.58
-10°	0.77	0.89	1.00	1.10	1.18	1.26	1.34	1.41
-20° y -30°	0.71	0.82	0.91	1.00	1.08	1.15	1.22	1.29
-40°	0.65	0.76	0.85	0.93	1.00	1.07	1.13	1.20

Fuente: Catálogo 201 (S1) – Sporlan

Tabla C. 3. Capacidad de VET - TR

VÁLVULAS TIPO	CAPACIDAD NOMINAL	REFRIGERANTE											
		404A						408A					
		CARGA TERMOSTÁTICA RECOMENDADA											
		SC, SCP115			SZ, SZP			SC, SCP115			SZ, SZP		
		TEMPERATURA DE EVAPORADOR °C											
5°	0°	-10°	-20°	-30°	-40°	5°	0°	-10°	-20°	-30°	-40°		
F-EF-G-EG	1/8	0.14	0.14	0.15	0.15	0.12	0.11	0.19	0.19	0.20	0.21	0.18	0.16
F-EF-G-EG	1/6	0.22	0.22	0.23	0.24	0.19	0.17	0.30	0.30	0.31	0.34	0.28	0.25
F-EF-G-EG	1/4	0.28	0.28	0.29	0.30	0.25	0.21	0.38	0.38	0.40	0.43	0.36	0.32
F-EF-G-EG	1/2	0.54	0.52	0.56	0.57	0.47	0.40	0.73	0.72	0.76	0.81	0.68	0.60
F-EF-G-EG	1	0.98	0.96	1.03	1.07	0.88	0.75	1.33	1.32	1.41	1.52	1.27	1.12
F-EF-G-EG	1-1/2	1.47	1.43	1.47	1.43	1.17	1.00	2.00	1.96	2.01	2.03	1.70	1.50
FyEF(Ext)-GyEG(Ext)-S	2	1.96	1.91	1.95	1.89	1.56	1.33	2.67	2.61	2.67	2.69	2.27	2.00
S	3	2.74	2.67	2.43	2.50	1.95	1.66	3.74	3.66	3.71	3.55	2.83	2.50
S	4	3.92	3.81	3.88	3.55	2.73	2.32	5.34	5.23	5.30	5.03	3.96	3.50
S (Ext)	6	5.43	4.97	4.63	4.39	3.55	2.82	7.39	6.81	6.32	6.23	5.14	4.25
S (Ext)	7	6.90	6.32	5.90	5.59	4.52	3.59	9.41	8.67	8.05	3.83	6.55	5.41
H	3	2.76	2.57	2.48	8.77	1.92	6.70	3.76	3.53	3.39	3.38	2.79	2.37
H	4	3.94	3.67	3.49	3.27	2.69	2.20	5.37	5.04	4.77	4.64	3.90	3.31
H	6-1/2	6.40	5.97	5.68	5.22	4.18	3.41	8.72	8.19	7.75	7.40	6.06	5.15
H	9	9.35	8.72	8.30	6.98	4.80	3.92	12.7	12.0	11.3	9.89	7.00	5.91
H	12	12.8	11.9	11.4	10.1	7.69	6.28	17.4	16.4	15.5	14.3	11.2	9.50
M	15	15.5	15.1	15.1	13.4	11.5	9.47	21.1	20.7	20.6	19.0	16.6	14.3
M	20	20.2	19.7	19.5	16.8	14.4	11.9	27.5	27.0	26.6	24.0	20.8	17.9
M	25	25.2	24.6	24.4	20.5	16.9	13.9	34.3	33.7	33.2	29.1	24.4	21.0
M	30	30.4	29.7	29.4	24.3	19.5	16.1	41.4	40.7	40.1	34.6	28.3	24.3

Fuente: Catálogo 201 (S1) – Sporlan

Túnel de congelados

$$q = 35,789.45 \text{ BTU/hr} = 2.98 \text{ TR}$$

Se debe de conocer la caída de presión a través de la VET que resulta de restar la presión de alta y la presión de baja (ver figura 3.6)

$$\Delta P = P_{alta} - P_{baja}$$

$$\Delta P = 230 \text{ psi}$$

Usando la tabla C.1 se calcula el valor de FC_T interpolando entre los valores de 30°C y 40°C para hallar el valor a una temperatura de 37°C, obteniendo:

$$FC_T = 1.063$$

Usando la tabla C.2 se calcula el valor de FC_p interpolando entre los valores de 225 psi y 250 psi para hallar el valor a una caída de presión de 230 psi, obteniendo:

$$FC_p = 1.23$$

Estos factores deben de dividir a la carga frigorífica, obteniendo un valor de:

$$C_{\text{tabla}} = 2.28$$

Usando la tabla C.3 se interpola los valores de capacidad para temperaturas de -20°C a -30°C rango en el que se encuentra la temperatura de evaporación del túnel de congelados (-24°C). Por lo que se elige la válvula SSE-3SZ

Cámara de enfriados

$$q = 6,946.16 \text{ BTU/hr} = 0.58 \text{ TR}$$

Se debe de conocer la caída de presión a través de la VET que resulta de restar la presión de alta y la presión de baja (ver figura 3.10)

$$\Delta P = P_{\text{alta}} - P_{\text{baja}}$$

$$\Delta P = 178 \text{ psi}$$

Usando la tabla C.1 se calcula el valor de FC_T interpolando entre los valores de 30°C y 40°C para hallar el valor a una temperatura de 37°C , obteniendo:

$$FC_T = 1.063$$

Usando la tabla C.2 se calcula el valor de FC_p interpolando entre los valores de 175 psi y 200 psi para hallar el valor a una caída de presión de 178 psi, obteniendo:

$$FC_p = 1.19$$

Estos factores deben de dividir a la carga frigorífica, obteniendo un valor de:

$$C_{\text{tabla}} = 0.46$$

Usando la tabla C.3 se interpola los valores de capacidad para temperaturas de 0°C a -10°C rango en el que se encuentra la temperatura de evaporación del túnel de congelados (-2°C). Por lo que se elige la válvula SSE-1/2-SC.

ANEXO D
CATÁLOGO DE LOS EQUIPOS SELECCIONADOS

Dados de Desempenho - Baixa Temperatura - R404A em 60hz - (Para 50hz mutiplicar por 0,833)
Datos de Desempeño - Baja Temperatura - R-404A em 60hz - (Para 50hz multiplicar por 0,833)

Modelo	Compr.	HP	Temperatura Externa		Temperaturas de Evaporação/ Temperaturas de Evaporación						
					-10	-15	-20°C	-25°C	-30°C	-35°C	-40°C
BS*0202L6	2EC-2.2Y	2	32°C	Q	5360	4620	3880	3140	2470	1880	1380
				P	3,3	2,9	2,5	2,2	1,9	1,7	1,3
			35°C	Q	-	4420	3690	2960	2320	1760	1280
				P	-	2,9	2,5	2,2	1,9	1,7	1,3
			38°C	Q	-	-	3490	2780	2150	1620	1150
				P	-	-	2,6	2,3	1,9	1,7	1,4
43°C	Q	-	-	-	2470	1900	1370	980			
	P	-	-	-	2,3	2,0	1,6	1,3			
BS*0300L6	2CC-3.2Y	3	32°C	Q	7700	6710	5720	4730	3890	3010	2180
				P	3,3	3,1	2,8	2,5	2,2	2,0	1,7
			35°C	Q	-	6520	5430	4340	3460	2650	1870
				P	-	3,3	2,9	2,6	2,3	2,0	1,7
			38°C	Q	-	-	5140	4010	3000	2290	1570
				P	-	-	3,0	2,7	2,3	2,1	1,7
43°C	Q	-	-	-	3730	2610	-	-			
	P	-	-	-	2,8	2,0	-	-			
BS*0302L6	4FC-3.2Y	3,2	32°C	Q	8260	7330	6400	5470	4490	3520	2620
				P	4,5	4,2	3,9	3,5	3,2	2,7	2,3
			35°C	Q	-	7310	6140	4970	4100	3220	2400
				P	-	4,2	3,9	3,6	3,3	2,9	2,5
			38°C	Q	-	-	5800	4490	3560	2790	2080
				P	-	-	4,0	3,2	2,9	2,6	2,2
43°C	Q	-	-	5470	4110	3120	2300	1710			
	P	-	-	4,1	2,6	2,2	2,0	1,7			
BS*0400L6	4EC-4.2Y	4	32°C	Q	10770	9310	7850	6390	5080	3910	2900
				P	5,3	5,1	4,8	4,9	4,4	3,9	3,4
			35°C	Q	-	8820	7420	6020	4780	3660	2680
				P	-	5,1	4,8	4,5	4,1	3,6	3,1
			38°C	Q	-	-	6980	5650	4470	3410	2460
				P	-	-	4,9	4,0	3,6	3,2	2,8
43°C	Q	-	-	-	-	3970	3000	2120			
	P	-	-	-	-	2,8	2,5	2,2			
BS*0500L6	4DC-5.2Y	5	32°C	Q	12430	10750	9070	7390	5860	4510	3320
				P	7,2	6,5	5,8	5,1	4,4	3,7	3,0
			35°C	Q	-	10240	8650	7060	5570	4310	3160
				P	-	6,5	5,8	5,1	4,4	3,7	3,0
			38°C	Q	-	-	8130	6640	5170	4020	2930
				P	-	-	5,9	5,2	4,5	3,7	3,0
43°C	Q	-	-	7260	5920	4480	3520	-			
	P	-	-	6,1	5,3	4,7	3,7	-			
BS*0600L6	4CC-6.2Y	6	32°C	Q	14444	12474	10660	8970	7120	5590	4210
				P	9,9	8,8	8,0	7,5	6,9	6,4	5,9
			35°C	Q	-	11717	10070	8300	6700	5240	3920
				P	-	9,0	8,1	7,5	6,9	6,4	5,9
			38°C	Q	-	-	-	7810	6280	4880	3620
				P	-	-	-	5,6	4,9	4,4	3,8
43°C	Q	-	-	-	-	-	-	3130			
	P	-	-	-	-	-	-	3,9			
BS*0800L6	4TC-8.2Y	8	32°C	Q	18533	15677	13448	11064	9057	7234	5549
				P	10,0	8,9	8,5	7,4	6,9	6,4	5,9
			35°C	Q	17307	14618	12656	10409	8109	6358	4876
				P	10,2	9,1	8,5	7,4	6,2	5,2	4,6
			38°C	Q	-	13565	11862	9657	7267	5488	4206
				P	-	9,2	8,6	7,5	6,5	5,6	4,6
43°C	Q	-	-	-	8638	6421	4737	3549			
	P	-	-	-	7,5	6,3	5,3	4,1			
BS*1202L6	4NC-12.2Y	12	32°C	Q	27104	22662	18600	15300	12280	9580	7170
				P	13,3	11,9	11,6	10,0	8,2	7,1	5,8
			35°C	Q	25423	21213	17580	14480	11600	9030	6710
				P	13,6	12,1	11,8	10,2	8,3	7,1	5,8
			38°C	Q	-	-	-	13630	10920	8470	6260
				P	-	-	-	10,3	8,4	7,2	5,8
43°C	Q	-	-	-	-	-	7580	5560			
	P	-	-	-	-	-	7,4	5,9			
BS*1502L6	4H-15.2Y	15	32°C	Q	34110	28794	23670	19660	16190	12620	9600
				P	19,2	17,2	16,4	14,3	12,0	10,3	8,6
			35°C	Q	32003	26961	22350	18550	15240	11830	8950
				P	19,7	17,5	16,7	14,5	12,1	10,4	8,6
			38°C	Q	-	25118	21040	17450	14300	11050	8310
				P	-	17,9	17,0	14,7	12,3	10,4	8,5
43°C	Q	-	-	-	-	-	9740	7220			
	P	-	-	-	-	-	10,5	8,5			

CATÁLOGO DEL EVAPORADOR DEL TÚNEL DE CONGELADOS



Evaporador de ar forçado médio perfil
Modelo FM



Evaporador de aire forzado medio perfil
Modelo FM

Capacidade DT* - 60 Hz / Capacidad DT - 60 Hz
6 aletas por polegada / 6 aletas por pulgada

(Para 60 Hz multiplicar por 0,87)

DT	Capacidades Kcal/h-DT - 6°C											Dados dos Ventiladores/ Datos de los Ventiladores			
	Temperatura de Evaporação/ Temperatura de Evaporación											Vazão/ Caudal (m³/h)	Ventiladores	Diâmetro/ Diámetro (mm)	Fluxo de ar/ Flujo de aire (m)
	10°C	5°C	0°C	-5°C	-10°C	-15°C	-20°C	-25°C	-30°C	-35°C	-40°C				
FMA109 FME109	4.115	3.910	3.704	3.211	3.002	2.984	2.875	2.789	2.703	2.475	2.205	4.109	1	400	20
FMA151 FME151	5.032	4.885	4.644	4.443	4.292	4.140	3.978	3.870	3.751	3.438	3.048	3.902	1	400	20
FMA206 FME206	7.754	7.366	6.977	6.032	5.827	5.610	5.405	5.243	5.092	4.659	4.140	8.217	2	400	20
FMA280 FME280	9.493	9.018	8.543	8.259	7.978	7.686	7.394	7.178	6.982	6.378	5.664	7.804	2	400	20
FMA335 FME335	11.545	10.973	10.400	9.848	9.502	9.167	8.821	8.562	8.302	7.599	6.796	12.326	3	400	20
FMA421 FME421	14.245	13.532	12.820	12.388	11.966	11.523	11.091	10.767	10.453	9.567	8.497	11.707	3	400	20
FMA464 FME464	16.146	15.336	14.526	13.664	13.188	12.713	12.237	11.869	11.523	10.540	9.372	15.013	4	400	20
FMA562 FME562	18.997	18.047	17.096	16.518	15.945	15.372	14.799	14.356	13.934	12.745	11.329	13.940	4	400	20
FMA670 FME670	22.475	21.352	20.228	19.696	19.015	18.323	17.642	17.112	16.604	15.199	13.513	16.392	5	400	20

Capacidade DTML - 60 Hz / Capacidad DTML - 60 Hz
6 aletas por polegada / 6 aletas por pulgada

(Para 60 Hz multiplicar por 0,87)

DTML	Capacidades Kcal/h-DT - 6°C											Dados dos Ventiladores/ Datos de los Ventiladores			
	Temperatura de Evaporação/ Temperatura de Evaporación											Vazão/ Caudal (m³/h)	Ventiladores	Diâmetro/ Diámetro (mm)	Fluxo de ar/ Flujo de aire (m)
	10°C	5°C	0°C	-5°C	-10°C	-15°C	-20°C	-25°C	-30°C	-35°C	-40°C				
FMA109 FME109	5.180	5.050	4.920	4.580	4.510	4.450	4.300	4.350	4.300	4.120	3.870	4.109	1	400	20
FMA151 FME151	5.720	5.640	5.500	5.380	5.330	5.260	5.200	5.160	5.120	4.910	4.620	3.902	1	400	20
FMA206 FME206	10.000	9.750	9.490	8.820	8.710	8.590	8.460	8.380	8.300	7.930	7.430	8.217	2	400	20
FMA280 FME280	11.090	10.810	10.520	10.340	10.230	10.090	9.960	9.880	9.790	9.390	8.830	7.804	2	400	20
FMA335 FME335	15.060	14.670	14.280	13.900	13.720	13.530	13.360	13.220	13.090	12.510	11.740	12.326	3	400	20
FMA421 FME421	16.630	16.210	15.780	15.510	15.330	15.140	14.960	14.820	14.700	14.090	13.250	11.707	3	400	20
FMA464 FME464	20.020	19.510	18.990	18.420	18.290	17.960	17.720	17.560	17.390	16.630	15.630	15.013	4	400	20
FMA562 FME562	21.490	20.960	20.390	20.040	19.820	19.580	19.340	19.180	19.020	18.230	17.170	13.940	4	400	20
FMA670 FME670	25.510	24.860	24.200	23.880	23.620	23.330	23.040	22.850	22.650	21.730	20.470	16.392	5	400	20

*

NOTA:

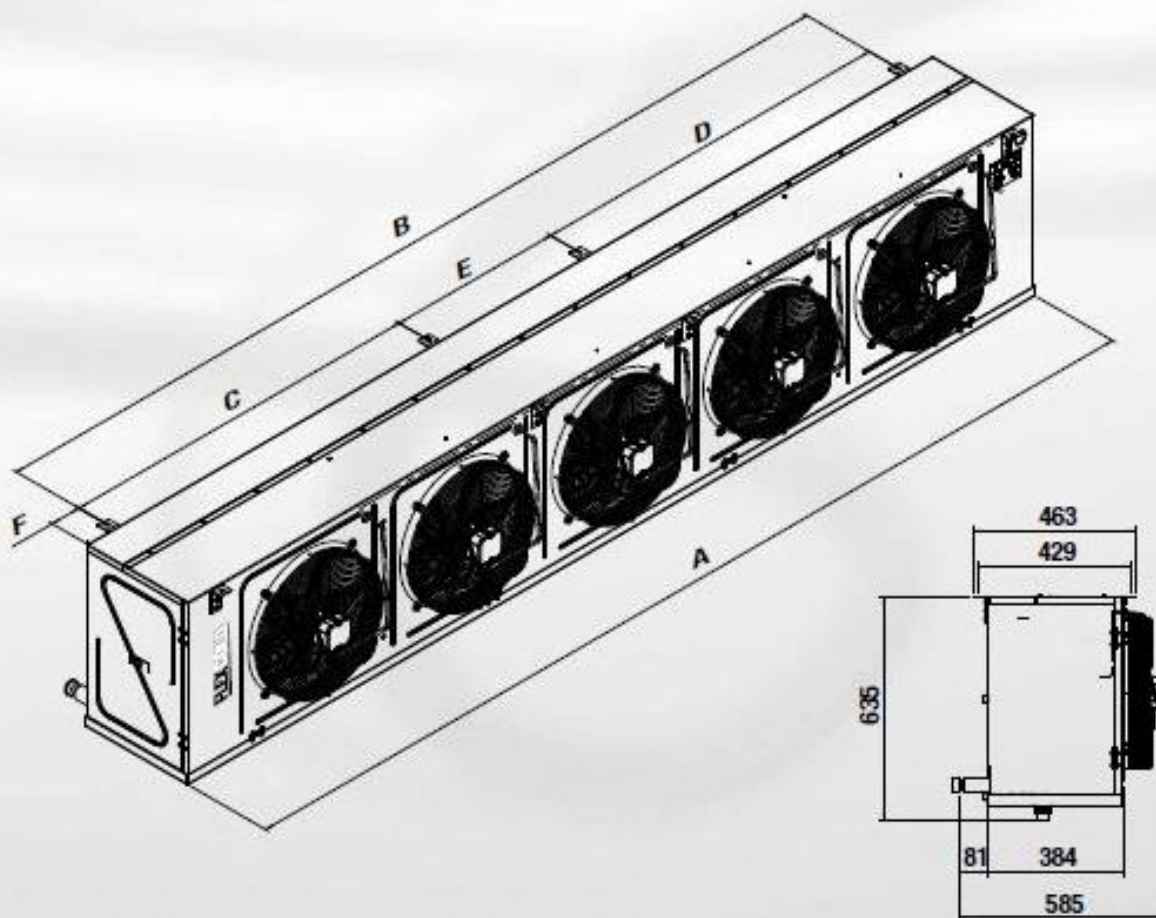
1. DT - temperatura interna - temperatura de evaporação
2. Capacidades baseadas em R22, R507 e R404a. Para capacidades com R134a, multiplicar por 0,9
3. Dados elétricos
4. Fluxo de ar baseada em altura de 5,5m de altura, sem obstruções e velocidade final de 0,25 m/s.

NOTA:

1. DT - temperatura interna - temperatura de evaporação
2. Capacidades baseadas em R22, R507 e R404a. Para capacidades com R134a, multiplicar por 0,9
3. Datos eléctricos
4. Flujo de aire basado en altura de 5,5m de altura, sin obstrucciones y velocidad final de 0,25 m/s.

Dados Dimensionais/Datos Dimensionales

Ventiladores	Modelo 8 Aletas por Polegada/Pulgada	Modelo 4 Aletas por Polegada/Pulgada	Dimensões/ Dimensiones (mm)						Embalado		
			A	B	C	D	E	F	Comprimento/ Longitud	Largura/ Ancho	Altura
1	FMA109	-	908	693	-	-	-	100	1040	721	840
1	FME109	-	908	693	-	-	-	100	1040	721	840
1	FMA151	FMA108	908	693	-	-	-	100	1040	721	840
1	FME151	FME108	908	693	-	-	-	100	1040	721	840
2	FMA205	FMA178	1558	1343	-	-	-	100	1680	721	840
2	FME205	FME178	1558	1343	-	-	-	100	1680	721	840
2	FMA280	FMA238	1558	1343	-	-	-	100	1680	721	840
2	FME280	FME238	1558	1343	-	-	-	100	1680	721	840
3	FMA335	FMA270	2208	1992	-	-	-	100	2310	721	840
3	FME335	FME270	2208	1992	-	-	-	100	2310	721	840
3	FMA421	FMA356	2208	1992	-	-	-	100	2310	721	840
3	FME421	FME356	2208	1992	-	-	-	100	2310	721	840
4	FMA464	FMA400	2857	-	1342	1300	-	100	2970	721	840
4	FME464	FME400	2857	-	1342	1300	-	100	2970	721	840
4	FMA562	FMA475	2857	-	1342	1300	-	100	2970	721	840
4	FME562	FME475	2857	-	1342	1300	-	100	2970	721	840
5	FMA670	FMA572	3191	-	1205	1200	570	100	3330	721	840
5	FME670	FME572	3191	-	1205	1200	570	100	3330	721	840



CATÁLOGO UNIDAD CONDENSADORA DE LA CÁMARA DE ENFRIADOS



Unidade Condensadora Hermética

Modelo Flex



Unidad condensadora Hermética
Modelo Flex

Especificações Técnicas - Unidades Condensadoras Modelos R22/HP81

Especificaciones Técnicas - Unidades Condensadoras Modelos R22/HP81

Modelo	Dimensões Externas sem Embalagem Dimensiones Externas sin Embalaje			Dimensões Externas com Embalagem Dimensiones Externas con Embalaje			Dados Mecânicos Datos Mecánicos			Peso Líquido Peso Neto (kg)	Peso Bruto	Ventiladores			Nível de Ruído a 5m ** Nível de ruído A 5 m **
	Largura Largo (A) (mm)	Profund. Ancho (B) (mm)	Altura (C) (mm)	Largura Largo (A) (mm)	Profund. Ancho (B) (mm)	Altura (C) (mm)	Conexões / Conexiones		Tanque de Líquido Recibidor de Líquido 90% Cheio / Lleno (kg)						
							Líquido Flare Pot.	Sucção Sucção SWT (Ext.) Pol.				Díam. Díam.	Quant. Cant.	Vazão De Ar Caudal De Aire	
FLEX125H2*	643	480	483	703	630	628	3/8	3/8	3,5	44	55	300	1	1555	62
FLEX150H2*	643	480	483	703	630	628	3/8	3/8	3,5	45	56	300	1	1555	64
FLEX175H2*	643	480	483	703	630	628	3/8	3/8	3,5	47	58	300	1	1555	67
FLEX225H2*	760	500	535	820	640	680	3/8	5/8	3,5	52	66	450	1	4251	68
FLEX250H2*	760	500	535	820	640	680	3/8	5/8	3,5	52	66	450	1	4251	68
FLEX275H2	851	520	638	911	670	783	1/2	5/8	5,8	71	88	450	1	4995	69
FLEX300H2	851	520	638	911	670	783	1/2	3/4	5,8	71	88	450	1	4995	69
FLEX350H2	851	520	638	911	670	783	1/2	3/4	5,8	72	89	450	1	4995	69
FLEX450H2	931	554	638	991	704	783	1/2	3/4	5,8	78	95	500	1	5090	69
FLEX500H2	931	554	638	991	704	783	1/2	7/8	5,8	80	99	500	1	5090	69
FLEX600H2	931	554	638	991	704	783	1/2	7/8	5,8	87	106	500	1	5090	69

Unidades Condensadoras Modelos R404 A

Unidades Condensadoras Modelos R404 A

Modelo	Dimensões Externas sem Embalagem Dimensiones Externas sin Embalaje			Dimensões Externas com Embalagem Dimensiones Externas con Embalaje			Dados Mecânicos Datos Mecánicos			Peso Líquido Peso Neto (kg)	Peso Bruto	Ventiladores			Nível de Ruído a 5m ** Nível de ruído A 5 m **
	Largura Largo (A) (mm)	Profund. Ancho (B) (mm)	Altura (C) (mm)	Largura Largo (A) (mm)	Profund. Ancho (B) (mm)	Altura (C) (mm)	Conexões / Conexiones		Tanque de Líquido Recibidor de Líquido 90% Cheio / Lleno (kg)						
							Líquido Flare Pot.	Sucção Sucção SWT (Ext.) Pol.				Díam. Díam.	Quant. Cant.	Vazão de ar Caudal de aire	
FLEX125X6*	643	480	483	703	630	628	3/8	3/8	3,5	44	55	300	1	1555	64
FLEX150X6*	643	480	483	703	630	628	3/8	3/8	3,5	45	56	300	1	1555	64
FLEX200X6*	760	490	494	820	640	680	3/8	3/4	3,5	54	68	450	1	4251	67
FLEX250X6*	760	490	494	820	640	680	3/8	3/4	3,5	54	68	450	1	4251	70
FLEX300X6*	760	490	494	820	640	680	3/8	3/4	3,5	55	69	450	1	4251	70
FLEX350X6	851	520	638	911	670	783	1/2	3/4	5,8	71	88	450	1	4995	69
FLEX400X6	851	520	638	911	670	783	1/2	3/4	5,8	71	88	450	1	4995	72
FLEX500X6	931	554	638	991	704	643	1/2	3/4	5,8	80	99	500	1	5090	69
FLEX600X6	931	554	638	991	704	643	1/2	3/4	5,8	81	99	500	1	5090	69

**Valores a serem descontados para diferentes distâncias:

**Valores a ser descontados para diferentes distâncias:

Distância / Distancia	5m	10m	15	20
Reduzir / Reducir	0 db (A)	6 db (A)	10 db (A)	12 db (A)

* Modelos com condensador 100% em alumínio.

* Modelos con condensador 100% en aluminio.

Os dados de ruído acima são típicos para "campo aberto", unidades condensadoras restritas a ar com fluxo horizontal - o nível de ruído é considerado na descarga do ar. Fatores como paredes próximas, ruídos de fundo e outras condições de montagem podem influenciar significativamente o nível de ruído.

Los datos de ruido arriba son típicos para "campo abierto", unidades condensadoras entradas a aire con flujo horizontal - el nivel de ruido es considerado en la descarga de aire. Factores como paredes próximas, ruidos de fondo y otras condiciones de montaje pueden influenciar significativamente el nivel de ruido.

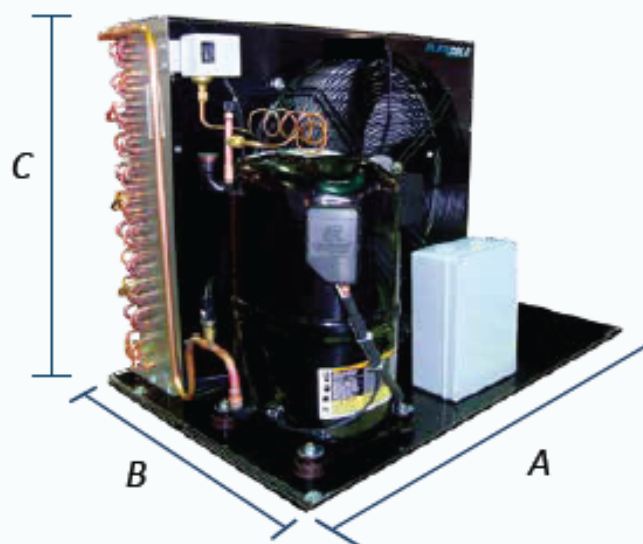
Correção das temperaturas ambiente em função da altitude

Corrección de las temperaturas ambiente en función de la altitud

Altitude Altitud	Somar na temperatura ambiente °C/ Somar en la temperatura ambiente °C
1000	1
2000	3
3000	5
4000	7
5000	10

Temperatura externa de 25°C e altitude de 4000m, somando 25+7=32°C - é com esse valor de temperatura externa que a capacidade deve ser selecionada.

Temperatura externa de 25°C y altitud de 4000m, somando 25+7=32°C - es con ese valor de temperatura externa que la capacidad debe ser seleccionada.



Dados Elétricos

Datos Eléctricos

Unidades Condensadoras Modelos R22/HP81

Modelo	Compressor Compressor	Compressor / Compressor				
		Volts	Fases	HZ	FLA	LRA
FLEX125H2B	WJ9460E-2	220	1	60	4,78	29
FLEX150H2B	RST70C1E-PPV	220	1	60	7,7	46
FLEX150H2C	RST70C1E-TA5	220	3	50/60	5,5	36
FLEX175H2B	CK20K3-PPV	220	1	60	10,1	54
FLEX175H2C	CR18K8-TF5	220	3	50/60	5,5	40
FLEX175H2D	CR18K8-TFD	380	3	50/60	3,5	18
FLEX225H2B	CK24K3-PPV	220	1	60	13,5	71
FLEX225H2C	CR24K8M-TF5	220	3	50/60	9,3	55
FLEX225H2D	CR24K8M-TFD	380	3	50/60	4,3	26
FLEX250H2B	CK27K3-PPV	220	1	60	15	70,5
FLEX250H2C	CR28K8-TF5	220	3	50/60	9,8	64
FLEX250H2D	CR28K8-TFD	380	3	50/60	4,7	31
FLEX275H2B	CK30K3-PPV	220	1	60	17	83
FLEX300H2B	CR34K8M-PPV	220	1	60	20	88
FLEX300H2C	CR34K8M-TF5	220	3	50/60	10,7	77
FLEX300H2D	CR34K8M-TFD	380	3	50/60	5,7	45
FLEX350H2B	CR37K8M-PPV	220	1	60	18,9	86
FLEX350H2C	CR37K8M-TF5	220	3	50/60	11,6	100
FLEX350H2D	CR37K8M-TFD	380	3	50/60	6,9	45
FLEX450H2B	CR47KQM-PPV	220	1	60	26,1	115
FLEX450H2C	CR47KQM-TF5	220	3	50/60	18,4	125
FLEX450H2D	CR47KQM-TFD	380	3	50/60	7,9	51
FLEX500H2C	CR53KQM-TF5	220	3	50/60	20	135
FLEX500H2D	CR53KQM-TFD	380	3	50/60	9,9	60
FLEX600H2B	CR62KQM-PPV	220	1	60	35	155
FLEX600H2C	CR62KQM-TF5	220	3	50/60	23,4	125
FLEX600H2D	CR62KQM-TFD	380	3	50/60	10,7	50

Unidades Condensadoras Modelo R404 A

Modelo	Compressor Compressor	Compressor / Compressor				
		Volts	Fases	HZ	FLA	LRA
FLEX125X8B	RST6C1E-CAV	220	1	60	6,9	37
FLEX150X8B	RST70C1E-PPV	220	1	60	7,7	46
FLEX150X8C	RST70C1E-TA5	220	3	50/60	5,5	36
FLEX200X8B	CS10K8E-PPV	220	1	50/60**	9,8	56
FLEX200X8C	CS10K8E-TF5	220	3	50/60	6,7	51
FLEX250X8B	CS12K8E-PPV	220	1	50/60**	9,8	56
FLEX250X8C	CS12K8E-TF5	220	3	50/60	6,7	51
FLEX300X8B	CS14K8E-PPV	220	1	50/60**	11,2	61
FLEX300X8C	CS14K8E-TF5	220	3	50/60	8,2	55
FLEX300X8D	CS14K8E-TFD	380	3	50/60	4,7	26
FLEX350X8B	CS18K8E-PPV	220	1	50/60**	14,4	82
FLEX350X8C	CS18K8E-TF5	220	3	50/60	9,4	66
FLEX350X8D	CS18K8E-TFD	380	3	50/60	3,9	33
FLEX400X8B	CS20K8E-PPV	220	1	50/60**	16,7	96
FLEX400X8C	CS20K8E-TF5	220	3	50/60	10,3	75
FLEX400X8D	CS20K8E-TFD	380	3	50/60	5,1	40
FLEX500X8B	CS27K8E-PPV	220	1	50/60**	21,5	95
FLEX500X8C	CS27K8E-TF5	220	3	50/60	13,7	82
FLEX500X8D	CS27K8E-TFD	380	3	50/60	7,8	41
FLEX600X8B	CS33K8E-PPV	220	1	50/60**	27,8	125
FLEX600X8C	CS33K8E-TF5	220	3	50/60	18,6	90
FLEX600X8D	CS33K8E-TFD	380	3	50/60	8,8	45

** Para aplicação em 50Hz consultar o fabricante

** Para aplicación en 50Hz consultar al fabricante

Dados de Capacidade - R404A

Datos de Capacidad - R404A

Modelo	Temp. Externa		Temp. de Evaporación / Temp de Evaporación						
			-1°C	-6°C	-10°C	-15°C	-20°C	-26°C	-30°C
FLEX125X6*	32°C	Q	2250	2060	1750	1370	930	570	400
		P	1,04	0,99	0,91	0,78	0,60	0,43	0,38
	35°C	Q	2120	1940	1650	1290	870	540	380
		P	1,06	1,00	0,91	0,78	0,60	0,43	0,37
	38°C	Q	1990	1830	1550	1220	820	510	350
		P	1,07	1,01	0,91	0,79	0,60	0,42	0,36
43°C	Q	1630	1510	1260	940	650	510	320	
	P	1,09	1,01	0,89	0,73	0,59	0,45	0,37	
FLEX150X6*	32°C	Q	2610	2360	2000	1630	1270	960	640
		P	1,21	1,14	1,04	0,93	0,82	0,72	0,60
	35°C	Q	2460	2220	1890	1540	1200	900	600
		P	1,23	1,15	1,04	0,94	0,82	0,71	0,58
	38°C	Q	2310	2090	1780	1450	1130	850	560
		P	1,24	1,16	1,05	0,94	0,83	0,70	0,58
43°C	Q	1920	1740	1480	1200	890	640	480	
	P	1,25	1,16	1,05	0,93	0,81	0,68	0,56	
FLEX200X6*	32°C	Q	4060	3590	2970	2330	1670	1150	790
		P	1,54	1,45	1,33	1,19	1,04	0,88	0,72
	35°C	Q	3830	3390	2800	2200	1580	1080	740
		P	1,57	1,47	1,35	1,19	1,03	0,87	0,71
	38°C	Q	3600	3190	2630	2060	1480	1020	700
		P	1,59	1,49	1,35	1,19	1,02	0,85	0,70
43°C	Q	3250	2860	2320	1760	1200	770	580	
	P	1,61	1,51	1,36	1,19	0,98	0,82	0,67	
FLEX250X6*	32°C	Q	4590	4090	3370	2660	1990	1440	940
		P	1,83	1,69	1,51	1,35	1,17	1,00	0,80
	35°C	Q	4330	3860	3180	2510	1880	1350	890
		P	1,84	1,71	1,53	1,36	1,17	0,99	0,79
	38°C	Q	4070	3630	2990	2360	1770	1270	840
		P	1,88	1,72	1,54	1,36	1,16	0,97	0,78
43°C	Q	3780	3310	2680	2070	1490	1050	790	
	P	1,91	1,75	1,55	1,35	1,15	0,94	0,75	
FLEX300X6*	32°C	Q	5050	4490	3830	3150	2450	1880	1430
		P	2,14	2,00	1,82	1,61	1,41	1,22	1,02
	35°C	Q	4760	4240	3620	2970	2310	1780	1350
		P	2,17	2,05	1,83	1,62	1,42	1,21	1,02
	38°C	Q	4480	3980	3400	2790	2170	1670	1270
		P	2,19	2,06	1,85	1,63	1,41	1,21	1,02
43°C	Q	4140	3700	3110	2520	1940	1470	1110	
	P	2,22	2,07	1,86	1,64	1,41	1,19	1,01	
FLEX350X6	32°C	Q	7680	6690	5160	4130	3280	2360	1780
		P	2,37	2,31	2,15	1,91	1,67	1,43	1,20
	35°C	Q	7240	6310	4870	3900	3090	2230	1680
		P	2,43	2,33	2,17	1,94	1,68	1,42	1,19
	38°C	Q	6810	5940	4570	3660	2910	2100	1580
		P	2,51	2,39	2,19	1,94	1,67	1,42	1,18
43°C	Q	5960	5180	3970	3140	2460	1760	1330	
	P	2,58	2,42	2,22	1,94	1,66	1,37	1,13	
FLEX400X6	32°C	Q	8400	7310	5560	4470	3670	2750	2070
		P	2,92	2,66	2,42	2,16	1,92	1,67	1,39
	35°C	Q	7930	6890	5250	4220	3460	2600	1960
		P	2,97	2,74	2,42	2,17	1,92	1,66	1,36
	38°C	Q	7450	6480	4940	3970	3250	2440	1840
		P	3,03	2,75	2,46	2,17	1,92	1,65	1,32
43°C	Q	6470	5600	4230	3320	2590	1850	1390	
	P	3,05	2,80	2,47	2,16	1,88	1,56	1,20	
FLEX500X6	32°C	Q	11140	9600	7760	6070	4640	3550	2680
		P	3,77	3,69	3,29	2,92	2,54	2,17	1,88
	35°C	Q	10510	9050	7320	5730	4380	3350	2530
		P	3,96	3,75	3,35	2,96	2,55	2,17	1,85
	38°C	Q	9870	8510	6880	5390	4120	3150	2380
		P	4,05	3,91	3,43	2,98	2,56	2,15	1,83
43°C	Q	8900	7560	5940	4540	3460	2680	2020	
	P	4,15	4,00	3,48	2,99	2,52	2,07	1,70	
FLEX600X6	32°C	Q	12470	10920	9010	7210	5580	4280	3220
		P	4,67	4,36	4,05	3,63	3,14	2,66	2,19
	35°C	Q	11760	10300	8500	6800	5270	4030	3040
		P	4,81	4,45	4,10	3,63	3,14	2,64	2,18
	38°C	Q	11050	9680	7990	6400	4950	3790	2860
		P	4,94	4,67	4,14	3,64	3,12	2,61	2,14
43°C	Q	10050	8670	6950	5390	4050	3030	2290	
	P	5,16	4,72	4,19	3,64	3,03	2,52	2,05	

Notas:

Q = Capacidade (kcal/h) e P = Potência consumida (kW)

As capacidades são baseadas nas seguintes condições:

-Temperatura de sucção: 18,3°C

-Sub-resfriamento: 3,2°C

Notas:

Q = Capacidad (kcal/h) y P = Potencia consumida (kW)

Las capacidades son baseadas en las siguientes condiciones:

-Temperatura de succión: 18,3 °C

-Subenfriamiento: 3,2 °C

* Modelos con condensador 100% en aluminio.

* Modelos con condensador 200% en aluminio.

•Capacidade para Aplicação com Fluido Refrigerante R404A

•Capacidade em kcal/h das Unidades de Baixa em 60Hz

(para 50Hz multiplicar por 0,833)

•Capacidad para Aplicación con Fluido Refrigerante R404A

•Capacidad en kcal/h de las Unidades de Baja en 60Hz

(para 50Hz multiplicar por 0,833)

CATÁLOGO DE EVAPORADOR DE LA CÁMARA DE ENFRIADOS



Evaporador de ar forçado baixo perfil

com grade difusora e Koil Kote Gold

Modelo FBA



BOHN

McQUAY®

Evaporador de aire forzado bajo perfil
con rejilla difusora y Koil Kote Gold

Modelo FBA

Capacidade - Modelos FBA's - 60Hz (para 50Hz, multiplicar por 0,87)

Capacidad - Modelos FBA's - 60Hz (para 50Hz, multiplicar por 0,87)

DT

Modelo	Capacidade em kcal/h - Dt - 6°C/Capacidad en kcal/h - Dt - 6°C											Dados dos Ventiladores Datos de los Ventiladores			
	Temperatura de Evaporação/Temperatura de Evaporación											Vazão de ar Caudal de Aire (m³/h)	Qt. Cant.	Díam. (mm)	Flecha de ar Fujo de Aire (m)
	10°C	5°C	0°C	-5°C	-10°C	-15°C	-20°C	-25°C	-30°C	-35°C	-40°C				
Modelos FBA's - 4 aletas por polegada / 4 aletas por pulgada															
FBA4050E	1360	1300	1240	1160	1110	1090	1060	1020	990	960	920	835	1	254	13
FBA4080E	2110	2020	1920	1800	1720	1690	1640	1590	1540	1470	1410	1.800	2	254	13
FBA4090E	2400	2280	2170	2040	1940	1900	1860	1790	1730	1660	1600	1.654	2	254	13
FBA4110E	3000	2850	2700	2540	2420	2380	2290	2230	2160	2080	2010	2.591	3	254	13
FBA4140E	3960	3760	3550	3340	3180	3110	3030	2930	2840	2740	2650	2.489	3	254	13
FBA4160E	4550	4320	4100	3850	3680	3590	3490	3380	3270	3160	3030	3.460	4	254	13
FBA4180E	5140	4890	4640	4350	4150	4060	3950	3830	3710	3570	3430	3.324	4	254	13
FBA4210E	5880	5580	5280	4970	4740	4630	4510	4370	4230	4080	3920	4.328	5	254	13
FBA4240E	6650	6320	5990	5560	5180	5060	4930	4780	4620	4460	4290	4.159	5	254	13
FBA4320E	9060	8610	8160	7400	6540	6390	6230	6040	5840	5630	5410	5.194	6	254	13
FBA4370E	10460	9940	9410	8550	7550	7370	7190	6960	6740	6500	6250	4.994	6	254	13
FBA4450E	12550	11930	11300	10270	9070	8850	8630	8370	8090	7800	7500	6.630	8	254	13
FBA4540E	14980	14230	13490	12250	10830	10570	10310	9990	9660	9300	8950	7.550	9	254	13
Modelos FBA's - 6 aletas por polegada / 6 aletas por pulgada															
FBA6060E	1610	1530	1460	1380	1310	1280	1250	1210	1180	---	---	835	1	254	13
FBA6090E	2500	2390	2270	2130	2040	1990	1940	1880	1810	---	---	1.800	2	254	13
FBA6100E	2810	2680	2540	2380	2280	2230	2170	2100	2030	---	---	1.654	2	254	13
FBA6130E	3520	3340	3160	2970	2840	2770	2700	2610	2520	---	---	2.591	3	254	13
FBA6170E	4640	4400	4160	3910	3730	3640	3550	3440	3330	---	---	2.489	3	254	13
FBA6190E	5220	4960	4700	4420	4220	4120	4010	3890	3760	---	---	3.460	4	254	13
FBA6220E	6150	5840	5530	5190	4960	4840	4720	4570	4430	---	---	3.324	4	254	13
FBA6250E	6880	6530	6180	5830	5540	5410	5280	5110	4950	---	---	4.328	5	254	13
FBA6280E	7770	7390	7010	6510	6060	5920	5780	5590	5410	---	---	4.159	5	254	13
FBA6370E	10410	9890	9370	8510	7510	7330	7160	6930	6710	---	---	5.194	6	254	13
FBA6430E	12130	11520	10910	9910	8760	8550	8340	8070	7810	---	---	4.994	6	254	13
FBA6530E	14720	13980	13240	12030	10630	10370	10110	9800	9480	---	---	6.630	8	254	13
FBA6630E	17700	16820	15940	14480	12800	12500	12190	11800	11420	---	---	7.550	9	254	13

Nota:

São necessárias resistências de degelo para temperaturas de câmara abaixo de 2°C para FBA 6. Aplicações do FBA 4 aletas por polegada: fica condicionado o uso da resistência de degelo para câmaras com temperatura interna abaixo de 0°C.

1. Dt = temperatura interna - temperatura de evaporação.
2. Capacidades baseadas em R22, R507 e R404a. Para capacidades com R134a, multiplicar por 0,9.
3. Degelo natural ou elétrico (opcional).
4. Os evaporadores FBA com 6 aletas não são recomendados para temperaturas de câmara igual ou inferior a -30°C e túneis de congelamento.
5. Para os evaporadores FBA com 6 aletas por polegada, aplicados em baixa temperatura, o tempo de degelo apropriado e a umidade interna da câmara devem ser analisados.

Nota:

Son necesarias resistencias de deshielo para temperaturas de câmara abaixo de 2°C para FBA 6. Aplicaciones del FBA 4 aletas por pulgada: queda condicionado el uso de la resistencia de deshielo para câmaras con temperatura interna abajo de 0°C.

1. Dt = temperatura interna - temperatura de evaporação.
2. Capacidades baseadas em R22, R507 e R404a. Para capacidades com R134a, multiplicar por 0,9.
3. Deshielo natural o eléctrico (opcional).
4. Los Evaporadores FBA con 6 aletas no son recomendados para temperaturas de câmara igual o inferior a -30°C y túneles de congelamiento.
5. Para los Evaporadores FBA con 6 aletas por pulgada, aplicados en baja temperatura, el tiempo de deshielo apropiado y la humedad interna de la câmara deben ser analizados.

Dados Físicos - 4 e 6 aletas por polegada

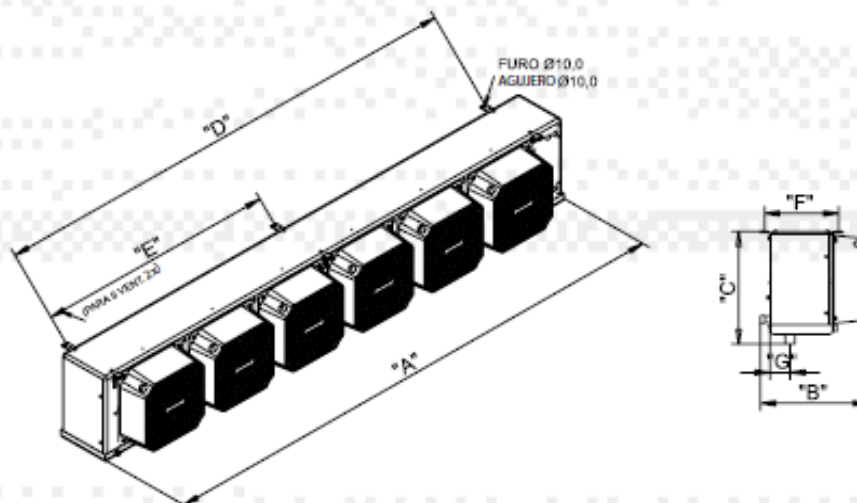
Datos Fisicos - 4 y 6 aletas por pulgada

Modelo		Conexões (polegada)/Conexiones (pulgada)				Peso Líquido (Kg) Peso Neto (Kg)	Peso Bruto (Kg)	Carga de Refrigerante (Kg)
		Linha/Línea		Equalizador Externo Equalizador Externo	Dreno Desagüe			
4 aletas pol./ pul.	6 aletas pol./ pul.	Líquido	Sucção/ Succión					
FBA4050E	FBA6060E	1/2	7/8	1/4	1" BSP	12	15	0,9
FBA4080E	FBA6090E	1/2	7/8	1/4	1" BSP	20	23	1,3
FBA4090E	FBA6100E	1/2	7/8	1/4	1" BSP	21	24	1,8
FBA4110E	FBA6130E	1/2	7/8	1/4	1" BSP	25	28	2,0
FBA4140E	FBA6170E	1/2	7/8	1/4	1" BSP	26	29	2,7
FBA4160E	FBA6190E	1/2	7/8	1/4	1" BSP	39	42	2,7
FBA4180E	FBA6220E	1/2	7/8	1/4	1" BSP	40	43	3,6
FBA4210E	FBA6250E	1/2	7/8	1/4	1" BSP	48	51	3,4
FBA4240E	FBA6280E	1/2	7/8	1/4	1" BSP	50	53	4,5
FBA4320E	FBA6370E	1/2	7/8	1/4	1" BSP	57	60	4,1
FBA4370E	FBA6430E	1/2	7/8	1/4	1" BSP	59	62	5,5
FBA4450E	FBA6530E	5/8	1 1/8	1/4	1" BSP	78	100	7,2
FBA4540E	FBA6630E	5/8	1 1/8	1/4	1" BSP	91	113	8,4

Dados Dimensionais

Datos Dimensionales

Modelo		Dimensões Dimensiones						
4 aletas pol./ pul.	6 aletas pol./ pul.	A	B	C	D	E	F	G
FBA4050E	FBA6060E	538	349	279	353	----	255,5	65
FBA4080E	FBA6090E	844	349	279	655	----	255,5	65
FBA4090E	FBA6100E	844	349	279	655	----	255,5	65
FBA4110E	FBA6130E	1170	349	279	983	----	255,5	65
FBA4140E	FBA6170E	1170	349	279	983	----	255,5	65
FBA4160E	FBA6190E	1498	349	279	1309	----	255,5	65
FBA4180E	FBA6220E	1498	349	279	1309	----	255,5	65
FBA4210E	FBA6250E	1827	349	279	1636	981	255,5	65
FBA4240E	FBA6280E	1827	349	279	1636	981	255,5	65
FBA4320E	FBA6370E	2153	349	279	1962	981	255,5	65
FBA4370E	FBA6430E	2153	349	279	1962	981	255,5	65
FBA4450E	FBA6530E	2808	349	279	1308	2616	255,5	65
FBA4540E	FBA6630E	3212	349	279	1022	3025	255,5	65



ANEXO E
DIMENSIONES DE LA TUBERÍA DE COBRE

Tabla D. 1. Dimensiones para distintos diámetros de tubería de cobre

Tabela 1		Dimensões de tubos de cobre						
Diámetro Nominal		Diámetros		Espessura da parede do tubo mm	Peso por metro de tubo Kg/m	Área interna do tubo mm ²	Área superficial por metro de comprimento	
in	mm	Exterior mm	Interior mm				Exterior m ²	Interior m ²
1/4	6	6,35	4,77	0,79	0,1239	18	0,02	0,0149
3/8	10	9,52	7,94	0,79	0,1946	50	0,03	0,0249
1/2	12	12,7	10,92	0,89	0,295	94	0,04	0,0343
5/8	15	15,58	13,84	1,02	0,424	151	0,05	0,0435
3/4	19	19,05	16,92	1,07	0,539	225	0,06	0,0531
7/8	22	22,23	19,94	1,14	0,677	312	0,07	0,0626
1 1/8	28	28,58	26,04	1,27	0,973	532	0,09	0,0818
1 3/8	35	34,93	32,13	1,40	1,316	811	0,11	0,1009
1 5/8	42	41,28	38,23	1,52	1,701	1148	0,13	0,1201
2 1/2	54	53,98	50,42	1,78	2,606	1997	0,17	0,1584
2 5/8	67	66,68	62,61	2,03	3,69	3079	0,209	0,1967
3 1/8	79	79,38	74,80	2,29	4,95	4395	0,249	0,2350
3 5/8	92	92,08	87,00	2,54	6,39	5944	0,289	0,2733
4 1/8	105	104,78	99,19	2,79	8,0	7727	0,329	0,3116
5 1/8	130	130,018	123,83	3,18	11,32	12041	0,409	0,3890
6 1/8	156	155,58	148,46	3,56	15,18	17311	0,489	0,4664

Fuente: ASHRAE HANDBOOK – HVAC System 1992

ANEXO F
REFRIGERANTES

Tabla E. 1. Nombres y fórmula química de los principales refrigerantes

No.	NOMBRE QUIMICO	FORMULA QUIMICA
Serie Metano		
10	Tetraclorometano (tetracloruro de carbono)	CCl ₄
11	Tricloromonofluorometano	CCl ₃ F
12	Diclorodifluorometano	CCl ₂ F ₂
13	Clorotrifluorometano	CClF ₃
20	Triclorometano (cloroforno)	CHCl ₃
21	Diclorofluorometano	CHCl ₂ F
22	Clorodifluorometano	CHClF ₂
23	Trifluorometano	CHF ₃
30	Diclorometano (cloruro de metileno)	CH ₂ Cl ₂
40	Clorometano (cloruro de metilo)	CH ₃ Cl
50	Metano	CH ₄
Serie Etano		
110	Hexacloroetano	CCl ₃ CCl ₃
113	1,1,2-triclorotrifluoroetano	CCl ₂ FCClF ₂
115	Cloropentafluoroetano	CClF ₂ CF ₃
123	2,2-Dicloro - 1,1,1-Trifluoroetano	CHCl ₂ CF ₃
134a	1,1,1,2-Tetrafluoroetano	CH ₂ F ₂ CF ₃
141b	1,1-Dicloro-1-fluoroetano	CH ₃ CCl ₂ F
150a	1,1-Dicloroetano	CH ₃ CHCl ₂
152a	1,1-Difluoroetano	CH ₃ CHF ₂
160	Cloroetano (cloruro de etilo)	CH ₃ CH ₂ Cl
170	Etano	CH ₃ CH ₃
Hidrocarburos		
290	Propano	CH ₃ CH ₂ CH ₃
600	Butano	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₃
600a	2-Metilpropano (isobutano)	CH(CH ₃) ₃
Compuestos Inorgánicos		
702	Hidrógeno	H ₂
704	Helio	He
717	Amoniaco	NH ₃
718	Agua	H ₂ O
720	Neón	Ne
728	Nitrógeno	N ₂
732	Oxígeno	O ₂
744	Bióxido de Carbono	CO ₂
764	Bióxido de Azufre	SO ₂
Mezclas Zeotrópicas		
400	R-12/114 (60/40)	
401A	R-22/152a/124 (53/13/34)	
401B	R-22/152a/124 (61/11/28)	
402A	R-22/125/290 (38/60/2)	
402B	R-22/125/290 (60/38/2)	
404A	R-125/143a/134a (44/52/4)	
407A	R-32/125/134a (20/40/40)	
407B	R-32/125/134A (10/70/20)	
407C	R-32/125/134a (23/25/52)	
408A	R-125/143a/22 (7/46/47)	
409A	R-22/124/142b (60/25/15)	
410A	R-32/125 (50/50)	
Mezclas Azeotrópicas		
500	R-12/152a (73.8/26.2)	
502	R22/115 (48.8/51.2)	
503	R-223/13 (40.1/59.9)	
507	R-125/143a (50/50)	

Fuente: Manual Técnico de Emerson

Tabla E. 2. Relación de presión – temperatura para varios refrigerantes

PRESION DE SATURACION		TEMPERATURA DE SATURACION (°C)								
kPa	psig	R-12	R-22	R-123	R-134a	R-170	R-404A	R-500	R-502	R-717
0	(29.9)	-102	-104	-73	---	---	---	---	---	---
17	(25)	-65	-73	-15	---	---	---	-68	---	-64
34	(20)	-53	-62	0.5	-47	---	---	-57	-67	-53
52	(15)	-45	-55	10	-40	-101	---	-48	-59	-46
69	(10)	-39	-49	17	-34	-96	---	-42	-54	-41
86	(5)	-34	-45	22	-29	-92	-49.4	-38	-49	-37
101.3	0	-29.8	-40.7	27.8	-26.1	-88.6	-46.1	-33.5	-45.4	-33.3
115	2	-26.7	-38	29.4	-22.8	-85.5	-43.3	-30.3	-42.6	-30.8
129	4	-23.9	-35.5	33.3	-20	-84	-40.5	-28.3	-40.1	-28.4
143	5	-22.8	-33.2	36.6	-17.8	-82	-39.4	-25.5	-37.8	-26.3
156	8	-19.0	-31.1	40.5	-15.5	-80.5	-36.1	-23	-35.6	-24.4
170	10	-16.8	-29	42.8	-13.8	-78.3	-34.4	-20.8	-33.6	-22.5
184	12	-14.7	-27.2	45.5	-11.6	-76.6	-32.8	-19.2	-31.8	-20.7
198	14	-12.8	-25.4	47.8	-10	-75	-30.6	-17.2	-30	-19.2
212	16	-10.9	-23.6	50	-8.3	-73.8	-28.9	-15.1	-28.3	-17.6
225	18	-9.2	-22.1	51.7	-6.6	-72.2	-27.8	-13.3	-26.6	-16.1
239	20	-7.5	-20.5	53.3	-5.5	-70.5	-26.1	-11.9	-25.1	-14.7
253	22	-5.9	-19	55.4	-3.9	-69.4	-24.4	-10.3	-23.7	-13.4
267	24	-4.2	-17.8	57.2	-2.2	-68.3	-23.3	-9	-22.3	-12.2
281	26	-3.1	-16.4	59	-1.1	-67.2	-22.2	-7.4	-21	-10.8
294	28	-1.3	-15	60.5	0.5	-66.1	-20.6	-5.9	-19.7	-9.7
308	30	0	-13.8	62	1.6	-64.8	-19.4	-4.6	-18.2	-8.6
322	32	1.3	-12.7	63.6	2.7	-64.1	-18.3	-3.3	-17.2	-7.5
336	34	2.5	-11.5	65.2	3.9	-63	-17.2	-2.2	-16.1	-6.4
350	36	3.9	-10.3	66.6	5	-62.2	-16.1	-1.1	-14.7	-5.3
363	38	5.3	-9.2	67.3	6.1	-60.9	-15	0	-13.6	-4.4
377	40	6.4	-8	69.4	7.2	-60.2	-13.9	1.4	-12.7	-3.4
391	42	7.5	-7.1	70.7	8.3	-58.9	-13.3	2.2	-11.7	-2.5
404	44	8.6	-5.8	72	9.4	-58.3	-12.2	3.3	-10.8	-1.6
418	46	9.7	-4.7	73.3	10.5	-57.5	-11.1	4.4	-9.8	-0.6
432	48	10.8	-4.2	74.5	11.6	-56.2	-10	5.6	-8.6	0.2
446	50	11.9	-3.3	75.7	12.2	-55.6	-8.9	6.8	-7.8	1
460	52	12.8	-2.3	77.2	13.1	-55	-8.3	7.4	-7	1.9
474	54	13.6	-1.4	78.6	14	-54.2	-7.2	8.4	-5.9	2.7
487	56	14.7	-0.8	80.0	14.8	-53.3	-6.7	9.6	-5.3	3.4
501	58	15.8	0.3	---	15.8	-52.3	-5.6	10.3	-4.2	4.3
515	60	16.6	1.2	---	16.6	-21.9	-5	11.1	-3.6	5
529	62	17.5	1.8	---	17.5	-51.1	-3.9	11.9	-2.5	5.7
543	64	18.5	2.5	---	18.4	-50.5	-3.3	12.8	-1.9	6.4
556	66	19.4	3.4	---	19.2	-49.8	-2.8	14.3	-0.9	6.9
570	68	20.2	4.2	---	19.8	-48.8	-1.7	14.5	-0.2	7.8
584	70	20.7	5	---	20.5	-48.2	-1.1	15.4	0.6	8.5

Presiones abajo de la atmosférica. () Pulgadas de mercurio.

Continúa tabla página siguiente...

PRESION DE SATURACION		TEMPERATURA DE SATURACION (°C)								
kPa	psig	R-12	R-22	R-123	R-134a	R-404A	R-170	R-500	R-502	R-717
598	72	21.9	5.7	88	21.4	0	-47.7	16.1	1.4	9.2
612	74	22.6	6.2	89	22.3	0.6	-46.7	17.2	2.1	9.8
625	76	23.5	7.2	90	23.1	0.8	-46.3	17.7	2.9	10.4
639	78	24.3	7.9	91	23.7	1.4	-45.7	18.4	3.5	11.1
653	80	25	8.6	92	24.4	2.8	-45	19.1	4.3	11.8
687	85	27	10	94	26	4	-44	21	6	13
722	90	29	12	---	28	6	-43	23	8	15
756	95	31	14	---	29	7	-41	24	9	16
791	100	32	15	---	31	9	-40	26	11	18
825	105	34	17	---	33	10	-38	28	13	19
860	110	36	18	---	34	11	-37	29	14	20
894	115	37	19	---	36	13	-35	31	15	21
929	120	39	21	---	37	14	-34	32	17	23
963	125	40	22	---	38	15	-33	34	18	24
998	130	42	23	---	39	16	-32	35	19	25
1,032	135	43	25	---	41	18	-31	36	20	26
1,067	140	44	26	---	42	19	-30	37	22	27
1,101	145	46	27	---	43	20	-39	39	23	28
1,136	150	47	28	---	44	21	-28	40	24	29
1,170	155	48	29	---	46	22	-27	41	25	30
1,204	160	50	30	---	47	23	-26	42	26	31
1,239	165	51	32	---	48	24	-25	44	27	32
1,273	170	52	33	---	49	26	-24	45	28	33
1,308	175	53	34	---	50	27	-23	46	30	34
1,342	180	54	35	---	51	28	-22	47	31	35
1,377	185	55	36	---	52	28	-21	49	32	36
1,411	190	57	37	---	53	29	-20	49	33	37
1,446	195	58	38	---	54	31	-19	50	34	37
1,480	200	59	39	---	55	31	-18	51	35	38
1,515	205	60	40	---	56	32	-18	52	36	39
1,549	210	61	40	---	56	33	-17	53	37	40
1,584	215	62	41	---	57	34	-16	54	38	41
1,618	220	63	42	---	58	35	-15	55	39	41
1,653	225	64	43	---	59	36	-14	56	39	42
1,687	230	65	44	---	60	37	-13	57	40	43
1,722	235	66	45	---	61	37	-13	58	41	44
1,756	240	67	46	---	62	38	-12	59	42	45
1,790	245	68	47	---	63	39	-11	60	43	45
1,825	250	69	47	---	64	40	-11	60	44	46
1,859	255	70	48	---	65	41	-10	61	45	47

Continúa tabla página siguiente...

PRESION DE SATURACION		TEMPERATURA DE SATURACION (°C)								
kPa	psig	R-12	R-22	R-123	R-134a	R-404A	R-170	R-500	R-502	R-717
1,894	260	72	49	---	66	42	-9	62	46	48
1,963	270	74	51	---	67	43	-8	63	47	49
2,032	280	75	52	---	68	44	-6	65	49	50
2,100	290	77	53	---	70	46	-5	67	50	51
2,170	300	79	55	---	71	47	-4	69	51	52
2,239	310	80	56	---	73	49	-3	70	53	54
2,308	320	82	58	---	74	50	-1	---	54	55
2,377	330	---	59	---	76	51	0	---	56	57
2,446	340	---	60	---	77	52	1	---	57	58
2,514	350	---	62	---	78	54	2	---	58	---
2,583	360	---	63	---	79	55	3	---	60	---
2,652	370	---	64	---	80	57	4	---	61	---
2,721	380	---	65	---	81	---	5	---	62	---
2,790	390	---	67	---	82	---	7	---	63	---
2,859	400	---	68	---	83	---	8	---	65	---

Fuente: Manual Técnico de Emerson

Tabla E. 3. Volumen específico a -15°C de varios refrigerantes

REFRIG. Nº	VOLUMEN ESPECIFICO (l/kg)	
	LIQUIDO v_f	VAPOR v_g
12	0.6925	91.1
22	0.7496	77.6
30	0.7491	3115.1
123	0.64	856.3
134a	0.7376	120
170	2.3098	33
502	0.7254	50
507	0.9704	51
717	1.4982	508.8
718	1	152,600

Fuente: Manual Técnico de Emerson

Tabla E. 4. Entalpía a -15°C de varios refrigerantes.

Refrigerante No.	Entalpía a -15°C (kcal/kg)		
	Líquido <i>hf</i>	Latente <i>hfg</i>	Vapor <i>hg</i>
12	5.33	37.89	43.22
22	6.53	51.78	58.31
30	0.94	90.05	91.00
123	6.66	43.87	50.53
134a	7.55	49.06	56.61
170	56.39	84.44	140.83
500	6.56	46.66	53.22
502	6.06	37.40	43.46
717	26.83	313.89	340.72
718*	4.47	595.17	599.64

Fuente: Manual Técnico de Emerson

Tabla E. 5. Código de colores para los contenedores de varios refrigerantes.

REFRIG. N°	COLOR
R-11	NARANJA
R-12	BLANCO
R-13	AZUL CLARO / BANDA AZUL OSCURO
R-22	VERDE
R-123	GRIS CLARO (PLATA)
R-134a	AZUL CLARO (CELESTE)
R-401A (MP-39)	ROJO-ROSADO (CORAL)
R-401B (MP-66)	AMARILLO-CAFE (MOSTAZA)
R-402A (HP-80)	CAFE CLARO (ARENA)
R-402B (HP-81)	VERDE ACEITUNA
R-404A (HP-62)	NARANJA
R-407C (AC-9000)	GRIS
R-500	AMARILLO
R-502	MORADO CLARO (ORQUIDEA)
R-503	AZUL-VERDE (ACQUA)
R-507 (AZ-50)	MARRON
R-717	PLATA

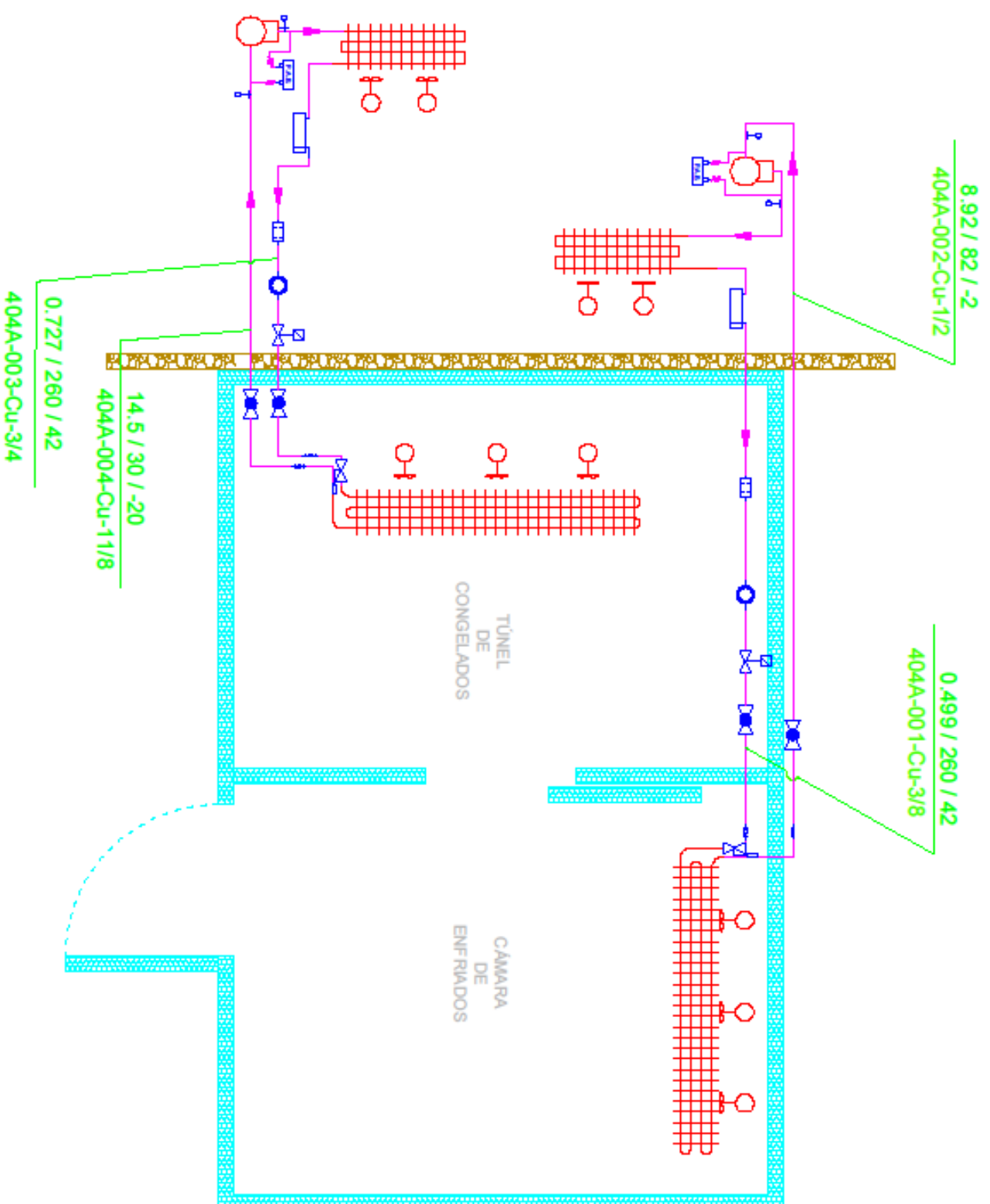
Fuente: Manual Técnico de Emerson

Tabla E. 6. Guía de aplicaciones de algunos refrigerantes.

REFRIG. ANTERIOR	REFRIGERANTE SUBSTITUTO				LUBRICANTE	APLICACION TIPICA	REEMPLAZO				
	NO. DE ASHRAE	NOMBRE COMERCIAL	FABRICANTE	TIPO			INTERINO	LARGO PLAZO			
R-11	R-123	Suva Centri-LP	DuPont	Compuesto Puro	Alquil Benceno o Aceite Mineral	*Enfriadores de Agua con Compresores Centrifugos.		X			
		Genetrón 123	Quimobásicos								
		Forane-123	Elf Atochem								
R-12	R-134a	Suva Cold MP	DuPont	Compuesto Puro	Poliol Ester	*Equipos Nuevos y Reacondicionamientos. *Refrigeración Doméstica y Comercial (Temp. de Evaporación arriba de -7 °C). *Aire Acond. Residencial y Comercial.		X			
		Genetrón 134a	Quimobásicos								
		Forane 134a	Elf Atochem								
		Klea 134a	ICI								
	R-401A	Suva MP39	DuPont	Mezclas Zeotrópicas (Blends)	Alquil Benceno	*Reacondicionamientos en Refrigeración Comercial (arriba de -23 °C). *Reacondicionamientos en Refrigeración Comercial (abajo de -23 °C). *Transportes Refrigerados.	X				
		Genetrón MP39	Quimobásicos								
	R-401B	Suva MP66	DuPont				Alquil Benceno		*Reacondicionamientos en Refrigeración Comercial (abajo de -23 °C). *Transportes Refrigerados.	X	
		Genetrón MP66	Quimobásicos								
	R-409A	Genetrón 409A	Quimobásicos				Alquil Benceno		*Reacondicionamientos.	X	
		FX-56	Elf Atochem								
R-13	Sin	Suva 95	DuPont	Mezcla Azeot.	Poliol Ester	*Muy Baja Temperatura		X			
R-22	R-410A	Genetrón AZ-20	Quimobásicos	Mezclas Azeotrópicas	Poliol Ester	*Sistemas Unitarios de Aire Acondicionado.		X			
	R-410B	Suva 9100	DuPont		Poliol Ester			X			
	R-407C	Suva 9000	DuPont	Mezcla Zeotrópica (Blend)	Poliol Ester	*Aire Acondicionado Residencial y Comercial. *Bombas de Calor. (Equipos Nuevos y Reacondicionamientos).		X			
		Genetrón 407C	Quimobásicos								
	R-507	Klea 66	ICI								
R-502	R-402A	Suva HP80	DuPont	Mezclas Zeotrópicas (Blends)	Alquil Benceno	*Refrigeración Comercial (Temp. Media y Baja). (Principalmente en Reacondicionamientos).	X				
		Genetrón HP80	Quimobásicos								
	R-402B	Suva HP81	DuPont		Alquil Benceno	*Máquinas de Hielo y Otros Equipos Compactos.	X				
	R-404A	Suva HP-62	DuPont		Poliol Ester	*Refrigeración Comercial (Temp. Media y Baja). (Equipos Nuevos y Reacondicionamientos).		X			
		Genetrón 404A	Quimobásicos								
	R-407A	FX-70	Elf Atochem								
	R-407A	Klea 60	ICI		Poliol Ester			X			
	R-408A	FX-10	Elf Atochem		Alquil Benceno		X				
R-507	Genetrón AZ-50	Quimobásicos	Azeótropo	Poliol Ester			X				

Fuente: Manual Técnico de Emerson

ANEXO G
PLANOS



IDENTIFICACION DE LAS LINEAS

VELOCIDAD DEL FLUIDO (m/s)
 PRESION (MPa)
 TEMPERATURA (°C)

80 / 200 / 5
 404A-01-Cu-1/2

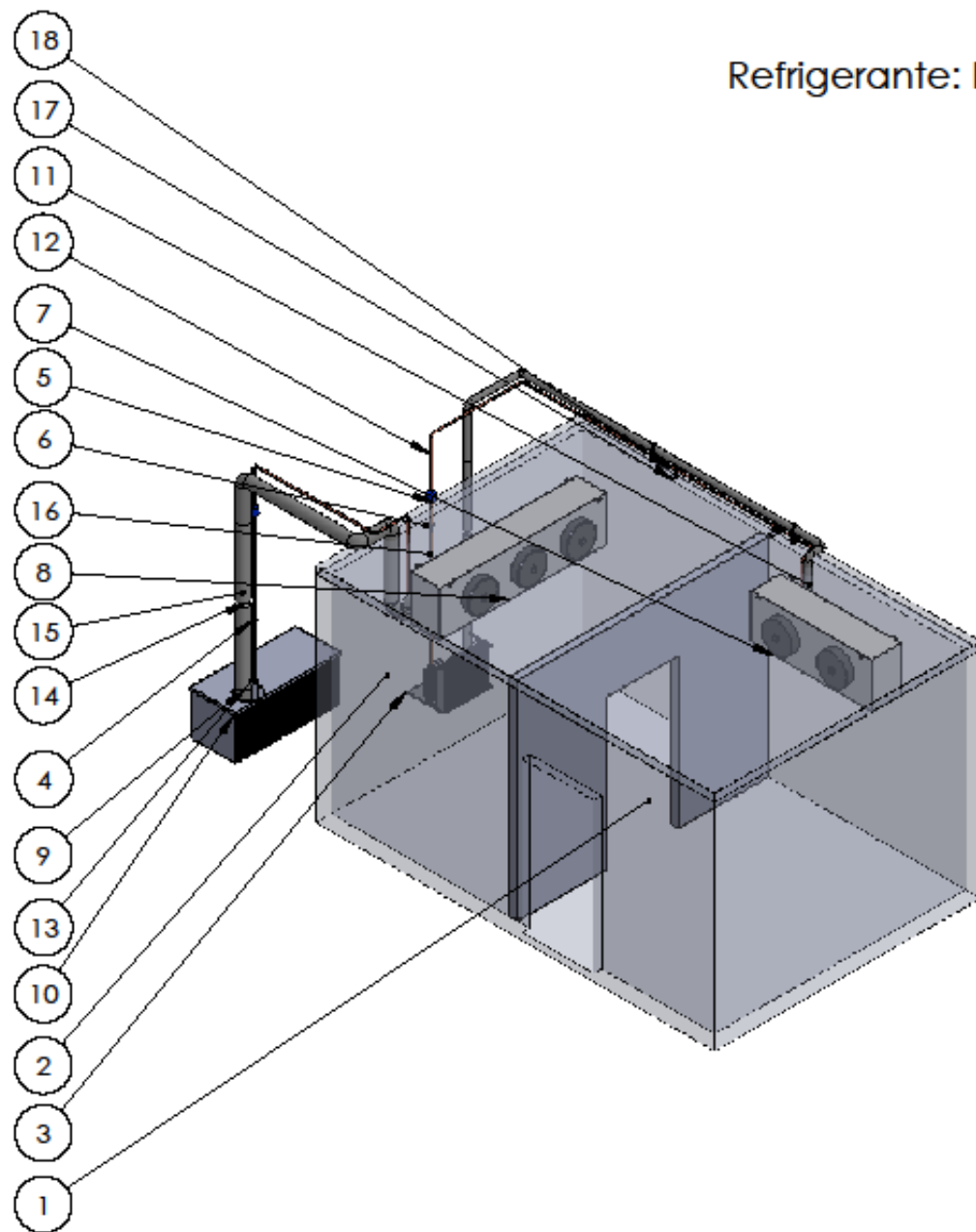
DIAMETRO DE LA LINEA (PULG.)
 MATERIAL
 NUMERO DE LA LINEA
 FLUIDO

LEYENDA

BOMBAS
 VALVULAS DE SERVICIO
 VALVULAS DE SEGURIDAD
 VALVULAS DE ALTA PRESION
 VALVULAS DE BAJA PRESION
 VALVULAS DE CERRAMIENTO
 TUBERIA
 CONEXIONES
 PUNTO DE CERRAMIENTO PARA ESTABLECIMIENTO

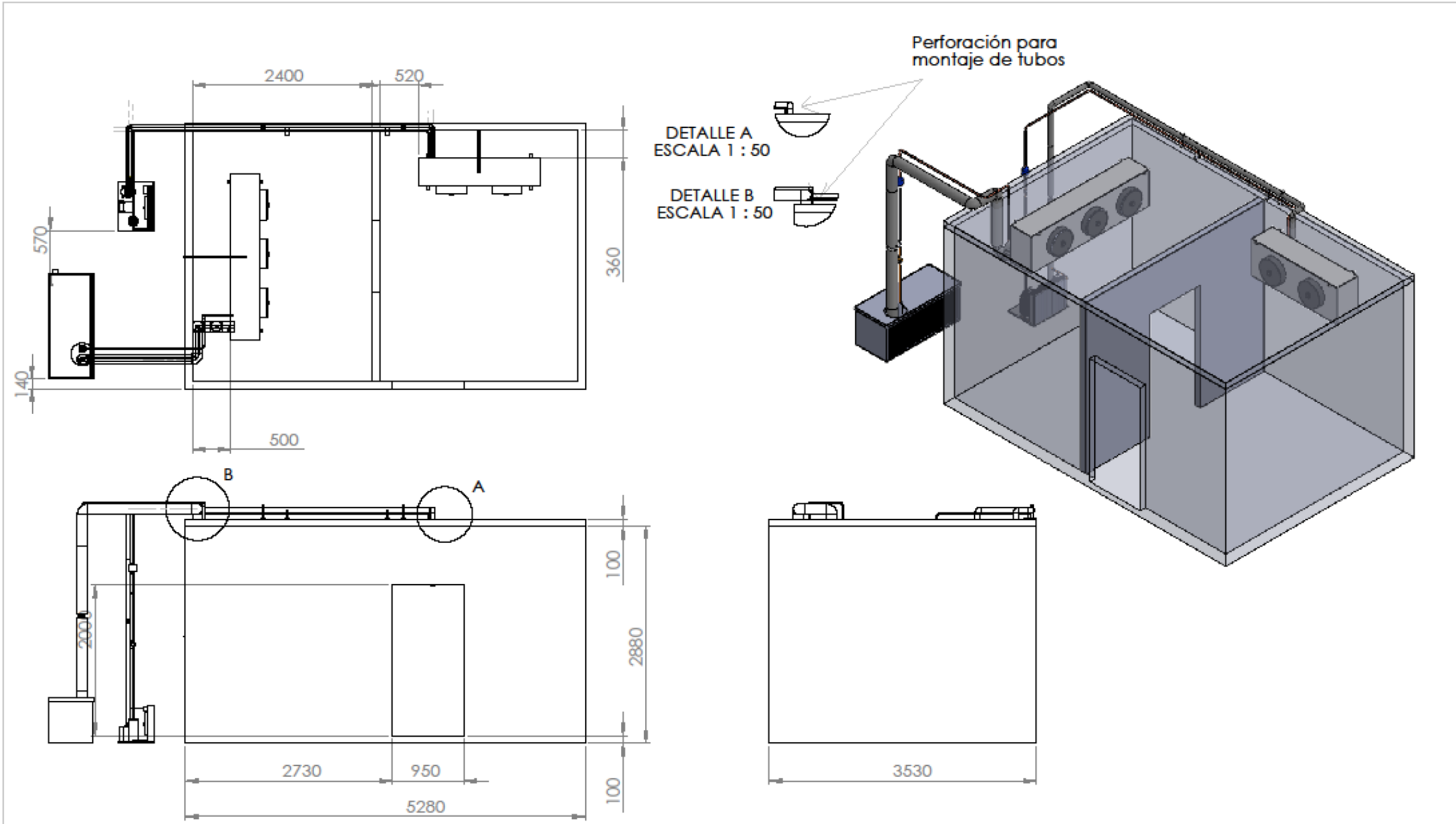
DIRECCION DEL FLUIDO
 MANEJO DEL FLUIDO
 TUBERIA ALTERNATIVA
 TUBERIA ELIMINADA
 TUBERIA EN SERVICIO

Diseñado por:		Mario Burneo	
Revisado por:		Dr. Juan Peralta	
Lugar y Fecha:		Quayaquil, 13 de febrero del 2017	
TITULO:		LAYOUT-PROYECTO	
<h1>ESPOL</h1>			

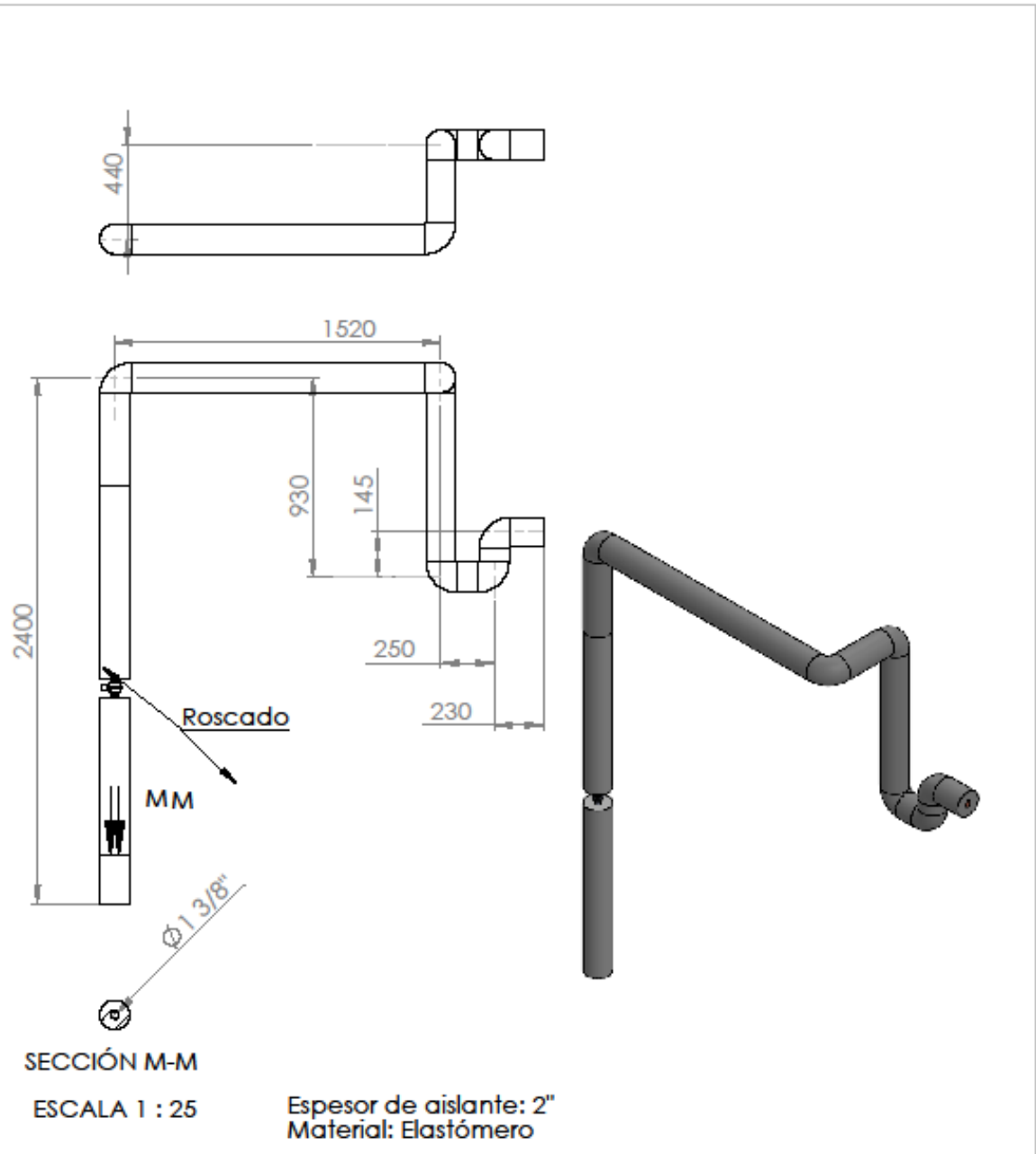


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Cámara de enfriados	Poliuretano de 100mm de espesor	1
2	Túnel de congelados	Poliuretano de 100mm de espesor	1
3	Unidad Flex	Unidad con compresor hermético	1
4	Visor de flujo	D = 1/2 " y 3/8" soldables	2
5	Filtro	Roscable	2
6	Valvula de bola 3/8"	Soldable	1
7	Evaporador con 2 ventiladores	Bajo Perfil (1.25 HP)	1
8	Evaporador con 3 ventiladores	Medio Perfil (8HP)	1
9	Tubería 1/2"	Cobre tipo K, L= 4.5m	
10	Unidad Condensadora	Unidad con compresor semihermético	2
11	Tubería 3/4"	Cobre tipo K, L= 5.6m	
12	Tubería 3/8"	Cobre tipo K, L= 4.5m	
13	Tubería 1 3/8"	Cobre tipo K, L= 5.7m	
14	Valvula de bola 1 3/8"	Soldable	1
15	Valvula de bola 3/4"	Soldable	1
16	Valvula de bola 1/2"	Soldable	1
17	Soporte para tubos	Para tubos de D= 3/4"	2
18	Soporte para tubos	Para tubos de D= 1 3/8"	2

Dibujado por: Mario Burneo	Revisado por: Dr. Juan Peralta	LUGAR Y FECHA: Guayaquil, 13 de Febrero del 2017
ESPOL	Titulo: Cuarto Frigorifico	
	ESCALA:1:100	HOJA: 2

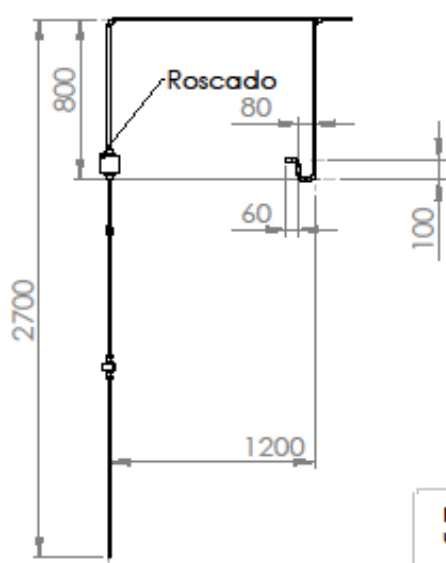
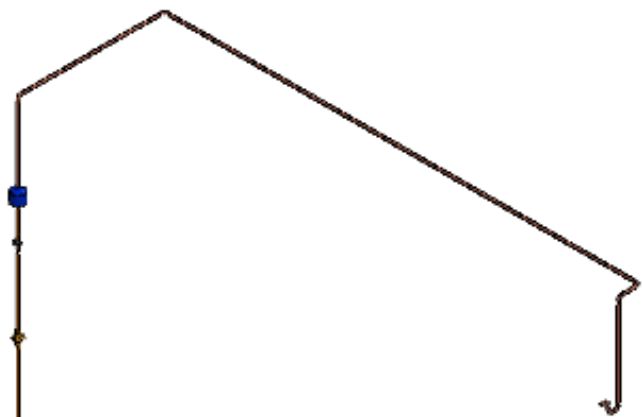
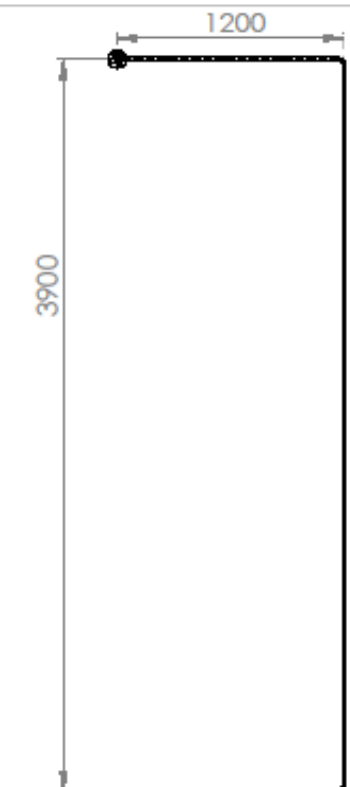


Dibujado por: Mario Burneo	Revisado por: Dr. Juan Peralta	LUGAR Y FECHA: Guayaquil, 13 de Febrero del 2017
ESPOL	Titulo: Cámara de congelación y refrigeración	
	ESCALA: 1:50	HOJA: 3



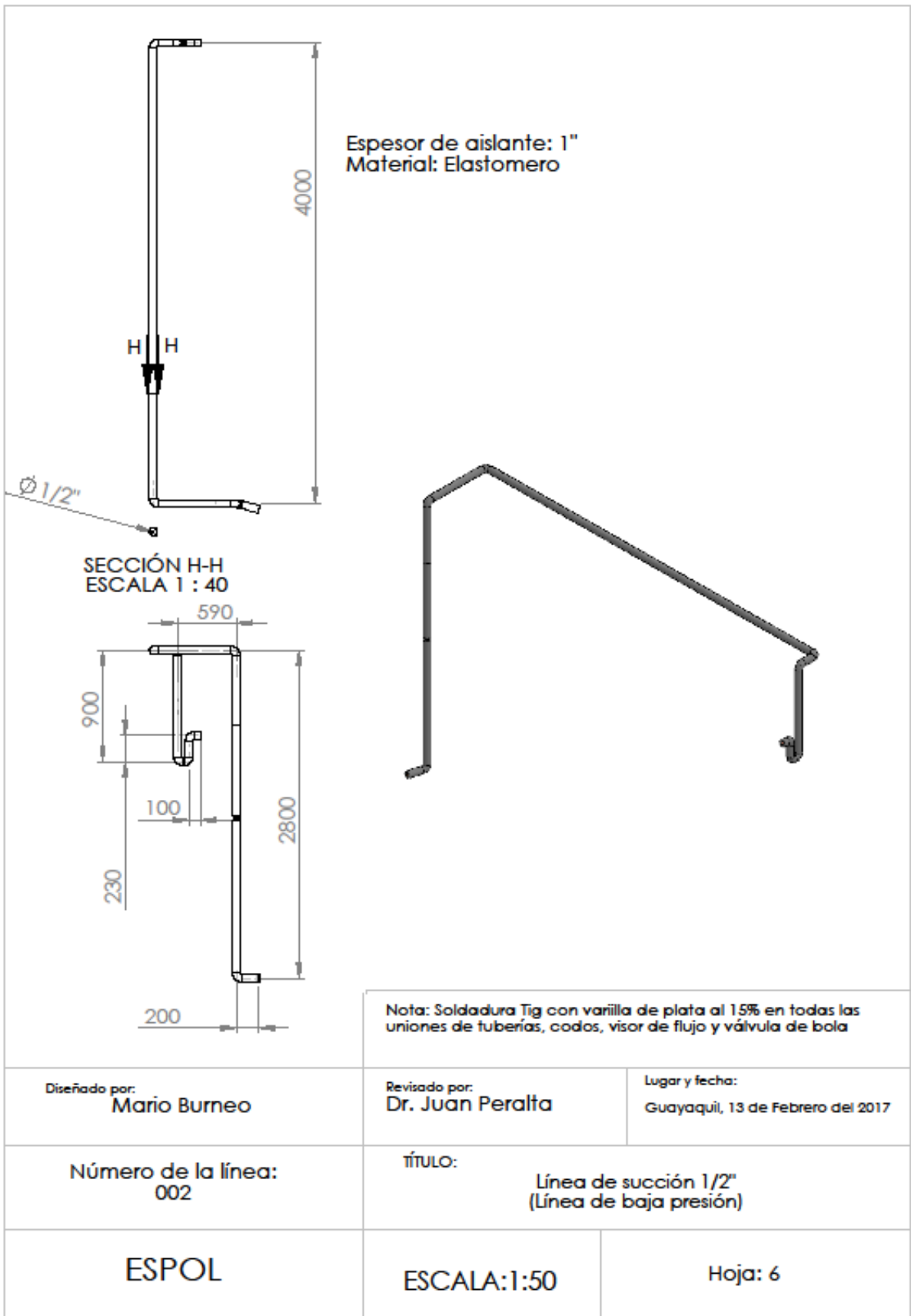
Nota: Soldadura Tig con varilla de plata al 15% en todas las uniones de tuberías, codos, visor de flujo y válvula de bola

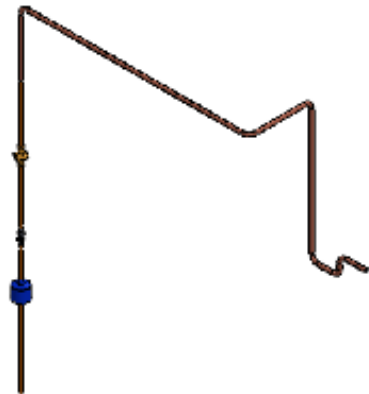
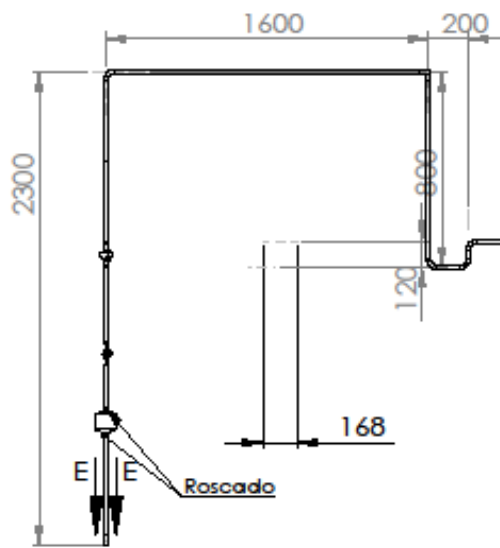
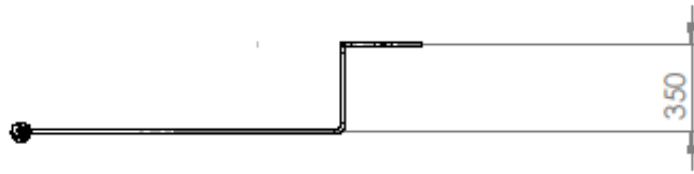
Diseñado por: Mario Burneo	Revisado por: Dr. Juan Peralta	Lugar y fecha: Guayaquil, 13 de Febrero del 2017
Número de la línea: 004	TÍTULO: Línea de succión 1 3/8" (Línea de baja presión)	
ESPOL	ESCALA:1:50	Hoja: 4



Nota: Soldadura Tig con varilla de plata al 15% en todas las uniones de tuberías, codos, visor de flujo y válvula de bola

Diseñado por: Mario Burneo	Revisado por: Dr. Juan Peralta	Lugar y fecha: Guayaquil, 13 de Febrero del 2017
Número de la línea: 001	TÍTULO: Línea de líquido 3/8" (Línea de alta presión)	
ESPOL	ESCALA:1:50	Hoja: 5





SECCIÓN E-E
ESCALA 1 : 30

Ø 3/4"

Nota: Soldadura Tig con varilla de plata al 15% en todas las uniones de tuberías, codos, visor de flujo y válvula de bola

Diseñado por:
Mario Burneo

Revisado por:
Dr. Juan Peralta

Lugar y fecha:
Guayaquil, 13 de Febrero del 2017

Número de la línea:
003

TÍTULO:
Línea de líquido 3/4"
(Línea de alta presión)

ESPOL

ESCALA: 1:20

Hoja: 7